



**DEMİR ÇELİK ENTEGRE SİNER TESİSLERİ
PALET YAN DUVARLARINDA OLUŞAN
ÇATLAK HASARININ İNCELENMESİ**

Sevdenur BOSTANCI

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**DEMİR ÇELİK ENTEGRE SİNER TESİSLERİ PALET YAN
DUVARLARINDA OLUŞAN ÇATLAK HASARININ İNCELENMESİ**

Sevdenur BOSTANCI

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

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**KARABÜK
Ocak 2022**

Sevdenur BOSTANCI tarafından hazırlanan “DEMİR ÇELİK ENTEGRE SİNER TESİSLERİ PALET YAN DUVARLARINDA OLUŞAN ÇATLAK HASARININ İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilge DEMİR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/01/2022

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SAÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL (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.”

Sevdenur BOSTANCI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEMİR ÇELİK ENTEGRE SİNER TESİSLERİ PALET YAN DUVARLARINDA OLUŞAN ÇATLAK HASARININ İNCELENMESİ

Sevdenur BOSTANCI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Ocak 2022, 75 sayfa

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş Sinter Tesislerinde kullanılan AISI 4140 ve 17CrMo5.5 kalitesindeki palet duvarlarında meydana gelen çatlak hasarının incelenmesi ile hasar nedeniyle makinede oluşan verimsizliğin giderilebilirliği araştırılmıştır. Yan duvarların çatlaması, sinter üretimini etkileyen hava sızıntısı nedeniyle emiş kaybı dışında çatlamış bileşenlerin değiştirilmesinden dolayı büyük maliyetlere de neden olmaktadır. Bu kapsamda hasar oluşumunu minimuma indirecek alternatif malzemelerin belirlenmesi de öngörülmüştür. Mevcutta palet yan duvarları AISI 4140 ve 17CrMo5.5 çelikler olmak üzere iki farklı malzemeden döküm yolu ile üretilmektedir. Çalışma metodolojisi, kullanılmış ve hasara uğramış AISI 4140 ve 17CrMo5.5 çelikleri palet yan duvarı parçaları ve hem de AISI 4140 çeliğinden döküm yolu ile üretilmiş ve kullanılmamış parçalarının hasar analizi yöntemleri ile incelenmesi esasına dayandırılmıştır. Palet yan duvarları hasarı sonuç olarak çatlak ile sonuçlanan hasarlardır. Deneysel olarak; çekme, darbe ve mikroyapı görüntü analizi

alışmaları yapılmıştır. Mikroyapı analiz sonuçlarıda, mikroyayapıda mevcut perlit yapı miktarının yoğunluğunun fazlalığının etkinliği gözlenmiştir. Sonuç olarak, perlit yapının hacim oranının ferrite oranla daha fazla olması ısı iletkenliği bozarak ısı stres miktarının artmasına neden olduğu değerlendirilmektedir. İlgili literatürden de anlaşıldığı üzere yüksek sıcaklık uygulamalarında yüksek ferrit matrisi tercih edildiği görölmektedir. Yüksek ferrit matris sade, düşük karbonlu çelikler ile sağlanabilir.

Anahtar Sözcükler : Çatlak, sinter palet duvarı, AISI 4140, termal gerilme, ısı iletkenlik.

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF CRACK DAMAGE ON PALLET SIDE WALLS OF INTEGRATED IRON AND STEEL SINTER FACILITIES

Sevdenur BOSTANCI

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

January 2022, 75 pages

In this study, by examining the crack damage on the pallet walls of AISI 4140 and 17CrMo5.5 quality used in Kardemir A.Ş Sinter Facilities, the inefficiency of the machine due to the damage was investigated. Cracking of the side walls also causes high costs due to replacing cracked components, apart from the loss of suction due to air leakage affecting sinter production. It is also envisaged to identify alternative materials that minimize damage in this context. By casting, pallet side walls are currently produced from two different materials, AISI 4140 and 17CrMo5,5 steels. The working methodology is based on the analysis of used and damaged AISI 4140 and 17CrMo5,5 pallet sidewall parts and the unused parts produced by casting from AISI 4140 steel damage analysis methods. Pallet sidewalls damage is those that ultimately result in cracks. Experimentally, tensile, impact, and microstructure image analysis studies were carried out. In the microstructure analysis results, the excess density of the perlite structure present in the microstructure was observed. As a result,

it is evaluated that the volume ratio of the perlite structure is higher than that of ferrite. The higher volume ratio of the perlite structure than ferrite can cause an increase in the amount of thermal stress by disrupting the thermal conductivity. As it can be understood from the relevant literature, it is seen that high ferrite matrix is preferred in high-temperature applications. High ferrite matrix plain low carbon steels can be provided.

Key Word : Crack, sinter pallet wall, AISI 4140, thermal stress, thermal conductivity.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Bilge DEMİR' e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen baőta Kardemir A.Ő. Kalite ve Laboratuvarlar Müdürlüğü Mekanik ve Fizik Test Baőmühendisi Arkin ARGUN' a ve tüm Kardemir A.Ő. Kalite ve Laboratuvarlar Müdürlüğü çalıőanlarına ve Kardökmak A.Ő Laboratuvar Mühendisi Cihan DEğİRMENCİ' ye teşekkür ederim.

Termal ölçümlerin yapılmasında büyük emeği bulunan Sinter Müdürlüğü Elektrik ve Elektronik Baőmühendisi Ahmet BALIK' a, Elektrik ve Elektronik Mühendisi Serkan ÖZEN ve Mustaf Sefa DİNÇER' e teşekkür ederim.

Sevgili annem, babam, kardeőim ve kıymetli eőime manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
SİNTER TESİSLERİ	4
BÖLÜM 3	12
SİNTER PALET YAN DUVARLARI	12
3.1. SİNTER PALET YAN DUVARLARI TASARIMI	12
3.2. ÇALIŞMA ŞARTLARI	15
BÖLÜM 4	17
PALET YAN DUVARI ESAS MALZEMELERİ.....	17
4.1. AISI 4140	17
4.2. 17CrMo5.5 ÇELİKLER	22
4.3. DÖKME ÇELİKLER	23
BÖLÜM 5	24
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	24

	<u>Sayfa</u>
5.1. KİMYASAL ANALİZ	24
5.2. ÇEKME TESTİ	24
5.3. CHARPY DARBE TESTİ	25
5.4. MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	26
5.5. İNKLÜZYON İNCELEMESİ.....	27
BÖLÜM 6	29
DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	29
6.1. KİMYASAL ANALİZ	29
6.2. ÇEKME TESTİ	30
6.3. CHARPY ÇENTİK DARBE TESTİ.....	31
6.4. MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	34
6.5. İNKLÜZYON İNCELEMESİ.....	35
6.5. SEM İNCELEMESİ	52
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Tipik bir sinter tesisinde proses akışının şematik düzeni.....	5
Şekil 2.2. Sinter makinesi.....	6
Şekil 2.3. Sinter makinesi paleti.....	6
Şekil 2.4. Sinter fırını.....	7
Şekil 2.5. Sinter paleti üzerine dizilmiş ızgaralar.....	8
Şekil 2.6 Palet ızgarası.....	8
Şekil 2.7. Sinter harman karıştırıcısı (Tromel).....	9
Şekil 2.8. Sulu (a) ve kuru (b) karıştırıcılar.....	9
Şekil 2.9. Sinter cevher karışımı.....	10
Şekil 2.10. Sinter paletleri üzerinde fırından çıkan harman.....	10
Şekil 2.11. Sinter döner soğutucu.....	11
Şekil 3.1. Sinter tesislerinde kullanılan palet duvarı örnekleri.....	13
Şekil 3.2. Sinter tesisi palet yan duvarlarında gözlenen çatlakların haritası.....	14
Şekil 3.3. Sinter makinesi paleti teknik resmi.....	14
Şekil 3.4. Sinter palet yan duvarı teknik resmi ve fotoğrafı.....	15
Şekil 3.5. Sinter tesisleri fırını.....	16
Şekil 3.6. Sinter fırını girişi ve sinter fırını çıkışı palet yan duvarları termal kamera ölçümleri.....	16
Şekil 4.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı.....	19
Şekil 4.2. AISI 4140 çeliğine ait CTT diyagramı.....	20
Şekil 5.1. Çekme testi numuneleri.....	25
Şekil 5.2. Charpy darbe testi numuneleri.....	26
Şekil 5.3. a) İnküzyon, b) mikroyapı numuneleri.....	27
Şekil 6.1. Çekme testi sonrası numunelerin genel görünüşleri.....	31
Şekil 6.2. Charpy darbe testi darbe enerjisi grafiği.....	33
Şekil 6.3. Darbe testi sonrası numunelerin genel görünüşleri.....	33
Şekil 6.4. Numune 1 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.....	34
Şekil 6.5. Numune no2 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.....	34
Şekil 6.6. Numune no3 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.....	35

Şekil 6.7. Şekil 6.7. İnküzyonları karakterize etmek için morfolojik parametreler: uzunluk mm(L), genişlik (W), çap (D), en boy oranı (AR) veya uzunluğunun genişliğine konturuna ve gruplamasına oranı, yatay (s) ve dikey (d) gruplandırılmış inküzyonların ayrılma mesafesi	36
Şekil 6.8. Çeliklerin A, B, C ve D tip inküzyon içerme tanımlanması için mmörnekler	36
Şekil 6.9. Döküm çeliklerde kalıntı nedenleri grafiği	39
Şekil 6.10. 1 numaralı numuneye ait inküzyonlar (a, b, c, d, e, f, g)	43
Şekil 6.11. 2 numaralı numuneye ait inküzyonlar (a, b, c, d, e, f, g)	46
Şekil 6.12. 3 numaralı numuneye ait inküzyonlar (a, b, c)	48
Şekil 6.13. Numune 1-m 2kx büyütme.....	49
Şekil 6.14. Numune 1-m 10kx büyütme.....	50
Şekil 6.15. Numune 2-m 5kx büyütme.....	51
Şekil 6.16. Numune 3-m 5kx büyütme.....	52
Şekil 6.17. Numune 1-c 1kx büyütme.....	53
Şekil 6.18. Numune 1-c 88x büyütme.....	53
Şekil 6.19. Numune 1-c 5kx bbüyütme.....	54
Şekil 6.20. Numune 1-c 1. bölge EDX grafiği	55
Şekil 6.21. Numune 1-c 2. bölge EDX grafiği	55
Şekil 6.22. Numune 1-c 3. bölge EDX grafiği	56
Şekil 6.23. Numune 1-c 4. bölge EDX grafiği	56
Şekil 6.24. Numune 1-c 5. bölge EDX grafiği	57
Şekil 6.25. Numune 2-c 1kx büyütme.....	57
Şekil 6.26. Şekil 6.26. Numune 2-c 88x büyütme	58
Şekil 6.27. Şekil 6.27. Numune 2-c 5kx büyü.....	58
Şekil 6.28. N Numune 2-c 1. bölge EDX grafiği	59
Şekil 6.29. Numune 2-c 2. bölge EDX grafiği	59
Şekil 6.30. Numune 2-c 3. bölge EDX grafiği	60
Şekil 6.31. Numune 2-c 4. bölge EDX grafiği	60
Şekil 6.32. Numune 2-c 5. bölge EDX grafiği	61
Şekil 6.33. Numune 2-c 6. bölge EDX grafiği	61
Şekil 6.34. Numune 3-c 1kx büyütme.....	62
Şekil 6.35. Numune 3-c 77x büyütme.....	62
Şekil 6.36. Numune 3-c 5kx büyütme.....	63
Şekil 6.37. 3-c numunesi 1.bölge EDX analizi	63

	<u>Sayfa</u>
Şekil 6.38. 33-c numunesi 2.bölge EDX analizi	64
Şekil 6.39. Numune 1-d 500x büyütme	64
Şekil 6.40. Numune 1-d 93x büyütme.....	65
Şekil 6.41. Numune 1-d 5kx büyütme.....	65
Şekil 6.42. Numune 1-d 1. bölge EDX analizi.....	66
Şekil 6.43. Numune 2-d 1kx büyütme.....	66
Şekil 6.44. Numune 2-d 95x büyütme.....	67
Şekil 6.45. Numune 2-d 10kx büyütme.....	67
Şekil 6.46. Numune 2-d 2. bölge EDX analizi.....	68
Şekil 6.47. Numune 3-d 1kx büyütme	68
Şekil 6.48. Numune 3-d 82x büyütme.....	69
Şekil 6.49. Numune 3-d 5kx büyütme.....	69
Şekil 6.50. Numune 3-d EDX analizi.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1.	4100 serisi çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları	19
Çizelge 4.2.	4140 çeliğinin mekanik özellikleri	19
Çizelge 4.3.	4140 çeliğinin ısı özellikleri	19
Çizelge 4.4.	4140 çeliğinin ısı işlem özellikleri.....	19
Çizelge 4.5.	4140 çeliğinin elektriksel özellikleri	20
Çizelge 4.6.	Farklı krom-molibdenli çeliklerin kimyasal bileşimi ve AISI-SAE standardındaki isimlendirilmesi	22
Çizelge 4.7.	Çeliklerin isimlendirilmesinde kullanılan katsayılar	22
Çizelge 4.8.	17CrMo5.5 çeliğinin kimyasal birleşimi	23
Çizelge 4.9.	17CrMo5.5 mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 4.10.	17CrMo5.5 mekanik özellikleri	23
Çizelge 5.1.	Kimyasal analiz numune tanıtm tablosu.....	25
Çizelge 5.2.	Çekme testi numune tanıtm tablosu.....	26
Çizelge 5.3.	Charpy çentik darbe testi numune tanıtm çizelgesi	27
Çizelge 5.4.	Mikroyapı inceleme numune tanıtm çizelgesi.....	28
Çizelge 5.5.	İnklüzyon inceleme numune tanıtm çizelgesi	29
Çizelge 6.1.	Kimyasal analiz sonuçları.....	31
Çizelge 6.2.	Çekme testi sonuçları.....	32
Çizelge 6.3.	Charpy çentik testi sonuçları	33
Çizelge 6.4.	ASTM E45-13 A test yöntemi sonuçları	38
Çizelge 6.5.	ASTM E45-13 C test yöntemi sonuçları	38
Çizelge 6.6.	ASTM E45-13 D test yöntemi sonuçları	39
Çizelge 6.7.	ASTM E45-13 E test yöntemi sonuçları.....	39
Çizelge 6.8.	DIN 50602:1985 K test yöntemi sonuçları.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Mn	: mangan
Mo	: molibden
Ni	: nikel
S	: kükürt
Si	: silisum
W	: wolfram
V	: vanadyum
Ti	: titanyum
Ta	: tantal
Mg	: magnezyum
P	: fosfor
N	: azot
Cr	: krom
Ni	: nikel
As	: arsenik
Sn	: kalay
Sb	: antimon
Zr	: zirkonyum
Pb	: kurşun
R _{eH}	: üst akma mukavemeti
R _{p0,2}	: %0,2 uzama mukavemeti
R _m	: kopma mukavemeti
M	: Metrik

KISALTMALAR

- AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
- SAE : Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Topluluğu)
- ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
- DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- TS : Türk Standardı
- Ms : Östenit- Martensit faz dönüşümünün başlangıç sıcaklığı
- Mf : Östenit- Martensit faz dönüşümünün bitiş sıcaklığı
- TTT : Time Temperature Transformation (Zaman Sıcaklık Dönüşümü)
- CTT : Continuous Temperature Transformation (Sürekli Sıcaklık Dönüşümü)
- SEM : Scanning Elektron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
- EDX : Energy Dispersive X-Ray (Enerji Dağıtıcı X-Işını)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sinterleme prosesi esas olarak kok kömürünün önceden karıştırılmış harman içerisinde kontrollü yakılmasından oluşur. Sinterleme makinesi temel olarak sonsuz bir palet zinciridir ve her palet makara setlerinden, ızgara çubuklarından ve üst ve alt yan duvarlardan oluşur. Sinter tesislerinde paletler sinterleme için temel karışımı taşır ve paletlerin yan duvarları yatak yüksekliğinin oluşturulmasına yardımcı olur. Palet yan duvarlarının çalışma şartları beklenmeyen çatlaklara sebep olmakta ve bu durum işletmede zaman kayıpları ve maddi zararlara sebep olmaktadır. Bu hasar çatlama ve şekil deformasyonları olarak görülmektedir. Sabit bir hızda hareket eden paletler, sinterleme için demir cevheri, kok tozu ve kireç taşı harmanını taşır. Harman düzenli aralıklarla bir ateşleme fırınına (sıcaklık ~ 1000°C) girer. Bu nedenle, bir sinterleme makinesinin palet yan duvarları sürekli termal döngüye tabi tutulur. Palet yan duvarının malzemesi küresel grafit (SG) dökme demirler ve dökme çeliklerden yapılabilmektedir. Çatlakların çoğu, alt yan duvarların cıvata deliği konumları arasında ve palet duvarının üst kısımlarında gözlenmektedir [1]. Cıvata bağlantısının rijitliği ve yekpareliğinden dolayı termal genleşme ve büzülme sırasındaki kasılmaların tolere edilebilirliği oldukça düşüktür. Literatür de palet yan duvarlarının uygun olmayan malzemedeki dolaylı gevreklenme nedeniyle döngüsel yüksek termal stres altında çatlama başladığını göstermektedir [1, 2].

Palet yan duvarları entegre çelik fabrikalarında sinterleme makinesinde taban karışımı desteklemek ve sinterleme için yatak yüksekliğini oluşturmak amacıyla kullanılan çelik döküm ve dökme demirden üretilen parçalardır. Döküm ile üretim yönteminin birçok avantajı bulunmaktadır. Döküm ile çok küçük parçaların üretilebileceği gibi, devasa boyutlardaki üretimler de gerçekleştirilebilir. Komplike parçalar ve içi boş parçalar döküm yöntemiyle üretilirler. Hemen hemen tüm metal alaşımları döküm yöntemiyle üretilirlerken, dökme demirler sadece döküm yolu ile üretime imkân

vermektedir. Ayrıca döküm yöntemi seri üretime uygun bir üretim yöntemidir. Çok ince kesitlerin elde edilemiyor olması, az sayıda parça üretiminde ekonomik olmaması ve plastik şekil verilerek üretilen muadil parçaların mukavemet yönüyle daha avantajlı durumda olması ise döküm yönteminin dezavantajları arasında yer alır [3].

Endüstride kullanılacak malzemeler çalışma koşullarına uygun olarak seçilmelidir. Kullanılan malzemedен en iyi performansı alabilmek için tasarımcılar çalışma koşullarını çok iyi değerlendirmelidir [4]. Malzemenin çalışma koşulları ve tasarlanan geometrisi malzeme ömrünün belirlenmesindeki iki önemli etkidir. Parça üzerinde gerilme birikimlerine neden olabilecek süreksizler, hasara karşı direncini etkileyecektir. Tekrar eden yüklerin bulunduğu bir sistemde statik özellikleri değerlendirmek veya üretim prosesine uygun olmayan malzeme seçimi gibi hatalar malzemelerin servis ömründen daha erken sürelerde hasara uğramalarına neden olmaktadır [5].

Makine parçaları servis koşullarında tekrarlanan gerilmeler ve titreşimler altında çalışmaktadır. Bu gerilmeler malzemenin statik dayanımından küçük olmasına rağmen, belirli bir gerilme tekrarından sonra çatlama ve daha sonra kırılma ile hasar oluşmaktadır. Bu olaya yorulma denir [6]. Sinter palet yan duvarları sürekli olarak termal döngüye tabii olduğundan, palet yan duvarlarında oluşan çatlaklarda termal yorulmanın etkisi bulunmaktadır.

Malzemelerin kimyasal veya elektro-kimyasal reaksiyona girerek özelliklerini kaybederek bozunmasına korozyon denir [7]. Yüksek sıcaklıklarda ortamda metallerin ortamdaki oksijen, kükürt dioksit ve halojenlerle reaksiyonu sonucu oksitlenmesi olayına kimyasal korozyon denir [8]. Yüksek sıcaklık, korozyonu tetikleyen ve hızlandıran bir etken olduğu literatür ile sabittir. 950-1000 °C arasındaki fırın sıcaklığı palet yan duvarlarında korozyon riskini de doğurmaktadır. Oda koşullarında metaller ve alaşımları üzerinde korozyon etkisi düşük olan kimyasallar, yüksek sıcaklıkta çok yüksek korozif davranış gösterebilir.

Bu çalışmada, KARDEMİR sinter tesislerinde rastlanan sinter palet yan duvarlarının çatlak ve diğer problemlerinin araştırılarak çözüm önerilerinin sunulması

amaçlanmıştır. Çalışma konsepti klasik bir hasar analizi üzerine dayandırılmıştır. Hasar analizi; bir makine parçasının veya yapının hasara uğrama nedenlerini ve hasar sonrası hasarın karakterize edilmesine olanak sağlayan bir metoddur. Hasar analizi yöntemi ile birlikte hasarın tekrarlanmasının önüne geçebilecek önlemleri alabilmek amaçlanmaktadır [9]. Çalışmada öncelikle bulgular araştırılmış ve numuneler alınmıştır. Sonrasında numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi ile hasar mekanizmaları arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak, sinter palet duvarı hasarlarının tasarım ve özelliklerinin en ideal şekilde geliştirilebilirliği değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

SİNER TESİSLERİ

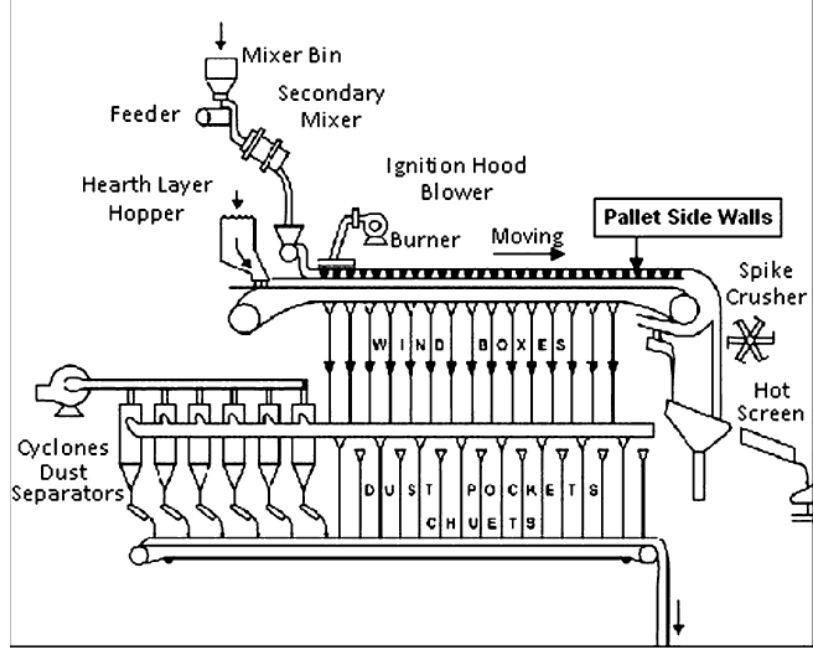
İnce taneli demir cevheri yüksek fırınlara şarj edilmeden önce topaklaştırma işlemine tabi tutularak parça cevher haline getirilirler. Bu işleme Aglomerasyon adı verilir. Demir cevherini topaklaştırabilmek için 3 yöntem uygulanır. Bunlar; birikeltme, sinterleme ve peletlemedir. Sinterleme ve peletleme yöntemi briketleme yöntemine göre daha düşük üretim maliyetine sahi olduğundan daha elverişli durumdadır [10]. Sinterleme; bileşenlerin koşulları kontrol altında bulunan bir atmosferde major bileşenin ergime noktasının altındaki bir sıcaklıkta tutularak toz parçaları arasında kimyasal bağ kurulan, tane büyümesi ve yeniden kristalleşmenin gözlemlendiği bir üretim yöntemidir [11].

