

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN BOR KATKILI ÖSTENİTİK ÇELİK
ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ersel AYDIN**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN BOR KATKILI ÖSTENİTİK ÇELİK
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersel AYDIN

(506091226)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Kelami ŞEŞEN (İTÜ)

Eş Danışman : Yard. Doç. Dr. C. Fahir ARISOY (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU (İTÜ)

Doç. Dr. M. Nezihi SARIDEDE (YTÜ)

Yard. Doç. Dr. Selim YILDIRIM (İÜ)

HAZİRAN 2011

Canımdan çok sevdiğim anneme ve babama,

ÖNSÖZ

Yüksek leans tezimin yönetimini üstlenen, çalışmalarımda bana yol gösteren, her zaman bilgi ve destek veren ve çalışmalarımın tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. M. Kelami Şeşen'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi birikimlerini benimle paylaşan ve deneysel çalışmalarda desteğini hiç bir zaman esirgemeyen eş danışmanım Yard. Doç. Dr. C. Fahir Arısoy'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SEM çalışmalarında laboratuvarını bize açan Prof. Dr. Gültekin Göller'e ve yapılan çalışmalar esnasında yardımlarından dolayı teknisyen Talat Taner Alpak'a teşekkür ederim. TEM çalışmalarında laboratuvarını bize açan Prof. Dr. Lütfi Öveçoğlu'na ve yapılan çalışmalar esnasında yardımlarından dolayı araştırma görevlisi Yük.Müh. Selim Coşkun'a teşekkür ederim.

Büyük gayret, sabır ve çalışma gerektiren bu dönem içerisinde çalışmalarımda gösterdiği destek ve dostluğundan dolayı dönem arkadaşım Mahmut Sami Ünal'a teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi fedakarlıktan kaçınmayarak bana destek olan ve beni bu günlere kadar getiren anne ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN 2011

Ersel Aydın

(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER...	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇELİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ETKİLERİ.....	3
2.1 Alaşım Elementleri.....	3
2.2 Karbür Oluşturucu Elementler ve Karbür Türleri.....	7
2.3 Ötektik Tipi Karbürler ve Reaksiyonları	9
2.3.1 M ₆ C ötektiği.....	9
2.3.1 M ₂ C ötektiği.....	10
2.4 Alaşım Karbürlerinin Oluşumu ve İkincil Sertleşme	11
3. BOR ELEMENTİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE ÇELİK İÇERİSİNDE ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK KULLANILMASI	15
3.1 Bor Elementi.....	15
3.2 Borun Elementinin Kullanım Alanları	16
3.3 Çelik Üretiminde Borun Alaşım Elementi Olarak Kullanılması	18
3.3.1 Demir-bor denge diyagramı.....	18
3.3.2 Çelik üretiminde ferrobör	19
3.3.3 Borlu çelikler.....	20
4. ÖSTENİTİK ÇELİKLER.....	23
4.1 γ ve α Faz Alanları.....	24
4.2 Nikelli Östenitik Çelikler.....	26
4.3 Manganlı Östenitik Çelikler.....	28
4.4 Schaeffler Diyagramı.....	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	31
5.1 Östenitik Çelikte Oluşturulan Alaşım Dizaynı	31
5.2 Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemlerin Belirlenmesi	32
5.3 Mekanik Testlerin Uygulanması	35
5.4 Mikroyapısal Karakterizasyon	40
5.4.1 Işık mikroskobu incelemeleri.....	41
5.4.2 SEM incelemeleri.....	56
5.4.3 TEM incelemeleri.....	77
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ	97

KISALTMALAR

RSD-C	: Rockwell C sertlik değeri
MPa	: Megapaskal
HV	: Vickers sertliği
ppm	: Part per million (milyonda bir)
F_B	: Bor faktörü
M_s	: Martenzit başlangıç sıcaklığı
L	: Liquid (sıvı)
VSD	: Vickers sertlik değeri
SEM	: Scanning electron microscopy (Tarama elektron mikroskobu)
TEM	: Transmission electron microscopy (Geçirimli elektron mikroskobu)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerdikleri element miktarlarının altsınırı.....	3
Çizelge 2.2 : Çeşitli alaşım elementlerinin K değerleri.....	7
Çizelge 2.3 : Çelik içerisinde oluşan karbür grupları.....	8
Çizelge 2.4 : Çelik içerisinde oluşan karbür çeşitleri.....	8
Çizelge 2.5 : Soğutma hızının oluşan karbürlerin kimyasal kompozisyonuna etkisi.	11
Çizelge 3.1 : Bor ürünlerinin kullanım alanları ve yerleri.....	16
Çizelge 5.1 : Östenitik çeliğin kimyasal kompozisyonu (kütle, %)......	31
Çizelge 5.2 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri.....	33
Çizelge 5.3 : 1250 °C’de 24 saat ısıtıl işlem gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri.....	34
Çizelge 5.4 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri.....	34
Çizelge 5.5 : 1250 °C’de 72 saat ısıtıl işlem gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri.....	34
Çizelge 5.6 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri.....	35
Çizelge 5.7 : 1250 °C’de 24 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri.....	36
Çizelge 5.8 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri.....	37
Çizelge 5.9 : 1250 °C’de 72 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri.....	37
Çizelge 5.10 : Östenitik çeliğe uygulanan çentik darbe testi sonuçları.....	40
Çizelge 5.11 : Dış bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu.....	58
Çizelge 5.12 : Orta bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu.....	60
Çizelge 5.13 : Orta bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün içerisindeki mat bölgenin EDS analizi sonucu.....	61
Çizelge 5.14 : Merkez bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu.....	62
Çizelge 5.15 : Küresel morfolojiye sahip karbürün EDS analizi sonucu.....	64
Çizelge 5.16 : Yapılan ısıtıl işlemin ardından oluşan M ₆ C karbürünün EDS analizi sonucu.....	67
Çizelge 5.17 : Yapılan ısıtıl işlemin ardından oluşan M ₆ C karbürünün EDS analizi sonucu.....	69
Çizelge 5.18 : Isıtıl işlem sonrası küresel morfolojiye dönüşen M ₂ C karbürünün EDS analizi sonucu.....	71
Çizelge 5.19 : Farklı morfolojideki yapının EDS analizi sonucu.....	72
Çizelge 5.20 : Farklı morfolojideki yapının EDS analizi sonucu.....	73

Çizelge 5.21 : Isıl işlem sonrası oluşan küresel M_2C karbürünün EDS analizi sonucu	75
Çizelge 5.22 : Dönüşümünü tamamlamış M_6C karbürünün EDS analizi sonucu.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çelik içerisinde oluşan faz ve karbürlerin sertlik değerleri	9
Şekil 2.2 : Takım çeliğinde döküm yapısında oluşan M_6C karbürünün ışıık mikroskobu ve SEM görüntüleri.	9
Şekil 2.3 : M_2C karbürlerinin görüntüsü. a) İngot kum kalıpta katılaştırılmıştır b) Metal kalıpta katılaştırılmıştır.	10
Şekil 2.4 : Karbür, nitrür ve borürlerin oluşum entalpileri.	11
Şekil 3.1 : Siyah – Gri Beta Bor	15
Şekil 3.2 : Bor tüketimin nihai kullanım oranına göre dağılımı.	17
Şekil 3.3 : Demir - bor denge diyagramı.....	18
Şekil 4.1 : Demir alaşımı faz diyagramlarının sınıflandırılması. (a) açık γ alanı, (b) genişletilmiş γ alanı, (c) kapalı γ alanı ve (d) daraltılmış γ alanı	25
Şekil 4.2 : Fe-Cr denge diyagramı	26
Şekil 4.3 : Fe-Cr diyagramına karbonun etkisi. a) 0,05 C b) 0,4 C	27
Şekil 4.4 : 18Cr-8Ni çeliğinin faz diyagramına karbonun etkisi.	28
Şekil 4.5 : Schaeffler diyagramı.....	30
Şekil 5.1 : 1250 °C’de 24 saat ısııl işlem uygulanan östenitik çeliğin 700 °C’de farklı sürelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen sertlik değerlerinin değişimi	38
Şekil 5.2 : 1250 °C’de 24 saat ısııl işlem uygulanan östenitik çeliğin 800 °C’de farklı sürelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen sertlik değerlerinin değişimi	38
Şekil 5.3 : 1250 °C’de 24 saat ısııl işlem uygulanmış çeliğin 700 °C ve 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerlerinin değişiminin karşılaştırılması	39
Şekil 5.4 : Döküm halindeki yapının 50 X büyütmedeki görüntüleri	41
Şekil 5.5 : Döküm halindeki yapının 100 X büyütmedeki görüntüleri	42
Şekil 5.6 : Döküm halindeki yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri	42
Şekil 5.7 : Döküm halindeki yapının % 3’lük nital ile dağlanmış görüntüleri	43
Şekil 5.8 : Döküm halindeki yapının okzalik asitle dağlanmış 50 X büyütmedeki görüntüleri.....	43
Şekil 5.9 : Döküm halindeki yapının okzalik asitle dağlanmış 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri	44
Şekil 5.10 : Östenitik çeliğin 1235 °C’de 10 saat ısııl işlem sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri	44
Şekil 5.11 : Östenitik çeliğin 1235 °C’de 10 saat ısııl işlem sonrası 100 X büyütmedeki görüntüleri	45
Şekil 5.12 : 1235 °C’de 10 saat ısııl işlem uygulanan çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının görüntüleri.....	45
Şekil 5.13 : 1235 °C’de 10 saat ısııl işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri.....	46

Şekil 5.14 : 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri.....	46
Şekil 5.15 : 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri.....	47
Şekil 5.16 : Östenitik çeliğin 1235 °C’de 24 saat ısıt işlem sonrası 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri.....	48
Şekil 5.17 : Östenitik çeliğin 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri	48
Şekil 5.18 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 1 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 50 X büyütmedeki görüntüleri.....	49
Şekil 5.19 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 1 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri.....	49
Şekil 5.20 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X büyütmedeki görünleri	50
Şekil 5.21 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri.....	50
Şekil 5.22 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri.....	51
Şekil 5.23 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X büyütmedeki görüntüler i.....	51
Şekil 5.24 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 1000 X ve 2000 X büyütmedeki görüntüleri.....	52
Şekil 5.25 : 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 500 X büyütmedeki görüntüleri	52
Şekil 5.26 : Östenitik çeliğin 1250 °C’de 48 saat ısıt işlem sonrası 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri.....	53
Şekil 5.27 : 1250 °C’de 48 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri.....	53
Şekil 5.28 : 1250 °C’de 48 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri.....	54
Şekil 5.29 : Östenitik çeliğin 1250 °C’de 72 saat ısıt işlem sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri.....	54
Şekil 5.30 : 1250 °C’de 72 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X büyütmedeki görüntüleri	55
Şekil 5.31 : 1250 °C’de 72 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri.....	55
Şekil 5.32 : Döküm yapısının SEM’de genel görüntüsü.....	56
Şekil 5.33 : Numunenin dış bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü.....	57

Şekil 5.34 : Numunenin dış bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi.	57
Şekil 5.35 : Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü.	58
Şekil 5.36 : AISI M2 çeliğinde M_2C ötektiğinin morfolojisi	59
Şekil 5.37 : Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi.	59
Şekil 5.38 : Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürdeki mat bölgenin görüntüsü.	60
Şekil 5.39 : Numunenin merkez bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü.	61
Şekil 5.40 : Numunenin merkez bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi.	62
Şekil 5.41 : Niobiyum alaşımlı takım çeliğinin döküm sonrasında oluşan M_2C ötektikleri	63
Şekil 5.42 : 1235 °C’de 10 saat ısıtım sonrası küresel morfolojiye dönüşen karbürün SEM görüntüsü	63
Şekil 5.43 : AISI M2 çeliğinin Nb ile alaşımlanmış farklı bir türünün (6-5-1+1 Nb) yapısındaki karbürler, SEM’de atom numarası kontrastı. A: Vanadyumca zengin MC, B: Niobiyumca zengin MC, C: M_2C , D: M_6C	64
Şekil 5.44 : 1235 °C’de 10 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü.	65
Şekil 5.45 : 1235 °C’de 10 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı büyütmedeki genel görüntüsü.	65
Şekil 5.46 : 1235 °C’de 10 saat ısıtımın ardından 550 °C’de 24 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu SEM görüntüsü	66
Şekil 5.47 : Yapılan ısıtımın ardından oluşan M_6C karbürünün SEM görüntüsü.	66
Şekil 5.48 : 1235 °C’de 10 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü.	67
Şekil 5.49 : 1235 °C’de 10 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı büyütmedeki genel görüntüsü.	68
Şekil 5.50 : 1235 °C’de 10 saat ısıtımın ardından 800 °C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu SEM görüntüsü	68
Şekil 5.51 : Yapılan ısıtımın ardından oluşan M_6C karbürünün SEM görüntüsü.	69
Şekil 5.52 : 1250 °C’de 24 saat ısıtım gören östenitik çeliğin SEM’de genel görüntüsü.	70
Şekil 5.53 : Isıtım sonrası küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürü.	70
Şekil 5.54 : 1250 °C’de 24 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının SEM’de genel görüntüsü	71
Şekil 5.55 : 1250 °C’de 24 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması sonrasında oluşan M_6C karbürünün SEM’de görüntüsü	72
Şekil 5.56 : 1250 °C’de 24 saat ısıtım gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen farklı morfolojideki yapının SEM görüntüsü.	73

Şekil 5.57 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin SEM’de genel görüntüsü.....	74
Şekil 5.58 : Isıl işlem sonrası küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürünün SEM görüntüsü	74
Şekil 5.59 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü.....	75
Şekil 5.60 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı görüntüsü	76
Şekil 5.61 : 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile dönüşümünü tamamlayan M_6C karbürlerinin boyutları	76
Şekil 5.62 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Cr_3C_2 yapısının difraksiyon paterni	77
Şekil 5.63 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Cr_3C_2 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	78
Şekil 5.64 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Fe_{1.1}Cr_{0.9}B_{0.9}$ yapısının difraksiyon paterni.....	78
Şekil 5.65 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Fe_{1.1}Cr_{0.9}B_{0.9}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	79
Şekil 5.66 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Mn_{23}C_6$ yapısının difraksiyon paterni.....	79
Şekil 5.67 : Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Mn_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	80
Şekil 5.68 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Fe_{1.8}Mn_{1.2}C_{1.0}$ yapısının difraksiyon paterni	80
Şekil 5.69 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Fe_{1.8}Mn_{1.2}C_{1.0}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	81
Şekil 5.70 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Cr_{23}C_6$ yapısının difraksiyon paterni	81
Şekil 5.71 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Cr_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	82
Şekil 5.72 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının difraksiyon paterni	82
Şekil 5.73 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	83
Şekil 5.74 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan $Cr_{23}C_6$ yapısının difraksiyon paterni	84
Şekil 5.75 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan $Cr_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri.....	84
Şekil 5.76 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan diğer $Cr_{23}C_6$ yapısının difraksiyon paterni	85
Şekil 5.77 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan diğer $Cr_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	85
Şekil 5.78 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2BC yapısının difraksiyon paterni	86

Şekil 5.79 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan Mo ₂ BC yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	87
Şekil 5.80 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr ₇ BC ₄ yapısının difraksiyon paterni	87
Şekil 5.81 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr ₇ BC ₄ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	88
Şekil 5.82 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr ₂₃ C ₆ yapısının difraksiyon paterni	88
Şekil 5.83 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr ₂₃ C ₆ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	89
Şekil 5.84 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo ₂ B yapısının difraksiyon paterni	89
Şekil 5.85 : 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlemin ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo ₂ B yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri	90

ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN BOR KATKILI ÖSTENİTİK ÇELİK ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, ısıl işlem parametrelerinin bor katkılı östenitik çelik üzerine etkisini incelemektir. Non-manyetik yapıda olan östenitik çelikler oda sıcaklığında yüzey hacimli kristal yapısında olup yüksek mukavemet ve sertlik, kırılma tokluğu ve yüksek korozyon direncine sahiptir. Manyetik olmama özelliğinden dolayı elektrik üretiminde kullanılan jeneratör, türbin gibi cihazların yapımında ve ayrıca savunma sanayiinde kullanılabilmektedir.

Deneysel çalışmada kullanılan östenitik çelik içerisinde bulunan molibden ve krom elementleri karbür yapıcı elementlerdir. Bor elementi ise borür yapıcı elementtir. Çalışmada östenitik çelik içerisinde bulunan karbür yapıları ve dönüşümleri incelenmiştir. Yapıda döküm halinden gelen ağ şeklinde ötektik karbürler bulunmaktadır. Östenitik çeliği kırılğan hale getiren ağ şeklindeki karbürlerin morfolojisini değiştirmek ve yapı içerisine homojen şekilde dağıtmak için belirlenen sıcaklık ve sürelerde ısıl işlemler yapılmıştır.

Bilindiği üzere östenitik çeliklerin mukavemet artışı katı eriyik sertleşmesi, çökelti sertleşmesi ve deformasyon işlemleri ile artmaktadır. Çökelti sertleşmesi östenitik çeliklerin sertlik ve mukavemetini arttırmak için en etkili yöntemlerden birisidir. Uygulanan ısıl işlemlerin ardından 550 °C, 600 °C ve 700 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri ile karbür çökeltileri elde edilmeye çalışılmıştır ve 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemi ile borür çökeltileri elde edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan ısıl işlem ve yaşlandırma proseslerinin ardından sertlik değerleri ölçülerek östenitik çelikteki değişimler takip edilmeye çalışılmıştır. Yapılan ısıl işlemlerin sonrasında ağ şeklindeki karbürler küresel morfolojiye dönüşüp östenit fazında çözünmektedir. Yaşlandırma işlemlerinin ardından karbür ve borür çökeltileri oluşmaktadır. Yapılan ısıl işlem ve yaşlandırma işlemlerinin sonrasında östenitik çeliğin tokluğunu belirlemek için çentik darbe testi yapılmıştır.

Karakterizasyon işlemleri için ışık mikroskobu, SEM ve TEM cihazları kullanılmıştır.

THE EFFECT OF HEAT TREATMENT PARAMETERS ON BORON ADDED AUSTENITIC STEEL

SUMMARY

The aim of this study is searching out the effect of heat treatment parameters on boron added austenitic steel. The austenitic steels which are non-magnetical structured have face centered lattice at room temperature, high strength and hardness. They also have high fracture toughness and corrosion resistance. Due to their non – magnetical properties, austenitic steels can be used as a generator in electricity production and defence industry.

The molybdenum and chromium found in austenitic steel are the carbide forming elements and boron is boride forming element. During the study, carbide structures and their transformations were investigated in austenitic steel. There are some eutectic carbide networks which are forming during casting. The heat treatments were applied for changing the morphology of carbides and disturbing the carbides networks that made the austenitic steel brittle.

It is well known fact that the increasing of hardness and strength value might be provide by solid solutions, precipitation hardening and deformation mechanism in austenitic steel. The precipitation hardening is one of the most important method of the increasing hardness and strength in austenitic steel. After the heat treatment, carbide precipitations were carried out by aging at 550 °C and 700 °C and boride precipitations were carried out by aging at 800 °C.

After the heat treatment and aging process, to investigate the changes in austenitic steel hardness test were carried out. After the heat treatment process, network carbides transformed into the global morphology and dissolved in austenite phase. Carbide and boride precipitate are formed by aging process. Charpy V-Notch Impact Test is applied for the determination of toughness value after the heat treatment and aging process.

Light microscopy, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy were utilized for characterising austenitic steel.

1. GİRİŞ

Bor, yerkabuğunda nadir bulunan elementlerdendir. 150' den fazla mineralin birleşiminde bulunmasına rağmen tabiatta serbest olarak bulunmaz. Türkiye bor mineralleri açısından oldukça zengindir. Dünya rezervinin %62' si ülkemizde olmakla birlikte mineral çeşitliliği ve cevher tenörü açısından da doğal bir zenginliğe sahiptir [1].

Bor elementinin endüstrinin değişik alanlarında yaygın olarak kullanım alanları giderek artmaktadır. Gübre endüstrisinden, ilaç endüstrisine, temizlik sektöründen, nükleer endüstriye, cam, seramik ve plastik endüstrisine, otomotiv endüstrisinden uzay endüstrisine bir çok alanda kullanılmaktadır [1].

Bor düşük ve orta karbonlu çeliklerin sertleşebilirliğini en etkin olarak arttıran kuvvetli nitrür oluşturuşu bir elementtir. Çeliklere sakinleştirildikten sonra, %0,0005 ila 0,003 kadar katılır. Ayrıca, çeliğin yüzeyine bor nüfuz ettirildiğinde 2000 VSD kadar yüzey sertliğine ulaşılabilir [1].

Yalın karbonlu çeliklerde beynit reaksiyonunun diğerlerinden izole edilmesi açısından, % 0,5 Mo içeren bir çeliğe yaklaşık olarak %0,002 bor ilave edilmesi ile çok etkili bir yöntem bulunmuştur. Çelikteki molibden beynit reaksiyonunu kolaylaştırarak katkıda bulunurken bor önceki östenit tane sınırlarına tercihli segregasyonla yerleşirken faz dönüşümünü çarpıcı bir biçimde geciktirmektedir. Bu durum beynit reaksiyonunun daha kısa sürelerde oluşmasına izin vererek belirli bir soğutma aralığı kullanılarak tamamen beynitik çelikler elde edilebilir [2].

Borlu çeliklerin özellikleri, bor elementinin yapıdaki dağılımı ve diğer alaşımlı elementleri ile olan etkileşiminin bir fonksiyonudur. Bu durumda bor, az alaşımlı çeliklerde östenitin dönüşümünü yavaşlatarak sertleşme kabiliyetini arttırdığı, bununla birlikte darbe direncini olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir [1].

Paslanmaz çeliğe ppm mertebesinde bor ilavesi, kaynak kabiliyetini, sürünme direncini, taneler arası korozyon direncini, nötron absorpsiyon kapasitesini arttırmakta, sıcak yırtılmaları önlemektedir. Krom, krom nikel gibi yüksek sıcaklık

eliklerine az miktardaki bor ilavesi bu malzemelerin kullanım ömrünü uzatmaktadır. Yüksek hız çeliklerine kullanımda sertleŖebilen ve ısıl iŖlem görebilen çeliklere bor ilavesi özellikle sürtünme mukavemetini arttırmaktadır [1].

Molibden kuvvetli karbür ve nitrür yapıcı bir elementtir. Döküm yapısında tektik M_2C karbürlerini oluŖturmaktadır. Yapıda ağ Ŗeklinde bulunan M_2C karbürleri matris ile uyumsuzdur ve yapıyı son derece gevrek hale getirmektedir. Ayrıca bu ötektik karbürler termal yorulmalar ve dinamik yüklenmelerin etkisi ile çatlak oluŖturan yörelerdir. M_2C karbürleri 1100  C ve üzeri sıcaklıklarda M_6C karbürlerine dnŖmektedir.

Mangan elementi karbür yapıcı bir element olmamakla birlikte yapısına katıldığı karbürleri stabil hale getirmektedir. Mangan elementi elik içerisine istenilen değerlerde katıldığında östenit alanını açar ve çeliği östenitik hale getirir.

Östenitik elikler, katı ergiyik sertleŖmesi, deformasyon sertleŖmesi veya çökelme sertleŖmesi gibi mekanizmalar ile sertleŖebilmekte ve yüksek mukavemet değerlerine ulaŖılabilmektedir. Östenitik eliklerde çökelme sertleŖmesi katı ergiyik sertleŖmesine göre daha etkindir. Yapıda bulunan krom ve molibden elementi karbür kelmelerinde son derece etkili elementlerdir ve 500  C - 700  C arası sıcaklıklarda yapılan yaŖlandırma iŖlemlerinde ikincil sertlik mekanizması görülür. Mangan ile oluŖturulmuŖ borlu östenitik çeliklere 1230  C ve üzeri sıcaklıklarda ısıl iŖlem uygulandıktan sonra hızlı soğutma iŖleminin ardından 800  C sıcaklıkta yaŖlandırma iŖlemi uygulandığında borür çökeltileri elde edilebilir.

2. ÇELİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN ALAŞIM ELEMENTLERİ VE ETKİLERİ

2.1 Alaşım Elementleri

Metal malzemelerde, belirli özellikleri elde etmek (kuvvetlendirmek) veya gidermek (zayıflatmak) amacıyla önceden saptanmış miktarda bulunması zorunlu olan bileşenlere alaşım elementleri, istenmediği halde üretimden kaynaklanan ve arıtilamayan elementlere ise empürite yada katışkı denir. Burada, demir esaslı malzemelerde alaşımlı ve alaşımsız çelikler arasındaki anlam farkının tam olarak açıklanması gerekirse, bir alaşımlı çelikte arıtilamayan elementlerle birlikte demir ve karbon (ana alaşım elementi) elementleri de hesaba katılmaksızın, bileşenlerden en az birinin % ağırlık olarak çizelge 2.1’de verilen sınıra ulaşması yada bunu aşması gerekmektedir. Bu koşulu sağlayan bileşenler çeliğin alaşım elementleri diye nitelendirilir [3].

Çizelge 2.1 : Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerdikleri element miktarlarının alt sınırı [3].

Element	Alt Sınır (% Ağırlık)	Element	Alt Sınır (% Ağırlık)	Element	Alt Sınır (%Ağırlık)
Alüminyum	0,10	Mangan	1,60	Vanadyum	0,10
Bakır	0,40	Molibden	0,08	Volfram	0,10
Bor	0,0008	Nikel	0,30	Zirkonyum	0,05
Bizmut	0,10	Niyobyum	0,05	Diğerleri (Karbon, fosfor, kükürt, azot ve oksijen dışında)	0,05
Kobalt	0,10	Selenyum	0,10		
Krom	0,30	Silisyum	0,50		
Kurşun	0,40	Tellür	0,10		
Lantanitler	0,05	Titanyum	0,05		

Alaşım elemanlarının etkisiyle, başka hiçbir malzemenin özellikleri çeliklerdeki kadar geniş çapta değiştirilemez. Öte yandan çok sık örnekte karşılaşıldığı gibi bunların etkileri toplanabilir olmadığından, çok sayıda alaşım elementinin birlikte bulunması halinde, beklenen özelliklerinin değişmeleri ancak genel çerçevede ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yaklaşım yapılamaz [3].

Alaşımlı elikler, alaşım elemanlarının (karbon ve arıtılamayan elemanların dışında kalanlar diğerleri) toplam miktarı % 5 ‘den az olanlar dışuk alaşımlı çelikler ve alaşım elemanlarının toplam miktarı % 5 ‘den fazla olanlar yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere, iki ana gruba ayrılırlar. Temelde alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan dışuk alaşımlı çeliklerin teknik açıdan en belirgin özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin daha yüksek olmasıdır. Ayrıca, sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı, elastik modülü gibi dayanım özellikleri ile sıcağa dayanıklılık, meneviş dayanıklılığı gibi karakteristikler yükselirken, genellikle kopma uzaması, kesit daralması, çentik darbe dayanımı gibi değerlerde azalma olur. Alaşımsız ve dışuk alaşımlı çeliklerde istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılır. Bu tür alaşımlama, normal sıcaklıklardaki mekanik dayanımın arttırılması yanında, öncelikle sıcağa, tufallaşmaya ve korozyona dayanım, sıcakta sertlik ve manyetlenmeme gibi bazı seçilmiş özelliklerin elde edilmesini amaçlar [3].

Alaşım elementlerinin demir ile katı çözelti oluşturması, atom çaplarının oranı ile kristal yapılarına bağlıdır. Bunlardan Cr, Al, Ti, Ta, Si, Mo, V ve W öncelikle α -demirinde çözündüklerinden dolayı ferrit yapıcılar, Ni, C, Co, Mn ve N ise, benzer nedenle östenit yapıcılar olarak adlandırılır [3].

Karbon: Çeliğin en temel alaşım elementidir. Karbon miktarının artmasıyla birlikte alaşımsız çeliklerin dayanımı ve sertliği önemli ölçüde artar. Karbon miktarı arttıa çelikteki perlit oranı arttığından, çeliğin çekme dayanımı ve akma sınırı artar. Ancak, % 0,8 ila 0,85 C sonra dayanım daha fazla artmamasına karşılık, elik giderek kırılğanlaşır. Sertleştirilmiş eliklerde en yüksek sertlik değerine (yaklaşık 67 RSD-C) yaklaşık % 0,6 C düzeyinde ulaşılır ve karbon miktarının daha da arttırılmasıyla, ani soğutma sonrasında yapıda artık östenit kalacağından sertlikte artma meydana gelmez. Diğer taraftan, karbon miktarı arttıa çeliğin sünekliği, dövülebilirliği, derin çekilebilirliği ve kaynak edilebilirliği azalır, ısıl işlemde çatlama ve deformasyon eğilimi artar [3].

Karbon bileşimi matriks gereksinimini (ikincil sertlik ve ilave çökelti bulundurma) karşılayacak seviyede ve yeteri kadar MC ve M_6C karbürleri oluşumunu sağlayacak oranda olmalıdır. Karbon bir yandan karbür oluşumuna hizmet ederken öte yandan matriks içinde çökelti sertleşmesinin temelini oluşturur ve böylece hem sert karbür oluşumunu, hem de matriksin sertleşmesini sağlar [4].

Mangan: Çeliğe genellikle cevherden intikal eder, fakat özellikleri iyileştirdiğinden belirli bir oranda çeliğin içerisinde bulunması istenir, hatta alaşım elementi olarak arttırılabilir. Çeliğin dayanımını artırır, fakat sünekliğini biraz azaltır. Manganın, çekme dayanımı ile akma sınırını arttırma etkileri birbirine benzer. % 3 Mn miktarına kadar, her % 1 Mn artışı ile çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa artar, % 3-8 Mn miktarları arasında artış daha azdır ve % 8 Mn miktarından itibaren düşme görülür. Çeliğin dövülebilirliğini ve sertleşebilirliğini iyileştirir. Kaynak kabiliyetini olumsuz olarak etkilemez, bu nedenle düşük karbonlu, fakat nisbeten yüksek dayanımlı kaynak edilebilir çeliklerde % 1,6 ‘ya kadar Mn ilave edilir. Yüksek mangan (%12-13 Mn) ve yüksek karbonlu çelikler östenitik yapıya sahiptirler ve aşınma dayanımları yüksektir. Çeliğin yüzey kalitesini iyileştirir [3].

Silisyum: Çelik üretiminde oksijen giderici olarak kullanılan temel elementlerden biridir. Çelikte bulunan silisyum miktarı, üretim tarzına bağlı olarak da değişir. Sakin dökülen alaşımsız çeliklerde, en fazla % 0,60 Si bulunur. Düşük alaşımlı çelikler ve yay çelikleri, % 2 ‘ye kadar Si içerirler. Buna karşın silisyumlu çelikler diye adlandırılan, elektronikte kullanılan çeliklerde Si miktarı % 5 ‘e kadar yükselebilir. Ayrıca, % 14-15 Si içeren çeliklerde de korozyon dayanımı iyidir, fakat dövülemezler ve kırılğandır. Silisyum miktarı arttıkça, çeliğin tane büyüklüğü de artar [3].

Kükürt: Otomat çeliklerinde kükürt miktarı, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirmek için yüksektir. Bunun dışında istenmeyen bir elementtir ve daima azaltılmaya çalışılır. Yeni gelişen teknolojilerle, bugün % 0,003 S değerine kadar inilebilmektedir. Çelik kalitelerinin belirtilmesinde sınırlanan element olarak fosforla birlikte birinci planda göz önünde tutulur. Kükürt miktarı yükseldikçe, şekillendirmeye dik doğrultuda süneklik ve darbe dayanımı düşer, boyuna doğrultuda etkilenme azdır. Mangan ile dengelenmedikçe, sıcakta kırılğanklık yapar. Kaynak edilebilirliği ve sertleşebilirliği kötüleştirir [3].

Fosfor: Ferritin dayanımını en fazla arttıran elementtir. Bu nedenle, düşük miktarlarda bulunsu bile çeliğin dayanımını ve sertliğini arttırıcı, buna karşın şekillendirme yönünde sünekliği ve darbe dayanımını azaltıcı etki yapar. Bu etkiler, özellikle yüksek karbonlu menevişlenmiş çeliklerde daha fazladır. Çeliğin korozyon dayanımını iyileştirmesine karşın, kükürtle birlikte çelikte mümkün olduğunca az bulunmasına çalışılır ve kalite belirlenmesinde birinci planda rol oynar [3].

Molibden: Kuvvetli karbür ve nitrür yapıcı elementtir ve düşük alaşımlı çeliklerde genellikle krom ile birlikte % 0,15-0,30 arasında bulunduğunda çeliğin sertleşebilirliğini, çekme dayanımını ve ısıya dayanımı arttırır, meneviş kırılabilirliği azaltır. Takım çeliklerine daha yüksek miktarlarda katılır, ısıya ve aşınmaya karşı dayanımı iyileştirir [3].

1930'lu yıllardan bu yana wolframın yerine kullanılmakta olan bu element esasta wolframa benzer özellikler gösterir. Atom ağırlığının wolframın yarısı civarında olması nedeniyle Mo-esaslı alaşımlarda genelde alaşıma wolfram oranının yarısı kadar ilave edilirler. Molibden birincil karbür olarak ötektik tipi karbür oluşturur. Matriksteki kompozisyonuyla direkt orantılı bir şekilde M_2C ve MC tipi çökeltielerde bulunur. Bu karbürün ergime sıcaklığı wolframca zengin karbüre göre daha düşük olduğundan molibden östenitleştirme sıcaklığını düşürür. M_2C karbürü termodinamik olarak stabil değildir ve döküm sonrası tavlama M_6C ve MC karbürlerine ayrışır. Molibden böylece wolfram gibi birincil karbür oluşumuyla takımın aşınma direncini artırır. Matrikste çözünen molibden ise M_2C tipi ikincil sertlik karbürlerin oluşumunu sağlar ve böylece matriksin ikincil sertlik kazanmasında en önemli rolü oynar. Mo ve W genel olarak aynı tür karbürler oluşturmaya ve birbirlerinin yerine kullanılabilmesine karşın ikincil sertliğe olan katkıları bakımından farklılık gösterirler. Molibden, wolframa kıyasla matrikste daha yüksek bir difüziviteye sahip olduğundan dolayı, ikincil sertlik çökeltieleri oluşturmada çok daha etkindir. Bununla birlikte wolframa göre daha yüksek bir mobilitateye sahip olan molibden aynı zamanda aşırı temperleme sırasında M_2C karbürlerinin büyüme hızını etkiler. Bu da molibden esaslı çeliklerde, tungsten esaslı çeliklere nazaran daha yüksek bir sertlik kaybına neden olur [4].

Krom: Çelikte oksidasyona ve korozyona karşı dayanımı, aşınma direncini, sertleşebilirliği arttırır. Paslanmaz çeliklerin ve alaşımlı takım çeliklerinin büyük bir kısmının temel alaşım elementidir. Karbür yapıcı element olduğundan, çekme

dayanımını ve ısıya dayanımı artırır, sünekliği düşürür. Ancak, bazı çeliklerde meneviş kırılabilirliği doğurabileceğinden ve olumlu etkilerini iyileştirmek için nikel ve/veya molibden ile birlikte kullanılır [3].

İkincil sertlik oluşumunda kromun rolü çok büyüktür ve her iki tip ikincil sertlik karbürlerinin (MC ve M_2C) enerji açısından oluşumunu kolaylaştırır ve yüksek miktarda ikincil sertlik karbürlerinin oluşumunu sağlar [5].

2.2 Karbür Oluşturucu Elementler ve Karbür Türleri

Ferrit oluşturan çeşitli elementler aynı zamanda karbür yapıcı özelliktedirler. Karbür yapıcıların çoğunluğu da demire bağlı olarak, ferrit oluşturuıcı özelliktedirler. Aşağıda verilen elementlerin karbona olan afiniteleri sırayla soldan sağa gidildiğinde artış gösterir [6].

Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr

Bazı karbürler özel karbürler olarak belirtilir. Örneğin demir içermeyen karbürler; Cr_7C_3 , W_2C , VC , Mo_2C . Çift ve karışık karbürler hem demir hem de karbür yapıcı elementler içerirler. Örneğin Fe_4W_2C [6].

Karbürlerin kararlılığı çelik içerisinde mevcut diğer alaşım elementlerine bağlıdır. Karbürlerin kararlılık dereceleri, elementin sementit ve matriks arasındaki paylaşılmasına bağlıdır. İki fazda mevcut alaşım elementlerinin ağırlıkça yüzdesi, paylaşılma katsayısı (K) olarak bilinir. Çizelge 2.2’de çeşitli alaşım elementlerinin K’ ları verilmektedir [6].

Çizelge 2.2 : Çeşitli alaşım elementlerinin K değerleri [6]

Al	Cu	P	Si	Co	Ni	W	Mo	Mn	Cr	V	Ti	Nb	Ta
0	0	0	0	0.2	0.3	2	8	11.4	28	Artış			

Kendi halinde çok zayıf karbür oluşturuıcı mangan oldukça kuvvetli bir karbür stabilizatörüdür. Krom ise karbürleri kararlı hale getirmek için en çok kullanılan elementtir [6].

Çizelge 2.3’de verilen karbür grupları çelik içerisinde saf olarak bulunmaz. Bir çok karbür çeşitleri çözelti içerisinde demir bulundurur ve diğer elementlerin de mevcut olması halinde onlarda çözelti içerisinde bulunur. Bu yüzden krom – mangan çeliklerinde oluşan karbürler $Cr_{23}C_6$ yerine $(Cr, Mn, Fe)_{23}C_6$ şeklinde oluşur [7].

Çizelge 2.3 : Çelik içerisinde oluşan karbür grupları [7]

1.Grup Karbürler	2.Grup Karbürler
Fe_3C	Mo_2C
Mn_3C	W_2C , WC
Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3	VC
$\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$	TiC
$\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$	NbC
	TaC , Ta_2C
	ZrC

Titanyum ve niobyum elementlerinde olduğu gibi aynı kimyasal formüle sahip karbürler tek tip karbür olarak gösterilebilir. Bu yüzden çelik içerisinde oluşan karbürleri 6 çeşit olarak gruplandırmak mümkündür [7].

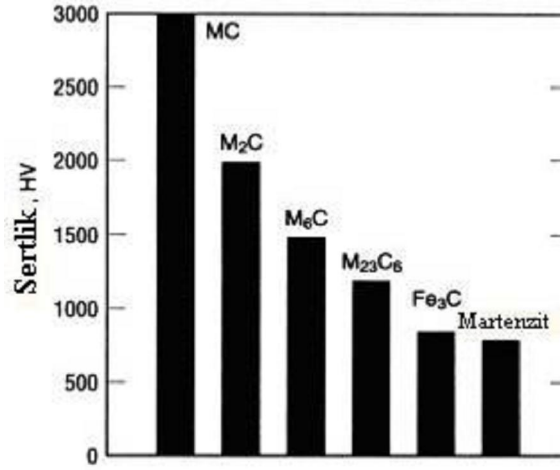
Çizelge 2.4 : Çelik içerisinde oluşan karbür çeşitleri [7]

1.Grup Karbürler	2.Grup Karbürler
M_3C	MC
M_{23}C_6	M_2C
M_7C_3	
M_6C	

Sementit örneğinde olduğu gibi 1. grupta yer alan karbürler karmaşık bir kristal yapısına sahiptirler. Özel kafes yapısına sahip olan 2. grup karbürleri arayer fazında olan basit kristal kafeslerdir [7].

