



**X120MN12 ÇELİĞİNİN DÖKÜM VE ISIL İŞLEM
ŞARTLARININ; MİKROYAPI, MEKANİK VE
AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Berkan SARDOĞAN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÜNAL**

**X120MN12 ÇELİĞİNİN DÖKÜM VE ISIL İŞLEM ŞARTLARININ;
MİKROYAPI, MEKANİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

Berkan SARDOĞAN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÜNAL**

**KARABÜK
EYLÜL 2022**

Berkan SARDOĞAN tarafından hazırlanan “X120MN12 ÇELİĞİNİN DÖKÜM VE ISIL İŞLEM ŞARTLARININ; MİKROYAPI, MEKANİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/09/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Online

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Berkan SARDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

X120Mn12 ÇELİĞİNİN DÖKÜM VE ISIL İŞLEM ŞARTLARININ; MİKROYAPI, MEKANİK VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Berkan SARDOĞAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

Eylül 2022, 74 sayfa

Östenitik manganlı çeliklerin arasında yer alan X120Mn12 (HADFİELD) çeliğinin döküm yönteminin ve ısıtım işlem şartlarının: mukavemet özellikleri ile aşınma özelliklerine olan etkisinin incelenmesi ve artırılması tezimin konusunu oluşturmaktadır. Belirlenen alaşımanın kimyasal özellikler değiştirilmeden kum kalıba ve kokil kalıba olmak üzere altı döküm yapılmıştır. Elde edilen numunelerden kum kalıba ve kokil kalıba dökümden birer numuneye ısıtım işlem uygulanmamış, kum kalıba ve kokil kalıba dökümden birer numuneye 1100 °C’de ısıtım işlem uygulanıp suda soğutulmuş, kum kalıba ve kokil kalıba dökümden birer numuneye 1100 °C’de ısıtım işlem uygulanıp yağda soğutulmuştur. Bu numunelerin çekme, çentik, sertlik, aşınma, mikroyapı, SEM, EDX testleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Yapılan dökümler doğrultusunda; mikroyapı incelemelerinde tane boyutlarındaki farklılıklar, tane sınırlarındaki ve östenit tane sınırı içerisindeki karbür oluşumları gözlenmiştir. Tane sınırlarındaki karbür yapılarının yapılan ısıt işlemlerle incelendiği ve koptuğu, östenit fazı içerisine bu karbürlerin homojen olarak yayıldığı görülmüştür. Mikroyapı ve SEM incelemeleri doğrultusunda bu karbür yapılarının tane içerisine dağılması akma ve çekme değerlerinin artmasını sağlamıştır. Akma ve çekme değeri en yüksek olan kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıt işlemleri uygulanan numune olmuştur. Bu mekanik özelliklerin etkisiyle aşınmaya karşı dayanımı en yüksek olan kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıt işlemleri uygulanan numune olmuştur.

Anahtar Sözcükler : X120Mn12, Hadfield çeliği, östenitik manganlı çelik, yüksek manganlı çelik, aşınmaya dayanıklı çelik, mangan, aşınma.

Bilim Kodu : 91514

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CASTING AND HEAT TREATMENT CONDITIONS OF X120Mn12 STEEL; INVESTIGATION OF THE EFFECT ON MICROSTRUCTURE, MECHANICAL AND WEAR PROPERTIES

Berkan SARDOĞAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÜNAL

September 2022, 74 pages

The subject of my thesis is to examine and increase the effect of casting method and heat treatment conditions of X120Mn12 (HADFELD) steel, which is among the austenitic manganese steels, on the strength properties and wear properties. Six castings were made in sand mold and permanent mold without changing the chemical properties of the determined alloy. From the samples obtained, one sample from the sand mold and one sample from the permanent mold casting was not applied heat treatment, one sample from the sand mold and one sample from the permanent mold was heat treated at 1100 °C and cooled in water, one sample from the sand mold and one sample from the permanent mold was heat treated at 1100 °C. cooled in oil. Tensile, notch, hardness, abrasion, microstructure, SEM, EDX tests of these samples were performed and compared.

In line with the castings; In microstructural examinations, differences in grain sizes, carbide formations at grain boundaries and within austenite grain boundaries were observed. It was observed that the carbide structures at the grain boundaries were thinned and ruptured with the heat treatments, and these carbides were spread homogeneously into the austenite phase. In accordance with the microstructure and SEM investigations, the dispersion of these carbide structures into the grain increased the yield and tensile values. The sample with the highest yield and shrinkage value was the sample, which was treated with oil cooling heat treatment in permanent mold casting. With the effect of these mechanical properties, it was the sample that had the highest resistance to abrasion, and the oil cooling heat treatment was applied to the permanent mold casting.

Key Word : X120Mn12, Hadfield steel, austenitic manganese steel, high manganese steel, wear-resistant steel, manganese, wear.

Science Code : 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ilgi ve alakasını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca yaptığım deneylerde bana engin bilgilerinden ve yardımlarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin Ahlatçı'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren döküm, ısıtma işlem ve laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan, çalışmakta olduğum KARDÖKMAK A.Ş. çalışanlarına ve ocaklar&laboratuvar mühendisi sayın Cihan DEĞİRMENCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Benim bu günlere gelmemde emeği geçen babam Fehmi SARDOĞAN'a ve annem Belgin SARDOĞAN'a teşekkür ederim.

Benden hiç desteğini esirgemeyen moral ve motivasyonumu hep yüksek tutmamı sağlayan sevgili eşim Burcu SARDOĞAN'a, bana baba olma mutluluğunu yaşatan oğlum Çınar SARDOĞAN ve kızım Defne SARDOĞAN'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
ÇELİK TÜRLERİ	3
2.1. MANGANLI ÖSTENİTİK ÇELİKLER	3
2.2. KİMYASAL ANALİZ	5
2.3. KALIPLAMA VE DÖKÜM İŞLEMLERİ	6
2.4. FAZ OLUŞUMU	9
2.5. ISIL İŞLEM PROSESİ.....	13
2.6. ALAŞIM ELEMENTLERİ	15
2.7. KARBÜR OLUŞTURUCU ELEMENTLER VE KARBÜR TÜRLERİ	19
2.8. YÜKSEK MANGANLI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI	21
BÖLÜM 3	22
ÇELİKLERİN METALURJİK İNCELEMESİ	22
3.1. ÇELİKLERİN MİKROYAPISI	22
3.2. ÇELİKLERDE AKMA- ÇEKME TESTİ.....	24
3.3. ÇELİKLERDE AŞINMA TESTİ.....	25

	<u>Sayfa</u>
3.3.1. Adhesiv Aşınma.....	25
3.3.2. Abrasiv Aşınma	26
3.3.3. Oksidasyon Aşınması	27
3.3.4. Termal Yumuşama ve Ergitme Aşınması.....	27
3.3.5. Yapraklanma Aşınması.....	27
3.4. ÇELİKLERDE ÇENTİK TESTİ.....	28
3.5. ÇELİKLERDE SEM DENEYİ	29
3.6. ÇELİKLERDE MİKROSERTLİK.....	30
 BÖLÜM 4	 31
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
4.1. DÖKÜM İŞLEMİ.....	31
4.2. ISIL İŞLEM ÇALIŞMALARI	33
4.3. ÇELİKLERDE ÇEKME VE ÇENTİK TESTİ	35
4.4. MİKRO YAPI VE SEM ÇALIŞMALARI	38
4.5. MİKRO SERTLİK TESTLERİ.....	41
4.6. AŞINMA TESTİ	42
 BÖLÜM 5	 43
DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME.....	43
5.1. KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI	43
5.2. MİKROYAPI VE SEM SONUÇLARI	43
5.2.1. Kum Kalıba Döküm Isıl işlemsiz Numunenin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	43
5.2.2. Kum Kalıba Döküm Suda Soğuma Isıl İşlemlili Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	45
5.2.3. Kum Kalıba Döküm Yağda Soğuma Isıl İşlemlili Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	48
5.2.4. Kokil Kalıba Döküm Isıl işlemsiz Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	50

Sayfa

5.2.5 Kokil Kalıba Döküm Suda Soğuma Isıl İşlemli Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	52
5.2.6. Kokil Kalıba Döküm Yağda Soğuma Isıl İşlemli Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi	54
5.3. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	56
5.3.1. Sertlik Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	56
5.3.2. Çekme ve Çentik Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	57
5.4. AŞINMA TESTLERİ VE AŞINMA SONRASI SEM SONUÇLARI	60
 BÖLÜM 6	 67
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR	70
 ÖZGEÇMİŞ	 74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması.	3
Şekil 2.2. Farklı çelik türlerinin mekanik değerleri ve uzama değerlerinin karşılaştırılması.....	4
Şekil 2.3. Karbon ve mangan oranlarına istinaden imal edilen çelik türevleri [9].....	6
Şekil 2.4. Kum kalıba döküm yönteminin ilerleme basamakları [10].	7
Şekil 2.5. Yüksek manganlı çeliklerde farklı kalınlıktaki farklı döküm sıcaklıklarının östenitik yapıya olan etkisi [19].....	9
Şekil 2.6. Demir-Karbon faz denge diyagramı [21].....	9
Şekil 2.7. Demir-mangan faz diyagramı [22].....	10
Şekil 2.8. %1,28 karbon ve %12,4 mangan içeren östenitik manganlı çeliğin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi [23].	11
Şekil 2.9. Çelik içerisinde oluşan karbür 1. grup karbür mikroyapısı.	20
Şekil 3.1. Malzemelerin göre malzemelerin aşınma ve toklukların kıyaslanması.	22
Şekil 3.2. Dökülmüş haldeki (ısıl işlemsiz) Hadfield çeliği, östenit tane sınırlarında karbürler (a) ve hücrel karbür yapısı (b) %3 nital ile dağlanmış [22]....	23
Şekil 3.3. Adhesiv aşınma SEM görüntüleri [40].	26
Şekil 3.4. Abrasiv aşınma SEM görüntüsü [41].....	26
Şekil 3.5. Oksidasyon aşınma SEM görüntüsü [41].	27
Şekil 3.6. Yapraklanma aşınması SEM görüntüsü [41].	28
Şekil 3.7. V çentikli çentik testi örneği.	28
Şekil 4.1. Ergitme için kullanılan indüksiyon ocağı.	32
Şekil 4.2. Kokil kalıba döküm.	33
Şekil 4.3. İlk dökümden sonra kokil kalıbın açılmış hali ve kum kalıba dökümler... 33	
Şekil 4.4. Numunelerin ısıl işlem fırınına yerleştirilme şekli.	34
Şekil 4.5. Yağda soğuma ısıl işlemi(a), suda soğuma ısıl işlemi(b).	35
Şekil 4.6. Daire biçimli silindirik başlı çekme numunesi.	35
Şekil 4.7. Akma-çekme testi için hazırlanan numunenin görseli.....	35
Şekil 4.8. Deneysel çalışmalarda kullanılan WEW1000D Model çekme testi cihazı 36	
Şekil 4.9. Deneysel çalışmalarda kullanılan JBW-300Z marka çentik testi cihazı.... 37	
Şekil 4.10. Çalışmalarda kullanılan çentik- darbe numunesinin detaylı ölçüleri..... 37	
Şekil 4.11. Çentik-darbe testi için hazırlanan numunenin görseli.	38

Şekil 4.12. Deneysel çalışmalarda kullanılan metalografi cihazları.	39
Şekil 4.13. Deneysel çalışmalarda kullanılan NİKON ECLİPSE MA100 ışık mikroskobu.	39
Şekil 4.14. Bakalite alınmış mikro yapı numunesi.	40
Şekil 4.15. Deneysel çalışmalarda kullanılan CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka taramalı elektron mikroskobu.	41
Şekil 4.16. Shimadzu Marka Hmv model sertlik ölçme cihazı.	42
Şekil 4.17. Aşınma test cihazı.	42
Şekil 5.1. Kum kalıba döküm ısıl işlem uygulanmayan numunenin mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	44
Şekil 5.2. Kum kalıba döküm ısıl işlemsiz numunenin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.	45
Şekil 5.3. Kum kalıba döküm ısıl işlemsiz numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.	45
Şekil 5.4. Suda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	46
Şekil 5.5. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunenin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.	47
Şekil 5.6. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.	47
Şekil 5.7. Yağda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	48
Şekil 5.8. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemi numunenin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.	49
Şekil 5.9. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemi numunenin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.	49
Şekil 5.10. Isıl işlem uygulanmayan numunelerin mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	50
Şekil 5.11. Kokil kalıba döküm ısıl işlemsiz numunelerin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.	51
Şekil 5.12. Kokil kalıba döküm ısıl işlemsiz numunelerin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.	52
Şekil 5.13. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	53
Şekil 5.14. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunelerin 5kx büyütmedeki sem görüntüsü.	53

Şekil 5.15. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıtma işlemli numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.	54
Şekil 5.16. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.	55
Şekil 5.17. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemli numunelerin 5kx büyütmedeki sem görüntüsü.	55
Şekil 5.18. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemli numunenin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.	56
Şekil 5.19. Numunelerin sertlik değerlerinin tablo olarak gösterimi.	57
Şekil 5.20. Numunelerin akma değerlerinin grafik olarak gösterimi.	58
Şekil 5.21. Numunelerin çekme değerlerinin grafik olarak gösterimi.	58
Şekil 5.22. Numunelerin uzama değerlerinin grafik olarak gösterimi.	59
Şekil 5.23. Çentik-darbe test sonuçları.	60
Şekil 5.24. Kum kalıba döküm numunelerinin aşınma grafikleri.	61
Şekil 5.25. Kokil kalıba döküm numunelerinin aşınma grafikleri.	62
Şekil 5.26. Isıtma işlem uygulanmayan numunelerin aşınma grafikleri.	62
Şekil 5.27. Kum kalıba döküm ısıtma işlemsiz numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm ısıtma işlemsiz numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).	63
Şekil 5.28. Suda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.	63
Şekil 5.29. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm suda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).	64
Şekil 5.30. Yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.	64
Şekil 5.31. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).	65
Şekil 5.32. Tüm numunelerin gösterildiği aşınma grafiği.	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. DIN X120Mn12 standartına göre kimyasal analiz.	6
Çizelge 2.2. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerdikleri element miktarlarının altsınırı [6].	16
Çizelge 2.3. K değeri örnekleri [35].....	19
Çizelge 2.4. Çelik içerisinde oluşan karbür grupları [36].	20
Çizelge 2.5. Çelik içerisinde oluşan karbür çeşitleri [36].	20
Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan döküm parçaların kimyasal analiz değerleri.	43
Çizelge 5.2. Numunelerin mekanik değerleri	57
Çizelge 5.3. Numunelerin çentik-darbe test sonuçları (Joule).	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

AlN : alüminyum nitrit

C : karbon

Co : kobalt

Cr : krom

Mn : mangan

Mo : molibden

MPa : megapascal

Ni : nikel

P : fosfor

S : kükürt

Si : silisyum

V : vanadyum

γ : gama

α : alfa

μ m : mikrometre

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

HMK : Hacim Merkezli Kübik

TS : Türk Standardı

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

YMK : Yüzey Merkezli Kübik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Aşırı yük yüklenmiş parçalar, aşınan döküm parçaların erken aşınması, malzemenin kullanım ömürlerini azalttığı gibi imalat ve bakım masraflarının da artmasına sebep olmaktadır. Bunun gibi özellikleri olan malzemelerin, tercih edilirken nerede çalışacağı dikkate alınarak, aşınmaya karşı direnç gösteren malzemelerden seçilmesi gerekmektedir. Çünkü abresif(sürtünme ile aşınma) aşınmanın etkin olduğu çalışma ortamları ile darbe ile aşınmaların olduğu çalışma ortamlarında çalışacak olan malzeme özellikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Fakat her türlü aşınmaya dayanıklı malzemenin üretimi oldukça zordur. Bu nedenle, yüksek aşınmaların olduğu madencilik sektöründe, aşınma ve aşındırma plakalarında, çeneli kırıcılarda, aşınmanın bulunduğu ızgara sistemlerinde, öğütücü değirmenlerin değirmen koruyucu plakalarında aşınmaya karşı dirençli malzemeler kullanılmaktadır [1].

Östenitik çelikler genellikle demir- mangan, demir- krom- mangan, demir- krom- nikel, demir- mangan- nikel alaşımlama yöntemiyle üretilir. Manyetikleşmeyen yapıda olan östenitik çeliklerden paslanmaya karşı direnci yüksek olmasının yanısıra yüksek mekanik özellikler, sıcak ortamda çalışma ve farklı sıcaklık değerlerinde yüksek süneklik özelliği istenebilir [2].

Östenitik yapıdaki çeliklerde sertliği ve akma direncini artırmak için, ferroallajların ilavesiyle yarı katı, deformasyon ve çökelti sertleşmesi gibi metotlar kullanılabilir. Çökelti oluşturarak sertleşme, fazla doymuş gama(östenit) fazından daha küçük yapıda olan ikincil faz oluşumlarının (karbür, nitrür ve intermetalik) çökmesi ile gerçekleşir ve yarı katı sertleşmesi metodundan daha fazla mukavemet artışı sağlar. Östenitik çeliklerde çökelti sertleşmesi, alaşım elementleri ve yapılan ısıtma işlemlerin birlikte uygulanmasının sonucudur [2].

Nikel ve mangan t evindeki elementler demir- karbon faz denge diyagramında gama ( stenit) alanını genişletici etki gösterirler. Yeterince ferroalyaj eklendiğinde yüzey merkezli kübik kafes yapısına sahip östenitin kararlı veya yarı kararlı olarak oda sıcaklığında yapısını değiştirmemesi sağlanır. Sadece krom elementi ile alaşım yapılan bir sade karbonlu  elik gama bölgesini daraltıp ferrit oluşumunu tetikler. Bununla birlikte nikel elementi ihtiva eden çeliğe krom elementi eklendiğinde gama- alfa dönüşüm zamanı yavaşlatılır ve bu sayede östenit fazının oda sıcaklığında faz yapısını koruması kolaylaşır. Krom malzeme yüzeyinde ince ve kalıcı bir oksit filmi oluşturur ve çeliğin oksitlenmeye karşı direncini önemli biçimde artırır. Bu sebeple krom- nikelli paslanmaz çeliklerin hem ortam koşullarında hem de fazla ısıya maruz kaldığı oksitlenmeye müsait ortamlarda en fazla tercih edilen  elik türleridir. Ek olarak östenitik karakterdeki paslanmaz çelikler ferritik yapıdaki çeliklerin üretimlerinde problemlere neden olan gevrek/ sünek geçiş göstermediği için rahatça  retilabilmektedir [3].

Malzemenin aşınma direncini etkileyen en önemli faktörler sertlik ve mikro yapıdır. Sertlik ve aşınma direnci doğru orantılı olarak çalışmaktadır. Bir malzemenin sertliği ne kadar yüksek olursa aşınma miktarı da aynı doğrultuda azalmaktadır. Ancak aynı sertliğe sahip farklı döküm yöntemleri ile üretilmiş ve farklı ısıl işlemler uygulanmış olan malzemelerde de aşınma dirençleri farklılık göstermektedir. Dolayısıyla, malzemenin aşınma dayanımını geliştirmenin en sağlıklı yolu, çalışma koşulları ile uygunluk gösteren malzeme seçimi ile sertlik ve mikro yapı özelliklerinin en uygun şekilde artırılması amaçlanır [3].

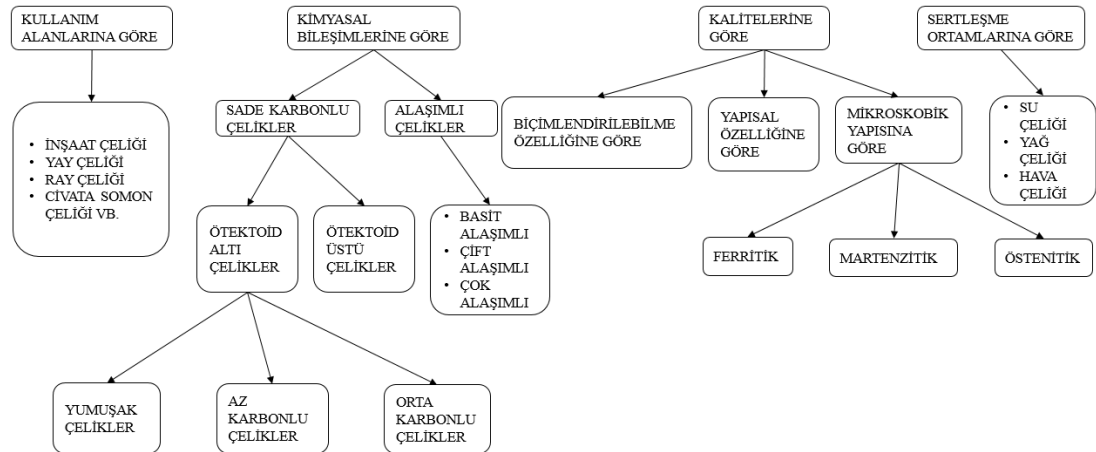
Yüksek manganlı çelikler çok iyi bir sertlik- uzama birleşimiyle yüksek mekanik özelliklere, yüksek darbe direncine ve aşınmaya karşı göstermiş olduğu mukavemete sahip parçaları imal etmeyi mümkün kılmaktadır. Ancak  stenitik manganlı çeliklerin tercih edilmelerinin en temel nedeni aşınma direnciyle beraber gösterdikleri yüksek tokluklarıdır. Bu sebeple bu çeliklerde, darbe yüklerine maruz kaldığı zaman, yüksek darbe direnci görülürken aynı zamanda sertlik değerleri artar ve üstün aşınma direnci gösterirler.

BÖLÜM 2

ÇELİK TÜRLERİ

Çelikler Şekil 2.1’ de gösterildiği gibi dört ana grupta incelenir. Bunlar;

- Kullanım alanlarına göre çeliklerin sınıflandırılması.
- Kimyasal bileşimlerine göre çeliklerin sınıflandırılması.
- Kalitelerine göre çeliklerin sınıflandırılması.
- Sertleştirme ortamına göre çeliklerin sınıflandırılması.

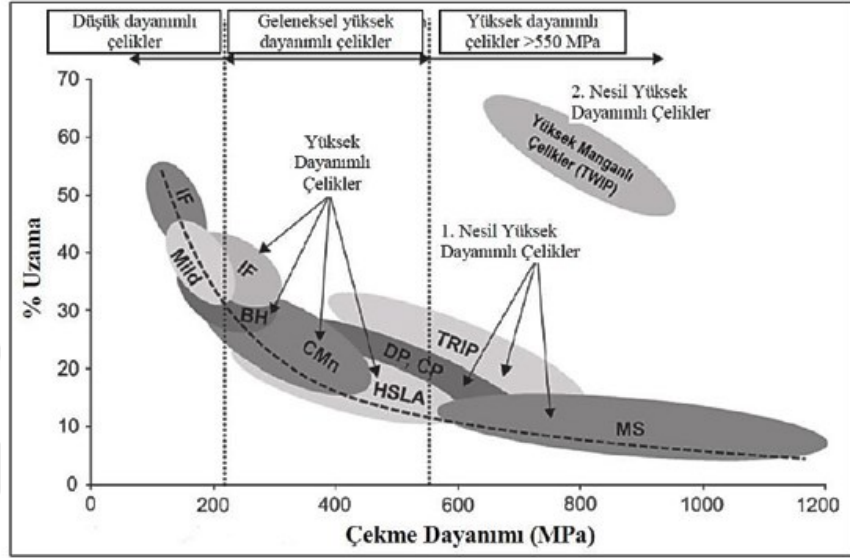


Şekil 2.1. Çeliklerin sınıflandırılması.

2.1. MANGANLI ÖSTENİTİK ÇELİKLER

Manganlı çelikler, aynı zamanda mangoalloy veya Hadfield çeliği olarak adlandırılırlar. 1882 yılında Sir. Robert Abott Hadfield tarafından keşfedilen bu çelik türü içerisinde yaklaşık %13 mangan içermektedir. Bu çelik türü yüksek darbe dayanımı ve ısıtıl işlem uygulanarak sertleştirilmiş durumunda aşınmaya karşı olan direnci ile bilinmektedir. Hadfield çeliği yaklaşık olarak 0,8- 1,25 % karbon, 11- 15 % mangan yani kabaca 1/10 oranında içermektedir. Hadfield’in çeliği, yüksek tokluk ve

sünekliği, işleme ile yüksek sertleşme kapasitesi ve genellikle aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençle kombinasyonu bakımından benzersizdir [4,5]. Şekil 2.2’de farklı çelik türlerinin mekanik değerlerinin kıyaslanması gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı çelik türlerinin mekanik değerleri ve uzama değerlerinin karşılaştırılması.

Mangan γ alanını genişlettiği için nikel elementinin yerine kullanılabilir. Mangan nikel kadar γ alanını genişletmemektedir. Nikelin genişletebildiği γ alanının yaklaşık olarak yarısı kadar genişletebilmektedir. Bu yüzden mangan elementi için daha yüksek oranlar gerekebilmektedir. Krom elementinin bulunmaması halinde yüksek karbonlu çeliklerde (%1-1,2C) östeniti oluşturabilmek için %12 oranında mangan gereklidir. Standart krom- mangan çeliklerinin karbon oranı az ise normal şartlar altında östenit tane yapısını korumak için %12- 15 krom veya %12- 15 mangan gereklidir [3].

%12- 20 mangan ve karbon, mangan oranı 1/10 olan östenit yapıdaki manganlı çeliklerinin aşınmaya karşı gösterdikleri direncin yüksek olduğu eski zamanlardan beri bilinir. Östenitik mangan çeliklerinde 950 ile 1000 °C’ den ani soğuma sonrasında karbür oluşumu görülmemektedir. Daha küçük soğuma hızlarında karbür çökmesi oluşur ve aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç düşer [6].

Yüksek sertlikteki manganlı çeliklerin, soğuk şekillendirme prosesiyle direncinin artıyor olması özel bir durumdur. 950- 1000 °C’ den hızlı soğuma sonrasında takribi 200 Brinell olan sertlik değeri, soğuk şekillendirme prosesiyle üç katına kadar yükselebilir [6].

Aşınmaya karşı dirençli olan östenitik manganlı çeliklerden X120Mn12 çeliği tanınır. X120Mn12 çeliğinin, talaşlı olarak işlenmesi oldukça zordur. Bu yüzden, bu çelikten yapılan şekilli parçalar, çelik döküm prosesiyle üretilir veya dövme yöntemiyle şekil alır. Bu çeliğin istenilen mukavemet özelliklerine erişebilmesi için, östenitleşme sıcaklığındayken su ile hızlı soğuma yapılması elzemdir. 400 °C sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında X120Mn12 çeliğinin mukavemetinin önemli derecede düşmesi ve martenzitik yapıda görüldüğü üzere, tane sınırları ve ikizleme bölgelerinde karbür oluşumları görülebilir [6].

Genel olarak mangan elementi, çeliğin mekanik değerlerini artırmakta fakat uzama değerini bir miktar azaltmaktadır. %3 Mn oranına kadar, her %1 Mn artışı ile çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa artmakta, %3-8 Mn miktarları arasında ise çekme dayanımı daha az olmaktadır ve %8 Mn miktarından itibaren çekme değerinde düşme gözlemlenmektedir. Mangan elementi, kritik soğuma hızını aşağı çekerek sertleştirilebilirliği artırmaktadır [6].