Türkiye' nin ilk entegre demir çelik fabrikası ünvanını taşıyan Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş' de bulunan sinter tesisleri 1947 yılında devreye alınan 34m² sinter makinesi ile üretimine başlamıştır. 1952 yılında ilk kurulan 34 m² makine devre dışı bırakılarak yerine Alman Lurgi firmasının yapmış olduğu Dwight-Lloyd tipi 35 m² yeni sinter makinesi devreye alınmıştır. 1962 yılına gelindiğinde ise mevcut 35 m² sinter makinesine ilave olarak Alman Lurgi firması tarafından ikinci bir 60 m² sinter makinesi daha devreye alınarak 1987 yılına kadar bu iki makine çalışma devam edilmiştir. 1987 yılında Alman Lurgi firmasının 1953 yılında kurmuş olduğu 35 m² sinter makinesi yıkılarak yerine Romen Ipromet firması tarafından 90 m² yeni bir makine inşa edilmiştir. 2008 yılına gelindiğinde 4 Nolu yüksek fırının devreye alınması ve 1 Nolu yüksek fırının kapasitesinin artırılmasına bağlı olarak ortaya çıkan sinter ihtiyacını karşılamak amacıyla 2009 yılında projenin tamamı Kardemir personeli tarafından hazırlanmış olan 2 adet 110 m² yeni sinter makinelerinin yapımına başlanılmış ve 24.11.2011 yılında devreye alınmıştır. 5 Nolu yüksek fırın projesiyle paralel olarak 3. Sinter makinesi yapım kararı alınmış ve yine projenin tamamı

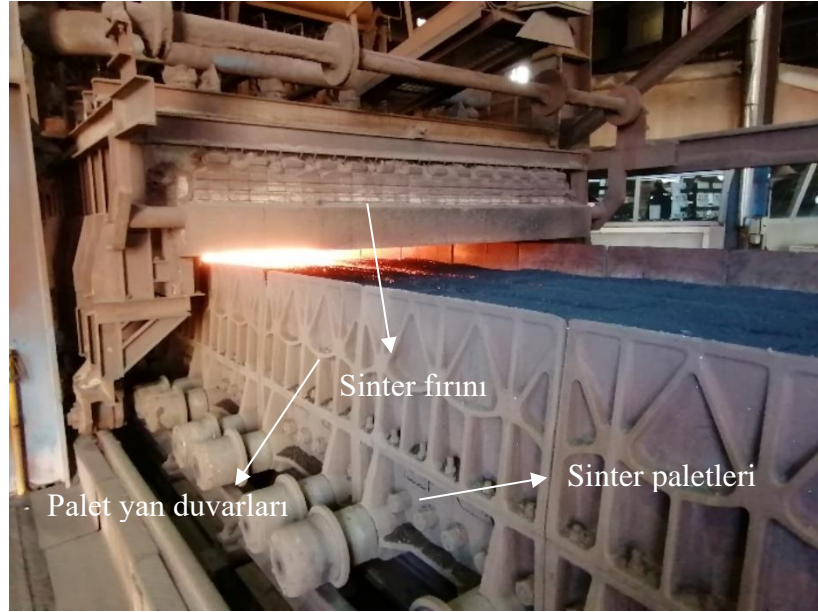
Kardemir personeli tarafından hazırlanan 110 m² yeni sinter makinesi 14.12.2014 tarihinde devreye alınmıştır [12].

Sinter makineleri saatte ortalama 2m/dk hız ile çalışmakta ve fırın içi sıcaklık 950-1150 °C arasında değişmektedir. Bu nedenle palet yan duvarları sürekli termal döngüye tabi tutulur.

Sinterleme makinesi temelde sonsuz bir palet zinciridir. Her bir palet setleri ızgara çubuklar ve yan duvarlardan oluşur. Demir ve çelik üretim sürecinin en önemli bölümlerinden biri olan sinterleme kelimesinin ISO 3252 toz metalurjisi sözlüğüne göre tanımı: “Toz veya kompakta ait ana bileşenin ergime noktasının altındaki sıcaklıkta parçacıkların bir araya gelerek bağlanması ile dayanımının artırıldığı ısıl işlemdir.” [13]. Bir başka tanım ile sinterleme ise ince taneli demir cevheri, kok ve gerekli olduğu durumlarda kirecin karıştırılıp termik yollarla sertleştirilerek iri parçalı sinterin meydana gelmesi işlemidir [10]. Sinterleme işlemi sinter paletleri üzerine serilen sinter yüzeyinde bulunan yakıtın yanması ile başlar. Havanın emilmesi ile beraber yanma cephesi hava akımının yönünde sinter karışımı içerisinde hareket eder. Yanma cephesinde sıcaklık 1350 °C civarındadır. Harman içinde bulunan düşük sıcaklıkta ergiyen karışım elemanları katı cevher tanecikleri arasında bağlantı oluştururlar [10]. Tipik bir sinter tesisinin proses akış diyagramı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Tipik bir sinter tesisinde proses akışının şematik düzeni [1].



Şekil 2.2. Sinter makinesi.

Sinter fırını yaklaşık 950-1000 °C arası sıcaklıktadır ve kok gazı yakıtı ile aktive edilir. Aşağıdaki fotoğrafta sinter tesislerine ait bir sinterleme fırını gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Sinter fırını.

Palet yan duvarları civatalar aracılığı ile sinter paletlerine montajlanır. Sinter paletleri zincir şeklinde ilerleyerek sinterleşmeyi sağlar. Palet üzerinde çubuk şeklinde ızgaralar bulunmaktadır. Sinter harmanı bu ızgaraların üzerinde taşınır ve ızgaralar arasındaki boşluklardan sinterleşmeyi hızlandıran hava emişi gerçekleşir. Şekil 2.4’ de sinter tesislerine ait palet gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Sinter makinesi paleti.

Şekil 3.5 ve Şekil 2.6' da sinter paleti ızgaraları verilmiştir. Sinterleşme sırasında oluşan sıcaklık nedeniyle ızgaraların şekillerinde deformasyonlar meydana gelmektedir.



Şekil 2.5. Sinter paleti üzerine dizilmiş ızgaralar.



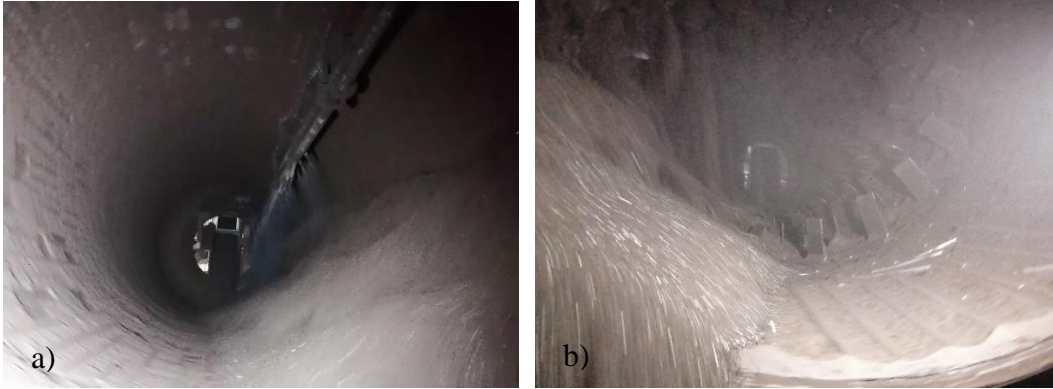
Şekil 2.6. Palet ızgarası.

Dozajlama ünitesinde demir cevheri, kok tozu, kireç taşı ve geri dönüş sinter tozunun belirli oranlarda bir araya gelmesinden sonra bu harman karışımı tromellere (karıştırıcı) gönderilir. Kuru ve sulu olarak karıştırılan harman konveyör bantlar

aracılığı ile sinter makinesi ham malzeme bunkerine aktarılır. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’ de karıştırıcılar ve Şekil 2.8’ de sinter cevher harmanı gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Sinter harman karıştırıcısı (tromel).



Şekil 2.8. Sulu (a) ve kuru (b) karıştırıcılar.



Şekil 2.9. Sinter cevher karışımı.



Şekil 2.10. Sinter paletleri üzerinde fırından çıkan harman.

Sinter paletinde sinterleşme gerçekleştiikten sonra sinter önce sinter kırıcısına ardından da ileticiye dökülmektedir. İleticiden soğutucuya aktarılan sinter, döner soğutucuların fanları ile hava üfleme yöntemi ile soğutulmaktadır. Şekil 2.11’de sinter tesisi döner

soğutucuları verilmiştir. Döner soğutularda maksimum 100°C' ye kadar soğutulan sinter ürünü konveyör bantlar aracılığı ile eleklerle nakledilir. Eleklerde yüksek fırınların talep ettiği boyutlarda elenen sinter şarj ürünü konveyör bantlar aracılığı ile yüksek fırınlara şarj edilir.



Şekil 2.11. Sinter döner soğutucu.

BÖLÜM 3

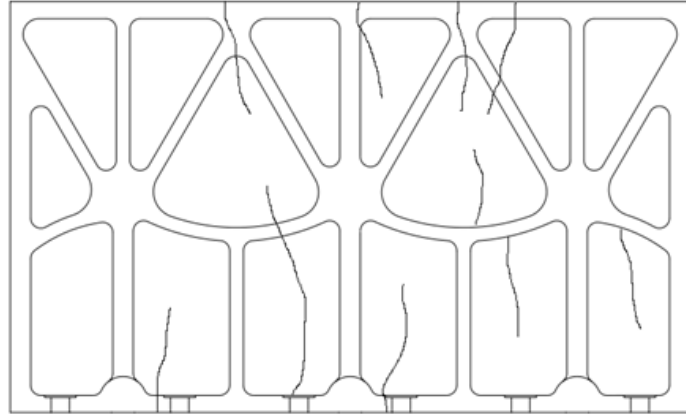
SİNER PALET YAN DUVARLARI

3.1. SİNER PALET YAN DUVARLARI TASARIMI

Siner palet yan duvarları (kapakları) aşağıdaki teknik resimde görüldüğü üzere 998 mm genişliğinde 270 mm uzunluğunda ve 25 mm kalınlığında döküm bir makine parçasıdır. Paletler sabit bir hızda ilerleyerek belirli zaman aralığında fırına (950-1150 °C) girerek karışımın sinterleşmesini sağlar. Yan duvarlar yatak yüksekliğinin oluşturulmasına ve egzoster fanın yapmış olduğu emişin yalnızca serimin üst yüzeyinden gerçekleşebilmesine yardımcı olur. Termal döngü nedeniyle palet yan duvarlarında çatlaklar meydana gelmektedir. Çatlakların çoğunun dikey yönlü olduğu görülmektedir. Çatlama paletlerinin yan duvarların cıvatalama yerleri ile kesin bir ilişkisi olduğu görülmüştür. Çatlağın genellikle çekme gerilmesi yönüne dik yayıldığı bilinmektedir. Bu gözlem, cıvatalama konumlarının, termal döngü nedeniyle yan duvarların genişlemesine / daralmasına engel olarak hareket ettiğini ve yan duvarların uzunluğu boyunca baskı oluşturduğunu göstermektedir [1]. Şekil 3.1' de sinter tesislerinde kullanılan bir palet duvarının fotoğrafı gösterilmiştir. Sinter tesisinin palet yan duvarlarında gözlenen çatlakların haritası Şekil 3.2 'de gösterilmiştir.

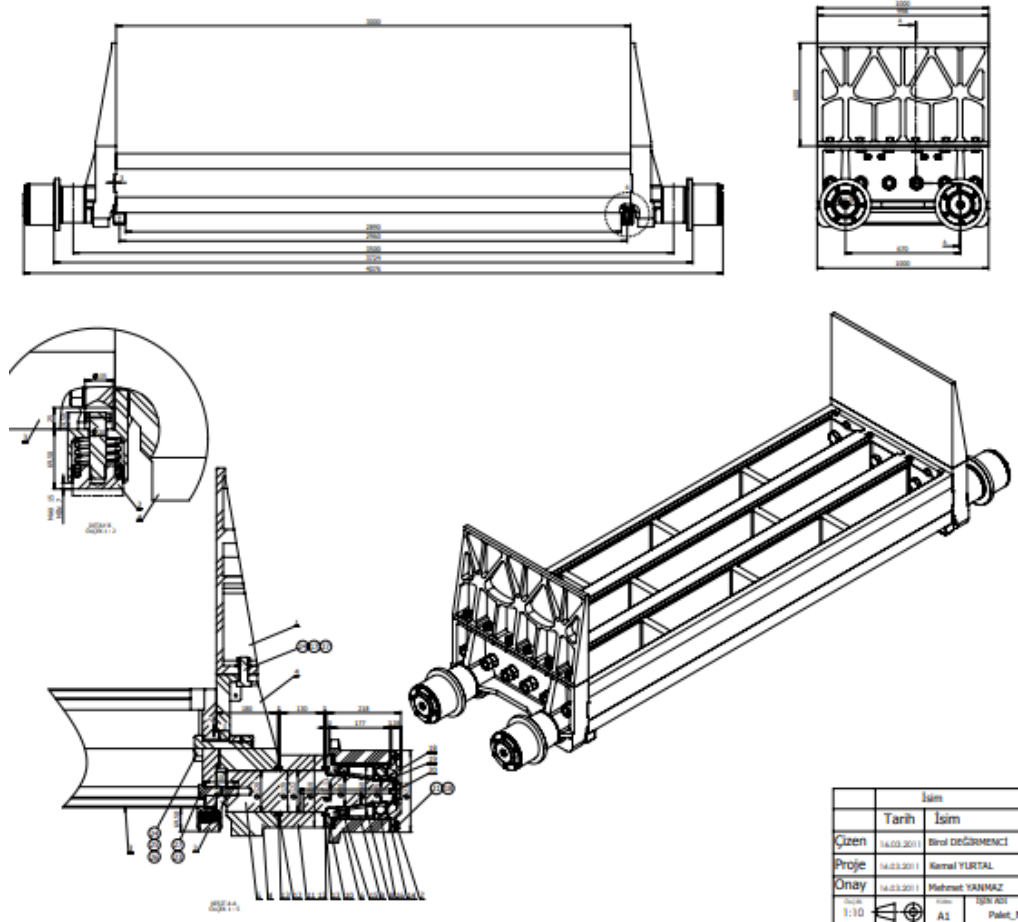


Şekil 3.1. Sinter tesislerinde kullanılan palet duvarı örnekleri.

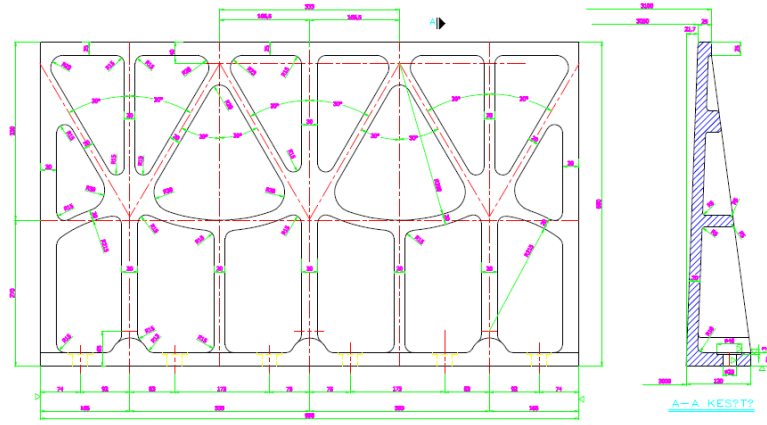


Şekil 3.2. Sinter tesisi palet yan duvarlarında gözlenen çatlakların haritası.

Palet kapakları kapak tabanında bulunan 6 adet M24 civata ile sinter paletlerine bağlanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.3’de sinter makinesine ait bir sinter paleti gösterilmektedir. Şekil 3.4’de ise palet yan duvarının teknik resmi ve fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 3.3. Sinter makinesi paleti teknik resmi.

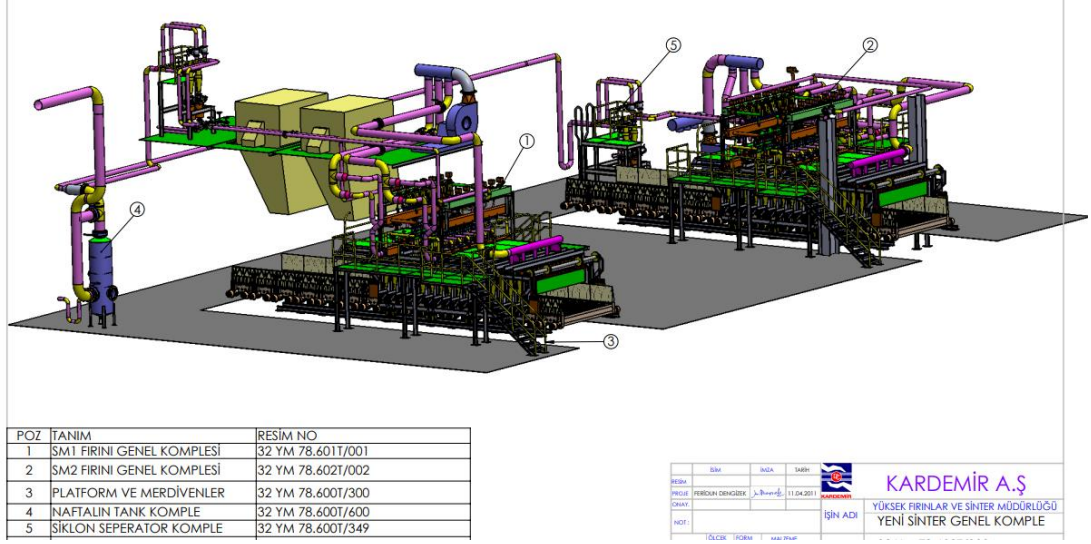


Şekil 3.4. Sinter palet yan duvarı teknik resmi ve fotoğrafı.

3.2. ÇALIŞMA ŞARTLARI

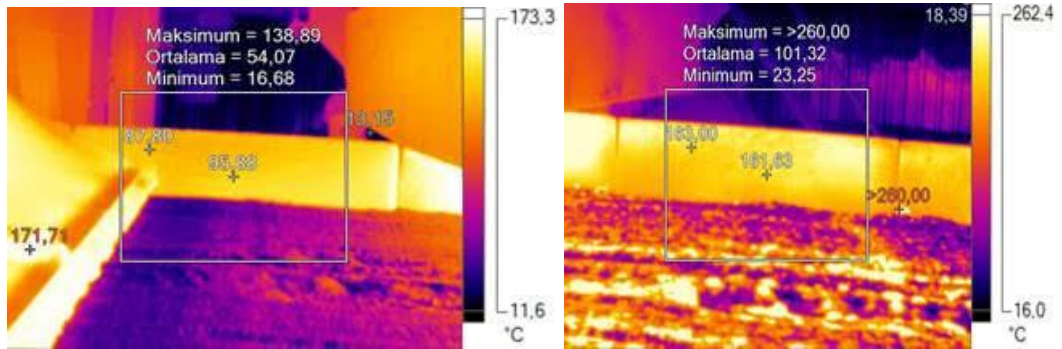
Sinter paletleri ortalama 2 m/dk hız ile ray üzerinde ilerlemektedir. Her bir palet yaklaşık 7,3 m uzunluğundaki fırın içinde yaklaşık 3,5 dakika kalmaktadır. Bir sinter makinesinde 96 adet palet bulunmaktadır. Her bir palette 2 adet palet yan duvarı bulunur. Sinter fırını içinde fırın içerisine alev püskürtülmesini sağlayan brülörler bulunmaktadır. Fırın içi sıcaklık 950-1150 °C arasında değişmektedir. Fırında yakıt olarak kok gazı kullanılmaktadır. Çeliğin çalışma ortamı nedeniyle maruz kaldığı zorlanmalar çeliklerde hasara neden olabilmektedir. Çalışmanın konusu palet kapakları sistem içerisinde termal zorlanmalara maruz kalmaktadır. Fırın içerisinde kok gazı ateşine maruz kalan palet kapaklarında çatlak hasarı meydana gelmektedir. Palet fırından çıktıktan sonra ortam sıcaklığında yaklaşık 47 dk ilerler ve daha sonra fırın içerisinde 3,5 dk ilerler. Bu döngü sürekli olarak tekrar eder. Makine bakım süreleri dışında sürekli tekrar eden bu değişken ve dinamik sıcaklık yüklemesi

nedeniyle palet kapaklarında çatlak hasarı gözlemlenmektedir. Aşağıda Kardemir Sinter Tesislerine ait bir sinter makinesinin fırını teknik resmi gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Sinter tesisleri fırını

Şekil 3.6’ da palet yan duvarlarının sinter fırını girişi ve sinter fırını çıkışında yapılan termal ölçümleri verilmiştir. Fırın girişinde 95 °C olan palet yan duvarı sıcaklığı fırın çıkışında 161 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Sinter fırını girişi ve sinter fırını çıkışı palet yan duvarları termal kamera ölçümleri.

BÖLÜM 4

PALET YAN DUVARI ESAS MALZEMELERİ

4.1. AISI 4140

Çelikler ve dökme demir cevherinden veya hurda demirden geri dönüştürülerek iki farklı şekilde üretilir. Demir cevheri veya hurda demirden elde edilen çeliklere vakumlama gibi farklı işlemler uygulanarak çeliklerin tokluk değeri artırılır ve temiz çelik olarak adlandırılan çelik elde edilir [14]. Çeliğin temizliği, metalik olmayan kalıntılardan arınmış olması manasına gelmektedir. Bu kalıntılar çeliklerin yorulma ömrünü yapı içerisindeki dağılım şekline, adetine ve sayısına göre etkilemektedir. Bu nedenle yapı içerisinde bulunan kalıntıların azaltılması veya zararsız kalıntılara dönüştürülerek temiz çelik elde edilmelidir [15].

AISI 4140 çeliği günümüzde savunma ve otomotiv sanayide sıklıkla kullanılmakla birlikte diğer sanayi kollarında hadde ve döküm mamulü olarak karşımıza çıkmaktadır. İmalat endüstrisinde %10 oranında kullanılmaktadır [16]. Düşük alaşımlı ve orta karbonlu çeliklerin maliyet açısından da sunduğu avantajlar, döküm ile farklı şekillerde imalata olanak sağlaması ve yüksek mukavemet ve tokluk özellikleri taşıması sanayide sıklıkla tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır. AISI 4140 çeliğini başlıca Cr ve Mo elementleri oluşturmakta ve böylece su verme ile martenzitik yapı oluşturarak yüksek tokluk, süneklik ve mukavemet özelliklerini barındırabilmektedir [17]. Orta karbonlu çelikler sınıfına girmesi nedeniyle ısıtma işleme elverişli olması, böylece mekanik özelliklerde iyileştirmeler yapılabilirliği AISI 4140 çeliğinin kullanım alanlarını genişletmektedir [14]. Çizelge 4.1' de 4100 serisi düşük alaşımlı çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları verilmiştir.