Arayer fazları östenit içerisinde zor çözünürler ve yüksek sıcaklıklarda bile katı çözelti içerisine geçmeleri zordur. 1. grup karbürleri ayırt edilir biçimde sıcaklığın etkisiyle östenit içerisinde kolayca çözülebilirler. Tüm karbür türlerinin ergime sıcaklığı ve sertliği yüksektir [7]. Çizelge 2.4’de çelik içerisinde bulunan 6 çeşit karbür iki gruba ayrılarak gösterilmiştir.

Çelik içerisinde bulunabilecek bazı karbürlerin sertlik değerleri Şekil 2.1’de verilmiştir. En sert karbürler MC tipi olanlardır ve demir karbür olan sementit fazı dahi martenzit fazından daha serttir.



Şekil 2.1 : Çelik içerisinde oluşan faz ve karbürlerin sertlik değerleri [4]

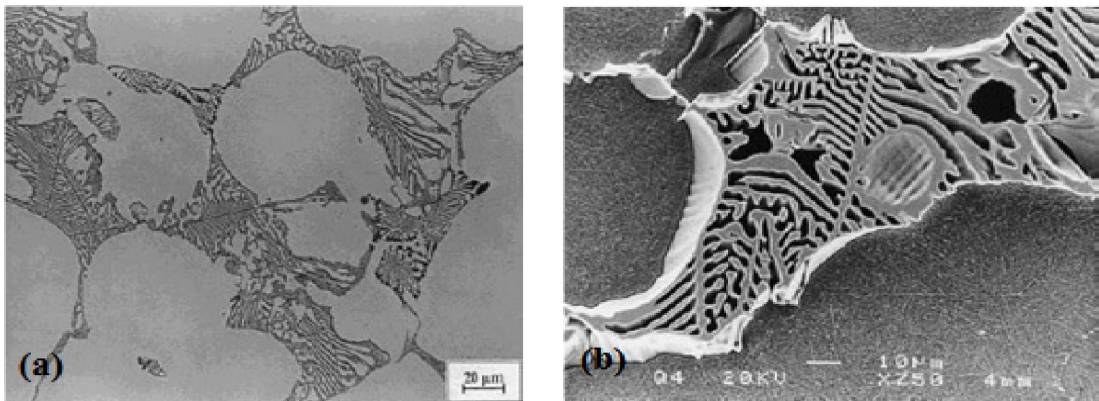
2.3 Ötektik Tipi Karbürler ve Reaksiyonları

Deneyisel çalışmada irdelenecek olan bor katkılı östenitik çelik yapısında oluşabilecek ötektik tipi karbürler M₂C ve M₆C dir.

M₆C daha kaba bir şekilde oluşmaktadır. Biraz daha ince olan M₂C döküm sonrası homojenizasyon ısı işlemi sırasında MC ve M₆C karbürlerine ayrışır. Bunun sonucunda daha elverişli bir yapıya ulaşılmaktadır. Çelik içerisindeki alüminyum ve kalsiyum bileşimleri M₂C oluşumunu destekler [4].

2.3.1 M₆C ötektiği

Şekil 2.2 optik ve tarama elektron mikroskopları ile görüntülenen tipik M₆C ötektiği morfolojilerini göstermektedir. M₆C ötektiğinin morfolojisi, ne kimyasal kompozisyondan ne de soğutma hızından etkilenmez. Fakat daha hızlı soğutma hızlarında plakalar arası mesafe azalır [4].



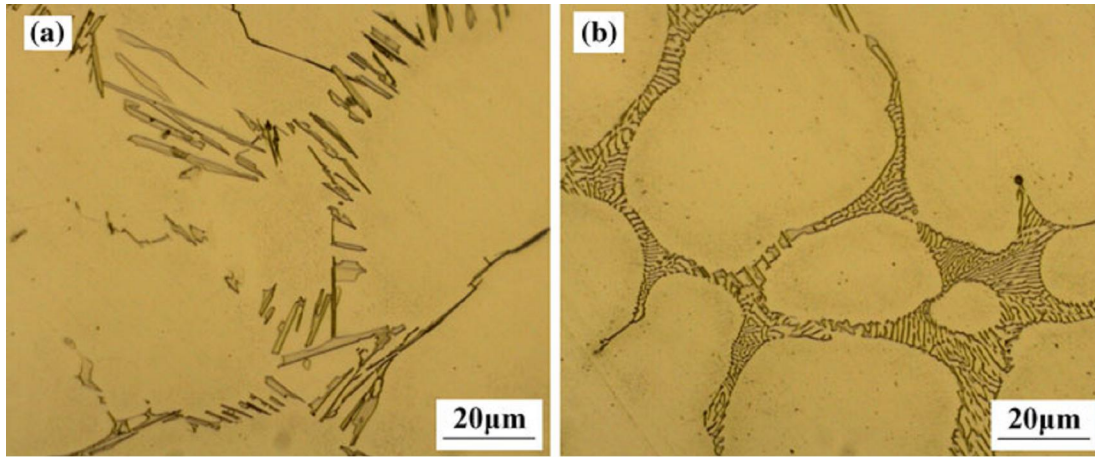
Şekil 2.2 : Takım çeliğinde döküm yapısında oluşan M₆C karbürünün ışık mikroskobu ve SEM görüntüleri [4]

M₆C karbürü için kimyasal formülde, M harfi W, Mo, V, Cr ve esasen Fe elementlerine karşılık gelir. W ve Mo elementleri çeliğin kompozisyonunda var olması halinde aynı oranda çözünürken; M₆C karbürü için düşük seviyedeki çözünürlüğü nedeniyle V için geçerli değildir. M₆C karbürü kompleks bir yüzey merkezli kübik (fcc) kristalin yapısına sahiptir ve sertliği 1500 HV civarındadır [4].

2.3.2 M₂C ötektiği

M₆C ötektiği ile gerçekleşenin aksine, M₂C ötektiğinin morfolojisi, kimyasal kompozisyon, soğutma hızı ve alüminyum ve azot gibi elementlerin küçük ilaveleri gibi çeşitli faktörler tarafından önemli ölçüde etkilenir. M₂C karbürü hegzagonal kristalin bir yapıya sahiptir ve sertliği 2000 HV civarındadır. M₂C karbürü, 900 ve 1150 °C arasındaki sıcaklıklara ısıtıldığında metastabil olarak MC ve M₆C karbürlerine ayrışır [4].

Şekil 2.3’de farklı soğutma hızlarında oluşan M₂C ötektiğinin morfolojisi gösterilmektedir. Hızlı soğutma ile birlikte lamel morfolojisine sahip karbür oluşmaktadır fakat soğuma hızı düştüğünde oluşan karbürlerin morfolojisi çubuk tipindedir.



Şekil 2.3 : M₂C karbürlerinin görüntüsü. a) İngot kum kalıpta katılaştırılmıştır
b) Metal kalıpta katılaştırılmıştır [8]

Araştırmalarda katılma esnasında soğuma hızının değişmesi ile yapıda bulunan karbürlerinde kimyasal kompozisyonunun değiştiği görülmüştür [8].

Çizelge 2.5’de soğutma hızının oluşan karbürlerin kimyasal kompozisyonuna etkisini incelemek için EDS analizi sonuçları verilmiştir.

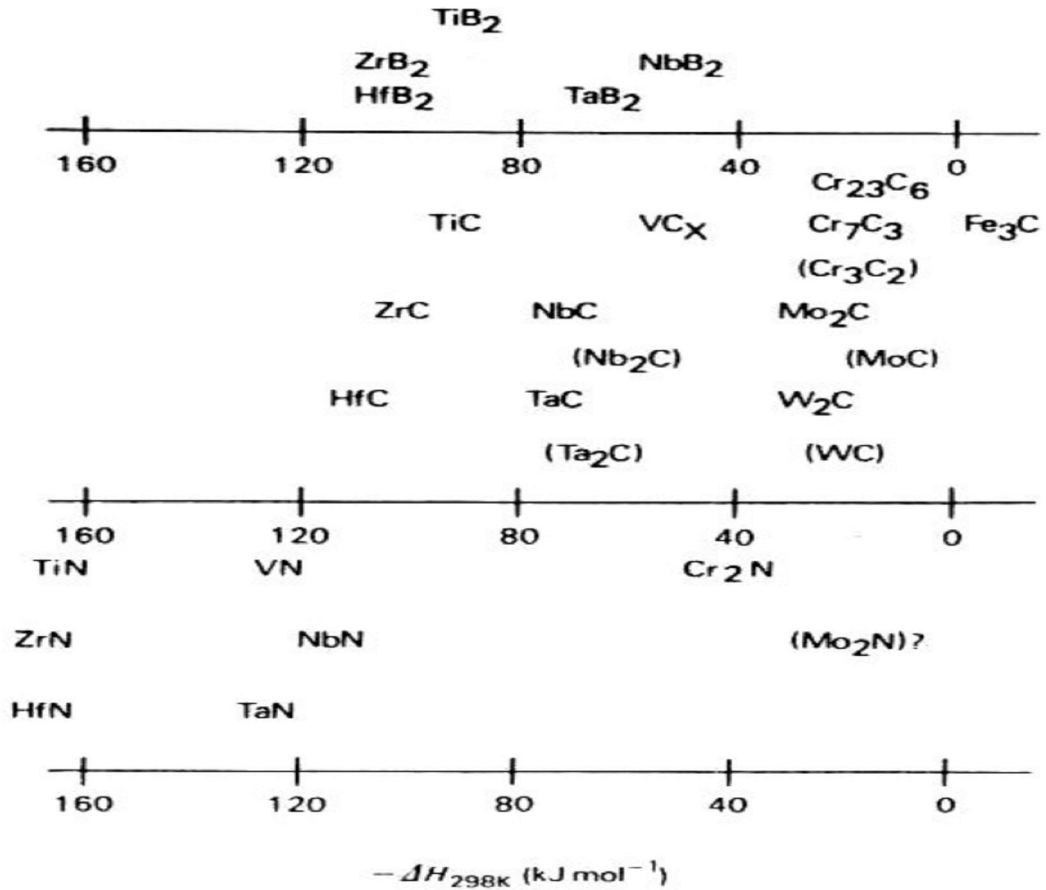
Çizelge 2.5 : Soğutma hızının oluşan karbürlerin kimyasal kompozisyonuna etkisi

M_2C	Kimyasal Kompozisyon				
	V	Mo	W	Cr	Fe
Lamel Tipi Karbür	12.59	28.05	40.89	6.34	11.50
Çubuk Tipi Karbür	5.55	13.35	23.70	5.72	50.68

Ağ şeklinde oluşan karbür tiplerinin aşınma direncine olumlu etkileri görülmesine rağmen termal yorulma ile oluşan çatlakların başlangıç yöreleri olarak bilinir [9].

2.4 Alaşım Karbürlerinin Oluşumu ve İkincil Sertleşme

Çeliklerde bir dizi alaşım elementi sementitten termodinamik olarak daha kararlı karbürler oluşturur. Birçok nitrür ve borür için de durumun böyle olması ilginçtir. Azot ve bor çeliklerde artan bir oranda küçük ancak etkili konsantrasyonlarda kullanılmaktadır. Bu bileşenlerden bazılarının oluşum entalpileri Şekil 2.4’de görülmektedir [10].



Şekil 2.4 : Karbür, nitrür ve borürlerin oluşum entalpileri [10]

Bu diyagramda demir karbür en sağ tarafta yer almakta olup en düşük kararlılığa sahip bileşendir. Cr, Mo, V, W ve Ti elementlerinin hepsi oldukça yüksek oluşum entalpilerinde karbürler oluştururken, nikel, kobalt ve bakır elementleri karbür fazları oluşturmazlar [10].

Çelik içerisinde güçlü karbür oluşturu elementlerin yeterli miktarlarda mevcut bulunması durumunda bu elementlerin karbürlerinin sementite oranla tercihli olarak oluşmaları beklenir. Bununla birlikte tüm alaşımlı çeliklerin temperlenmesi sırasında alaşım karbürleri 500–600 °C aralığına kadar oluşmazlar, çünkü bu sıcaklıkların altında alaşım elementleri bu karbürlerin çekirdeklenmesine izin verecek kadar hızlı bir şekilde difuze olamazlar. Demir kafesinde arayer karakteristiğinde difuze olan karbon ve azotun aksine alaşım elementleri yeralan karakteristiğinde difuze olurlar. Bu durum da demirde karbon ve azot difuziviteilerinin metalik alaşım elementlerinininkinden çok çok daha büyük olmasına neden olur. Sonuç olarak alaşım elementi karbürlerinin çekirdeklenme ve büyümesinden önce alaşım elementlerinin difuzyonu için daha yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulur. Uygulamada karbür oluşturu çoğu alaşım elementi için bu sıcaklık 500 – 600 °C aralığındadır [10].

Çeliklerde karbürlerin kabalaşması mekanik özellikleri önemli oranda etkileyen bir durumdur. Kabalaşma hızı, çözünen elementin difuzyon katsayısına bağlıdır. Aynı koşullar altında veri bir sıcaklıkta sementit oluşmuş alaşım karbürlerinin herhangi birinden daha büyük bir hızda kabalaşacaktır. Sementit ve bir alaşım karbürün birlikte bulunduğu alaşımlı çeliklerde meydana gelen bu olayda sementit dağılımı daima daha kabadır. Belirli alaşım elementlerinin 500–600 °C aralığında ince alaşım karbür dağılımı oluşturma yeteneği vardır. Bu ince karbürler çok uzun süreli temperleme işleminden sonra bile çok ince boyutta kalır ve böylece birçok alaşımlı çelikte yüksek mukavemet düzeylerinin geliştirilmesini sağlar. 500–600 °C aralığında alaşım karbürlerinin oluşumu çoğunlukla su verilmiş konumdaki martenzitin mukavemetini aşması gibi önemli oranda bir mukavemet artışını da beraberinde getirmektedir. İkincil sertleşme olarak bilinen bu olay en iyi şekli ile molibden, tungsten, vanadyum, titanyum içeren çeliklerde ve ayrıca yüksek alaşım konsantrasyonları içeren kromlu çeliklerde görülür [10].

İkincil sertleşme prosesi bir tür yaşlanma sertleşmesi reaksiyonudur; burada göreceli olarak kaba sementit dağılımının yerini yeni ve çok daha ince alaşım karbürlerinin dağılımı alır. Kritik bir dağılım parametresinin eldesinde çeliğin mukavemeti bir

maksimum değere ulaşır ve karbür dağılımının yavaşça kabalaşmasıyla birlikte mukavemet düşer. Proses hem zaman hem de sıcaklık bağımlıdır [10].

3. BOR ELEMENTİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ VE ÇELİK İÇERİSİNDE ALAŞIM ELEMENTİ OLARAK KULLANILMASI

3.1 Bor Elementi

Metal ve ametal özelliklerin her ikisini birden göstermesi nedeni ile metaloid olarak adlandırılan ve periyodik sistemin üçüncü gurubunun başında bulunan bor elementinin atom numarası 5, atom ağırlığı 10.82, ergime sıcaklığı 2400 °C, sertliği 4900 HV ve 9.3 mohs sertlik değerine sahiptir [11,12].

Bor elementi doğada serbest olarak bulunmaz, yapay bor ise amorf ve kristal yapıda olmak üzere iki şekilde elde edilir. Amorf bor 2.34 gr/cm³ yoğunlukta siyah yada kahverengi toz şeklinde, kristal bor ise 2.33 gr/cm³ yoğunlukta parlak siyah renkte, sert ve kırılgan yapıdadır. Kristal bor; orthorombal ve tetragonal kristal kafes yapısına sahiptir [11]. Şekil 3.1’de Siyah – Gri Beta cevheri gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Siyah – Gri Beta Bor [11]

Bor elementi % 19.57 oranında B¹⁰ ve % 80.43 oranında B¹¹ izotoplarından meydana gelmektedir. Borun büyük bir nötron absorpsiyon kesiti vardır. Bu değer B¹⁰ izotopu için 75.5 barn ve B¹¹ için 38 barn’dır. B¹⁰ izotopu nükleer reaktörlerin kontrolü ve nükleer radyasyondan korunma nedeni ile büyük önem taşımaktadır [11].

3.2 Bor Elementinin Kullanım Alanları

Bor elementinin savunma sanayisinden, kimya sanayisine, tıp sektöründen metalurji sektörüne kadar bir çok kullanım alanı vardır. Çizelge 3.2’de bor ürünlerinin kullanım alanları ve kullanıldığı yerler detaylı olarak gösterilmiştir.

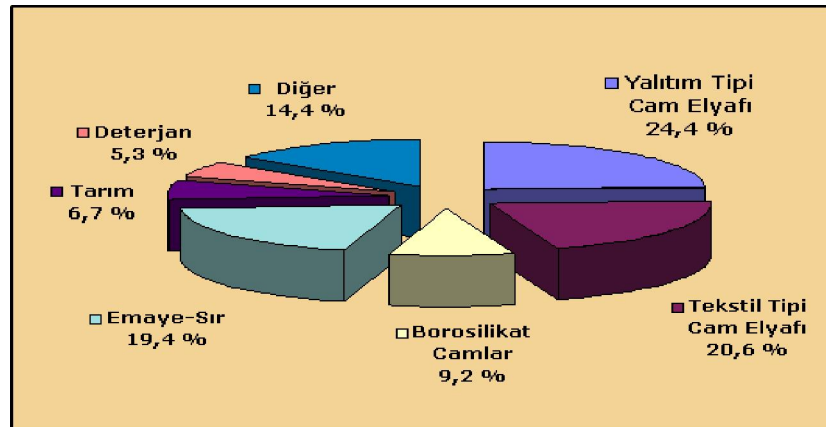
Çizelge 3.1 : Bor ürünlerinin kullanım alanları ve kullanım yerleri [12]

KULLANIM ALANI	KULLANIM YERLERİ
Savunma Sanayi	Zırh plakalar, Seramik plakalar, Ateşli silah namluları, Fişek v.b.
Cam Sanayi	Borosilikat, Laboratuvar camları, Uçak camları, Borcam, Pyrex, İzole cam elyafı, Tekstil cam elyafı, Optik lifler, Cam seramikleri, Şişe, Diğer düz camlar, Otomotiv camları v.b.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikrodalga tüpleri, Sensörler, Süper iletkenler, Yarı iletkenler, Magnetler, Elektron emiterleri, Mikro çipler, LCD ekranlar, CD sürücüler, Akım levhaları, Bilgisayar levhaları, Isıya ve aşınmaya dayanıklı fiber optik kablolar, Vakum tüpler, Dielektrik malzemeler, Elektrik kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli sigortalar, Bataryalar, Piller, Lazer printer tonerleri v.b.
Enerji Sektörü	Gaz türbinleri, Yüksek Isı transistörleri, Bor hidrür yakıtları, Isı enerjisi depolayıcılar, Piller, Hidrojen depolayıcılar, Güneş enerjisinin depolanması, Güneş pillerinde koruyucu, Hücre yakıtları v.b.
Görüş Sistemleri	Kamera ve mercek camları, Fotoğraf makinaları, Dürbünler, Banyo ve film imalatları
İlaç Kozmetik Sanayi	Dezenfekte ediciler, Antiseptikler, Diş macunları, Lens solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan v.b.
İletişim Araçları	Cep telefonları, Modemler, Televizyonlar v.b
İnşaat Sektöründe	Çimentoya mukavemet artırıcı ve izolasyon amaçlı olarak
Kağıt Sanayi	Geri kazanılan kağıtların mürekkeplerinden arındırılması, Yüksek kaliteli kağıtların parlaklaştırılması, Kağıt hamurunu beyazlatılması
Kimya Sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, Elektrolitik işlemler, Flotasyon ilaçları, Banyo çözeltileri, Katalistler, Atık temizleme amaçlı olarak, Petrol boya, Yanmayan ve erimeyen boyalar, Tekstil boya, Yapıştırıcılar, Soğutucu kimyasallar, Korozyon önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve cilalar, kibrit, Kireçlenme önleyicileri, Dezenfektan kimyasallar, Kozmetikler, yumuşatıcılar, Sabun, Toz deterjanlar, Toz beyazlatıcılar, Ağartıcılar, Parlaticılar, Ahşap emprenye çözeltileri, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap malzemeler ve ağaçlarda koruyucu olarak, Boya ve vernik kurutucularında, Küf ve mantar önleyiciler, v.b.
Makine Sanayi	Manyetik cihazlar, Zımpara ve aşındırıcılar kompozit malzemeler, Titreşim söndürücü malzemeler, Sert malzemeler, Motorlar, katı yağlayıcılar, Yüksek sıcaklık sızdırmazlık contaları, Yüksek performanslı Motor yağları, v.b.

Çizelge 3.1 (devam): Bor ürünlerinin kullanım alanları ve kullanım yerleri

Nükleer Sanayi	Nükleer atık depolama (kolemanit cam bloklar), Reaktör aksamaları, Nötron emiciler, Reaktör kontrol çubukları, Nükleer kazalarda güvenlik amaçlı ve nükleer atık depolayıcı olarak, Nükleer teknolojide emniyet malzemeleri
Metalurji	Kaplama elemanları, Yüksek sıcaklık refrakterleri, Kaplama sanayiinde elektrolit olarak, Paslanmaz ve alaşımlı çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya karşı dayanıklı malzemeler, Kaynak elektrotları, Metalurjik flaks, Briket malzemeleri, Lehimleme, Döküm malzemelerinde Katkı maddesi olarak, Kesiciler, Kompozit malzemeler, Zımpara ve aşındırıcılar
Otomobil Sanayi	Titreşim söndürücü malzemeler, Hava yastığı şişirme mekanizmaları, Bor hidrür yakıtları (boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Hidrojen depolayıcılar, Hava yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik aksamda, Yağlarda ve metal aksamalarda, Isı ve ses yalıtımı sağlamak amacıyla, Antifrizler, v.b.
Seramik Sanayi	Emaye, Fayans, Porselen boyaları, sırlar, v.b.
Spor Malzemeleri	Kayak aksamaları, Tenis raketleri, Ok-yay, Balık oltaları, Golf sopaları, Darbe söndürücüler, vb.
Tarım Sektörü	Sentetik gübreler, Biyolojik gelişim ve kontrol kimyasalları, Küf ve mantar önleyiciler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani otlar, v.b.
Tekstil Sektörü	Isıya dayanıklı kumaşlar, Yanmayı geciktirici ve önleyici selülozik malzemeler, İzolasyon malzemeleri, Tekstil boyaları deri renklendiricileri, Dericilikte kireç çöktürücü, Suni ipek parlatma malzemeleri, v.b.
Tıp	Yapay organlar, Antibiyotikler, Osteopoz tedavilerinde, Alerjik hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik gelişiminde ve artiritte, Menopoz tedavisinde, BNTC terapi yöntemiyle beyin kanserlerinin tedavisinde tümör öldürücüler, Manyetik rezonans görüntüleme cihazlarında, v.b.
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve ısıya dayanıklı malzemeler, Roket yakıtı, uydular, uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar, Radar dalgası soğurucular, v.b.

Borun genel kullanım alanlarının Şekil 3.2’de % dağılım oranları görülmektedir.



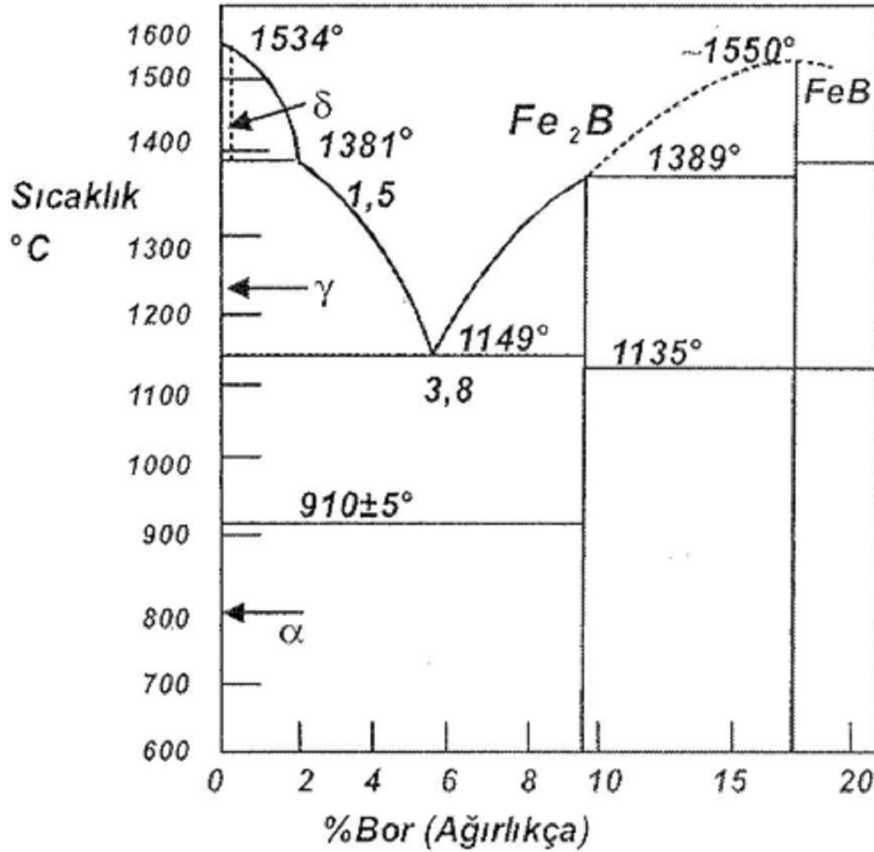
Şekil 3.2 : Bor tüketimin nihai kullanım oranına göre dağılımı [14]

3.3. Çelik Üretiminde Borun Alaşım Elementi Olarak Kullanılması

3.3.1 Demir – bor denge diyagramı

Demir Bor ikili faz diyagramına bakıldığında metaller arası iki bileşik görülmektedir. Bunlar; FeB ve Fe₂B bileşikleridir. Ferrobör alaşımları FeB ve Fe₂B gibi metaller arası bileşiklerden oluşmaktadır. 1538 °C’de eriyen demir ve 2092 °C’de eriyen borun oluşturduğu sistemde FeB ortorombik kristal yapıya sahip olduğu ve birim kafesin 4 Fe ve 4 B atomlarından meydana geldiği bilinmektedir[3]. Fe₂B ise, tetragonal kristal yapıya sahip olup, 12 atom noktası içerir [14].

Şekil 3.3’de görülen Fe - B ikili denge diyagramında Fe₂B’nin bileşiminde % 8,83, FeB’nin bileşiminde ise % 16,2 bor bulunmaktadır. İkili denge diyagramına göre % 9-16 arasında bor içeren alaşımda faz dağılımı Fe₂B ve FeB bileşiklerinden veya kristallerinden ibarettir. % 16,2’den fazla bor içeren alaşım ise FeB ve B kristallerinden oluşur. 1149 °C sıcaklık ve % 3,8 bor bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır [14].



Şekil 3.3 : Demir – bor denge diyagramı [14]

Bor eliklerde katı halde ppm mertebesinde çözülebilir. Borun atom çapı demirin atom çapından % 25 daha küçük olduğundan bu element ile katı eriyik yapılabilir. Demir alaşımlarında alaşım elementlerinin genellikle atom çaplarına bağlı olarak arayer elementi olarak çözünebileceği bilinmektedir. Bu gerçekten hareketle, bor α - Fe'de hem yeralan hem de arayer olarak bulunmaktadır. Düşk sıcaklıklarda demir içerisinde borun çözünürlüğü karşılaştırıldığında 1/50 oranında arayer atomu olarak çözünmektedir. Difüzyon araştırmaları, α - Fe'de bor yayınımları için gerekli aktivasyon enerjisinin, yeralan katı eriyik için beklenen mertebede olduğunu göstermiştir. B - Fe ile yapılan difüzyon çalışması verileri aktivasyon enerjisinin arayer çözünürlük için uygun olduğunu göstermiştir [14].

Bor, α , γ ve δ demirde çok az çözünebilir. α - demirde 910 °C'de maksimum çözünebilirlik 20 - 80 ppm iken, buna karşılık γ -demirde 1150 - 1170 °C'de 55 - 260 ppm bor çözülmektedir. öznebilirliğin genişliği, esas malzemenin sağlığı ve tane boyutundaki değişiklikleri belirler. Fe ve B arasında Fe₂B (% 8,83 B), FeB (%16,23 B) bileşikleri ve 1149 °C'de , % 3,8 B bileşiminde bir ötektik nokta oluşur. Dolayısıyla borlanmış yüzey 1149 °C'ye kadar ısıdan etkilenmez. Fe - B sisteminde alaşım elementleri, örneğin % 1 ötektik sıcaklığını 50 °C aşağıya düşrmektedir [14].

3.3.2 elik üretiminde ferrobor

Ferroborun en çok kullanıldığı alanlardan biri elik sanayidir. eliğe ilave edilen çok düşk oranlardaki bor, hem yalın karbon çelikleri ve hem de alaşımlı çeliklerin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Sertleştirmeyi arttırmak için çeliğin içine 5 - 15 ppm (maksimum 30 ppm) bor ilave edildiği bu güne kadar ki çalışmalarda görülmektedir. Bor, çeliğe ilave edilen diğer sertleştirici elementlerin, örneğin karbon, manganez, krom, molibden, v.b. sertleştirme derecesini de arttırdığı söylenmektedir. Çeliğin içine çok az miktarda ilave edilmesi durumunda çeliğin sertliğini arttırması nedeniyle bor, çelikte kullanılan pahalı alaşım elementleri maliyetinde tasarruf sağlar. Alaşımlı çeliklere % 0,0010 - 0,0030 arasında bor ilave edilmesi, bu çeliklerin yapısında gerek duyulan Ni, Cr ve Mo miktarlarını düşrr [14].

Borun oksijen ve azota karşı ilgisi yüksektir. Bu nedenle bor, elik içinde çözünmüş olan oksijen ve azot tarafından bağlanır. Bunu önlemek için bor, bu iki elementten korunmalıdır. Boru oksijenden korumak için sıvı elik; kalsiyum, alüminyum ve silisyumdan herhangi birini veya birkaçını kullanarak ön deoksidasyona tabi

tutulur. Titanyum (Ti) veya Zirkonyum (Zr) kullanmak suretiyle de, sıvı çelik içindeki azotun bor yerine Ti veya Zr ile reaksiyona girmesi sağlanır [14].

Bor, çeliğin sertliğini karbür oluşturmak suretiyle arttırır. Diğer karbür yapan elementlerle kıyaslandığında, çeliğe aynı derecede sertlik kazandırmak için çok az bor ilâvesi gerekir [14].

Birkaç yüz çeşit borlu çelik mevcuttur ve bunlar ISO, AISI, AFNOR ve DIN tarafından standartlaştırılmıştır. Borlu çeliklerin çoğu Mn ve Cr (% 0,5'e kadar) ile alaşımlandırılmıştır. Bazı hallerde Ni ve Mo içerirler. Karbon oranları, % 0,15 ile % 0,45 arasında değişir. Borlu çelikler başlıca sertleştirilmiş ve temperlenmiş, bazı hallerde ise yüzey sertleştirilmiş koşullarda kullanılırlar. Borlu çelikler başlıca alimünyum ile deokside edilirler. Deoksidasyon sonucu yapıda % 0,003 oranında alimünyum kalır. Borlu çeliklere, genellikle (% 0,03 Ti'lu), nitrüasyon işlemi de uygulanır [14].

Östenitik çeliklere % 0,0005 oranında ilave edilen bor, çeliğin yüksek sıcaklık mukavemeti ile sürünme mukavemetini iyileştirir. Yüksek hız çeliklerinin kesme performansını arttırmak için, bu çeliklere de bor ilave edilmektedir [14].

18 - 8 Krom-Nikelli östenitik paslanmaz çeliklere ilave edilen bor, çökeltme sertleşmesi yaparak çeliğin elastik limitini arttırır, fakat oksitlenme direncini düşürür. AISI 321 östenitik paslanmaz çeliğe % 0,01'e kadar bor ilavesi, bu çeliğin 650 °C sıcaklıkta ve 157 N/mm²'lik gerilme altında, kullanım ömrünü 8000 saatten 18000 saate uzatır. Krom-Nikelli ASTM 316 paslanmaz çeliklerinde % 0,004 - 0,009 oranlarında bor, şekil verme aralığında (950 - 1250 °C) çeliğin şekil alma kabiliyetini önemli derecede arttırır. Östenitik ısıya dayanıklı paslanmaz çeliklerde ve ferritik çeliklerde çok düşük oranlarda (% 0,002 - 0,005) bor; titanyum, molibden ve niobyum ile birlikte kullanıldığında çeliğin sürünme özelliklerini iyileştirir. Yapısında % 2,5'e kadar bor bulunan çelikler, nükleer reaktörlerde kontrol çubuğu olarak kullanılır [14].

3.3.3 Borlu çelikler

Yüzlerce farklı kullanım alanına sahip olan bor ve bor türevi ürünlerin endüstriyel anlamda yeni sayılabilecek uygulama alanlarından biri de çelik endüstrisidir. Her ne kadar borun çeliklerde sertleşme kabiliyeti üzerindeki olumlu etkisi 1940'lı yıllardan beri bilinse de ancak yakın zamanda metalurji sanayinin gelişimi ile borlu çelik

üretimindeki sorunlar aşılabilmiş ve böylelikle bu tür çelikler farklı iş kollarınca kullanılabilir olmuşlardır. Çelik endüstrisinde bor, alaşım elementi olarak katıldığı çeliğe yüksek oranda sertleşme kabiliyeti kazandırması ile tanınır [14].

Borun alaşım elementi olarak eklenmesi sonucu etkili bir şekilde sertleştirme mekanizmasının görülmesi için yapıdan oksijenin ve azotun giderilmesi önemli bir husustur. Çünkü borun oksijen ve azota karşı afinitesi son derece yüksek olmasından dolayı bu elementlerle birleşik oluşturma ihtimali çok yüksektir. Yapıdaki karbon miktarının artmasıyla birlikte borun sertleştirme mekanizmasında düşme görülmektedir. Araştırmacıların tespitlerine göre %0.9 C ve yukarısı miktarlarında bor yapı içerisinde göze çarpan bir sertleştirme etkisi yapmaz. Yukarıdaki ön görülen karbon miktarı ve borun sertleştirme etkisinin sebebi östenit çekirdeğinde iki elementinde aynı etkiyi yaptığının sonucu çıkarılmıştır. Bor ve karbon östenit stabilitesini arttırmaktadır ve ayrıca bor daha küçük taneli östenitlerin oluşmasına sebep olur böylelikle daha sert bir yapı oluşmaktadır [7].

Birkaç yüz çeşit borlu çelik mevcuttur. Borlu çeliklerin çoğu Mn ve Cr ile alaşımlandırılmıştır. Bazı hallerde Ni ve Mo içerirler. Karbon oranları, % 0,15 ile % 0,45 arasında değişir. Borlu çelikler sertleştirilmiş, temperlenmiş ve bazı hallerde yüzey sertleştirilmiş koşullarda kullanılırlar. Toplam bor içeriği, çözülmeyen bor bileşikleri de dahil olmak üzere % 0,006 değerini geçmemelidir. Borlu çelikler başlıca alüminyum ile deokside edilirler. Deoksidasyon sonucu yapıda % 0,03 oranında alüminyum kalır [6].

Östenitik çeliklerin bor ile alaşımlanması dispersiyon sertleşmesi ile sonuçlanmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu maksimum sertliğin elde edilmesi için soğutma işleminin 1230 °C ve yukarısı sıcaklıklardan yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır ayrıca uygun temperleme işlemi uygulanırsa bu sıcaklığın optimum olarak 800 °C civarında olması gerekmektedir [7].

Bor alaşımının çeliğin sertleşmesine etkisi karbon miktarına bağlı olarak hesaplanabilir. Bor faktörü (F_B) olarak adlandırılan denklem 3.1'de verilmiştir

$$F_B = 1 + 1.5 (0.9 - \%C) \quad (3.1)$$

Formülden anlaşıldığı gibi karbon miktarının artması ile bor faktörü azalmaktadır. Eğer bor faktörü 2 üzerinde ise borun sertleştirme etkisi gayet iyidir. Bor faktörü 1.5

değerinin altına düştüğünde borun çeliğin sertleşmesine etkisi düşük değerlerdedir [15].

Bor, çelikte hem asitte çözünebilir, hemde çözünmeyen bileşikler halinde bulunur. Örneğin en etkin bor bileşiği olan $\text{Fe}_{23}(\text{B,C})_6$ sülfirik asitte çözünebilir karakterdedir. Bu bileşik aynı zamanda normal östenitleştirme sıcaklığında östenit katı eriyiği içine girer (çözünür). Böyle bir durum, karbon atomları gibi çelik içerisinde her tarafta yayınma yapacak bor atomlarının mevcut olduğunu ve bunların çoğunun tane sınırlarına doğru yayınma hareketi yapmalarının söz konusu olacağını ifade eder. Borlu çeliklerin sertleştirme mekanizmalarına ilişkin çeşitli teoriler mevcuttur. Bu teorilerin tümü, sertleşebilirliğin borun çeliğin tane sınırlarında konsantre olmasına, doğrudan veya dolaylı olarak bağlı olduğunu varsaymaktadır. Borlu bir çelik sertleştirme sıcaklığından soğutulduğunda borun çözünürlüğü azalır. Borun çözünürlüğünün azalması, tane sınırlarında bol miktarda borun konsantre olmasına ve buna bağlı olarak çok küçük $\text{Fe}_{23}(\text{B,C})_6$ tanelerinin oluşmasına neden olur. Bor karbür $\text{Fe}_{23}(\text{B,C})_6$ tanelerinin, aralarında ayrıştıkları iki östenit tanesinden biriyle bir miktar koheran ilişkide olduğu varsayılır. Bu ilişki, yüzey gerilmesi tane sınırı enerjisinde azalmayla sonuçlanan $\text{Fe}_{23}(\text{B,C})_6$ ile östenit arasında bir atomik temas kurar. Katı eriyikte borun ve tane sınırlarında koheran bor karbürün mevcudiyeti, ferrit, perlit ve bir miktar beynit oluşmalarını geciktirir ve böylece çeliğin sertleşebilirliğini artırır [6].

4. ÖSTENİTİK ÇELİKLER

Östenitik çelikler genel olarak Fe-Mn, Fe-Cr-Mn, Fe-Cr-Ni, Fe-Mn-Ni alaşımlama sistemi ile elde edilir.

Non-manyetik yapıda olan östenitik çeliklerden korozyon direnci özelliğinden farklı olarak yüksek mukavemet, yüksek ısıl direnç ve farklı sıcaklık parametrelerinde iyi süneklik özelliği istenebilir.

Östenitik çeliklerde sertlik ve akma mukavemetini arttırmak için, alaşım elementlerinin eklenmesi ile katı ergiyik sertleşmesi, deformasyon sertleşmesi ve çökelti sertleşmesi gibi yöntemler kullanılabilir. Çökelti sertleşmesi, aşırı doymuş durumda olan γ fazından çok ince yapıda olan ikincil fazların (karbür, nitrür ve intermetalik) çökmesi ile sağlanır ve mukavemet artışına katı ergiyik sertleşmesi yönteminden daha fazla katkısı vardır. Östenitik çeliklerde çökelti sertleşmesi alaşım elementleri ve uygulanan ısıl işlemin kombinasyonudur.