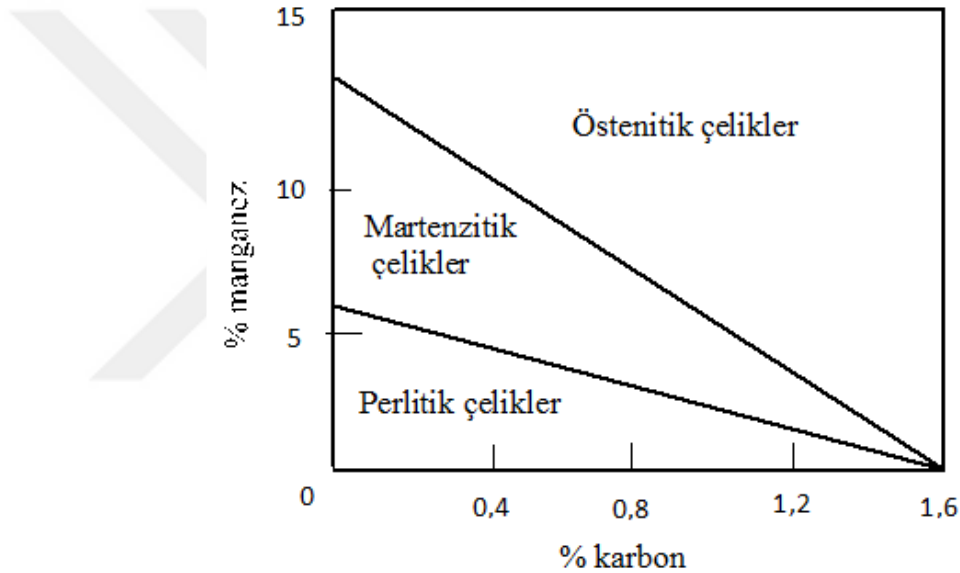
2.2. KİMYASAL ANALİZ

Temel analizinde genel olarak %11- 14 mangan ve %1,1- 1,4 karbon ihtiva eden yüksek manganlı çelikler, yüksek dayanım, süneklik, aşınma ve darbe dayanımı göstermesi nedeniyle çoğu endüstriyel alanda tercih edilmektedir. Final şekli oluşturabilmek için talaşlı işlenmesi neredeyse imkânsızdır. Ancak döküm yöntemi ile final şekli dökülebilmekte ve taşlanabilmektedir [7]. Çizelge 2.1’ de standartta olması gereken kimyasal analiz verilmektedir.

Çizelge 2.1. DIN X120Mn12 standartına göre kimyasal analiz.

Element	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni
Kompozisyon	1,10-1,30	12,00-13,00	0,30-0,50	<0,10	<0,04	<1,50	<1,00

Östenitik mikro yapılarının yanı sıra basıncın ve darbenin tesiriyle, oda sıcaklığındaki deformasyonla dış cidarlarındaki sert ve aşınmaya karşı dayanıklı bir katman meydana gelmektedir. Bunun gibi yüksek özelliklerinden dolayı, genellikle maden ocaklarında ve çeneli kırıcı parçalarında tercih edilmektedirler [8]. Şekil 2.3’ teki karbon ve mangan oranlarının farklılıklarına göre imalatı yapılan çelik türleri verilmiştir.

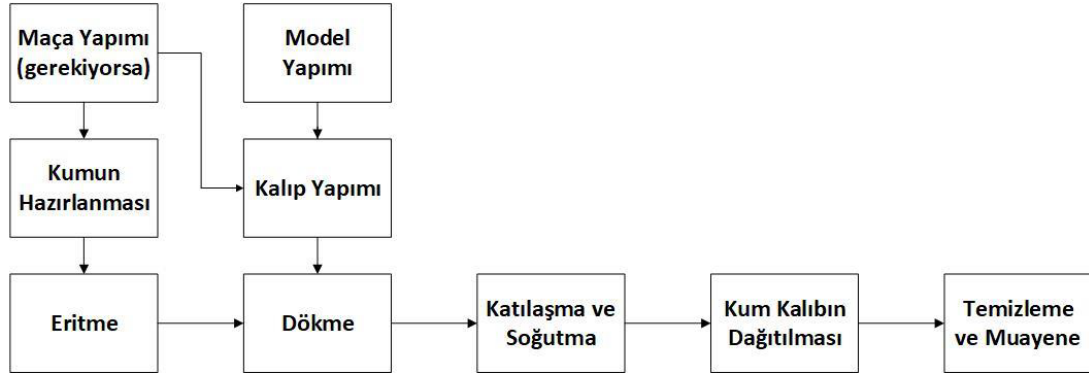


Şekil 2.3. Karbon ve mangan oranlarına istinaden imal edilen çelik türleri [9].

2.3. KALIPLAMA VE DÖKÜM İŞLEMLERİ

Döküm fabrikalarında östenitik karakterli mangansız çeliklerin imalat sürecinde olabildiğince yetkinlik ve bilgi birikimi gereken bir prosestir. Bu sebeple malzemelerin üretimindeki problemler ve bu sorunların giderilmesini açıklayan kaynak olacak belge bulunamamaktadır. Östenitik mangansız çeliklerin üretimi çoğunlukla kum kalıba döküm yöntemi ile yapılmaktadır. Kum kalıba döküm yöntemi endüstride sıkça adı geçen ve maliyet açısından en uygun döküm yöntemidir. Bu yöntem sayesinde farklı ebat ve geometrideki parçaların üretimi kolaylıkla yapılmaktadır. Üretilen parça sayısı

çok kapsamlıdır. 1 parçadan 1000 parçaya üretim mümkündür. Şekil 2.4’ te kum kalıba döküm yönteminin ilerleme basamakları şematize edilerek gösterilmiştir [10].



Şekil 2.4. Kum kalıba döküm yönteminin ilerleme basamakları [10].

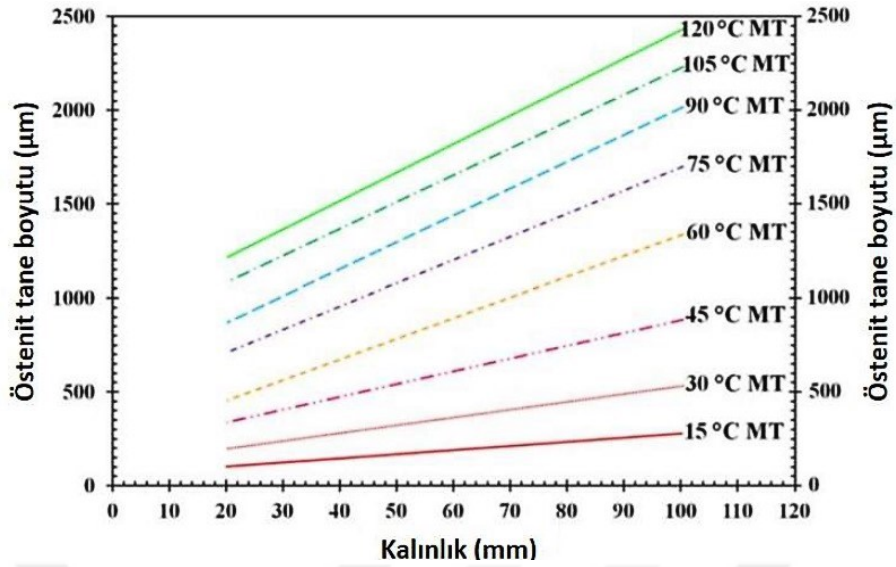
Östenitik mangansız çeliklerin dökümünde genel olarak indüksiyon ocakları kullanılmaktadır. İndüksiyon ocaklarının içindeki bobinden alternatif akım geçirilerek metal içinde manyetik akım oluşturulmaktadır. Oluşturulan manyetik akım sayesinde hızlı ısıtma gerçekleşmekte ve böylece sıvı metal oluşmaktadır. Meydana gelen manyetik alan sıvı çeliğin ocak içerisinde homojen olarak karışmasını sağlamaktadır. Ocak astarlarının refrakter malzemelerden tercih edilmesi nedeniyle ergiyik metal ısıtma ortamından uzak kalmış olur. Talep edilen kalite ve temiz içerikli parçaların üretimi sağlanmaktadır. Manganla tepkimeye giren oksijenin asidik ocak astarları reaksiyona girme olasılığının yüksek olması nedeniyle, ergitme ocaklarında yüksek manganlı çeliklerin ergitme prosesi için bazik veya nötr astar kullanılması daha uygundur [10].

Östenitik manganlı çeliklerin şarj malzemelerinde karbonlu çelik hurdası ve mangansız çelik hurdası, karbon değeri yüksek mangansız çelik, ferrosilis ve siliko-mangan bulunmaktadır. Krom, molibden, vanadyum ve titanyum gibi alaşım elementleri genellikle ferro-alaşım olarak eklenmektedir [11]. Dökümhanelerde, %60 oranına kadar mangan değeri yüksek çelik hurdası kullanılmaktadır. Fazla miktarda mangansız çelik hırdasının kullanılırsa artan hurda ile ergiyik içindeki hidrojen ve azot elementlerinin oranının fazlalaşacağı düşüncesidir. Fazla miktarda geri döndürün eklenmesi beraberinde alüminyumun deoksidasyon işleminin gerçekleşmesiyle taneler arası alüminyum nitrit (AlN) oluşumunu getirir [12].

Farr ve arkadaşlarına göre mangan miktarı fazla olan çelik hurdasının %60' tan fazla şarj edilmesi halinde parçalardaki çatlama riskinin de arttığı görülmüştür. Bu nedenle yüksek manganlı çeliklerin üretiminde, yüksek manganlı çelik hurdasının toplam ergiyik içindeki oranının %50-60' ını geçmemesi ve geriye kalan şarj oranının karbon oranı düşük çelik hurdasından oluşması istenmektedir. İstenilen analizi ulaşmak için kalan karbon ve mangan oranının ise ferro-mangan ve grafit eklenmesiyle istenilen değerlere getirilmesi sağlanmaktadır. Diğer bir yandan, yüksek mangan çeliklerindeki yüksek mangan ve karbon oranı, eriyik çelik içerisindeki oksijen oranını düşürmektedir. Bu nedenle, çelik içerisindeki düşük oksijen seviyesi oluşumu sayesinde (genellikle; <5ppm), alüminyumla oksijen giderme işlemine gerekliliği ortadan kaldırır [13].

Temelde, yüksek manganlı çelik malzemelerin döküm işlemi normal çelik parçaların döküm işlemine benzemektedir. Besleyicilerin tasarımı yöneltmiş soğuma oluşacak şekilde yapılmaktadır. Yüksek manganlı çeliklerin akıcılığı, dökme demirlerinki gibi fazladır. Yüksek akışkanlık, girintili çıkıntılı geometriye sahip döküm parçalarının düşük sıcaklıklarda dökülebilmesini sağlamaktadır. Dökümde en önemli değişkenlerden ilki döküm sıcaklığıdır. Bu sebepten dolayı döküm sıcaklığının seçiminde malzemenin şekli ve cidar kalınlığına uygun bir seçim yapmak oldukça önemlidir. Örneğin, dökümde oluşacak hataları engellemek adına ince kesitli malzemelerde daha yüksek sıcaklıklarda dökümü gerçekleştirilmelidir. Tam tersinde, kalın kesitli malzemelerin daha düşük sıcaklıklarda (takribi 1440 ila 1500 °C arasında) dökülmesi gerekmektedir [14,15].

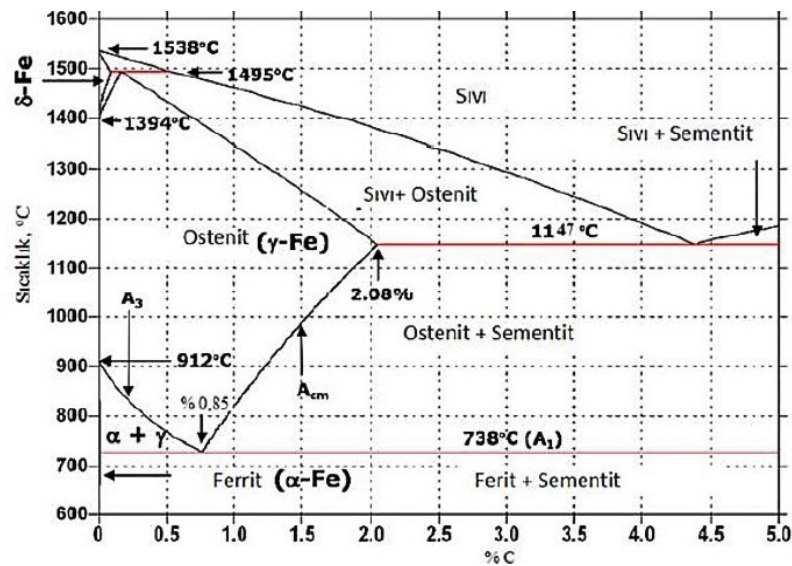
Şekil 2.5' te döküm sıcaklığının farklı kalınlıklardaki yüksek manganlı çelikler için östenit tane boyutuna etkileri görülmektedir. Şekilde gösterildiği gibi, düşük sıcaklıklardaki döküm ve malzeme cidar kalınlığının incelenmesi östenit tane boyutunu küçültmektedir. Başka bir şekilde örnekleyecek olursak, döküm sıcaklığının arttırılması östenit tanelerinin ebatlarının artması ve tanelerin sütunsal irileşmeye yatkınlık göstermesine neden olduğu söylenebilir. Bu durum, parçaların çekme değerlerinin ve süneklilik oranlarının azalmasına neden olmaktadır [16-18].



Şekil 2.5. Yüksek manganlı çeliklerde farklı kalınlıktaki farklı döküm sıcaklıklarının östenitik yapıya olan etkisi [19].

2.4. FAZ OLUŞUMU

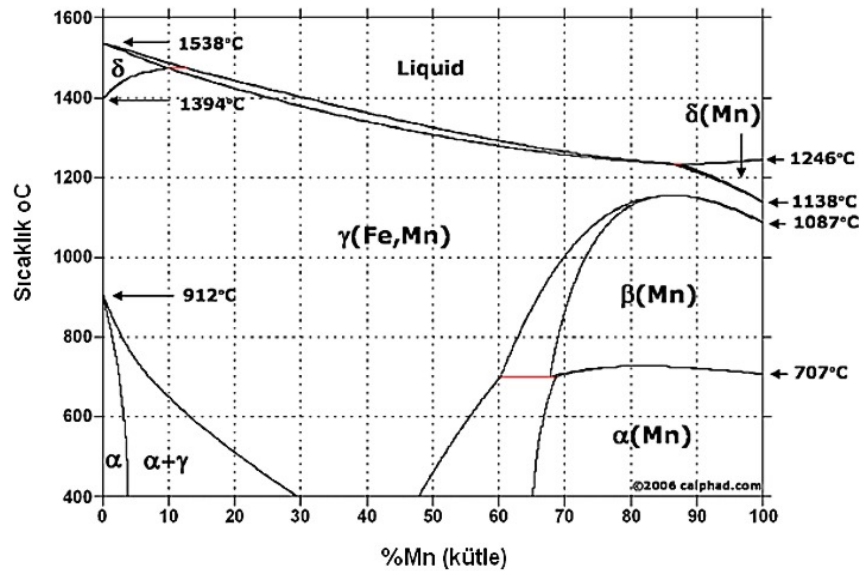
Şekil 2.6' da klasik demir- karbon faz denge diyagramı gösterilmektedir. Hadfield çeliklerini teoride kavrayabilmek için şekil 2.6' da görülmekte olan östenit adı verilen gama- demir fazı, ferrit adı verilen alfa- demir fazı, perlit fazı ve gama- demir fazının ani soğuması ve bir başka metod olarak darbe ile sertleşmesinden meydana gelen martenzit fazının incelenmesi gerekmektedir [20].



Şekil 2.6. Demir-Karbon faz denge diyagramı [21].

Denge diyagramında görülen HMK yapıya sahip olan alfa- demir fazı, bir ara yer-katı solüsyonudur. Bu alanda en fazla 738 °C’ de, %0,025 bandında karbon çözünebilmektedir. Diyagramda bulunan bir diğer faz ise 1147 °C sıcaklığında maksimum %2,07 oranında ayrışabilen YMK kristal yapıdaki gama- demir fazıdır. Perlit fazı; yüzde 0,085 karbon ihtiva eden ve yaklaşık 738 °C’ de çözünen karbon oranının değişmediği, ötektoid reaksiyon nihayetinde oluşmaktadır [22].

Şekil 2.6’ da görülmeyen ve yapısı başkalaşım olarak adlandırılan martenzit fazı ise gama- demir fazının ani soğumasıyla elde edilebilmektedir. Beşgen biçimli HMK ve altıgen biçimli sıkı paket yapılarının bulunduğu martenzit fazı karbon elementine doygundur. Normal şartlar altında hızlı soğutulduğu zaman dönüşümün noksansız gerçekleşmediği zamanlarda içerisinde kalıntı östenitik fazlar bulunmaktadır. Böylece tamamiyle martenzit oluşumunun sağlanabilmesi için 0 °C altındaki sıcaklıklara soğutma işlemleri gerçekleştirilmelidir. Östenitik manganlı çeliklerde martenzit fazının bir başka oluşum şeklide darbe ile sertleştirme işlemi sonrasındır. Nedeni şu ki meydana gelen süreksizliklerin oranı artarak ikizleme hatalarının meydana gelmesine, bu da martenzit fazının oluşumuna neden olur [21].

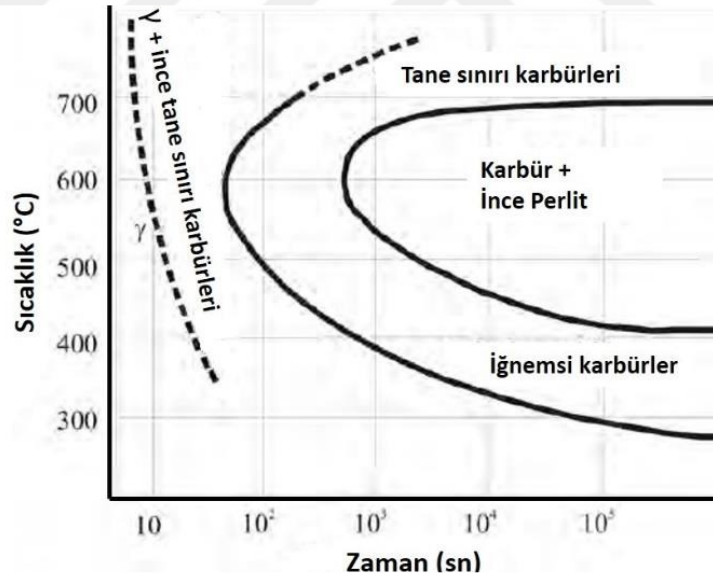


Şekil 2.7. Demir-mangan faz diyagramı [22].

Hadfield çeliklerine yüksek miktarda krom ilavesi yapılmasıyla martenzit dönüşümü geciktirilir ve daha düşük sıcaklıklarda östenitik yapının oluşmasına olanak sağlar.

Östenitik manganlı çeliklere yüksek mangan eklenmesinin bir diğer nedeni, manganın, çelik içinde çözünerek hem kükürlü bileşiklerin tane sınırlarında yeralıp çatlamasını engel olmak hem de östenit fazının malzemelerin çalışma sıcaklıklarında iyi özelliklerde dirençli biçimler sağlamaktır [20]. Şekil 2.6’ da manganın artmasıyla A_3 eğrisinin kısaldığı ve bununla beraber şekil 2.7’ de gösterilmekte olan östenit bölgesinin fazlaştığı görülmektedir.

Hadfield çeliklerinde %13 oranına kadar mangan ihtiva eden mikro yapılarda sadece ferrit- östenit değişimini görülür. %13’ ten fazla olan oranlarda alfa- demir fazı görülmez. Mikroapıdaki östenit fazı karbürlerden dolayı kararsız haldedir. Yavaş soğuma sonucunda oluşan bu karbür yapılar ışık mikroskobu ile incelendiğinde östenitik yapı içerisinde gözlemlenen dentritik yapılardır. Diğer taraftan, karbon oranı arttıkça yapıdaki sementitin miktarı da artmaktadır. Yapıdaki sementit miktarının artması malzemelerin sünekliğini ciddi oranda düşürmektedir [20].



Şekil 2.8. %1,28 karbon ve %12,4 mangan içeren östenitik manganlı çeliğin sıcaklığa bağlı değişim eğrisi [23].

Östenitin dönüşümü, ($\gamma \rightarrow \gamma + \text{karbür}$) çeliğin gevrekliğini artıran taneler arası sementit yapıların oluşmasıyla başlar. Şekil 2.8’ de klasik bir östenitik mangansız çeliğin (%1,28 karbon, %12,4 mangan analizinde ve 1050 °C’ de 30 dakika bekletilerek östenitik yapı oluşturulan) sıcaklık değişimiyle değişim sıcaklıkları görülmektedir. Şekil 2.8.’ deki diyagram, 300- 700°C arasında, tanelerin arasındaki

sementitlerin bir iki saniye durduktan sonra oluştuğu görülmektedir. Dentritik karb rs  yapılar, C őrindeki eğrinin 600 C' deki üst noktasının takribi bir dakika sonra çakışmasıyla meydana gelmektedir [23,24].

En son, bekleme süresi daha uzun olan (yavaş dönüşüm kinetiği) dentritik karb rlerinkinden daha düşük bir sıcaklıkta perlitik yapı görülmektedir [23,24].

Hadfield  eliklerinde östenitik dönüşüm aralığını etkileyen önemli faktörlerden biri kimyasal analizdir. Buna  rnek olarak, 600 C sıcaklığında içerisindeki karbon oranı %0,33 düşürüldüğünde tane arasındaki seimentitlerin meydana gelmesi %12 Mn oranı içeren çeliklerde saniyelerden iki dakikalara kadar yükselir. Bunun yanında mangan oranı %3 artırıldığında seimentit yapıların meydana gelme zamanları kayda değer bir değişim göstermemektedir. Literatür çalışmalarına göre, %6 Mn bileşimine sahip bir çelikteki karbon oranının artış göstermesi seimentit yapıların meydana gelme süreçlerini düşürür. Değişim eğrisinin pik noktasını yüksek sıcaklıklara getirdiği ve seimentit alanını genişlettiği g r lm ş t r. Özetle, karbonun oranının artmasıyla östenitik manganlı çeliklerde seimentitlerin oluşum aralığı azalmakta, vanadyum, krom ve molibden gibi elementlerin ilave edilmesiyle artış göstermektedir [25-26].

Hadfield  eliklerinde 3 őrilde kırılma görülebilir: Dendritler arası, tane içi ve taneler arası kırılmalarıdır. Östenitik faz, tane sınırlarındaki seimentitlerin ısıtılma yardımıyla tane içerisine dağıtıldığı zaman kırılmanlaşır. Karbür oluşması en hızlı 600- 650  C sıcaklıklarında oluşum gösterir. Bu durumda iki tip karbür oluşumu meydana gelir. İlk olarak oluşan karbürler tane sınırlarındaki karbürlerdir. Diğer karbür tipi ise tane içerisinde oluşan karbür tipleridir. Tane sınırlarındaki karbürler malzemenin tokluğunda kayda değer bir etki göstermezler. Tane içerisindeki karbürler ise malzemenin kırılmalık değerini azaltırlar. Östenitik manganlı  eliklerde (ASTM A 128, Grade B) tane içerisindeki karbürler 0,2 μ m' den daha küçüktür. Tane sınırlarındaki karbürler ise 0,5- 1,5 μ m aralığında değişen kalınlıktadırlar [27].

Fosfor elementi, mangan çeliklerinde tane sınırlarında segregasyon eğilimi göstererek kılcal çatlaklara neden olur ve temperleme ısıtılma işlemi ile    n r k bir    l  fosforik ötektik film tabakası oluşmasına sebebiyet verir. [28].

Karbon oranı düşük olan çeliklerde kükürt katılaştırken II. grup karbür bileşiklerinden, östenitik mangansız çeliklerde küre yapıdaki etkisiz mangan kükürt bileşiklerini meydana getirirler [29].

2.5. ISIL İŞLEM PROSESİ

Hadfield çelikleri suda soğuma ısıtma işlemi uygulanarak kırılma direnci ve çentik darbe değerlerinin kayda değer şekilde yükselttiği görülmüştür. Yüksek manganlı östenitik çeliklerde sıcaklığın malzeme içerisinde ilerleme katsayısının düşük ve doğrusal, ısıtma genleşme katsayılarının fazla oluşu ısıtma işlemi sırasında özelliklerini koruyabilmeleri için en önemli özellikleridir [22].

Hadfield çeliklerinin yapılarında, katılma sonrası soğuma hızlarının değişiklik göstermesiyle yapıları bazı zamanlarda ya östenitik olur ya da yavaş soğumasıyla östenit ile birlikte sementit yapılar veya perlitik alanlar bulundurlar. Bu nedenle düşen sıcaklıkla birlikte karbonun östenit fazı içerisinde çözünme kabiliyeti azalır. Katılma sıcaklığına bağlı olarak tane sınırlarında karbür, dentritik ve lamelimsi yapılar meydana gelir [30].

Yukarıda bahsi geçen karbürler, mikroyapıda yani östenitik yapının kenarlarında bulunur ve düşük soğuma hızlarında veya temperleme ısıtma işlemi esnasında meydana gelirler. Bu sebeple, hadfield çelikleri yüksek kırılma direnci ve yüksek çekme dayanımı olması gereken alanlarda ısıtma işlemi yapılmaz. Bunu engellemek için döküm sonrası suda ani soğutma ısıtma işlemi yapılması uygundur. Bu yüzden hadfield çelikleri cidar kalınlığı ve karbon oranına göre inç başına bir saat olacak şekilde 1000-1100 °C arasında ısıtılması gerekmektedir. Fırından 1000-1100 °C arasında çıkarılan parçalar bekletilmeden, oda sıcaklığındaki suda ani soğutularak östenitik yapı oluşması sağlanır. Bu ısıtma işlemi, çözelti tavlama denir [31,32].

Bütün östenitik alaşımlarda görüldüğü gibi mangansız çeliklerde de oda sıcaklığında yüksek darbe direnci görülür. -38 °C'deki çentik darbe dayanımları oda sıcaklığındaki çentik darbe dayanımlarının yarısından daha azdır. Kutup iklimlerinden çöl iklimlerindeki sıcaklıklara kadar önemli bir tokluk gösterirler. Bu nedenle sıfırın

altındaki ortamlarda faaliyet gösteren madencilik ve demiryolu sektörlerinde kullanıldıklarında ferritik çeliklere nazaran daha ehemmiyetli çalışma koşulları sağlar. Hadfield çeliklerinde döküm prosesi ve ısı işlemler, östenitin sahip olduğu dengesizlik ve östenitin çözünmesinin sebep olduğu kırılganlıktan kaynaklanan birtakım problemlere neden olmaktadır [22].

Östenitik manganlı çeliklerde karbür veya perlit oluşumları genel olarak döküm işleminin ardından 1000-1100 °C’ de östenitleştirme sıcaklığından başlayarak suyla ani soğuma işlemiyle önüne geçilmektedir. Ancak madencilik sektöründe, kepçe tırnaklarında ve değirmenli öğütücülerde büyük cidar kalınlığı fazla olan dökümlerde, alaşım elementi ilavesi olmadan sadece suyla soğutmayla karbürlerin ya da perlitik yapıların meydana gelmesini engellemek mümkün değildir [22].