Çizelge 4.1. 4100 serisi çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [18].

AISI	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)				Tipik Kullanım Alanları
	C	Mn	Cr	Mo	
4118	0,18	0,80	0,50	0,13	Otomobil aksları, aks mafsalları, uçak yapı parçaları, basınçlı kaplar
4130	0,30	0,50	0,55	0,20	
4140	0,40	0,88	0,95	0,20	
4150	0,50	0,88	0,95	0,20	

Çizelge 4.2. 4140 çeliğinin mekanik özellikleri [18].

Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Yoğunluk (g/cm ³)	7,7-8,03	25 °C	815 °C ' de tavllanmış
Poisson Oranı	0,27-0,30		
Elastisite Modülü (Gpa)	190-210		
Çekme Dayanımı (Mpa)	655		
Akma Dayanımı (Mpa)	417,1		
% Uzama	25,7		
% Kesit Daralması	56,9		
Sertlik (HB)	197		
Darbe Dayanımı (J)	54,5		

Çizelge 4.3. 4140 çeliğinin ısı özellikleri [18].

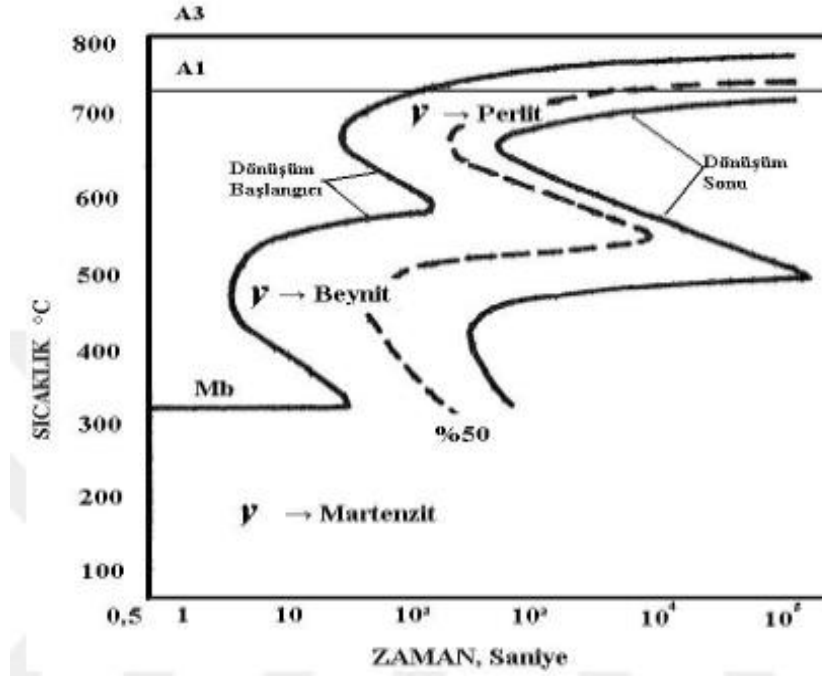
Özellikler		Koşullar	
		T (°C)	İşlem
Isıl Genleşme (10-6 °C)	12,3	20-100	Yağda sertleştirilmiş, 600 °C' de temperlenmiş
Isıl İletkenlik (W/m-K)	42,7	100	
Özgül Isı (J/ kg-K)	473	150-200	

Çizelge 4.4. 4140 çeliğinin ısı işlem özellikleri [18].

Özellikler	Koşullar	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma
Sıcak Şekil Verme	850-1050 °C	
Normalizasyon	840-880 °C	
Yumuşak Tavlama	680-720 °C	
Sertleştirme	820-860 °C	Su
		Yağ

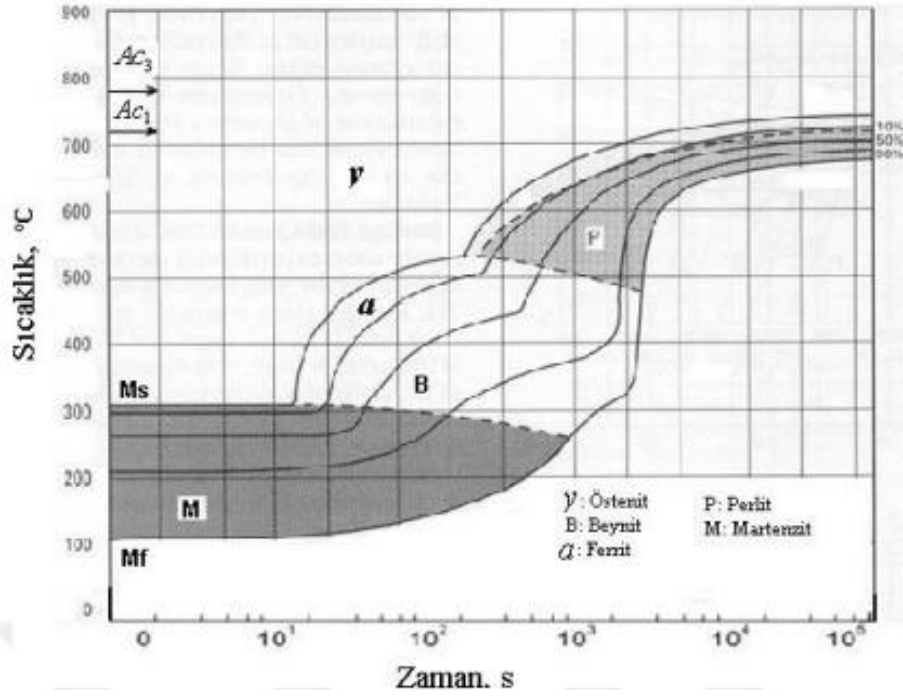
Çizelge 4.5. 4140 çeliğinin elektriksel özellikleri [17].

Özellikler	Koşullar	
	Değer ($10^{-9}\Omega\cdot m$)	T (°C)
Elektrik Direnci	222	20



Şekil 4.1. AISI 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [18].

TTT diyagramı, soğutma hızının, ostenitten martenzite veya beynitten perlitte faz dönüşümünün ve su verme ortamının etkilerini göstermektedir. Çeliklerde yapının tamamen perlit veya ferlit olması hedeflendiğinde bu diyagramdan yararlanılır [18].



Şekil 4.2. AISI 4140 çeliğine ait CTT diyagramı [19].

AISI 4140 çeliklerinin soğutma prosesinde önemli yeri olan martenzit dönüşümünün başlangıç ve bitiş sıcaklıkları olan (Ms, Mf) CCT diyagramdan okunabilir [1]. CCT diyagramından, ısıl işlemden sonra malzemenin mikroyapı şemasını oluşturmak için faydalanılır. [20] Diyagramın eğrileri farklı sıcaklıklardaki soğutma koşullarını göstermektedir.

Krom-molibdenli çelikler AISI standardında 41XX şeklinde gösterilmektedir. Çizelge 4.6' da farklı krom-molibdenli çeliklerin kimyasal bileşimi ve AISI-SAE standardındaki isimleri görülmektedir.

Çizelge 4.6. Farklı krom-molibdenli çeliklerin kimyasal bileşimi ve AISI-SAE standardındaki isimlendirilmesi [21].

AISI-SAE	Bileşim Aralığı (%)							
	C	Mn	P(max)	S (max)	Si	Cr	Ni	Mo
1340	0,38-0,43	1,60-1,90	0,035	0,040	0,15-0,30			
3140	0,38-0,43	0,70-0,90	0,040	0,040	0,20-0,35	0,55-0,75	1,10-1,40	
4037	0,35-0,40	0,70-0,90	0,035	0,040	0,15-0,30	0,20-0,30		
4042	0,4-0,45	0,70-0,90	0,035	0,040	0,15-0,30	0,20-0,30		
4130	0,28-0,33	0,40-0,60	0,035	0,040	0,15-0,30	0,80-1,10		0,15-0,25
4140	0,38-0,43	0,75-1,00	0,035	0,040	0,15-0,30	0,80-1,10		0,15-0,25
4150	0,48-0,53	0,75-1,00	0,035	0,040	0,15-0,30	0,80-1,10		0,15-0,25
4320	0,17-0,22	0,45-0,65	0,035	0,040	0,15-0,30	0,40-0,60	1,65-2,00	0,20-0,30
4340	0,38-0,43	0,60-0,80	0,035	0,040	0,15-0,30	0,70-0,90	1,65-2,00	0,20-0,30
4620	0,17-0,22	0,45-0,65	0,035	0,040	0,15-0,30	1,65-2,00		0,20-0,30
4820	0,18-0,23	0,50-0,70	0,035	0,040	0,15-0,30	3,25-3,75		0,20-0,30

Çizelge 4.7. Çeliklerin isimlendirilmesinde kullanılan katsayılar.

Katsayı	Alaşım Elementi
4	Si, Co, Cr, W, Ni, Mn
10	Al, Cu, Mo, Ta, Ti, V
100	C, P, S, N
1000	B

42CrMo4 çeliği için bu isimlendirme uygulanırsa:

$$42 \rightarrow 42/100 = 0.42 \quad \rightarrow \quad \%0.42 \text{ C}$$

$$4 \rightarrow 4/4 = 1 \quad \rightarrow \quad \%1 \text{ Cr}$$

$$4 \rightarrow 4/10 = 0.40 \quad \rightarrow \quad \%0.40 \text{ Mo}$$

4.2. 17CrMo5.5 ÇELİKLER

Bir çok makine parçasının üretilmesinde kullanılan 17CrMo5.5 (DIN 17245) çeliği genellikle döküm yöntemiyle üretimlerde kullanılan ferritik yapılu bir çeliktir. Sinter tesisleri palet yan duvarlarında da AISI 4140 çeliğinin yanı sıra bu çelik çeşidi de kullanılmaktadır. Çizelge 4.8’ de 17CrMo5,5 çeliğinin kimyasal birleşimi verilmiştir.

Çizelge 4.8. 17CrMo5.5 çeliğinin kimyasal birleşimi [22].

	C	Cr	Mn	Mo	P	S	Si
min	0,15	1	0,5	0,45	-	-	0,3
max	0,2	1,5	0,8	0,55	0,3	0,3	0,6

17CrMo5,5 çeliğine ait mekanik özellikler Çizelge 4.9’ da, fiziksel özellikler ise Çizelge 4.10’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9. 17CrMo5.5 mekanik özellikleri [22].

Akma $R_{p0.2}$ (MPa)	Çekme R_m (Mpa)	Darbe KV/Ku (J)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (HBW)
433(≥)	816(≥)	34	12	23	321

Çizelge 4.10. 17CrMo5.5 mekanik özellikleri [22].

Sıcaklık(°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Termal İletkenlik (W/m.°C)	Isı Kapasitesi (J/kg. °C)	Elektrik Direnci (Ω mm ² / m)	Yoğunluk (kg/dm ³)
34	-	-	-	0,21	-
254	449	12,3	122	-	-
458	-	42,2	-	-	123

4.3. DÖKME ÇELİKLER

Çelik malzemeler kullanılarak döküm yöntemi ile bir çok ile makine parçası imalatı yaygın olarak üretilmektedir. Ergitme, taşıma ve döküm esnasında oksijen metal içerisinde çözünmektedir. Çözünme sonrasında gaz boşluğu, gaz atomu ve metal oksit bileşiği oluşumu gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bu gaz çözünme probleminin önlenmesi için gaz giderme yöntemlerine başvurulmaktadır [23]. Gaz giderme amacıyla en sık başvuru yöntem deoksidasyondur. Sisteme oksijen ile kararlı bir bileşik oluşturacak bir element eklenir [24]. Deoksidasyon için Mn, Si, Al, Ca, Mg, B vb. elementler kullanılır. Deoksidasyon sırasında bazı elementler karbür ve intermetalik oluşumuna neden olmalarından dolayı doğru elementin doğru oranda kullanılması gerekmektedir. Gaz giderilme işlemi uygulanmış çelikler söndürülmüş-öldürülmüş şeklinde belirtilmektedirler. Söndürülmüş çeliklerde oksijenin bileşik oluşturma ihtimali düşürülerek veya engellenerek dökümde oluşabilecek hataların önüne geçilmektedir [23].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3 farklı palet yan duvarından abrasiv kesme diskleri ile kesilerek numuneler alınmıştır. 2 farklı kalitede 3 farklı palet kapağı kullanılmıştır. 1 numaralı numune palet üzerinde çalışmış ve hasara uğramış DIN 17CrMo5,5 kalitedeki palet yan duvarından, 2 numaralı numune palet üzerinde çalışmış ve hasara uğramış DIN 42CrMo4 kalite palet yan duvarından ve 3 numaralı numune ise montajı yapılmamış palet yan duvarından alınmıştır. Her bir palet kapağından kimyasal analiz (1, 2, 3) çekme (1-c, 2-c,3-c), çentik darbe (1-d, 2-d, 3-d), inklüzyon (1-i, 2-i 3-i) ve mikroyapı testi (1-m, 2-m 3-m) numunesi alınmıştır.

5.1. KİMYASAL ANALİZ

TS EN ISO 14284 standartlarına uygun hazırlanan numuneler SpectoLab M11 optik emisyon spektrometresi ile analiz edilmiştir. Çizelge 5.1 Kimyasal analiz numune tanıtım tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kimyasal analiz numune tanıtım tablosu.

Numune adı	Malzeme	Durum
1	17CrMo5,5	Kullanılmış
2	42CrMo4	Kullanılmış
3	42CrMo4	Yeni

5.2. ÇEKME TESTİ

TS EN ISO 6892-1 standardına göre hazırlanan Ø10x100mm ölçülerindeki numunelere (1-c, 2-c, 3-c) ASTM E-415 standardına uygun olarak 60 ton kapasiteli Zwick Z600 çekme testi cihazı ile çekme testi yapılmıştır. Şekil 5.1' de çekme testi

numuneleri gösterilmiştir. Çizelge 5.2’ de çekme testi numune tanıtım tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çekme testi numune tanıtım tablosu.

Numune adı	Malzeme	Durum
1-c	17CrMo5,5	Kullanılmış
2-c	42CrMo4	Kullanılmış
3-c	42CrMo4	Yeni



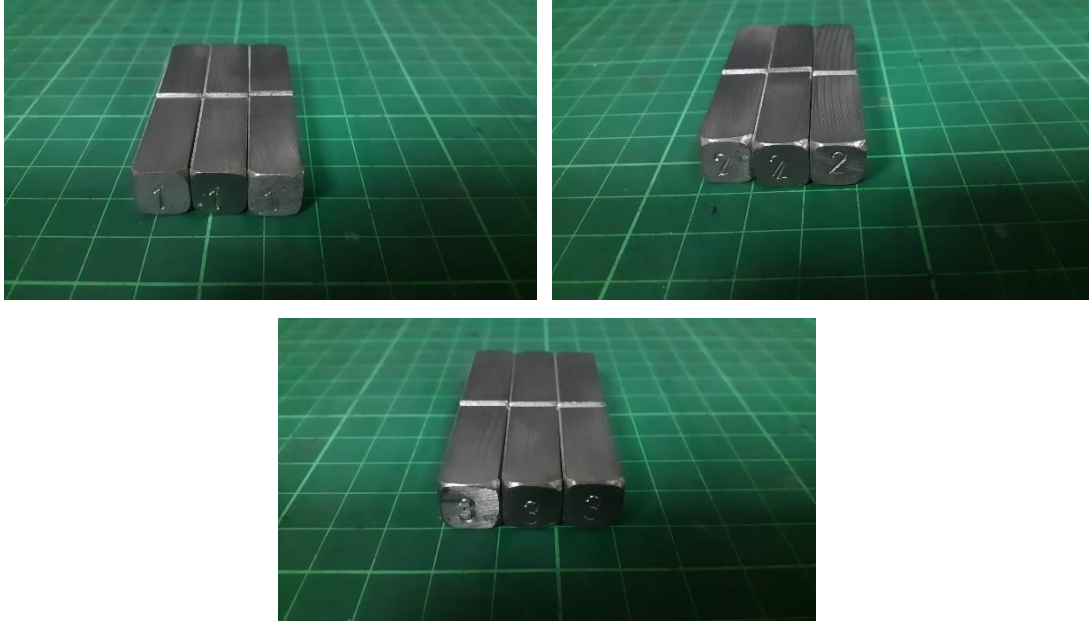
Şekil 5.1. Çekme testi numuneleri.

5.3. CHARPY DARBE TESTİ

55x10 mm ölçülerinde hazırlanan her kapak kalitesi için 3’ er adet numuneye (1-1-d, 1-2-d, 1-3-d, 2-1-d, 2-2-d, 2-3-d, 3-1-d, 3-2-d, 3-3-d) TS EN ISO 148-1 standardına uygun olarak 450J kapasiteli Zwick RKP460 marka darbe cihazı ile 8 mm darbe uç kullanılarak darbe testi yapılmıştır. Şekil 5.2’ de darbe numuneleri gösterilmiştir. Çizelge 5.3’ de charpy çentik darbe testi numune tanıtım tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.3. Charpy çentik darbe testi numune tanıtım çizelgesi.

Numune adı	Malzeme	Durum
1-1-d	17CrMo5,5	Kullanılmış
1-2-d	17CrMo5,5	Kullanılmış
1-3-d	17CrMo5,5	Kullanılmış
2-1-d	42CrMo4	Kullanılmış
2-2-d	42CrMo4	Kullanılmış
2-3-d	42CrMo4	Kullanılmış
3-1-d	42CrMo4	Yeni
3-2-d	42CrMo4	Yeni
3-3-d	42CrMo4	Yeni



Şekil 5.2. Charpy darbe testi numuneleri.

5.4. MİKROYAPI İNCELEMESİ

TS EN ISO 4499-1 standardına göre hazırlanan 10x10 mm ölçülerindeki numunelerin inceleme yüzeyleri %2 nital çözelti ile dağlanmış. Şekil 5.3.b' de mikroyapı numuneleri gösterilmiştir. Çizelge 5.4' de mikroyapı inceleme numune tanıtım tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.4. Mikroyapı inceleme numune tanıtım çizelgesi.

Numune adı	Malzeme	Durum
1-m	17CrMo5,5	Kullanılmış
2-m	42CrMo4	Kullanılmış
3-m	42CrMo4	Yeni



Şekil 5.3. a) İnküzyon, b) mikroyapı numuneleri.

5.5. İNKÜZYON İNCELEMESİ

10x20 mm ölçülerindeki numunelerin yüzeyi zımparalanarak temizlendi ve parlatıldı. Nikon MA 200 optik mikroskobu kullanılarak yapılan inküzyon incelemesinde Clemex Cir 32 programından yararlanıldı. Şekil 5.3.a' da inküzyon numuneleri gösterilmiştir. Çizelge 5.5' de inküzyon inceleme numune tanıtım tablosu verilmiştir.

Çizelge 5.5. İnküzyon inceleme numune tanıtım çizelgesi.

Numune adı	Malzeme	Durum
1-i	17CrMo5,5	Kullanılmış
2-i	42CrMo4	Kullanılmış
3-i	42CrMo4	Yeni

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. KİMYASAL ANALİZ

Optik emisyon spektrometresi analiz sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu tablodan anlaşıldığı üzere referanslardan kontrol edildiğinde 2 ve 3 numaralı 4140 çeliklerin mangan değerinin standarda göre düşük olduğu 3 numaralı 4140 çeliğinin karbon oranının standarda göre düşük olduğu görülmektedir. 1 numaralı numunenin analiz sonuçları standart 17CrMo5.5 çeliğini karşılamaktadır. Eser miktarda olan elementlere yer verilmemiştir. 4140 çeliği referanslarda sementasyon çeliği olarak geçmektedir. Bu malzemelerin düşük karbon seviyesi dolayısı ile tokluğunun daha yüksek olacağı ve Cr- Mo içeriğinin yüksek olması ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edildiği değerlendirilmektedir. 4140 çeliği bir ıslah çeliğidir. Klasik kullanımı su verme ve temperlemedir. Ancak burada yüksek dayanım özelliğinden ve Cr, Mo içeriğinin yüksek olması ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edildiği değerlendirilmektedir. 3 nolu numune kimyasal analizi incelendiğinde modere edilmiş bir 4140 olduğu değerlendirilebilir. İşletmenin böyle bir amacı güttüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte karbon miktarı standart 4140 çeliğinden düşüktür. Diğer alaşım elementleri ise standartlara uygundur. Cr, Mo içeriğinin yüksek olması ile yüksek sıcaklık uygulamalarında tercih edildiği değerlendirilmektedir. Korozyona direnci yanı sıra karbon miktarının düşürülerek tokluğunun geliştirilmesinin amaçlandığı değerlendirilmektedir. Palet yan duvarlarının rijit konstrüksiyonluğu sebebi ile ve ayrıca çalışma şartlarında kuvvete maruziyetin çok fazla olmamasından dolayı dayanım seviyelerinin bütün çelikler için yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Burada orta veya yüksek dayanımlı çelik kullanmak yerine düşük dayanımlı ancak bir miktar krom ve molibden içeren çelikler tercih edilebilir.

Çizelge 6.1. Kimyasal analiz sonuçları.

Numune No	C	Mn	Si	S	P	N	Cr	Ni	Cu	Mo	V
1	0,215	0,685	0,282	0,015	0,0150	89	1,136	0,047	0,065	0,4648	0,0080
	As	Sn	Sb	Al	Nb	B	Zr	Pb	Ca	Ti	
	0,004	0,003	0,0006	0,0463	0,0068	0,0000	0,0008	0,0008	0,0001	0,002	

Numune No	C	Mn	Si	S	P	N	Cr	Ni	Cu	Mo	V
2	0,414	0,746	0,283	0,023	0,0175	90	1,024	0,053	0,064	0,2102	0,0103
	As	Sn	Sb	Al	Nb	B	Zr	Pb	Ca	Ti	
	0,006	0,003	0,0013	0,0512	0,0041	0,0012	0,0009	0,0063	0,0001	0,002	

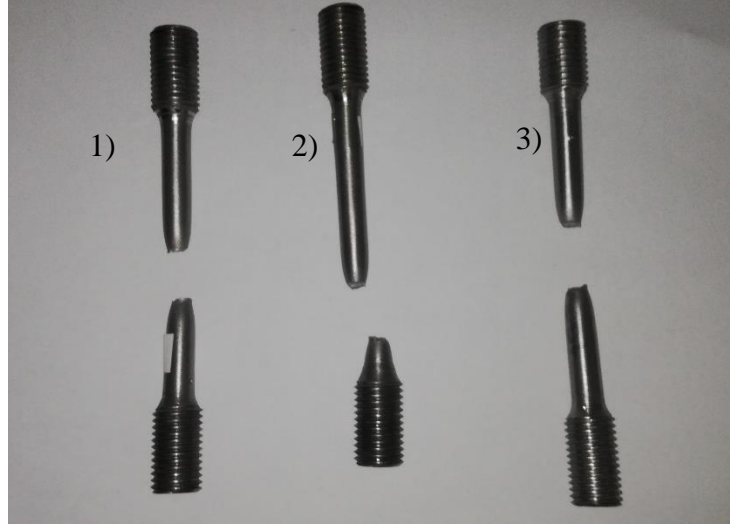
Numune No	C	Mn	Si	S	P	N	Cr	Ni	Cu	Mo	V
3	0,349	0,68	0,334	0,011	0,0132	77	0,959	0,056	0,080	0,2381	0,0043
	As	Sn	Sb	Al	Nb	B	Zr	Pb	Ca	Ti	
	0,005	0,003	0,0018	0,0711	0,0034	0,000	0,0009	0,0011	0,0014	0,001	

6.2. ÇEKME TESTİ

1, 2 ve 3 numaralı palet yan duvarı numunesine yapılan çekme testi sonuçları Çizelge 6.2.' de verilmiştir. 2 ve 3 numaralı 4140 çelikleri için standarda göre % uzama değerleri düşük durumdayken, 1 numaralı 17CrMo5.5 çeliği için % uzama değeri standardın üzerindedir. Literatürle karşılaştırıldığında ıslah edilmemiş ıslah çeliklerinin ham halleri ve döküm yapılmış büyük kütleli bir parçanın yavaş soğutulması sebebi ile kesit daralmasının yüksek çıktığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 6.2. Çekme testi sonuçları.