Nikel ve mangan gibi bazı elementler demir-karbon denge diyagramında γ alanını genişletirler. Yeteri kadar alaşım elementi eklendiğinde yüzey merkezli kübik östeniti kararlı veya yarı kararlı olarak oda sıcaklığında korumak mümkündür. Yalnızca krom ile alaşımlanan bir yalın karbonlu çelik γ alanını kapatıp, ferrit oluşumuna destekleme eğilimindedir. Bununla birlikte nikel içeren bir çeliğe krom eklendiğinde $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümünün kinetiği geciktirilir ve böylece östenitin oda sıcaklığında bulunması daha kolay bir hale gelir. Krom yüzeyde ince ve kararlı bir oksit filmi oluşturarak çeliğin korozyon direncini önemli düzeyde geliştirir. Bu nedenle krom-nikel paslanmaz çelikleri hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklardaki geniş bir korozif ortam çeşitliliğinde en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Buna ilave olarak östenitik paslanmaz çelikler kolaylıkla üretilmekte ve ferritik çeliklerde bir çok probleme neden olan gevrek/sünek geçiş karakteristiği göstermemektedir [2].

4.1 γ ve α Faz Alanları

Şekil 4.1’de ikili demir denge sistemlerinin dört ana kategoriye ayrılabilceği gösterilmiştir. Bu yaklaşım alaşım elementlerinin denge diyagramlarını iki şekilde etkileyebileceğini göstermektedir [2].

a) γ alanını genişleterek ve östenit oluşumunu daha geniş bileşimsel sınırlar dahilinde sağlayarak. Bu elementler γ oluşturunucular (γ stabilizatörü) olarak isimlendirilir.

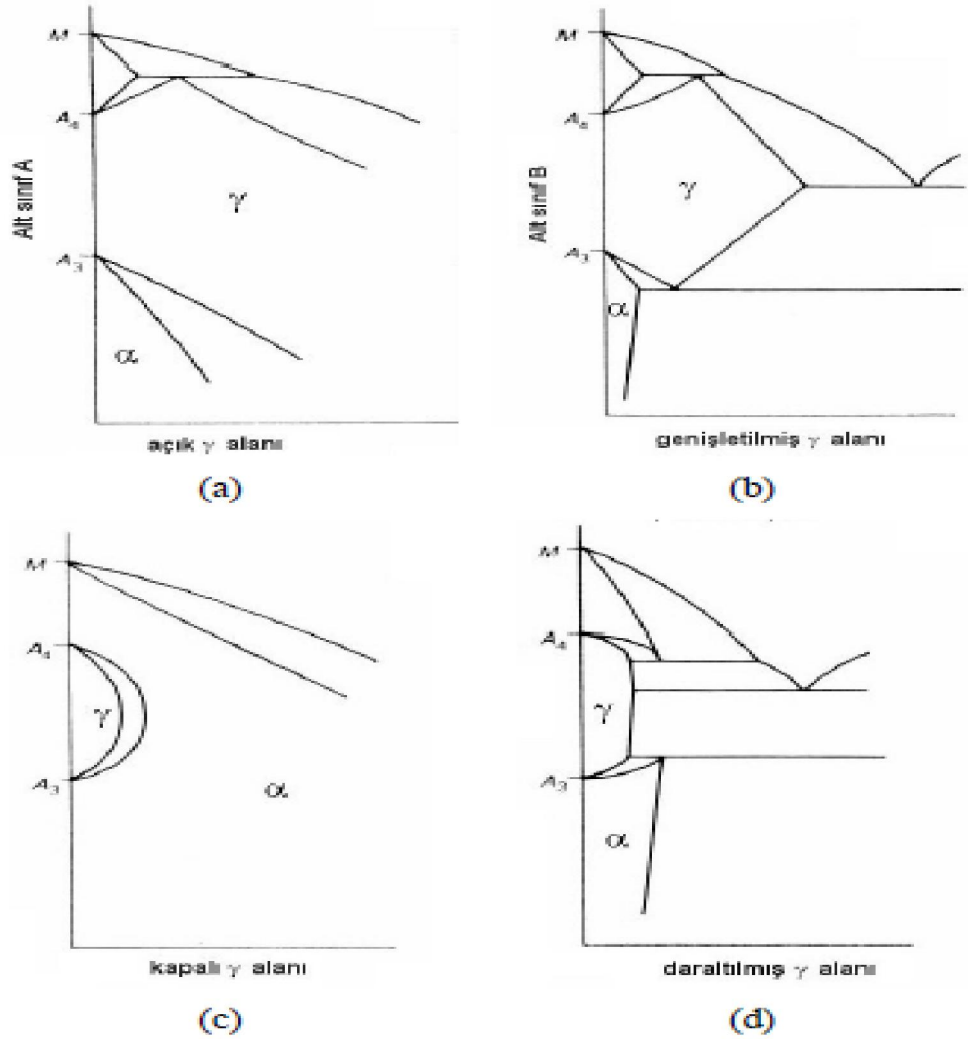
b) γ alanını daraltarak ve ferrit oluşumunu daha geniş bileşimsel sınırlar dahilinde sağlayarak. Bu elementler α oluşturunucular (α stabilizatörü) olarak isimlendirilir.

Sınıf 1 Açık γ alanı : Çeliğin önemli alaşım elementlerinden nikel ve mangana ilave olarak rutenyum, rodyum, palladyum, osmiyum, iridyum ve platin gibi inert metaller ve kobalt bu gruba dahildir. Hem nikel hem de mangan yeteri kadar yüksek konsantrasyonlarda ilave edilirse HMK α -fazını tamamen elimine ederek oda sıcaklığında bile γ -fazını stabilize ederler. Dolayısıyla nikel ve mangan γ - α faz dönüşümünü daha düşük sıcaklıklara öterler (Şekil 4.1a). Böylece hem A_{e1} hem de A_{e3} sıcaklıkları düşürölür. Ayrıca γ -bölgesinden oda sıcaklığına suvererek yarıkaraklı östenit elde etmek daha kolaydır. Sonuç olarak nikel ve mangan östenitik çeliklerin bileşimleri için son derece önemli elementlerdir [2].

Sınıf 2 Genişletilmiş γ alanı : Bu grupta karbon ve azot en önemli elementlerdir. γ -faz alanı genişletilir. Ancak östenitin varoluş aralığı bileşen oluşumuyla sınırlandırılır (Şekil 4.1b). Bakır, çinko ve altın benzer bir etkiye sahiptir. γ -alanının karbon ve azotla genişlemesi kütle-% 2 karbon veya kütle-% 2.8’e kadar azot içeren homojen katı ergiyik (östenit) oluşumuna izin verdiğinden tüm çelik ısıt işlemlerinin temelini teşkil eder [2].

Sınıf 3 Kapalı γ alanı : Pekçok element diyagramdaki γ -alanını çok daha küçük bir alana indirgeyerek γ -demiri oluşumunu kısıtlar (Şekil 4.1c). Bunun anlamı ise ilgili elementlerin HMK demiri (ferrit) oluşumunu kolaylaştırmasıdır ve bunun sonucunda da δ - ve α -faz alanları sürekli hale geçerler. Böylesi bir durumun sözkonusu olduğı alaşımlar dolayısıyla γ/α faz dönüşümünü içeren normal ısıt işlemler için uygun değildir. Silisyum, alüminyum, berilyum ve fosfor, güçlü karbür oluşturunucular elementler titanyum, vanadyum, molibden ve krom ile birlikte bu gruba girmektedir [2].

Sınıf 4 Daraltılmış γ alanı : Bor başta olmak üzere karbür oluşturuç elementler olan tantal, niyobyum ve zirkonyum bu gruptaki en önemli elementlerdir. γ -bölgesi bileşen oluşumuyla çok güçlü bir şekilde sınırlandırılmaktadır (Şekil 4.1d). Bor çeliklere sertleşebilirlik sağlaması amacı ile katılır. Bor katkılı çeliklerin ısıt işlemleri sıradışı bir karakteristik göstermektedir. Ötektoid altı çeliklerde bor sertleşebilirliği arttırırken ötektoid çeliklerde herhangi bir etkisinin olmaması ile birlikte özellikle ötektoid üstü çeliklerde sertleşebilirliği azaltır. Bunun yanında östenit tane boyutunun daha küçük olması borun sertleşebilirliğe olan katkısını arttırır. Çok yüksek sıcaklıklarda östenitleştirme yapılması halinde ise borun sertleşebilirliğe olan katkısı azalacaktır. Maksimum bor etkisi konsantrasyon değerinin 0.0005-0.003 (%-kütle) aralığında olması halinde söz konusudur. Bor katkısı ile sertleşebilirliğin arttırılması halinde martenzit başlangıç sıcaklığı (M_s) düşmez [2].

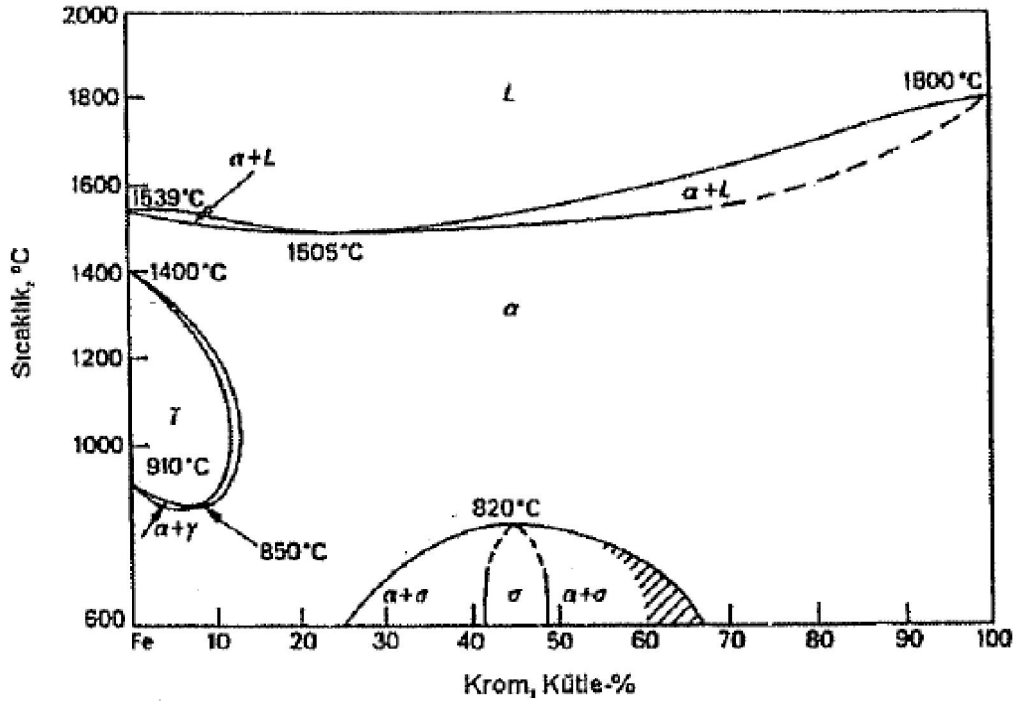


Şekil 4.1 : Demir alaşımı faz diyagramlarının sınıflandırılması. (a) açık γ alanı, (b) genişletilmiş γ alanı, (c) kapalı γ alanı ve (d) daraltılmış γ alanı [2]

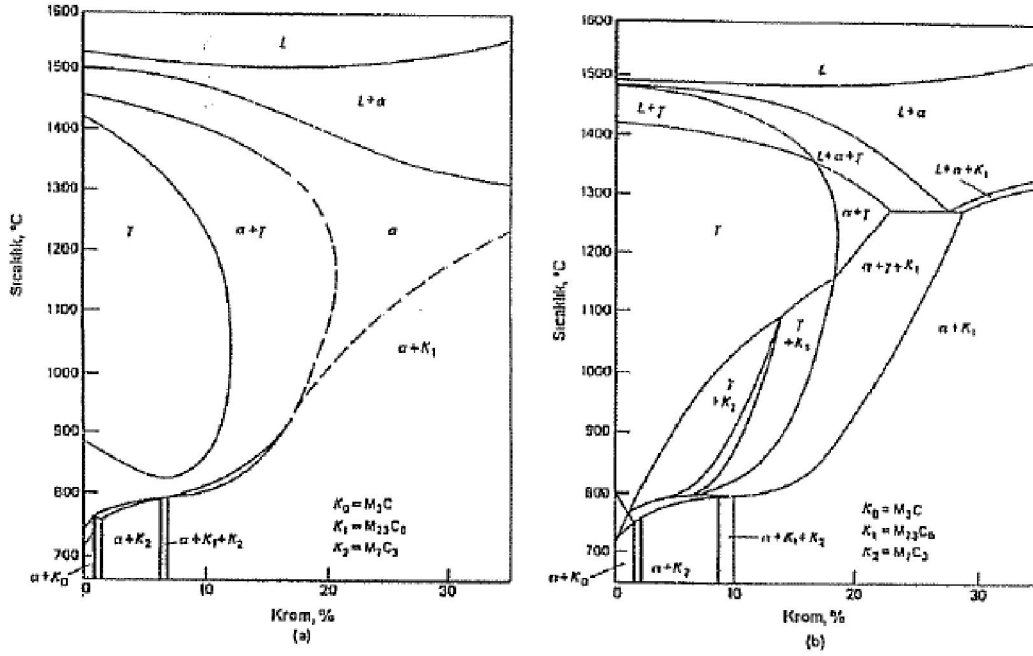
4.2. Nikelli Östenitik Çelikler

Demir-krom ikili denge diyagramında (Şekil 4.2), kromun γ alanını % 13 Cr miktarının üzerinde tüm sıcaklık aralığında ikili alaşımlar ferritik olacak şekilde sınırlandırdığını ve % 12-13 Cr aralığında da dar bir $(\alpha+\gamma)$ alanı bıraktığını göstermektedir. Buradaki ferrit normalde delta ferrit olarak anılır. Çünkü bu çeliklerde bu faz ergime noktasından oda sıcaklığına kadar sürekli bir varoluş alanına sahip olabilmektedir. İkili alaşıma karbon ilavesi γ alanını daha yüksek krom miktarına doğru (şekil 4.3), ayrıca $(\alpha+\gamma)$ faz alanını da % 0,3 karbon miktarına kadar genişletir. %18 Cr içeren bir çeliğe artan miktarlarda karbon eklenirse yaklaşık % 0,004 karbona kadar olan aralıkta çelik tamamen ferritiktir (şekil 4.3a) ve dönüştürülemez. %0,08-0,22 karbon arasında $(\alpha+\gamma)$ yapıları oluşturan kısmi dönüşüm mümkünken %0,4 C üzeri çelik eğer γ alanından yeteri kadar hızlı soğutulursa tamamen östenitik yapılabilir (şekil 4.3b). Karbonun ikinci etkisi şekil 4.3'de belirtildiği gibi yapıya karbürleri sokmaktadır [2].

Östenitik çeliklerde $M_{23}C_6$ oluşan en önemli karbüdür ve korozyon direnci üzerine önemli bir etkiye sahiptir [2].



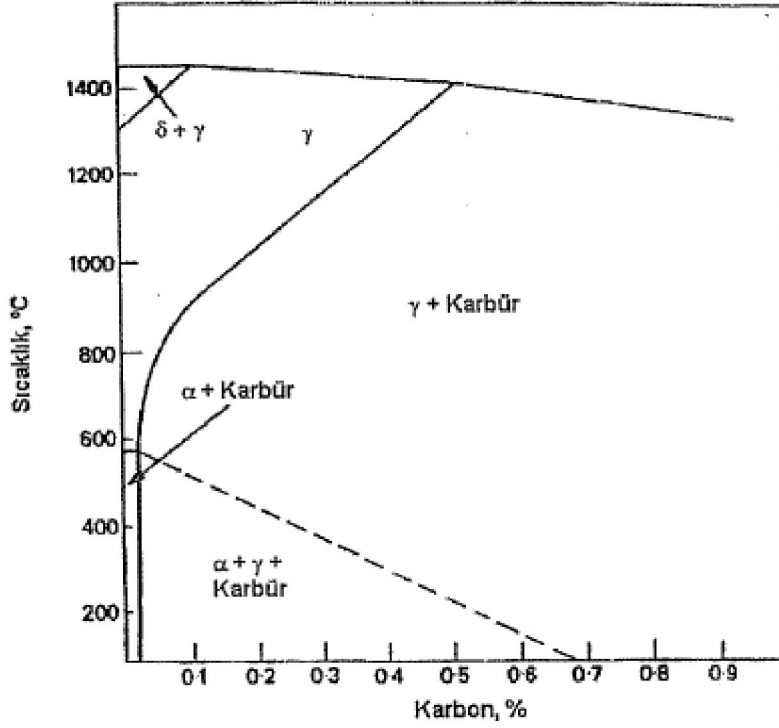
Şekil 4.2 : Fe-Cr denge diyagramı [2]



Şekil 4.3 : Fe-Cr diyagramına karbonun etkisi. a) 0,05 C b) 0,4 C [2]

Düşük karbonlu bir demir % 18 Cr alaşımına nikel eklenirse, γ faz alanı yaklaşık % 8 Ni seviyesi oda sıcaklığına kadar genişletilerek (şekil 4.4) % 18 Cr % 8 Ni esaslı östenitik çeliklerin benzer bir grubu oluşturur. Bu özel bileşim, östeniti oda sıcaklığında tutmak için minimum bir nikel miktarının gerekli olmasından kaynaklanmaktadır. Hem daha düşük hem de daha yüksek miktarlarında daha fazla nikel gerekmektedir. Örneğin daha fazla fazla korozyon dirençli yüksek kromlu çelikler, örneğin % 25 Cr'lu, östeniti oda sıcaklığında elde etmek için yaklaşık % 15 nikel gerektirirler. Martenzit oluşumu, tamamen östenit eldesinin yetersiz olduğunu gösterir. M_s sıcaklığının oda sıcaklığının altında olduğu durumlarda kararlı bir östenitten söz edilebilir. 18Cr8Ni çeliği aslında oda sıcaklığının hemen altında bir M_s değerine sahiptir ve soğutma sırasında, örneğin sıvılaştırılmış havada önemli düzeyde martenzite dönüşecektir [2].

Şekil 4.4 $M_{23}C_6$ fazının yaklaşık 900 °C'nin altındaki sıcaklıklarda var olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte çelik 1100-1150 °C'ye ısıtıldığında çözünür ve su vermede ise çökeltisiz östenit elde edilir. Ancak 550-750 °C aralığında yapılacak bir ısıtma ile $M_{23}C_6$ tercihli olarak tane sınırlarında tekrar çökelecektir [2].



Şekil 4.4 : 18Cr-8Ni çeliğinin faz diyagramına karbonun etkisi [2]

4.3 Manganolı Östenitik Çelikler

Mangan γ alanını genişletir ve bu nedenle de nikelin yerine kullanılabilir. Ancak nikel kadar güçlü bir γ oluşturmucu değildir ve etkinlik açısından yaklaşık olarak yarısına karşılık gelmektedir. Dolayısıyla mangan için daha yüksek miktarlar gerekmektedir. Kromun olmaması durumunda yüksek karbonlu (% 1-1,2) östeniti bile stabilize etmek için % 12 civarında Mn gereklidir. Tipik Cr-Mn çelikleri eğer karbon miktarı düşükse oda sıcaklığında östenitik konumda kalmak için % 12-15 Cr veya % 12-15 Mn gerektirir [2].

% 12 ile 20 Mn ve C:Mn oranı 1:10 olan östenitik mangan çeliklerinin aşınmaya dayanıklı malzeme oldukları, çok eskiden beri bilinir. Yapı 950 ile 1000 °C'den ani soğutmadan sonra, karbürsüzdür. Daha küçük soğuma hızlarında karbür çökmesi olur ve aşınma direnci bu durumda düşüktür [3].

Sert mangan çelikleri için, soğuk şekillendirmede dayanımın çok fazla artması karakteristik bir durumdur. 950 ile 1000 °C'den ani soğutmadan sonra yaklaşık 200 BSD olan sertlik değeri, soğuk şekillendirmeye üç kat değere kadar yükselir [3].

Aşınma dayanımı yüksek olan östenitik mangan çeliği olarak özellikle X 120 Mn 12 çeliği tanınır. Bu çelik, talaşlı olarak çok zor işlenir. Bundan dolayı, bu çelikten

yapılmış form parçalar, çelik döküm olarak dökülür ve dövme yöntemiyle şekillendirilir. Arzu edilen mekanik özelliklere ulaşılabilmesi için, östenitleştirme sıcaklığından suda ani soğutma yapılması zorunludur. 400 °C sıcaklığın üzerine ısınmada X 120 Mn 12 çeliğinin dayanıklılığı çok fazla düşer ve martenzit teşekkülünde olduğu gibi, tane sınırlarında ve kayma düzlemlerinde karbür çökmesi görülür [3].

4.4 Schaeffler Diyagramı

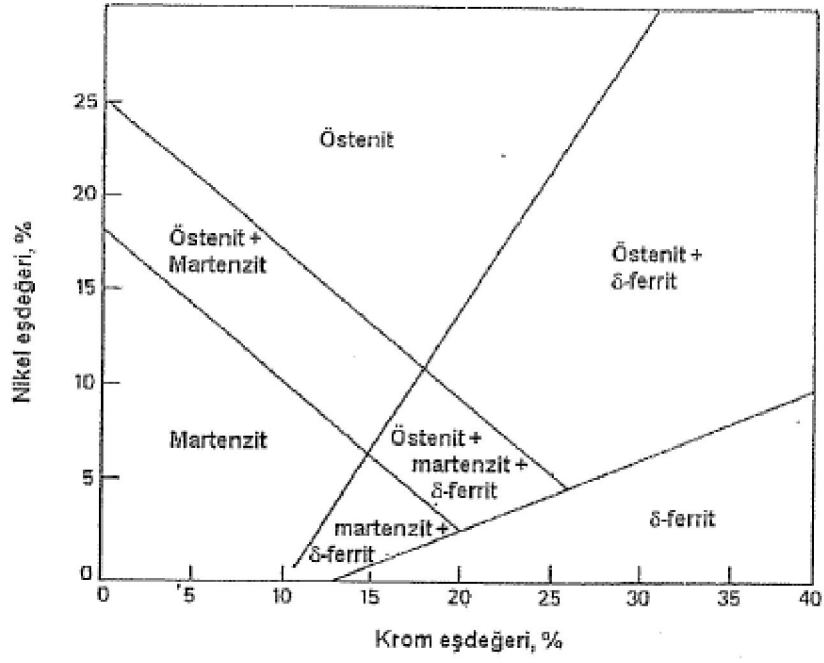
Çeşitli elementlerin krom-nikel paslanmaz çeliklerin temel yapısı üzerinde etkisini göstermenin en uygun yollarından biri, kaynak proseslerinde sıklıkla kullanılan Schaeffler diyagramıdır. Diyagramda oda sıcaklığında nikel ve krom eşdeğerleri cinsinden östenit, ferrit ve martenzit için bileşimsel sınırlar gösterilmiştir (şekil 4.5). En basit düzeyde diyagram, demir-krom-nikel alaşımları için anılan üç fazın varoluş alanlarını göstermektedir. Bununla birlikte diğer alaşım elementleri için krom ve nikel eşdeğerleri kullanıldığında diyagram çok daha geniş bir uygulama alanına cevap vermektedir. Tüm miktarlar kütle (%) olmak üzere krom eşdeğeri, en yaygın ferrit oluşturu elementleri kullanılarak ampirik olarak şöyle belirlenir.

$$\text{Cr eşdeğeri} = (\text{Cr}) + 2(\text{Si}) + 1,5(\text{Mo}) + 5(\text{V}) + 5,5(\text{Al}) + 1,75(\text{Ni}) + 1,5(\text{Ti}) + 0,75(\text{W}) \quad (4.1)$$

Benzer şekilde nikel eşdeğeride ileri gelen östenit oluşturu elementleriyle aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\text{Ni eşdeğeri} = (\text{Ni}) + (\text{Co}) + 0,5(\text{Mn}) + 0,3(\text{Cu}) + 25(\text{N}) + 30(\text{C}) \quad (4.2)$$

Metalik elementlere oranla karbon ve azotun daha büyük olan etkilerine özellikle dikkat edilmelidir. Diyagram belirli bir çeliğin oda sıcaklığında tam östenitik olup olmayacağının belirlenmesinde son derece yararlıdır.



Şekil 4.5 : Schaeffler diyagramı

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada kimyasal bileşimi özel olarak hazırlanmış ve çizelge 5.1’de verilen bor katkılı östenitik çelik (GX 75 Cr Mo Mn B 6 5 4) kullanılmıştır. Numuneler 45 mm çapta 300 mm boyunda hassas döküm yöntemiyle seramik kalıba dökülmüştür. Isıl işlemler protherm marka tüp fırında ve kuyu tipi fırında gerçekleştirilmiştir. Mikroyapısal incelemeler JEOL jem-2000 EX marka geçirimli elektron mikroskobu (TEM) ve JEOL Jsm-7000 F Field Emission Scanning Electron Microscopy marka tarama elektron mikroskobunda (SEM) yapılmıştır.

5.1 Östenitik Çelikte Oluşturulan Alaşım Dizaynı

Bu çalışmada öncelikli olarak östenitik çelikler incelenmektedir ve bazı alaşım elementlerinin östenitik çeliklere etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 5.1: Östenitik çeliğin kimyasal kompozisyonu (kütle, %)

C	0.75	Si	0.35
Mn	4.0	Cr	5.96
S	0.035	Mo	4.71
P	0.025	B	0.0093

Çelik içerisinde bulunan karbon oranının yüksek olması ve yapı içerisinde belirli miktarda krom bulunmasından dolayı % 4 mangan ilavesi yapıyı oda sıcaklığında dahi östenitik halde tutmaktadır.

Yüksek alaşımlı çelikler için Ms martenzit başlama sıcaklığını aşağıda verilen denklem ile hesaplamak mümkündür.

$$M_s = 561 - 475C - 33Mn - 17Ni - 17Cr - 21Mo \quad (5.1)$$

Çizelge 5.1’de verilen östenitik çeliğin kimyasal kompozisyonu denkleme göre hesaplandığında Ms sıcaklığı – 127 °C’dir. Yüksek sıcaklıktan oda sıcaklığına ani soğutma işlemi uygulandığında dahi östenit fazı stabil olarak kalacaktır ve çelik içerisinde martenzit oluşmayacaktır.

Molibden, kuvvetli karbür yapıcı bir elementtir. Yapı içerisinde % 4.71 molibden bulunması ve yapının döküm yöntemi ile üretilmesi ile birlikte ağ şeklinde M_2C karbürleri oluşmaktadır. M_2C karbür yapısında molibden elementi ile birlikte krom, demir ve bir miktar mangan elementide bulunabilmektedir. Molibden karbür bünyesinde çözülecek olan krom ve mangan elementleri karbür yapısını son derece stabil hale getirmektedir ve dolayısıyla karakteristik olarak östenit içerisinde zor çözünen molibden karbürlerin sıcaklığa karşı dayanımı daha da artacaktır. Oluşan bu karbürler yapıyı daha sert, mukavemetli ve aşınma direnci daha yüksek hale getirmektedir. Fakat ağ şeklinde oluşan karbürler yapıyı gevrek bir hale soktuğu için ısıtım işlemi yardımı ile ağ şeklindeki karbürlerin modifikasyonu sağlanmaya çalışılmaktadır. Ayrıca molibden elementi ikincil sertlik mekanizması için son derece önemli bir elementtir. Yaşlandırma işlemi yapılarak M_2C tipi karbürlerin çökmesi ile yapının sertliği ve mukavemeti artırılabilir.

Östenitik çelik içerisine katılan krom elementi molibden elementinde olduğu gibi yüksek sıcaklıkta dayanım sağlamaktadır ve karbür yapıcı bir elementtir. Krom elementi ferrit yapıcı özellikte olmasına rağmen nikel veya mangan gibi östenit yapıcı elementlerle birlikte belirli sınırlar dahilinde kullanıldığında östenit alanını açmaktadır ve yapının östenitik olmasını sağlamaktadır.

Çelik içerisine katılan bor elementi öncelikli olarak yapının sertleşebilirliğini son derece arttırmaktadır. Fakat deneysel çalışmada kullanılan östenitik çelik içerisinde yüksek miktarda karbon (% 0.75) bulunmasından dolayı bu mekanizma etkili bir rol alamamaktadır. Östenitik çeliklerde en etkili sertleşebilirlik mekanizmalarından biri çökelti sertleştirme yöntemidir. Yapı içerisinde bulunan bor elementini borür olarak çökeltme işlemi denenmiştir ve bunun için uygulanan işlem yüksek sıcaklıklarda (1230 °C ve yukarı) yapılan ısıtım işlemin ardından 800 °C de yapılacak olan yaşlandırma işlemidir.

5.2 Çeliğe Uygulanan Isıl İşlemlerin Belirlenmesi

Deneysel çalışmada öncelikli olarak ağ şeklinde oluşan ve yapıyı gevrek hale getiren M_2C tipi ötektik karbürlerin dağıtılması amaçlanmaktadır. Yapılan literatür taraması ve araştırmalar sonucunda 1150 °C ve üzeri sıcaklık değerlerinin ideal olduğu kanısına varılmıştır ve yapı içerisinde borür çökeltmelerinde elde edilmesi amaçlandığı için seçilecek olan ısıtım işlem sıcaklığının 1235 °C olmasına karar

verilmiştir. Sıcaklığın yüksek olmasından dolayı oluşacak tanecik kabalaşmasının önüne geçmek için yapılacak ısıtıl işlem süresinin iyi ayarlanması amacıyla ilk süre için 10 saat belirlenmiştir. Yapılan ısıtıl işlemlerin ardından oluşan yapıyı koruyabilmek için numuler yağ ortamında soğutulmuştur Isıtıl işlem süresince oluşacak oksitlenmenin önüne geçmek için argon atmosferinde çalışılmıştır ve belirlenen argon debisi 4 dk/l dir. Yapılan ısıtıl işlem sonunda herhangi bir oksitlenme görülmemiştir. Çok küçük miktarda ağ şeklinde karbürün yapıda kalmasına rağmen beklenildiği gibi ağ karbür yapısı dağıtılmıştır ve yapı içerisindeki karbürler küresel hale gelmiştir. 1235 °C de 10 saat yapılan ısıtıl işlemin sonrasında ikincil sertlik mekanizmasını incelemek için 550 °C ve 600 °C sıcaklıkta yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Ayrıca yapı içerisinde borür çökeltileri elde etmek için 800 °C de yaşlandırma işlemi de uygulanmıştır. Çizelge 5.2 de uygulanan yaşlandırma işlemleri gösterilmektedir.

Çizelge 5.2: 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri

Sıcaklık	Süre (saat)
550 °C	24, 48
600 °C	3, 6, 9
800 °C	6, 24

Yapılan bu birinci ısıtıl işlem periyodunun (1235 °C – 10 saat) ardından gerekli incelemeler yapıldıktan sonra ısıtıl işlem süresini arttırarak karbürlerin yapı içerisinde daha homojen bir şekilde dağıtılması hedeflenmiştir ve ısıtıl işlem süresinin 1235 °C’de 24 saat olmasına karar verilmiştir. Fakat yapılan ısıtıl işlem sonrasında ağ şeklindeki karbürlerin dağıtılamadığı tespit edilmiştir ve karbürler küresel bir hal alamamıştır. Döküm yapısından gelen alaşım elementlerinin homojensizliğinden dolayı bu ısıtıl işlemin başarısız olduğu düşünülmektedir ve sıcaklığın biraz daha arttırılması ile bu işlem tekrar edilmiştir.

1250 °C’de 24 saat süre ile yapılan ısıtıl işlem neticesinde ağ şeklinde oluşan karbür yapısı yeniden modifikasyona uğramıştır ve karbürler küresel forma ulaşmıştır fakat yapı içerisinde bir miktar ağ şeklinde karbür tespit edilmiştir. Yapı içerisinde oluşan ikincil sertlik mekanizmasını tam anlamıyla tespit etmek ve anlamak için 550 °C, 600 °C ve 700 °C de belirli sürelerde yaşlanma işlemi uygulanmıştır ve aynı şekilde borür çökeltileri elde etmek için 800 °C de belirli sürelerle yaşlandırma işlemi

uygulanmıştır. Çizelge 5.3’de östenitik çeliğe uygulanan yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri verilmiştir.

Çizelge 5.3: 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri

Sıcaklık	Süre (saat)
550 °C	1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48
600 °C	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3
700 °C	1, 2, 3, 6, 9, 12, 24
800 °C	1, 2, 3, 6, 9, 12, 24

Yapılan bu ikinci ısıtım işlemi periyodunun (1250 °C – 24 saat) ardından yapıdaki karbürlerin tamamının östenit içerisinde çözülmesi amaçlanmıştır ve sürenin daha fazla arttırılması düşünülmüştür. Öncelikli olarak seçilen süre 1250 °C’de 48 saattir. Yapılan bu ısıtım işlemi sonrasında bir miktar küresel karbürün yapı içerisinde mevcut olmasından dolayı süreyi daha fazla arttırmak gerektiği kanaatine varılmış ve 72 saat süre ile ısıtım işlemi yapılmıştır. Bu ısıtım işlemi neticesinde 1250 °C’de 72 saat sürenin ardından yapıda karbüre rastlanılmamıştır. 1250 °C’de 24 saat süre ile yapılan ısıtım işleminin yaşlandırmasında elde edilen optimum sonuçlar 48 saat ve 72 saat sürede yapılan ısıtım işlemi içinde denenmiştir. Çizelge 5.4 ve çizelge 5.5’de sırası ile 1250 °C’de 48 saat ısıtım işlemi gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri ve 1250 °C’de 72 saat ısıtım işlemi gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri verilmiştir.

Çizelge 5.4: 1250 °C’de 48 saat ısıtım işlemi gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri

Sıcaklık	Süre (saat)
700 °C	6, 9
800 °C	6, 9

Çizelge 5.5: 1250 °C’de 72 saat ısıtım işlemi gören çeliğe uygulanan yaşlandırma işlemleri

Sıcaklık	Süre (saat)
700 °C	6, 9
800 °C	6, 9

5.3 Mekanik Testlerin Uygulanması

Bor katkılı östenitik çeliğe uygulanan ısıt işlemlerin ardından sertlik, mukavemet ve tokluk optimizasyonu son derece önemlidir. Yapıda uzun süre ile uygulanan ısıt işlemin ardından sertlikte düşüş yaşanması kaçınılmazdır fakat oluşabilecek tanecik kabalaşması ile tokluk değerleride düşecektir. Bu yüzden yapılan ısıt işlemlerin ardından tane boyutu kontrolü yapılması tokluk değerlerini yukarıda tutmak için önemlidir.

Döküm yapısındaki östenitik çeliğin ölçülen sertlik değeri 347 Vickers'dır. 1235 °C'de 10 saat ısıt işlem yapıldıktan sonra yapı içerisinde bulunan ağ şeklindeki karbürlerin dağıtılması ve küresel bir forma sokulması neticesinde sertlik 282 VSD olmuştur. Çizelge 5.6'da 10 saatlik ısıt işlemin ardından yapılan yaşlandırma sonrasında ölçülen sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.6: 1235 °C'de 10 saat ısıt işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri

Yapılan Isıl İşlem (saat)	Sertlik (VSD)
550 °C – 24, 48	302, 275
600 °C – 3, 6, 9	279, 270, 268
800 °C – 6, 24	715, 647

600 °C'de yapılan yaşlandırma işlemlerinde herhangi bir sertlik artışı görülmemiştir. 550 °C'de yapılan yaşlandırma işlemlerinde 24 saat süre sonunda bir miktar sertlik artışı olmuştur fakat yaşlandırma işlemi 48 saat süre ile yapıldığında herhangi bir sertlik artışına rastlanılamamıştır. 24 saat süre ile yapılan yaşlandırma işleminde sertlik artışının çökelen karbürler ile meydana geldiği düşünülmektedir. Sürenin artması ile bu çökelti kabalaşacağı için sertlik değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. 800 °C'de yapılan yaşlandırma işleminde ise sertlik değerlerindeki artış çok fazladır. Bu artışın yapıda oluşan borür veya intermetalik çökeltiyle elde edildiği düşünülmektedir.

1250 °C'de 24 saat süre ile yapılan ısıt işlemin ardından ötektik ağ şeklinde bulunan karbürler küresel şekile gelmişti ve ölçülen sertlik değeri 286 Vickers'dır. Isıt işlem yapılmadan önce döküm halinde bulunan östenitik çeliğin sertliği 339 VSD'dir. Yapılan birinci ısıt işlem periyodunda 600 °C'de herhangi bir sertlik artışı görülmediği için daha farklı sürelerde yaşlandırma işlemi tekrar denenmiştir. 550 °C

yaşlandırma işlemi farklı sürelerde tekrar denenmiştir ve çökeltilerin oluşacağı uygun süre bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca 700 °C’de farklı sürelerde uygulanan yaşlandırma işlemi ile çökeltilerin oluşabileceği uygun sıcaklık değerleri aranmıştır. Çizelge 5.7’de 1250 °C’de 24 saatlik ısıtıl işlemin ardından yapılan yaşlandırma sonrasında ölçülen sertlik değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.7: 1250 °C’de 24 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri

Yapılan Isıl İşlem (saat)	Sertlik (VSD)
550 °C – 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48	272, 277, 267, 291, 269, 275, 281, 352, 302
600 °C – 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3	275, 274, 281, 262, 265, 271
700 °C – 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24	293, 319, 367, 402, 432, 511, 686
800 °C – 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24	528, 661, 668, 687, 706, 678, 586

İkinci periyotta yapılan ısıtıl işlemde (1250 °C – 24 saat) farklı süre ve sıcaklıklarda bir çok yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. 600 °C’de yapılan yaşlandırma işlemlerinde sertlik artışı sağlanamamıştır. 550 °C’de ise 36 saat sürenin sonunda sertlik değerleri artmıştır ve 48 saat süreye ulaşıldığında ise bu sertlik değeri bir miktar düşmüştür. Bunun sebebinin oluşan çökeltilerin kabalaşması olduğu düşünülmektedir. Yaşlandırma işleminin daha uygun bir şekilde yapılabileceği sıcaklık olan 700 °C denenmiştir ve uygun değerler elde edilmiştir. Sertlik değerleri yapılan yaşlandırma işleminin 1 saatinde artmaya başlamıştır ve 9 saat sürenin sonuna kadar sertlik artışı devam etmiştir. 12 ve 24 saatlik sürelerde ise sertlik değerlerinde düşme görülmüştür ve oluşturulan çökeltilerin bu sürelerde kabalaştığı düşünülmektedir. 800 °C de yapılan yaşlandırma işleminde sertlik değerleri 1 saat ile 9 saat süre arasında giderek artmaktadır ve sürenin daha uzun olması halinde yine sertlikte düşme görülmeye başlamıştır. 800 °C’de yapılan yaşlandırma işleminden sonra sertlik değerlerindeki çok fazla artışın çökelen borür veya intermetalikler ile sağlandığı düşünülmektedir. Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’de sırasıyla 1250 °C’de 48 saat ve 1250 °C’de 72 saat süre ile yapılan ısıtıl işlemlerin sonrasında yapılan yaşlandırma işlemi ile elde edilen sertlik değerleri verilmiştir. Seçilen yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri ikinci periyotta (1250 °C – 24 saat) elde edilen en uygun değerlerdir.