Kalın kesitli parçalarda östenit yapının her yerde aynı olabilmesi için ve çatlama, çarpılmaları engellemek için suyla soğuma oranlarına dikkat edilmesi gerekir. Cidar kalınlığı düşük olan malzemeler çözelti sıcaklığından itibaren suyla soğutma ısı işlemi ile tamamıyla östenit hale dönüştürülebilir fakat bu yöntem, çarpılmaya ve çatlamaya neden olacağından girintili çıkıntılı parçalara uygulanması tavsiye edilmez. Bundan dolayı, düşük soğuma hızı gerekir ve parçadaki makul bir değişim düşük hızlarda yapılan soğuma sonrasında dönüşümü gerçekleşmeyen östeniti dengelemek amacıyla gerçekleştirilir. Aynı şekilde, ideal kimyasal kompozisyonla, çekirdeğin çok daha geç soğuduğu cidar kalınlığı fazla parçalar için de uygulanabilir ve östenit tane yapısı homojen büyüklüktedir. Östenitleştirme uygulamasının ardından (1100 °C, suyla soğuma) çelik 24 saat boyunca 250- 800 °C arasında değişmeyen bir sıcaklıkta tutulursa karbürler oluşur. 900°C’ den sonra tane sınırları ve tane içlerindeki karbürler birleşirler. Östenit uzun sürede ayrılmaktadır. Şekil 2.7’ de demir- mangan faz diyagramı görülmektedir [22].

Artan karbon oranı, taneler arası karbürler ve iğnesel karbürlerin çökmesine sebep olur. Uygun bir ısı işlem sonrasında %2 molibden ve %2 vanadyum eklenmesiyle taneler arası karbürlerin görüntüsü değişir. Böylelikle östenitlerin arasında oluşan sementitler ince ve sürekliliğini yitirmiş, birleşmiş şekilde görülür. Molibden, perlitik

biçim değitirmeyi yavaşlatarak belli bir molibden oranının üstünde, dentritik karbürlerin oluşumunu tamamıyla engelleyebilmektedir [22].

%2 krom elementi eklemesi, tane sınırlarında karbürlerin oluşum süresini kısaltır ve perlitin oluşum süresini uzatır [10]. %0,5'e kadar titanyum elementi, östenit yapıların arasında oluşan sementitlerin oluşma oranını düşürmektedir. %0,5' oranının üstünde titanyum elementi, sementitleşmeyi artırmakta ve darbe direncini ciddi ölçüde azaltmaktadır. %0,5-1,0 aralığındaki silisyum elementi, kırılğanlaşan sementit yapılar meydana getirmekte ve perlitin meydana gelmesini ivmelendirerek dentritik karbürlerin çökelmesine neden olmaktadır [22].

2.6. ALAşIM ELEMENTLERİ

Metal malzemelerde, bazı özelliklerin yapıda olmasını veya olmamasını sağlamak için daha önce belirlenmiş ve belli oranlarda yapıda olması mecburi olan birleşiklere alaşım elementleri, olmaları amaçlanmadığı, hurdadan veya havadan gelen, yapıdan giderilemeyen elementlere ise empürite denir. Demir içeren malzemelerden alaşımlı ve alaşımsız çeliklerin farkı özel olarak göstermek gerekirse, alaşımlı çeliklerde kimyasal analizden uzaklaştırılamayan elementlerle birlikte karbon ve demir elementleri hesaplanmayarak elementlerden en az birinin %' ce ağırlık olarak çizelge 2.2' de gösterilen değere varması veya bu değerin üzerinde bulunması gerekir. Buradaki değeri aşan elementler çelikte alaşım elementleri olarak belirlenir [6].

Alaşım elementlerinin varlığı, başka hiçbir malzemede olmadığı oranlarda çeliklerin geniş çapta özellikleri değiştirilebilir. Diğer yandan pek çok örnekte de görüldüğü gibi bu alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir değildir, çok sayıda alaşım elementinin birlikte yapıda var olması durumunda olması ön görülen özelliklerinin değişmesi ancak genel anlamda ele alınabilir ve bu konuda kesin bir yorum yapılamaz [6].

Çizelge 2.2. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerdikleri element miktarlarının alt sınırı [6].

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	0,04
Bizmut	0,10	Niyobyum	0,05	Diğerleri	
Kobalt	0,10	Selenyum	0,10	(karbon, fosfor,	
Krom	0,30	Silisyum	0,50	Kükürt, azot ve	0,05
Kurşun	0,40	Tellür	0,10	Oksijen	
Lantanitler	0,05	Titanyum	0,05	dışında)	

Alaşımlı çelikler, alaşım elementlerinin toplam oranı %5' ten az olanlar yani düşük alaşımlı çelikler ve alaşım elemanlarının toplam oranı %5' ten fazla olanlar yani yüksek alaşımlı çelikler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Aslında alaşımsız çeliklerle çoğu özellikte neredeyse aynı karakteristik yapıdaki düşük alaşımlı çeliklerin malzeme özelliği açısından ayırd edici noktası, sertleşebilme yeteneklerinin iyi olmasıdır. Ayrıca; çekme mukavemeti, akma sınırı, sertlik, elastite modülü gibi mukavemet karakterleri ile ısıl direnci, meneviş mukavemeti gibi tipik özelliklerin değeri artarken genellikle çentik darbe, kopma, kesit daralması gibi değerlerde düşme görülür. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde olması istenilen mekanik değerlerin düşük kalması veya karşılayamaması durumunda yüksek alaşımlı çelikler tercih edilirler. Bu şekilde olan yüksek alaşımlı çelikler, oda sıcaklığındaki mekanik dayanımının artırılması yanı sıra, yüksek sıcaklığa, tufallaşmaya ve korozyona karşı göstermiş olduğu dirence, yüksek sıcaklıkta sertlik ve manyetikleşmeme gibi bazı karakteristik özelliklerin elde oluşmasını sağlar [6].

Kullanılan allajların demir elementi ile katı çözelti oluşturması, kristal yapılardaki oluşum ve atom çaplarının oranına bağlıdır. Bunlardan krom, alüminyum, Titanyum, tantalum, silisyum, molibden, vanadyum ve tungsten öncelikle α - demirinde çözüldükleri için ferrit oluşturmalar. Nikel, karbon, kobalt, mangan ve azot ise aynı sebepten östenit yapıcılar olarak sınıflandırılır [6].

Karbon: Çeliğin temel yapıtaşı olarak adlandırılır. Karbon miktarındaki artış ile alaşımsız çeliklerin mukavemeti ve sertliğinde önemli ölçüde artış görülmektedir. Karbon oranındaki artış çelikteki perlit oranını arttırdığı için çeliğin çekme mukavemeti ve akma dayanımında artış görülür. Ancak, %0,80- 0,85 C’ dan sonra dayanımında daha yüksek artış olmamasına rağmen, çelik gittikçe gevrekleşir. Sertleştirilmiş çeliklerdeki en yüksek sertlik değerine (yaklaşık 67 HRC) takribi %0,60 C oranında varılır ve karbon miktarındaki artış ve ani soğutma sonrasında mikroyapıda artık östenit fazı oluşacağı için sertlik değerlerinde artış oluşmaz. Başka bir açıdan bakacak olursak, karbon miktarındaki artış çeliğin uzamasını, dövülebilirliğini, haddelenebilirliğini ve kaynak kabiliyetini azaltır, ısıtma işlemde çatlak oluşma ihtimali ve deformasyon oluşma ihtimali artar [6].

Karbon analizi matriks ihtiyacını (ikincil sertlik ve ek çökelti bulundurma) karşılayabilecek oranda ve yeterince MC ve M_6C karbürleri oluşumunu sağlayacak oranda olmalıdır. Karbon; karbür yapıcı bir element olarak hareket etmesine rağmen matriks içerisinde çökelti sertleşmesinin asıl sebebidir ve bu durum malzemenin hem sert karbür oluşumuna hem de matriksin sertleşmesine sebebiyet verir [33].

Mangan: Çeliğe genellikle cevherden olarak eklenir, özellikleri iyileştirebildiğinden dolayı belli bir miktar çeliğin içinde olması istenir, bunun yanı sıra alaşım elementi olarak kullanıldığı için oranı artırılabilir. Çeliğin mukavemetini artırır fakat uzama oranını bir miktar düşürür. Manganın, akma dayanımı ile çekme mukavemetini arttırma tesirleri benzerlik gösterir. %3 Mn oranına kadar, her %1’ lik mangan elementi oranındaki artış ile çekme mukavemeti yaklaşık 100 MPa artış görülür, %3-8 oranında mangan elementi artışında ise daha azdır ve %8 mangan elementi oranından itibaren çekme mukavemetinde azalma görülür. Çeliğin dövülme ve sertleşme kabiliyetini iyileştirir. Kaynaklanabilirliğini negatif yönde etkilemez bu sebeple düşük karbonlu fakat kısmen yüksek mukavemetli kaynaklanabilir çeliklerde %1,6’ oranında kadar mangan elementi eklenir. Yüksek manganlı (%12-13 Mn) ve yüksek karbonlu çelikler östenitik yapıya sahiptirler ve aşınmaya karşı gösterdikleri direnç yüksektir. [6].

Silisyum: Temiz çelik imalatında oksijeni azaltmak için eklenen ana allajlardan bir tanesidir. Çelikteki silisyum oranı, imalat şekline göre de değişkenlik gösterir. Yavaş dökülen alaşımlanmamış çeliklerde genellikle, en fazla %0,60 oranında silisyum elementi bulunur. Yay çelikleri ve düşük alaşımlı çelikler ise %2' ye kadar silisyum elementi içerirler. Buna rağmen silisyumlu çelikler diye isimlendirilen, elektronik malzemelerde kullanılan çeliklerde silisyum oranı %5 değerine kadar artırılabilir. Ayrıca, %14-15 oranında Si ihtiva eden çeliklerde de korozyona karşı direnci yüksektir ancak dövme prosesinden geçemez ve gevreklerdir. Si oranı fazlalaştıkça çeliğin mikroyapılarındaki tane büyüklükleri de artar [6].

Kükürt: Alaşımsız veya alaşımlı çeliklerde curuf yapıcı etkisi veya kalıntılarla bileşikler oluşturan, magan kükürt bileşiği oluşturmaya sebebiyle eklenen manganın bu kükürt giderici özelliğiyle, hadfield çeliklerinde kükürt nadir görülen bir elementtir. Oluşan bu yapılar dövme veya haddeleme işlemi ile üretilen malzemelerde dövme yönünde uzayıp incelirken, döküm olarak üretilen çeliklerde zararsızdır [1].

Fosfor: Mukavemeti en çok artıran elementtir. Düşük oranlarda kullanımında dahi çeliğin mukavemetini ve kırılma dayanımını artırır, dövme yönünde darbe direncini ve uzama miktarını azaltır. Fosforun etkisi, yüksek karbonlu manganlı çeliklerde daha çoktur. Çeliğin korozyon direncini artırır fakat kükürt elementiyiyle beraber olabildiğince az kullanılmalıdır. Çeliğin kalitesinin belirlenmesinde birinci plandadır [6].

Molibden: Güçlü bir nitrid ve karbür yapıcıdır. Düşük alaşımlı çeliklerde krom elementi ile %0,15- 0,30 civarında kullanıldığında çeliğin sertleşebilirliğini, çekme dayanımını ve sıcaklık dayanımını artırıcı, mangan kırılma dayanımını ise azaltıcı etkisi vardır. Takım çeliklerinde daha yüksek miktarlarda kullanılır, sıcaklık ve aşınma direncini iyileştirici etkisi vardır. [1,6].

Krom: Çelikte oksidasyon, korozyon ve aşınma direncini, sertleşebilirlik özelliklerini artırır. Özellikle paslanmaz ve alaşımlı takım çeliklerinin çoğunun ana alaşım elementidir. Karbür yapıcıdır. Bu özelliği sebebiyle çekme dayanımını ve sıcaklık direncini artırır, sünekliği azaltır. Bazı çeliklerde mangan kırılma dayanımına neden olabilir.

Molibden ve nikel elementleri ile beraber kullanılmasıyla olumlu yönde gelişme gösterir [6]. İkinci grup karbür oluşumunda kromun etkisi yüksektir ve her iki çeşit ikincil sertlik karbürlerinin (M_2C ve MC) meydana gelme sürelerini hızlandırırlar. Mikro yapı içerisinde ikincil sertlik karbürlerinin oluşumuna neden olur [34].

2.7. KARBÜR OLUŞTURUCU ELEMENTLER VE KARBÜR TURLERİ

Ferrit yapıcı bazı elementler aynı zamanda karbür yapıcı özellik gösterirler. Karbonla bileşik yapıcıların demir elementine bağlı olarak, ferrit oluşturucudurlar. Krom, tungsten, molibden, vanadyum, titanyum, niyobyum, tantalyum, zirkonyum elementlerinin soldan sağa gidildikçe karbon afiniteleri artar [35].

Karbür tiplerinden bazıları özel karbürler olarak adlandırılır. Örneğin demirle bileşik yapmayanlar; Cr_7C_3 , W_2C , VC , Mo_2C . Karışık ve ikiz karbürler hem karbür hem de demir yapıcılarıdır. Örnek olarak Fe_4W_2C [35].

Karbürlerin kararlılığı, çeliğin iç yapısında bulunan diğer elementler ile orantılıdır. Karbürlerin kararlılıkları, elementin matriks ile sementitin birbirleri ile paylaşımıyla orantılıdır. İki fazda birden bulunan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri, ‘K’ yani paylaşılma katsayısı olarak adlandırılır. Çizelge 2.3’ te alaşım elemanlarından bir kısmının paylaşılma değerleri gösterilmektedir. [35].

Çizelge 2.3. K değeri örnekleri [35].

Al	Cu	P	Si	Co	Ni	W	Mo	Mn	Cr
0	0	0	0	0,20	0,30	2,00	8,00	11,40	28,00

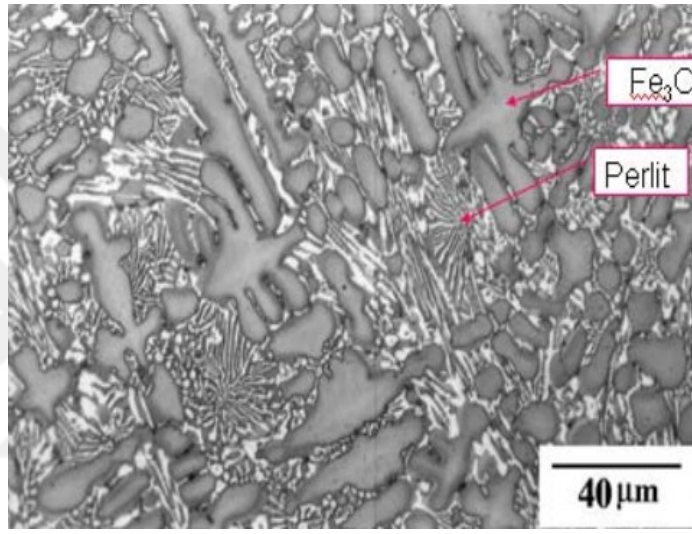
Mangan güçsüz bir karbür oluşturucudur fakat ciddi bir karbür dengeleyicisidir. Krom ise karbürleri kararlı hale getiren ve sıkça bu amaç için bulunması istenen allaj türüdür [35].

Çizelge 2.4’ teki karbür grupları çeliğin içinde taneler arasında bulunur. Genel olarak karbür grupları içerisinde demir ihtiva eder ve başka elementlerin olması durumunda onlar da çözelti içerisinde görülürler. Bu sebeple mangan-krom çeliklerinde karbürler

Cr_{23}C_6 yerine $(\text{Cr}, \text{Mn}, \text{Fe})_{23}\text{C}_6$ şeklinde oluşur [36]. Şekil 2.9’ da krom- mangan gruplarının oluşturduğu karbür grubunun mikro yapı örneği gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Çelik içerisinde oluşan karbür grupları [36].

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



Şekil 2.9. Çelik içerisinde oluşan karbür 1. grup karbür mikroyapısı.

Niobyum ve titanyum elementlerindekiyle benzer kimyasal formülde olan karbürler tek tip karbür olarak gösterilebilir. Çelikte oluşan karbürler 6 grupta ele alınabilir [36].

Çizelge 2.5. Çelik içerisinde oluşan karbür çeşitleri [36].

1. grup karbürler	M_3C	M_{23}C_6	M_7C_3	M_6C
2. grup karbürler	MC	M_2C		

Çizelge 2.5’ te çeliklerin içerisindeki karbür sistemleri gösterilmiştir. Birinci grupta yer alan karbür tipleri sementit örneğinde olduğu gibi karmaşık bir kristal yapıya sahiptir. İkinci grup karbürlerde ise ara yer fazında özel kristal kafes yapısında basit sistemlerdir [36].

Ara yerlerde bulunan karbürler östenit fazları içerisine çözünmesi oldukça zordur. Birinci grup karbürler sıcaklık ile kolayca östenit fazı içerisinde çözünebilirler. Bütün karbür gruplarının çözünme sıcaklığı yüksektir [36].

2.8. YÜKSEK MANGANLI ÇELİKLERİN KULLANIM ALANLARI

Hadfield çelikleri, sürtünme kuvvetlerinin ve darbeli çalışma ortamlarında, aşınmaya karşı mukavemetli ve kırılmalık dayanımının yüksek olması istenen alanlarda örnek olarak; öğütücülerde ve eleme tesislerinde, değirmenlerin aşınma plakalarında, kepçelerin tırnaklarında, maden işletmelerinde, plakalı konveyörlerde, ergitme fırınlarının gövdelerinde muhafaza bölgelerinde gibi bir çok alanda kullanılmaktadır [22].

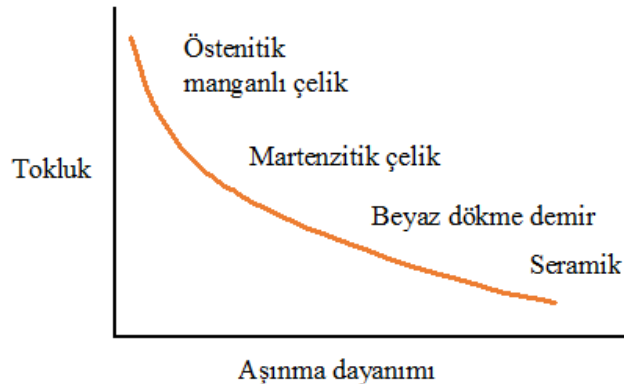
Östenitik yapıda bulunan manganlı çelik sürtünmenin ve aşınmanın fazla olduğu ortamlarda, süneklik, darbe ile sertleşme, yüksek tokluk gibi özellikleri sayesinde avantajlı bir malzemedir. İdeal kimyasal kompozisyon ve uygulanan ısı işlemleri sayesinde kum ve çakıl gibi aşındırıcı malzemelerin transfer sürecinde, üretim süreçlerinde, taş ocaklarında, madencilik sektöründe, demir- çelik üretim tesislerinde, demir yolu malzemeleri üretiminde, tuğla ve çimento üretim sektöründe kullanılır. Östenitik manganlı çelikler demir yollarında makaslarında tren tekerinin yön değiştirirken çarpmasının kuvvetini absorbe edebilecek alanlarda, çelik geri dönüşüm sektöründe öğütücü çenelerinde ve askeri alanda da yaygın olarak kullanılmaktadır [37].

BÖLÜM 3

ÇELİKLERİN METALURJİK İNCELEMESİ

3.1. ÇELİKLERİN MİKROYAPISI

Hadfield çeliklerinde karbon mangan oranı genellikle bire on şeklinde olmaktadır. Bu çeliklerin yapı dokusu östenittir. Östenit yapılarında ikizlenme kusurları görülebilmektedir. Şekil 3.1’ de çeşitli malzemelerin aşınma ve darbe direnci özellikleri şematize edilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bu çelik türü, sünek, ısıl direnci yüksek, tokluğu yüksek, aşınma oranı düşük, şekillendirilebilir, kaynak kabiliyeti bulunan malzemelerdir. Bu tarz çeliklere aşınma direncini yükseltmek ve mekanik özelliklerini artırmak için krom, molibden, vanadyum, bakır, titanyum ve bizmut da katılmaktadır [22].

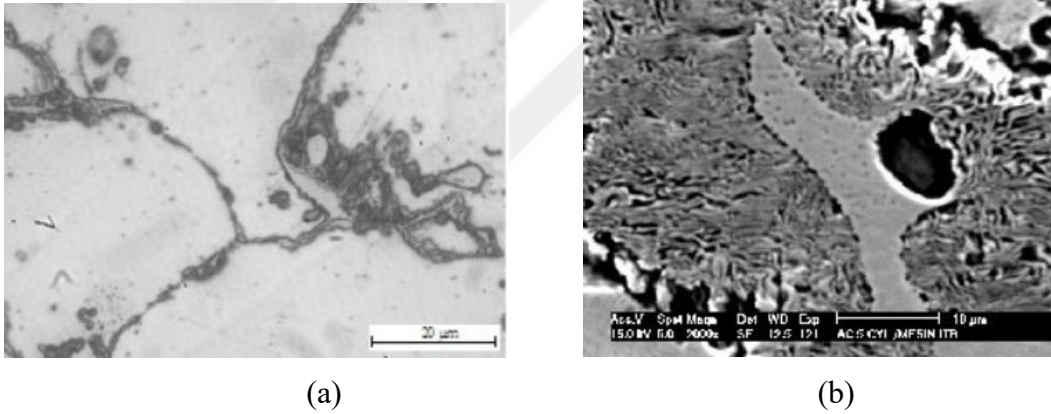


Şekil 3.1. Malzemelerin göre malzemelerin aşınma ve toklukların kıyaslanması.

Mangan elementinin %2- 10 arasında bulunması çeliğe kırılganlık katar. Mangan elementinin %11- 14 arasında bulunması %1- 1,2 karbon ihtiva eden çeliklerde aşınmaya karşı dirençli ve tok bir yapı elde etmek için ısıtım uygulanması şarttır. İçerisinde mangan elementin yüksek olması, kritik sıcaklığı yeterince düşürmekte ve kritik soğuma oranını azaltmaktadır. Isıtım işleminden çıkan çelik ani soğutulabilir ise karbon ile uyumlu olan manganın, martenzit oluşum sıcaklığını 200 °C’ ye indirir ve

çeliğin östenitik yapılı, sünek ve darbe direnci yüksek özellikler göstermesini sağlayacaktır [22].

Hadfield çeliklerinde karbon elementinin oranındaki düşüş, çekme- akma mukavemetini de azaltır. Bunun yanında çok yüksek karbon elementi oranı, östenitik manganlı çelikerin ısıtılma işlem veya dökümlerinde sıkıntılar yaratmaktadır. Üretilirken çatlama durumu ve kullanımları sırasında kırılma yapıda olmaları problemler arasında görülür. Östenitik manganlı çeliklerde ısıtılma işlem sırasında önlemler alınmaz ise parçanın yüzeylerinden karbon ve mangan eksilmesi yaşanır. Malzeme su ile ani soğutulduğunda yüzeyde oluşan tabaka sert ve kırılma martenzite dönüşür. Cidar kalınlığı fazla olan parçalarda bu tabakadan çatlak başlar ve iç kısımdaki östenit bölgede durur, bu durum ince cidarlı parçalarda ve yorulma kuvvetlerinin fazla olduğu durumlarda tehlikelidir [22].



Şekil 3.2. Dökülmüş haldeki (ısıtılma işlemi yapılmamış) Hadfield çeliği, östenit tane sınırlarında karbürler (a) ve hücresel karbür yapısı (b) %3 nital ile boyanmış [22].

Dökülmüş haldeki mikroyapılar Şekil 3.2 (a) ve (b)' de verilmiştir. Karbürler tane sınırlarında ve östenit taneleri içinde beyaz karbürler şeklindedir. Hücresel karbürler tane sınırlarından çok köşelerde ve beyaz zeminlerde toplanmıştır [22].

Mangan ve karbon elementlerinin oranı östenitin stabilitesini belirler. Bileşik içerisinde karbonun yüksek oluşu östenit yapıların dengeli olması ile ilgilidir. Krom genellikle %1- 2 oranında ilave edilmektedir. Krom oranının %2,5 'in altında olması

çekme- akma özelliklerin bir miktar iyileşmesini sağlar. Molibden elementin %1- 2 oranında ilavesi, kromun etkisine benzer bir şekilde akma dayanımını artırır [22].

Silisyum, oksijen giderici olması amacıyla kullanılır. Östenitik manganlı çeliklerde genellikle %1 oranında bulunur. Bu oranın %2 lere çıkması durumunda çekme- akma dayanımı artar ve darbeli çalışma ortamlarında mukavemeti yükselir. Eğer %2 den fazla silisyum elemnti bulunursa uzama oranını aksi yönde etkiler. Nikel kaynak kabiliyetini arttırmak için kimyasal kompozisyona eklenir. Aşınma direnci ve mekanik özellikler üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmaz [22].

Kükürt ve fosfor dövme ve hadde ile çelik üretiminde yönlenmiş şekilde süreksizliklere sebebiyet verir, parçalar döküm olarak kullanılacaksa yapıya zarar vermez. Östenitik manganlı çeliklere genellikle fosforun olumsuz etkileri bulunur. %0,03' den az olması durumunda çatlak oluşma riski ve problemi de daha az görülmektedir [22].

3.2. ÇELİKLERDE AKMA- ÇEKME TESTİ

Çekme deneyi, malzemelerin değişmeyen yükler altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemek için yapılmaktadır. Çekme deneyi için boyutları standartlaştırılmış daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası, çekme cihazına bağlanarak eksenel ve değişken kuvvetler uygulanır [38].

Çekme cihazı esas olarak, birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilir, deney parçasına farklı miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu çekme kuvvetine denk gelen uzama kaydedilir [38].

Türk standartlarında TS 138 A, B, C, D, E ve F olmak üzere altı numune tipi bulunur. Numune tipi genellikle malzemenin şekline göre seçilir. Çekme testlerinin yapımla amacı malzemenin sabit yükler altında plastik ve elastik şekil değiştirme davranışlarını

belirlemek ve kullanılacağı yere göre uygun olup olmadığına karar vermek için uygulanır [38].

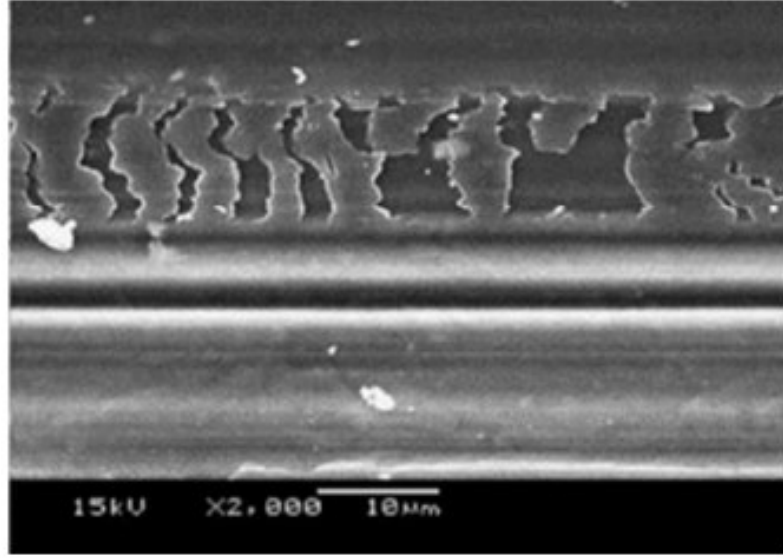
3.3. ÇELİKLERDE AŞINMA TESTİ

Aşınma, temas halinde olan yüzeylerden mekanik etkilerle mikro parçacıkların ayrılmasıyla malzemelerde görülmesi istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir. Temas halinde olan yüzeylerde; sürtünme kuvvetleri, sistemin güç kaybına, aşınma ise çalışma toleranslarının bozarak makine ve parçalarının işlevsizleşmesine neden olmaktadır. Aşınma olayı genellikle; hareket iletim elemanı olarak kullanılan millerde, kaymalı ve rulmanlı yataklarda, fren balatalarında, motor pistonu ve silindirlere, dişlilerde ve türbin kanatlarında görülmektedir. Çeşitli mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının servis ömürlerine yüksek oranlarda etki eden aşınma kaybı, aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme türü, sistemin taşıdığı yük miktarı, aşınma hızı, sürtünme sırasında oluşan yüzey film özellikleri ve sıcaklık gibi farklı faktöre bağlıdır. Aşınma olayı, bir malzeme özelliği olarak değil de bir bütün olarak sistemin içinde değerlendirilmelidir. Aşınmanın değerlendirildiği sisteme tribolojik sistem adı verilmektedir. Triboloji sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını kapsamaktadır. Tribolojik sistem, etkileşim halinde bulunan elemanlarda hız, termal koşullar ve yükün bileşimiyle ortaya çıkan aşınma olayını inceler [39].