Numune No	Akma Day., R_{eH} (N/mm ²)	Akma Day., $R_{p0.2}$ (N/mm ²)	Çekme Day., R_m (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1	315	-	595	22	59
2	-	417	636	20	56
3	-	358	601	23	59



Şekil 6.1. Çekme testi sonrası numunelerin genel görünüşleri.

6.3. CHARPY ÇENTİK DARBE TESTİ

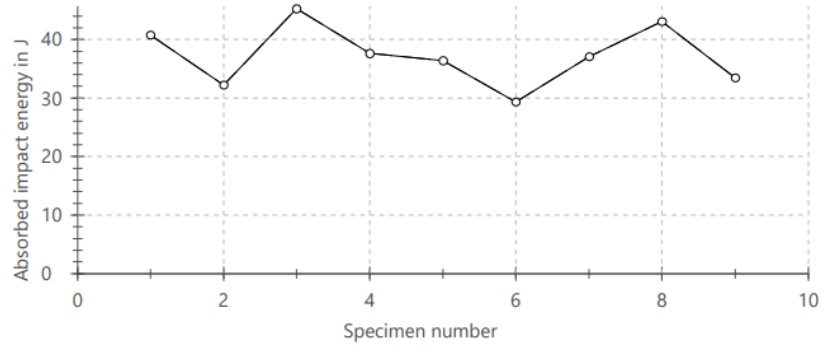
Malzeme tasarımında ve malzeme seçiminde darbe dayanımı ve kırılma tokluğu verileri büyük öneme sahiptir. Darbe analizleri ile elde edilen sonuçlar tasarımcılara malzeme seçimi ve tasarımı konusunda yardımcı olmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda malzemelerin ortam sıcaklığına ve maruz kaldığı yük türüne göre hasara uğradıkları görülmektedir. Mühendisler malzeme seçimlerinde, kullanacakları malzemelerin çalışma şartlarında meydana gelebilecek sünek ya da gevrek kırılmalara karşı ne kadarlık bir enerji sönümleyebileceği hakkında bilgi sahibi olmak isterler. Bu amaçla, malzemelerin dinamik yükler altında dayanabilecekleri maksimum kırılma enerjilerini belirlemek veya ani darbe anında absorbe edebileceği enerji miktarını tespit ederek malzemenin sünek veya gevrek davranışı hakkında bilgi elde etmek için Charpy darbe deneyi yapılır [13]. Testler sonucunda 1 numaralı numune için ortalama darbe enerjisi 39,4 J, 2 numaralı numune için ortalama darbe enerjisi 37,9 Joule, 3

numaralı numune için ortalama darbe enerjisi 37,9 Joule olarak elde edilmiştir. 4140 çeliği için standarda göre darbe enerjisinin 16 mm' den küçük kesitlerde 35 Joule' ün üzerinde olması beklenmektedir [25]. 17CrMo5.5 çeliği için değer 23 Joule' ün üzerinde olması beklenmektedir [22]. Her iki kalite için çentik darbe testi sonucunda standarda uygun darbe enerjileri elde edilmiştir. Daha düşük darbe enerjisi değeri, malzemede daha düşük tokluğuna işaret eder. Çentik darbe tokluğu üzerinde en büyük etki tane boyutuna sahiptir. Tane boyutu küçüldükçe tane sınırları yoğunluğu artar ve dislokasyon hareketleri engellenir. Ferrit oranının artması ve tane boyutunun küçülmesi tokluk ve mukavemet değerlerinin yükselmesini sağlayacaktır. [26]

Her 3 numuneden 3 er' adet palet yan duvarı numunesine yapılan darbe testi sonuçları Çizelge 6.3' de verilmiştir.

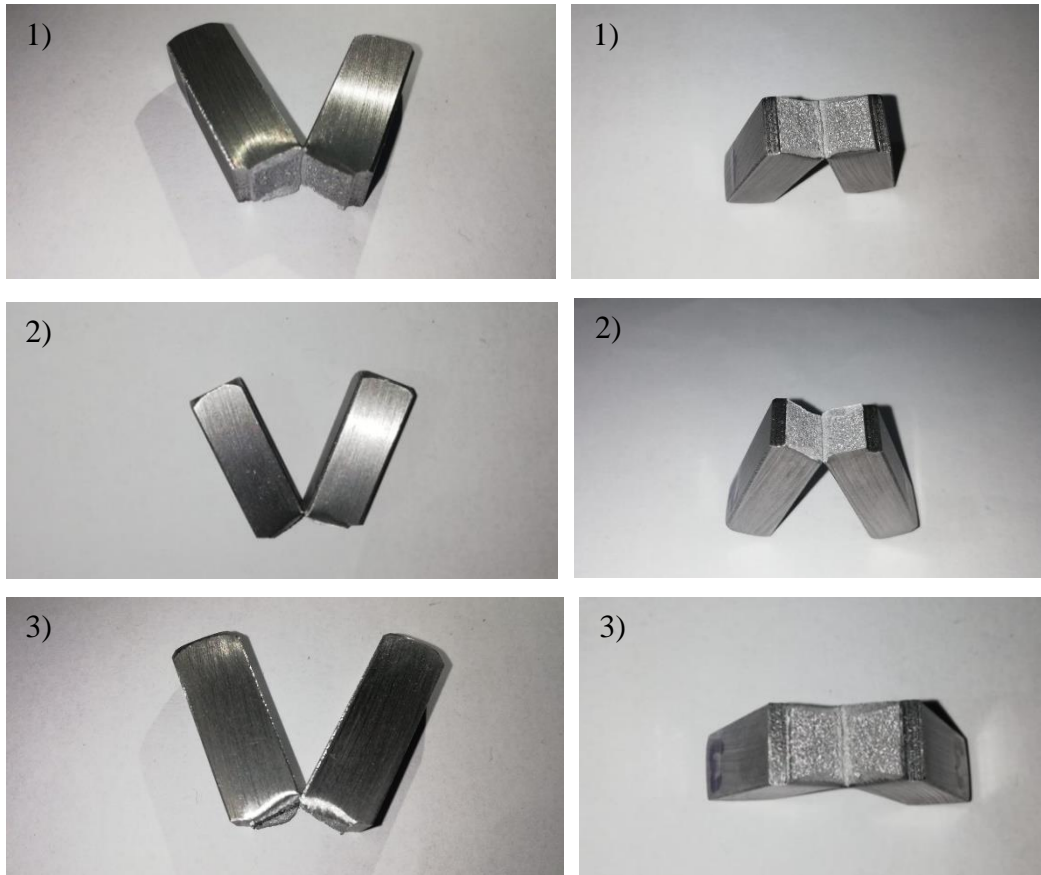
Çizelge 6.3. Charpy çentik testi sonuçları.

Numune	Darbe Enerjisi (Joule)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Kalınlık (mm)	Taban yüksekliği mm	S _e (mm)	Sıcaklık (°C)
1 - 1	40,7	55	10	10	8	80	22
1 - 2	32,2	55	10	10	8	80	22
1 - 3	45,3	55	10	10	8	80	22
2 - 1	37,6	55	10	10	8	80	22
2 - 2	36,4	55	10	10	8	80	22
2 - 3	29,3	55	10	10	8	80	22
3- 1	37,1	55	10	10	8	80	22
3 - 2	43,1	55	10	10	8	80	22
3 - 3	33,5	55	10	10	8	80	22



Series	KV ₈	l	h	w	Height at base	S ₀	T _{Specimen}
n = 10	J	mm	mm	mm	mm	mm ²	°C
\bar{x}	37,2	55	10	10	8	80,00	22
s	5,2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000
v [%]	13,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

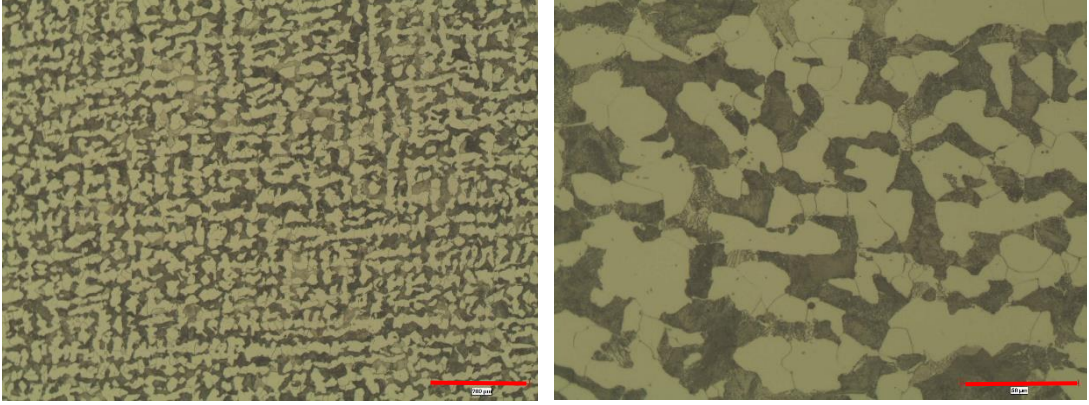
Şekil 6.2. Charpy darbe testi darbe enerjisi grafiği.



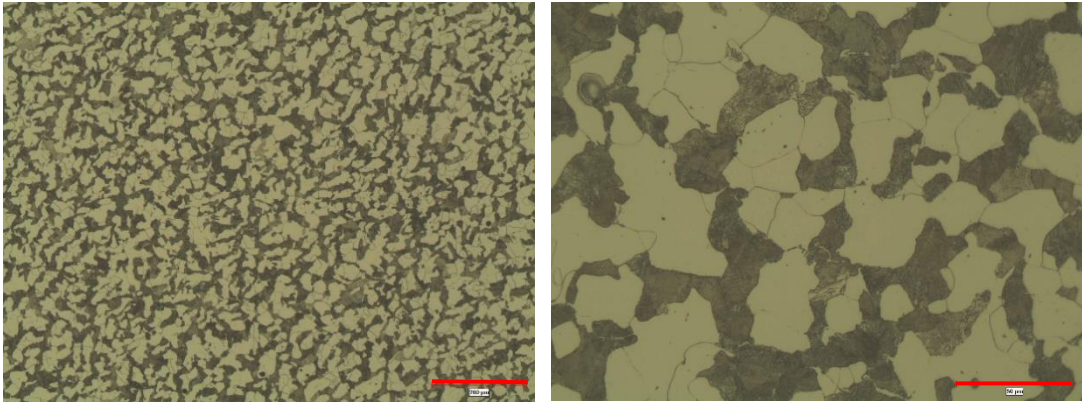
Şekil 6.3. Darbe testi sonrası numunelerin genel görünüşleri.

6.4. MİKROYAPI İNCELEMESİ

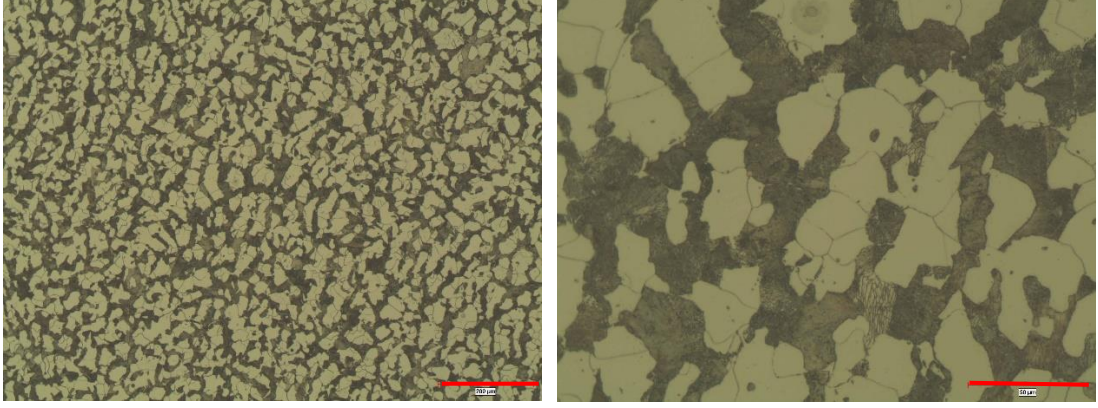
Palet yan duvarı numunelerinin optik mikroskop ile elde edilen mikroyapı görüntüleri aşağıda verilmiştir. 1 numaralı numunede yaklaşık %70 oranında, 2 numaralı numunede %65 oranında, 3 numaralı numunede %68 oranında perlit varlığı belirlenmiştir. Perlitin varlığı dökümün ısıl iletkenliğini bozarak ısıl gradyanı artırır ve bu da dögüsel ısıl yük altında gerilimi artırır [1]. Matrisin plastik deformasyonu perlit ile sınırlandırıldığından, matristeki daha yüksek perlit içeriği malzeme sertliğini artırır ve uzamayı azaltır [2].



Şekil 6.4. Numune 1 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.



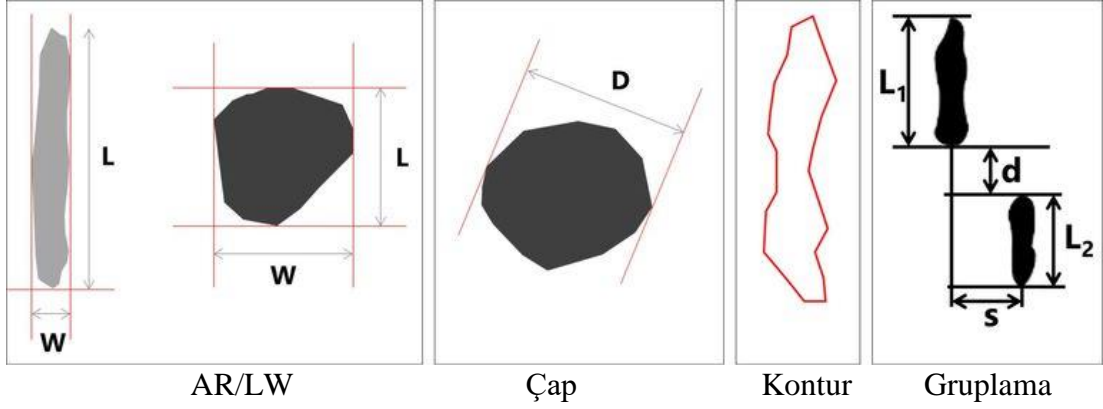
Şekil 6.5. Numune no2 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.



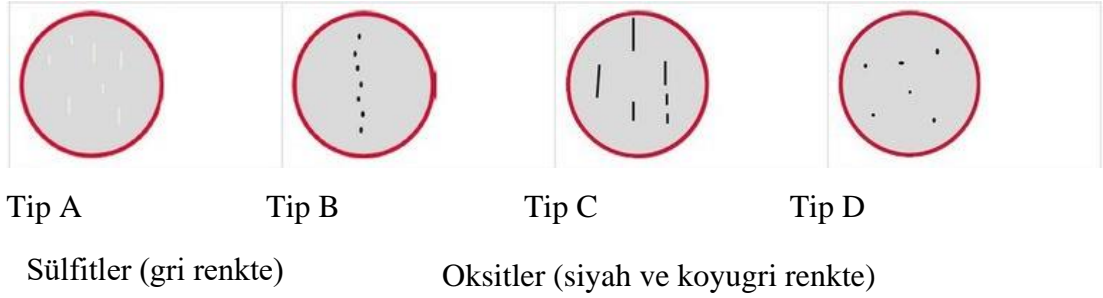
Şekil 6.6. Numune no3 100x ve 500x büyütme mikroyapı görüntüsü.

6.5. İNKLÜZYON İNCELEMESİ

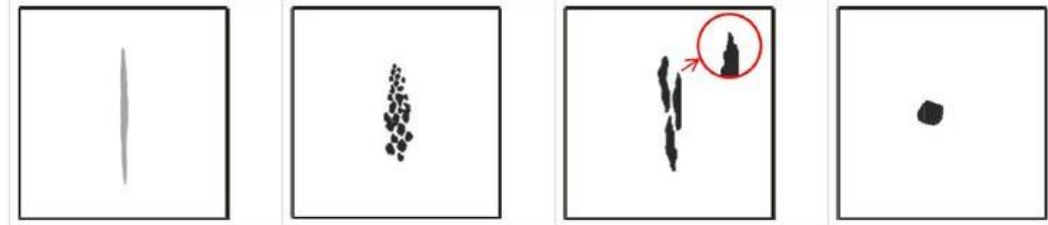
Çeliklerde inklüzyonlar temelde 4 grupta incelenmektedir; A, B, C, D. Çelikteki inklüzyonların türünü, sayısını ve boyutunu değerlendirmede her grup için referans görüntüleri ile bir çelik numunenin canlı mikroskop görüntüsü arasında karşılaştırmalar yapılır. Modern standartların çoğu A'dan D'ye aynı 4 sınıflandırma grubunu kullanmaktadır. Bununla birlikte modern standartlar için, inklüzyonları bu dört gruba (A'dan D'ye) tanımlamak ve sınıflandırmak için renk ve morfolojik parametreler kullanılır. Yuvarlak olmayan parçacıklar için uzunluk ve genişlik, en boy oranı yuvarlak olanlar için çap, kontur ve parçacıklar arasındaki yatay ve dikey mesafe gibi diğer özellikler inklüzyonları ayırt etmek için kullanılır [27].



Şekil 6.7. İnküzyonları karakterize etmek için morfolojik parametreler: uzunluk (L), genişlik (W), çap (D), en boy oranı (AR) veya uzunluğunun genişliğine konturuna ve gruplamasına oranı, yatay (s) ve dikey (d) gruplandırılmış inklüzyonların ayrılma mesafesi [27].



Sülfitler (gri renkte) Oksitler (siyah ve koyugri renkte)



Şekil 6.8. Çeliklerin A, B, C ve D tip inklüzyon içermeye tanımlanması için örnekler [27].

Nikon MA200 optik mikroskobu ile ASTM E45 standardına uygun olarak yapılan inklüzyon incelemesi sonuçları aşağıdaki Çizelge 6.4, Çizelge 6.5, Çizelge 6.6, Çizelge 6.7 ve DIN 50602:1985 K standardına uygun olarak yapılan inklüzyon incelemesi sonucu Çizelge 6.8' te verilmiştir.

Çizelge 6.4. ASTM E45-13 A test yöntemi sonuçları.

Numune 3	Sülfür A		Alümina B		Silikat C		Küresel D	
	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun
	0,0	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0	3,5	0,5

Numune 2	Sülfür A		Alümina B		Silikat C		Küresel D	
	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun
	0,0	0,0	1,5	1,0	0,0	0,0	4,0	0,5

Numune 1	Sülfür A		Alümina B		Silikat C		Küresel D	
	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun	Seyrek	Yoğun
	0,0	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	3,5	0,5

Çizelge 6.5. ASTM E45-13 C test yöntemi sonuçları.

Numune 3	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	143	0	53

Numune 2	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	156	0	11

Numune 1	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	149	0	22

Çizelge 6.6. ASTM E45-13 D test yöntemi sonuçları.

Numune 3	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	143	0	53

Numune 2	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	156	0	11

Numune 1	Oksit O		Silikat S	
	Oran	Uzunluk	Oran	Uzunluk
	1	149	0	22

Çizelge 6.7. ASTM E45-13 E test yöntemi sonuçları.

Numune 3	Sülfit A1	Alümina B	Silikat A2	KüreselC
	0,0000%	0,0019%	0,0001%	0,0252%

Numune 2	Sülfit A1	Alümina B	Silikat A2	KüreselC
	0,0000%	0,0045%	0,0000%	0,0423%

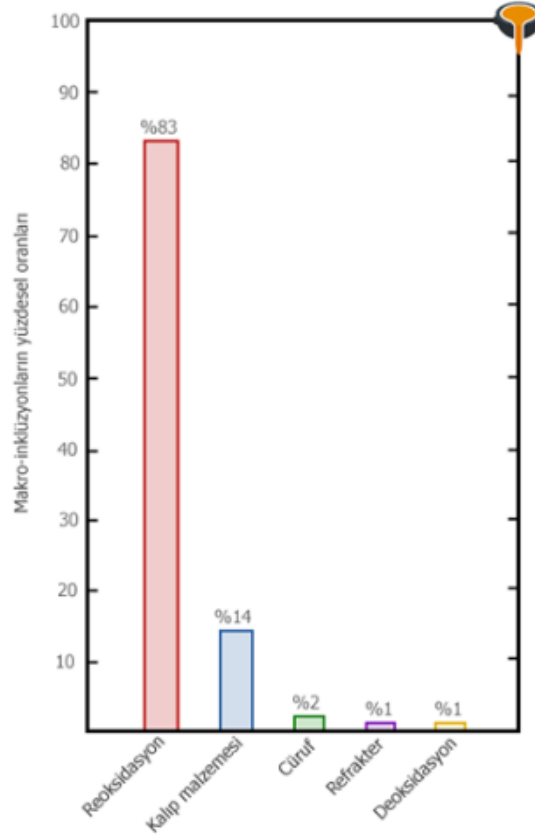
Numune 1	Sülfit A1	Alümina B	Silikat A2	KüreselC
	0,0000%	0,0023%	0,0000%	0,0288%

Çizelge 6.8 DIN 50602:1985 K test yöntemi sonuçları.

Numune	Tip	Uzunluk(mic)	Kalınlık(mic)
Numune 1	D	21,30	16,00
Numune 1	D	21,39	15,82
Numune 1	D	38,81	20,51
Numune 1	D	38,81	20,60

Numune	Tip	Uzunluk(mic)	Kalınlık(mic)
Numune 2	B	135,78	34,00
Numune 2	D	26,43	13,44
Numune 2	D	26,43	13,26
Numune 2	D	24,93	15,38
Numune 2	D	14,59	13,17
Numune 2	D	95,56	62,94
Numune 2	D	16,27	13,44

Numune	Tip	Uzunluk(mic)	Kalınlık(mic)
Numune 3	D	16,80	13,35
Numune 3	D	26,34	17,15



Şekil 6.9. Döküm çeliklerde kalıntı nedenleri grafiği [28].

Şekil 6.9’ da 500’ den fazla kalıntı parça üzerinde yapılan çalışma sonucunda kalıntıların başlıca nedeninin %83’ lük bir oranla reoksidasyon olduğu görülmektedir. Reoksidasyon kalıntıları döküm prosesinin herhangi bir safhasında sıvı metl ve havanın teması sonucu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca reoksidasyonun kum kalıpları etrafında kalıntılara neden olması ve kalıp nedeniyle oluşan kalıntıların reoksidasyon sebebiyle daha yüksek değerlere çıkabildiği belirtilmektedir [28].