Çizelge 5.8: 1250 °C’de 48 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri

Yapılan Isıl İşlem (saat)	Sertlik (VSD)
700 °C – 6, 9 saat	323, 369
800 °C – 6, 9 saat	564, 603

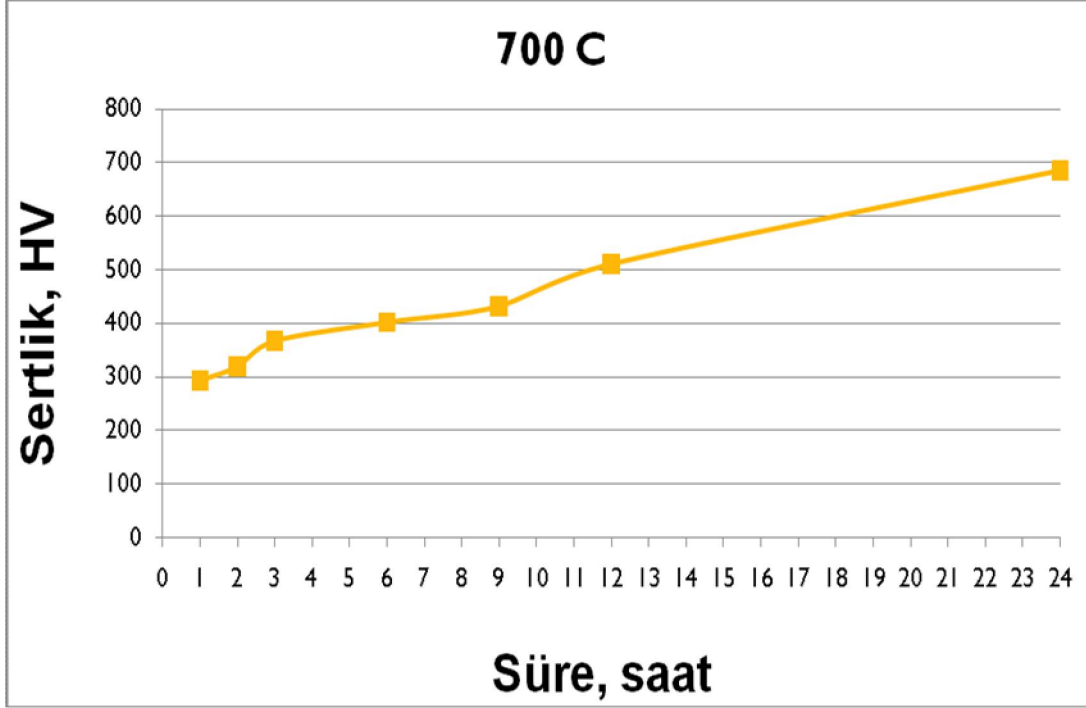
1250 °C’de 48 saat süre ile yapılan ısıtıl işlemden sonra ölçülen sertlik değeri 270 Vickers’dir. Yapılan yaşlandırma işlemlerindeki sertlik artışı 24 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemine göre düşük değerlerdedir. Uzun süreli yaşlandırma işleminde bazı tanelerde görülen kabalaşma ve yapıda bulunan karbürlerin çözünmesinden dolayı yaşlandırma işlemi sonrasında daha düşük sertlik değerlerine ulaşıldığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.9: 1250 °C’de 72 saat ısıtıl işlem gören çeliğin yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerleri

Yapılan Isıl İşlem (saat)	Sertlik (VSD)
700 °C – 6, 9 saat	294, 327
800 °C – 6, 9 saat	491, 524

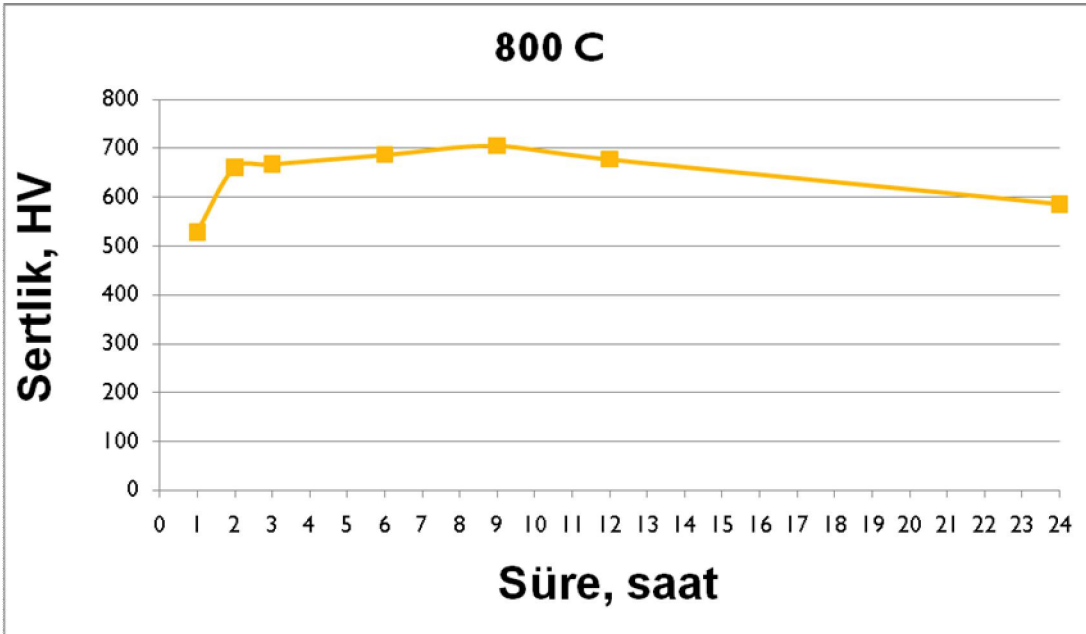
1250 °C’de 72 saat süre ile yapılan ısıtıl işlemden sonra ölçülen sertlik değeri 223 Vickers’dir. Yaşlandırma işleminin ardından ölçülen sertlik değerleri 1250°C’de 24 saat ve 48 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemlerinde elde edilen sertlik değerlerine göre daha düşüktür. Ölçülen sertlik değerlerinin daha önceki yaşlandırma işlemlerinde ölçülen değerlerden düşük olması, yapıda dökümden gelen birincil karbürlerin tamamının östenit içerisinde çözünmesinden ve bazı tanelerde kabalaşma görülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Tanelerde meydana gelen kabalaşma neticesinde çelik içerisinde bulunan tane sınırları azalacaktır ve böylece çökelicek yapılar daha az miktarda olacaktır.

Şekil 5.1 ve 5.2’de 1250 °C’de 24 saat ısıtıl işlem uygulanmış çeliğin sırası ile 700 °C ve 800 °C’de farklı sürelerde yapılan yaşlandırma işlemlerinden sonra elde edilen sertlik değerlerinin değişimi verilmiştir. Şekil 5.3’de ise 1250 °C’de 24 saat ısıtıl işlem uygulanmış çeliğin 700 °C ve 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerlerinin değişiminin karşılaştırılması verilmiştir.

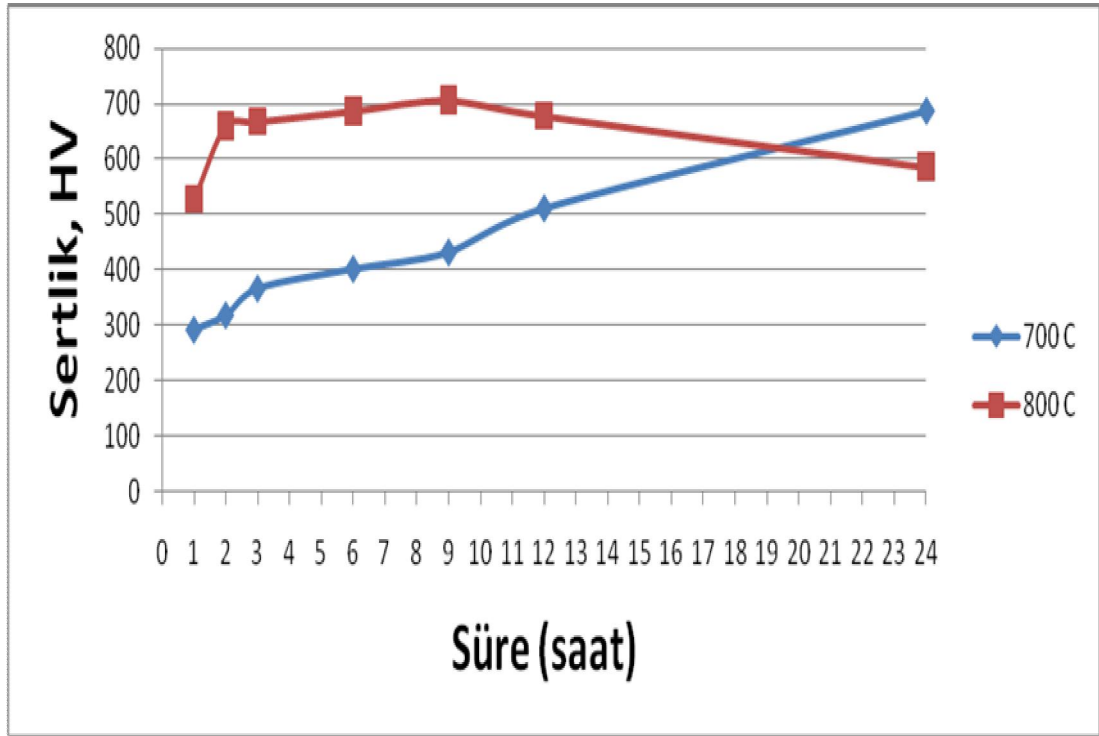


Şekil 5.1: 1250 °C’de 24 saat ısıtılma uygulanan östenitik çeliğin 700 °C’de farklı sürelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen sertlik değerlerinin değişimi

Ölçülen sertlik değerleri grafik haline getirilerek süreye bağlı olan sertlik değişimleri daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 5.2: 1250 °C’de 24 saat ısıtılma uygulanan östenitik çeliğin 800 °C’de farklı sürelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonrası elde edilen sertlik değerlerinin değişimi



Şekil 5.3: 1250 °C’de 24 saat ısıtılma işlemi uygulanmış çeliğin 700 °C ve 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasındaki sertlik değerlerinin değişiminin karşılaştırılması

Seçilen numunelere uygulanan çentik darbe testi sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Döküm yapısındaki östenitik çelikte ağ şeklindeki karbürler yapıyı gevrek hale getirmektedir ve darbe enerjisi 2 joule’dür.

1250 °C’de 24 saat süre ile yapılan ısıtılma işlemi sonrasında ölçülen darbe enerjisi 9 joule’dür. Yapıdaki ağ şeklindeki karbürlerin dağıtılması sonrasında bir miktar toklukta artış görülmüştür.

1250 °C’de 24 saat süre ile yapılan ısıtılma işlemin ardından 700 °C’de 9 saat süre ile ve 800 °C’de 9 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasında ölçülen darbe enerjileri 2 joule’dür. Yaşlandırma işlemleri sonrasında oluşan karbür ve borür çökeltileri östenitik çeliğin tokluğunu düşürmüştür.

1250 °C’de 48 saat süre ile yapılan ısıtılma işlemi sonrasında ölçülen darbe enerjisi 13 joule’dür. Yapılan ısıtılma işlemi sonrasında ağ şeklindeki karbürlerin çoğunun östenit fazı içerisinde çözülmesi ve ağ şeklindeki karbürlerin yapıda bulunmamasından dolayı tokluk değerlerinde artış görülmüştür.

1250 °C’de 48 saat süre ile yapılan ısıt işlemin ardından 800 °C’de 9 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemleri sonrasında ölçülen darbe enerjisi 7 joule’dür. Yaşlandırma işleminin ardından oluşan çökeltiler östenitik çeliğin tokluğunu düşürmüştür.

1250 °C’de 72 saat süre ile yapılan ısıt işlem sonrasında ölçülen darbe enerjisi 22 joule’dür. Yapılan ısıt işlem sonrasında karbürlerin tamamının östenit fazında çözünmesinden dolayı tokluk değerlerinde artış görülmüştür.

Östenitik çelikte döküm yapısından kaynaklanan boşluklar ve çeliğin iri taneli olmasından dolayı yapılan çentik darbe testleri sonrasında düşük tokluk değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5.10: Östenitik çeliğe uygulanan çentik darbe testi sonuçları

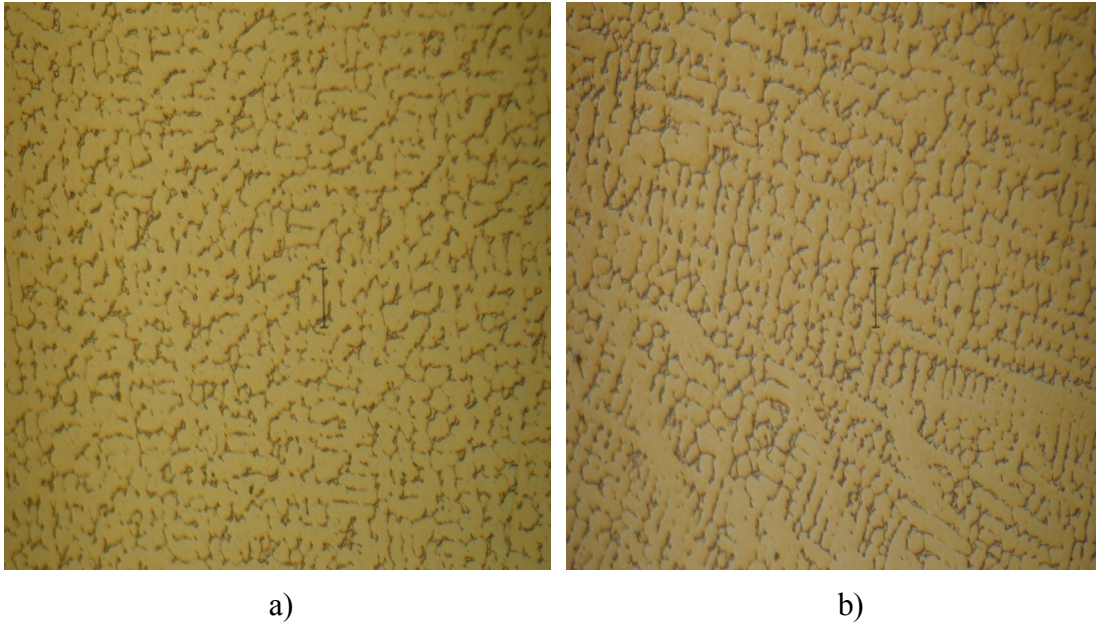
Numune	Çentik Darbe Enerjisi (joule)
Döküm	2
1250 °C’de 24 saat ısıt işlem görmüş	9
1250’de 24 saat ısıt işlem ve 700°C’de 9 saat yaşlandırılmış	2
1250’de 24 saat ısıt işlem ve 800°C’de 9 saat yaşlandırılmış	2
1250 °C’de 48 saat ısıt işlem görmüş	13
1250’de 48 saat ısıt işlem ve 800°C’de 9 saat yaşlandırılmış	7
1250 °C’de 72 saat ısıt işlem görmüş	22

5.4 Mikroyapısal Karakterizasyon

Bor katkılı östenitik çeliğin mikroyapısını incelemek için ışık mikroskobu, SEM ve TEM cihazları kullanılmıştır. SEM cihazında belirlenen bazı yapılara EDS analizi yaparak yapıların kimyasal kompozisyonu çıkartılmıştır. TEM cihazında ise çelik içerisinde bulunan bazı yapıların difraksiyon paterni alınarak yapılan hesaplamalar sonucu bu yapıların neler olduğu meydana çıkartılmıştır. Aydınlık alan görüntüsü ile hangi yapıların incelendiği detaylı olarak gösterilmiştir, karanlık alan kontrastı kullanılarak ise incelenen yapıda bulunan kısımlar detaylı olarak gösterilmiştir.

5.4.1 Işık mikroskobu incelemeleri

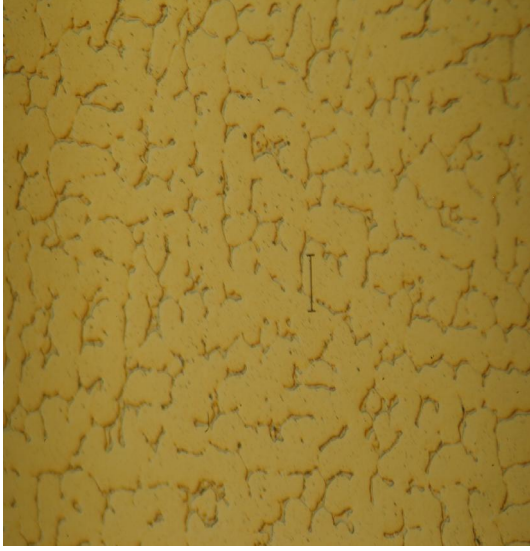
Işık mikroskopunda mikroyapı incelemesi yapmak için öncelikli olarak numunelerin metalografik olarak hazırlanması gerekmektedir. Numuneler bakalite alındıktan sonra kaba zımparalama aşamasında 180 ve 320 nolu zımparalardan geçirildikten sonra ince zımparalama aşamasında 600-800-1000-1200 ve 2500 nolu zımparalar ile hazırlanmıştır. Zımparalama işleminden sonra ise çuhada alumina solüsyonu yardımı ile parlatılmıştır. Dağlama işlemi için % 3'lük nital dağlayıcısı kullanılmış ve yeterli sonuç alınamamasından ötürü elektrolitik dağlama işlemi tercih edilmiştir. Elektrolit olarak % 5'lik okzalik asit tercih edilmiştir ve akım yoğunluğu $0,1 - 0,2 \text{ A/cm}^2$ değerleri arasında tutulmuştur. Şekil 5.4'de bor katkılı östenitik çeliğin döküm hali gösterilmektedir.



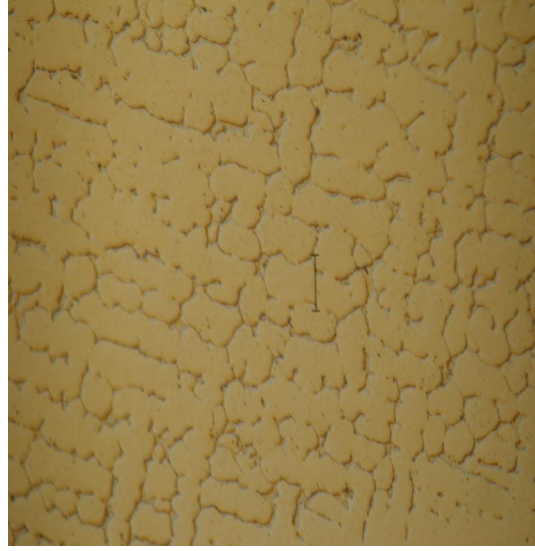
Şekil 5.4: Döküm halindeki yapının 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.4 (a) Östenitik çeliğin parlatıldıktan sonra alınan görüntüsüdür. Skala uzunluğu $200 \mu\text{m}$ 'dir. Yapıda oluşan ötektik karbürler numunenin her yerine dağılmış biçimde gözükmemektedir. Şekil 5.4 (b) Östenit çeliğin parlatıldıktan sonra alınan görüntüsüdür. Skala uzunluğu $200 \mu\text{m}$ 'dir. Döküm yapısı ile oluşan dendrit kolları şekilde gözükmemektedir.

Şekil 5.5 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları $100 \mu\text{m}$ 'dir.



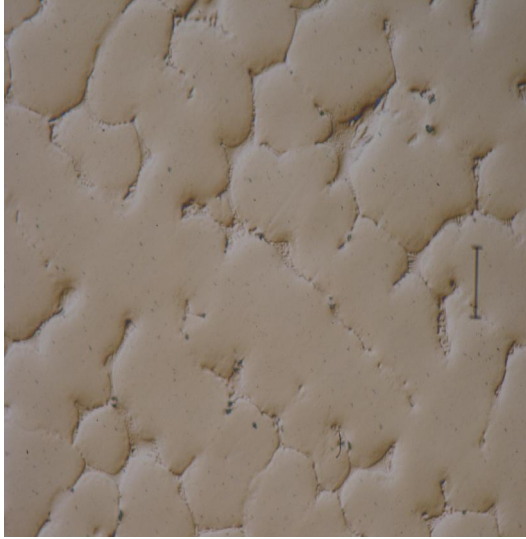
a)



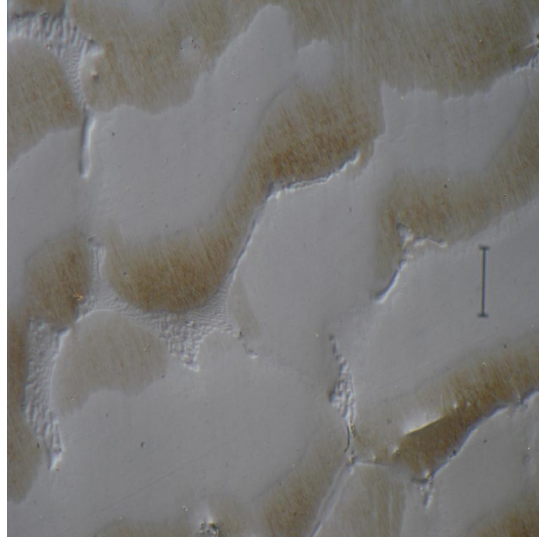
b)

Şekil 5.5: Döküm halindeki yapının 100 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.6 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırası ile 50 ve 20 μm 'dir. b) Görüntüsünde büyütmenin daha fazla olmasında yardımıyla yapıda bulunan karbürlerin ötektik bir biçimde oluştuğu görülmektedir.



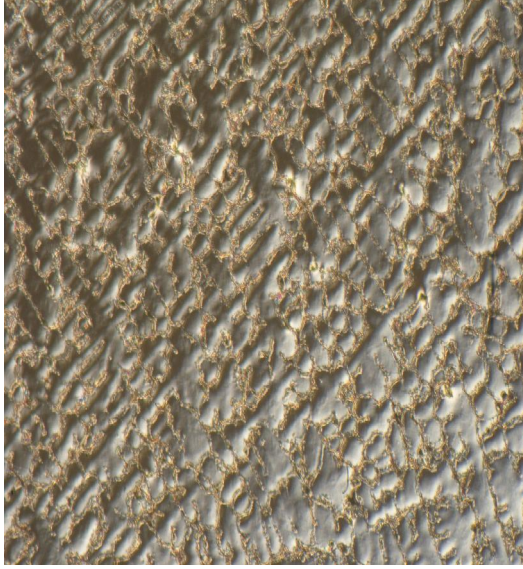
a)



b)

Şekil 5.6: Döküm halindeki yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.7 (a) ve (b) Görüntüleri sırası ile 50 X ve 100 X büyütmelerde alınmıştır ve skala uzunlukları 200 ve 100 μm 'dir. Nital ile dağlama mikroyapının net olarak gözükmesi için yetersiz gelmiştir ve tane sınırlarına ulaşamamıştır. Dağlama sonrasında ötektik karbürlerin ağ şeklindeki oluşumu belirgin olarak gözükmemektedir.



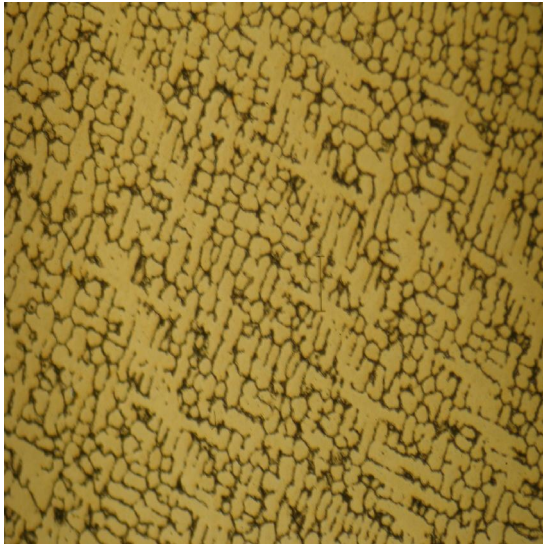
a)



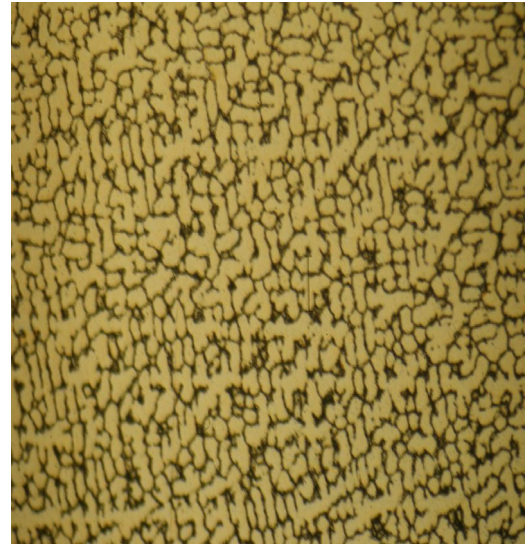
b)

Şekil 5.7: Döküm halindeki yapının % 3'lük nital ile dağlanmış görüntüleri

Şekil 5.8 (a) ve (b) Görüntüleri %5'lik okzalik asit elektroliti kullanılarak ve akım yoğunluğu 0.2 A/cm^2 olacak şekilde elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır. Skala uzunlukları $200 \mu\text{m}$ 'dir.



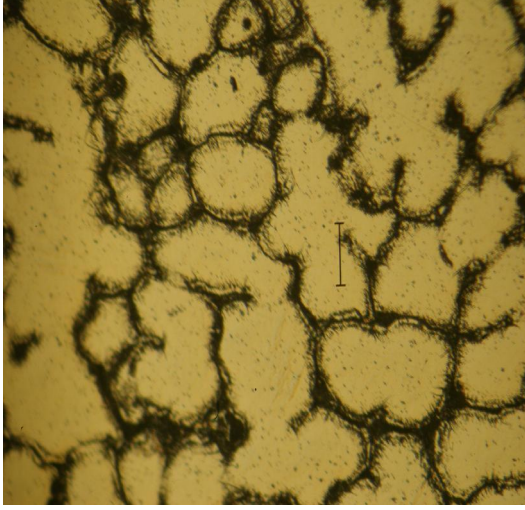
a)



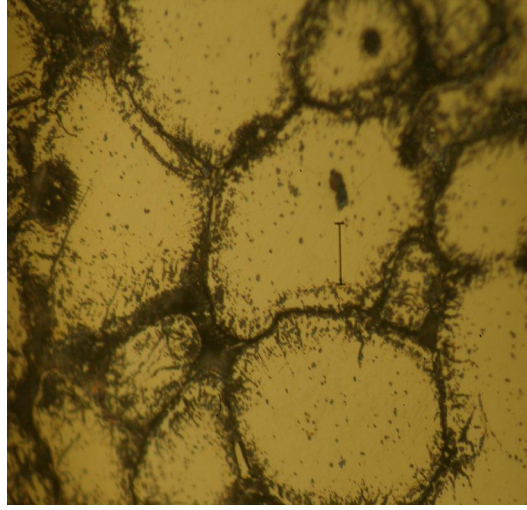
b)

Şekil 5.8: Döküm halindeki yapının okzalik asitle dağlanmış $50 \times$ büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.9 (a) ve (b) Görüntüleri %5'lik okzalik asit elektroliti kullanılarak ve akım yoğunluğu 0.2 A/cm^2 olacak şekilde elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır. Skala uzunlukları sırası ile 50 ve $20 \mu\text{m}$ 'dir. Şekil 5.8 ve 5.9 görüntülerinde yapıda bulunan ağ şeklindeki karbürün tüm tanelerin etrafında bulunduğu görülmektedir.



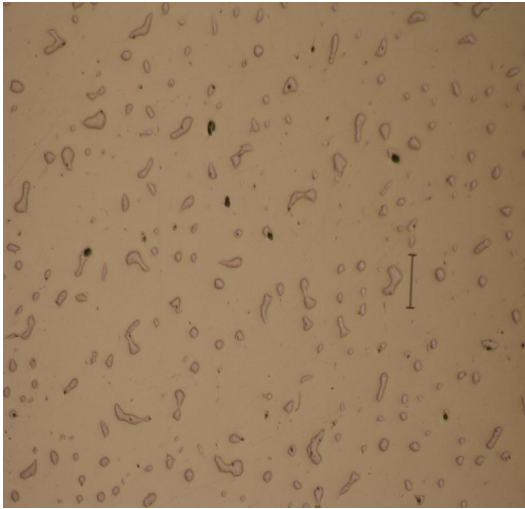
a)



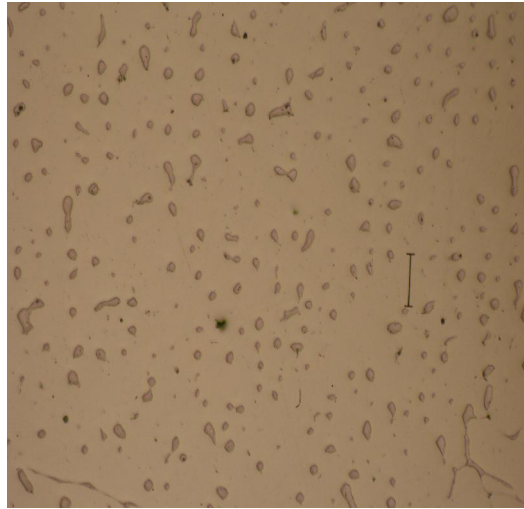
b)

Şekil 5.9: Döküm halindeki yapının okzalik asitle dağlanmış 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.10 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları 200 μm 'dir. Isıl işlem sonrasında döküm halinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürler dağıtılmıştır ve karbür morfolojileri küresel hale gelmiştir. Görüntülerde bulunan siyah noktalar zımparalama ve parlatma esnasında karbürlerin veya döküm yapısından gelen inklüzyonların kopması sonrasında oluşmuştur.



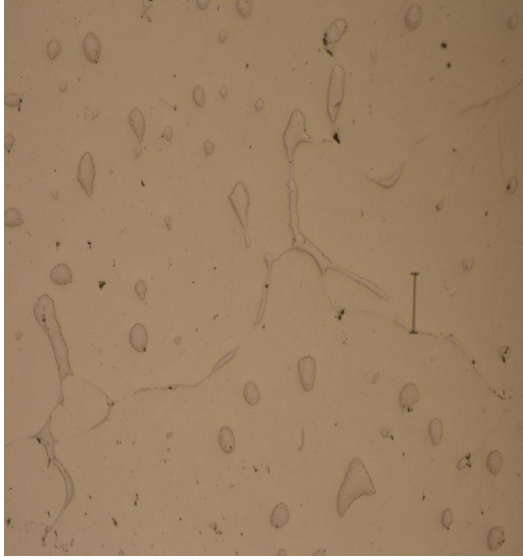
a)



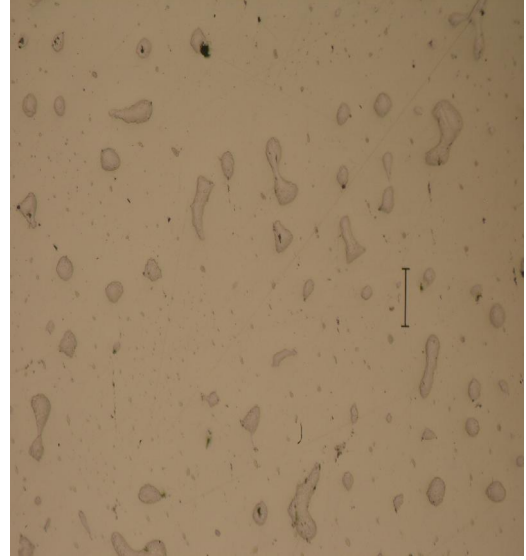
b)

Şekil 5.10: Östenitik çeliğin 1235 °C'de 10 saat ısıl işlem sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.11 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları 100 μm 'dir. a) Görüntüsünde küresel morfolojiye sahip karbürlerle birlikte bir miktar ağ şeklinde karbürlerinde varlığı görülmektedir



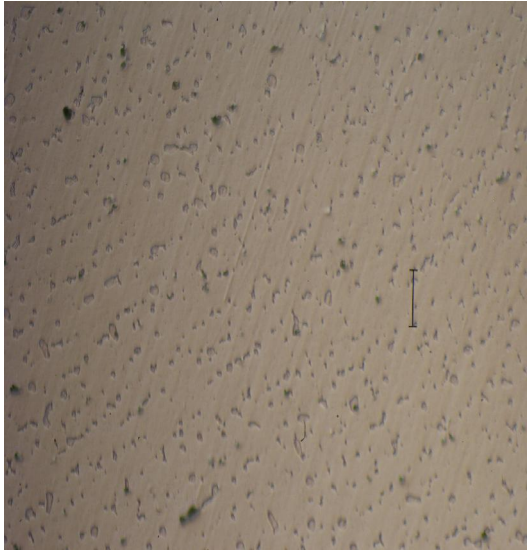
a)



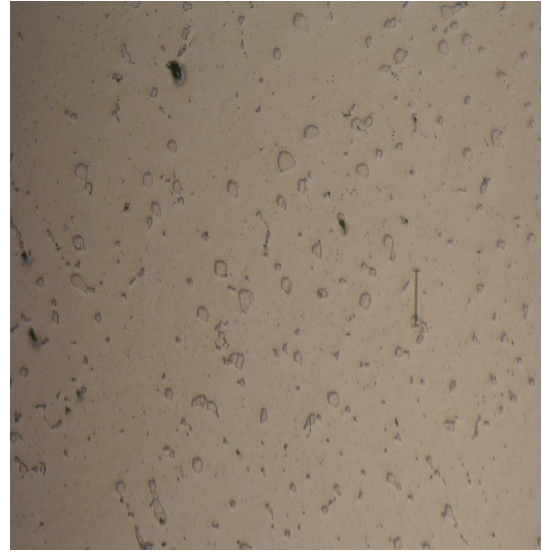
b)

Şekil 5.11: Östenitik çeliğin 1235 °C’de 10 saat ısıtılma sonrası 100 X büyütmedeki görüntüleri

Yapılan 10 saat ısıtılmanın yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Yapıda bulunan ağ şeklindeki karbürler östenitik çeliğin tokluk değerlerini düşürecekleri için ve olası çatlak yöreleri olduğundan dolayı uygulanan ısıtılma süresinin bir miktar daha artırılması düşünülmüştür. Şekil 5.12 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırası ile 200 ve 100 μm ’dir. Yaşlandırma işleminin ardından yapıda bulunan karbürler daha homojen dağılım göstermektedir.



a)

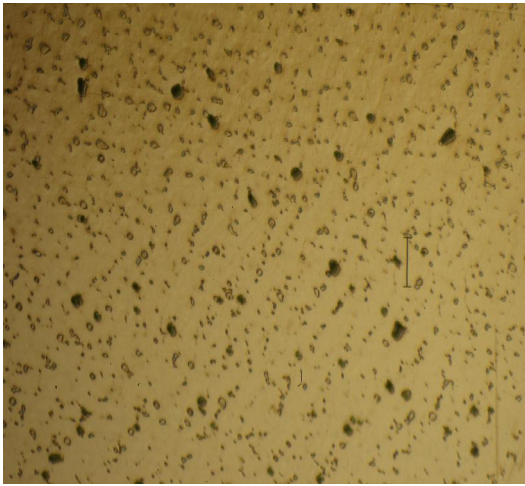


b)

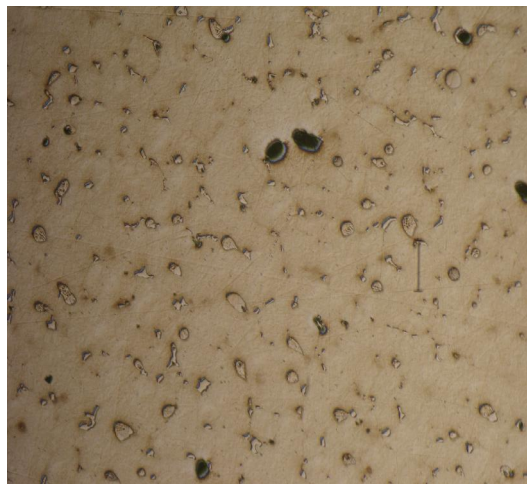
Şekil 5.12: 1235 °C’de 10 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının görüntüleri

Şekil 5.13 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırası ile 200 ve 100 μm 'dir. Numune yaşlandırma işleminin önceki durumundan farklı olarak daha kompleks bir yapıdadır. Karbürler daha küçük boyuttadır ve daha homojen bir şekilde dağılmıştır ve numune yapısında küresel yapıdan farklı morfolojiye sahip karbürler de görülmektedir. Bu karbürlerin tam anlamıyla görülmesi için daha büyük büyütmelerde incelenmelidir.

Şekil 5.14 (a) ve (b) Görüntülerinde yapıda bulunan ağ şeklinde ve küresel yapıdaki karbürlerden farklı olan karbür morfolojilerinin net olarak görülmesi için 5 s süre ile %3'lük nital ile dağlanmıştır.



a)

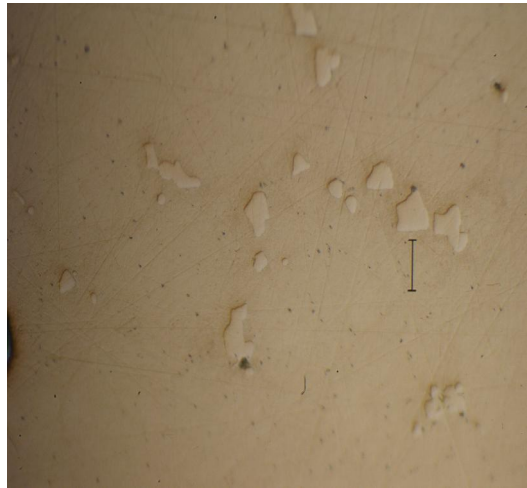


b)

Şekil 5.13: 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan çeliğin 800 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri



a)

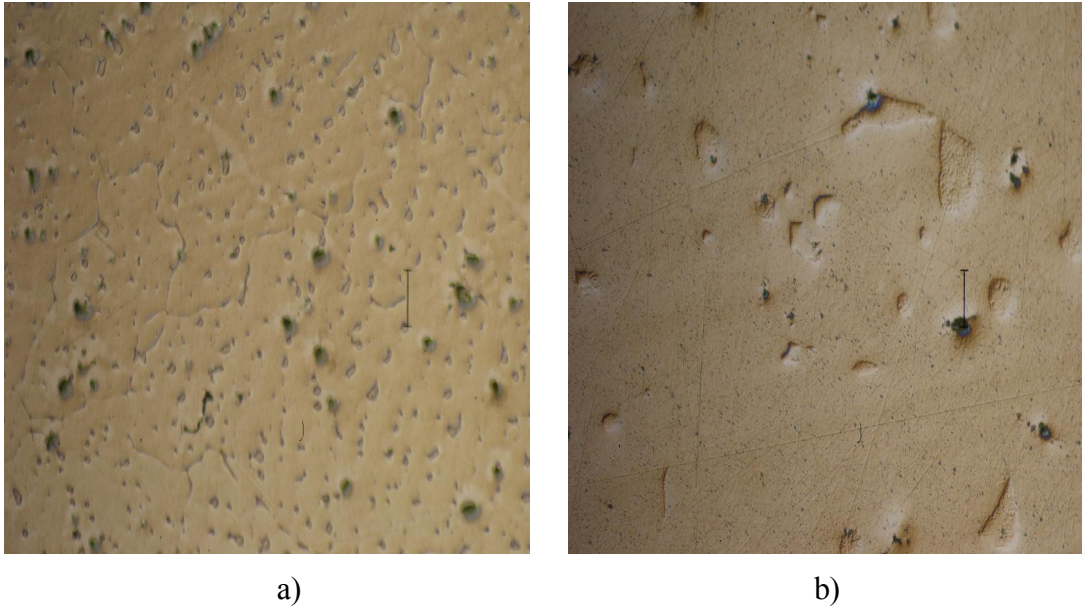


b)

Şekil 5.14: 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan çeliğin 800 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri

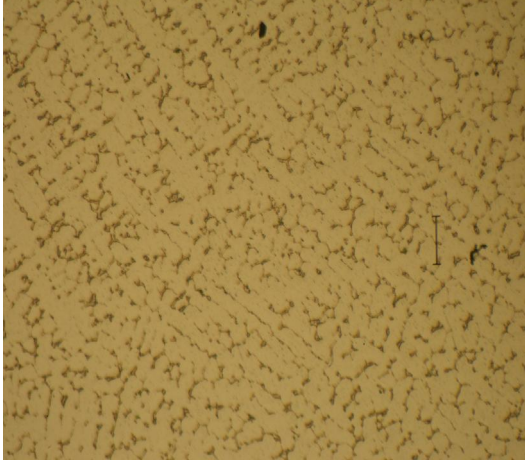
Şekil 5.14 (a) ve (b) Görüntülerinde skala uzunlukları sırası ile 50 ve 20 μm 'dir. a) Görüntüsünde dökümden gelen ve dağılmamış olarak bulunan ağ şeklindeki karbürler gözükmemektedir. Küresel formda bulunan karbürler haricinde farklı yapılarda gözükmemektedir. Bu yapılar küresel karbürlerden farklı morfolojiye sahiptirler ve boyutları küresel karbürlerden daha küçüktür. b) Görüntüsünde farklı morfolojiye sahip karbürler net olarak gözükmemektedir.

Şekil 5.15 (a) ve (b) Görüntülerinde yapıda bulunan karbürlerin net olarak görülmesi için 5 s süre ile %3'lük nital ile dağlanmıştır. Skala uzunlukları sırası ile 200 ve 50 μm 'dir.

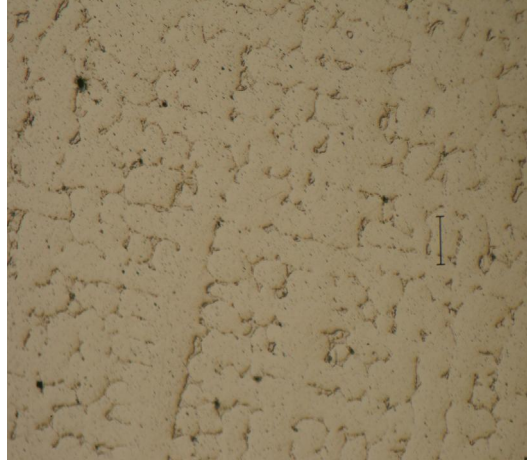


Şekil 5.15: 1235 °C'de 10 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 800 °C'de 24 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.16 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırası ile 200 ve 100 μm 'dir. 1235 °C'de 10 saat ısıtılma sonrasında dağılan ötektik karbür ağları 1235 °C'de 24 saat ısıtılma sonrasında dağıtılamamıştır. Karbür ağlarının küresel forma sokulamamasının sebebi döküm işlemi sırasında alaşım elementlerinin yapı içerisine homojen olarak dağıtılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklığın 1250 °C'ye çıkartılması ile 24 saatlik ısıtılma işlemi tekrar denenmiştir.



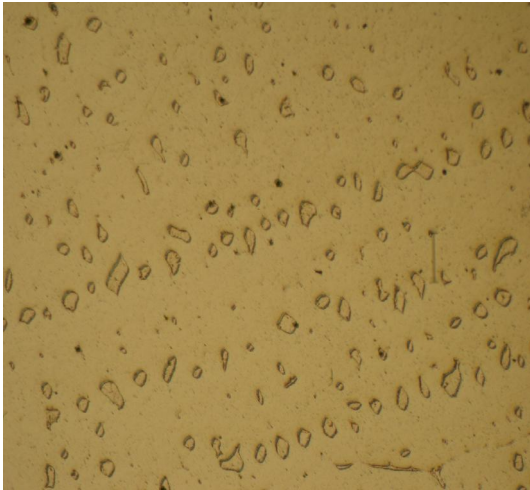
a)



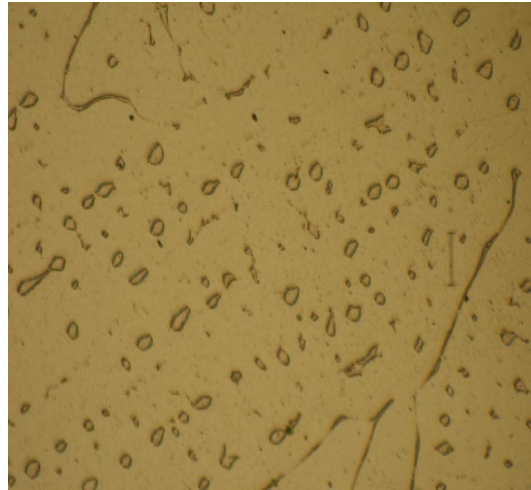
b)

Şekil 5.16: Östenitik çeliğin 1235 °C’de 24 saat ısıtılma sonrası 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.17 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları 200 μm ’dir. Sıcaklığın 1250 °C’e çıkartılması ile ötektik karbür yapıları dağılmıştır ve morfolojileri küresel hale gelmiştir. a) Görüntüsünde bazı karbürlerin yönlenmeleri görülmektedir. b) Görüntüsünde ufak karbür ağlarının varlığı ve bazı karbürlerin segregasyonu görülmektedir. 1250 °C sıcaklık karbürlerin küresel forma gelmesi için uygun olmasına rağmen 24 saatlik uzun süreye rağmen ağ şeklinde bir miktar daha karbürün varlığı devam etmektedir. Bu yüzden daha uzun süreli ısıtılma işlemleri yapılarak yapı içerisindeki tüm karbürlerin küresel forma gelmesi denenecektir ve uzun süreli ısıtılma işlemleri yardımıyla yapı içerisinde bulunan karbürlerin tamamının östenit içerisinde çözülmesi denenecektir.



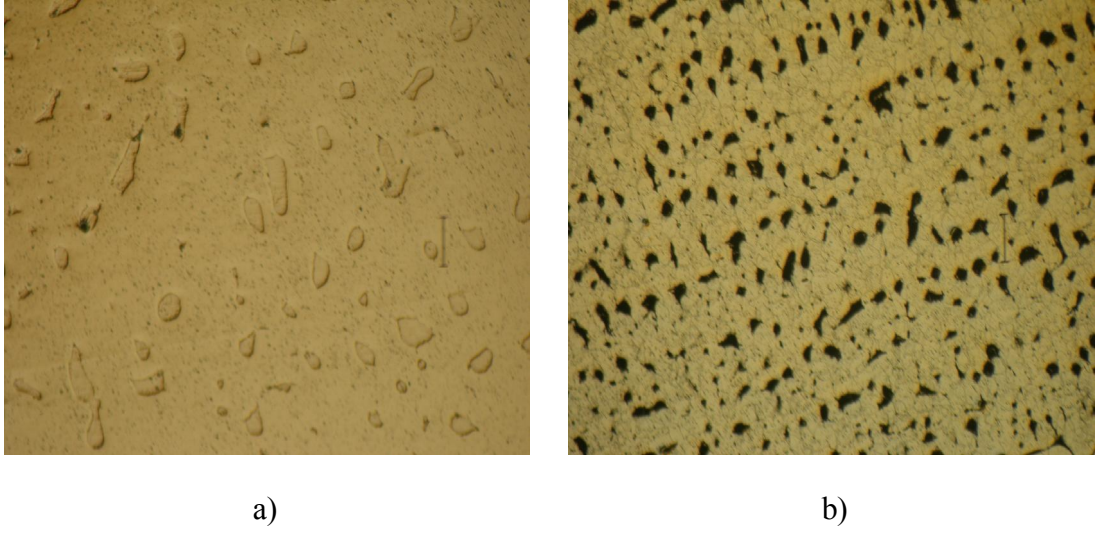
a)



b)

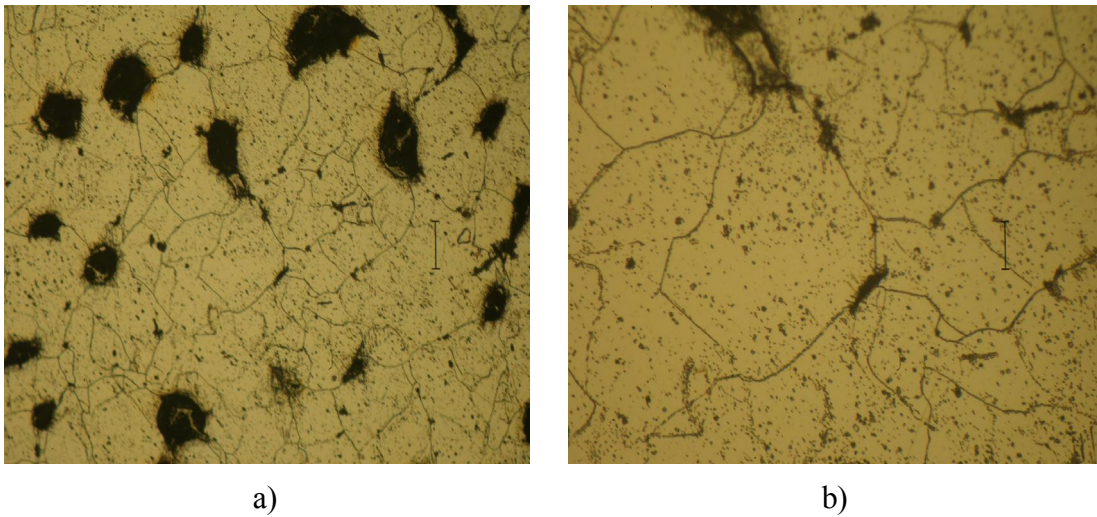
Şekil 5.17: Östenitik çeliğin 1250 °C’de 24 saat ısıtılma sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.18 (a) Görüntüsü numune parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. Şekil 5.18 (b) Görüntüsü elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır. Skala uzunluğu 100 μm 'dir. Dağlama yardımıyla tane sınırları ortaya çıkmıştır ve karbürler dağlama sonrasında kararmıştır.



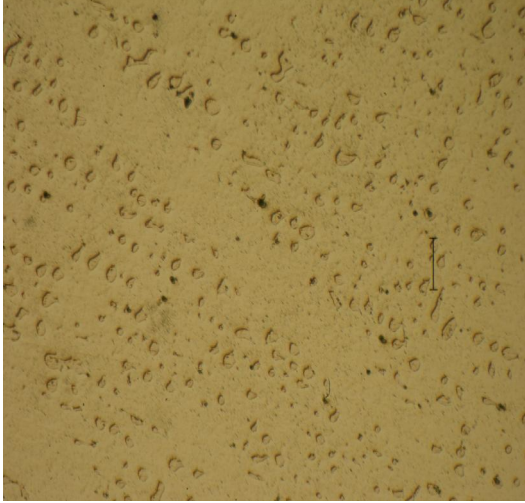
Şekil 5.18: 1250 °C'de 24 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 700 °C'de 1 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.19 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 50 ve 20 μm 'dir. %5'lik okzalik asit elektroliti numunenin yapısını ve tane sınırlarını çıkarmak için yeterlidir. a) ve b) görüntülerinin her ikisinde de tane sınırları belirgin olarak gözükmemektedir. Karbürlerin elektrolitik dağlama sonucu karardığı görülmüştür.

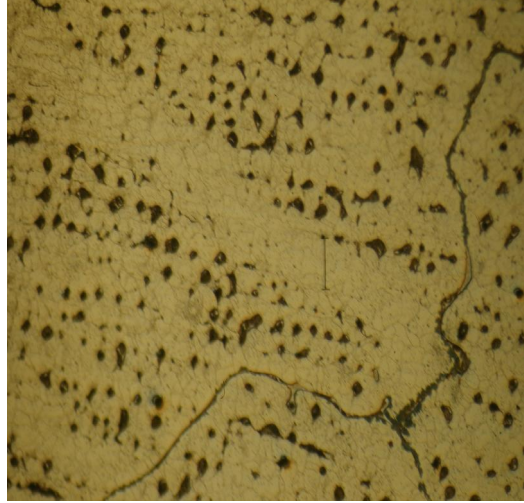


Şekil 5.19: 1250 °C'de 24 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 700 °C'de 1 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.20 (a) Görüntüsü numune parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. Şekil 5.20 (b) Görüntüsü elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır. Skala uzunluğu 200 μm 'dir. (b) Görüntüsünde ağ şeklindeki karbür yapısının varlığı gözükmemektedir. Dağlama ile tane sınırları ortaya çıkmıştır ve küresel karbürler kararmıştır.



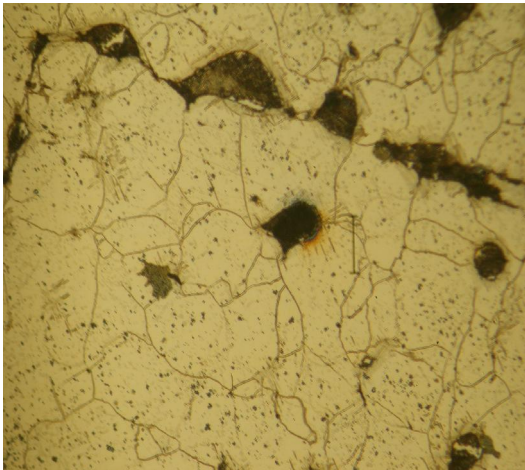
a)



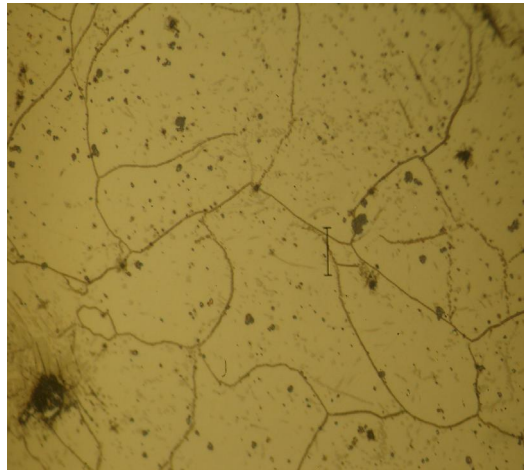
b)

Şekil 5.20: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 700 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.21 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 50 ve 20 μm 'dir. Karbürlerin tane sınırlarında olduğu görülmektedir. Tane içlerinde ise yaşlandırma sonrasında, dönüşümünü gerçekleştirmiş ufak boyutlu M_6C karbürleri görülmektedir.



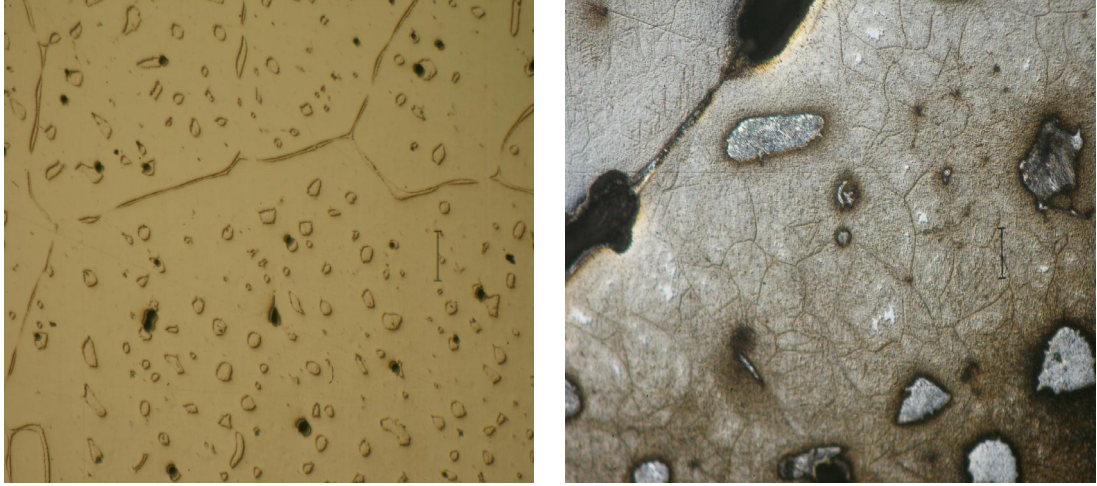
a)



b)

Şekil 5.21: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 700 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X ve 500 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.22 (a) Görüntüsü numune parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. Şekil 5.22 (b) Görüntüsü %5'lik okzalik asit elektroliti kullanılarak ve akım yoğunluğu 0.2 A/cm² olacak şekilde elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır. Skala uzunluğu 50 μm 'dir. (b) Görüntüsünde numunenin yapısı elektrolitik dağlama ile açığa çıkmıştır. Tanelerin içerisindeki beyaz yapılar yaşlandırma sonrasında oluşan çökeltilerdir. Dağlama ile küresel karbürler bir miktar kararmıştır ve yapı içerisinde yine ağ şeklindeki karbürler bulunmaktadır.

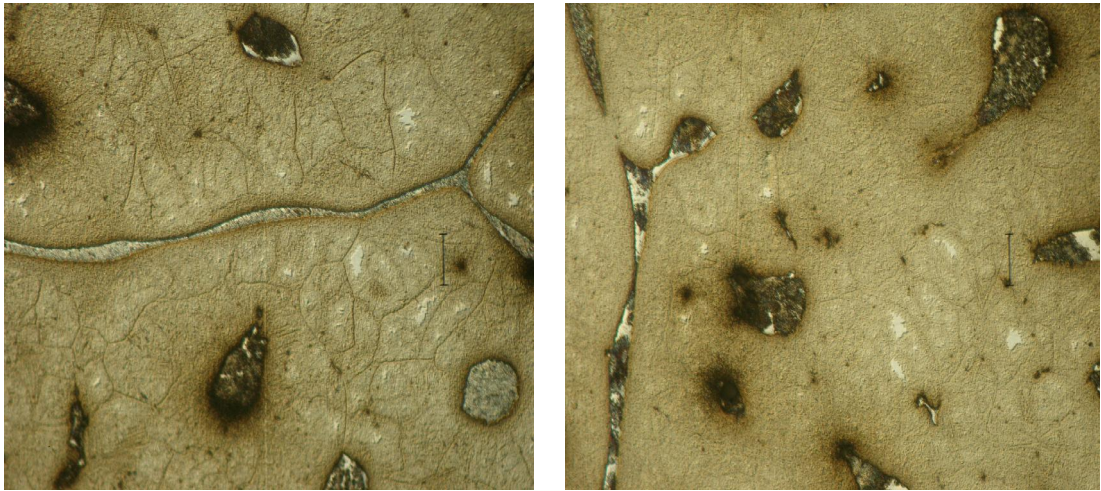


a)

b)

Şekil 5.22: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 800 °C'de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.23 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 50 μm 'dir.

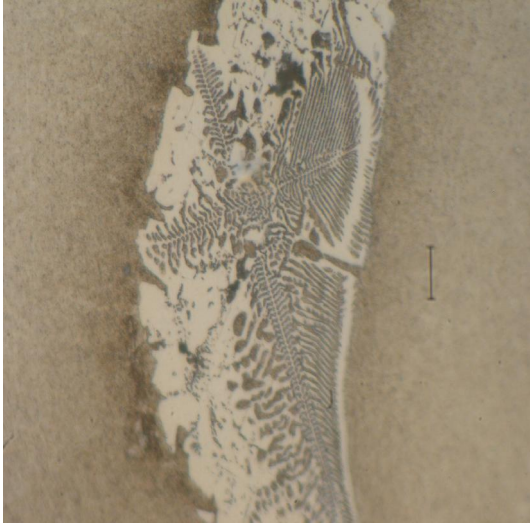


a)

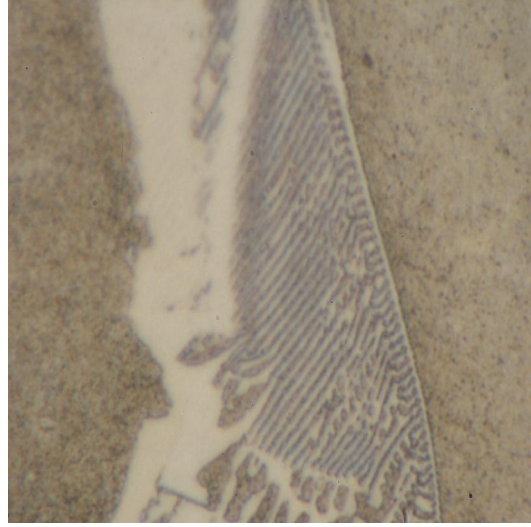
b)

Şekil 5.23: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 800 °C'de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.24 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 10 μm 'dir. (a) Görüntüsünde ağ şeklinde oluşan karbür yapısı içerisindeki dendritik katılaşmalar görülmektedir. (b) Görüntüsünde karbürün oluşturduğu ötektik kolları dağlamanında yardımıyla açığa çıkmıştır.



a)



b)

Şekil 5.24: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 800 °C'de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 1000 X ve 2000 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.25 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 20 μm 'dir. Yaşlandırma sonrasında oluşan çökeltilerin tane içerisindeki görünümü yüksek büyütmelerde daha net olarak görülmektedir.



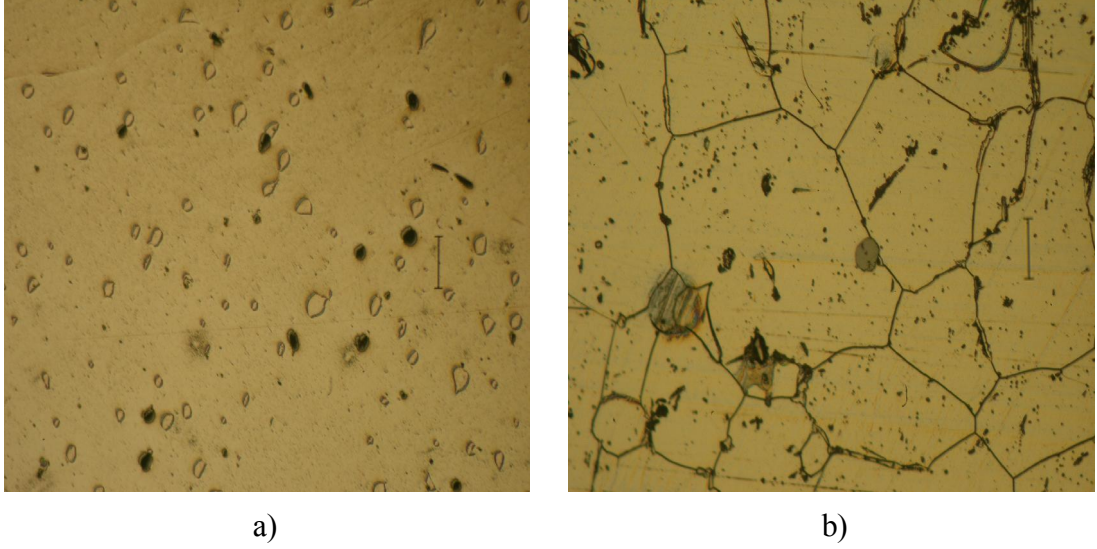
a)



b)

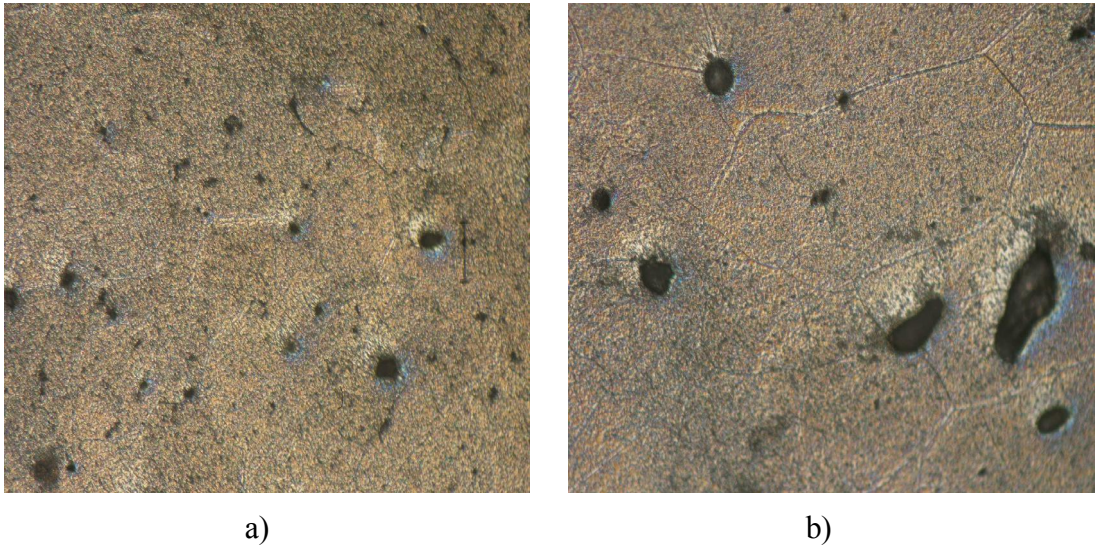
Şekil 5.25: 1250 °C'de 24 saat ısıtım uygulanan çeliğin 800 °C'de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 500 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.26 (a) Görüntüsü numune parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. Şekil 5.26 (b) Görüntüsü %5'lik okzalik asit elektroliti kullanılarak alınmıştır ve skala uzunluğu 50 μm 'dir. (a) Görüntüsünde 48 saat süre ile yapılan ısıt işlem sonrasında yapıda bulunan karbürlerin boyutunda ufalma olduğu görülmüştür. (b) Görüntüsüne bakıldığında bazı tanelerde ısıt işlem süresinde uzaması ile birlikte bir miktar kabalaşma görülmektedir.



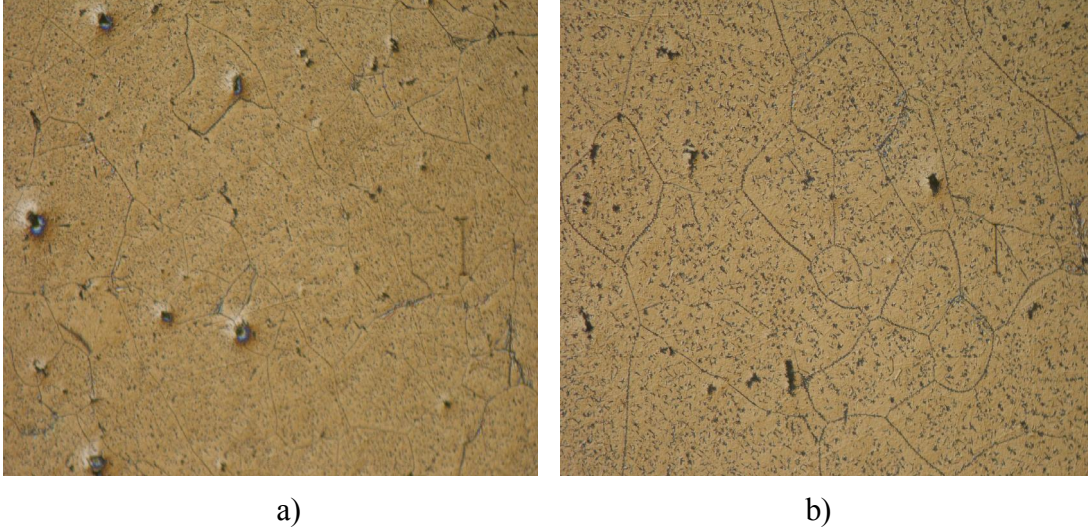
Şekil 5.26: Östenitik çeliğin 1250 °C'de 48 saat ısıt işlem sonrası 50 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.27 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 100 ve 50 μm 'dir. Dağlama sonrasında karbürlerde kararma görülmüştür.



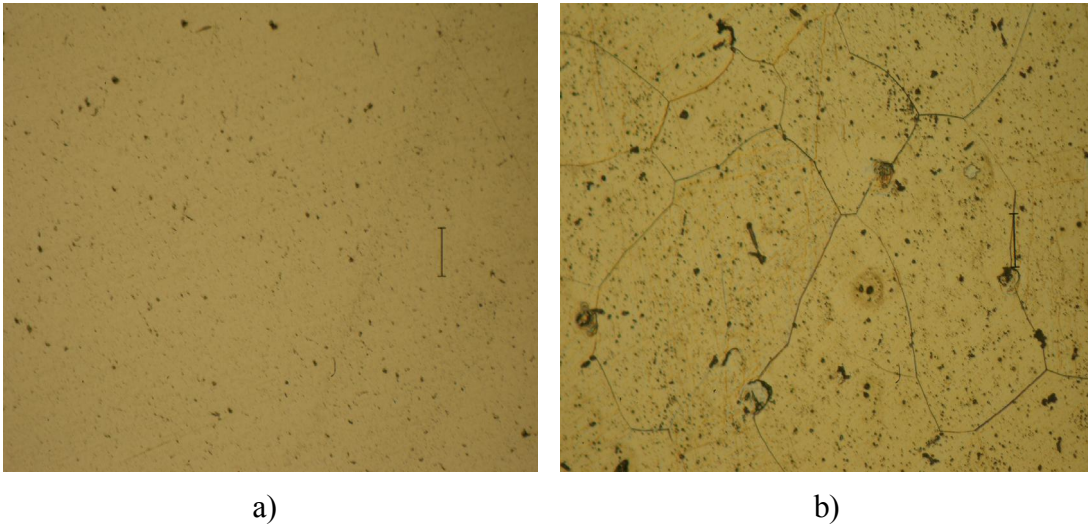
Şekil 5.27: 1250 °C'de 48 saat ısıt işlem uygulanan çeliğin 700 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.28 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 100 ve 50 μm 'dir. Numunelerde yaşlandırma işlemi sonrasında çok küçük boyutlarda ve yoğun olarak dönüşümünü tamamlamış M_6C karbürleri görülmektedir..



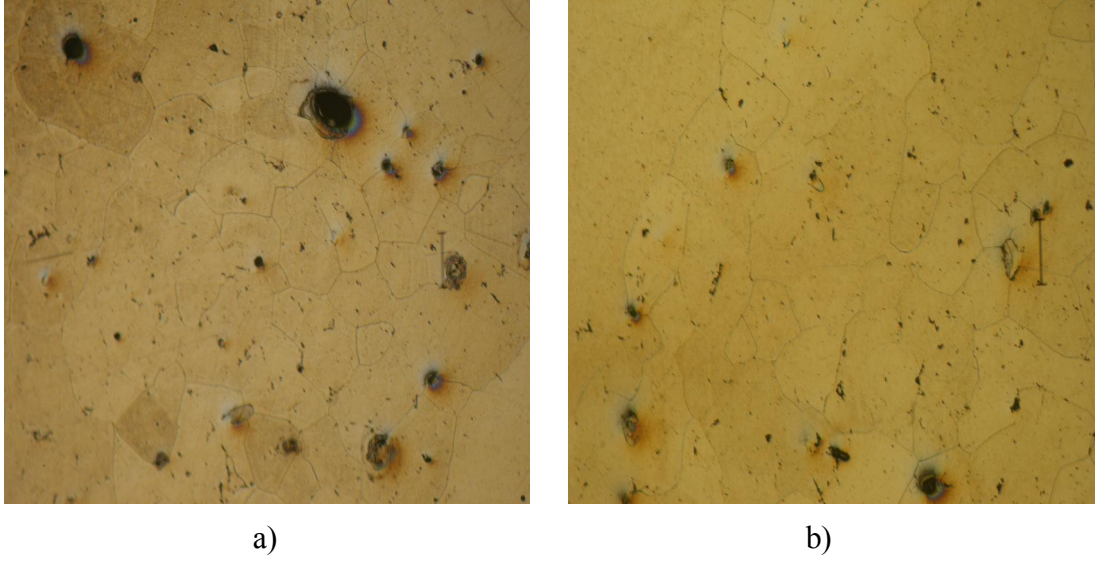
Şekil 5.28: 1250 °C'de 48 saat ısıtım uygulanan çeliğin 800 °C'de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X ve 200 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.29 (a) Görüntüsü numune parlatıldıktan sonra alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. Şekil 5.29 (b) Elektrolitik dağlama sonrasında alınmıştır ve skala uzunluğu 200 μm 'dir. a) Görüntüsünden anlaşıldığı 72 saat süre ile yapılan ısıtım sonrasında yapı içerisindeki karbürlerin tamamı östenit fazı içerisinde çözünmüştür. (b) Görüntüsü incelendiğinde uzun ısıtım süresinin etkisi ile birlikte bazı tane yapılarının bir miktar kabalaştığı görülmüştür



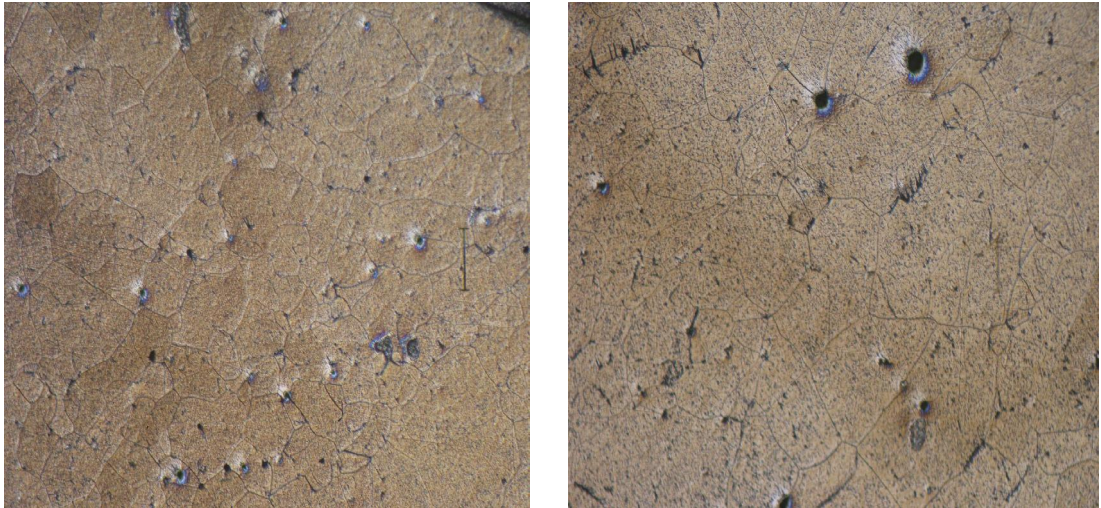
Şekil 5.29: Östenitik çeliğin 1250 °C'de 72 saat ısıtım sonrası 50 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.30 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları 100 μm 'dir.



Şekil 5.30: 1250 °C'de 72 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 700 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 100 X büyütmedeki görüntüleri

Şekil 5.31 (a) ve (b) Görüntüleri numuneler elektrolitik olarak dağlandıktan sonra alınmıştır ve skala uzunlukları sırasıyla 200 ve 100 μm 'dir.



Şekil 5.31: 1250 °C'de 72 saat ısıtılma uygulanan çeliğin 800 °C'de 6 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının 50 X ve 100 X büyütmedeki görüntüleri

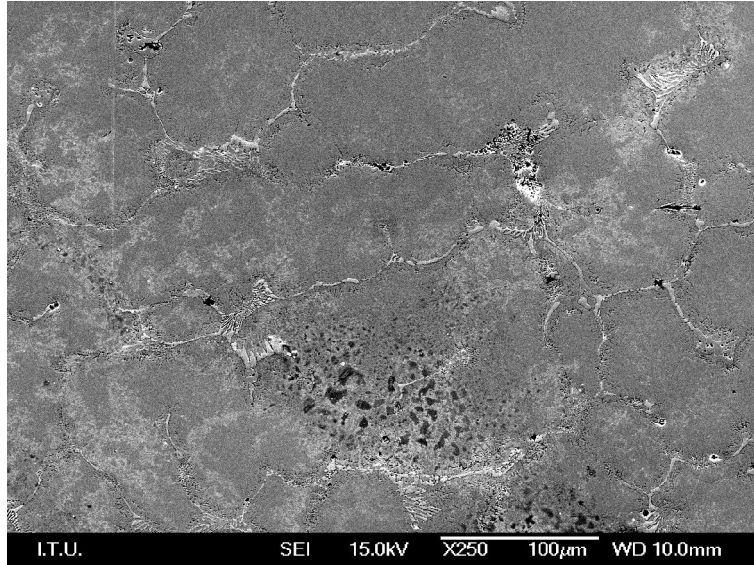
Yapılan tüm ısıtılma işlemleri ve yaşlandırma sonrasında oluşan mikroyapı görüntüleri incelendiğinde numunelere 24 saatten daha uzun sürelerde ısıtılma uygulandığında yapı içerisindeki karbürler öncelikle olarak küçülmeye başlamaktadırlar ve 72 saat sürenin sonunda tamamı östenit fazı içerisinde çözünmektedir. Fakat ısıtılma işlemi süresi arttığında belirli süreden sonra bazı tanelerde kabalaşma görülmeye başlamıştır.

5.4.2 SEM incelemeleri

SEM çalışmalarında öncelikle östenitik çeliğin döküm hali incelenmiştir ve döküm yapısında bulunan karbürlere EDS analizi yapılmıştır. Yapılan ısıt işlemlerin ardından karbürlerde meydana gelen dönüşümler takip edilmeye çalışılmıştır ve yapıda görünen bazı çökeltilere de EDS analizi yapılarak karakterize edilmeye çalışılmıştır.

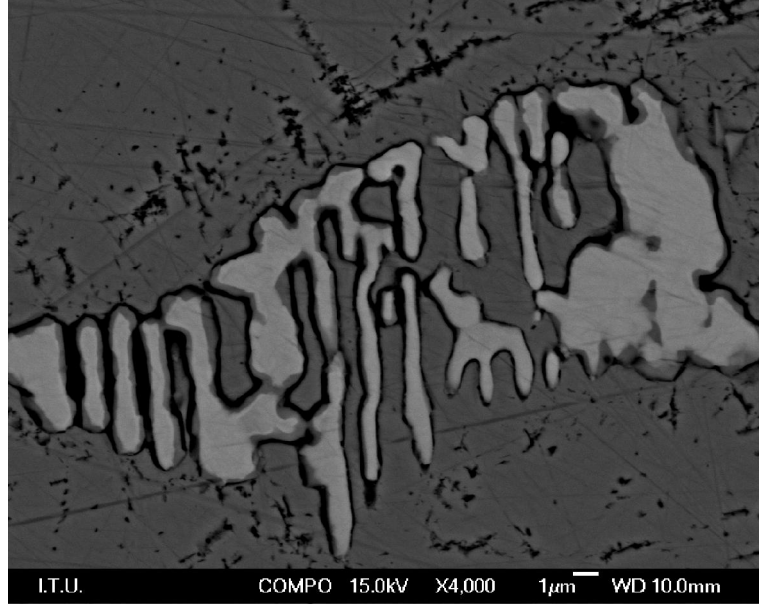
M₂C tipi karbürlerde olduğu gibi bazı karbürler soğuma hızından etkilenir ve soğuma hızına göre farklı kimyasal kompozisyonlarda bulunabilir. Bu yüzden döküm halinde bulunan karbürler incelenirken, numune üç kısma ayrılmıştır. Döküm esnasında, döküm kalıbına yakın olan kısım biraz daha hızlı soğuyacağı için bu bölgede oluşacak karbürlerin kimyasal kompozisyonu ile numunenin merkez kısmında oluşacak karbürlerin kimyasal kompozisyonu karşılaştırılmak istenmiştir ve oluşabilecek farklar çıkarılmaya çalışılmıştır. İncelenecek bölgelerin nominasyonu için ilk olarak numune içerisindeki döküm kalıbına yakın olan bölgeye dış bölge, dış bölge ve merkez bölge arasında kalan bölgeye orta bölge ve numunenin merkez kısmına ise merkez bölge ismi verilmiştir.

Şekil 5.32 İkincil elektron görünsüdür ve döküm yapısında bulunan ağ karbürler gözükmektedir.



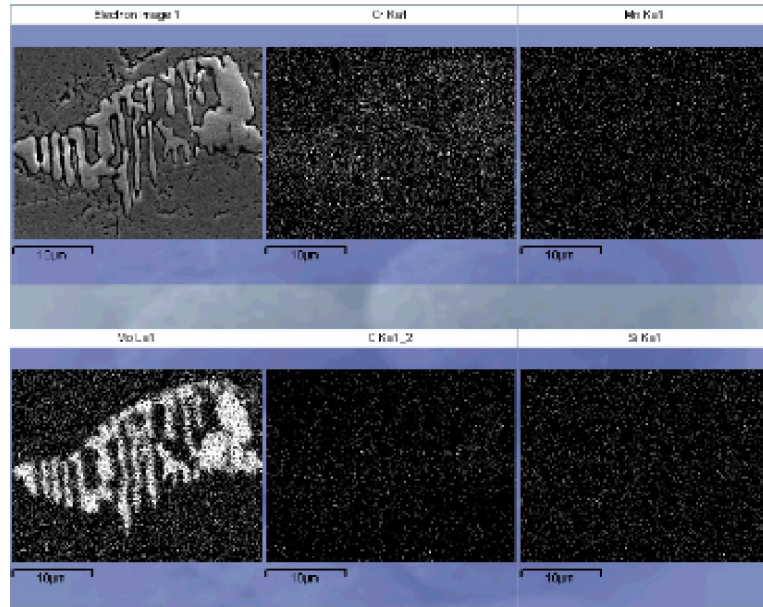
Şekil 5.32: Döküm yapısının SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.33 SEM’den alınan kompozisyon görüntüsüdür ve yapı dış bölgede bulunan ağ şeklindeki karbürdür. Kimyasal kompozisyonu haritalama ve EDS yöntemleriyle incelenmiştir.



Şekil 5.33: Numunenin dış bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü

Şekil 5.34’de tarama elektron mikroskopunda haritalama yöntemi ile karbür içerisinde bulunan elementlerin kütlelesel ağırlıklarına göre bulunduğu bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 5.34: Numunenin dış bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi

Çizelge 5.11’de verilen ağ karbür yapısının EDS analizine göre yapı kompleks karbürdür. Molibden elementi haricinde krom ve demirde yapı içerisinde belirgin biçimde yer almaktadır. Bölüm 2’de bazı karbürlerin morfolojisi ve yapı içerisindeki oluşumu detaylı olarak anlatılmıştır. Kompleks karbürün morfolojisi ve yapısında

bulunduğu elementlerden yola çıkarak M_2C ötektik karbürü olduğu anlaşılmaktadır. Molibden elementi döküm sonrasında krom, demir ve mangan gibi elementleride karbür yapısında çözündürerek öncelikli olarak M_2C ötektiğini oluşturmaktadır. M_2C ötektiği, karbür içerisinde bulunan elementlerinde etkisi ile 1100 °C ve üzeri sıcaklıklarda MC ve M_6C ötektiğine dönüşür. Ağ karbürünün bünyesinde MC karbürü yapan titanyum, niobyum ve vanadyum gibi elementler olmadığından ötektik karbür ısıtıl işlem sonrasında M_2C yapısından M_6C ötektiğine dönüşecektir.

Çizelge 5.11: Dış bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu

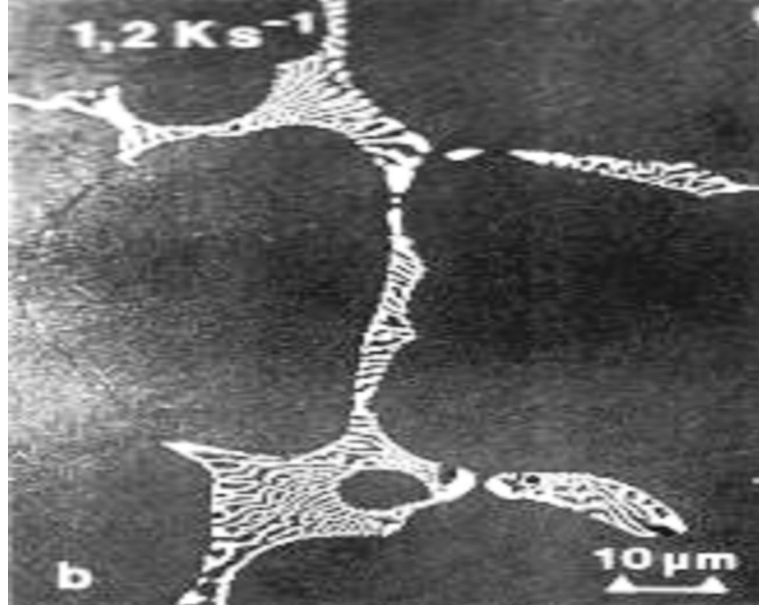
Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	17.90	59.57
Cr	12.21	9.39
Mn	0.89	0.64
Fe	5.22	3.95
Mo	63.49	26.45

Şekil 5.35 SEM’den alınan kompozisyon görüntüsüdür ve yapı orta bölgede bulunan ağ şeklindeki karbürdür. Kimyasal kompozisyonu haritalama ve EDS yöntemleriyle incelenmiştir.



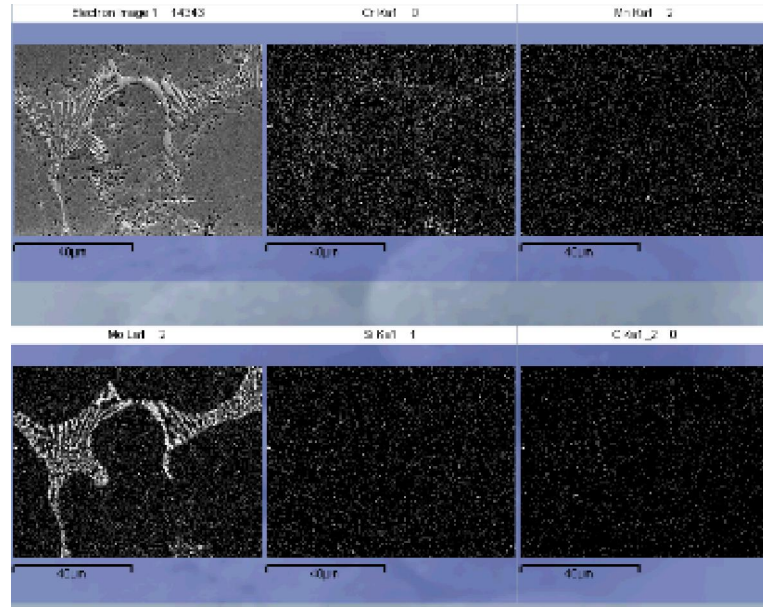
Şekil 5.35: Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü

Şekil 5.36’da verilen M_2C ötektiği Şekil 5.35’de verilen östenitik çelik içerisinde oluşan M_2C ötektiğinin morfolosine benzer yapıdadır.



Şekil 5.36: AISI M2 çeliğinde M_2C ötektiğinin morfolojisi [4]

Şekil 5.37’de tarama elektron mikroskobunda haritalama yöntemi ile karbür içerisinde bulunan elementlerin kütlelesel ağırlıklarına göre bulunduğu bölgeler gösterilmiştir.



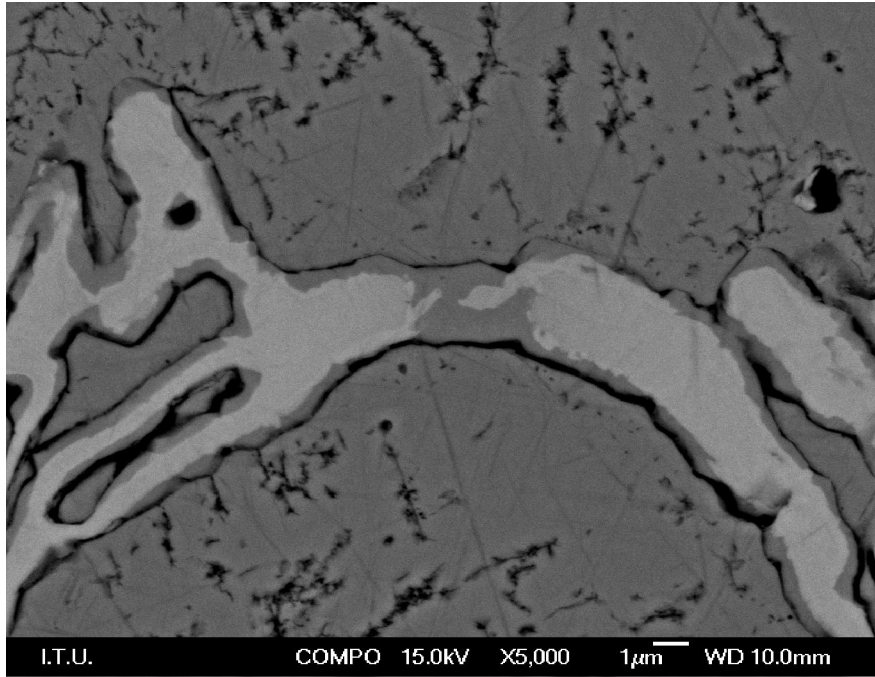
Şekil 5.37: Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi

Çizelge 5.12’de ötektik karbürün kimyasal kompozisyonu verilmiştir. M_2C ötektiği dış bölgede bulunan ötektik karbürle benzer kimyasal kompozisyon içermektedir ve soğuma hızından etkilenmemiştir

Çizelge 5.12: Orta bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu

Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	16.60	57.03
Cr	11.50	9.13
Mn	0.44	0.33
Fe	8.97	6.63
Mo	62.49	26.88

Şekil 5.38’de verilen SEM görüntüsü Şekil 5.35’de verilen SEM görüntüsün merkez kısmına odaklanılmış halidir. Ötektik karbür yapısının içinde bulunan bu farklı kontrasttaki mat bölge incelenmek istenmiştir ve EDS analizi yapılmıştır.



Şekil 5.38: Numunenin orta bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürde bulunan mat bölgenin görüntüsü

Çizelge 5.13’de verilen ve M_2C ötektiği içerisinde bulunan mat bölgeye yapılan EDS analizi sonucunda ötektik yapıdan farklı olarak demir elementi fazla miktarda çıkmıştır ve molibden oranı düşmüştür. Isıl işlem sonrasında ağ karbür yapısı dağılarak küresel forma dönüşmektedir. Dönüşümün mat bölgeden başladığı düşünülmektedir çünkü molibden elementinin yerine demir elementinin fazla bulunduğu bu bölge yüksek sıcaklıkta yapılan ısıl işlemde çözünmeye başlayacaktır ve bu şekilde ağ yapısı birbirinden ayrılarak ısıl işleminde etkisi ile küresel forma gelmeye başlayacaktır

Çizelge 5.13: Orta bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün içerisindeki mat bölgenin EDS analizi sonucu

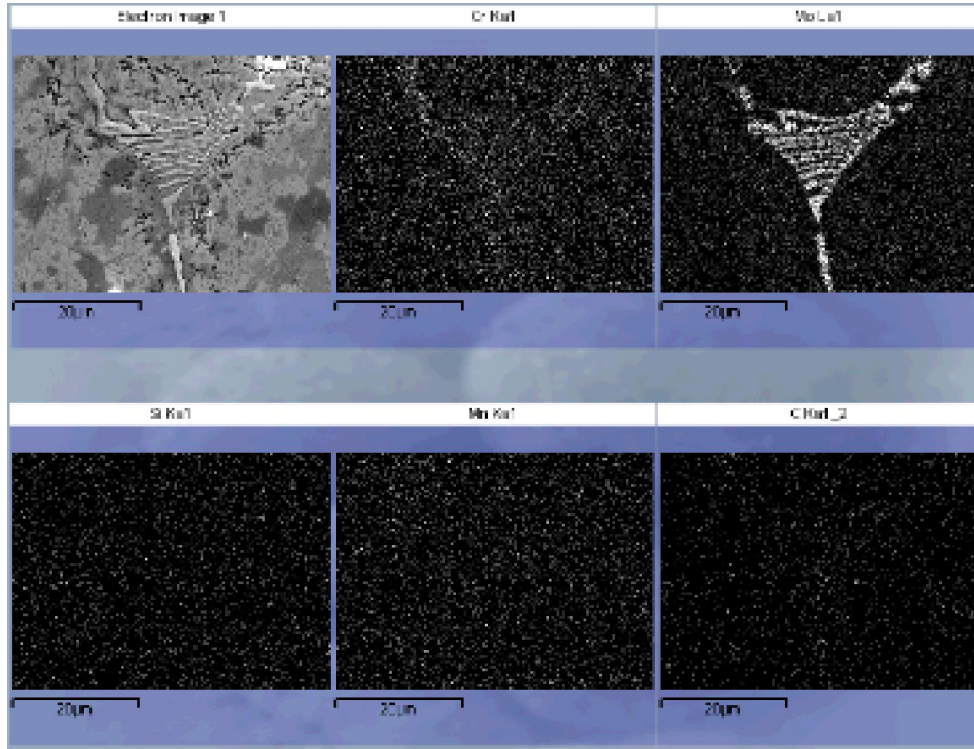
Element	Kütleli Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	9.67	34.44
Si	0.05	0.08
Cr	17.53	14.42
Mn	4.64	3.61
Fe	53.34	40.86
Mo	14.77	6.58

Şekil 5.39 SEM’den alınan ikincil elektron görüntüsüdür ve yapı merkez bölgede bulunan ağ şeklindeki karbürdür. Diğer bölgede bulunan ötektik karbürler ile kimyasal kompozisyonunda fark olup olmadığını incelemek için yapı EDS ve haritalama yöntemleriyle incelenmiştir.



Şekil 5.39: Numunenin merkez bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün görüntüsü

Şekil 5.40’da tarama elektron mikroskobunda haritalama yöntemi ile karbür içerisinde bulunan elementlerin kütleli ağırlıklarına göre bulunduğu bölgeler gösterilmiştir.



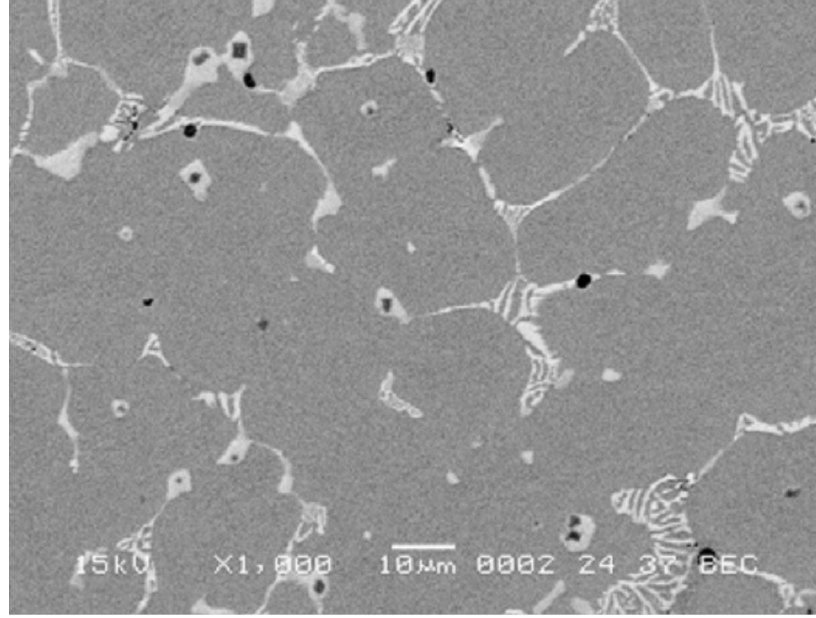
Şekil 5.40: Numunenin merkez bölgesinde bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün haritalama yöntemi ile gösterimi

Çizelge 5.14’de verilen ve yapılan EDS analizi sonuçlarına göre tüm bölgedeki ötektik karbürler benzer kimyasal kompozisyon göstermektedir. Döküm kalıbına olan uzaklığına göre farklı bölgede bulunan ve bir miktar değişen soğuma hızlarına rağmen ötektik karbürler benzer içeriklerdedirler.

Çizelge 5.14: Merkez bölgede bulunan ağ şeklindeki ötektik karbürün EDS analizi sonucu

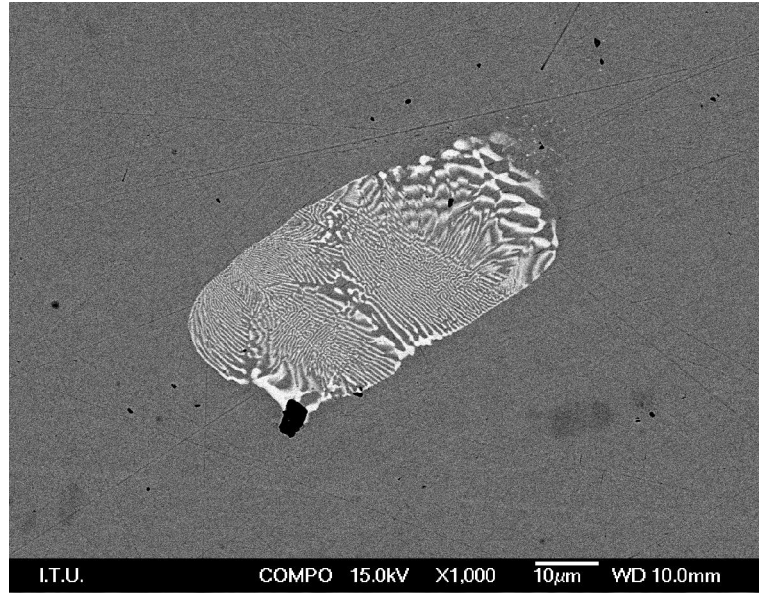
Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	17.86	58.30
Cr	11.51	8.68
Mn	0.90	0.64
Fe	13.22	9.28
Mo	56.51	23.10

Şekil 5.41’de bor katkılı östenitik çeliğin döküm sonrasında oluşan ötektik karbür ağına benzer yapıda bulunan takım çeliğinin SEM’de genel yapısı örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.41: Niobyum alaşımlı takım çeliğininde döküm sonrasında oluşan M_2C ötektikleri [4]

Şekil 5.42’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılma işlemi sonrasında küresel morfolojiye dönüşen karbürün SEM görüntüsü verilmiştir. Yapılan ısıtılma işlemi sonrasında ağ şeklindeki ötektik M_2C karbürlerinin dağılması ile küresel morfolojideki karbürler oluşmuştur.



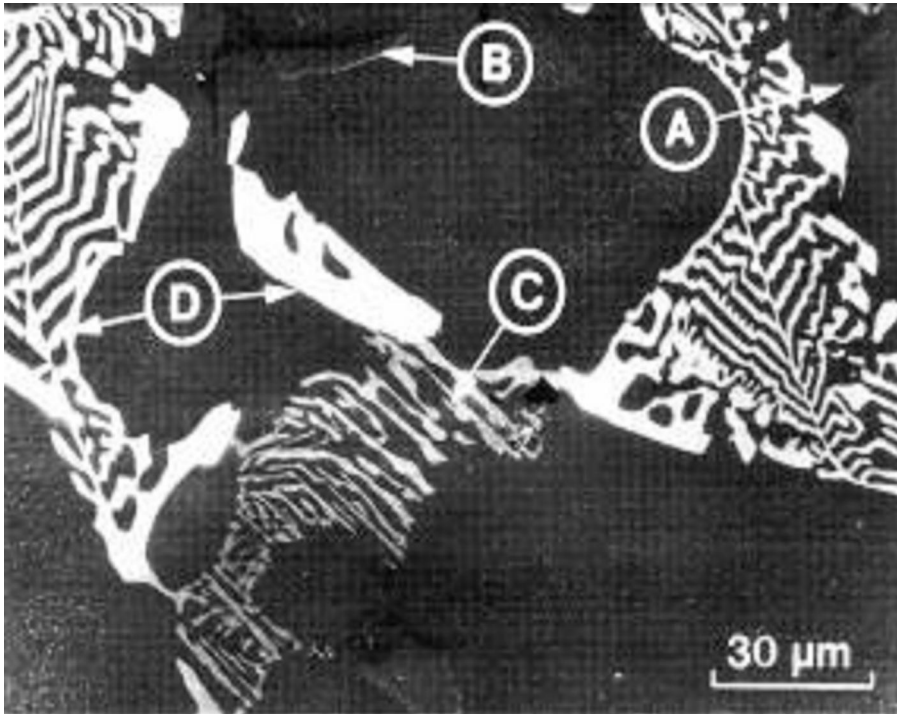
Şekil 5.42: 1235 °C’de 10 saat ısıtılma işlemi sonrasında küresel morfolojiye dönüşen karbürün SEM görüntüsü

Çizelge 5.15’de küresel morfolojiye sahip karbürün EDS analizi sonuçları verilmiştir. Yapılan incelemede küresel karbürün döküm yapısında bulunan ağ şeklindeki karbürlerle benzer kimyasal kompozisyona sahip olduğu ve M_2C karbürü olduğu anlaşılmıştır.

Çizelge 5.15: Küresel morfolojiye sahip karbürün EDS analizi sonucu

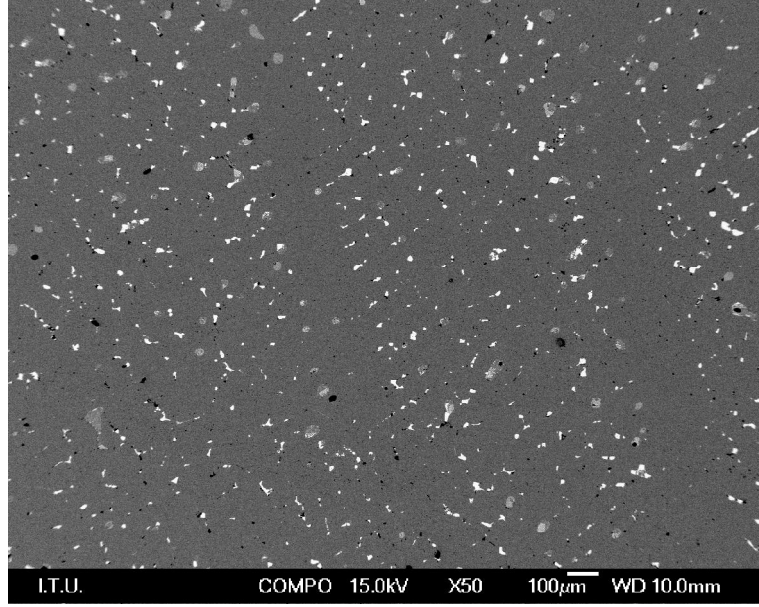
Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	21.43	63.37
Si	0.44	0.56
Cr	11.23	7.67
Mn	2.53	1.64
Fe	11.10	7.06
Mo	53.27	19.71

Şekil 5.43’de MC, M₂C ve M₆C karbürlerinin bulunduğu yapının SEM görüntüsü verilmiştir. SEM incelemesinde materyal kontrast kullanıldığında M₆C karbürleri krom ve molibden gibi karbona göre daha ağır olan elementleri bünyesinde daha fazla bulundurduğundan M₂C karbürlerine göre daha parlak olarak gözükmektedir.



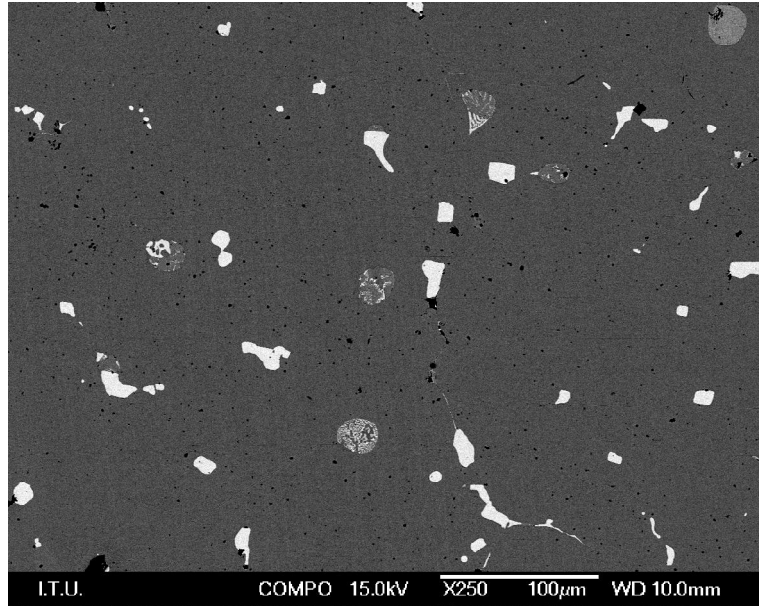
Şekil 5.43: AISI M2 çeliğinin Nb ile alaşımlanmış farklı bir türünün (6-5-1+1 Nb) yapısındaki karbürler, SEM’de atom numarası kontrastı. A: Vanadyumca zengin MC, B: Niobyumca zengin MC, C: M₂C, D: M₆C [4]

Şekil 5.44’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılma gören östenitik çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de kompozisyonel (materyal kontrast) görüntüsü verilmiştir. SEM görüntülerinin büyütme oranları arttıkça M₆C ve M₂C karbürleri kompozisyonel çalışmanın yardımıyla kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.



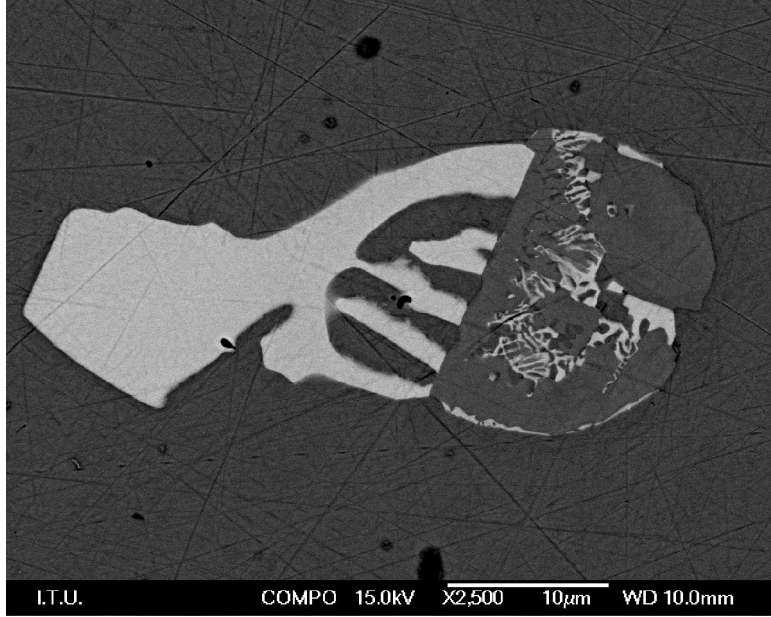
Şekil 5.44: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem gören östenitik çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.43’de MC, M_2C ve M_6C karbürlerinin yapıdaki görünümü ve kontrastını gösteren örnek yapı verilmiştir. Şekil 5.44 ve 5.45’de verilen SEM görüntüleri 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem ve 550 °C’de 24 saat yaşlandırmadan sonra alınmıştır. Yüksek sıcaklık ve uzun süreli yapılan ısıt işlemin ardından M_2C karbürlerinin morfolojisi küresel hale gelmektedir ve yapının çoğunluğu M_6C karbürüne dönüşmektedir. Şekil 5.45’de bazı karbürlerin dönüşümünü tamamlayamadığı, M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu görülmektedir.



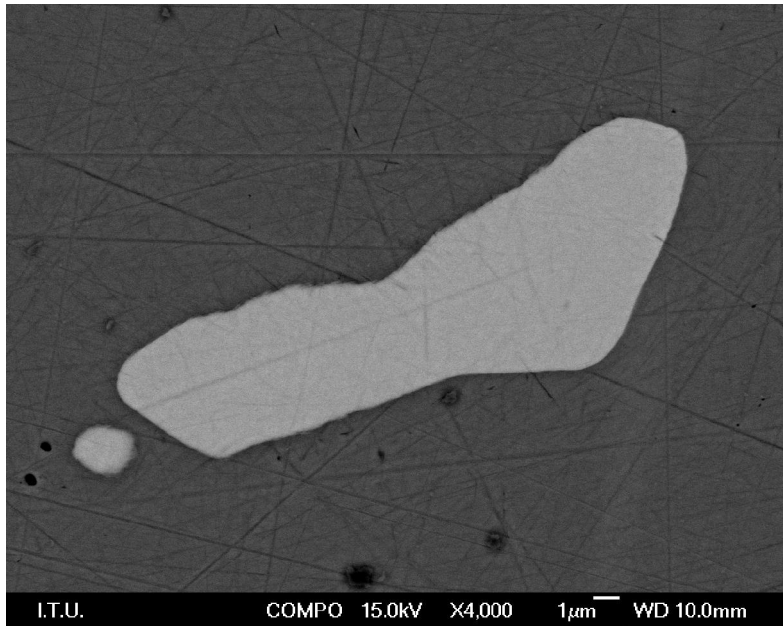
Şekil 5.45: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem gören östenitik çeliğin 550 °C’de 24 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı büyütmedeki genel görüntüsü

Şekil 5.46'da 1235 °C'de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C'de 24 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte dönüşümünü tamamlayamamış M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu yapının SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.46: 1235 °C'de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C'de 24 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu SEM görüntüsü

Şekil 5.47'de dönüşümü tamamlanmış olan M_6C karbürünün SEM görüntüsü verilmiştir ve yapılan EDS analizi ile karbür içinde bulunan elementlerin miktarı tespit edilmiştir.



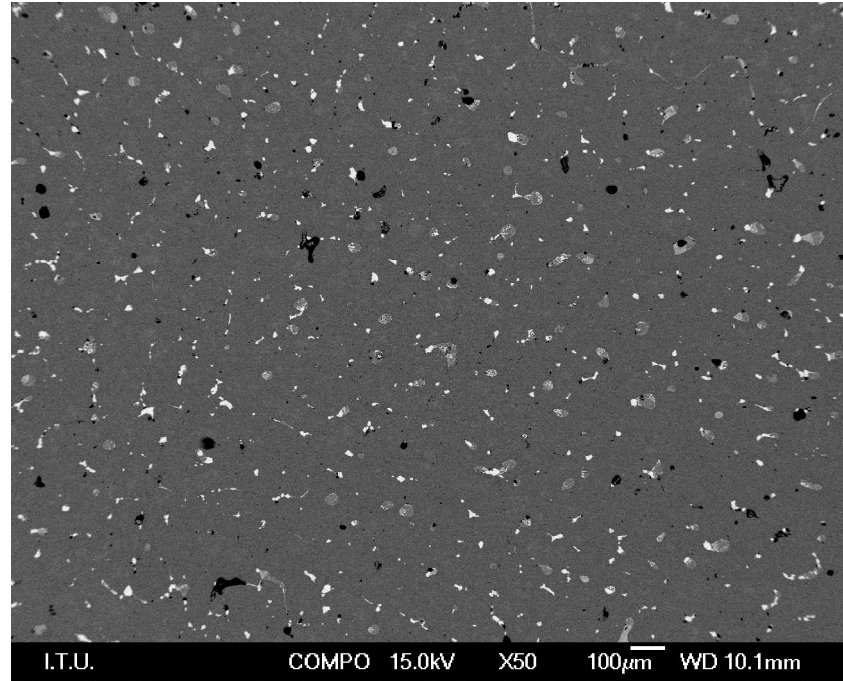
Şekil 5.47: Yapılan ısıtılmanın ardından oluşan M_6C karbürünün SEM görüntüsü

Çizelge 5.16’da verilen M_6C karbürünün EDS analizine bakıldığında M_2C karbüründen farklı olarak karbon oranı düşmüştür. Stokiyometrik katsayılar olarak incelendiğinde M_2C karbüründe beklenen karbon oranı atomal oran olarak %30 civarlarında M_6C karbüründe ise beklenen oran % 15 civarındadır. Fakat EDS analiz sonuçlarında özellikle karbon değerindeki sapmalar normal olarak karşılanmıştır.

Çizelge 5.16: Yapılan ısıtıl işlemin ardından oluşan M_6C karbürünün EDS analizi sonucu

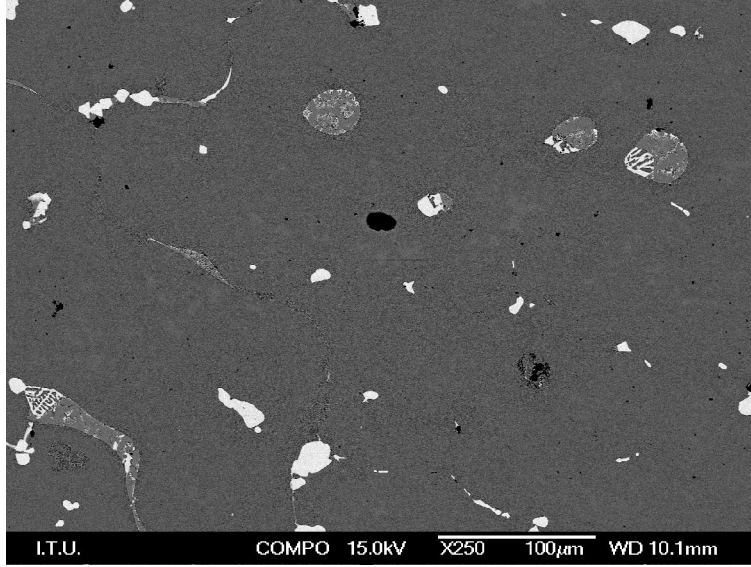
Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	9.48	38.72
Si	1.18	2.05
Cr	4.77	4.50
Mn	1.19	1.06
Fe	30.14	26.46
Mo	53.24	27.21

Şekil 5.48’de 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü verilmiştir. Materyal kontrastla alınan görüntüde mat ve parlak karbürlerin beraber bulunduğu yapılar ve dönüşümünü tamamlamış olan daha parlak olan M_6C karbürleri bulunmaktadır.



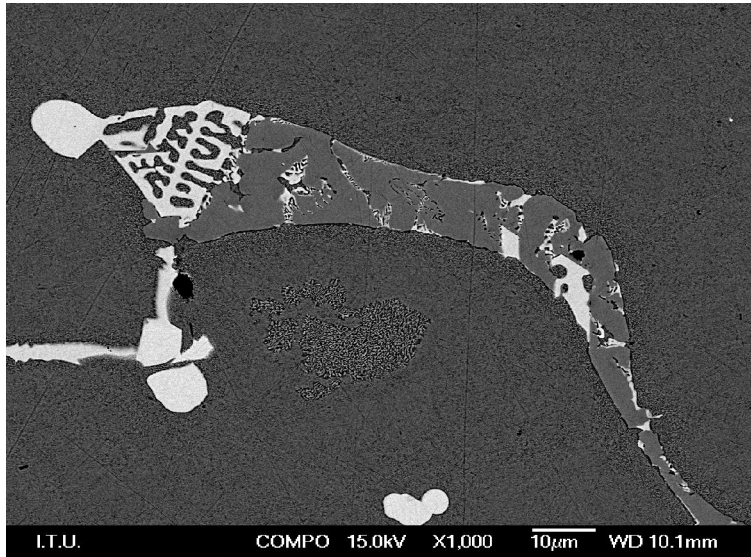
Şekil 5.48: 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.48 ve Şekil 5.49’da verilen SEM görüntüleri östenitik çeliğe uygulanan ısıt işlem ve yaşlandırmanın sonrasında alınmıştır. Görüntüler incelendiğinde bazı karbürlerde dönüşüm tamamlanamamıştır ve bazı yapılarda ise M_2C karbürü ile M_6C karbürleri beraber bulunmaktadır.



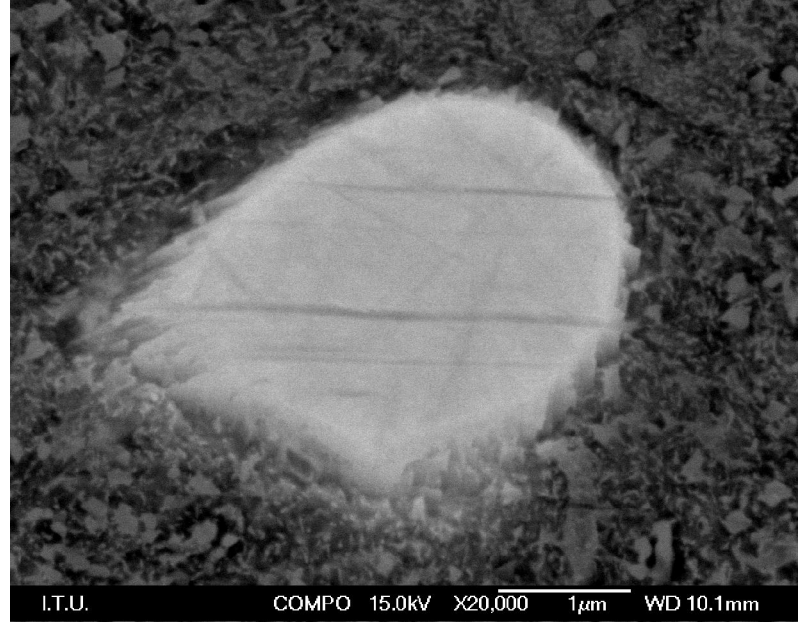
Şekil 5.49: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem gören östenitik çeliğin 800 °C’de 6 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı büyütmedeki genel görüntüsü

Şekil 5.50’de 1235 °C’de 10 saat ısıt işlemin ardından 800 °C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte dönüşümü tamamlanmamış yapı gösterilmektedir.



Şekil 5.50: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlemin ardından 800 °C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte M_2C ve M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu SEM görüntüsü

Şekil 5.51’de 1235 °C’de 10 saat ısıt işlemin ardından 800 °C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemi uygulanmış çelikte dönüşümü tamamlanmış M_6C karbürünün SEM görüntüsü verilmiştir.



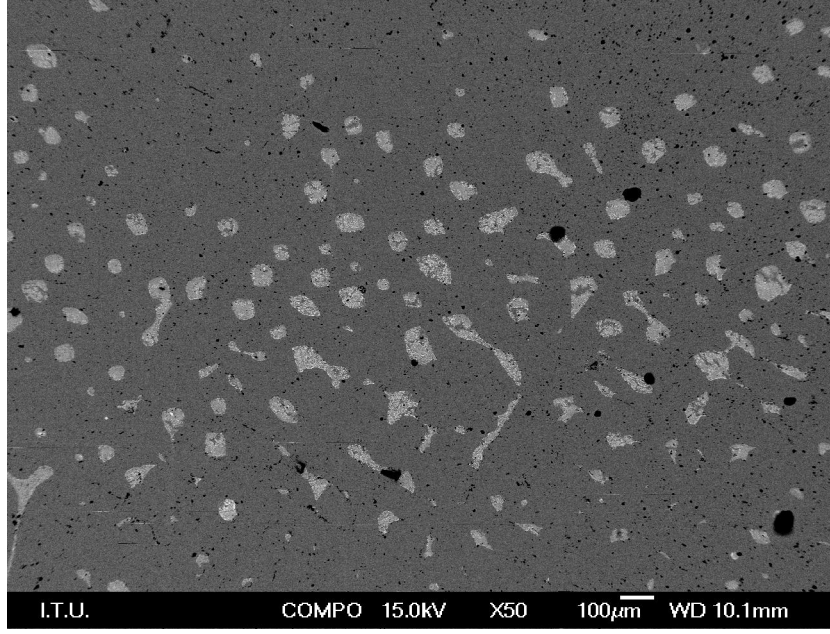
Şekil 5.51: Yapılan ısıt işlemin ardından oluşan M_6C karbürünün SEM görüntüsü

Çizelge 5.17’de verilen 1235 °C’de 10 saat ısıt işlemin ardından 800 °C’de 6 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan M_6C karbürünün EDS analizi ile Çizelge 5.15’de verilen 1235 °C’de 10 saat ısıt işlemin ardından 550 °C’de 24 saat süre ile yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan M_6C karbürünün EDS analizi karşılaştırıldığında hemen hemen aynı kimyasal kompozisyona sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 5.17: Yapılan ısıt işlemin ardından oluşan M_6C karbürünün EDS analizi sonucu

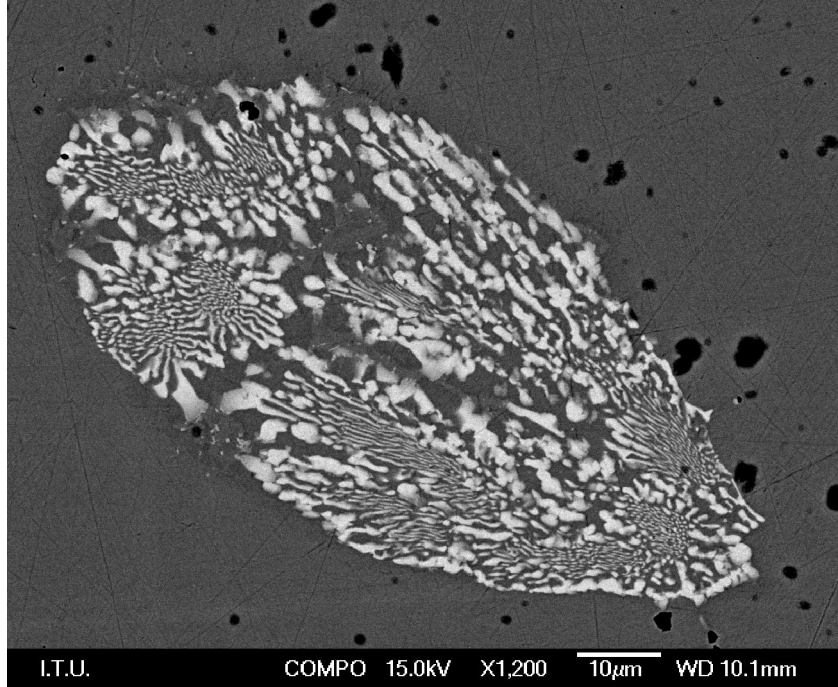
Element	Kütleli Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	9.67	39.29
Si	0.97	1.69
Cr	5.04	4.73
Mn	1.02	0.90
Fe	30.22	26.40
Mo	53.08	26.99

Şekil 5.52’de verilen SEM görüntüsünde 24 saatlik ısıt işlem sonrasında karbürlerin küresel morfolojiye dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 5.52: 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem gören östenitik çeliğin SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.53’de 1250 °C’de 24 saat ısıt işlem gören östenitik çelikte küresel morfolojiye dönüşmüş M_2C karbürünün SEM görüntüsü verilmiştir.



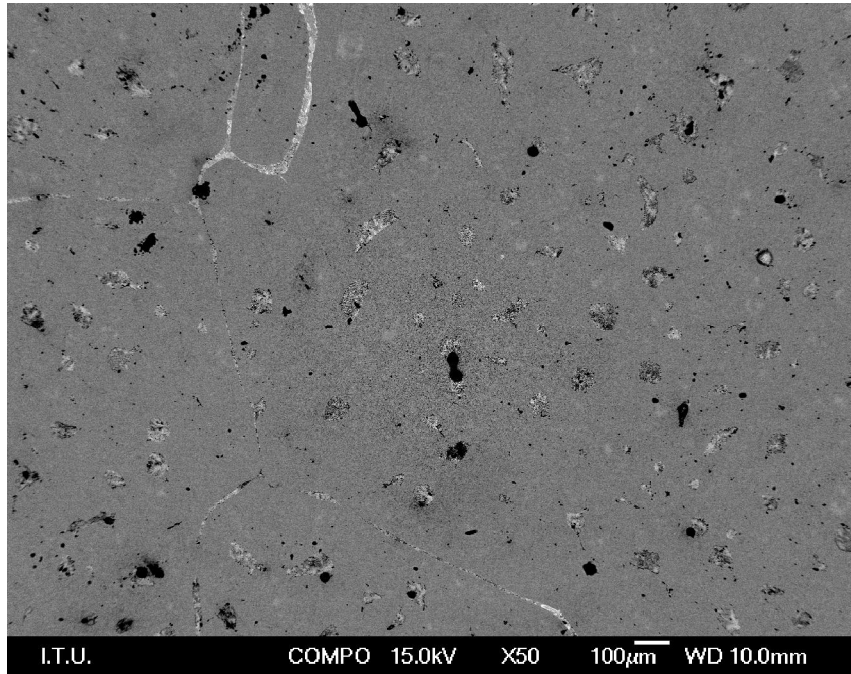
Şekil 5.53: Isıl işlem sonrası küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürü

Çizelge 5.18’de verilen EDS analizi sonucunda 10 saatlik ısıt işlem ve 24 saatlik ısıt işlem sonrasında küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürlerinin kimyasal kompozisyonunda değişim olmadığı görülmüştür.

Çizelge 5.18: Isıl işlem sonrası küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürünün EDS analizi sonucu

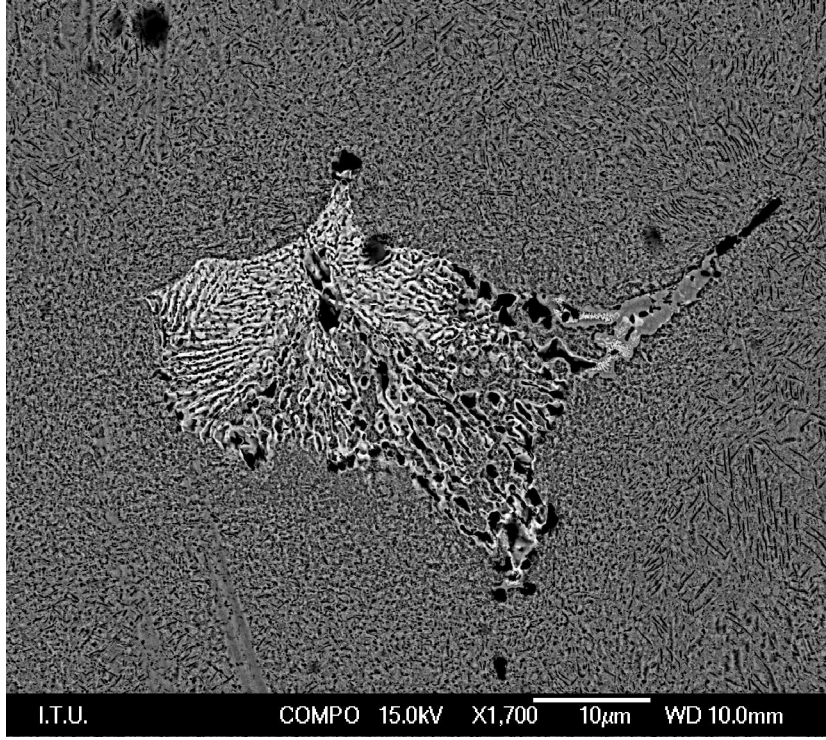
Element	Kütleli Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	17.88	59.28
Cr	11.23	8.60
Mn	1.29	0.94
Fe	7.72	5.50
Mo	61.88	25.68

Şekil 5.54’de 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının SEM’de genel görüntüsü verilmiştir. Numune dağlandıktan sonra farklı morfolojideki bazı çökeltiler tespit edildiği için SEM incelemesi dağlandıktan sonra yapılmıştır ve farklı morfolojideki yapılar EDS analizi ile incelenmiştir. Numune dağlanmış halde olduğundan karbürler parlatılmış haldeki yapı kadar net olarak görüntülenememiştir.



Şekil 5.54: 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile oluşan yapının SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.55’de 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması sonrasında dönüşüm sonrasında oluşan M_6C karbürünün SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.55: 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması sonrasında oluşan M_6C karbürünün SEM’de görüntüsü

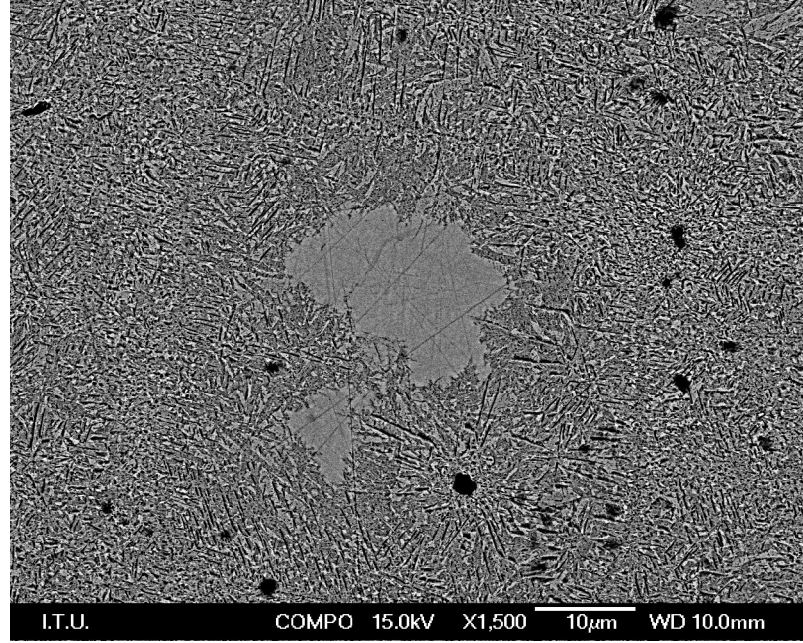
Çizelge 5.19’da 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması sonrasında dönüşümünü tamamlayarak oluşan M_6C karbürünün EDS analizi sonucu verilmiştir.

Çizelge 5.19: M_6C karbürünün EDS analizi sonucu

Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	8.0	32.83
Cr	7.63	7.24
Mn	2.63	2.36
Fe	42.21	37.36
Mo	39.53	20.31

Şekil 5.56’da 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen farklı morfolojideki yapının SEM görüntüsü verilmiştir ve aynı yapı EDS analizi yapılarak incelenmiştir.

Çizelge 5.20’de 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen farklı morfolojideki yapının EDS analizi sonuçları verilmiştir



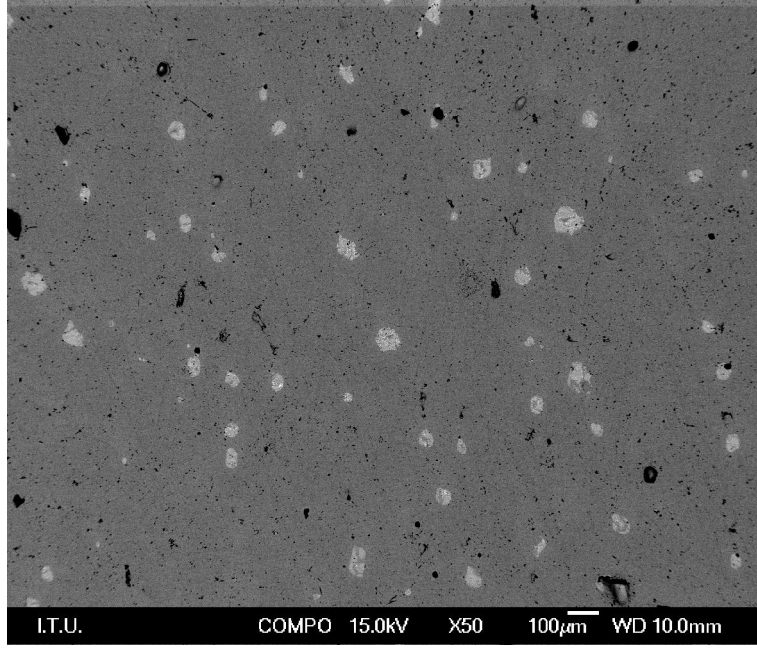
Şekil 5.56: 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen farklı morfolojideki yapının SEM görüntüsü

Çizelge 5.20: Farklı morfolojideki yapının EDS analizi sonucu

Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	8.0	32.83
Cr	7.63	7.24
Mn	2.63	2.36
Fe	42.21	37.36
Mo	39.53	20.31

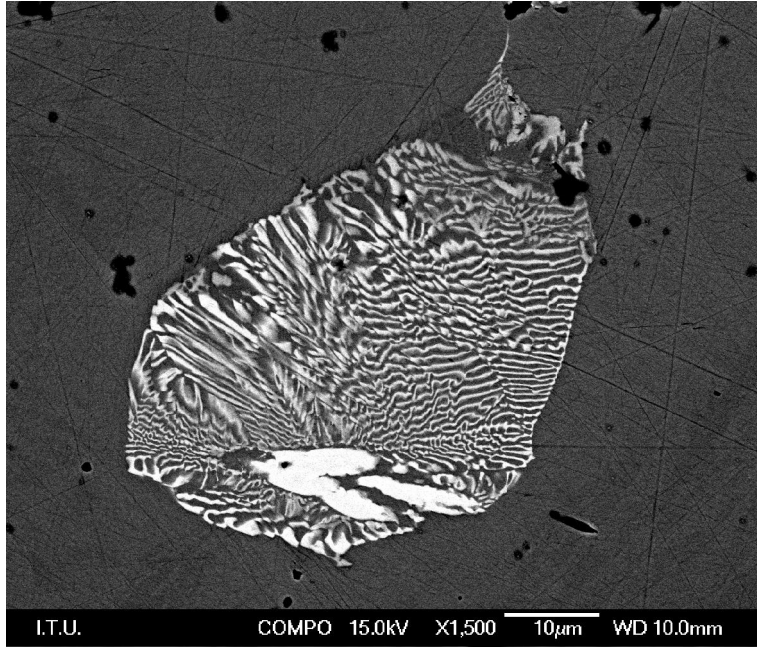
Yapılan EDS analizi sonucunda 1250 °C’de 24 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen farklı morfolojideki yapının M_2C ve M_6C karbürlerinden farklı olarak demir ağırlıklı karbür çökeltisi olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.57’de verilen SEM görüntüsünde 1250 °C’de 48 saat ısıtım işlemi sonrasında yapı içerisindeki karbürlerin çoğunluğu östenit fazında çözündüğü görülmüştür. SEM görüntüsünde küresel karbürlerin boyutlarında ufalma olduğu ve yapı içerisinde miktar olarak azaldığı görülmektedir. 48 saat süre ile yapılan ısıtım işlemi sonrasında yapı içerisindeki ağ şeklindeki ötektik karbürlerin tamamı östenit içerisinde çözülmüştür.



Şekil 5.57: 1250 °C’de 48 saat ısıtılma gören östenitik çeliğin SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.58’de 1250 °C’de 48 saat ısıtılma gören östenitik çelikte oluşan küresel morfolojideki M_2C karbürünün SEM görüntüsü verilmiştir.



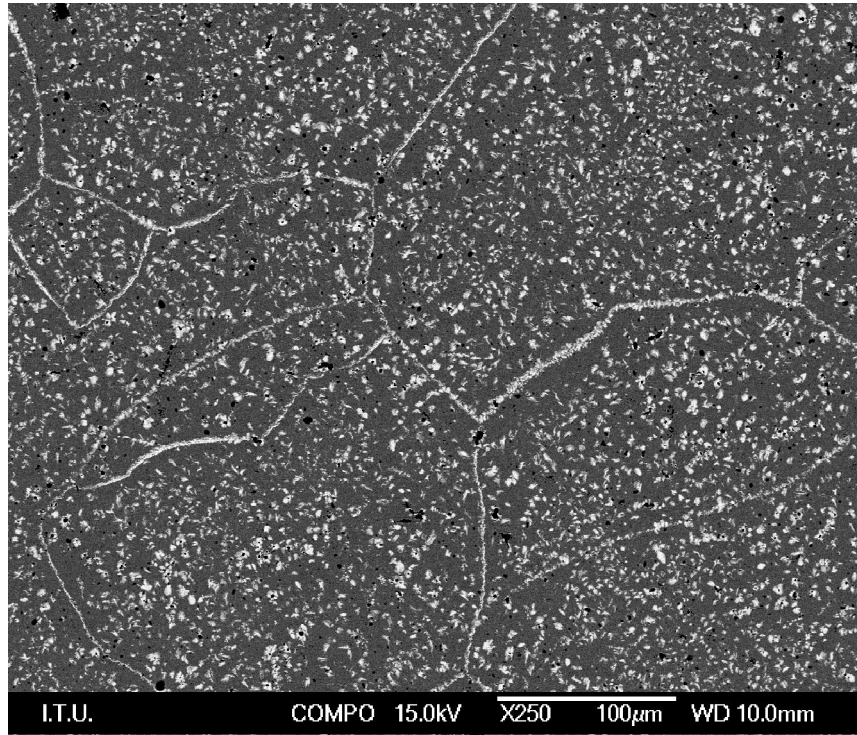
Şekil 5.58: Isıtılma sonrası küresel morfolojiye dönüşen M_2C karbürünün SEM görüntüsü

Çizelge 5.21’de verilen EDS analizi sonucunda 1250 °C’de 48 saat ısıtılma sonrasında oluşan küresel M_2C karbürleri ile 10 saat ve 24 saat süre ile yapılan ısıtılma sonrasında oluşan küresel M_2C karbürleri arasında kimyasal kompozisyon olarak herhangi bir fark görülmemiştir.

Çizelge 5.21: Isıl işlem sonrası oluşan küresel M_2C karbürünün EDS analizi sonucu

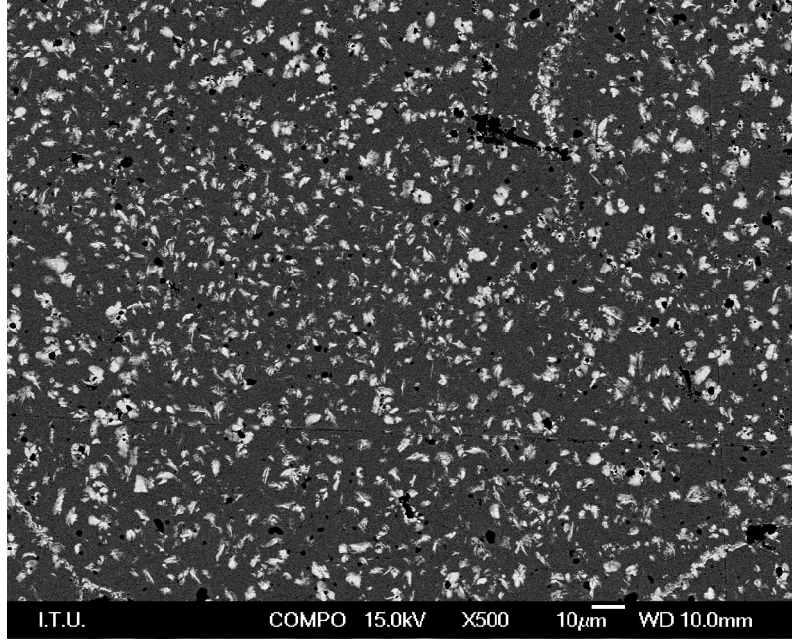
Element	Kütleli Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	19.41	62.08
Cr	9.92	7.33
Mn	1.00	0.70
Fe	6.94	4.77
Mo	62.73	25.12

Şekil 5.59’da 1250 °C’de 48 saat ısıtılma gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM görüntüsü verilmiştir. Yaşlandırma sonrasında dönüşümü tamamlanmış karbürler tüm yapı içerisine homojen ve yoğun olarak dağılmıştır. Tane sınırlarında karbürlerin yoğun olarak bulunduğu görülmektedir.



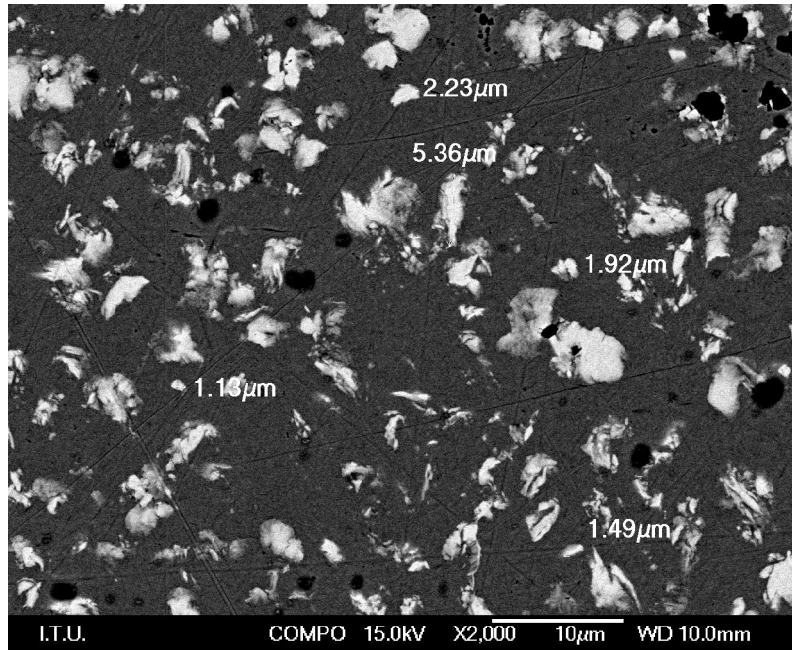
Şekil 5.59: 1250 °C’de 48 saat ısıtılma gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de genel görüntüsü

Şekil 5.60’da yaşlandırma sonrasında oluşan tüm yapı içinde yoğun olarak bulunan M_6C karbürlerinin SEM’de farklı büyütmedeki görüntüsü verilmiştir. Oluşan M_6C karbürleri tüm yapı içerisine homojen olarak dağılmıştır ve çok küçük boyutlardadır.



Şekil 5.60: 1250 °C’de 48 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile elde edilen yapının SEM’de farklı görüntüsü

Şekil 5.61’de verilen SEM görüntüsünde yapılan ısıtım ve yaşlandırma işlemleri sonrasında dönüşümünü tamamlayan M_6C karbürlerinin boyutlarının 1-5 μm arasında olduğu görülmektedir



Şekil 5.61: 1250 °C’de 48 saat ısıtım işlemi gören östenitik çeliğin 800 °C’de 9 saat yaşlandırılması ile dönüşümünü tamamlayan M_6C karbürlerinin boyutları

Çizelge 5.22’de dönüşümünü tamamlamış M_6C karbürünün EDS analizi sonucu verilmiştir.

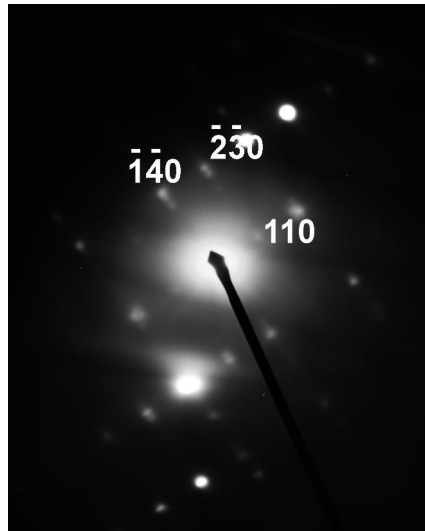
Çizelge 5.22: Dönüşümünü tamamlamış M_6C karbürünün EDS analizi sonucu

Element	Kütlesel Ağırlık, %	Atomal Oran, %
C	4.43	21.34
Cr	4.26	4.74
Mn	2.17	4.74
Fe	41.29	42.77
Mo	47.85	28.86

5.4.3 TEM incelemeleri

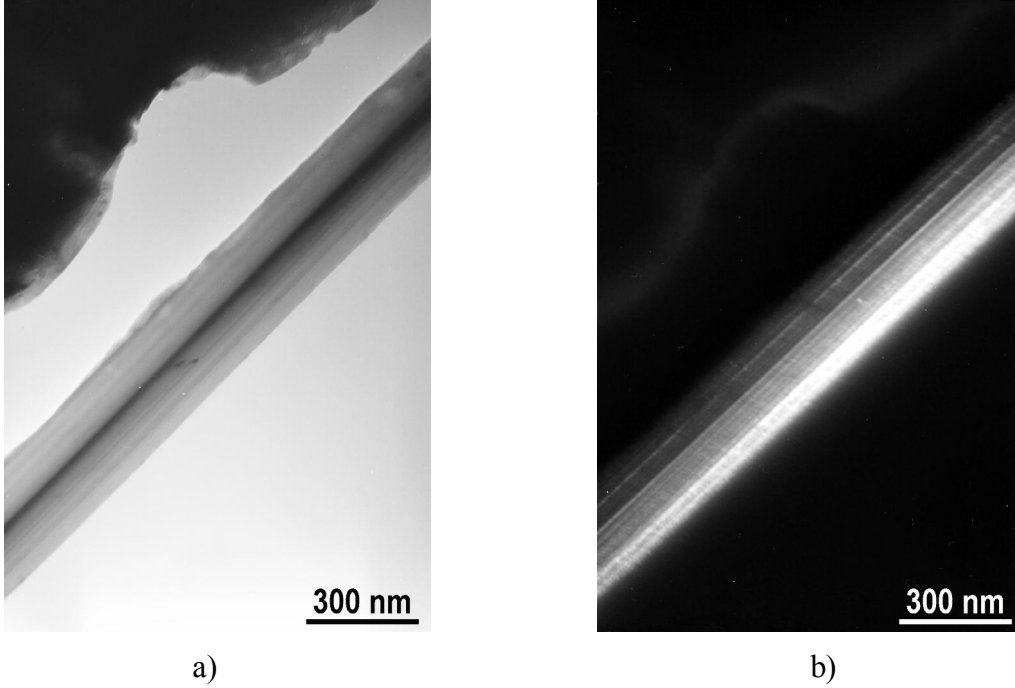
Östenitik çelikte döküm yapısını, yapılan ısıl işlem ve yaşlandırmaları incelemek için TEM çalışması yapılmıştır. Numuneler öncelikle 0,2 mm kalınlığa kadar inceltilmiştir. İnceltile örneklerden 3 mm çaplı daire biçiminde numuneler çıkartılmıştır. 3 mm çapında bu dairesel numunelerin TEM numune hazırlama cihazı olan dimple incelticide merkez bölgeleri daha fazla inceltilmiştir ve yaklaşık 0,16 mm ye ulaşmıştır. Bundan sonraki aşamada numuneler elektrolitik dağlama cihazına konulmuştur ve $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de dağlama işlemi yapılmıştır. Numunelerin merkez kısmı daha ince olduğu için bu bölgelerde delinme olduktan sonra dağlama işlemi sonlandırılmıştır. Dağlama işleminin yardımıyla numunelerin merkez kısmında oluşan deliğin etrafındaki bölgeler TEM cihazında incelemek yapmak için yeterli inceliğe ulaşmıştır.

Şekil 5.62'de östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Cr_3C_2 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



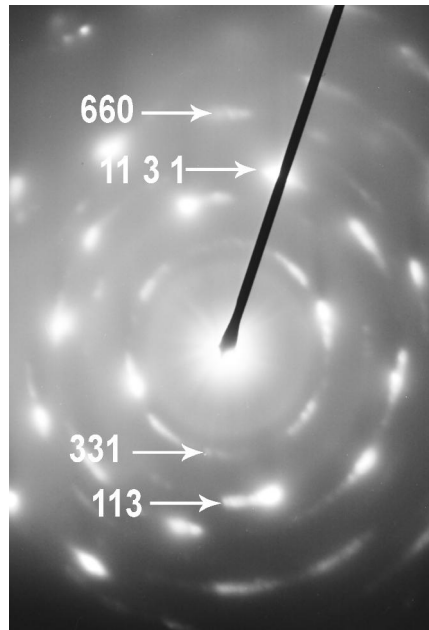
Şekil 5.62: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Cr_3C_2 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.63 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.63 (b) İncelenen bölgede alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_3C_2 yapısı bu bölgededir.



Şekil 5.63: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Cr_3C_2 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.64’de östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $\text{Fe}_{1.1}\text{Cr}_{0.9}\text{B}_{0.9}$ yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



Şekil 5.64: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $\text{Fe}_{1.1}\text{Cr}_{0.9}\text{B}_{0.9}$ yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.65’de östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $\text{Fe}_{1.1}\text{Cr}_{0.9}\text{B}_{0.9}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.65 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.65 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve $\text{Fe}_{1.1}\text{Cr}_{0.9}\text{B}_{0.9}$ yapısı bu bölgededir.



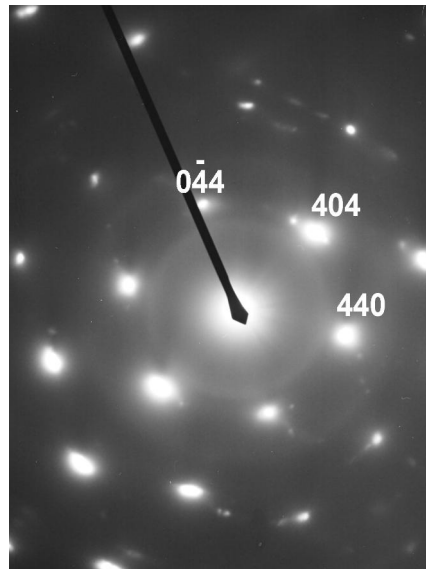
a)



b)

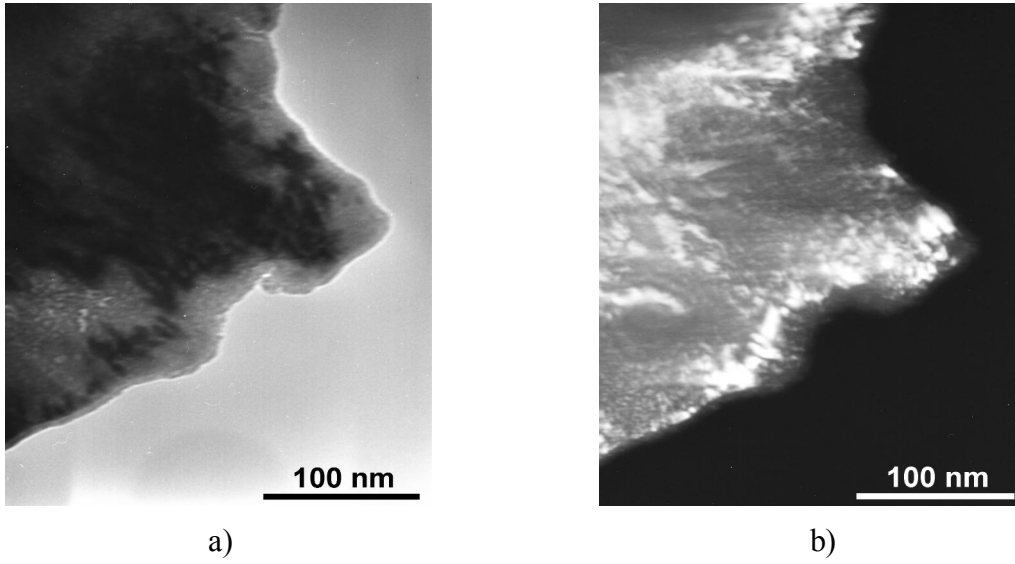
Şekil 5.65: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $\text{Fe}_{1.1}\text{Cr}_{0.9}\text{B}_{0.9}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.66’da östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Mn_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



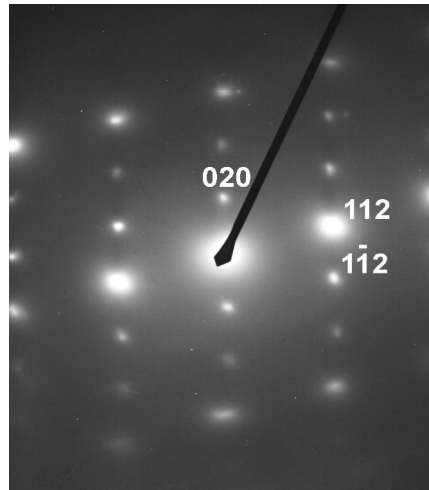
Şekil 5.66: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan Mn_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.67’de östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Mn_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.67 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.67 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve $Mn_{23}C_6$ yapısı bu bölgededir. Döküm yapısında ışık mikroskobu ve SEM’de yapılan incelemelerde ağ şeklinde M_2C karbürleri bulunmuştur. TEM incelemelerinde M_2C ötektiği haricinde nano boyutlarda Cr_3C_2 , $Fe_{1.1}Cr_{0.9}B_{0.9}$ ve $Mn_{23}C_6$ yapılarına rastlanılmıştır.



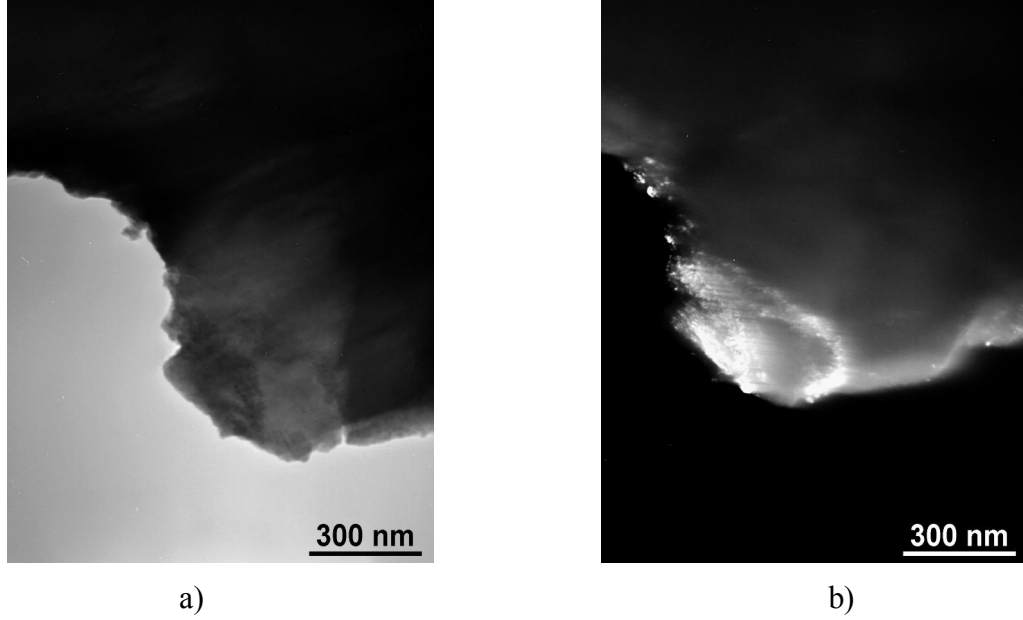
Şekil 5.67: Östenitik çeliğin döküm halinde bulunan $Mn_{23}C_6$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.68’de 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Fe_{1.8}Mn_{1.2}C_{1.0}$ yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



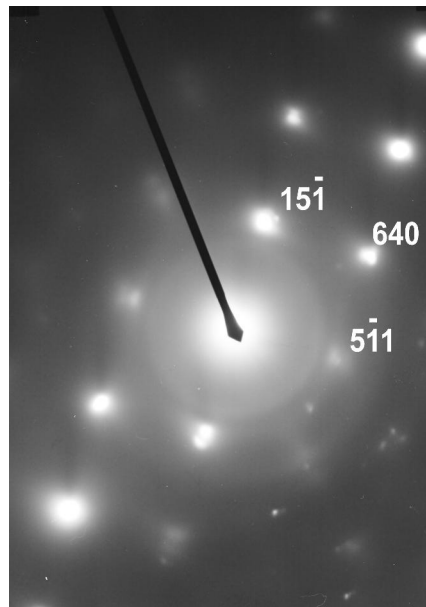
Şekil 5.68: 1235 °C’de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $Fe_{1.8}Mn_{1.2}C_{1.0}$ yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.69'da 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $\text{Fe}_{1.8}\text{Mn}_{1.2}\text{C}_{1.0}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.69 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.69 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve $\text{Fe}_{1.8}\text{Mn}_{1.2}\text{C}_{1.0}$ yapısı bu bölgededir.



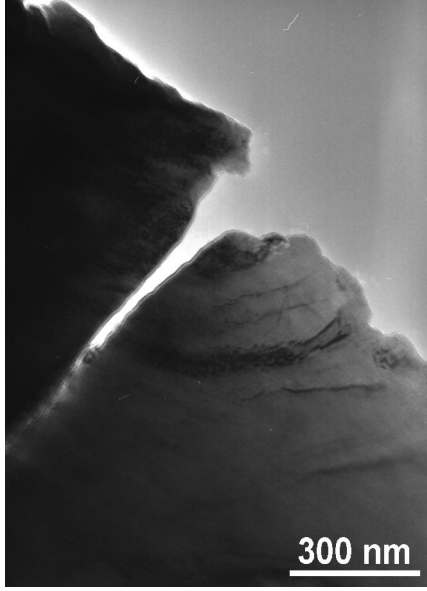
Şekil 5.69: 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan $\text{Fe}_{1.8}\text{Mn}_{1.2}\text{C}_{1.0}$ yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.70'de 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.

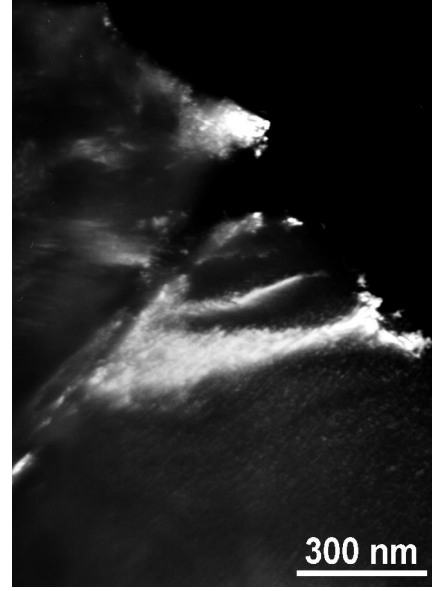


Şekil 5.70: 1235 °C'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.71’de 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.71 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.71 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_{23}C_6 yapısı bu bölgededir.