3.3.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma adhesif kuvvetler sonucu iki katı malzeme arasında yani birbirine yapışmaya benzer tarzda malzeme transferine neden olan aşınma türüdür [40,41].

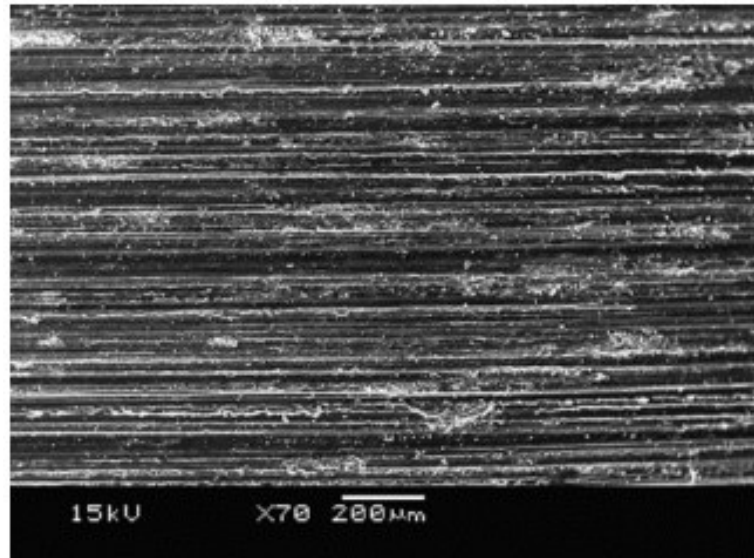
Şekil 3.3' te adhesiv aşınma SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Adhesiv aşınma SEM görüntüleri [40].

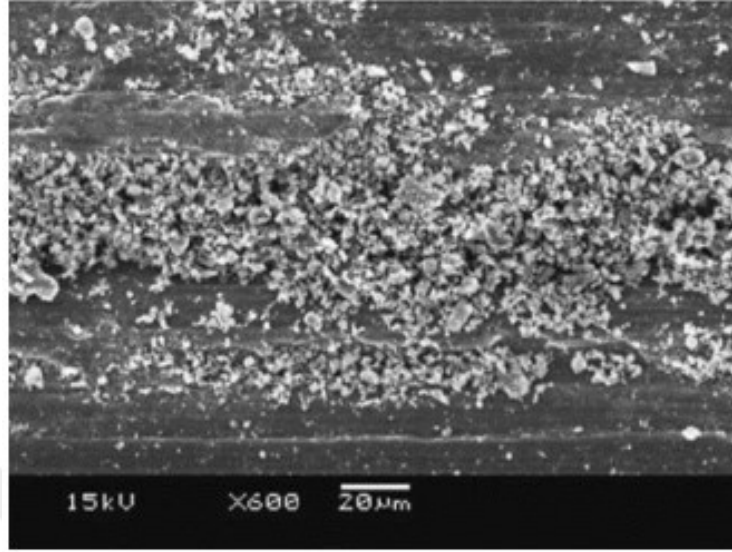
3.3.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma katı bir malzemenin kendisinden daha sert ya da aynı sertlikte olan bir materyale karşı sürtünmesi ile meydana gelir [42]. Aşınma yönünde oluk ve çizik şeklinde oluşur. Partiküller ayrılmaktadır [43]. Şekil 3.4’ te abrasiv aşınma SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.4. Abrasiv aşınma SEM görüntüsü [41].

3.3.3. Oksidasyon Aşınması



Şekil 3.5. Oksidasyon aşınma SEM görüntüsü [41].

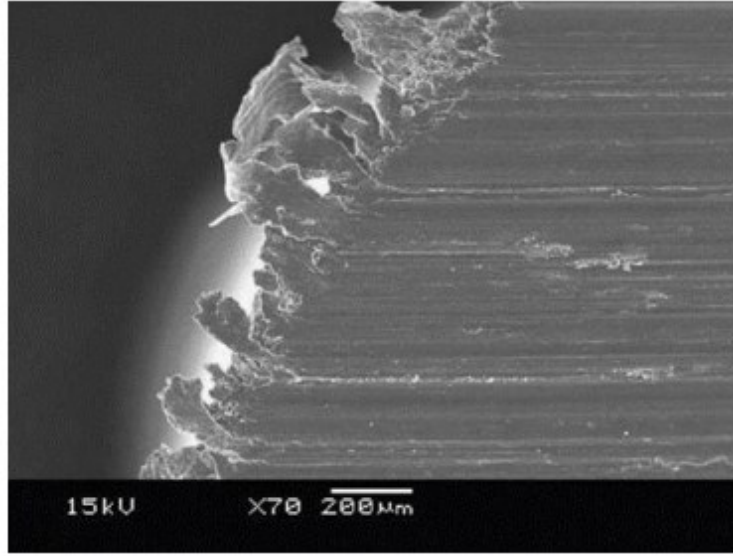
Oksidasyon, aşınma sırasında ısınma ile oluşan eriyik haldeki partiküllerin varlığı nedeniyle gerçekleşir. Oksit partikülleri aşınma sonucu oluşan boşluklara yerleşmektedir. Şekil 3.5’ te oksidasyon aşınması SEM görüntüleri görülmektedir. Malzemenin teması azalmakta ve sonuç olarak aşınma hızı azalmaktadır [43].

3.3.4. Termal Yumuşama ve Ergitme Aşınması

Termal yumuşama ve ergitme, aşınma esnasında yüksek aşınma hızı ve ısı malzemenin yığın halinde aşınmasına sebep olur. Aşınma hız değerinde kayda değer artış olmaktadır. Mg alaşımlarında bu durum çok meydana gelir [44].

3.3.5. Yapraklanma Aşınması

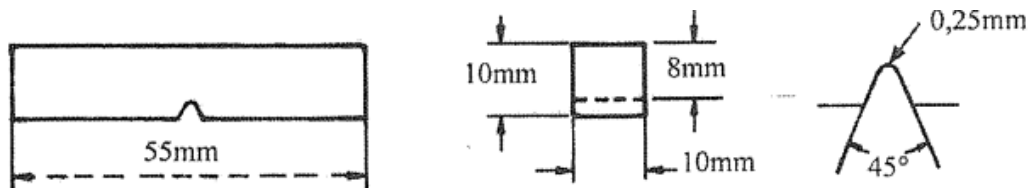
Yapraklanma aşınması, aşınma yönüne dik bir şekilde kısa uzunluklu çatlaklar şeklinde görülmektedir. Yaprak şekline benzeyen partiküller zamanla yarıklar oluşmasına neden olmaktadır [44]. Şekil 3.6’ te yapraklanma aşınması SEM görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.6. Yapraklanma aşınması SEM görüntüsü [41].

3.4. ÇELİKLERDE ÇENTİK TESTİ

Çentik darbe deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin dinamik zorlamalarla kırılması için sarfedilen enerji miktarını tespit etmek amacıyla yapılır. Metalik malzemelerin özellikle gevrek kırılmalarına neden olabilecek şartlardaki mekanik özelliklerini öğrenebilmek amacıyla yapılır [38]. Şekil 3.7’ da çentik numunesinin teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. V çentikli çentik testi örneği.

Malzeme içerisinde bulunan süreksizlikler parçanın homojenliğini bozmakta ve parçanın kırılma değerinin beklenenden daha düşük çıkmasına neden olmaktadır. Darbenin oda sıcaklığından alt sıcaklıklarda oluşu malzemenin çentik- darbe direncini düşürür. Bu deneyin yapılma amacı malzemenin ani bir yük altında davranışını öğrenebilmek ve dinamik yükler altında ki kırılması için gerekli olan enerjiyi belirlemektir.

Çentikli bir numuneye harici bir yük uygulandığında, çentiğin alt yüzeyine dik bir basma kuvveti üretilir. Kırılma, oluşan kuvvet etkisiyle gerçekleşir. Numunenin şekli değişmeden kırılma meydana geliyorsa buna gevrekleşmiş kırılma adı verilir. Kırılan yer taneli bir yapıda ve parlaktır.[45].

Genellikle çentik- darbe testleri sırasında numuneler kırılmadan önce elastik deformasyona maruz kalırlar. Çentik darbe testlerinde, uygulanan kuvvetin etkisiyle meydana gelen gerilme kuvveti, yaklaşık 90° lik açıyla oluşan darbenin etkisiyle farklı bir gerilim türü görülmeye başlar. Dolayısıyla önce elastik şekil değiştirme ardından plastik şekil değiştirme ve kırılma gerçekleşir. Bu şekilde yaşanan kırılmaya da sünek kırılma denir. Kırılan yüzey incelenecek olursa lifli bir yapı ve girintiler çıkıntılar görülür [45].

3.5. ÇELİKLERDE SEM DENEYİ

Taramalı elektron mikroskobunun temel amacı, yüksek büyütme ölçeklerinde yüzey görüntüsü almaktır. Yüzey görüntüsünün yanı sıra çeşitli kimyasal analizler de yapılabilir [46].

SEM cihazı temel olarak üç bölümden; manyetik lensler, dedektör ve elektron tabancasından oluşur. Elektron tabancasından hızlandırılarak çıkan elektronlar manyetik lenslerin aracılığıyla odaklanarak numune üzerine gönderilir. Elektronların numunenin yüzeyine çarpmasından kaynaklanarak saçılan elektronlar çeşitli dedektörler aracılığıyla analiz edilir. Saçılan elektronların dedektörler ile analiz edilmesiyle malzeme içindeki yapıların mikro ve nano boyutlarda görüntülenmesi yapılabilmektedir. Ayrıca numune içerisinde nitel ve nicel olarak elementlerin oranlarının analizi yapılabilmekte olup haritalandırma tekniği ile elementlerin dağılımı tespit edilebilmekte ve EBSD tekniği kullanılarak malzeme içindeki fazların analizi yapılabilmektedir [46].

Numunenin mekanik özellikleri ve performansları mikro yapı şekillerine göre farklılık göstermektedir. Mikro yapı ise üretimde ve üretimden sonra yapılan proseslerde değişebilir [46].

3.6. ÇELİKLERDE MİKROSERTLİK

Sertlik, malzemelerin mekanik özellikleri arasında önemli bir yere sahiptir. Sertlik, malzemenin plastik deformasyon yani batma ve çizilmeye karşı gösterdiği dirençtir. İlk sertlik deneyleri, doğal minerallerin birbirini çizebilmelerine göre sıralanmasıyla oluşturulmuş bir cetvele göre yapılmaktaydı. Sertlik derecesinin 1- 10 arasında değiştiği genellikle sıralamanın keyfi olarak seçildiği minerallerle yapıldığı bu skalaya Mohs skalası denmekteydi. Bu skalaya göre en düşük sertlik derecesini gösteren 1 değeri talk mineralinin sertlik değerine ve en yüksek değer olan 10 değeri ise elmasın sertlik değerine karşılık gelmekteydi. Gelişen teknolojiyle, küçük bir batıcı ucun malzeme yüzeyine belirli bir yük ve hızda kontrollü bir şekilde batırılması ile gerçekleştirilen kantitatif sertlik ölçüm yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Bu sertlik ölçüm yöntemlerinde, ucun batırılması ile oluşan izin derinliği ya da büyüklüğü ölçülerek malzemelerin sertlik değerleri bulunmaktadır. Bu yöntemle göre malzeme ne kadar sert ise oluşan izin derinliği ya da genişliği o derece küçük, sertlik değeri de o derece yüksek olur. Ölçülen sertlikler, mutlak değildir ve farklı yöntemlerle ölçülen değerler birbiriyle karşılaştırılırken özen gösterilmelidir [47].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yüksek manganlı östenitik çelikler daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, kimyasal bileşiminde, ısıtılma işlemi prosesinde ve ortam çalışma koşulları altında farklı mekanik dayanımlar sergilemektedir. Yüksek aşınmaya ve yüksek yükler altında çalışan bu malzemeler endüstriyel anlamda birçok sektörün önde gelen kullanım malzemeleri arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada aşınma dayanımı yüksekliğinden tercih edilen X120Mn12 çeliğinin kimyasal analiz değişikliği olmadan kum ve kokil kalıba döküldükten sonra; hava, su ve yağda soğutularak mikro yapı ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. 200mm x 160mm x 30 mm ebatlarında kum ve kokil kalıplar hazırlanmıştır. 3 adet kum kalıp ve 3 adet kokil kalıba tek potadan döküm yapılmıştır. Kum ve kokil kalıplara dökümlerden sonra birer adet alınarak aynı ısıtılma işlemlere tabii tutulmuştur. Sırasıyla ısıtılma işlemi fırınında 1100 °C’ de suda ve yağda soğutma ısıtılma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Birer adedine ısıtılma işlemi uygulanmamıştır. Sonrasında bu parçalardan testler için uygun numuneler freze ve tornalarda işlenerek mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece en uygun döküm ve ısıtılma işlemi yöntemiyle üretilecek olan X120Mn12 çeliğinin kullanım alanına göre yol gösterici oluşu hedeflenmiştir.

4.1. DÖKÜM İŞLEMİ

Deneyisel çalışmalarda kullanılacak numuneler ve dökümler için; 3 adet kum kalıba ve aynı kokil kalıptan aç-kapa yapılarak 3 adet kokil kalıptan döküm alınmıştır. Ocağa hurdalar şarj edilirken düşük fosfor ve kükürt ihtiva eden hurdaların kullanılmasına dikkat edilmiştir. Gerekli olan silis, mangan, karbon ferro alyajları kullanılarak kimyasal kompozisyonun ayarlanması sağlanmıştır. Ergitme şekil 4.1’ de görseli

bulunan 6 ton kapasiteli atmosfere açık endüstriyel büyüklükteki indüksiyon ergitme ocağı kullanılarak yapılmıştır.



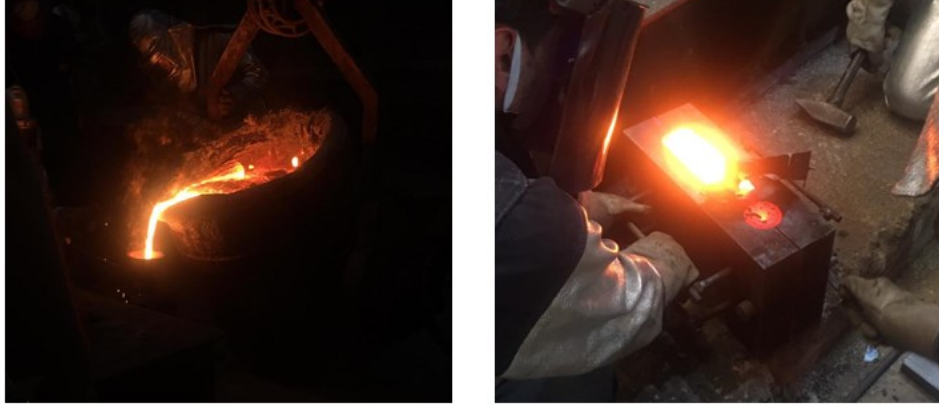
Şekil 4.1. Ergitme için kullanılan indüksiyon ocağı.

Eklenen tüm hurda ve alyajlar ergidikten sonra ergimiş metalin üzerine perlit tozu atılmış ve ince bir cüruf tabakası oluşması sağlanmıştır. Bu oluşturulan cüruf ergiyik metalik hava ile temasını kesmektir. Döküm işleminde kullanılan taşıma potası kok gazı ile 4 saat boyunca kesintisiz olarak ısıtılmıştır. Ergiyik metal potaya aktarılmadan önce perlit tozu ile oluşturulması sağlanan cüruf çelik bir çubuk yardımıyla temizlenmiştir.

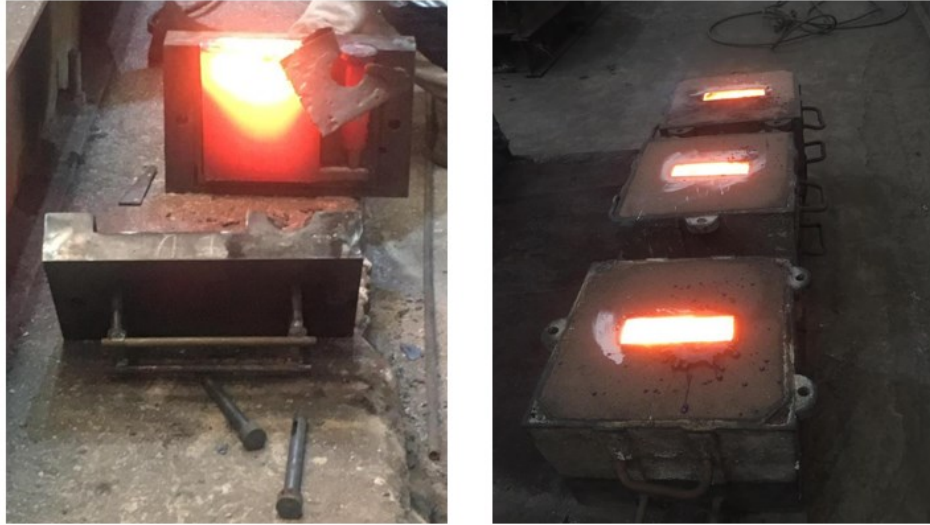
Kum kalıplar içerisindeki tüm gaz oluşturacak bağlayıcılar: reçine ve asit buharlaşana kadar ön ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Kokil kalıplarda ise kalıplar ani sıcaklıkla karşılaşma esnasında çatlama riskine karşın ve kalıbın nemini almak için yaklaşık 250°C' lere kadar ısıtılmıştır.(kalıpta oluşacak rutubet vb hataların giderilmesi için) Bu ölçümler lazer sıcaklık ölçüm cihazı ile yapılmıştır.

İlk önce kokil kalıba döküm yapılmıştır. Ardından 1 adet kum kalıba döküm yapılmıştır. Bu esnada kokil kalıp içerisinde gerekli soğuma meydana gelmiştir. Kokil kalıp açılıp ilk döküm alınmış ardından tekrar kapatılıp 2. döküme hazır hale getirilmiştir. Bu işlem üç kere yapılarak tüm dökümler yapılmıştır. Ocaktaki

dökümden hemen önceki sıcaklık ölçümü yaklaşık 1560°C' dir. Ocaktan ergiyik maden transfer potasına alındıktan sonraki sıcaklık ölçümü yaklaşık 1450°C' dir.



Şekil 4.2. Kokil kalıba döküm.



Şekil 4.3. İlk dökümden sonra kokil kalıbın açılmış hali ve kum kalıba dökümler.

Yukarıda şekil 4.2 ve şekil 4.3' te dökümü gerçekleştirilen parçaların döküm işlemi sırasındaki fotoğrafları mevcuttur.

4.2. ISIL İŞLEM ÇALIŞMALARI

Dökümden sonra besleyici kısmı ve yolluk kısmı kesilip temizlenen parçalar 30x40x200 mm olacak şekilde kesici kesme taşı kullanılarak kesilmiştir. Kesim işlemi yapılırken parçanın aşırı ısınmaması için su kullanılarak kesilmiştir.

Kum kalıba ve kokil kalıba dökümden birer numunenin dilimlenen bütün parçaları ısıtılma fırınına yerleştirilmiştir. Her bir set 1100 °C' ye kadar çıkılmış ve 1 saat bekletilmiştir. Şekil 4.4' te kesilmiş olan numunelerin ısıtılma fırınına giriş şekli mevcuttur.



Şekil 4.4. Numunelerin ısıtılma fırınına yerleştirilme şekli.

İlk set kum kalıptan ve kokil kalıptan imal edilen parçalara ısıtılma işlemi uygulanmamıştır. İkinci set kum kalıptan ve kokil kalıptan imal edilen parçalara suda soğuma işlemi uygulanmıştır. Üçüncü set kum kalıptan ve kokil kalıptan imal edilen parçalara yağda soğuma işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.5' da suda ve yağda soğuma görselleri verilmiştir.



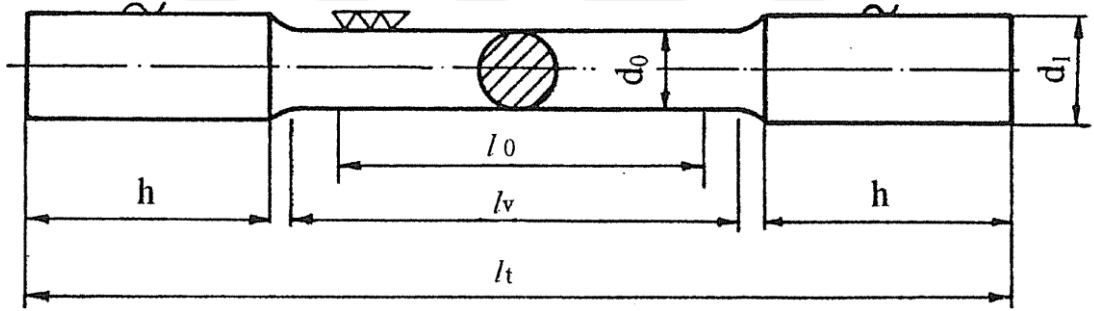
(a)



(b)

Şekil 4.5. Yağda soğuma ısıt işlemleri(a), suda soğuma ısıt işlemleri(b).

4.3. ÇELİKLERDE ÇEKME VE ÇENTİK TESTİ



Şekil 4.6. Daire biçimli silindirik başlı çekme numunesi.

Akma noktası elastik deformasyonun sonu plastik deformasyonun başlangıcı anlamına gelmektedir. Bu akma noktası aşıldığında malzemenin geri dönülmez bir şekilde yani kalıcı şekilde şekil değiştirdiği anlamına gelir. Şekil 4.6' da yuvarlak tipli numunenin standarttaki görseli gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Akma-çekme testi için hazırlanan numunenin görseli.

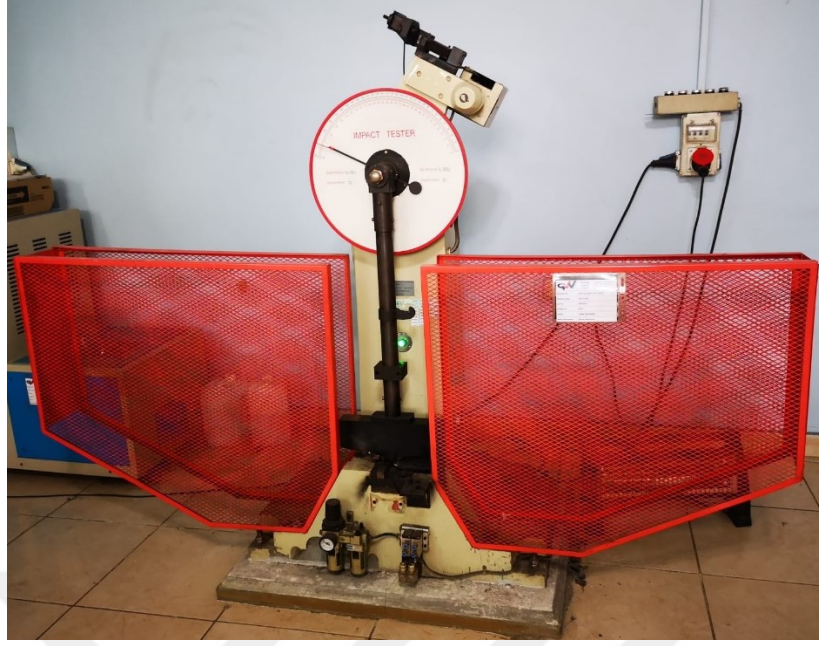
Test sırasında numunenin maruz kaldığı maksimum stress çekme dayanımı olarak adlandırılır. Numunenin ilk boyundan kopma sonrası boy farkı arasındaki % uzama olarak adlandırılır. Şekil 4.7’ de hazırlanmış olan çekme numunesinin fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 4.8. Deneysel çalışmalarda kullanılan WEW1000D Model çekme testi cihazı

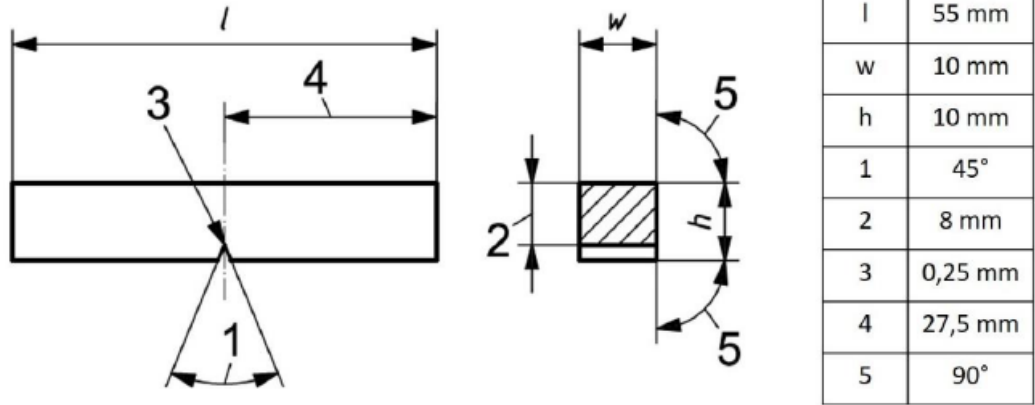
Bu çalışmadaki çekme testleri QVV Mühendislik firmasındaki WEW1000D Model, 50-1000 [kN] kapasiteli test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.8’ de deneysel çalışmada kullanılan test cihazının görseli bulunmaktadır.

Çentik-darbe deneyinde dinamik bir yük (darbe etkisiyle) standart çentik açılmış bir numunenin kırılması gereken enerji belirlenmektedir. Testler yapılırken kullanılan çentik-darbe cihazı şekil 4.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Deneysel çalışmalarda kullanılan JBW-300Z marka çentik testi cihazı.

Çentik testleri QVV Mühendislik firmasındaki JBW-300Z marka test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 4.10' da standarda uygun çentik numunesinin gösterimi ve şekil 4.11' de test için hazırlanan numunenin görseli gösterilmektedir verilmiştir.



Şekil 4.10. Çalışmalarda kullanılan çentik- darbe numunesinin detaylı ölçüleri.



Şekil 4.11. Çentik-darbe testi için hazırlanan numunenin görseli.

4.4. MİKRO YAPI VE SEM ÇALIŞMALARI

Çalışmada kullanılan numuneler şekil 4.12’ de gösterilen diskoton, zımparalama makinası ve sıcak bakalite alma cihazı kullanılarak yapılmıştır. Cihazlar Kardökmak A.Ş. bünyesinde olup markası STRUERS’ dir.

Malzemelerin mikro yapılarını belirlemek için gerçekleştirilen metalografik incelemeler ASTM E407-07 (metal mikro dağlama) standartlarına ve ASTM E3-11 (metalografik numune hazırlama) standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Numuneler kesme makinasında mikro yapıları incelenebilecek büyüklükte ve sıcak bakalite alma cihazına sığacak şekilde kesilmiştir. Daha sonra bakalite alınmıştır.