Optik mikroskop incelemelerinde her 3 numunede de yapıda segregasyonlar bulunmaktadır. Segregasyon malzeme mikroyapısının homojenlikten uzak olma durumudur. Segregasyonların çeşitli nedenleri bulunmaktadır [29].

Şekil 6.10 (a), (b) ve (c) ‘de B tipi bir inklüzyon bulunduğu görülmektedir. Inklüzyonda açısız kontürler bulunmaktadır ve en boy oranı 3’ün üzerindedir. Bu inklüzyonun alüminyum oksitler içerdiği değerlendirilmektedir. Şekil 6.10 (d), (f) ve (g)’ de ise D tipi küresel oksitler içeren inklüzyon olduğu değerlendirilmiştir.

Alüminyum bileşiklerinin özellikle hacimce etkisi büyük olan alüminyum bileşiklerinin en fazla hasara neden olduğu bilinmektedir. Al_2O_3 'ün numunede boyut ve yüzde oranı olarak istenilen seviyede kalması gerekmektedir. %20 oranındaki Al_2O_3 bileşiğin bulunduğu malzemelerde en fazla deformasyon olduğu bilinmektedir [30].



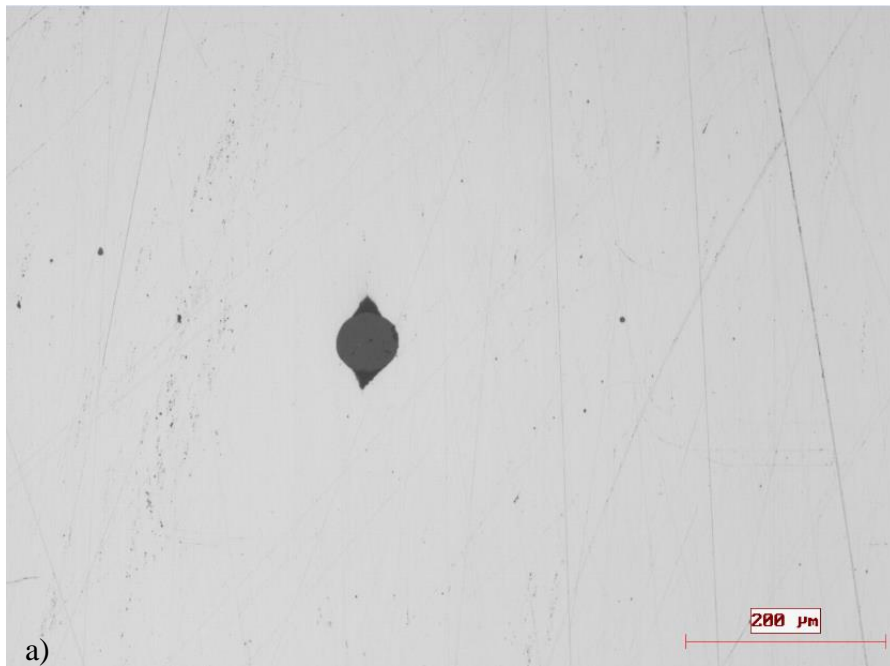


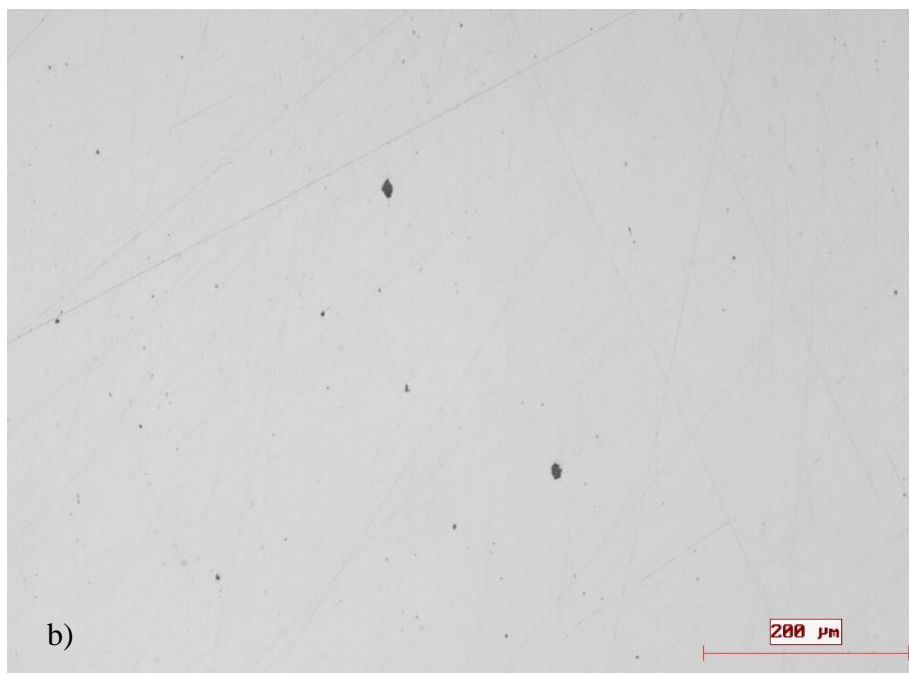


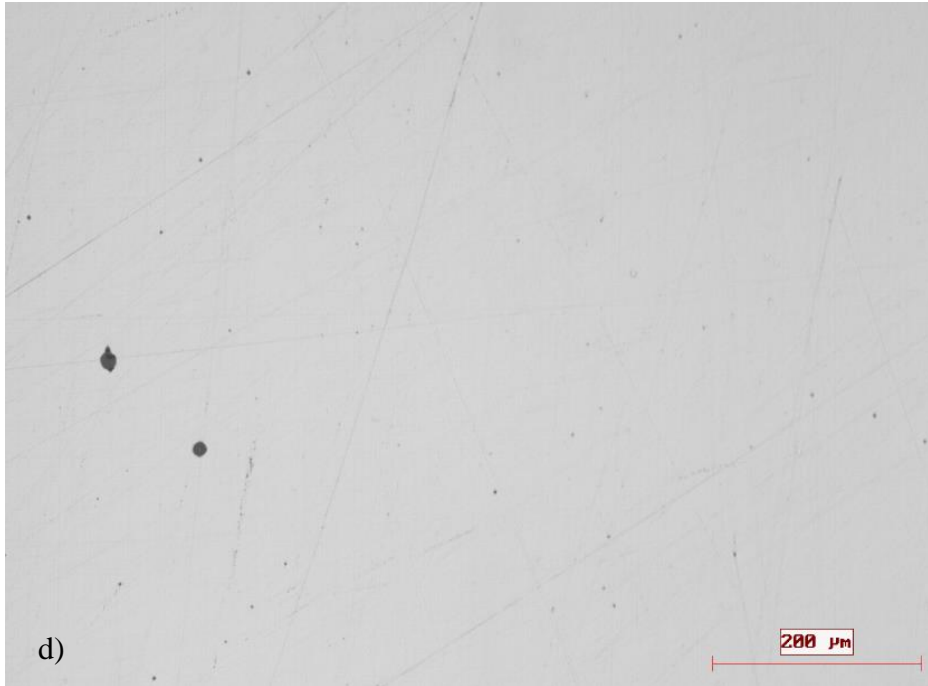


Şekil 6.10. 1 numaralı numuneye ait inklüzyonlar (a, b,c, d, e, f, g).

Şekil 6.11 (a), (b), (c), (d), (e) ve (f)' de D tipi küresel oksitler içeren inklüzyon olduğu değerlendirilmiştir. Inklüzyonların belli bölgelerde dağılmış olması dikkat çekmektedir. Şekil 6.11 (g)' de B tipi bir inklüzyon bulunduğu görülmektedir. Inklüzyon açısız kontürler bulundurmaktadır ve en boy oranı 3'ün üzerindedir. Bu inklüzyonun alüminyum oksitler içerdiği değerlendirilmektedir.









Şekil 6.11. 2 numaralı numuneye ait inklüzyonlar (a, b, c, d, e, f, g).

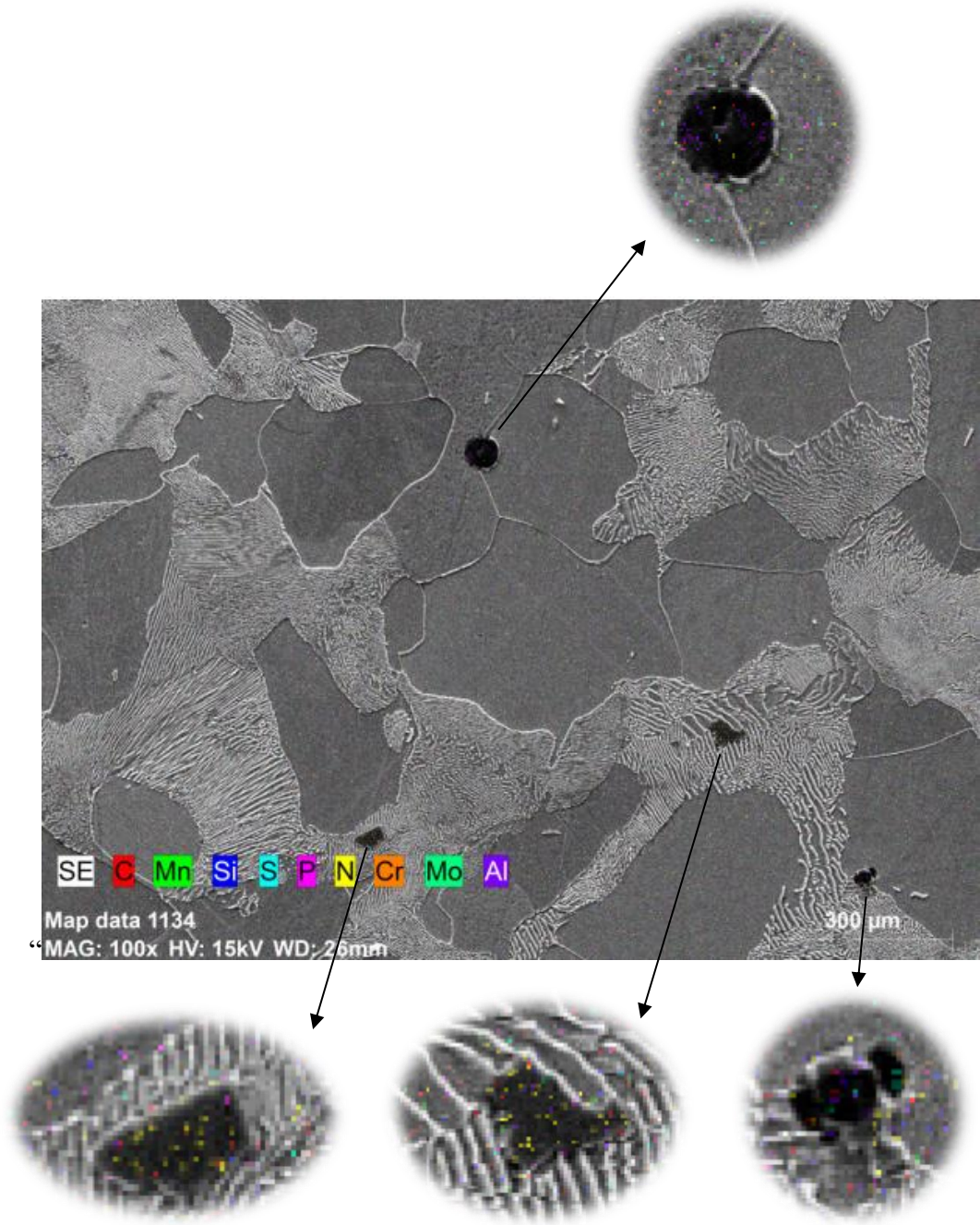
Şekil 6.12 (a) koyu gri renkte ve sivri uçlar bulunduran bir inklüzyon içermektedir. Bu özellikleri sebebiyle inklüzyonun C tipi bir inklüzyon olduğu değerlendirilmiştir. Şekil 6.12 (b)'de D tipi küresel oksitler içeren inklüzyon olduğu değerlendirilmiştir.





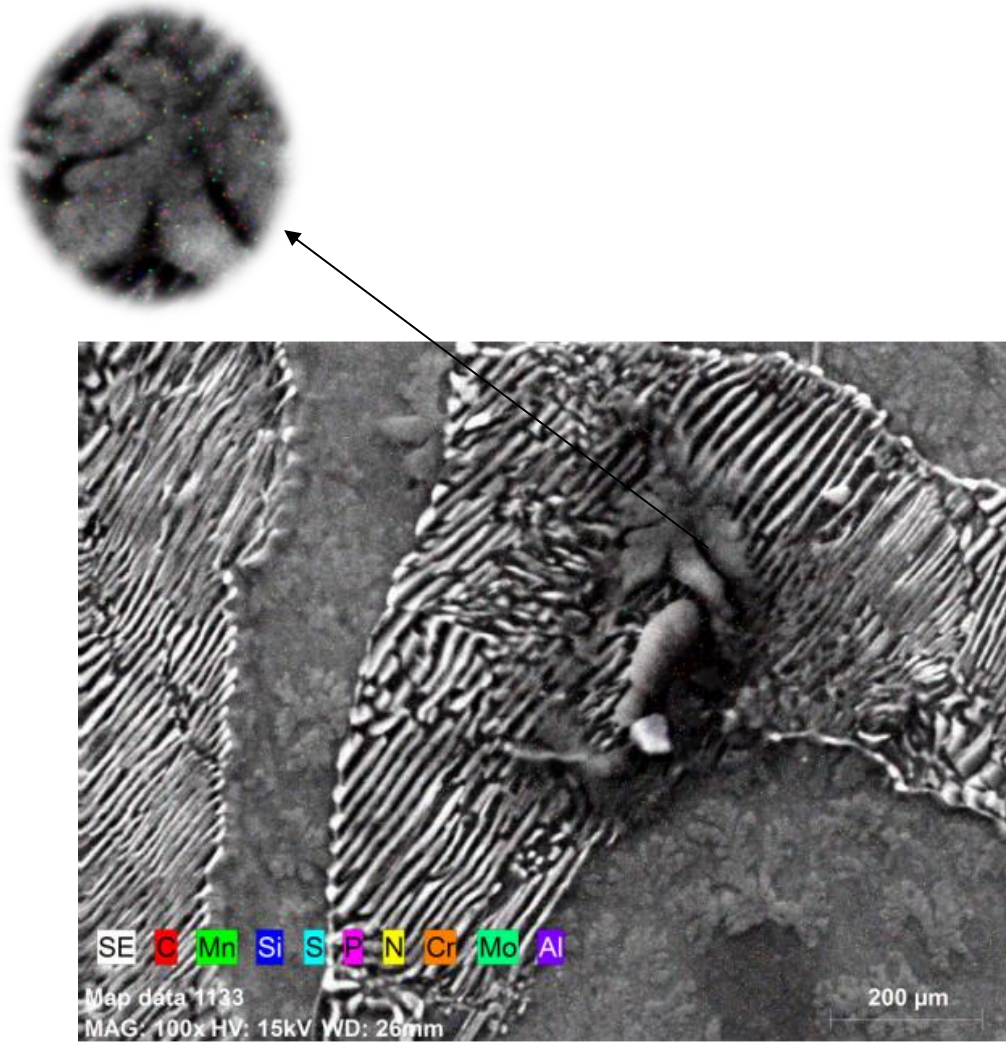
Şekil 6.12. 3 numaralı numuneye ait inklüzyonlar (a, b, c).

Şekil 6.13' ün SEM görüntülemesinde inklüzyonların yakınlştırılmış EDX analizinde azot ve alüminyum elementleri yer almaktadır. Azotun dökümden gaz giderme sırasında malzemede kalıntı olarak bulunduğu değerlendirilmektedir ve alüminyumun alüminyum oksitlerden kayanaktanabileceği değerlendirilmektedir.

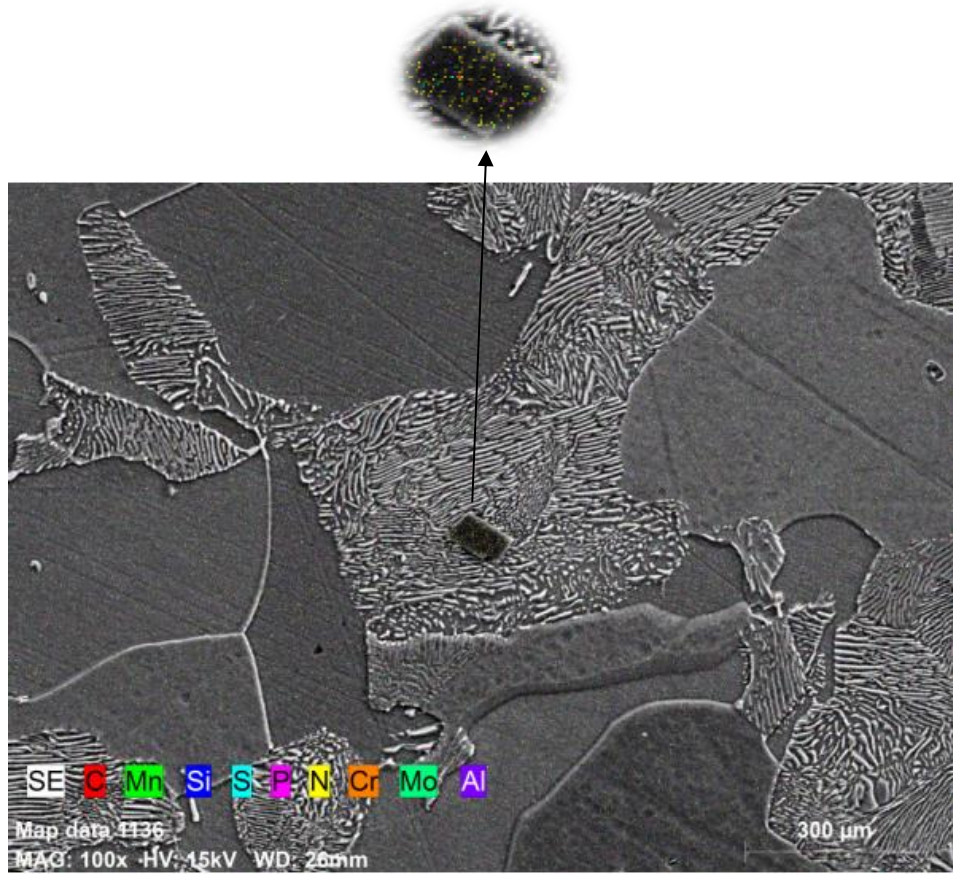


Şekil 6.13. Numune 1-m 2kx büyütme.

Şekil 6.14' ün SEM görüntülemesinde inklüzyonların yakınlaştırılmış EDX analizinde büyük oranda azot ve fosfor elementleri yer almaktadır. Azotun dökümden gaz giderme sırasında malzemede kalıntı olarak bulunduğu değerlendirilmektedir. Fosforun eser miktarda oluşu alaşım elementinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

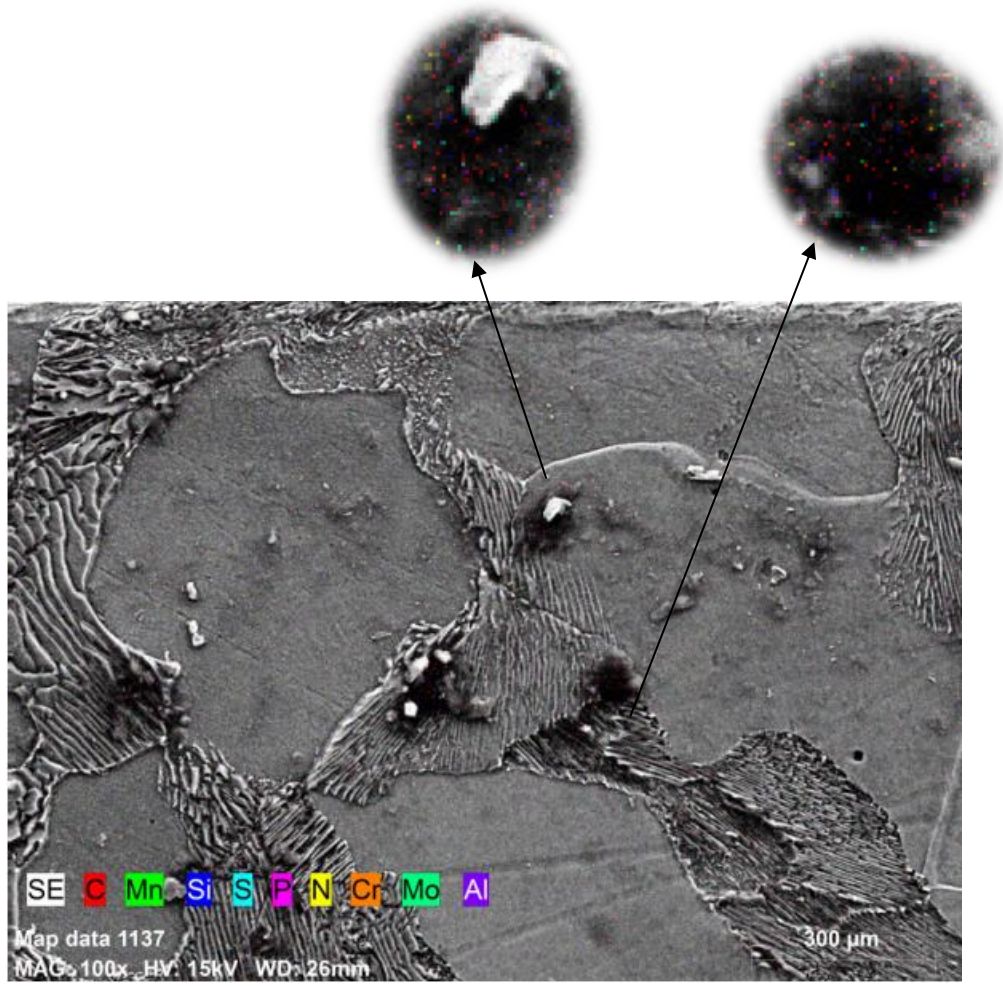


Şekil 6.14. Numune 1-m 10kx büyütme.



Şekil 6.15. Numune 2-m 5kx büyütme.