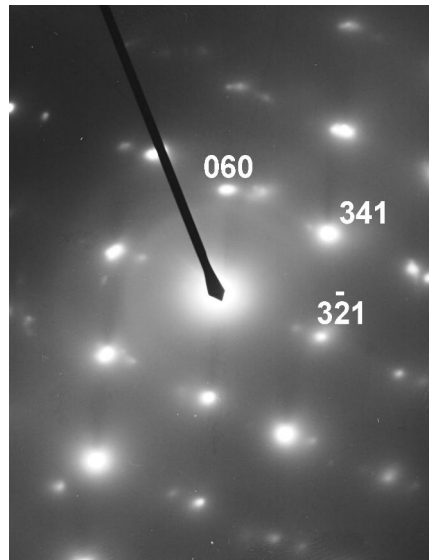
a)



b)

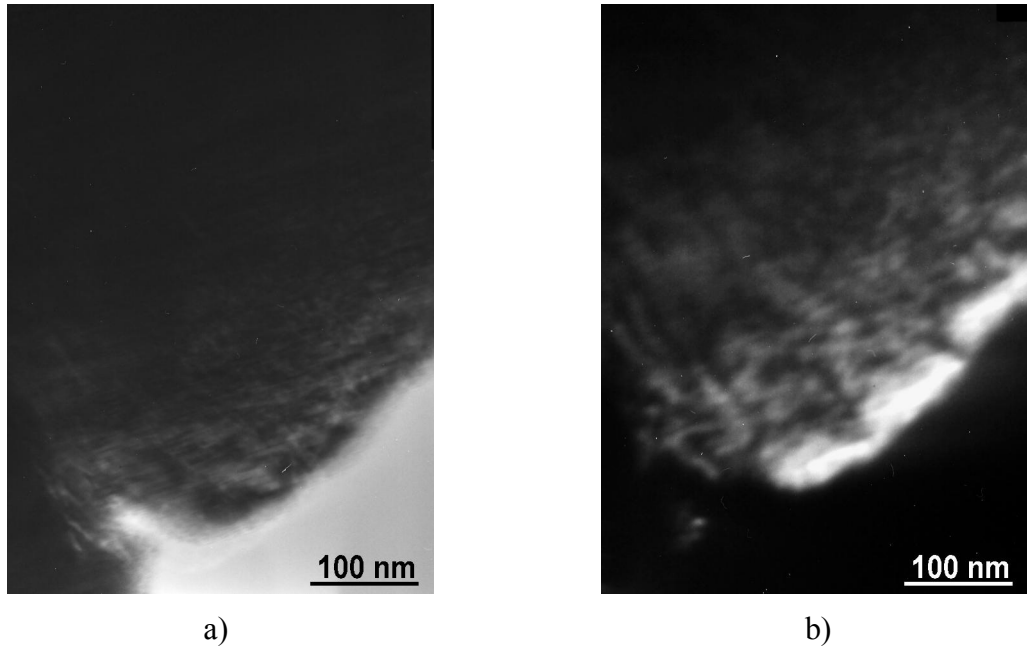
Şekil 5.71: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.72’de 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



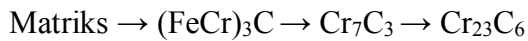
Şekil 5.72: 1235 °C’de 10 saat ısıt işlem uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.73’de 1235 °C’de 10 saat ısıtım işlemi uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.73 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.73 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_7C_3 yapısı bu bölgededir. 1235 °C’de 10 saat ısıtım işlemi uygulanan östenitik çelikte ışık mikroskobu ve SEM’de yapılan incelemelerde ötektik yapıda karbürler bulunmuştur. Bu karbürler ısıtım işlemin etkisiyle morfolojik olarak küresel halledirler ve bazıları döküm yapısında olduğu gibi ağ şeklinde kalmıştır. TEM incelemelerinde ötektik karbür yapılarının haricinde nano boyutlarda $\text{Fe}_{1.8}\text{Mn}_{1.2}\text{C}_{1.0}$, Cr_{23}C_6 ve Cr_7C_3 yapılarına rastlanılmıştır.



Şekil 5.73: 1235 °C’de 10 saat ısıtım işlemi uygulanan östenitik çelikte bulunan Cr_7C_3 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

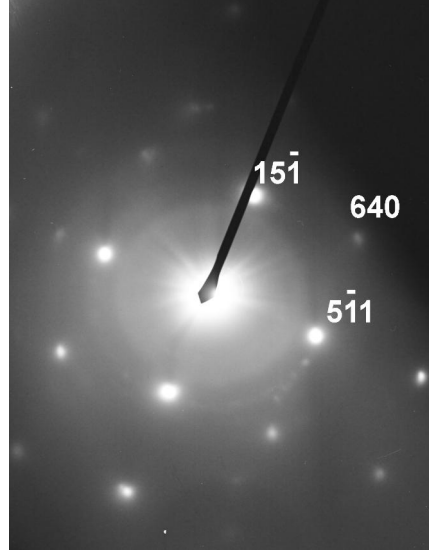
Kromlu çeliklerde iki krom karbürle çok sık karşılaşılır: Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 . Temperleme sırasındaki normal karbür şöyledir [2]:



Yaklaşık olarak % 7 Cr düzeyinin altında yüksek kromlu çeliklerde bu sıralama meydana gelirken, molibden gibi metaller bulunmadığı sürece Cr_{23}C_6 oluşmaz [2].

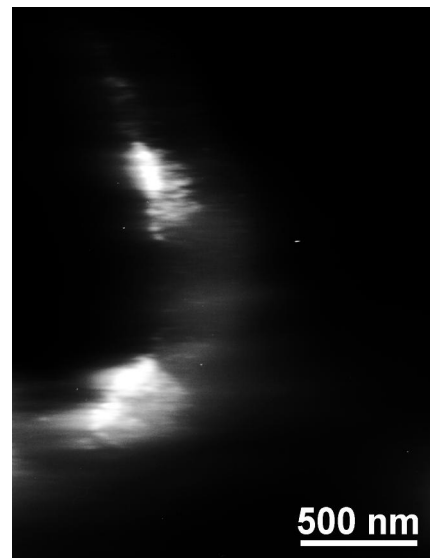
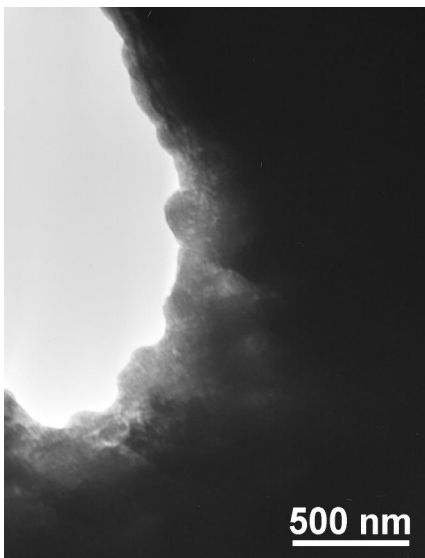
TEM incelemesinde yapıda bulunan Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 karbürlerine bakıldığında Cr_7C_3 yapısı matriksten gelen ve ısıtım işlemin etkisi ile oluşan yapıdır. Cr_{23}C_6 yapısı ise bulunan Cr_7C_3 yapısının dönüşmüş halidir.

Şekil 5.74’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



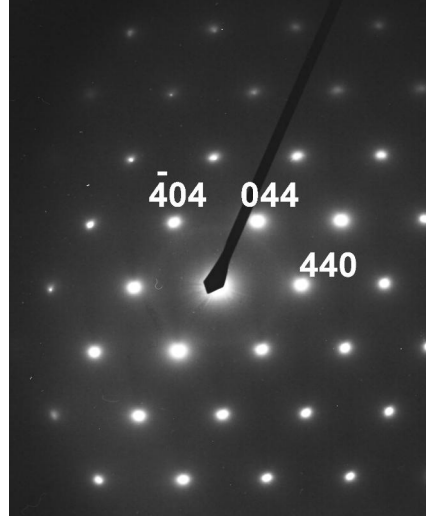
Şekil 5.74: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.75’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.75 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.75 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_{23}C_6 yapısı bu bölgededir.



Şekil 5.75: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.76'da 1235 °C'de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C'de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan diğer Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.

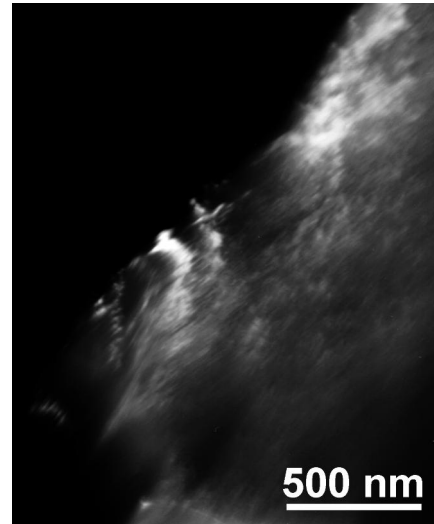


Şekil 5.76: 1235 °C'de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C'de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan diğer Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.77'de 1235 °C'de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C'de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan diğer Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.77 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.77 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_{23}C_6 yapısı bu bölgededir.



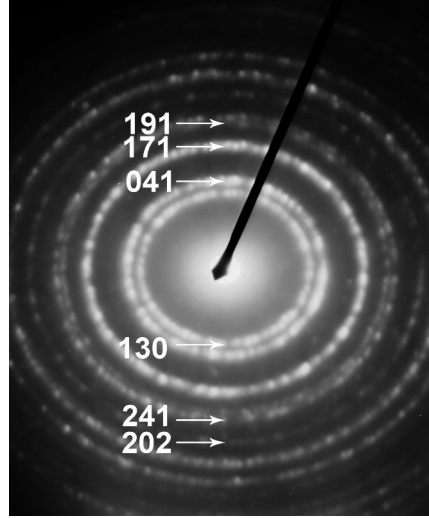
a)



b)

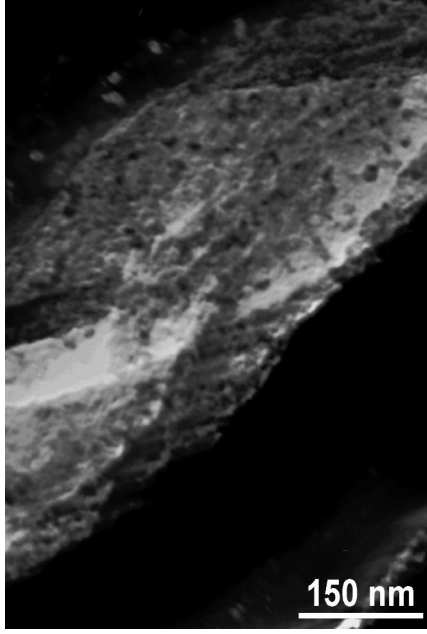
Şekil 5.77: 1235 °C'de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C'de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan diğer Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.78’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo₂BC yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.

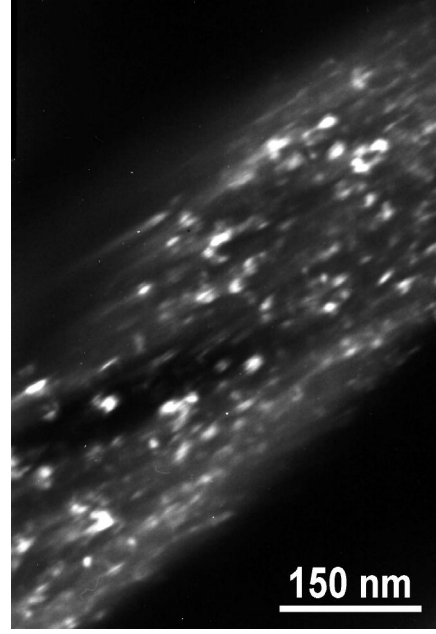


Şekil 5.78: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo₂BC yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.79’da 1235 °C’de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan Mo₂BC yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.79 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.79 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Mo₂BC yapısı bu bölgededir. 1235 °C’de 10 saat ısıtılmasının ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte ışık mikroskobu ve SEM’de yapılan incelemelerde küresel morfolojide ve döküm yapısından gelen ağ şeklindeki karbürlerle rastlanılmıştır. Bu karbürlerin bir kısmı ısıtılma işlemi ve yaşlandırmanın etkisi ile M₂C karbür yapısından M₆C karbür yapısına dönüşmüştür ve bazılarının ise dönüşümü tamamlanamamış olup M₂C ve M₆C karbür yapıları beraber bulunmaktadır.. TEM incelemelerinde ötektik karbür yapılarının haricinde numunenin farklı bölgelerinde bulunan Cr₂₃C₆ yapılarına ve Mo₂BC yapısına rastlanılmıştır. 550 °C’de yapılan yaşlandırma işleminde Mo₂C karbür çökeltileri beklenilmektedir. Östenitik çelikte bulunan bor elementinin etkisiyle nano boyuttaki bu çökeltiler Mo₂BC tarzında olmaktadır. Ayrıca Cr₂₃C₆ yapılarının yaşlandırma esnasında özellikle 1235 °C’de 10 saat ısıtılmasının ardından rastlanılan yapı olan Cr₇C₃ yapısından çekirdeklendiği ve dönüşüme uğradığı düşünülmektedir.



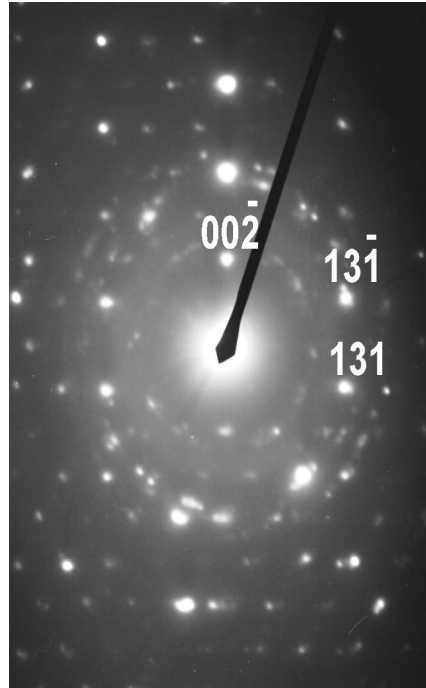
a)



b)

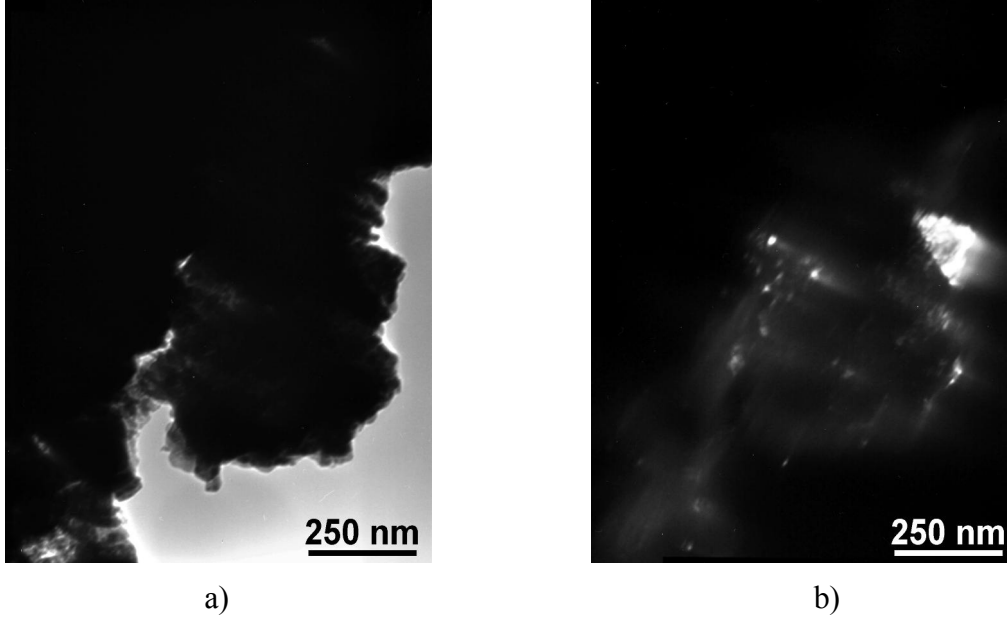
Şekil 5.79: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 550 °C’de 24 saat yaşlandırma yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2BC yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.80’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_7BC_4 yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.



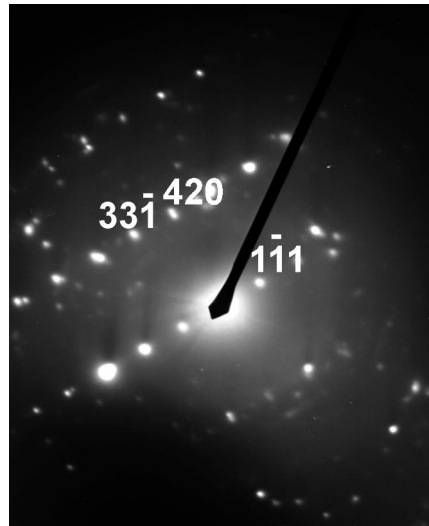
Şekil 5.80: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_7BC_4 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.81’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_7BC_4 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.81 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.81 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_7BC_4 yapısı bu bölgededir.



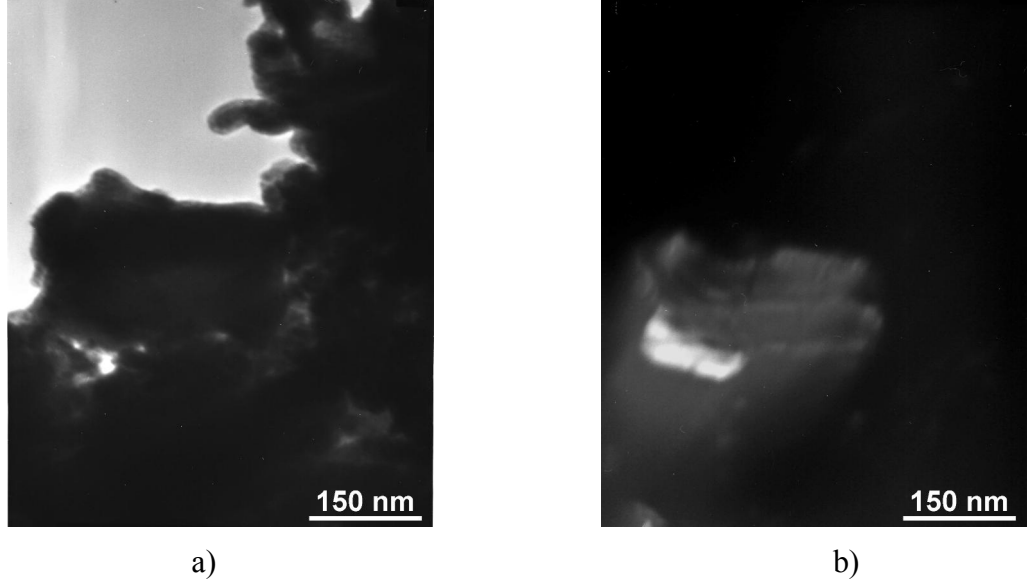
Şekil 5.81: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_7BC_4 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.82’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni



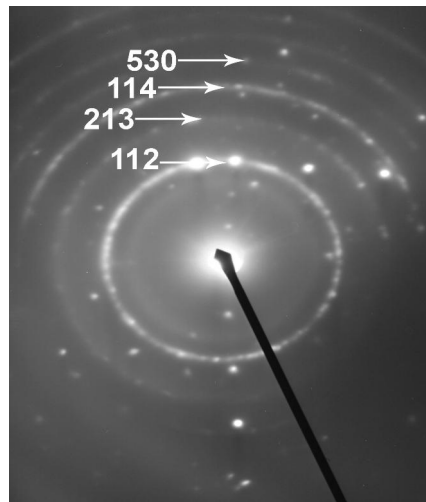
Şekil 5.82: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.83’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.83 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.83 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Cr_{23}C_6 yapısı bu bölgededir.



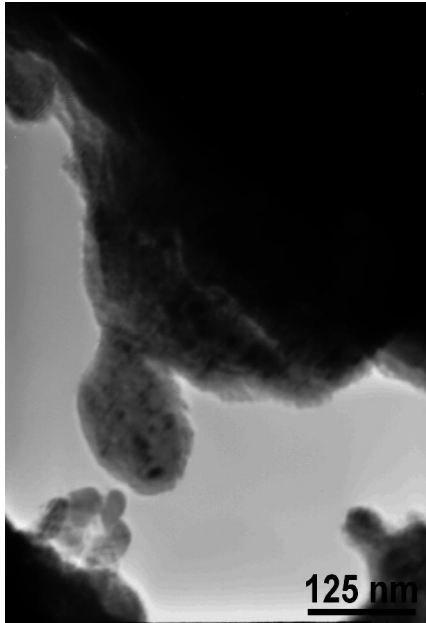
Şekil 5.83: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Cr_{23}C_6 yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

Şekil 5.84’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2B yapısının difraksiyon paterni verilmiştir.

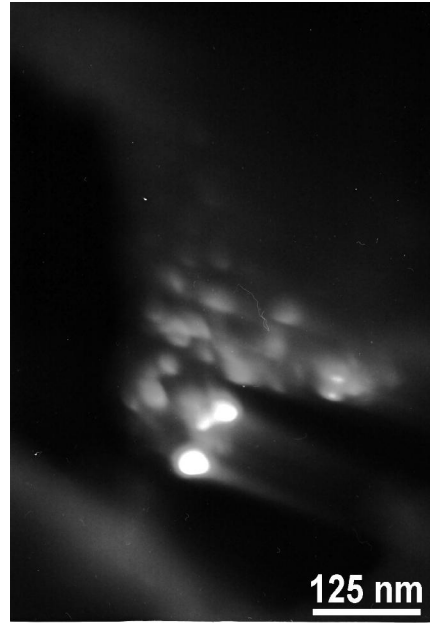


Şekil 5.84: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2B yapısının difraksiyon paterni

Şekil 5.85’de 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2B yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.85 (a) İncelenen bölgenin aydınlık alan görüntüsüdür. Şekil 5.85 (b) İncelenen bölgeden alınan karanlık alan görüntüsüdür. Karanlık alanda parlayan kısım difraksiyon paterni veren bölgelerdir ve Mo_2B yapısı bu bölgededir. 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte ışık mikroskobu ve SEM’de yapılan incelemelerde küresel morfolojide ve döküm yapısından gelen ağ şeklindeki karbürlere rastlanılmıştır. Bu karbürlerin bir kısmı ısıtılma işlemi ve yaşlandırmanın etkisi ile M_2C karbür yapısından M_6C karbür yapısına dönüşmüştür ve bazılarının ise dönüşümü tamamlanamamış olup M_2C ve M_6C karbür yapıları beraber bulunmaktadır. TEM incelemelerinde ötektik karbür yapılarının haricinde Cr_7BC_4 , Cr_{23}C_6 ve Mo_2BC yapılarına rastlanılmıştır. 800 °C’de yapılan yaşlandırma işleminde borür çökeltileri beklenilmektedir ve yapı içerisinde nano boyutta Mo_2B tarzı borüre rastlanılmıştır. Ayrıca Cr_{23}C_6 yapılarının yaşlandırma esnasında, özellikle 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından rastlanılan yapı olan Cr_7C_3 yapısından çekirdeklendiği ve dönüşüme uğradığı düşünülmektedir.



a)



b)

Şekil 5.85: 1235 °C’de 10 saat ısıtılmanın ardından 800 °C’de 6 saat yaşlandırma işlemi yapılan östenitik çelikte bulunan Mo_2B yapısının aydınlık ve karanlık alan görüntüleri

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında ısıtıl işlem parametrelerinin bor katkılı östenitik çelik üzerine etkileri incelenmiştir. Yapı içerisinde bulunan molibden ve krom, karbür yapıcı elementlerdir. Yapıda bulunan bor elementi ise borür yapıcı elementtir. Sertlik değerlerini arttırmak için yaşlandırma işlemleri boyunca karbür çöktürmeleri haricinde borür çöktürmeleride elde edilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

(i) Numunenin döküm yapısında ağ şeklindeki M_2C ötektik karbürleri bulunmaktadır. M_2C ötektiği dışında nano boyutlarda Cr_3C_2 , $Fe_{1.1}Cr_{0.9}B_{0.9}$ ve $Mn_{23}C_6$ yapılarına rastlanılmıştır. Döküm yapısının sertliği 347 vickerstir. Döküm ile yapılan üretimlerde tane boyutları genel olarak büyüktür ve östenitik çeliğin döküm sonrası tane boyutu yaklaşık olarak $50\ \mu m$ 'dir.

(ii) Döküm yapısında bulunan ağ şeklindeki M_2C ötektik karbürleri östenitik çeliği gevrek hale getirdiği için bu karbür yapısını dağıtmak için $1235\ ^\circ C$ 'de 10 saat ısıtıl işlem uygulanmıştır. Yapılan ısıtıl işlem sonrasında ötektik karbürlerin morfolojisi küresel hale gelmiştir. Bir miktar ağ şeklindeki ötektik karbür küresel hale dönüşmeden yapı içerisinde kalmıştır. Küresel karbürler haricinde yapı içerisinde nano boyutlarda $Fe_{1.8}Mn_{1.2}C_{1.0}$, $Cr_{23}C_6$ ve Cr_7C_3 yapılarına rastlanılmıştır. Isıl işlem sonrası ağ şeklindeki karbür yapısının dağıtılması ile sertlikte bir miktar düşme görülmüştür ve ölçülen sertlik değeri 282 vickerstir.

(iii) $1235\ ^\circ C$ 'de 10 saat ısıtıl işlem yapılan östenitik çeliğe $550\ ^\circ C$ ve $600\ ^\circ C$ yaşlandırma işlemi yapılarak karbür çöktürmeleri elde edilmeye çalışılmıştır. $600\ ^\circ C$ 'de yapılan yaşlandırma işleminde sertlik artışına rastlanılmamıştır. $550\ ^\circ C$ 'de yapılan yaşlandırma işleminde 24 saatlik süre sonunda sertlik değerleri 282 vickersten 302 vickers değerine ulaşmıştır. Yapılan yaşlandırma işlemi ile yapı içerisindeki karbürler daha ince ve homojen dağılım göstermiştir. M_2C karbürlerinin bir kısmı farklı morfoloji ve kimyasal kompozisyon içeren M_6C karbürlerine dönüşmüştür. Bazı yapılar ise dönüşümünü tamamlayamamıştır ve $M_2C - M_6C$ karbürlerinin beraber bulunduğu yapılar olarak kalmıştır. Ayrıca yapı içerisinde nano boyutta

Cr_{23}C_6 ve Mo_2BC çökeltileri bulunmaktadır. Yapı içerisinde bulunan Cr_{23}C_6 karbürleri Cr_7C_3 karbürleri üzerinden çekirdeklenerek oluşmuş çökeltilerdir. Yaşlandırma işlemi sonrasında beklenen Mo_2C karbür çökeltilerinin aksine yapıda bulunan bor elementinin etkisiyle Mo_2BC çökeltileri oluşmuştur.

(iv) 1235 °C’de 10 saat ısıtım işlemi yapılan östenitik çeliğe 800 °C yaşlandırma işlemi yapılarak borür ve karbür çökeltileri elde edilmeye çalışılmıştır. 6 saat süre ile yapılan yaşlandırma işleminde sertlik değeri 282 vickersten 715 vickers sertlik değerine ulaşmıştır. 24 saat süre ile yapılan yaşlandırma işleminde ise ölçülen sertlik değeri 647 vickerstir. Yapılan yaşlandırma işlemi ile yapı içerisindeki karbürler daha ince ve homojen dağılım göstermiştir. M_2C karbürlerinin bir kısmı farklı morfoloji ve kimyasal kompozisyon içeren M_6C karbürlerine dönüşmüştür. Bazı yapılar ise dönüşümünü tamamlayamamıştır ve M_2C – M_6C karbürlerinin beraber bulunduğu yapılar olarak kalmıştır. Ayrıca yapı içerisinde nano boyutta, Cr_7BC_4 , Cr_{23}C_6 ve Mo_2B çökeltileri bulunmuştur. 800 °C’de 6 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemi sonrasında yapı içerisinde çökelen nano boyutlardaki Mo_2B çökeltilerinin etkisi ile sertlik 715 vickers değerine ulaşmıştır ve yaşlandırma süresinin artması ile 24 saat sonrasında çökelen borür yapılarında görülen kabalaşma ile sertlik 647 vickers değerine düşmüştür.

(v) 1235 °C’de 10 saat süre ile yapılan ısıtım işlemin ardından bir miktar ağ şeklinde ötektik karbürler yapı içerisinde kalmıştır. Ağ şeklindeki karbürleri gidermek için 1250 °C’de 24 saat süre ile ısıtım işlemi yapılmıştır fakat beklenilenin aksine ağ şeklindeki ötektik karbürlerin tamamı küresel morfolojiye dönüşmemiştir. Yapılan ısıtım işlemin ardından ölçülen sertlik değeri 286 vickerstir ve 24 saat süre ile yapılan ısıtım işlemin ardından tanelerde belirgin bir kabalaşma tespit edilmemiş olup, tane boyutu 60 µm olarak ölçülmüştür.

(vi) 1250 °C’de 24 saat süre ile yapılan ısıtım işlemin ardından 550 °C, 600 °C, 700 °C ve 800 °C sıcaklıklarda yaşlandırma işlemleri ile karbür ve borür çökeltileri elde edilmeye çalışılmıştır. 550 °C, 600 °C ve 700 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri karbür çökeltileri elde etmek için yapılmıştır. 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemi ise borür çökeltirmek için yapılmıştır. 550 °C’de yapılan yaşlandırma işleminde sertlik artışı 36 saat ve 48 saat süre ile yapılan işlemlerde sağlanmıştır. Sırası ile ölçülen sertlik değerleri 352 ve 302 VSD’dir. 600 °C’de yapılan yaşlandırma işleminde sertlik artışına rastlanılmamıştır. 550 °C’de yapılan yaşlandırma işleminin aksine 700

°C’de yapılan yaşlandırma işleminde 24 saat sürenin sonuna kadar sertlik değerinde sürekli olarak artış görülmüştür. 1 saat süre sonunda 293 vickers olan sertlik değeri 24 saat süre ile yapılan yaşlandırma işleminin ardından 686 vickers değerine ulaşmıştır. Karbür çökeltileri elde etmek için belirlenen en uygun sıcaklık değeri 700 °C’dir ve 24 saatlik süre boyunca yapı içerisinde Cr_{23}C_6 ve Mo_2BC gibi çökeltilerin çekirdeklenmesi devam ettiği için sertlikte düzenli olarak artış görülmüştür. 800 °C’de yapılan yaşlandırma işlemleri sonunda sertlik değerleri 9 saat sürenin sonuna kadar artış gösterip tekrar düşüşe geçmektedir. 9 saat sürenin sonunda 706 vickers değerine ulaşan sertlik 24 saat sürenin sonunda 586 vickers değerine düşmüştür. Sertlikte görülen bu düşüş yapıda oluşan Mo_2B çökeltilerin kabalaşmasından kaynaklanmaktadır.

(vii) Ağ karbür yapısının tamamını küresel hale getirmek ve yapıda bulunan karbürlerin bir kısmının östenit fazında çözünmesi için 1250 °C’de 48 saat ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ölçülen sertlik değeri 270 Vickers’tir. Elde edilen yapının yaşlandırılmasından sonraki sertlik değerlerini daha önceki yapılan yaşlandırmalarla karşılaştırmak için seçilen yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri 700 °C’de 6 saat ve 9 saat, 800 °C’de 6 saat ve 9 saattir. 1250 °C’de 48 saat süre ile yapılan ısıtma işlemi ve yaşlandırma sonrasında ağ yapısındaki karbürlerin tamamı küresel morfolojiye dönüşmüştür ve yapıda bulunan karbürler östenitte çözünmeye başlamıştır. Isıtma süresinin artmasıyla bazı tanelerde kabalaşma görülmeye başlamıştır ve bazı tanelerde ölçülen tane boyutu yaklaşık olarak 120 μm civarındadır. Yaşlandırma sonrasında tüm M_2C karbürleri M_6C karbürlerine dönüşmüş olup yapı içerisinde homojen dağılmışlardır ve karbür büyüklükleri 1-5 μm gibi düşük değerlerdedir. Yaşlandırma işlemleri sonrasında ölçülen sertlik değerleri 700 °C’de 6 saat ve 9 saat için sırasıyla 323 ve 369 Vickers’tir. 800 °C’de 6 saat ve 9 saat sürede yapılan yaşlandırma işleminin ardından ölçülen sertlik değerleri sırasıyla 564 ve 603 Vickers’tir. Yaşlandırma işlemlerinde elde edilen sertlik değerleri daha önceki yapılan ısıtma işlemlerin yaşlandırma değerlerinden daha küçük olmasının sebebi bazı tanelerde görülmeye başlayan kabalaşmalardır. Tanelerin kabalaşması ile yapıda bulunan tane sınırları azalmaktadır. Tane sınırları yüksek enerjili bölgeler oldukları için çökelti fazları genellikle tane sınırlarında çekirdeklenmeye başlar ve azalan tane sınırları ile oluşacak çökeltiler azalacaktır ve böylelikle sertlik değerlerindeki artış istenilen düzeyde olmamaktadır.

(viii) Yapıda bulunan karbürlerin tamamını östenit fazı içerisinde çözmek için 1250 °C’de 72 saat süre ile ısıtıl işlem uygulanmıştır. Ölçülen sertlik değeri 223 Vickers’tir. Elde edilen yapının yaşlandırılmasından sonraki sertlik değerlerini daha önceki yapılan yaşlandırmalarla karşılaştırmak için seçilen yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri 700 °C’de 6 saat ve 9 saat, 800 °C’de 6 saat ve 9 saattir. Yapılan incelemelerde ısıtıl işlem sonrasında tüm karbürler östenit fazı içerisinde çözülmüştür. Isıtıl işlem süresinin artmasıyla tanelerde kabalaşma görülmüştür ve ölçülen tane boyutu 150 µm olup bazı taneler yaklaşık olarak 200 µm’ye ulaşmıştır. Yaşlandırma işlemleri sonrasında ölçülen sertlik değerleri 700 °C’de 6 saat ve 9 saat için sırasıyla 294 ve 327 Vickers’tir. 800 °C’de 6 saat ve 9 saat sürede yapılan yaşlandırma işleminin ardından ölçülen sertlik değerleri sırasıyla 491 ve 524 Vickers’tir. Yaşlandırma işlemlerinde elde edilen sertlik değerleri daha önceki yapılan ısıtıl işlemlerin yaşlandırma değerlerinden daha küçük olmasının sebebi tanelerde kabalaşmanın olmasıdır. Tanelerin kabalaşması ile yapıda bulunan tane sınırları azalmaktadır. Tane sınırları yüksek enerjili bölgeler oldukları için çökelti fazları genellikle tane sınırlarında çekirdeklenmeye başlar ve azalan tane sınırları ile oluşacak çökelti fazları azalmaktadır ve sertlik değerlerindeki artış istenilen düzeyde olmamaktadır. Ayrıca yapılan ısıtıl işlem ile yapıda bulunan birincil karbürlerin tamamı östenit fazında çözüldüğü için bu mekanizmadan dolayı da sertlikte bir miktar düşüş yaşanmaktadır.

(ix) Östenitik çelikte döküm yapısı boşluklu ve iri taneli olduğu için tokluk değerleri düşüktür. Yapılan ısıtıl işlem sürelerinin artması ile yapı içerisinde bulunan karbürler azaldığı için tokluk değerleri artmaktadır. Yaşlandırma işlemleri sonrasında oluşan çökelti tokluk değerini düşürmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ünlü, B.S., Yılmaz, S.S., Bor ve Borlamanın Kullanım Alanları, Mühendis ve Makina, Cilt 47, Sayı 552, Sayfa 48-54.
- [2] Karagöz, Ş., Çeliklerin Fiziksel Metalurjisi. KOÜ Yayın No: 108, Sayfa 1.1 – 11.20.
- [3] Topbaş, M.A., 1998: Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı. İstanbul, Sayfa 28 -34.
- [4] Subaşı, Y., 2006: Döküm Yüksek Hız Çeliklerinde Mikroyapısal Karakterizasyon; Mikroyapı-Mekanik Özellikler İlişkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KOÜ, Kocaeli.
- [5] YILMAZ, A., 2006: Niobyum Alaşımlı Döküm Yüksek Hız Çeliklerinin Kesme Koşulları Altında Aşınma Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KOÜ, Kocaeli.
- [6] Thelning, K.E., 1987: Steel and its Heat Treatment: Bofors Handbook, pp. 85 – 556.
- [7] Totten, G.E., FASM, 2007: Steel Heat Treatment Handbook: Metallurgy and Technologies, Second Edition, pp. 166 – 208.
- [8] Zhou, X.F., Fang, F., Li, F., Jiang, J.Q., 2010: Morphology and Microstructure of M_2C Carbide Formed at Different Cooling Rates in AISI M2 High Speed Steel, Springer Science+Business Media.
- [9] Zhang, X., LIU, W., Sun, D., Li, Y., 2007: The Transformation of Carbides during Austenization and its Effect on the Wear Resistance of High Speed Steel Rolls, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International.
- [10] Atapek, Ş. H., 2006: Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, KOÜ, Kocaeli.
- [11] Ayter, T., 2005: Borlama İşleminin Çeliklerin Yüzey Kalitesi ve Aşınma Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, CBÜ, Manisa.
- [12] Pazarhoğlu, S., 2006: Çeliklerin Niobyum Borür Kaplanması ve Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, SÜ, Sakarya.
- [13] Çelikkan, H., 2007: Metal ve Metal Alaşımlarına Elektrokimyasal Yöntemle Bor ve Bor Bileşiklerinin Biriktirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, GÜ, Ankara.
- [14] Çarboğa, C., 2010: Düşük Karbonlu Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, GÜ, Ankara.

- [15] **Werner, D.H.**, 1990: Bor-und Borlegierte Stähle Boron and Boron Containing Steels, Verlag Stahleisen mbH, D-400, Düsseldorf.
- [16] **Kositsyna, I.**, 2008: High-Strength Austenitic Steels with Different Alloying Systems and Carbide Hardening, Metal Science and Heat Treatment, Vol. 50, pp. 9 – 10.
- [17] **Michaud, P., D., Delagnes, P., Lamesle, M., H., Mathon, C.**, 2007: The Effect of the Addition of Alloying Elements on Carbide Precipitation and Mechanical Properties in 5% Chromium Martensitic Steels, Science Direct.
- [18] **Han, F., Hwang B., Suh, D., Wang, Z., Lee D., Kim, S., J.**, 2008: Effect of Molybdenum and Chromium on Hardenability of Low-Carbon Boron-Added Steels, Metals and Materials International, Vol. 14, No. 6 pp. 667-672.
- [19] **Jones, R., Randle, V., Owen, G.**, 2008: Carbide Precipitation and Grain Boundary Plane Selection in Overaged Type 316 Austenitic Stainless Steel, Materials Science and Engineering A 496, pp.256–261.
- [20] **Xiaolei W.**, 1999: Rapidly Solidified Nonequilibrium Microstructure and Phase Transformation of Laser-synthesized Iron-based Alloy Coating, Surface and Coatings Technology 115, pp 153–162.
- [21] **Wang j., Li C., Liu H., Yang H., Shen B., Gao S., Huang S.**, 2006: The Precipitation and Transformation of Secondary Carbides in a High Chromium Cast Iron, Materials Characterization ,56 , pp: 73–78.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ersel Aydın

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa 16.10.1986

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Yayın Listesi:

Ş. Karagöz, Ş. Polat, H. Atapek, **E. Aydın**, ‘Su Verilmiş ve Temperlenmiş Çeliklerin Korozyon Davranışı : Mikroyapısal Değişimler Üzerine Bir Çalışma’, 3. Isıl İşlem Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.86-92, 2009