Metalografik incelemeleri yapmak için numune çıkarma yöntemlerine göre kesilmesi gerekmektedir. Kesim yapılırken dikkat edilecek iki ana unsur bulunur;

- Numune çıkarılacak parçadan kesim işlemi sırasında oluşacak olan plastik deformasyonlar numunenin yorumunun yanlış yapılmasına neden olabilir.

- Kesim yapılırken oluşan ısı sebebiyle fazlarda değişiklikler meydana gelebilir. Isıyı engellemek için kesim yapılırken sulu kesi ya da ısıya dayanıklı soğutucular kullanılarak kesim yapılmalıdır.



Şekil 4.12. Deneysel çalışmalarda kullanılan metalografi cihazları.

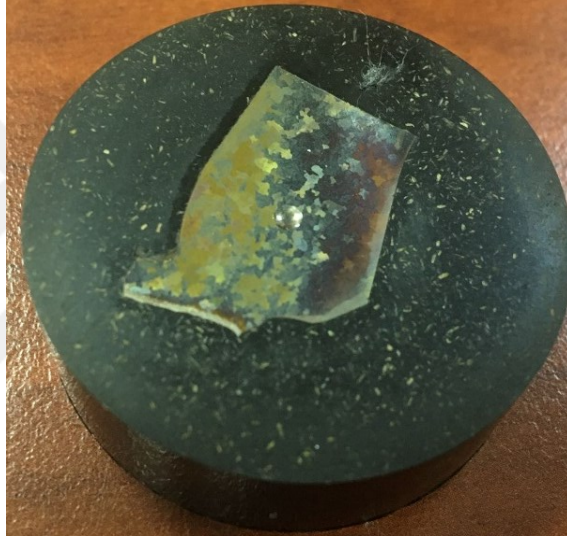
Bakalite alınmış olan numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 no'lu silisyum karbür zımparalarla zımparalandıktan sonra 1 μ m elmas pasta ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmada %2 nital çözeltisi dağlayıcı olarak kullanılmıştır. Her metalin kendine has bir dağlayıcısı vardır ve en iyi sonucu bu dağlayıcı ile verir.

Metalografik olarak hazırlanan yüzeylerin mikroskopik incelemeleri şekil 4.13' te gösterilen Kardökmak A.Ş. bünyesindeki Nikon Eclipse MA100 marka ışık mikroskobu ve ışık mikroskobuna bağlı olan bir dijital kamera ve görüntüleri bilgisayara aktarmaya yarayan Clemex görüntü analiz programı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 4.13. Deneysel çalışmalarda kullanılan NİKON ECLİPSE MA100 ışık mikroskobu.

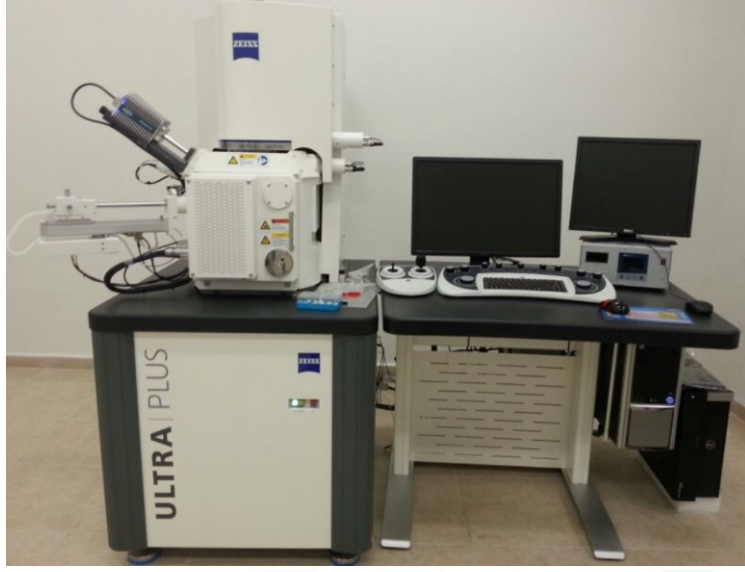
Östenitik mangan çeliklerini dağlamak için %2'lik HNO_3 çözeltisi hazırlanmıştır. Parlatılmış olan östenitik manganlı östenitik çelik numuneleri %2'lik nital (hacimce %2 HNO_3 , %98 etil alkol) ile 10 saniye süresince bekletilmiş ve dağlanma gerçekleşmiştir. Dağlama dağlayıcının içine batırmak ve dağlayıcı içinde 10 saniye boyunca numuneyi yavaşça hareket ettirerek uygulanmıştır. Dağlama işlemi sonrasında numuneler alınarak önce suyla daha sonra alkolle hiçbir yüzeye temas ettirilmeden yıkanmıştır. Daha sonra saç kurutma makinesi yardımıyla açılı bir şekilde tutularak yüzeyde su lekesi kalmayacak şekilde yukarıdan aşağıya doğru kurutulmuştur.



Şekil 4.14. Bakalite alınmış mikro yapı numunesi.

Bakalite alma işlemi sonrası hazırlanan mikro yapı numunesi şekil 4.14' te gösterilmiştir.

SEM (taramalı elektron mikroskobu) malzemelerin mikro yapı özellikleri ve yapısı hakkında bilgi sahibi olma, kimyasal farklılık ve aşınma sonrası yüzey incelemeleri gibi çok yönlü kullanıma sahip olan ve malzemelerin tüm bu özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan bir mikroskop çeşididir. Taramalı elektron mikroskobu çalışma prensibi, elektronların numune yüzeyine yüksek voltaj ile hızlandırılıp çarpması sonucunda yansıtılması ilkesiyle çalışır. Yansıyan elektronlar sayesinde yüzeyin girinti çıkıntıları elde edilir.



Şekil 4.15. Deneyisel çalışmalarda kullanılan CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka taramalı elektron mikroskobu.

Bu çalışmada elde edilen SEM görüntüleri şekil 4.15’ de gösterilen Karabük Üniversitesi MARGEM Laboratuvarında bulunan FEI Quanta FEG 450 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilmiştir. Bu cihaz genellikle akademik çalışmalarda kullanılır.

4.5. MİKRO SERTLİK TESTLERİ

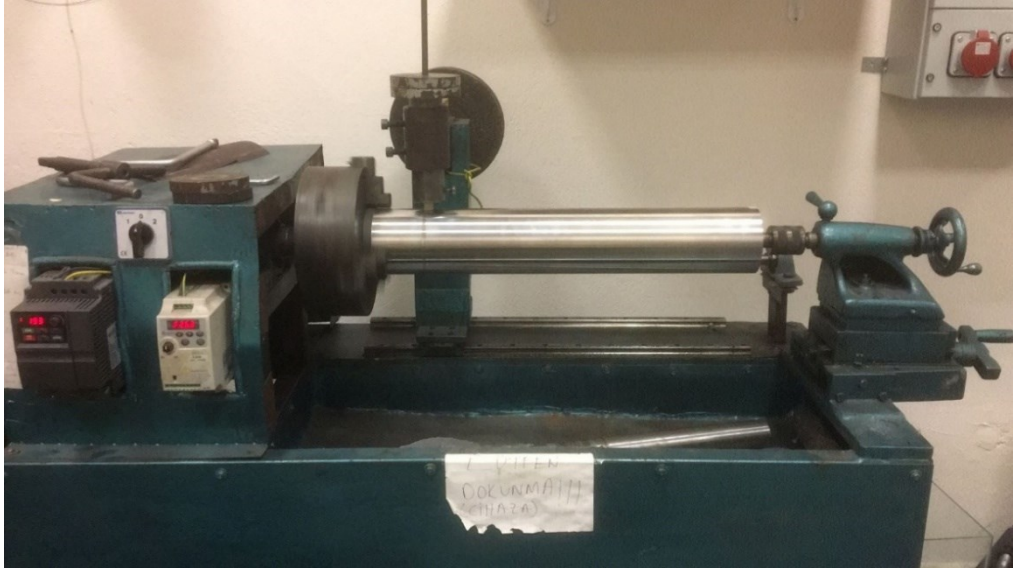
Sertlik testleri, tez çalışmasında kullanılmak üzere dökülmüş olan numunelerin ısıtılma işlem parametrelerinin ve döküm yöntemlerinin sertlik değerlerine olan etkisinin incelenmesi için yapılmıştır. Sertlik ölçüm yöntemi olarak Brinell sertlik ölçümleri kullanılmıştır. Mikro sertlik testleri için kullanılan numuneler şekil 4.14’ daki mikroyapı numuneleri ile ortak kullanılmıştır. Mikrosertlik deneyi şekil 4.16’ de gösterilen test cihazında Brinell ölçüm metodu ile sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.16. Shimadzu Marka Hmv model sertlik ölçme cihazı.

4.6. AŞINMA TESTİ

Aşınma, iki farklı malzemenin yüzeylerinin etmesiyle oluşan kimyasal ve mekanik etkilerle malzeme kaybı durumudur. Bu çalışmada Karabük Üniversitesi Metalurji ve malzeme mühendisliği laboratuvarındaki abrasif aşınma test cihazında yapılmıştır. Şekil 4.17 ‘ de aşınma deneylerinin yapıldığı cihaz gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Aşınma test cihazı.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

5.1. KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

Deneysel çalışmalarda kullanılan blokların kimyasal analiz değeri çizelge 5.1'deki gibidir. Tek bir ocaktan transfer potasına alınarak üç adet kum kalıba ve üç adet kokil kalıba dökümü yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan döküm parçaların kimyasal analiz değerleri.

Element	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni
İstenen kompozisyon	1,10- 1,30	12,00- 13,00	0,30- 0,50	<0,10	<0,04	<1,50	<1,00
Numune kompozisyon	1,22	12,15	0,443	0,056	0,010	0,164	0,040

Çizelge 5.1' de C, Mn, Si, P, S, Cr, Ni değerleri dışındaki elementler tabloya yansıtılmamıştır. Diğer elementler eser miktarlarda bulunmaktadır.

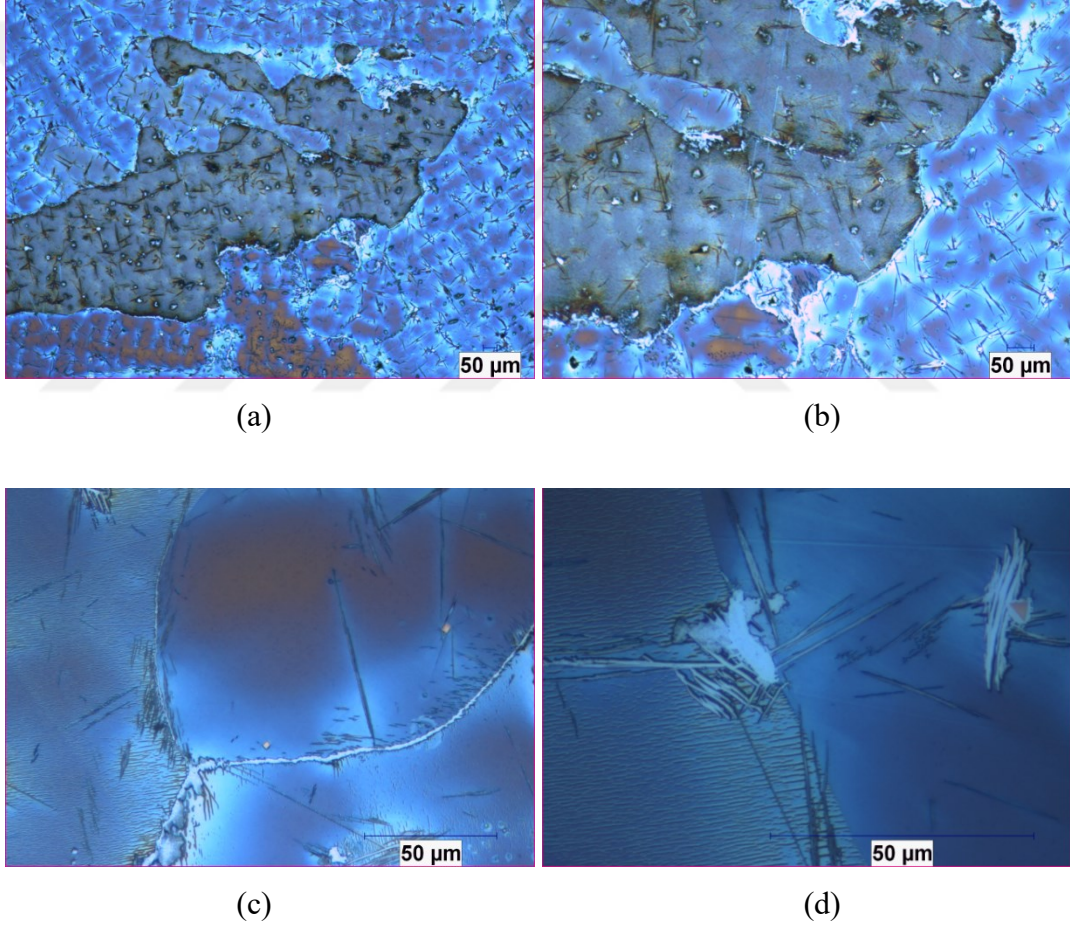
5.2. MİKROYAPI VE SEM SONUÇLARI

5.2.1. Kum Kalıba Döküm Isıl işlemsiz Numunenin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

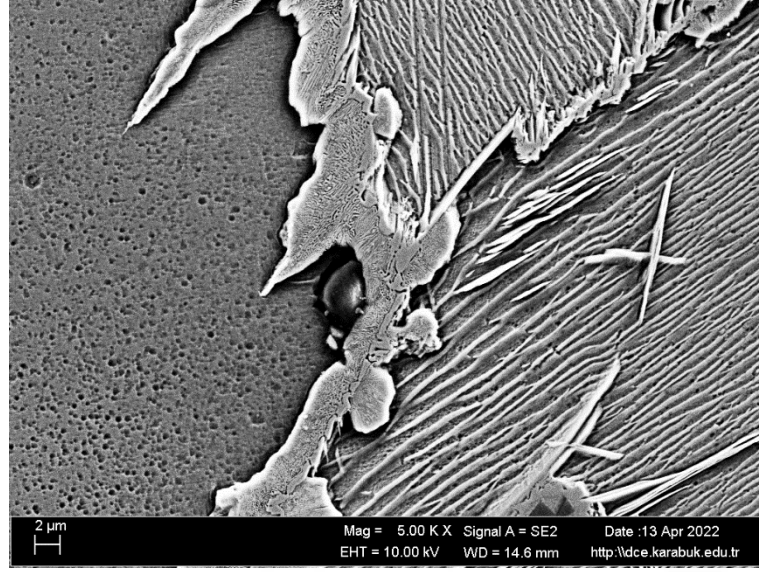
Kum kalıba döküm sonrası numuneler ısıl işlem yapılmadan soğumaya bırakılmıştır. Açık havada kendi halinde yavaş yavaş soğuyacağı için tane yapılarının oldukça büyük olması beklenmektedir. Bu durum aynı zamanda tane sınırlarında ve tane içerisinde karbür oluşumuna neden olması beklenmektedir. Numuneler parlatma ve dağlama işlemi sonrasında x50, x100, x500, x1000 büyütme ile görüntüler alınmıştır. Isıl işlem

uygulamasından sonra elde edilen mikroyapı görüntüleri şekil 5.1’ de verilmiştir. Şekil 5.2’ de ise östenit fazının ve karbürlerin detaylı SEM incelemeleri yapılmıştır.

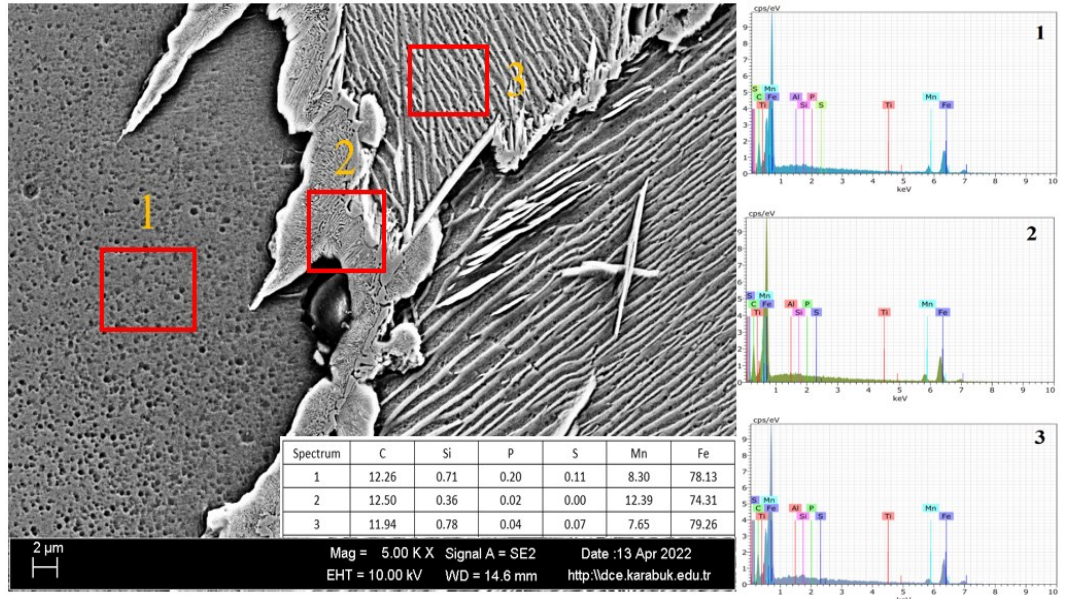
Şekil 5.1’ de görüldüğü üzere genel olarak büyük östenitik matris tane yapısı içerisinde nokta şeklinde karbürler ve tane sınırında oluşan karbürler gözükmemektedir. Bu karbürler belirgin olarak x50 büyütmede görülebilmektedir. Östenit tane yapısının homojen olmayışı ve östenit fazlarının tane boyutlarının büyüklüğü görülmektedir. Şekil 5.3’ de EDX alınan bölgerin görselleri, grafikleri ve elementlerin % lik değerleri görülmektedir.



Şekil 5.1. Kum kalıba döküm ısıtıl işlem uygulanmayan numunenin mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.



Şekil 5.2. Kum kalıba döküm ısıt işlemsiz numunenin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.

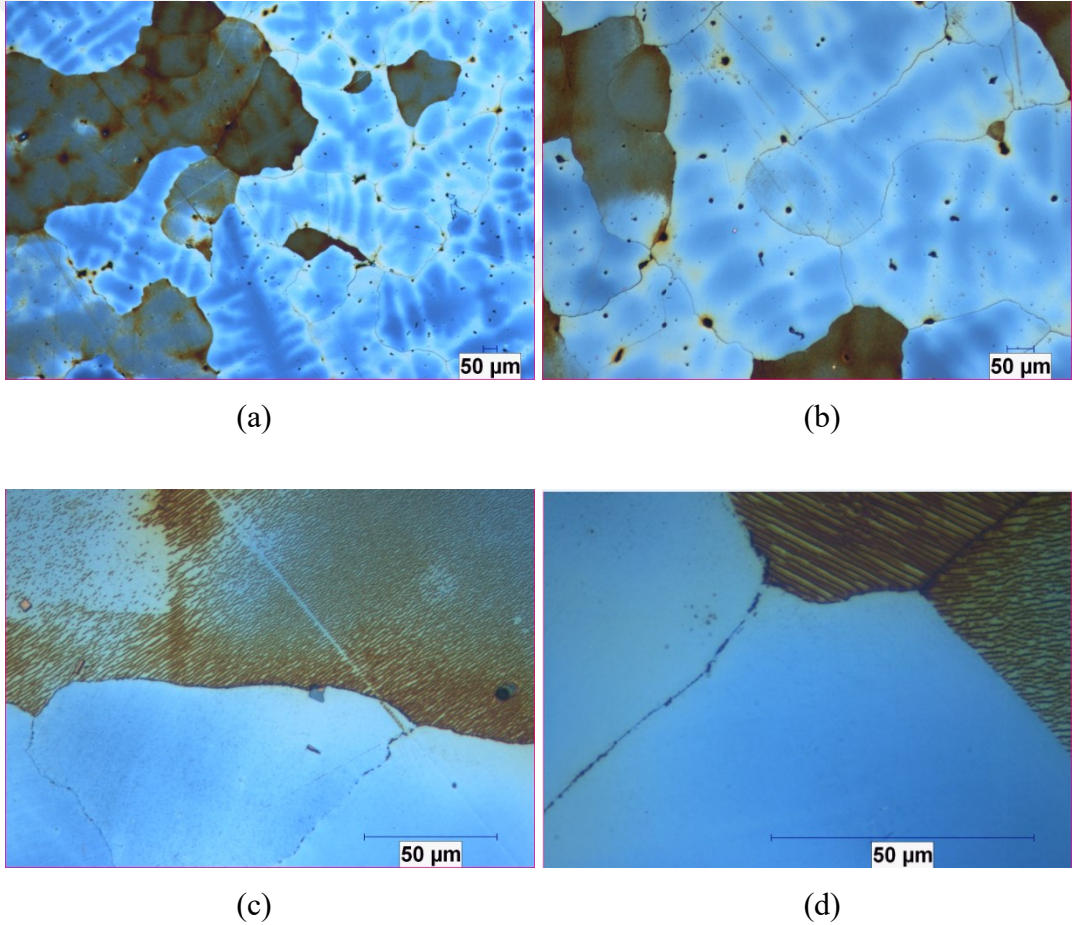


Şekil 5.3. Kum kalıba döküm ısıt işlemsiz numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.

5.2.2. Kum Kalıba Döküm Suda Soğuma Isıl İşlemli Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kum kalıba döküm işleminden sonra numuneler 1100°C’ de 1 saat bekletilmiş ve suda soğutulmuştur. Su ile yapılan ısıl işlemlerde, malzemelerin içine atıldıkları suyu buharlaştırarak etraflarında ısıl perde oluşturmaması en önemli noktadır. Bu ısıl perde

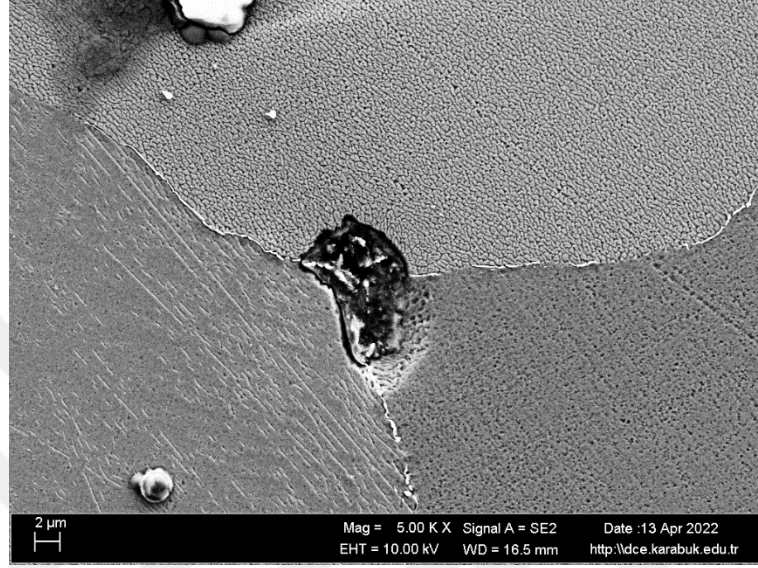
oluştugu zaman malzemenin soğuma hızı yavaşlar ve bu durum istenmez. Bu durumu önlemek için numuneler suya atıldıktan sonra su karıştırılmalı veya su iyi sirkülasyon yapacak şekilde dizayn edilmelidir. Bu ısıtma işlemde numune hızlı soğuyacağı için tane boyutlarında küçülmeler, tane sınırları ve tane yapısı içerisinde oluşacak olan karbürlerin azalması ısıtma işleminin düzgün yapıldığının göstergesi niteliğindedir. Numuneler parlatma ve dağlama işlemi sonrasında x50, x100, x500, x1000 büyütme ile görüntüler alınmıştır. Isıtma işlem sonrası mikroyapı görüntüleri şekil 5.4’ te verilmiştir. Şekil 5.5’ te ise karbürlerin ve faz yapılarının detaylı SEM incelemeleri yapılmıştır. Şekil 5.6’ da EDX alınan bölgelerin görselleri, grafikleri ve elementlerin % lik değerleri görülmektedir.



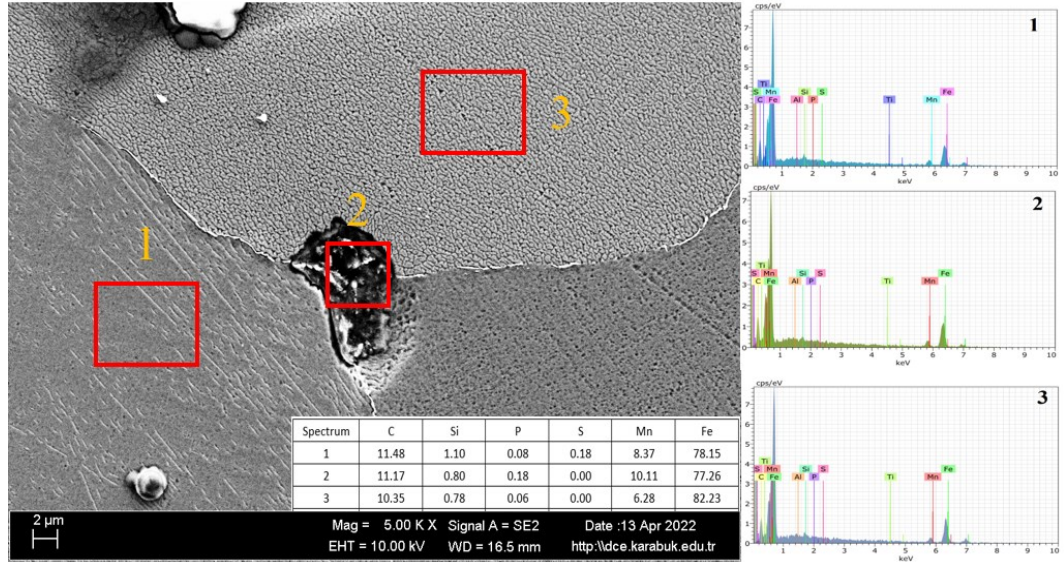
Şekil 5.4. Suda soğuma ısıtma işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.

Şekil 5.4.’ teki mikroyapılarda görüldüğü gibi x50 büyütmede östenit fazının havada soğutmaya göre daha düzenli olduğu ve östenit tane boyutlarının daha küçük olduğu

gözlemlenmiştir. Ancak yine de homojenlik söz konusu değildir. Östenit fazı içerisinde bulunan karbürlerin havada soğutmaya göre daha küçük ve daha az olduğu görülmüştür. Tane sınırlarında bulunan karbürlerin azaldığı ancak yine de var olduğu gözlemlenmiştir.



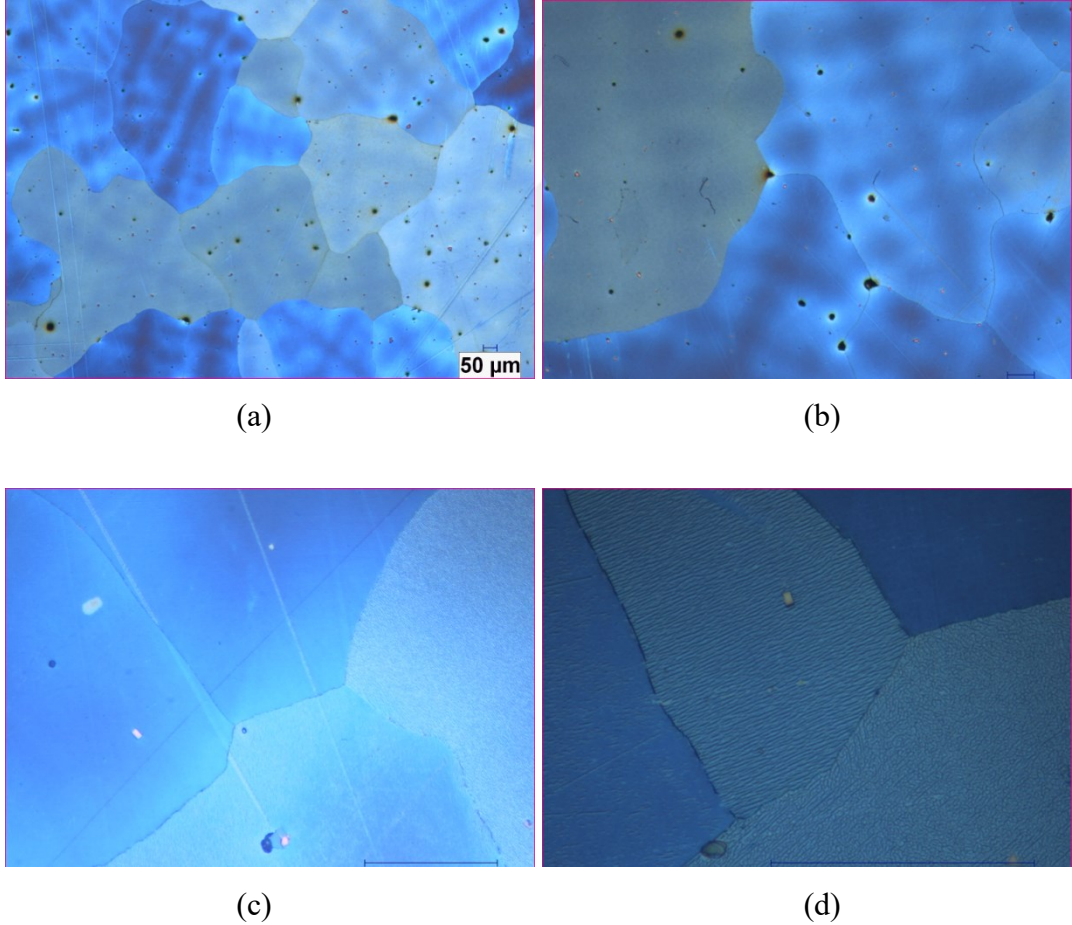
Şekil 5.5. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunenin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.6. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.

5.2.3. Kum Kalıba Döküm Yağda Soğuma Isıl İşlemlili Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

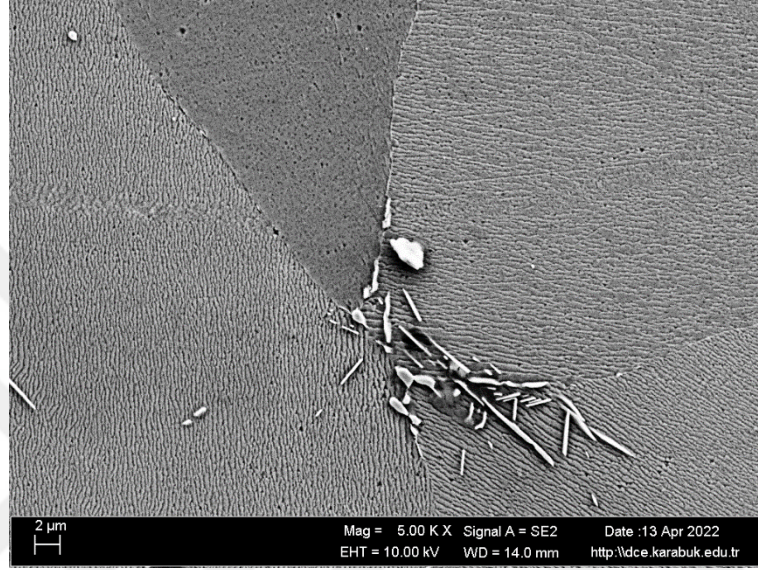
Kum kalıba döküm işleminden sonra numuneler 1100°C’ de 1 saat bekletilmiş ve yağda soğutulmuştur. Yağda soğutma ısıl işlemi suda soğutma işlemi ile benzerlik göstermektedir. Suda soğutmada oluşan ısıl perde yağda soğutma ısıl işleminde de görülmektedir. Yağın akışkanlığı daha az, ısı transferi daha yavaş, viskozitesi daha yüksek olduğu için daha iyi bir soğutucu görevi göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde yağda yapılan ısıl işlemde tane boyutlarının homojen, tane sınırlarındaki karbürlerin oldukça incelmış ve tane sınırları içerisindeki karbürlerin ise az olduğu görülmektedir.



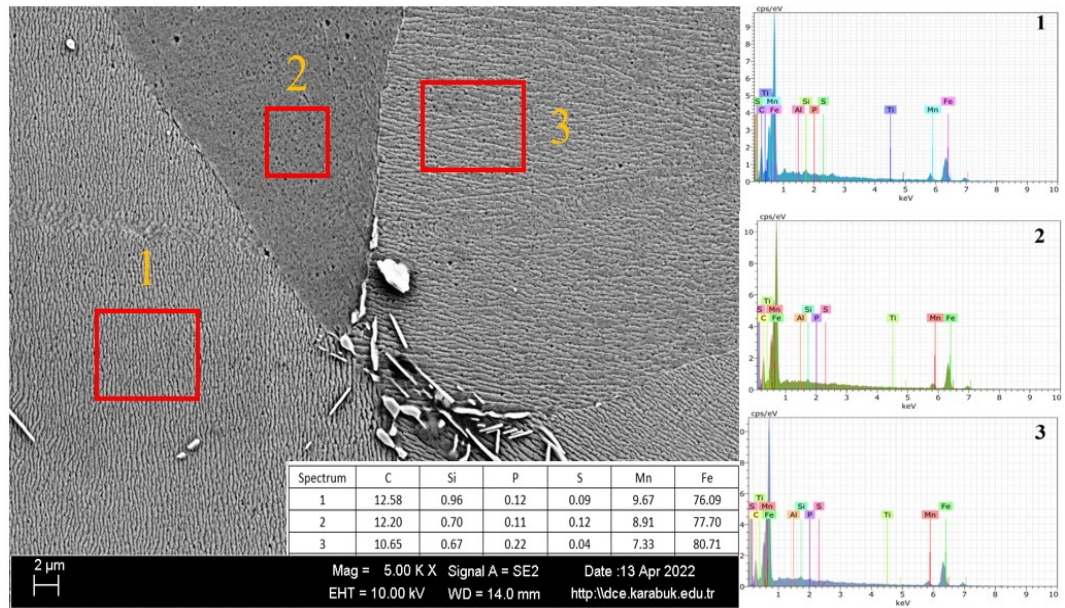
Şekil 5.7. Yağda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.

Şekil 5.8’ de ise fazların ve tane sınırlarındaki karbürlerin SEM incelemeleri yapılmıştır. Şekil 5.9’ da EDX alınan bölgerin görselleri, grafikleri ve elementlerin %

lik değerleri görülmektedir. Yukarıdaki şekil 5.7' de görüldüğü üzere tane boyutundaki homojenlik dikkat çekmektedir. Östenit tane sınırlarında x1000 büyütmede görüldüğü üzere karbürlerin tane sınırlarında parçalanıp sürekliliği ortadan kalkmıştır. Östenit faz içerisindeki karbürlerin boyutsal olarak küçük, hava ve suda yapılan ısıt işlemlere göre daha da az olduğu görülmektedir.



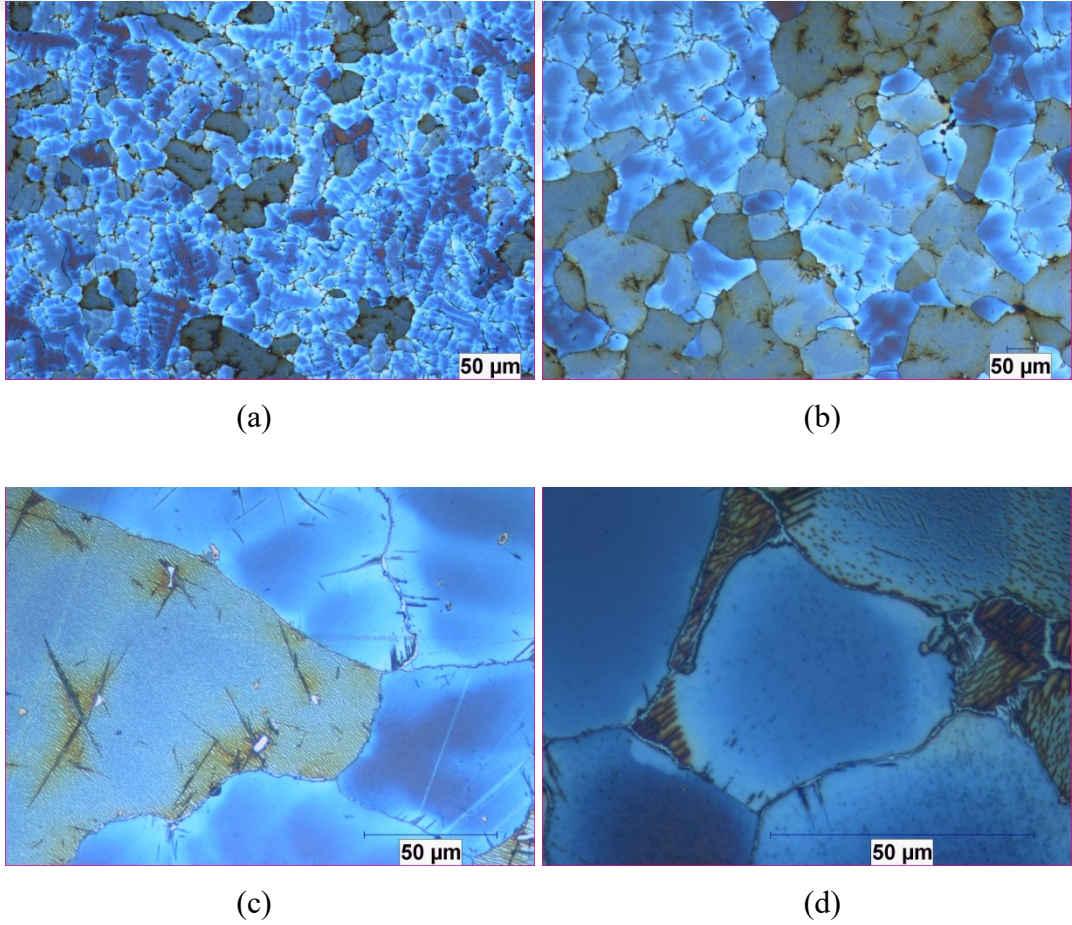
Şekil 5.8. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıt işleminin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.9. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıt işleminin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.

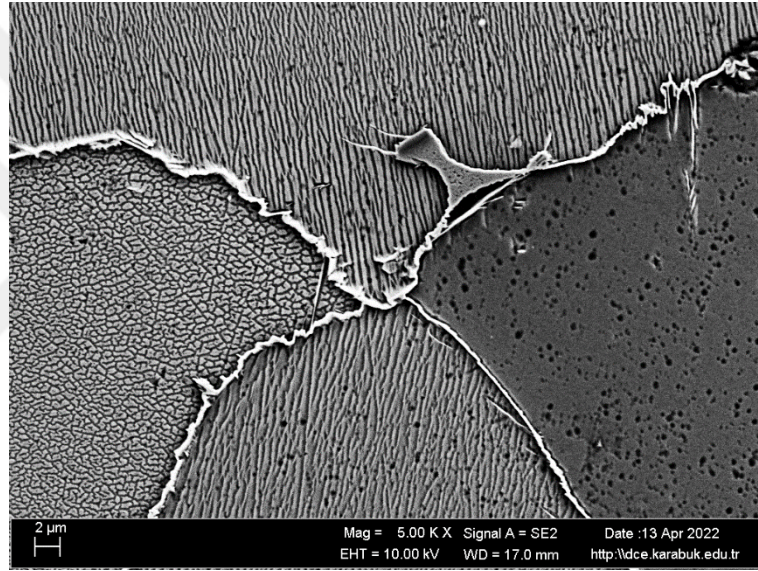
5.2.4. Kokil Kalıba Döküm Isıl işlemsiz Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kokil kalıba döküm sonrası numuneler ısıtıl işlem yapılmadan soğumaya bırakılmıştır. Açık havada soğuyan numunelerin kum kalıpta havada soğuyan numuneler ile benzer özellikler gösterdiği görülmektedir. Ancak kokil kalıpta ısıtıl işlem uygulanmamış numune, kum kalıpta ısıtıl işlem uygulanmamış numuneye göre daha küçük tane yapısı oluşturması görülmüştür. Bunun sebebi ise aynı ocaktan döküm yapılmış olmasına rağmen kum kalıbın kokil kalıba göre daha yavaş soğumasıdır. Buradaki katılaşma hızlarının farklı olmasının sonuçları malzemenin tüm özelliklerine yansımaktadır.

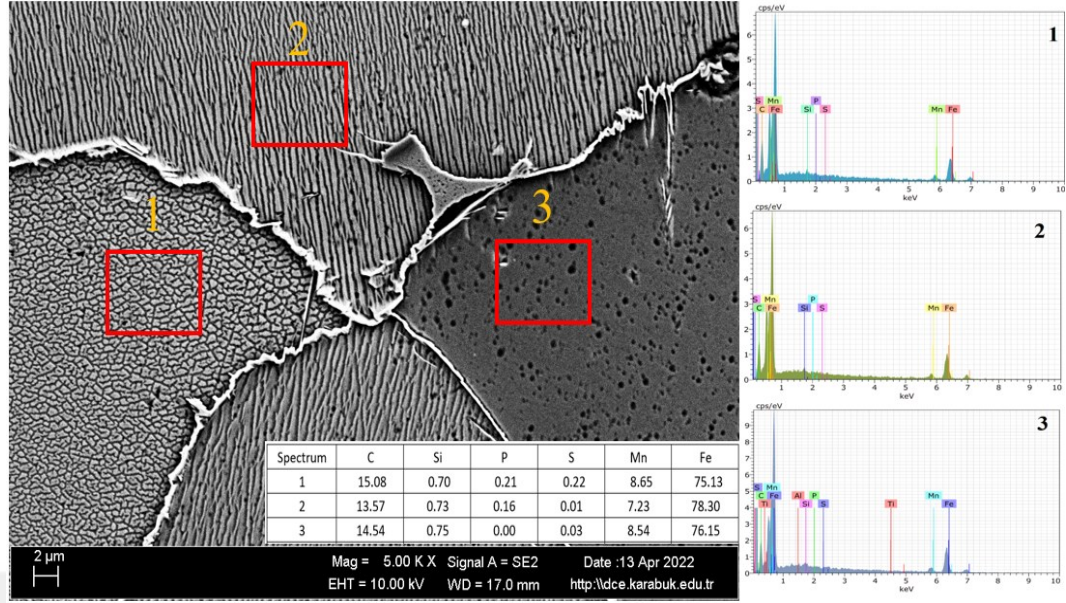


Şekil 5.10. Isıl işlem uygulanmayan numunelerin mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.

Numuneler parlatma ve daşlama işlemi sonrasında x50, x100, x500, x1000 büyütme ile görüntüler alınmıştır. Isıl işlem sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri şekil 5.10 'da verilmiştir. şekil 5.11' de ise fazların ve tane sınırlarındaki karbür yapılarının SEM incelemeleri bulunmaktadır. şekil 5.12' de EDX alınan bölgerin görselleri, grafikleri ve elementlerin % lik değerleri görülmektedir. şekil 5.10' da görüldüğü üzere x50 büyütmedeki östenit fazının homojenliği ve tane boyutlarındaki küçülmeler görülmektedir. Tane sınırları içerisindeki karb rlar neredeyse tamamen kaybolmuştur. Tane sınırlarındaki karb rlar ise kum kalıpta havada soğuma ısıl işlemine göre oldukça ince olduğu görülmektedir.



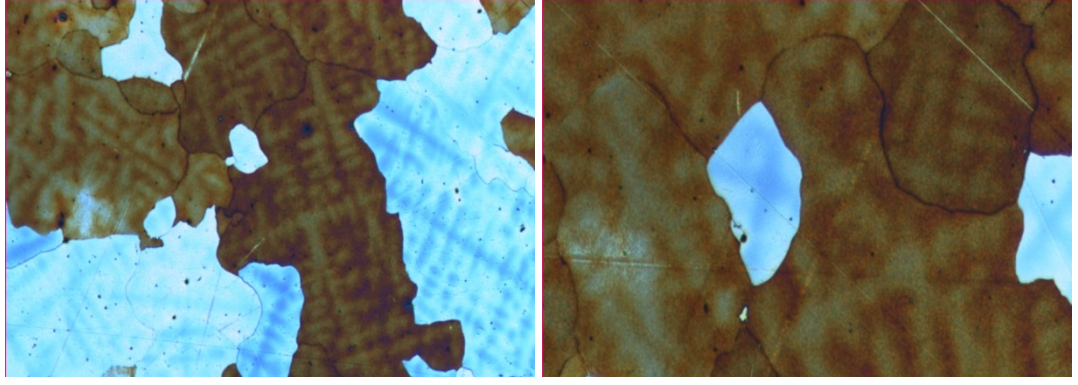
şekil 5.11. Kokil kalıba döküm ısıl işlemsiz numunelerin 5KX büyütmedeki SEM görüntüsü.



Şekil 5.12. Kokil kalıba döküm ısıt işlemsiz numunelerin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.

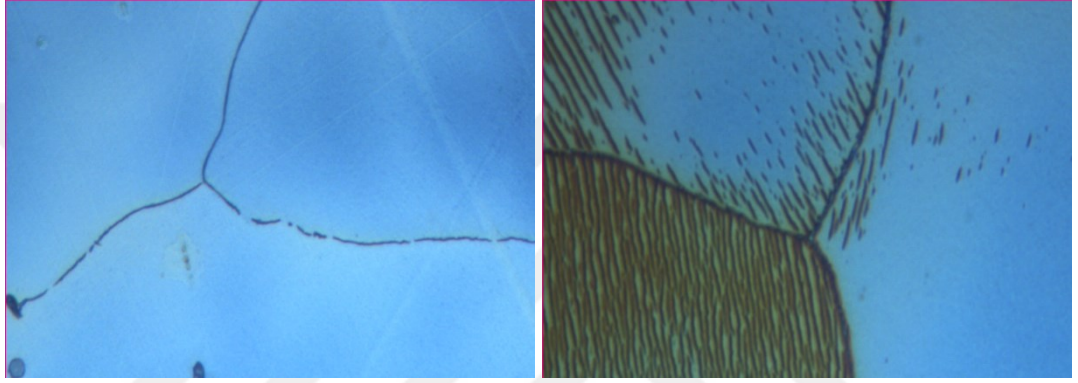
5.2.5 Kokil Kalıba Döküm Suda Soğuma Isıl İşlemlili Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Kokil kalıba döküm sonrası numuneler 1100°C de 1 saat bekletilmiş ve suda soğutulmuştur. Bu numuneler de kum kalıba döküm suda soğuma ısıt işlemliliyle aynı yöntemle üretilmiştir. Ancak bu numuneler kokil kalıba dökümden yapıldığı için tane yapılarının kum kalıba döküm suda soğuma ısıt işlemine göre daha küçük daha homojen olduğu görülmektedir. Tane sınırlarındaki karbür yapılarının daha küçük ve kısa olması ve tane sınırları içerisindeki karbürlerin daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler parlatma ve dağlama işlemi sonrasında x50, x100, x500, x1000 büyütme ile görüntüler alınmıştır. Isıl işlem sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri şekil 5.13’ de verilmiştir. Şekil 5.14’ te ise fazların ve tane sınırlarındaki karbür yapılarının SEM incelemeleri bulunmaktadır. Şekil 5.15’ te EDX alınan bölgelerin görselleri, grafikleri ve elementlerin % lik değerleri görülmektedir.



(a)

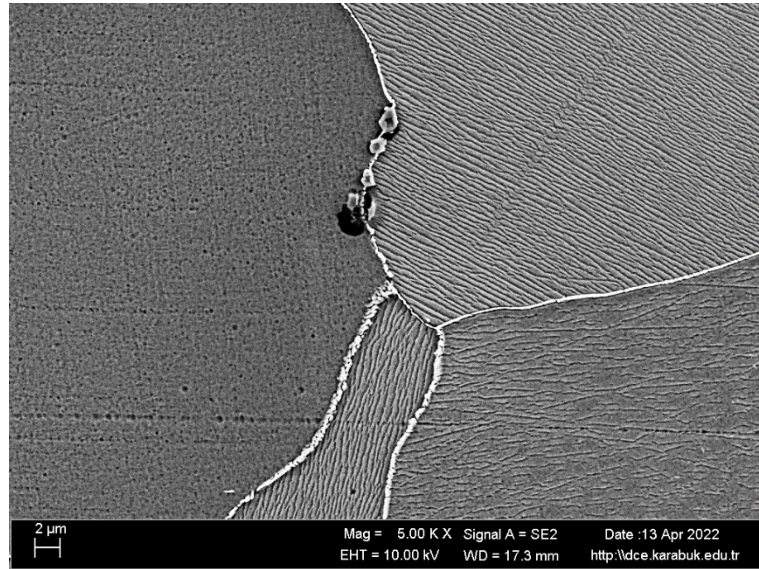
(b)



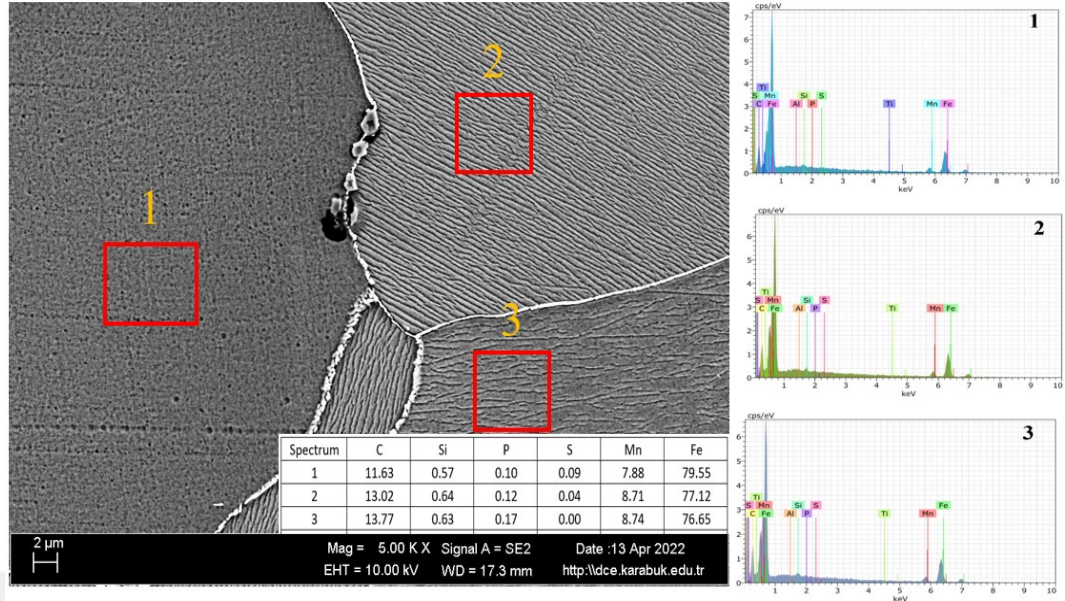
(c)

(d)

Şekil 5.13. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.



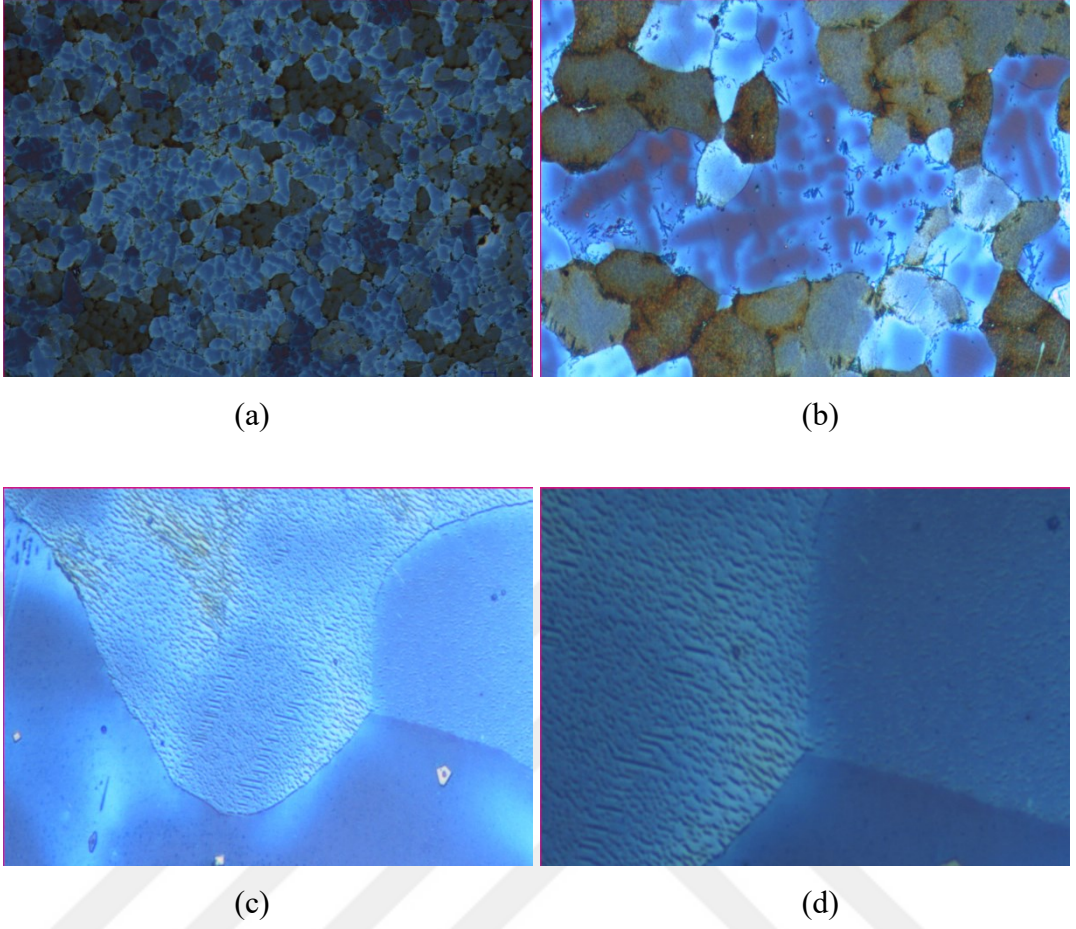
Şekil 5.14. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunelerin 5kx büyütmedeki sem görüntüsü.



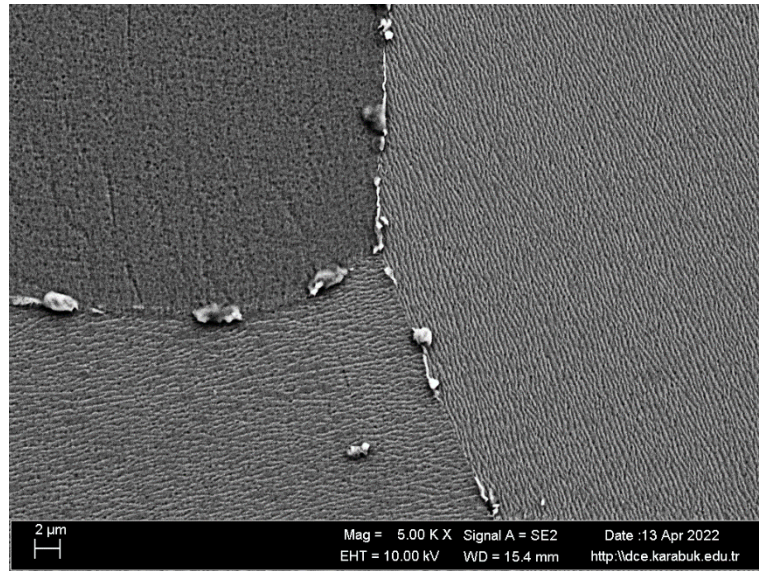
Şekil 5.15. Kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemli numunenin EDX alınan bölgelerin görüntüsü ve numunenin EDX analizleri.

5.2.6. Kokil Kalıba Döküm Yağda Soğuma Isıl İşlemli Numunelerin Mikroyapı, SEM ve EDX Sonuçları ve Değerlendirilmesi

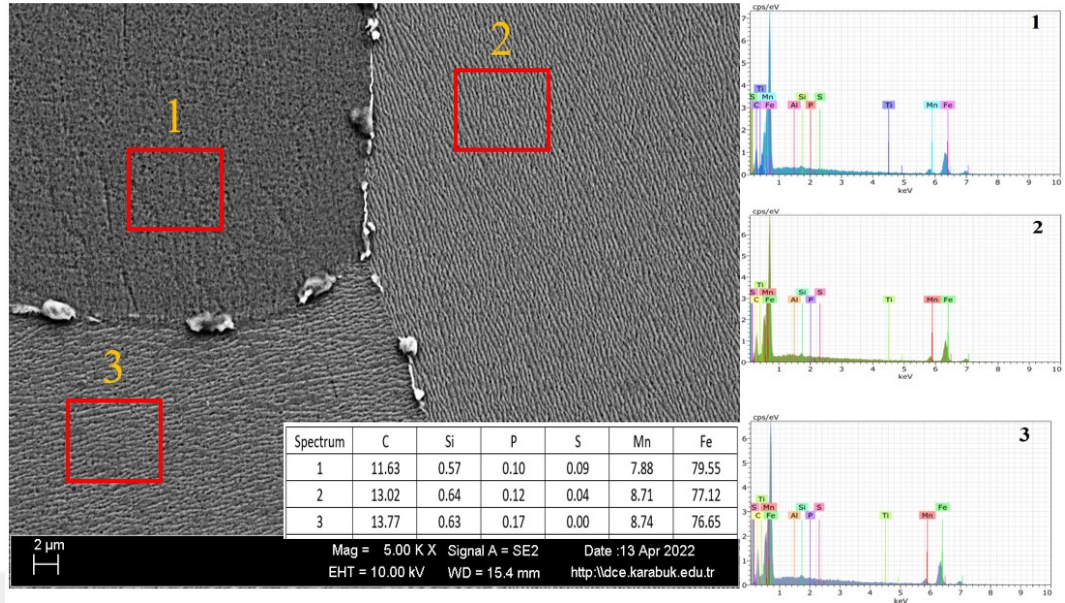
Kokil kalıba döküm sonrası numuneler 1100°C’ de 1 saat bekletilmiş ve yağda soğutulmuştur. Bu numuneler de kum kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemiyle aynı yöntemle yapılmıştır. Numuneler parlatma ve dağlama işlemi sonrasında x50, x100, x500, x1000 büyütme ile görüntüler alınmıştır. Isıl işlem sonrası oluşan mikroyapı görüntüleri şekil 5.16’ da verilmiştir. Şekil 5.17’ de ise fazların ve tane sınırlarındaki karbür yapılarının SEM incelemeleri bulunmaktadır. Şekil 5.18’ de EDX alınan bölgelerin görselleri, grafikleri ve elementlerin % lik değerleri görülmektedir.



Şekil 5.16. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlem sonrası mikro yapı görüntüleri: (a) x50 büyütme, (b) x100 büyütme, (c) x500 büyütme, (d) x1000 büyütme.



Şekil 5.17. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemlili numunelerin 5kx büyütmedeki sem görüntüsü.

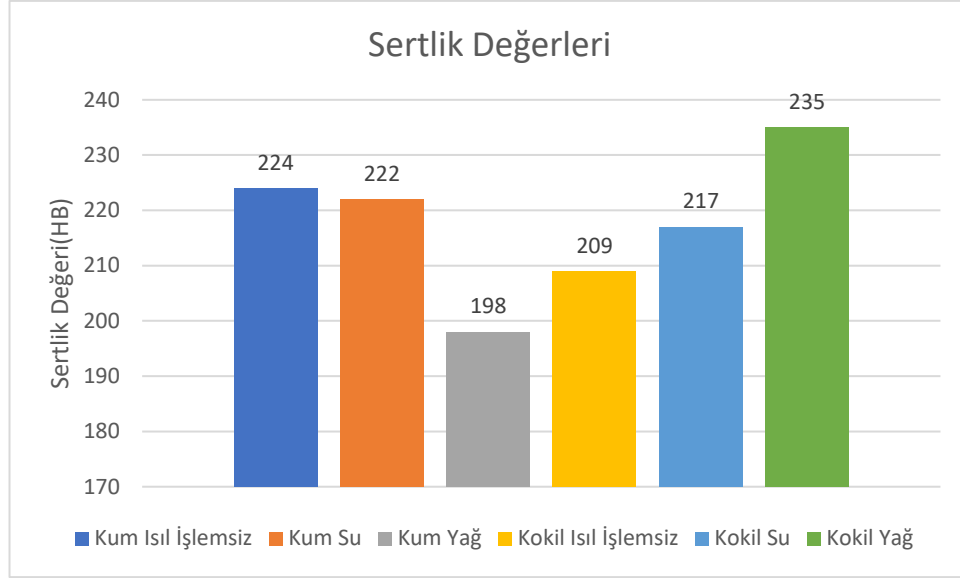


Şekil 5.18. Kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemi numunenin EDX alınan bölgelerinin görüntüsü ve numunelerin EDX analizleri.

5.3. MEKANİK TEST SONUÇLARI

5.3.1. Sertlik Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Brinell sertlik ölçümleri, 5 mm çapa sahip çelik bilye ile 850 gr yükün 10 saniye boyunca uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her numune için 3'er ölçüm yapılmış ve bu 3 ölçümün de ortalaması temel alınmıştır. Şekil 5.19' da sertlik ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Ölçüm sonuçları 198/235 Brinell arasında değişkenlik göstermiştir. Çekme değerleri ile doğrusallık göstermemesinin sebebi tane sınırlarındaki kabür yapılarıdır. Mikroyapı sonuçlarına ve SEM görüntülerini inceleyecek olursak; tane sınırında karbür yığılması olan numunelerin çekme değerleri, tane içine dağıtılmış karbürli numunelerin çekme değerlerinden düşüktür. Bunun nedeni tane sınırlarındaki karbürlerin, malzemenin genelinde süreksizlik oluşturmasından kaynaklanmasıdır. Tane içine dağıtılmış olan karbürler ise östenit fazının aşınmaya karşı olan direncini ve östenit fazının sertliğini artırır. Bir malzemede tane sınırından kırılma, tane içi kırılmaya göre daha az yük gerektirir.



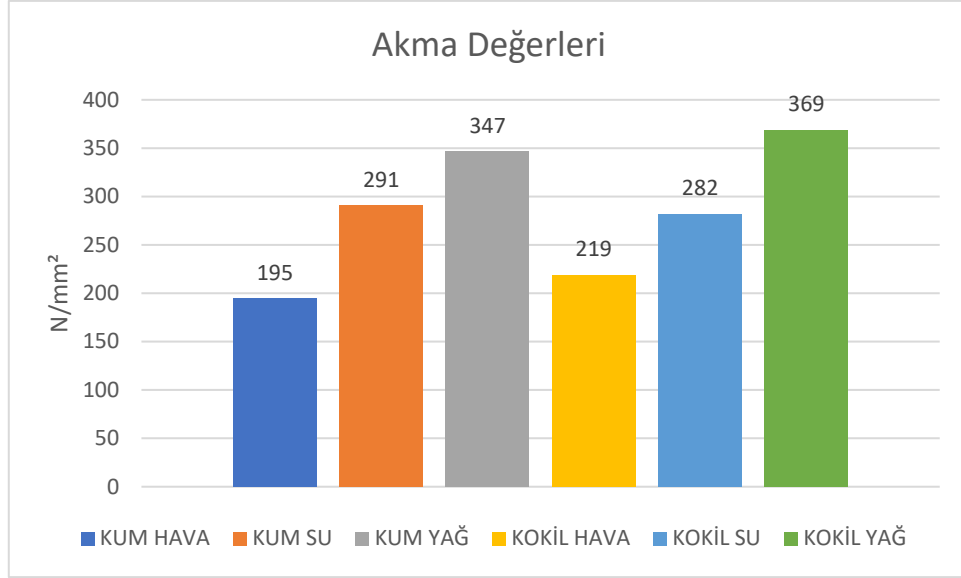
Şekil 5. 19. Numunelerin sertlik değerlerinin tablo olarak gösterimi

5.3.2. Çekme ve Çentik Deneyi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu testin yapılma amacı farklı döküm yöntemleriyle ve farklı ısı işlemler uygulanarak üretilmiş olan numuneler arasında statik yükler altında davranışlarını karşılaştırmaktır. Testler oda sıcaklığında yapılmıştır. Bu değerler aşağıda çizelge 5.3' da gösterilmiştir.

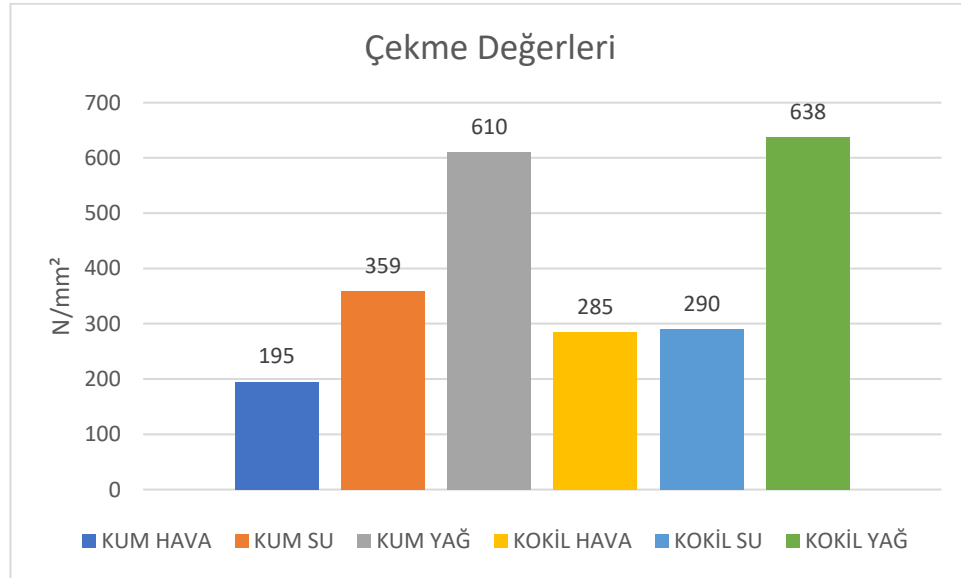
Çizelge 5.2. Numunelerin mekanik değerleri

	Kum ısı işlemsiz	Kum su	Kum yağ	Kokil ısı işlemsiz	Kokil su	Kokil yağ
Akma değeri	195	291	347	219	282	369
Çekme değeri	195	359	610	285	290	638
Uzama değeri	7,57	12,29	17,71	3,57	5,00	17,86



Şekil 5.20. Numunelerin akma değerlerinin grafik olarak gösterimi.

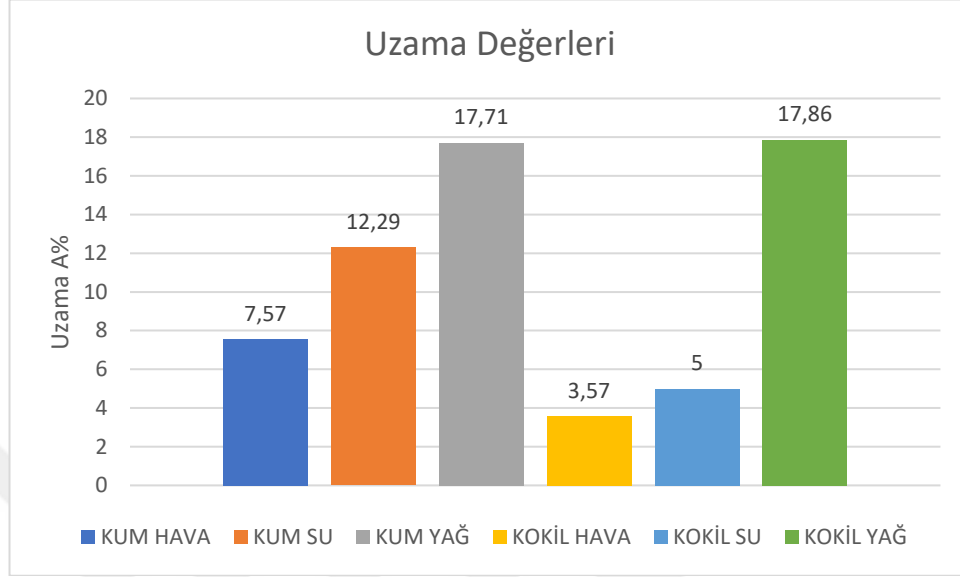
Bu çalışmada kullanılan malzemelerin plastik deformasyona uğramadan en fazla dayanabileceği gerilimler çizelge 5.2’ de ve şekil 5.20’ de verilmiştir. Şekil 5.20’ deki grafiğe göre akma değeri en fazla olan kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıl işlemlili numune, akma değeri en az olan numune kum kalıba döküm ısıl işlemsiz numunedir.



Şekil 5.21. Numunelerin çekme değerlerinin grafik olarak gösterimi.

Bu çalışmada kullanılan numunelerin çekme değerleri çizelge 5.2’ de ve şekil 5.21’ de verilmiştir. Şekil 5.21’ deki grafiğe göre çekme değeri en az olan numune kum kalıba

döküm ısıt işlemler uygulanmayan numune, çekme değeri en fazla olan numune ise kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıt işlemlerli numunedir.



Şekil 5.22. Numunelerin uzama değerlerinin grafik olarak gösterimi.

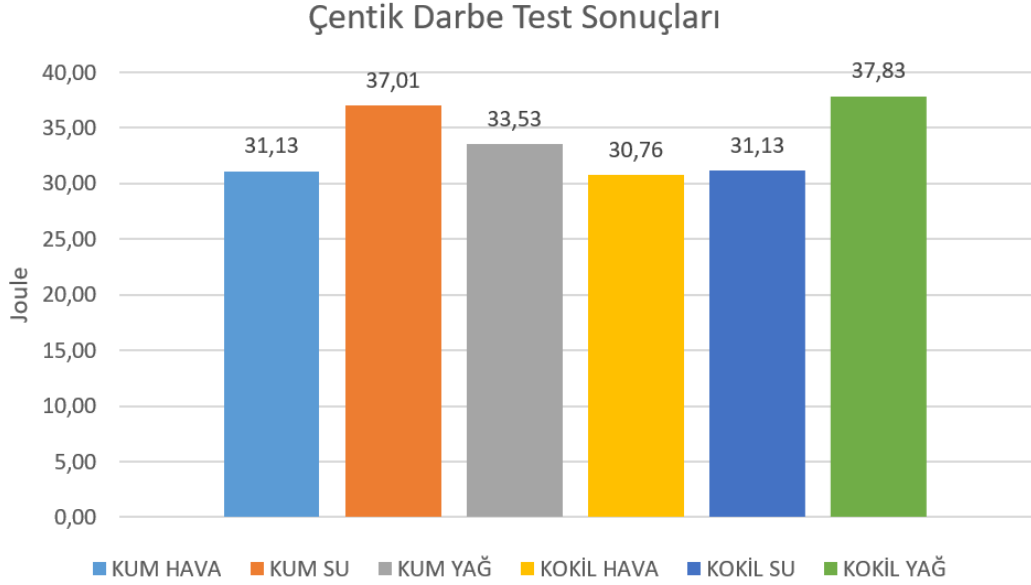
Bu çalışmada kullanılan numunelerin uzama değerleri çizelge 5.2’ de ve şekil 5.22’ de verilmiştir. Şekil 5.22’ deki grafik incelendiği zaman; uzama değeri en az olan numune kokil kalıba dökülmüş ısıt işlemler uygulanmamış numune, uzama değeri en fazla olan numune kokil kalıba dökülmüş yağda soğuma ısıt işlemlerli numunedir.

Çizelge 5.3. Numunelerin çentik-darbe test sonuçları (Joule).

	Kum ısıt işlemsiz	Kum su	Kum yağ	Kokil ısıt işlemsiz	Kokil su	Kokil yağ
1. ölçüm	26,24	32,64	33,05	27,71	26,41	40,95
2. ölçüm	35,94	37,55	34,73	26,39	35,35	33,15
3. ölçüm	31,20	40,85	32,81	38,18	31,63	39,38
ortalama	31,13	37,01	33,53	30,76	31,13	37,83

Bu testin yapılma amacı farklı döküm yöntemleriyle üretilmiş olan numuneler arasında karşılaştırma yapmak ve aynı zamanda aynı dökümden üretilmiş farklı ısıt işlemler uygulanmış olan malzemelerin çentik darbe enerji değerlerinin karşılaştırılmasını

yapmak amacıyla yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında yapılmıştır. Değerler çizelge 5.3' te ve şekil 5.23' te gösterilmiştir.



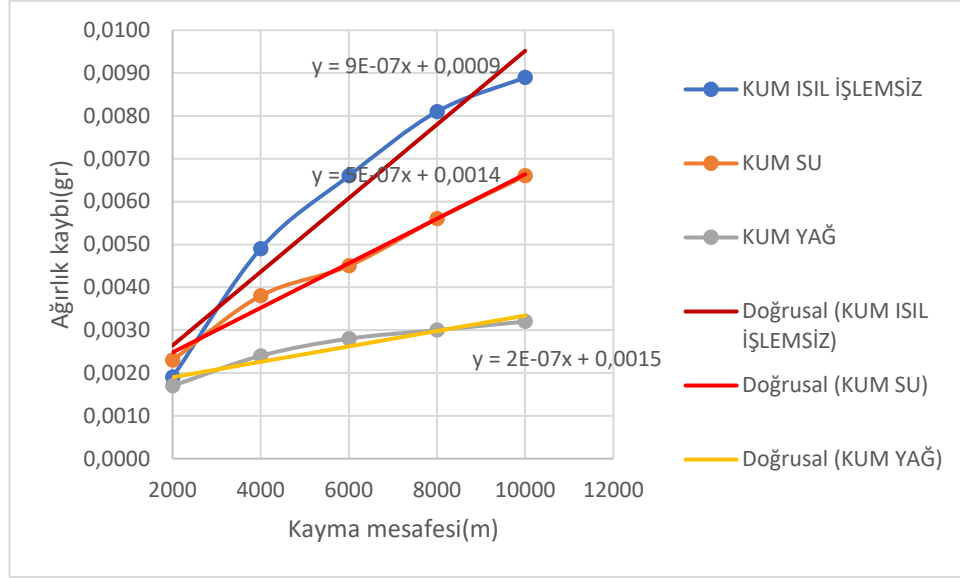
Şekil 5.23. Çentik-darbe test sonuçları.

Şekil 5.23' teki değerler incelendiğinde çentik-darbe değeri en fazla olan kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemli numune, en az olan kokil kalıba döküm ısıtma işlem uygulanmayan numunedir.

5.4. AŞINMA TESTLERİ VE AŞINMA SONRASI SEM SONUÇLARI

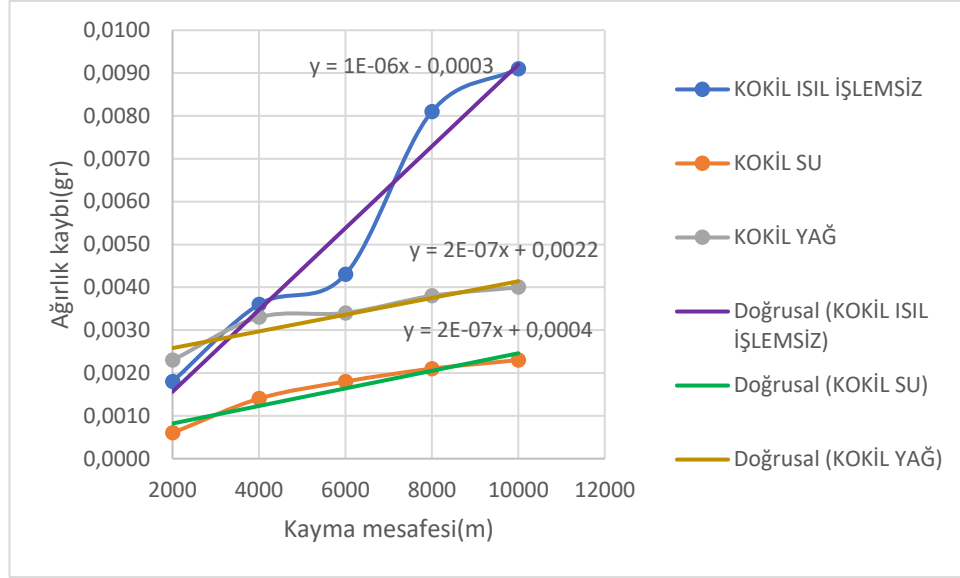
20N yük altında 1m/sn hızla 2000, 4000, 6000, 8000, 10000 metre kayma mesafelerinde testler gerçekleştirilmiştir. Ağırlık ölçümleri için Precisa marka XB 220A SCS model 0,1 mg hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır. Aşındırma milinin sertliği 58-62 HRC olarak ölçülmüştür.

Aşınma testleri döküm yöntemlerine göre iki farklı grupta; kum kalıba döküm ve kokil kalıba döküm olmak üzere değerlendirilmiştir. Aşınma testleri ısıtma işlem yöntemlerine göre de üç farklı grupta; ısıtma işlem uygulanmadan, suda soğuma ve yağda soğuma olmak üzere değerlendirilmiştir. Bu parametrelerin hepsi ortak olarak tek bir grafikte toparlanmıştır.



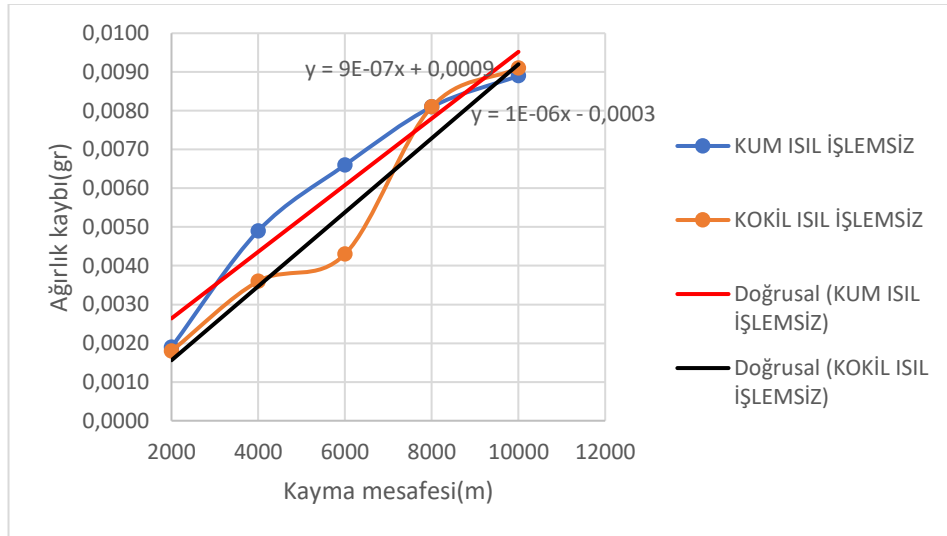
Şekil 5.24. Kum kalıba döküm numunelerinin aşınma grafikleri.

Şekil 5.24' teki grafik incelendiği zaman kum kalıba dökülmüş olan numunelerin aşınma değerlerini karşılaştıracak olursak ısıtıl işlem uygulanmayan numunenin en fazla aşınan numune olmuştur. Yağda ısıtıl işlem uygulanan numune ise en az aşınan numune olmuştur. Bu aşınmada en önemli faktörlerden biri ısıtıl işlem uygulanmayan numunede mikroyapıda gözlemlenen tane yapısı düzensizliği, tane yapısı büyüklüğü ve östenit fazları tane sınırlarındaki arasındaki karbür yapısıdır. Bu karbür yapı yağda yapılan ısıtıl işlemdeki mikroyapısı incelendiğinde tane sınırları arasındaki karbür yapısının incelendiğini, tane sınırlarının koptuğu görülmüştür. Burada tane sınırında karbür olarak bulunan Fe-Mn fazının ısıtıl işlemin etkisiyle östenit fazının içerisine dağılmıştır. Bu da aşınmaya karşı olan direnci olumlu yönde etkilemiştir.



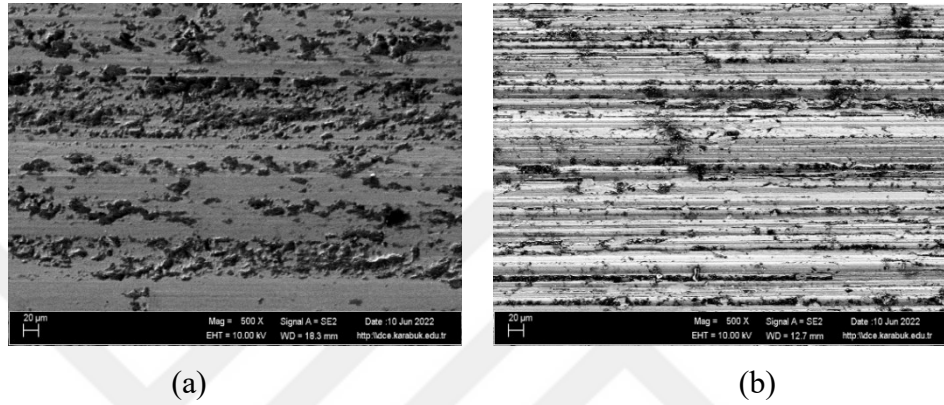
Şekil 5.25. Kokil kalıba döküm numunelerinin aşınma grafikleri.

Şekil 5.25' teki grafik incelendiği zaman kokil kalıba dökülmüş olan numunelerin aşınma değerleri karşılaştırılacak olursak ısıtıl işlem uygulanmayan numunenin en az aşındığı görülmüştür. En az aşınan numune ise su verme ısıtıl işlemi uygulanan numune olmuştur. Isıtıl işlem uygulanmayan numunenin en az aşınması kum kalıba dökümdeki ile aynı nedenden kaynaklanmıştır. Suda yapılan ısıtıl işlemin en az aşınmasının sebebi; tane sınırlarındaki karbür yapı yağdakine göre daha az östenit fazı içerisinde dağıtılmıştır. Ancak östenit fazı içerisinde nokta halinde bulunan karbür yapıyı bozamamış bu sebepten suda yapılan ısıtıl işlemli numune daha az aşınmıştır.

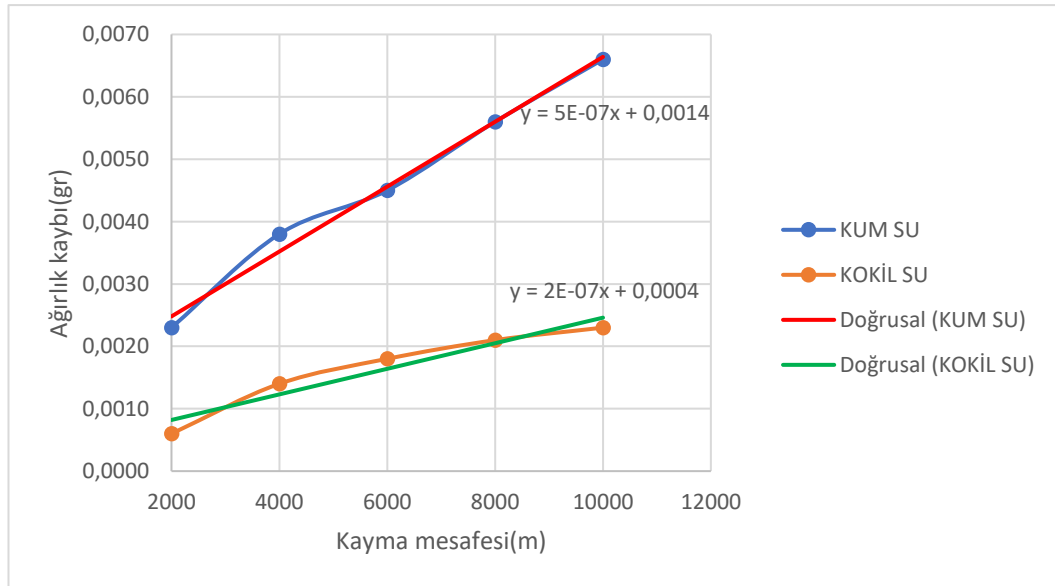


Şekil 5.26. Isıtıl işlem uygulanmayan numunelerin aşınma grafikleri.

Şekil 5.26’ daki grafik incelendiği zaman Isıl işlem uygulanmayan numuneler birbirlerine yakın oranda aşınma göstermiştir. Kum kalıba dökülmüş olan daha fazla, kokil kalıba dökülmüş olan ise daha az aşınmıştır. Aynı potadan dökülmüş olsalar dahi kokil kalıp ve kum kalıp içerisinde farklı soğuma hızları ile oluşan mikroyapıdaki tane boyutu farklılıkları ve tane sınırları arasındaki Fe_3Mn karbürlerinin boyutlarından kaynaklanmaktadır. Şekil5.27’da aşınma sonrası SEM görüntüleri mevcuttur.



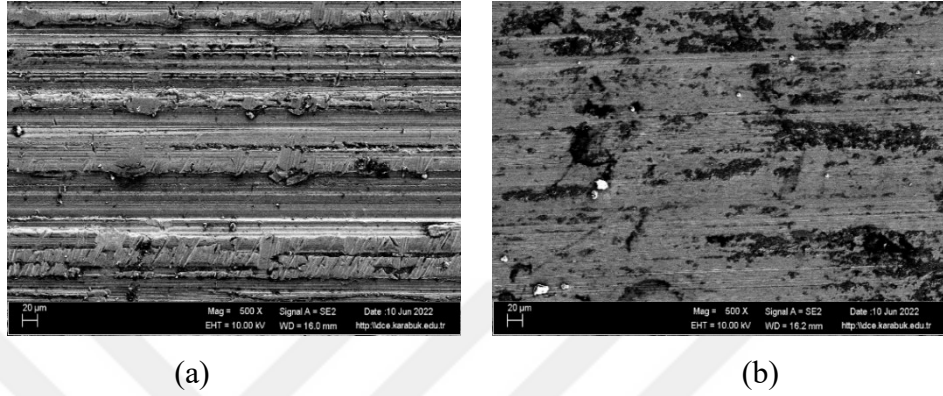
Şekil 5.27. Kum kalıba döküm ısıl işlemsiz numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm ısıl işlemsiz numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).



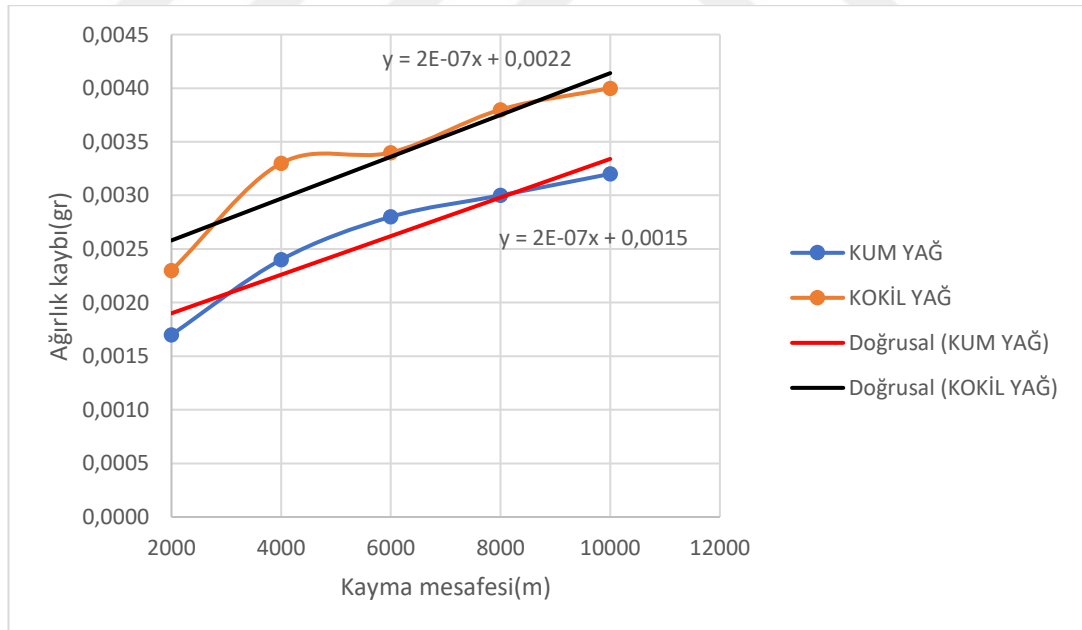
Şekil 5.28. Suda soğuma ısıl işlemi uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.

Şekil 5.28’ deki grafik incelendiği zaman kum kalıba döküm daha fazla, kokil kalıba döküm daha az aşınmıştır. Isıl işlem uygulanmayan numunelerinde de kum kalıptan

dökülen numuneler daha fazla aşınmıştır. Nedenleri aynıdır. Farklı soğuma hızları ile oluşan mikro yapıdaki tane boyutu farklılıkları ve tane sınırları arasındaki Fe_3Mn karbürlerinin boyutlarından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.29’ de aşınma sonrası SEM görüntüleri mevcuttur.



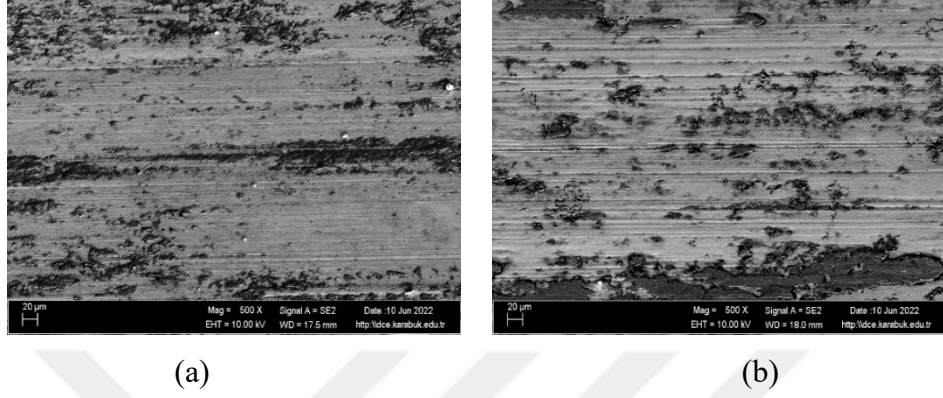
Şekil 5.29. Kum kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm suda soğuma ısıl işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).



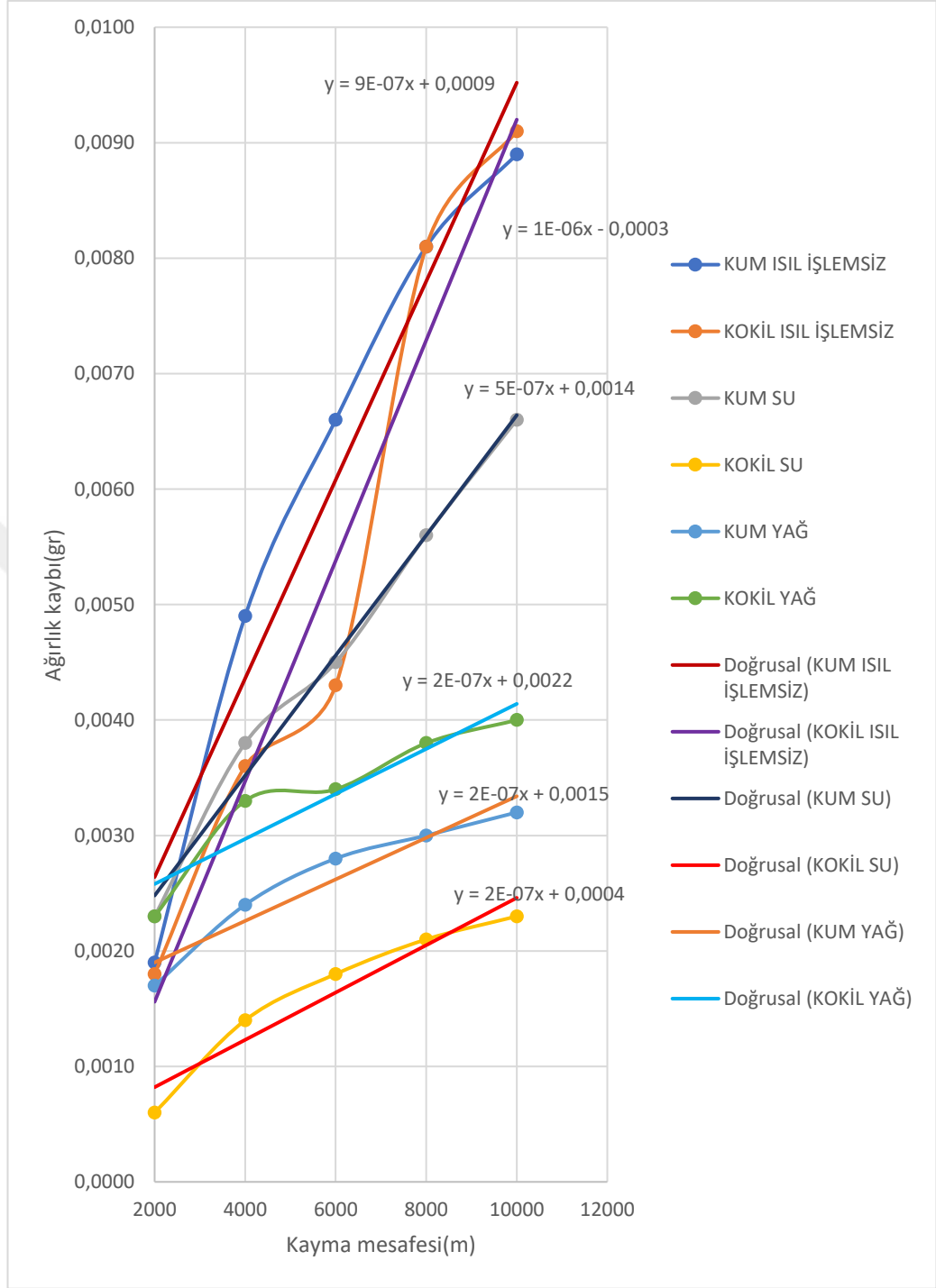
Şekil 5.30. Yağda soğuma ısıl işlemi uygulanan numunelerin aşınma grafikleri.

Şekil 5.30’ daki yağda soğuma ısıl işlemi uygulanan numunelerde ise aşınma grafikleri birbirlerine çok yakın olarak sonuçlanmıştır. Ancak aşınma denklemi incelendiğinde kokil kalıba döküm numunesinde 0,0022 gram kalmışken kum kalıba döküm

numunesinde 0,0015 gram kalmıştır. Kum kalıba döküm numunesinin daha fazla kokil kalıba döküm numunesinin daha az aşındığı görülmüştür. Şekil 5.31’de aşınma sonrası SEM görüntüleri mevcuttur.



Şekil 5.31. Kum kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (a), kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin aşınma sonrası SEM görüntüsü (b).



Şekil 5.32. Tüm numunelerin gösterildiği aşınma grafiği

Tüm numuneleri şekil 5.32'deki grafikte gösterilmiştir. Tek bir grafikte inceleyecek olursak; kum kalıba dökülmüş olan ısıtılmış numune en fazla, kokil kalıba dökülmüş yağda soğuma ısıtılmış işlemi en az aşınan numune olmuştur.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada numune için kokil kalıp tasarımı yapıldı. Ahşaptan model yapılarak kum kalıp ve GG20 malzemeden kokil kalıp yapıldı. Bu kalıplara üç adet kum üç adet kokil kalıptan olmak üzere X120Mn12 çeliğinin kimyasal analizine uygun olarak döküm yapılmıştır. Kalıptan çıkartılan numuneler uygulanacak test ve deneyler için standartlarına olarak kesilmiştir. Bu numunelere kum kalıp ve kokil kalıptan birer adet numunesine ısıtıl işlem uygulanmamış, diğer numunelere ise fırın içerisinde 1100°C’ de 1 saat bekletilerek ısıtıl işlem uygulanmıştır. Isıtıl işlem uygulanan numunelerden kum kalıptan ve kokil kalıptan döküm numunelerinin birer adedine suda soğutma işlemi uygulanmıştır. Kum kalıptan ve kokil kalıptan döküm numunelerinin birer adedine ise yağda soğutma işlemi uygulanmıştır. Bu numunelere akma, çekme, çentik-darbe, sertlik, aşınma, SEM incelemesi, aşınma sonrası SEM incelemesi, mikro yapı incelemesi, EDX analizleri ve XRD incelemeleri yapılmıştır. Yapılan test ve deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Şekil 5.20’ deki grafiğe göre akma değeri en fazla olan kokil kalıba döküm yağda soğutma ısıtıl işlemli numune, akma değeri en az olan numune kum kalıba döküm ısıtıl işlemsiz numunedir. Akma değeri plastik deformasyonun başladığı nokta olduğu için akma noktası en yüksek olan numune en az aşınmış ve akma değeri en düşük olan numune en fazla aşınmıştır.
2. Şekil 5.21’ deki grafiğe göre çekme değeri en az olan numune kum kalıba döküm ısıtıl işlem uygulanmayan numune, çekme değeri en fazla olan numune ise kokil kalıba döküm yağda soğutma ısıtıl işlemli numunedir. Çekme değeri maruz kaldığı maksimum stresi temsil ettiği için çekme değeri en fazla olan numune en fazla yüke, çekme değeri en az olan numune en az yüke dayanabilecek olan malzemeyi temsil eder.

3. Şekil 5.22’ deki grafik incelendiği zaman; uzama değeri en fazla olan numune kokil kalıba dökülmüş yağda soğuma ısıtma işlemli numunedir. Buna bağlı olarak akma oranlarına bakıldığı zaman akma değeri en yüksek olan numune kokil kalıba dökülmüş yağda soğutma ısıtma işlemi uygulanmış olan numunedir.
4. Şekil 5.23’ teki değerler incelendiğinde çentik-darbe değeri en fazla olan kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemli numune, en az olan kokil kalıba döküm ısıtma işlem uygulanmayan numunedir. Darbelere karşı en dayanıklı olan numune kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanmış numunedir.
5. Mikro yapı sonuçlarına bakacak olursak tane sınırlarında ve östenit fazı içerisindeki karbürler fazla olan, tane boyutu düzensizliği fazla olan numune kum kalıba döküm ısıtma işlem uygulanmayan numunedir. Tane sınırlarındaki karbürler incelmış ve kopmuş, tane boyutu düzenli olan numune kokil kalıba dökülmüş yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanmış numunedir. Bu karbürler ve tane boyutu homojenliği aşınmayı doğrudan etkilemiş ve en az aşınan numune kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numune olmuştur.
6. Sertlik değerleri incelendiği zaman belirgin farklılık görülmemiştir. Bunun sebebi tane sınırlarında ve östenit fazı içerisinde oluşan karbürlerdir. Bu karbürler küresel olarak homojen dağılmıştır. Yaklaşık olarak aynı sertlik değeri görmemize sebep olmaktadır.
7. SEM görüntüleri incelendiğinde kokil kalıba döküm yağda soğuma ısıtma işlemi uygulanan numunenin tane sınırlarındaki karbürlerin incelendiği, koptuğu bu karbürlerin östenit tane içerisine homojen olarak dağıldığı görülmüştür. Bu etki akma ve çekme değerinin en yüksek, aşınmanın en az olmasına doğrudan etki etmiştir.
8. X120Mn12 malzemesinin aşınmaya karşı göstermiş olduğu direnç oldukça yüksektir. Bu malzemenin östenitik manganlı çelikler için kabul edilebilir mekanik ve mikro yapısal özellikler taşıdığı görülmüştür. Aşınmanın yüksek olduğu yerlerde üretilip kullanılabilir.

İlerideki çalışmalar için öneriler aşağıda sunulmuştur.

1. Standartlarda belirtilen sınırdaki Cr miktarı artırılarak mekanik değerler iyileştirilip kıyaslanabilir.
2. Yüzey sertleştirme ısı işlemleri uygulanarak aşınma direnci ve sertlik değerleri karşılaştırılabilir.
3. Aynı kimyasal analiz ile haddelenme sonrası aynı testleri yaparak karşılaştırılabilir.
4. Aynı kimyasal analiz kullanılarak farklı aşınma tiplerine göre gösterdiği aşınma dirençleri karşılaştırılabilir.
5. Aynı kimyasal analiz kullanılarak darbe ile sertleştirilip aynı testleri yaparak karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gürol, Uğur., “Döküm proses parametrelerinin yüksek manganlı östenitik çeliklerin özelliklerine etkisinin incelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, 1, (2020).
2. Aydın, Ersel., “Isıl işlem parametrelerinin bor katkılı östenitik çelik üzerine etkisi” , *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 23, (2011).
3. Karagöz, Ş., “Çeliklerin Fiziksel Metalurjisi”, *KOÜ Yayın No: 108*, 1.1, (1998).
4. Mahlami, C. S. Pan, X., “An overview on high manganese steel casting”, *71th World Foundry Congress*, Palacio Euskalduna, Bilbao, (2014).
5. Bhero, S. W., Nyembe, B., Lentsoana, K., “Common failures of Hadfield steel in application”, *International Conference on Manufacturing, Material and Metallurgical Engineering, Johannesburg*, South Africa, 17-19, (2014).
6. Topbaş, M.A., “Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı”, *Prestij Yayıncılık*, İstanbul, 28-34, (1998).
7. Çıkıt, E., “Kırıcı ve öğütücülerde kullanılan demir esaslı malzemelerin yapı, mekanik özellikler ve aşınma davranışlarının incelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2, (2015).
8. Çetinkaya, C., “An investigation of the wear behaviors of white cast irons under different compositions”, *Materials & Design* 27, 437-445, (2006).
9. Ögel, B., Tan C., “Bir arka aks miline ait parçalarda görülen hasarın nedenleri, Araştırma Raporu”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı*, Ankara, (2012).
10. İnternet: İstanbul Teknik Üniversitesi “İmal Usülleri Ders Notları”, <https://web.itu.edu.tr/gulmezt/IMAL%20USULLERI.html>, (2009).
11. Chang, S. L., “Hadfield manganese steel melting practices”, *The University of Arizona, Department of Metallurgical Engineering*, Master Thesis, (1974).
12. Farr,C., W., “Melting practice, heat treatment and properties of Hadfield manganese steel”, *Proceedings of Electric Furnace Conference*, Chicago, 157-173, (1963).

13. Nelson, R. L. Jr., “The melting and processing of austenitic manganese steel castings” *Steel Foundry Facts*, 6-8, (1968).
14. Rio, B., Diez, A. G., Buenhombre, J. M., Fabal, C. C., “Microstructural analysis and tribology behavior of a medium-Mn steel with Mo”, *Metals- Open Access Metallurgy Journal*, 1-10, (2018).
15. Niu, L., Xu, Y., Wu, H., “Microstructure and mechanical properties of high-Cr cast iron bars reinforced Hadfield steel matrix composites”, *Journal of Wuhan University of Technology Materials Science Edition*, 464-468, (2010).
16. Masoud, S., Sadegh, M.F., Saeid, M. D., “Effect of melting temperature on microstructural evolutions, behavior and corrosion morphology of Hadfield austenitic manganese steel in the casting process”, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 1431-1438, (2018).
17. Gorlenko, D., Vdovin, K., Feoktistov, N., “Mechanisms of cast structure and stressed state formation in Hadfield steel”, *China Foundry*, 13, 433- 442, (2016).
18. Liang, G. F., Song, C. J., “Eutectic decomposition in Ca-Si modified austenitic medium Mn steel after solidification”, *Materials Sciences*, 40, 2081-2084, (2005).
19. Sabzi, M., Farzam, M., “Hadfield manganese austenitic steel: A review of manufacturing processes and properties”, *Materials Research Express*, 6(10), 1- 15, (2019).
20. Kayadelen, A., “Yüksek manganlı östenitik çeliklerin aşınma davranışlarına vanadyum ve molibden element ilavesinin etkisinin incelenmesi”, *Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, Yüksek Lisans Tezi, (2018).
21. Turhan H., “Östenitik manganlı çeliğin aşınma davranışının araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, (2007).
22. Nejat S., “Yüksek manganlı östenitik çelikler ve kaynağı”, *Metal ve Kaynak Dergisi*, Sayı 66, Teknik makale, 36-41, (1995).
23. Maratray, F., “High Carbon Manganese Austenitic Steels”, *International Manganese Institute*, 1- 102, (1995).
24. Santos, N., Todorov, D., Cavalcanti, A., Fuoco, R., “Effect of carbide reprecipitation on the toughness of Hadfield austenitic manganese steels”, *AFS Transactions*, 117,397- 412, (2010).

25. Kuyucak, S., Zavadil, R., “Microstructure vs. impact toughness relationship in Hadfield's austenitic manganese steel”, *Microscopy and Microanalysis*, 1290-1295, (2002).
26. Cason, C., Laurea, T., “Studio sulla dinamica di precipitazione di carburi in un acciaio al manganese”, *Università Degli Studi Di Padova Dipartimento Di Ingegneria Industriale*, Tesi di Laurea, Italy (2013).
27. Kuyucak, S., Zavadil, R., Gertsman, V., “On the Heat-Treatment Processing of Austenitic Manganese Steels”, *Including Quenching and Control of Distortion: An International Symposium in Honor of Professors Bozidar Liscic and Hans M. Tensi: Proceedings of the 21st Conference*, 1-16, (2001).
28. Kuyucak, S., Zavadil, R., “On the heat treatment of Hadfield's austenitic manganese steels - Part II: metallographic studies”, *AFS Transaction*, 108, 126, (2000).
29. Eeghem, V. J., DeSy, A., “Side effects of cast steel deoxidation”, *AFS Transaction*, 72, 142-148, (1964).
30. Kuyucak, S., Gertsma e R. Zavadil, V. Y., “On the heat treatment of Hadfield's austenitic manganese steels: Part VIII: Studies on microcharacterization”, *AFS Transactions*, 1-10, (2004).
31. Ham, Y. S., Kim, J. K., Kwak, S. Y., Choi, J. K., Yoon, W. Y., “Critical cooling rate on carbide precipitation during quenching of austenitic manganese steel”. *China Foundry*, 7(2), 178-182, (2010).
32. Nurjaman, F., Bahfie, F., Astuti, W., Shofi, A., “The effect of solid solution treatment on the hardness and microstructure of 0.6%wt C-10.8%wt Mn-1.44%wt Cr austenitic manganese steel”, *2nd International Symposium on Frontier of Applied Physics, Jakarta, Indonesia*, 817, 1-7, (2017).
33. Subaşı, Y., “Döküm Yüksek Hız Çeliklerinde Mikroyapısal Karakterizasyon; Mikroyapı-Mekanik Özellikler İlişkisinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2006).
34. YILMAZ, A., “Niobium Alaşımlı Döküm Yüksek Hız Çeliklerinin Kesme Koşulları Altında Aşınma Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2006).
35. Thelning, K.E., “Steel and its Heat Treatment”, *Bofors Handbook*, 85- 556, (1987).
36. Totten, G.E., FASM, “Steel Heat Treatment Handbook” *Metallurgy and Technologies*, Second Edition, 166- 208, (2007).
37. Metal Handbook, “Specialty Steels and Heat-Resistant Alloys”, *ASM Handbook Committee*, Metal Park, Ohio, 822-840, (1983).

38. İnternet: Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, me.sakarya.edu.tr/sites/me.sakarya.edu.tr/file/makine_laboratuvari_2019.pdf, (2019).
39. H. Czichos, “Tribology-A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear”, *Elsevier Science*, Amsterdam, (1987).
40. Kara, İ. H. , “Nadir toprak elementi ilaveli sıcak haddelenmiş AZ31 magnezyum alaşımlarının mekanik, korozyon ve aşınma özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 6-11, (2019).
41. Peterson, R. , “STP446-EB Evaluation of Wear Testing”, *PA: ASTM International*, West Conshohocken, 10-20, (1969).
42. Stachowiak, G., and Batchelor, A. , “Engineering Tribology 4th Edition”, *B&H Publishing*, Waltham, 1-10, (1993).
43. Nguyen, Q., Sim, Y. , Gupta, M., and Lim, C. , “Tribology characteristics of magnesium alloy AZ31B and its composites”, *Tribology International*, 82: 464-471, (2015).
44. Ilanaganar, E., and Anbuselvan, S., “Wear mechanisms of AZ31B magnesium alloy during dry sliding condition”, *Materials Today: Proceedings*, 5: 628-635, (2018).
45. İnternet: Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_14_00_d2db2.pdf , (2022)
46. İnternet: Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı, <https://bumlab.bartin.edu.tr/laboratuvarlar/taramali-elektron-mikroskopu-laboratuvari.html> , (2022)
47. İnternet: Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, https://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/56499_1803161124559.pdf, (2022)

ÖZGEÇMİŞ

Berkan SARDOĞAN ilk ve orta öğretimini doğduğu ilçede tamamladı. Lise eğitimini Sadık Susamcıoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde öğrenimine başlayıp 2016 yılı temmuz ayında mezun oldu. 2016 ağustos ayında CSM NDT Servis ve Mühendislik Hizmetleri şirketinde tahribatsız muayene uzmanı olarak işe başladı. 2018 yılında askerlik hizmetini tammalamak için işten ayrıldı. 20. Zırhlı Tugay Komutanlığı 3. Hudut Alayında Tank Takım Komutanı olarak askerlik hizmetini tamamladı. Evli ve iki çocuk babasıdır. 2019 Mayıs ayında Kardökmak A.Ş. 'de Kalite Yönetim Mühendisi olarak işe başladı ve halen bu görevi yeine getirmektedir.