Şekil 6.15' in SEM görüntülemesinde inklüzyonların yakınlştırılmış EDX analizinde büyük oranda azot ve eser miktarlarda alaşım elementleri bulunmaktadır. Azotun dökümden gaz giderme sırasında kalıntı olarak var olduğu, mangan ve kükürtün MnS kalıntısından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

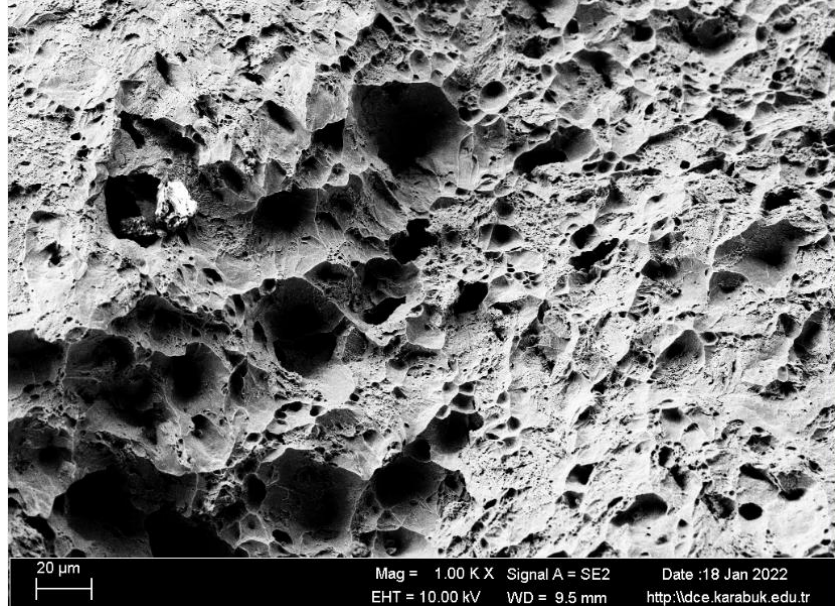


Şekil 6.16. Numune 3-m 5kx büyütme.

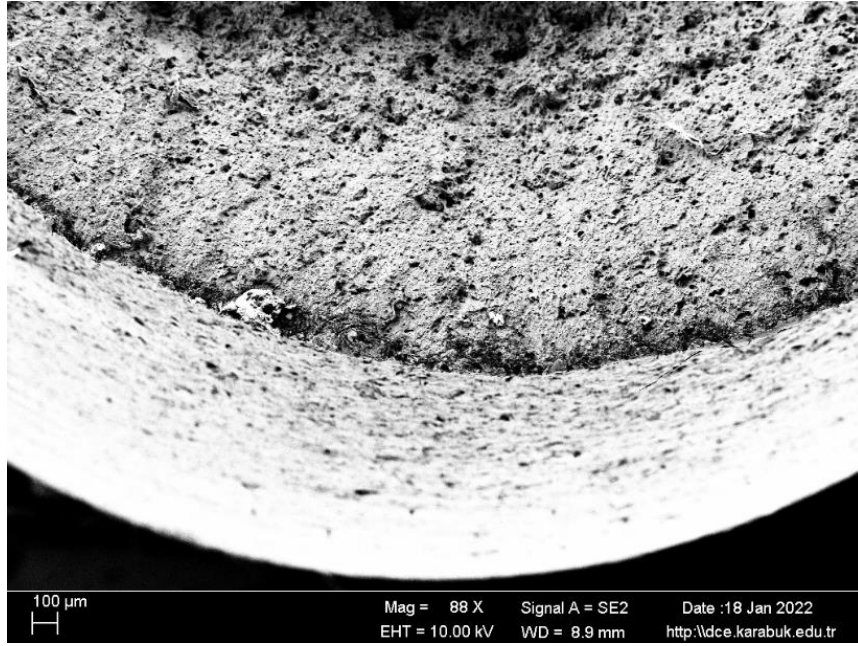
Şekil 6.16' ün SEM görüntülemesinde inklüzyonların yakınlştırılmış EDX analizinde büyük oranda karbon ve eser miktarlarda alaşım elementleri bulunmaktadır. Karbonun karbürden kaynaklı olarak analizde karşımıza çıktığı değerlendirilmektedir.

6.5. SEM İNCELEMESİ

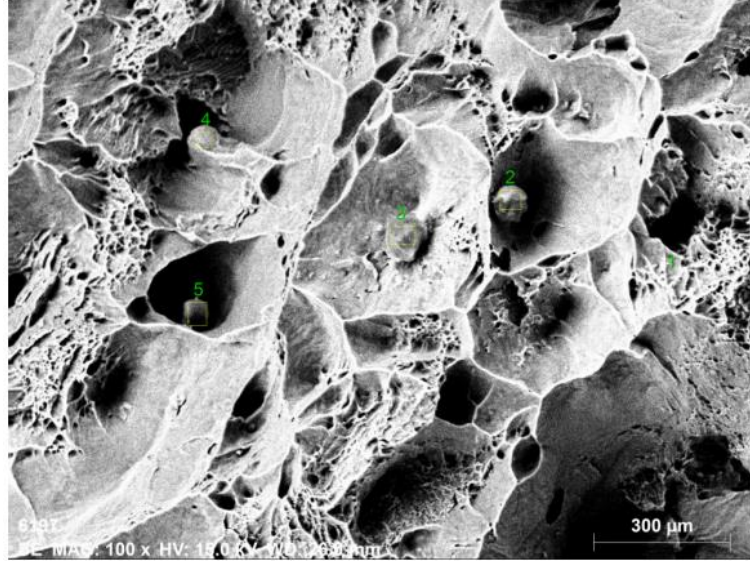
Mikroyapı (1-m, 2-m, 3-m), çekme testi (1-c, 2-c, 3-c), darbe testi (1-1-d, 2-2-d, 3-3-d) numuneleri Nikon MA200 electron mikroskobu ile görüntülenmiştir. Numunelere mapping ve EDX analizi yapılmıştır. Aşağıda analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.17. Numune 1-c 1kx büyütme.

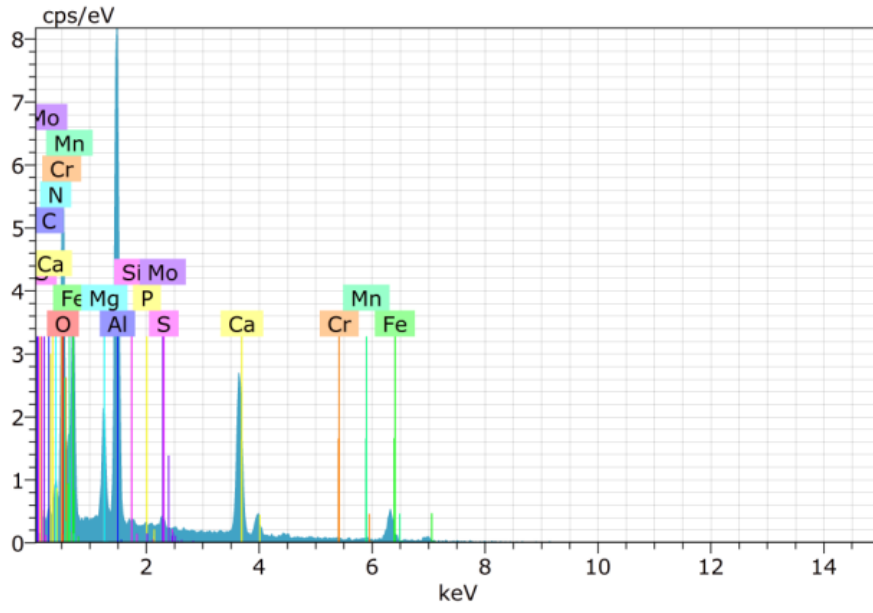


Şekil 6.18. Numune 1-c 88x büyütme.

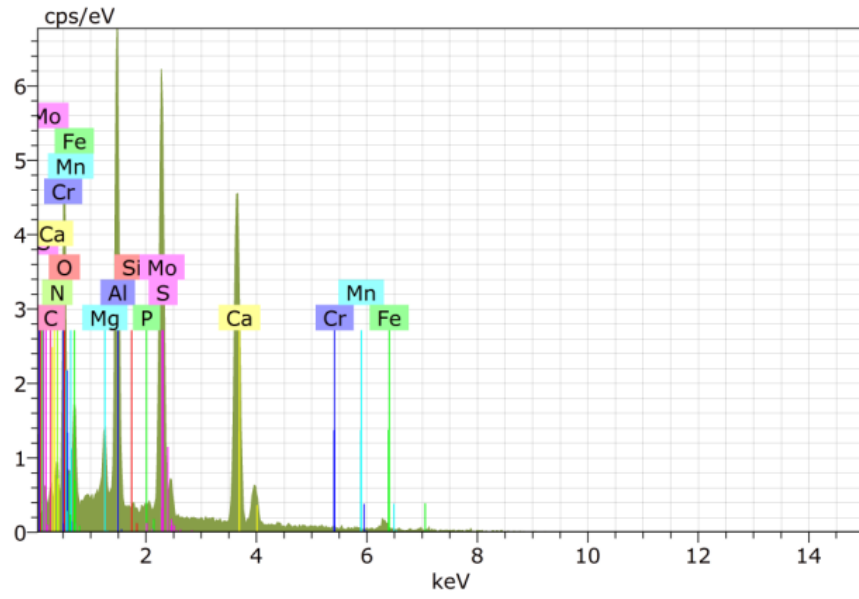


Şekil 6.19. Numune 1-c 5kx büyütme.

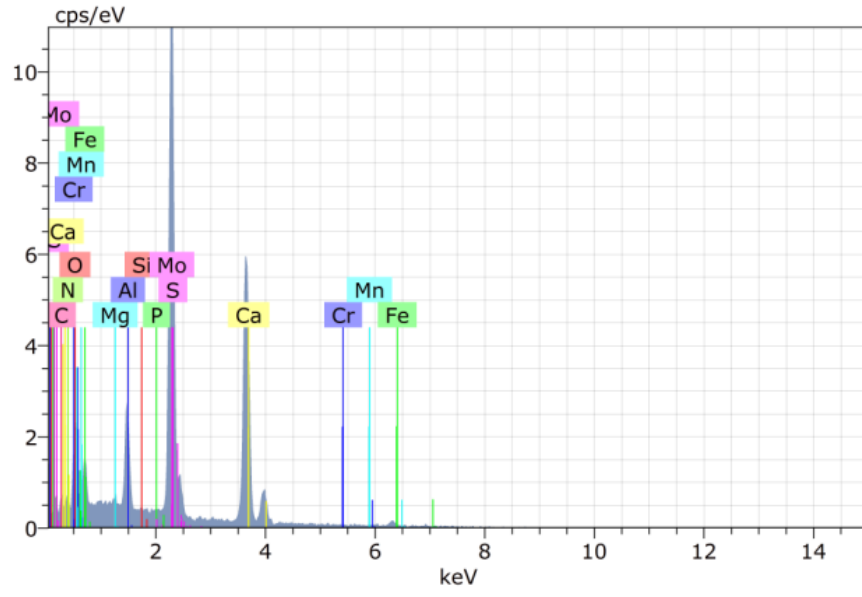
Şekil 6.19’ da analizin işaretlenen 1. bölgesinde alüminyum miktarında yoğunluk görülmektedir. Buradaki inklüzyonun alüminyum oksit kaynaklı olduğu değerlendirilmektedir. 2. bölgede alaşım elementlerinin haricinde kalsiyum elementi dikkat çekmektedir. 3. bölgede alüminyum ve kalsiyum yoğunluğu bulunmaktadır. Alüminyum oksitlerden kaynaklı inklüzyonlar olduğu değerlendirilmektedir. 2, 3, 4. ve 5. bölgelerde ise alaşım elementlerinin dışında sadece kalsiyumun yoğun olarak grafikte yer aldığı, kalsiyumun kalıp refrakterinden döküme geçerek kalıntıya neden olduğu değerlendirilmektedir.



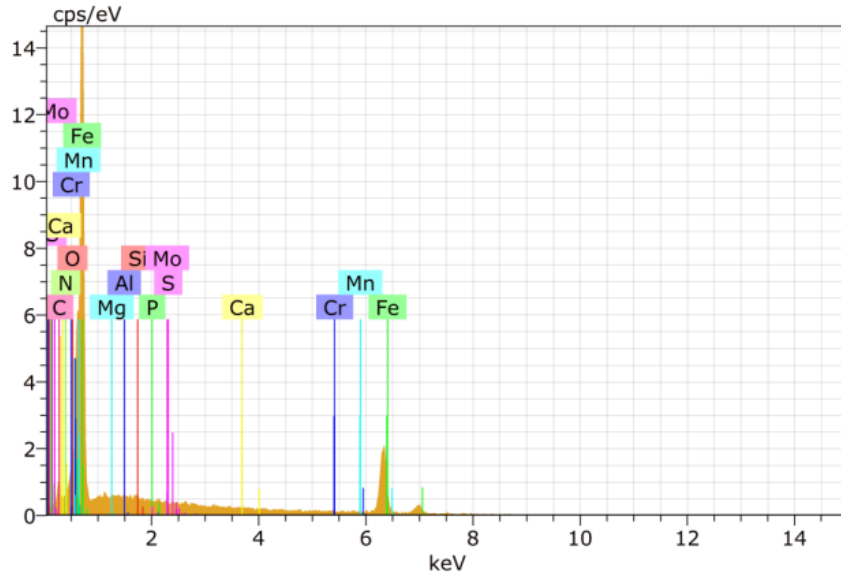
Şekil 6.20. Numune 1-c 1. bölge EDX grafiği.



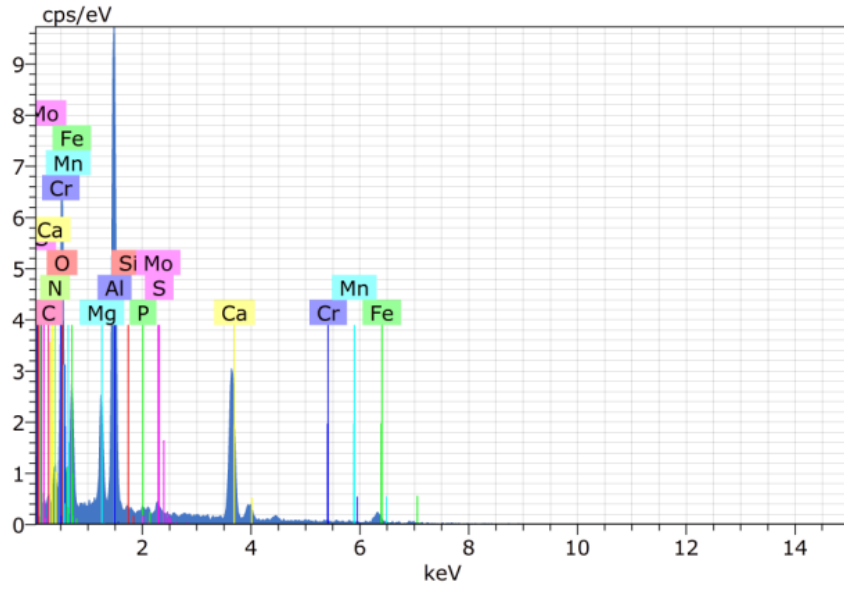
Şekil 6.21. Numune 1-c 2. bölge EDX grafiği.



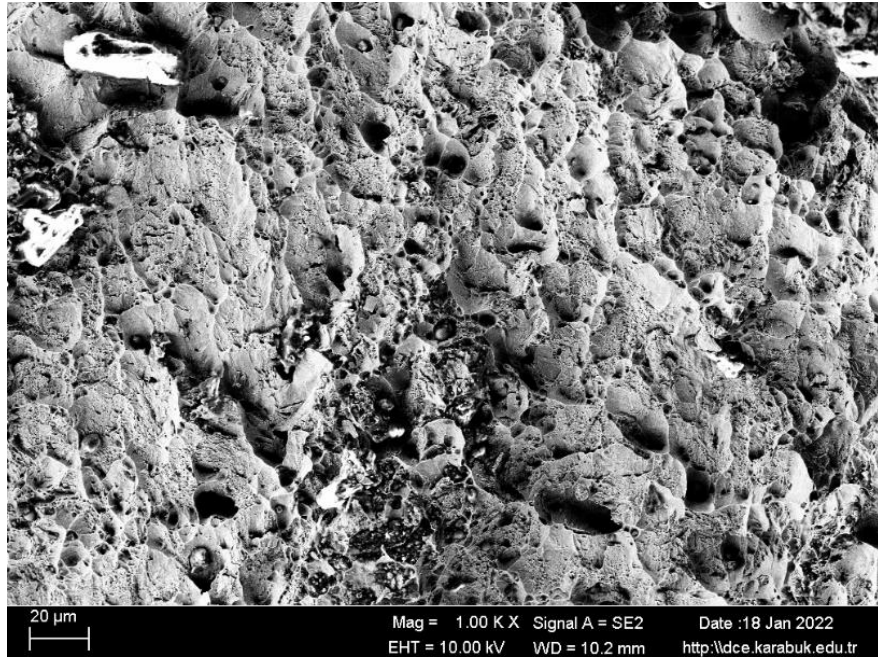
Şekil 6.22. Numune 1-c 3. bölge EDX grafiği.



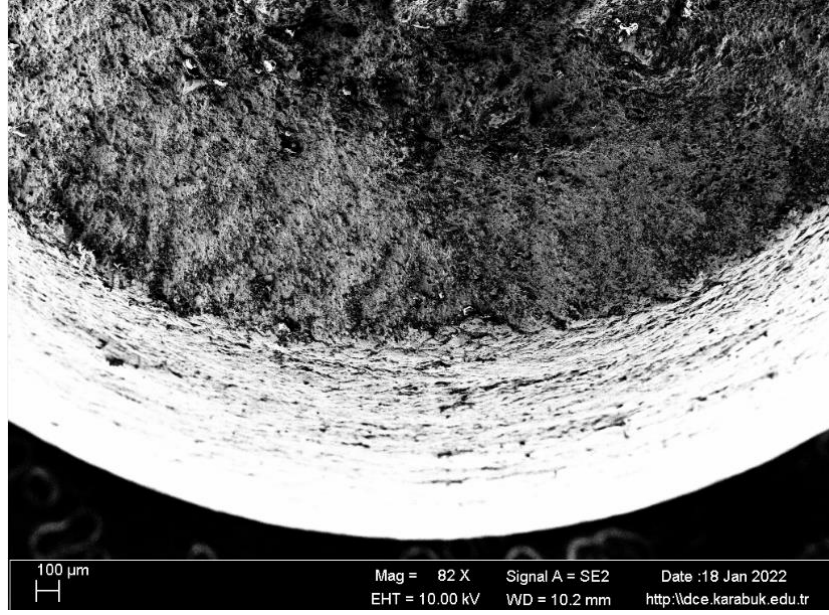
Şekil 6.23. Numune 1-c 4. bölge EDX grafiği.



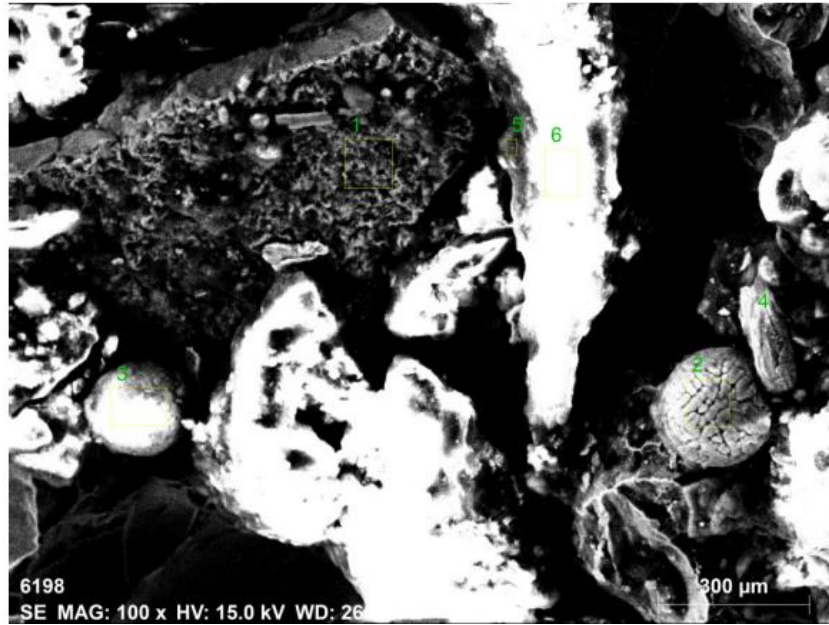
Şekil 6.24. Numune 1-c 5. bölge EDX grafiği.



Şekil 6.25. Numune 2-c 1kx büyütme.

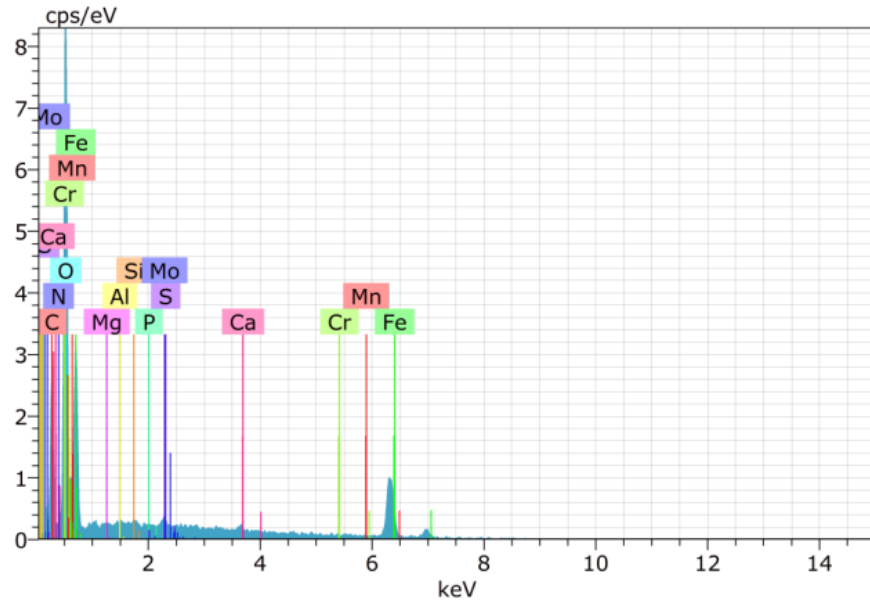


Şekil 6.26. Numune 2-c 88x büyütme.

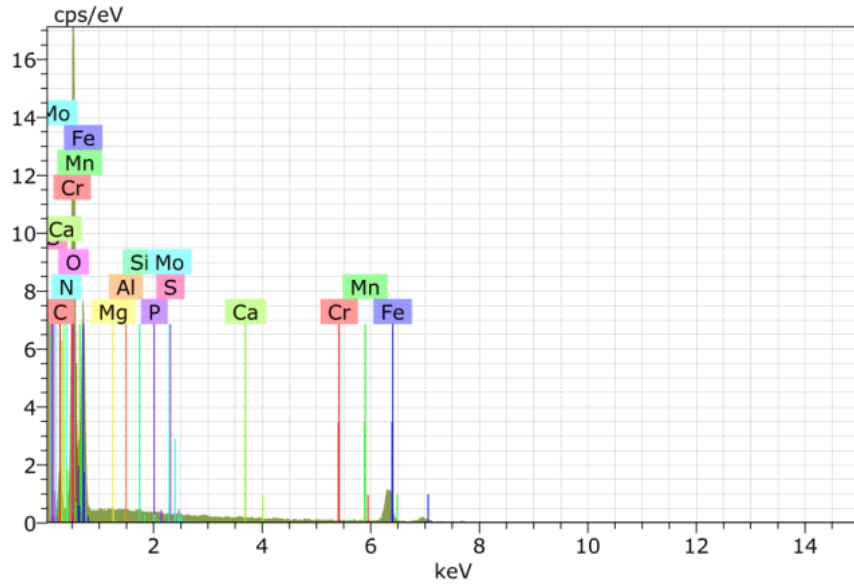


Şekil 6.27. Numune 2-c 5kx büyütme.

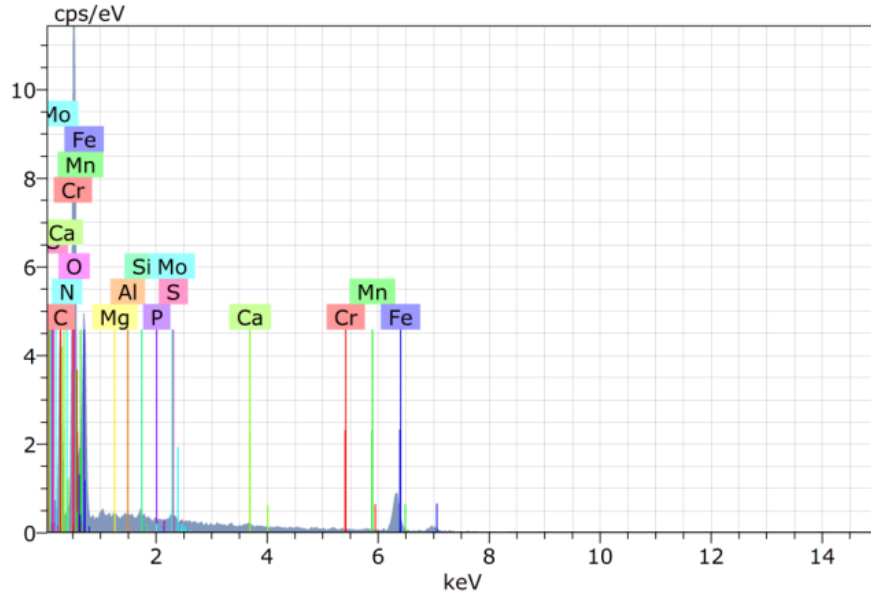
Şekil 6.28 EDX analizinde mangan ve kükürt oranlarının deoksidasyon nedeniyle yapıda meydana gelen MnS kalıntısı nedeniyle var olduğu değerlendirilmektedir. Optik mikroskop görüntülerinde küresel inklüzyonların yoğunlukta olması reoksidasyon sırasında meydana gelmiş oksitler olarak değerlendirilmektedir.



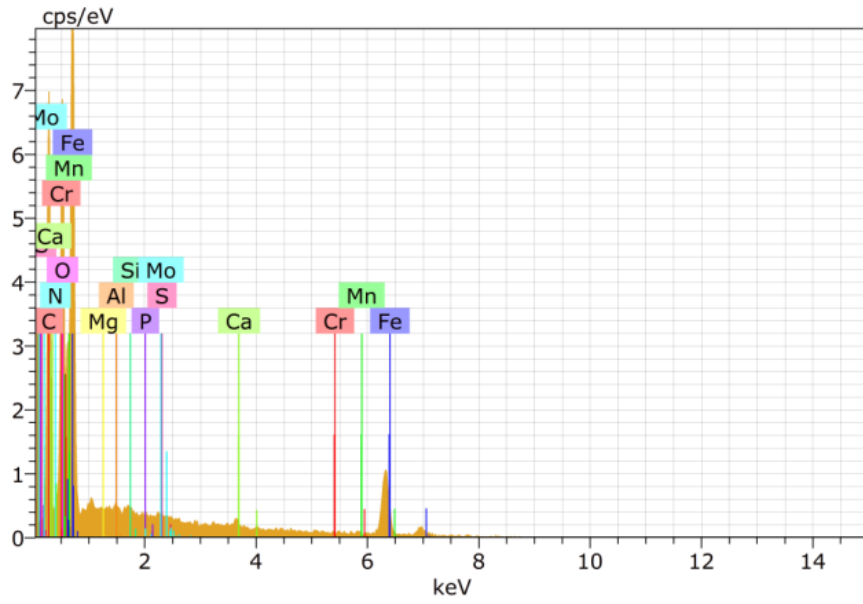
Şekil 6.28. Numune 2-c 1. bölge EDX grafiği.



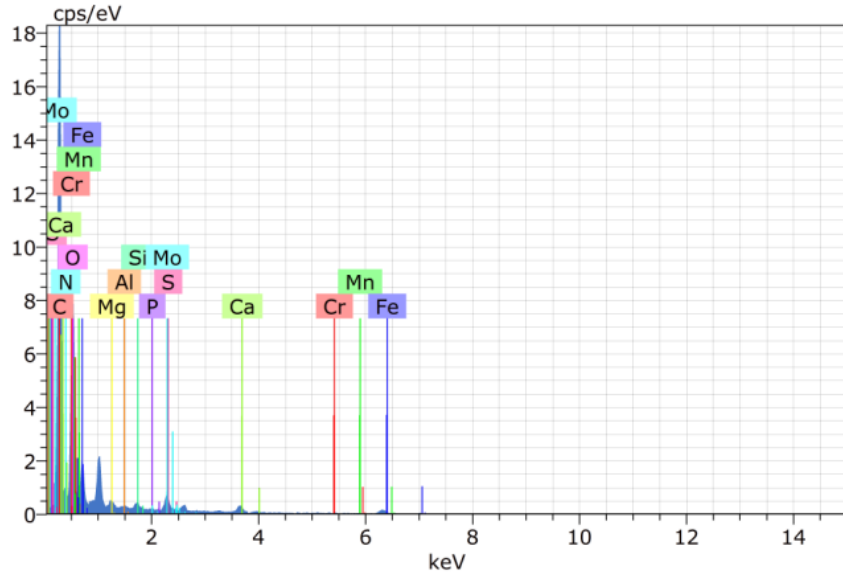
Şekil 6.29. Numune 2-c 2. bölge EDX grafiği.



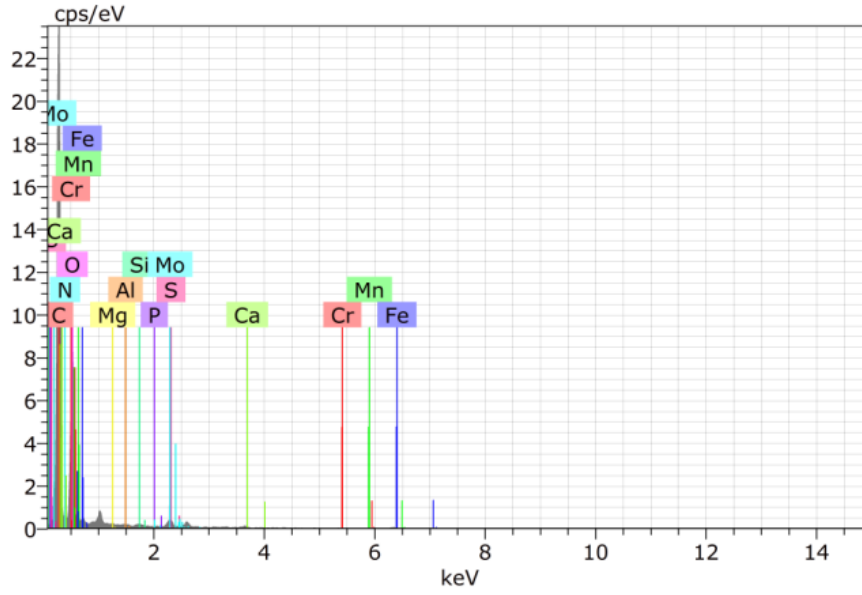
Şekil 6.30. Numune 2-c 3. bölge EDX grafiği.



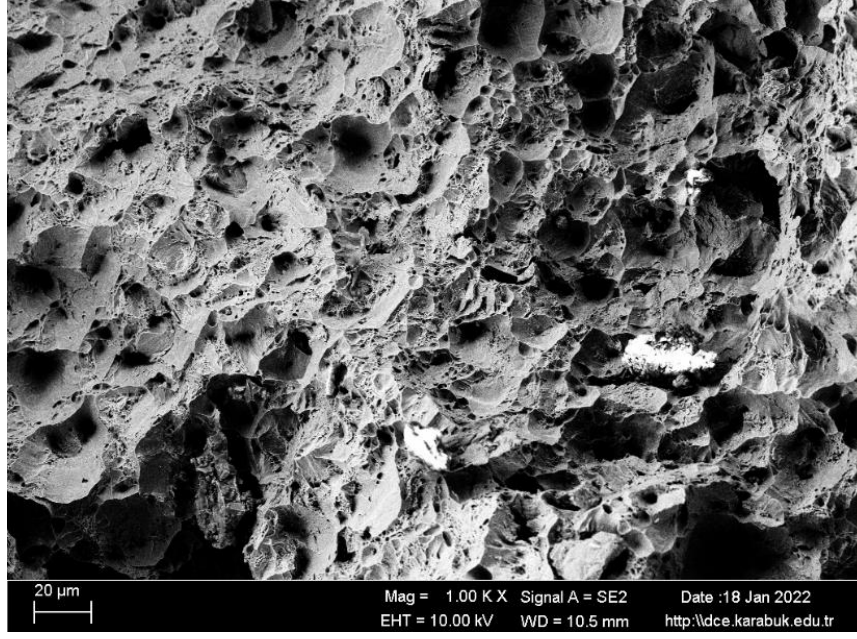
Şekil 6.31. Numune 2-c 4. bölge EDX grafiği.



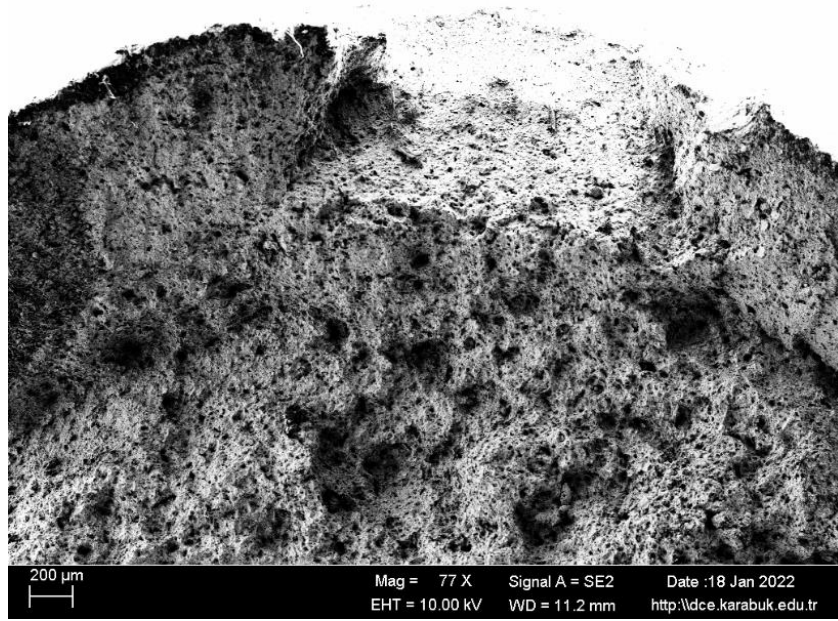
Şekil 6.32. Numune 2-c 5. bölge EDX grafiği.



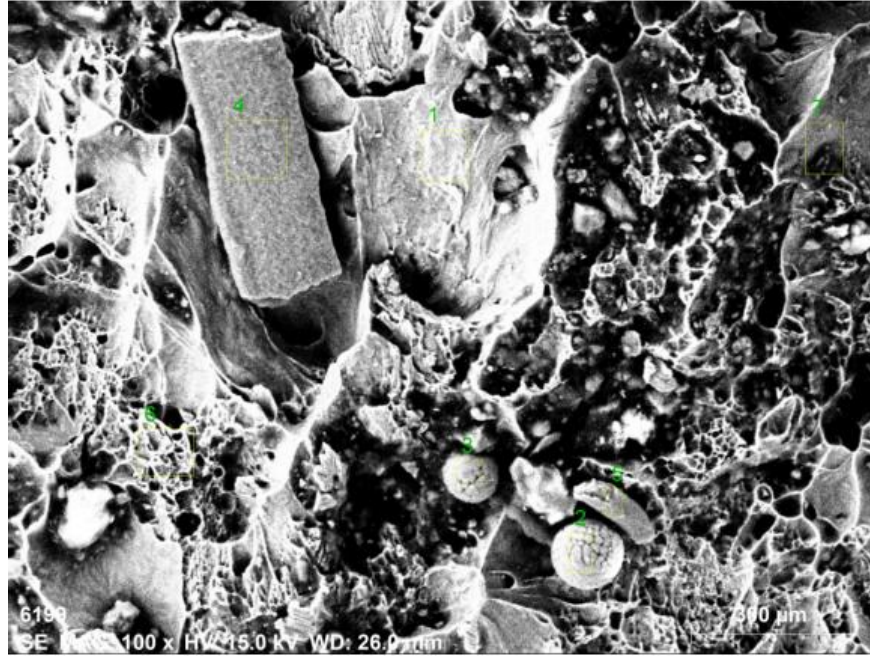
Şekil 6.33. Numune 2-c 6. bölge EDX grafiği.



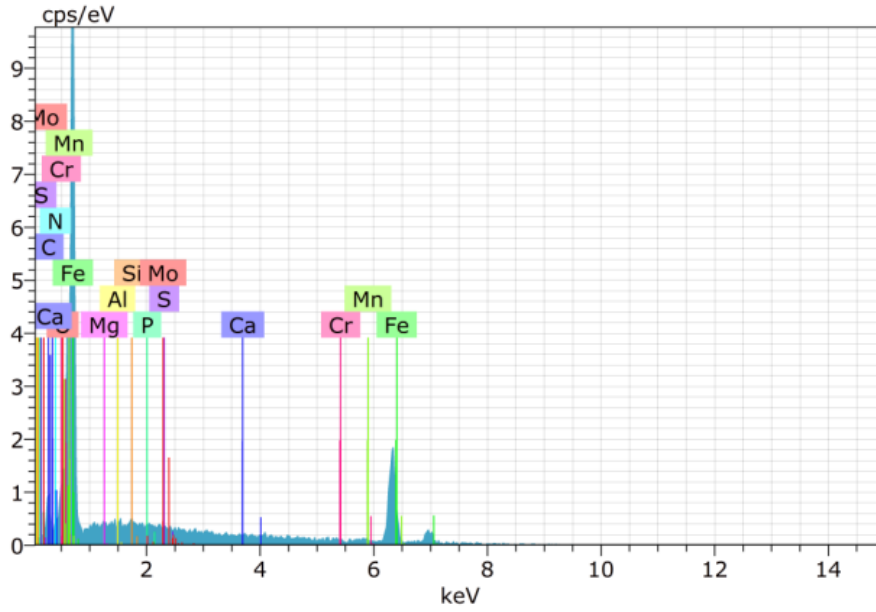
Şekil 6.34. Numune 3-c 1kx büyütme.



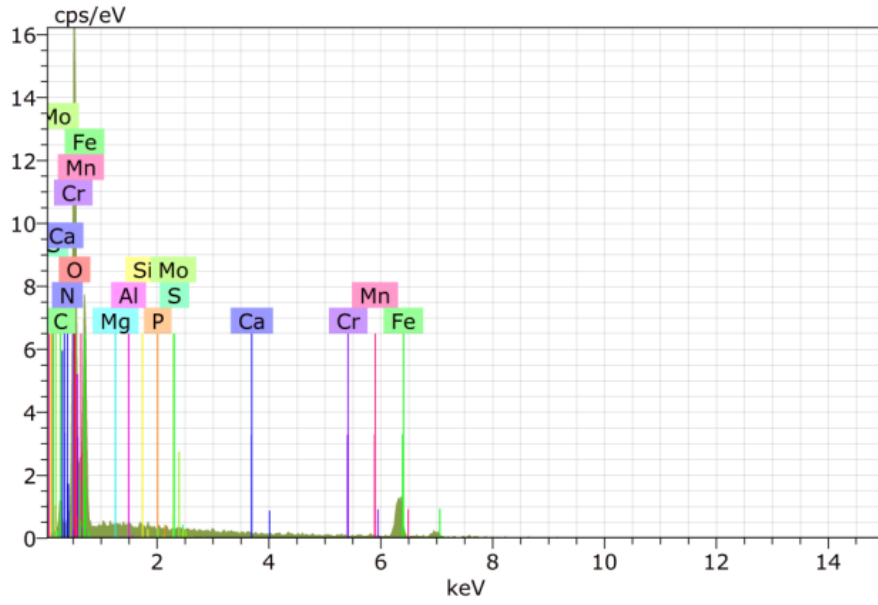
Şekil 6.35. Numune 3-c 77x büyütme.



Şekil 6.36. Numune 3-c 5kx büyütme.

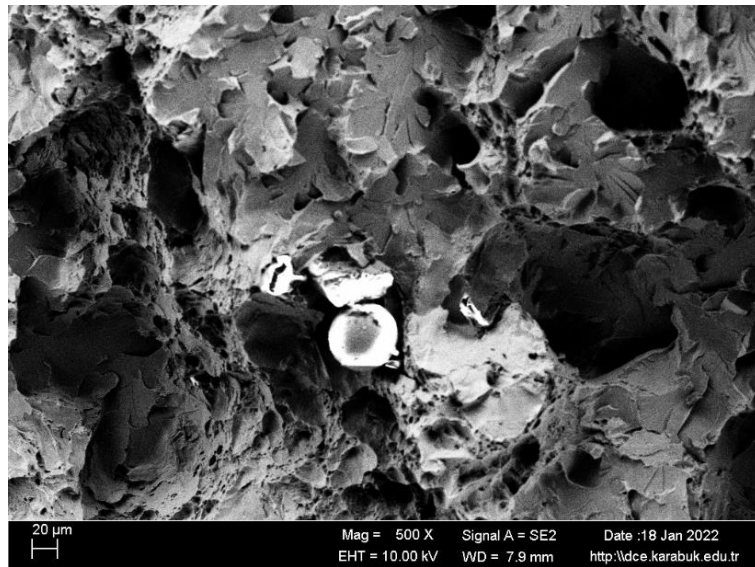


Şekil 6.37. 3-c numunesi 1. bölge EDX analizi.

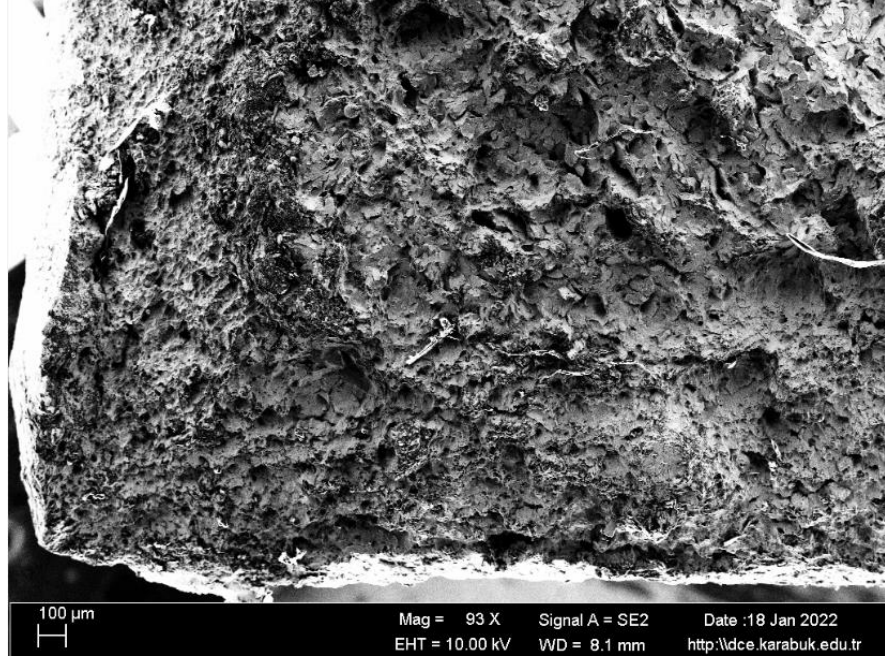


Şekil 6.38. 3-c numunesi 2. bölge EDX analizi.

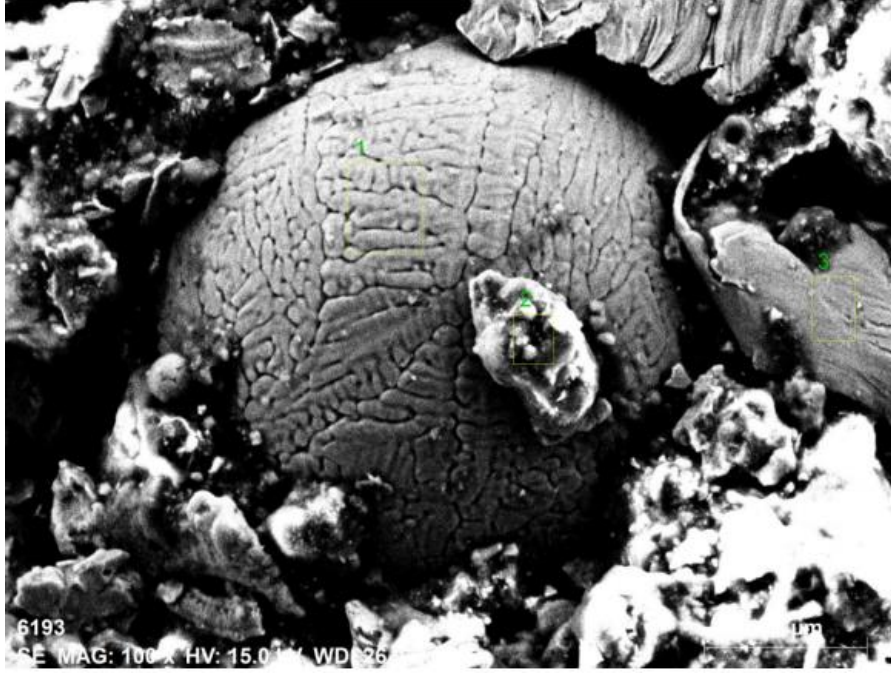
3 numaralı numunenin SEM görüntülerinde küresel ve düz yapıda farklı kalıntılar gözlemlenmiştir. 1. Bölge EDX analizinde diğer numunelerde olduğu gibi deoksidasyon işleminden kaynaklı intermetalik ve karbürlerin oluşabileceği bilinmektedir [23]. Kalsiyum ve magnezyumun refrakter kalıptan döküm yapısına katıldığı ve magnezyumun magnezyum oksit olarak da var olabileceği değerlendirilmektedir.



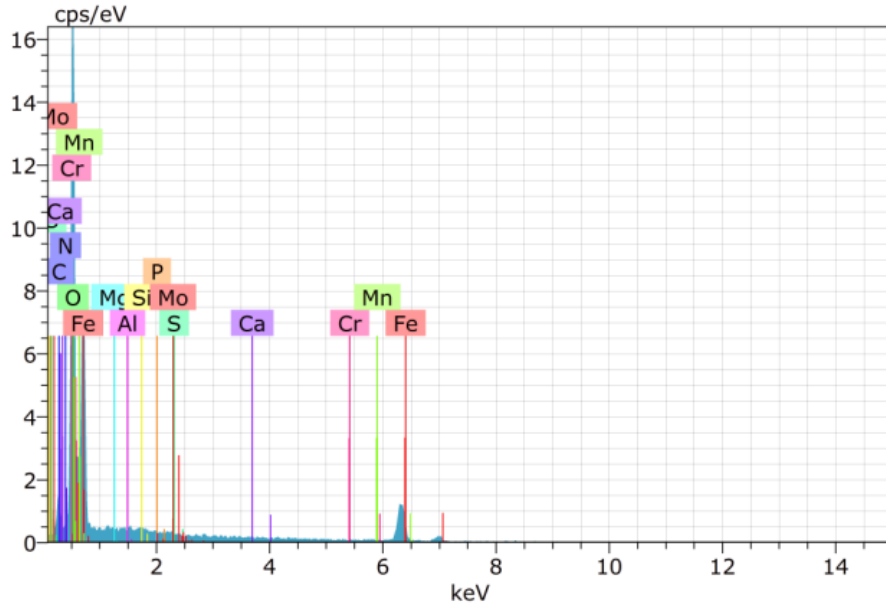
Şekil 6.39. Numune 1-d 500x büyütme.



Şekil 6.39. Numune 1-d 500x büyütme.

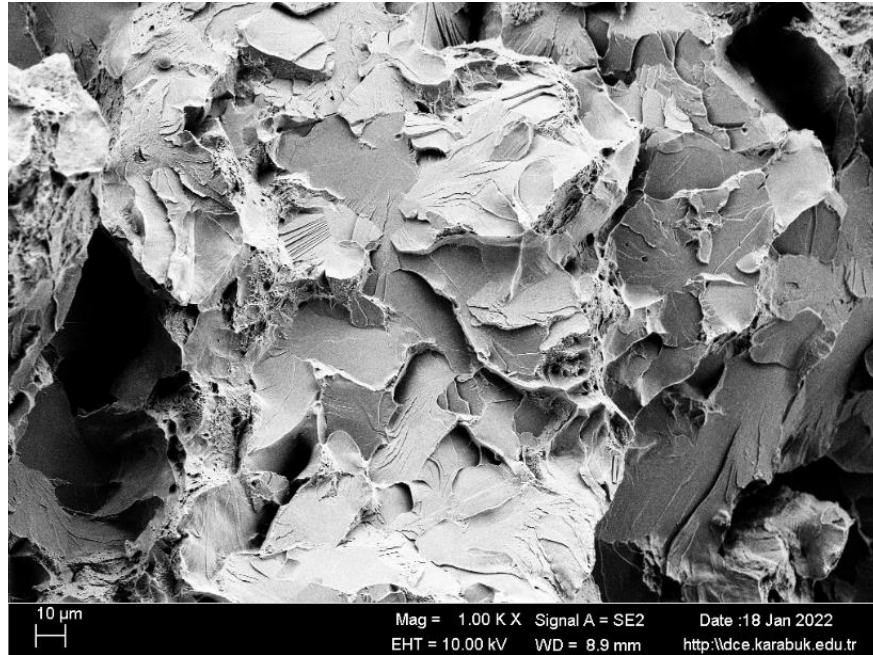


Şekil 6.41. Numune 1-d 5kx büyütme.

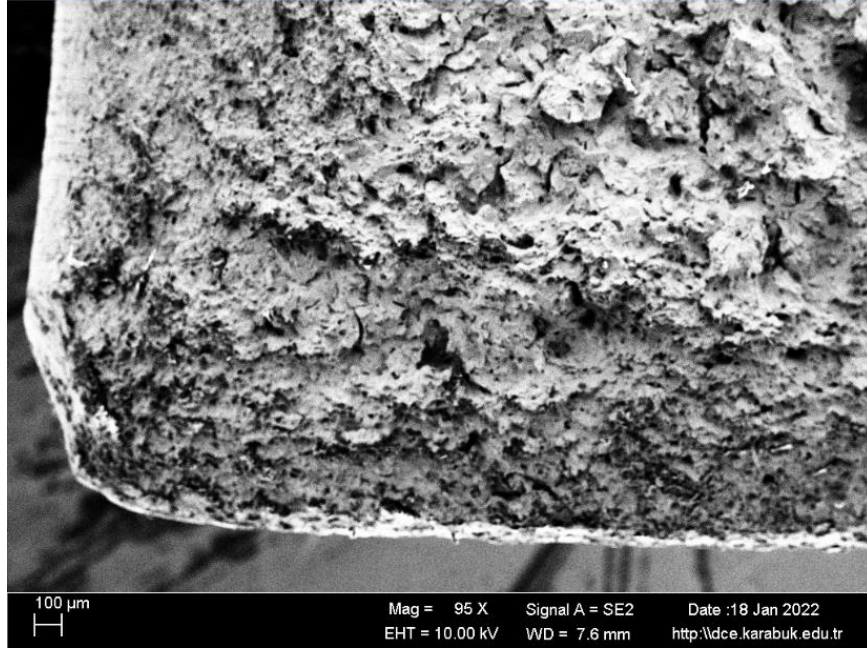


Şekil 6.42. Numune 1-d 1. bölge EDX analizi.

Şekil 6.41 1 numaralı kalıntı bölgesinde belirgin küresel yapı gözlemlenmiştir. Şekil 6.42 EDX analizi ile birlikte değerlendirildiğinde yüksek oranlardaki mangan ve kükürt elementlerinin birleşik oluşturmuş olabileceği, optik mikroskop inklüzyon görüntülerinde küresel kalıntıların yoğunluğu nedeniyle oksitlerden kaynaklı kusurların var olabileceği değerlendirilmektedir.



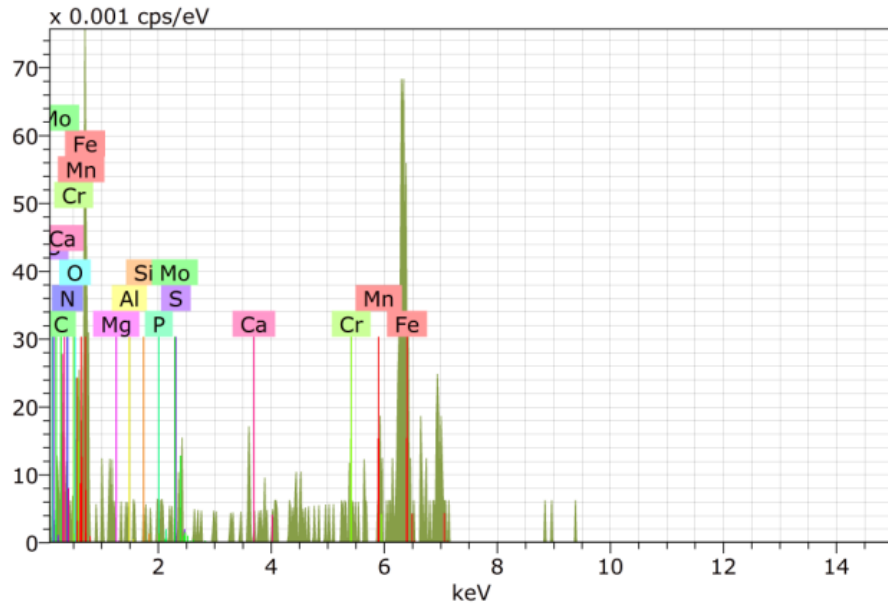
Şekil 6.43. Numune 2-d 1kx büyütme.



Şekil 6.44. Numune 2-d 95x büyütme.

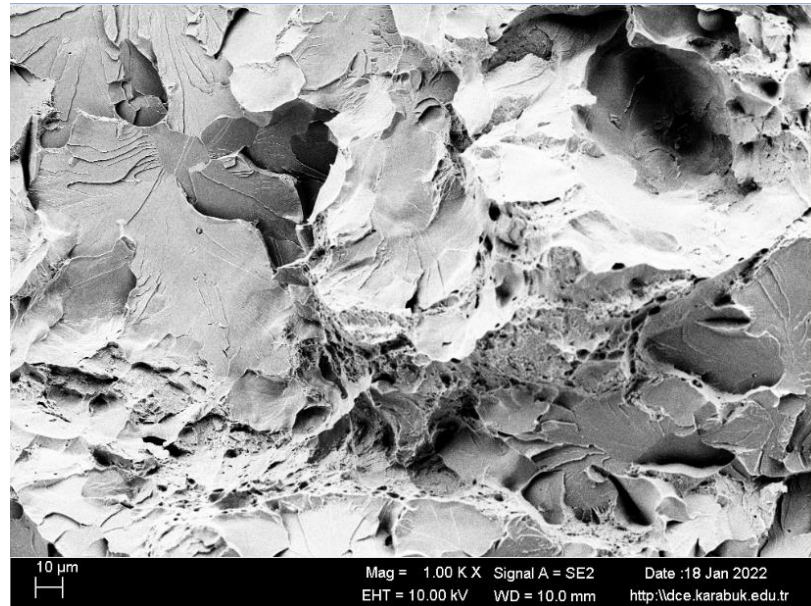


Şekil 6.45. Numune 2-d 10kx büyütme.

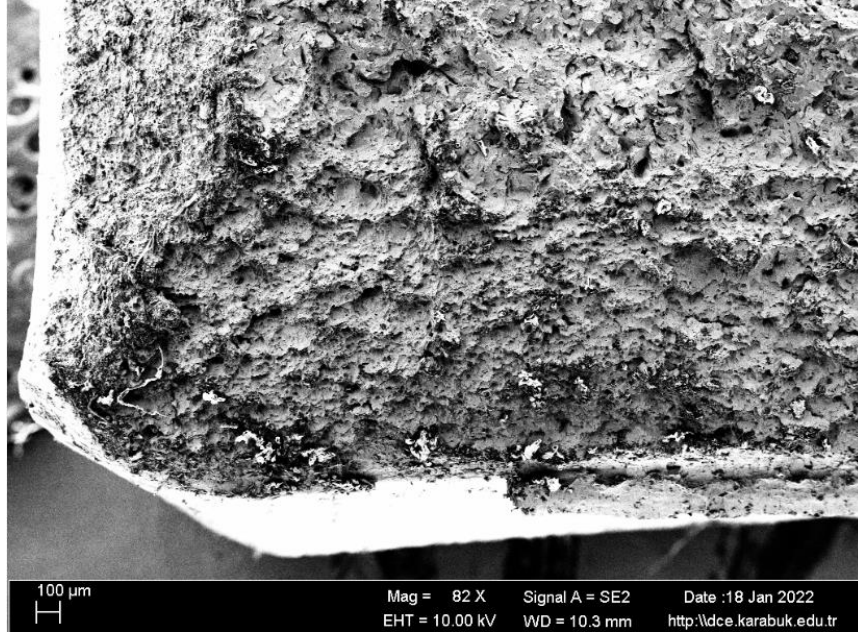


Şekil 6.46. Numune 2-d 2. bölge EDX analizi.

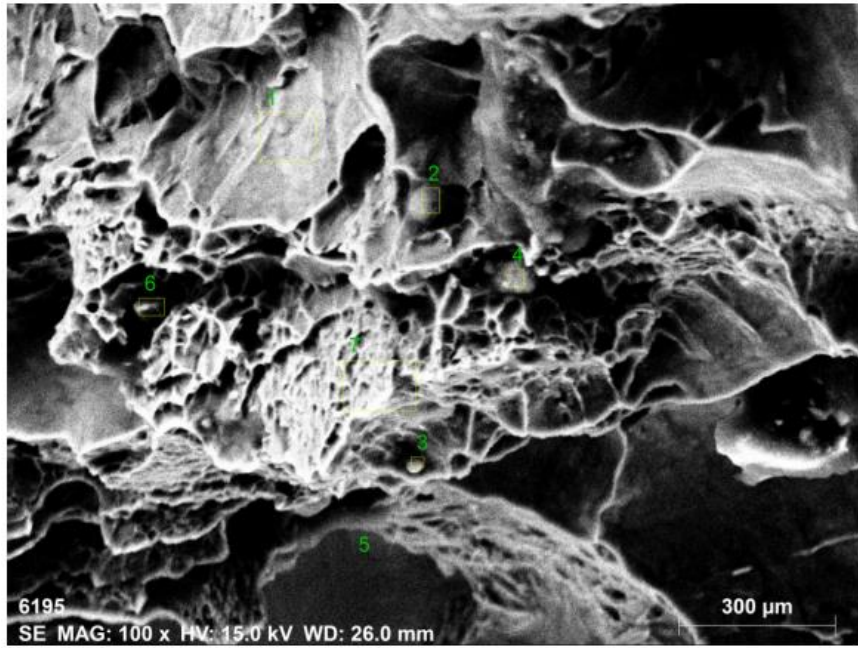
Şekil 6.46 analizinde yer alan empürite elementleri optik mikroskop inklüzyon görüntüleriyle birlikte değerlendirildiğinde 2 numaralı numunede küresel ve açılal kontürler bulundurması nedeniyle kalıntıların oksitlerden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.



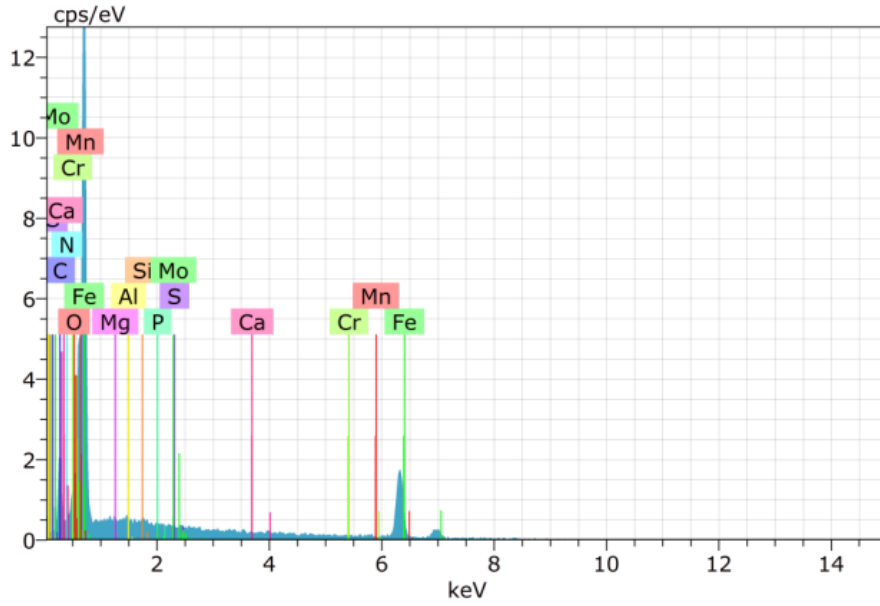
Şekil 6.47. Numune 3-d 1kx büyütme.



Şekil 6.48. Numune 3-d 82x büyütme.



Şekil 6.49. Numune 3-d 5kx büyütme.



Şekil 6.50. Numune 3-d EDX analizi.

Mikroyapı ve kimyasal kompozisyon incelemeleri ile; perlit matris içeriğinin düşürülüp, ferritik yapıya geçişin yeni dökülecek malzemede ve ısıl işlem süreçlerinde dikkate alınması gerektiği, perlit yüzdesinin düşürülüp, ferrit yüzdesinin artırılması gerektiği önerilmektedir [1]. Matrisin plastik deformasyonu perlit ile sınırlandırıldığından, matristeki daha yüksek perlit içeriği malzeme sertliğini artırır ve uzamayı azaltır [2]. Ferrit oranının artması ve tane boyutunun küçülmesi tokluk ve mukavemet değerlerinin yükselmesini sağlayacaktır. [26] Tane boyutunun küçülmesi ile plastik deformasyon başlangıcı daha yüksek gerilim değerlerine erişecektir. Tane boyutunun küçültülmesi ile geçiş sıcaklığı düşürülecek ve akma mukavemeti de artacaktır. [26]. Kükürt ve fosfor içeriğinin içeriğinin maksimum %0.005'e düşürülmesi önerilmektedir. Kükürt ve fosfor gibi empüritelerin tane sınırlarında meydana getirdikleri segregasyonların malzemede kırılganlığa yol açtığı literatür ile sabittir. Yüksek kükürt seviyesi, tane sınırlarında ayrılması nedeniyle gevrekleşmeye neden olabilir [31].

Termal döngüden kaynaklı çatlak ve kırılmaların malzeme özelliklerinden de kaynaklanabildiği, özellikle termal iletkenlik, termal genişleme katsayısı ve Young's modülünden etkilendiği bilinmektedir [32]. Daha iyi bir mukavemet için termal iletkenliğin yükseltilmesi gerekmektedir. Daha yüksek termal iletkenlik, bileşende daha düşük termal gerilmelere neden olur. Termal şoka karşı direnç için; termal

genleşme katsayısının küçük olması yani boyut değişiminin azalmasının sağlanması gerekmektedir. Termal iletkenliğin büyük olması ve ısının her tarafa dağıtılması gerekir. Bir bileşen keskin sıcaklık gradyanlarıyla yüksek termal döngüye maruz kaldığında, bileşende herhangi bir harici yük olmadan çatlamaı başlatabilen büyük termal gerilimler indüklenir. Tekrarlayan termal döngü işlemleri, termal yorgunluk olarak tanımlanan bir fenomen olan arızaya neden olan termal çatlakların yayılmasını kolaylaştırır [33].

Malzeme üzerinde bulunan süreksizlikler darbe sönümleme enerjisini düşürmektedir [34]. Palet yan kapaklarının civata bölgesindeki çatlakların bu bölgedeki civata deliğinin neden olduğu süreksizlikten kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Mukhopadhyay, G. and Bhattacharyya, S., “An Investigation On The Cracking Of Pallet Side Walls At A Sinter Plant” *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 12 (4): 354–360 (2012).
2. Sarkar, P. P., Dhua S.K., Dhara, S. and De, S.K., “Metallurgical Investigation Into The Failure Of An Iron Ore Sintering Car Pallet”, *Engineering Failure Analysis*, 63, 31-42 (2016).
3. İnternet : “Döküm Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları“, <https://tolgakaranfil.webnode.com.tr/products/dokum-yonteminin-avantaj-ve-dezavantajlari/> (2014).
4. Özdoğru, E. F., “CrCoNi Süperalaşımın Yüksek Sıcaklık Oksidasyon ve Karburizasyon Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesini Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32 (2002).
5. Eryürek, B., “Hasar Analizi”, *Birseni Yayınevi*, İstanbul, 2-3 (1993).
6. Güven, Ş. Y. ve Çelik, D., “SAE 4340 Çeliğinde Isıl İşlem Parametrelerinin Yorulma ve Mikro Yapı Üzerine Etkisi”, *Teknik Bilimleri Dergisi*, 8(2): 55-61 (2018).
7. Adın, H., “Çeliklerin Çalışma Ortamlarının Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Yaşam Bilimleri Dergisi*, 6 (2/2): 170-173 (2016).
8. Küyükoğlu, M., “Ogzalit, Tungstat, Molibdat Ve Fosfatın Saf Çinkonun Sulu Ortamdaki Korozyonuna Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3 (2010).
9. Öndürücü, A. ve Kanbir, Ö., “Bir Greyderin Dişli Rotorunun Hasar Analizi”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(2): 599-606 (2017).
10. İzgiz, S., “Demir Cevherlerinin Peletlenmesi”, *Madencilik*, 48-49.
11. Özgürlük, Y., “Toz Metalurjisi Deneyi”, *Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, Bartın, Kardemir A.Ş. Sinter Tesisleri Notları, Karabük (2016).

12. Kuşoğlu, İ., M., “Demir Esalı Metal Tozlarından Geleneksel ve Mikrodalga Sinterleme Yöntemleri ile Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 11 (2011).
13. Çelik, S., “SAE AISI 4140 Çeliğine Uygulanan Farklı Isıl İşlemlerin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *On Dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 2 (2017).
14. Karabayrak, B., “Düşük Alaşımli Çeliklerin Yorulma Davranışlarına Çelik Temizliğinin Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 1 (2017).
15. Uzkut, M., Özdemir, İ., “Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 3(3): 65-73 (2001).
16. Kesti, E., “Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2 (2001).
17. Balıkcı, G., “AISI 4140 Çeliğinin Sıcak Dövme Karakteristiğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 9 (2016).
18. Berns, H. and Theisen, W., “Ferrous Materials: Steel and Cast Iron 1th ed.”, *Springer*, Berlin, 39 (2008).
19. Elieyioğlu, S., “Çeliklerin Isıl İşlem Altında Gösterdiği Yapısal Değişikliklerin Taramalı Elektron Mikroskobu (Sem) Ve Mössbauer Spektroskopisi İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 27-28 (2005).
20. Shackelford, J. F. and Alexander, W., “CRC Materials Science and Engineering Handbook 3rd.ed.”, *CRC Press LLC*, 1714 (2001).
21. İnternet : Steel Grades, “Mechanical Properties os Steel Grade GS-17Crmo5-5”, <https://www.steel-grades.com/Steel-Grades/Mould-Steel/GS-17CrMo5-5.html> (2021).
22. Hasırcı, H., “Çelik Dökümde Alternatif Gaz Giderme Malzemesi Olarak Alüminyum Cürufu Kullanımının İncelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 641-647, (2020).
23. Sevinç N., “Çelik Üretiminin Fizikokimyasal Esasları”, *Erdemir Seminer Notları*, Zonguldak, (2015).
24. İnternet: NSC Çelik, “İslah Çeliklerinin Kesite ve İslah İşlemine Bağlı Olarak Mekanik Özellikleri”, <http://www.nsccecik.com/islahcelikleri.html> (2014).

25. Taş, Z., “Nb-V-Alaşimli Boru Çeliklerinde Mikroyapı - Mekanik Özellikler İlişkisi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (1-2) 152-160 (2006).
26. İnternet : Leica Microsystem, “Changes Faced When Manually Rating Non-metallic Metallic Inclusions”, <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/rate-the-quality-of-your-steel-free-webinar-and-report/>
27. İnternet: Dökümhane, “Çelik Döküm Parçalarda kalıntı (İnklüzyon) Kaynakları”, <https://dokumhane.net/kutuphane/celik-dokum-parcalarda-kalinti-inkluzyon-kaynaklari/> (2020).
28. Şadi, K., Ünal, H. İ., Kahriman, F. ve Demircan, F. G., “Çeliklerde Segregasyon Ve Etkileri”, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, 1-2 (2009).
29. İnternet: Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Kulübü”, Metalik olmayan İnklüzyon Çeşit ve Miktarlarının SAE 1075 Kalite Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, <https://karabukmetalurji.wordpress.com/2015/10/11/metalik-olmayan-inkluzyon-cesit-ve-miktarlarinin-sae1075-kalite-celiginin-mekanik-ozellikler:ine-etkisi/> (2015).
30. Weronki, A., “Thermal Fatigue of Metals”, *Marcel Dekker*, New York, 175 (1983).
31. Fredriksson, H., Sunnerkrantz, P. -A. and Ljubinković, P., “Relationship Between Structure And Thermal Fatigue In Cast Iron”, *Materials Science and Technology*, 4 (3): 222-226, (2013).
32. Stefanescu, D. M. “Compacted Graphite Iron”, ASM Hand Book, Vol.1, 10th ed.”, *ASM International Materials Park*, Ohio, 63-66 (1990).
33. Albayrak, M. ve Kaman, M. O., “Charpy Darbe Testinin Deneysel ve Sayısal Analizi”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(3): 945-957 (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Sevdenur BOSTANCI, ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Vakıfbank Zübeyde Hanım Anadolu Lisesi Fen Bölümünde lise öğrenimini tamamladı. 2012 yılında Altınbaş Üniveristesi Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi %100 İngilizce Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp, 2017 yılında iyi bir derece ile mezun oldu. Aynı yıl Karabük Kardemir A.Ş. Sinter Tesislerinde mekanik bakım mühendisi olarak göreve başladı ve halen görevine devam etmektedir. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı.