



**KATI ÇÖZELTİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ FERRİTİK
KÜRESEL DÖKME DEMİRLERİN AŞINMA
DİRENCİNİN İNCELENMESİ**

BATUHAN ÖZUSTA

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KATI ÇÖZELTİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ FERRİTİK KÜRESEL DÖKME
DEMİRLERDE AŞINMA DİRENCİNİN İNCELENMESİ**

Batuhan ÖZUSTA

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

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KARABÜK
Eylül 2021**

Batuhan ÖZUSTA tarafından hazırlanan “KATI ÇÖZELTİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ FERRİTİK KÜRESEL DÖKME DEMİRLERDE AŞINMA DİRENCİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 01/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DEMİRTAŞ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ (KÜ)

.....

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.”

Batuhan ÖZUSTA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KATI ÇÖZELTİYLE GÜÇLENDİRİLMİŞ FERRİTİK KÜRESEL DÖKME DEMİRLERDE AŞINMA DAVRANIŞINA ETKİSİ

Batuhan ÖZUSTA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

Eylül 2021, 53 sayfa

Küresel Dökme demirlerin yeni malzemesi olan Katı Çözelti ile güçlendirilmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerin yüksek dayanım, kolay ergitme ve katma değeri yüksek bir malzeme olduğu için tercih edilmektedir. Katı Çözelti ile Güçlendirilmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerin aşınma direncinde sergilediği özellikleri endüstriyel makine parçalarının üretiminde büyük bir rol almaktadır. Bu çalışmada EN-GJS-600-10, EN-GJS-600-3 ve EN-GJS-450-18 kalitedeki küresel dökme demirlerin aşınma dirençleri incelenmiştir. Kullanılacak numuneler EN 1563 standardına uygun bir şekilde çekme, darbe ve aşınma testi numunesi şeklinde hazırlanmıştır. İy yapı görüntüleri optik mikroskop kullanılarak standartlara uygun şekilde uygulanmıştır. Hazırlanan deney numunelerine çekme, darbe ve sertlik testi yapılmıştır. Aşınma deneyleri 20 N ve 40 N yükler altında gerçekleşip aşınma mesafesi 1,5m olarak belirlenmiştir. Bununla beraber aşınma deneyleri öncesi ve sonrası

yüzeyle sterio mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve kimyasal analiz incelenmesi X-Işını kırınım yöntemiyle (XRD) uygulanmıştır.

Yapılan çalışmada katı çözeltili ile güçlendirilmiş küresel dökme demirin içerisindeki yüksek miktardaki silisyum miktarının mekanik özellikleri iyileştirdiği görülmüştür. Yapıda perlit yapısının olmaması, perlit yapısından oluşacak süneklik kaybını engellemiş olacaktır. Bu nedenle Katı Çözeltili ile güçlendirilmiş Ferritik Küresel Dökme Demirlerde dayanım 600 MPa değerine çıktığında bile uzamanın %10 seviyesine çıktığını tespit etmekteyiz. Aşınma direnci incelendiğinde Geleneksel Küresel Dökme Demirlerin Yeni Nesil Küresel Dökme demirlere göre daha yüksek oranda aşınmaya karşı direnç gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Küresel Dökme Demir, Döküm, Aşınma, Mikroyapı, Kimyasal Analiz ve Mekanik Özellikler.

Bilim Kodu : 91438

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT ON WEAR BEHAVIOR OF SOLID SOLUTION STRENGTHENED FERRITIC CAST IRON

Batuhan ÖZUSTA

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist.Prof.Dr. Harun ÇUĞ

September 2021, 53 pages.

Solid Solution Strengthened Ferritic Cast Iron which is the new material of ductile cast irons is preferred because it is a material with high strength, easy melting and high added value. Solid Solution Strengthened Ferritic Cast Iron acts an important role in the production of industrial machine parts. In this study, the abrasion resistance of EN-GJS-600-10, EN-GJS-600-3 and EN-GJS-450-18 quality spheroidal cast irons were investigated. The samples to be used were prepared as tensile, impact and wear test samples in accordance with the EN 1563 standard. Internal structure images were applied in accordance with the standards by using an optical microscope. Tensile, impact and hardness tests were performed on the prepared test samples. Abrasion test that made to used 20 N and 40 N weight, choice 1,5m wear distance.

In addition, before and after abrasion tests, surfaces were applied by stereo microscope, scanning electron microscope (SEM) and chemical analysis by X-Ray diffraction method (XRD).

In the study, it was seen that the high amount of silicon in the ductile cast iron reinforced with solid solution improved the mechanical properties. The absence of a pearlite structure in the structure will prevent the loss of ductility that will occur from the pearlite structure. For this reason, we find that elongation reaches 10% level even when the strength reaches 600 MPa in Solid Solution Strengthened Ferritic Cast Iron. It is determined that Tradition Spheroidal Cast Iron highest have than The Solid Solution Ferritic Cast Iron.

Key Word : Ductile Cast Iron, Casting, Wear, Microstructure, Chemical Analysis and Mechanical Properties.

Science Code : 91438

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezindeki çalışmanın her konusunda hem teknik açıdan hemde teorik açıdan desteğini eksik etmeyen değerli danışman Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ hocama en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda aynı yerde çalışmış olduğum bana destek olan ve fikir kaynağım olan sayın müdürüm Orhan YILMAZ ve Ünal KİRİKTİR'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda dökümlerini sağlamış olduğum her açıdan desteğini sağlayan Cer Döküm ve Makine A.Ő. 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Deneyim sahibi olduğum tüm çalışmalarda manevi olarak desteklerini eksik etmeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
DÖKME DEMİRLER.....	3
2.1. DÖKME DEMİR TÜRLERİ.....	5
BÖLÜM 3	9
KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER	9
3.2. KATILAŞMA SÜRECİ VE GRAFIT OLUŞUM EVRESİ.....	10
3.2. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFIT İÇEREN DÖKME DEMİRLERDE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ.....	12
3.3. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFIT İÇEREN DÖKME DEMİRLERDE ESER MİKTARDA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ.....	12
3.4. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFIT İÇEREN DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	12
BÖLÜM 4	15
KATI ÇÖZELTİSİYLE SERTLEŞTİRİLMİŞ FERRİTİK SFERO DÖKME DEMİRLER	15
4.1. KATI ÇÖZELTİSİ SERTLEŞMESİ.....	15

	<u>Sayfa</u>
4.1.1. Silisyum Elementini Mekanik Özelliklere Etkisi	16
BÖLÜM 5	18
AŞINMA	18
5.1 AŞINMA TİPLERİ	18
5.1.1. Adhesiv Aşınma.....	19
5.1.2 Abrasiv Aşınma	20
5.2 AŞINMA DENEYLERİ.....	21
5.2.1. Pin-ON-Disk Deneyi	22
BÖLÜM 6	24
LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	24
BÖLÜM 7	27
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
7.1. MALZEME TÜRLERİ	27
7.2. MALZEMELERİN ÜRETİMİ.....	27
7.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ	28
7.4. ÇEKME, SERTLİK ve DARBE DENEYLERİ.....	31
7.5. AŞINMA DENEYİ	33
BÖLÜM 8	35
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	35
8.1. KİMYASAL KOMPOZİSYON ANALİZİ ve MİKROYAPI SONUÇLARI	35
8.2. MEKANİK TEST DENEY SONUÇLARI	39
8.3. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	41
8.4. AŞINMA DENEYİ SONUCUNDA YÜZEY İNCELEME SONUÇLARI..	45
BÖLÜM 9	47
SONUÇLAR	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Demir-Karbon denge diyagramı	4
Şekil 2.2. Çeliklerin ve Dökme demirlerin karbon ve silisyum miktarının farklı tipleri	8
Şekil 3.1. Magnezyum ve Seryum elementleri	10
Şekil 3.2. Dökme Demirlerin grafit tipleri	11
Şekil 3.3. Dökme demirlerde toplam karbon ve silisyum oranına göre mekanik özellikleri	12
Şekil 3.4. Dökme Demirlerde alaşım elementlerin etkisi	12
Şekil 4.1. Katı çözelti sertleşmesinin temsili	16
Şekil 5.1. Aşınma türlerinin sıralanması	18
Şekil 5.2. Adhesiv Aşınma mekanizması	19
Şekil 5.3. Abrasiv Aşınma mekanizması	20
Şekil 5.4. Aşınma Deney Düzenegi	22
Şekil 5.5. Pin-On-Disk Mekanizması	23
Şekil 7.1. Mikrotest Multicut kesme cihazı	28
Şekil 7.2. Mikrotest Multipol zımparalama ve parlatma cihazı	29
Şekil 7.3. Nikon markalı optik mikroskop	29
Şekil 7.4. Quorum markalı Q150R Rotary-Pumped Sputter Coater/Carbon Coater model yalıtkan kaplama cihazı	30
Şekil 7.5. Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model Taramalı Elektron Mikroskobu	31
Şekil 7.6. Zwick/Roell Z600 markalı çekme cihazı	32
Şekil 7.7. QNESS Q10 A+ markalı mikro sertlik cihazı	32
Şekil 7.8. Zwick/Roell Rkp450 markalı çentik darbe testi cihazı	33
Şekil 7.9. UTS Tribometer T10 aşınma testi cihazı	34
Şekil 7.10. Mituyoto marka SJ-410 model yüzey pürüzlük cihazı	34
Şekil 8.1. EN-GJS-400-18 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü. .	36
Şekil 8.2. EN-GJS-600-3 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü. ...	36
Şekil 8.3. EN-GJS-600-10 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü. .	37
Şekil 8.4. EN-GJS-400-18 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.	37
Şekil 8.5. EN-GJS-600-3 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.	38

Şekil 8.6. EN-GJS-600-10 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.	38
Şekil 8.7. Aşınma izi makro görüntüleri.	41
Şekil 8.8. Yüzey profilometre cihazında kesit alan kaybı ölçümü.....	42
Şekil 8.9 Yüzey profilometre cihazından elde edilen grafikler.....	43
Şekil 8.10. Ağırlık Kaybı grafiği.	44
Şekil 8.11. EN-GJS-400-18 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.	45
Şekil 8.12. EN-GJS-600-3 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.	46
Şekil 8. 13. EN-GJS-600-10 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Dökme Demir türlerinin Çelik Döküm ile kıyaslanması	6
Çizelge 2.2. Farklı Dökme Demirlerin kimyasal bileşimleri.	7
Çizelge 3.1. Birincil ve İkincil nesil dökme demirlerin özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Küresel dökme demirlerin mikroyapıları.....	14
Çizelge 8.1. Küresel dökme demirlerin kimyasal analiz sonuçları	35
Çizelge 8.2. Küresel dökme demirlerin numunelerinin analiz sonuçları	39
Çizelge 8. 3. Küresel Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri	39
Çizelge 8.4. Yüzeysel profilometre cihazından elde edilen grafikler.....	43
Çizelge 8.5.Aşınma testi sonucunda elde edilen veriler	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Ce	: seryum
Cr	: krom
Fe	: demir
Fe ₃ C	: demir karbür
Si	: silisyum
Mo	: molibden
Mg	: magnezyum
Mn	: mangan
Ni	: nikel
S	: kükürt
P	: fosfor
Ti	: titanyum
Ceş	: karbon eşdeğeri
σ_y	: akma mukavemeti
σ_{TS}	: çekme mukavemeti
e_f	: Uzama
J	: joule
HB	: Brinell sertliği

KISALTMALAR

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

BCIRA: British Cast Iron Research Association (İngiliz Dökme Demir Araştırmacılar Derneği)

INCO : International Nickel Company (Uluslararası Nikel Şirketi)

KGDD: Küresel Grafitli Dökme Demir

TS : Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Genel olarak dökme demirler düşük maliyet, iyi işlenebilirlik, yüksek basma mukavemeti, yüksek yağlama etkisi, iyi termal iletkenlik, iyi yük taşıyabilme, karmaşık geometriye sahip parçaların tek bir işlemle üretilmesi, aşınma dayanımının yüksek olması gibi bir çok avantajlı özelliklere sahip olmasından dolayı otomotiv, inşaat, tarım, kimya, makina sanayisinde tercih edilen malzeme türüdür.

Küreselleşmiş grafit içeren dökme demirler (KGDD) diğer dökme demirlerin mekanik özellikleri daha iyi ve ergitilmiş dökme demirin içerisine ilave edilen küreselleştirici elementler (Mg veya Ce) kullanılarak potada veya kalıpta küreselleşme reaksiyonun gerçekleşmesi sonucunda elde edilmektedir.

Yüksek silisyum içeriğine sahip küresel dökme demirler 30 yıl önce ilk olarak Almanya'da kullanılmaya başlanmıştır. Genellikle KGDD'ler %1,90-2,90 oranında silisyum içermektedir. Yapılan deneyler sonucunda %4,5'ten fazla silisyum içeriği, KGDD'lerin mekanik özelliklerinin ve döküm şartlarını kötü etkilediği görülmüştür. Yüksek silisyum içeriği sonucu akma, özellikle kopma uzamasının önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek silisyum miktarı küresel dökme demirin mikroyapısındaki ferritik yapıyı güçlendirmektedir. Silisyum elementi α -demirin içerisinde çözünerek katı çözeltili sertleşmesiyle beraber mukavemet artışı elde edilir. Katı çözeltili sertleşmesiyle belirli oranlarda oluşan ferritik iç yapısına ve perlitik iç yapısına sahip küresel dökme demirlerin işlenmesinde bir belirli sorunlar yani malzeme yüzeyi ve iç bölgedeki farklı soğuma hızlarına sahip olmasından mikro yapıda ferrit ve perlit oranlarının farklılıkları ortaya çıkmaktadır. Yüksek silisyum matris içerisine katı çözeltili ile perlit yapısının kaybolması sonucu mukavemet düşüşünü engellemektedir. Perlit yapısının içyapıda içermemesiyle önemli oranda

çekme mukavemetinde, akma mukavemetinde, uzama ve tokluk oranlarında artışı meydana gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı EN-GJS-400-18 normuna sahip ferritik küresel dökme demir, EN-GJS-600-3 normuna sahip ferritik/perlitik küresel dökme demir ile EN-GJS-600-10 normuna sahip yüksek silisyum içeriğine sahip ferritik küresel dökme demirlerin uzun ömürlü aşınma davranışları incelenmek ve kıyaslamaktır.

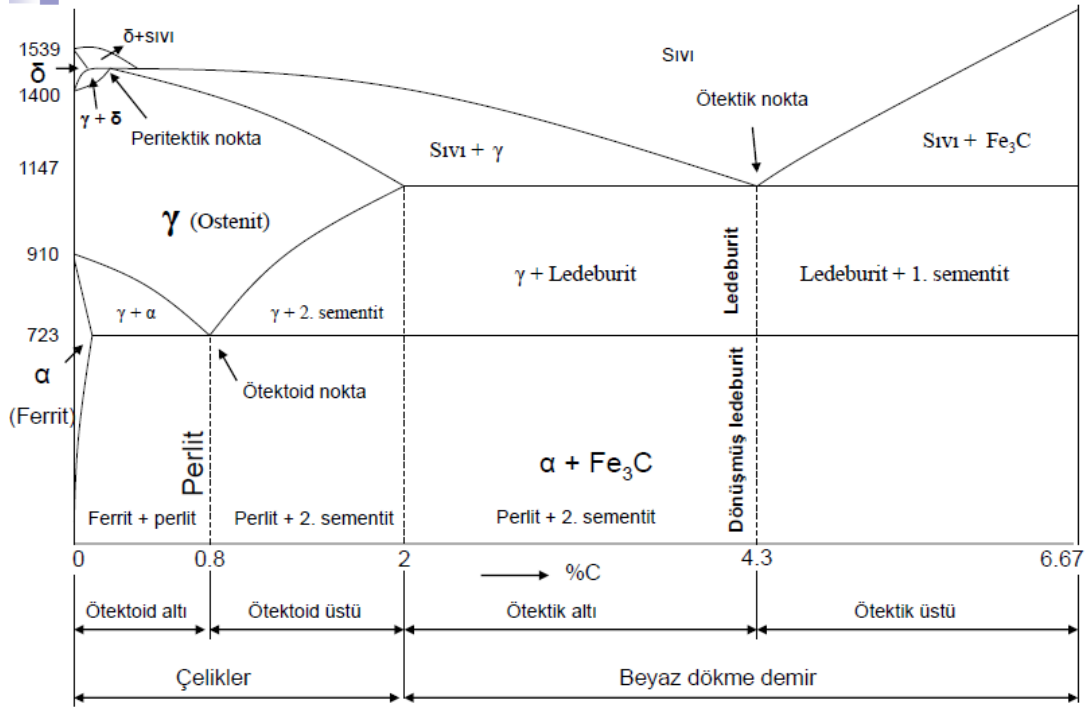
BÖLÜM 2

DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler döküm endüstrisinin en yüksek tonaja sahip ürünlerinden birisidir. Dökme demirlerin düşük maliyet ve iyi bir mühendislik malzemesi oluşu bu malzemeye olan ihtiyacının başlıca nedenidir. Mekanik özellikleri (Sertlik, aşınma, korozyon, mukavemet vb,) ve diğer özelliklere sahiptirler.

Dökme demirlerin en önemli alaşım elementlerinden birisi olan karbon içeriği %2 ile %6,67 arasında değişen demir-karbon alaşımları olmasıyla beraber yüksek karbon miktarı dökme demirlerin gevrek özelliği meydana gelmesiyle üretilen her bir dökme demirlerdeki karbon elementi miktarı %2 ile %4 arasında değişmektedir. Bu malzemede önemli bir diğer alaşım elementi olan silisyum miktarı %1-4 arasındadır. Yapılarında temel alaşım elementlerinin (Fe, C, Si) yanı sıra %0,1'den daha yüksek alaşım elementlerini (Cr, Cu, Mo, Mn, Ni gibi) ve eser miktarda (<%0,1) alaşım elementleri (Ti, P, S, Mg gibi) ilave edilmektedir. Kullanım alanına göre %2'den az karbon elementi olan dökme demirlerin alaşım elementlerinin (silisyum, mangan, bakır vb) östenit yapısının karbon elementini çözünmesinde desteği için ötektik reaksiyon ile katılaşma gerçekleşmektedir. Bu bileşime sahip olan malzemelerde dökme demir denilmektedir [1-2].

Dökme demirlerin metalurjisi büyük ölçüde Demir-karbon denge sistemine bağlıdır. Şekil 2.1'de kalın ve buna bağlı paralel kesitteki çizgilerle belirlenen iki diyagram görülmektedir. Her iki diyagram demir-karbon alaşımlarının iki farklı faz ilişkisine sahip olabileceklerini göstermektedir. Kalın çizgiler demir-demir karbür, kesik çizgiler ise demir- grafit sistemine aittir.



Şekil 2.1. Demir-Karbon denge diyagramı.

Demir-Demirkarbür faz sisteminde alaşım içindeki karbon sabit olmayan demir karbür (Fe_3C) bileşiği halindedir. Katılaşma ergitme ve katı haldeki ısıl işlem proselerinde, demir karbür denge diyagramının belirlediği normal kurallara göre bir davranış gösterir. Örnek olarak %4,30'dan az karbonlu hipotetik alaşımının katılaşması östenit fazının dendritlerinin oluşması ile başlar ve östenit demir karbür ötektiğinin katılaşması ile son bulmaktadır.

Katılaşmadan sonra katı fazın soğuma sırasında östenit fazı perlit fazına dönüşümü gerçekleşmektedir. Mikroyapıya bakıldığında birincil östenit dendritleri, perlit alanları, östenit-karbür ötektiği ise perlit-karbür karışımı halinde görülür.

Bu tür mikroyapıya sahip alaşımların ısınması ve soğuması esnasında meydana gelebilecek Fe- Fe_3C denge diyagramında belirlenebilmektedir. Yüksek sıcaklıklara çıkılıp uzun süre tutmak veya alaşımında bazı elementlerin bulunması grafit çekirdeklerinin oluşumuna yol açmaktadır. Bu durumda metastabl Fe_3C stabil grafit haline dönüşmesini desteklemektedir. Buna karşılık hızlı soğuma ve alaşımdaki bazı elementlerin etkisiyle, çekirdeklenme önlenmektedir. Bu durum metastabil demir karbür fazının sürekli meydana gelmesine yol açmaktadır [2].

Dökme demirleri için önemli elementlerden olan karbon, silisyum ve fosfor gibi alaşım elementleri içeriğine bağlı bir şekilde hipo ötektik ve hiper ötektik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hipo ötektik ve hiper ötektik noktaları dökme demirler için kritik nokta olmasıyla beraber mekanik özellikler ve döküm şartlarında etkilemektedir. Bu iki noktanın belirlenmesini Eşitlik 2.2'deki $Ceş$ (karbon eşdeğeri) hesaplanarak belirlenmektedir [2,3].

$$Ceş = \%C + \frac{\%Si + \%P}{3} \quad (2.1)$$

Karbon eşdeğerinin hesaplanmasıyla ortaya çıkan hesaplama ile hangi değerlerde bu iki nokta için gerekli miktarı aşağıda görmekteyiz:

$$\text{Hipo Ötektik: } Ceş < \%4,25 \quad (2.2)$$

$$\text{Hiper Ötektik: } Ceş > \%4,25 \quad (2.3)$$

2.1. DÖKME DEMİR TÜRLERİ

Demir alaşımları iki bölümde ayrılır. Bunlar dökme demirler ve çelik dökümler olarak iki ana bölümde incelenmektedir. Çizelge 2.1 'de Dökme demirler ile çelik döküm arasındaki kıyaslanması belirtilmiştir. Dökme demirlerin cinsini kontrol eden en önemli faktörler: mikroyapı, farklı soğuma hızları, kimyasal kompozisyon ve katılaşma şeklindeki değişimlere göre sınıflandırılmaktadırlar. Bunlar:

- Gri Dökme Demir: Katılaşma gerçekleştikten sonra karbon miktarının büyük miktarı serbest halde veya grafit türü lamelleri halinde olan bir dökme demir türüdür ve kırıldığında gri bir renk görülmektedir.
- Beyaz Dökme Demir: Katılaşma gerçekleştikten sonra karbon miktarının karbür şeklinde kimyasal bileşim olarak etkileşim halinde olacak bir şekile sahip dökme demir türüdür. Beyaz dökme demirlerin kırılma yüzeyleri incelendiğinde beyaz bir yüzey görülmektedir.

- **Temper Dökme Demir:** Uygun bileşimle beyaz dökme demirden ısıtma işlemi (temperleme) ile üretilmiş sünek bir dökme demirdir. Temper dökme demirde karbon rozet şekilli grafit birikimleri şeklindedir. Sünek bir dökme demir türüdür.
- **Küresel Grafitli Dökme Demir:** Karbonun büyük bir kısmını lamel yerine küre şeklinde oluşturmasını sağlamak amacıyla, ergimiş halde az miktarda Seryum, Magnezyum veya Seryum gibi alaşım elementlerinin ilavesiyle grafit yapısına sahip dökme demir türüdür. Grafit formu lamel yerine küre oluşumu, küreselleşmiş dökme demire süneklik özelliği sağlamaktadır. Bu tip dökme demirin yüzeyi parlak çeliğe benzer bir görünüme sahiptir.

Çizelge 2.1. Dökme Demir türlerinin Çelik Döküm ile kıyaslanması.

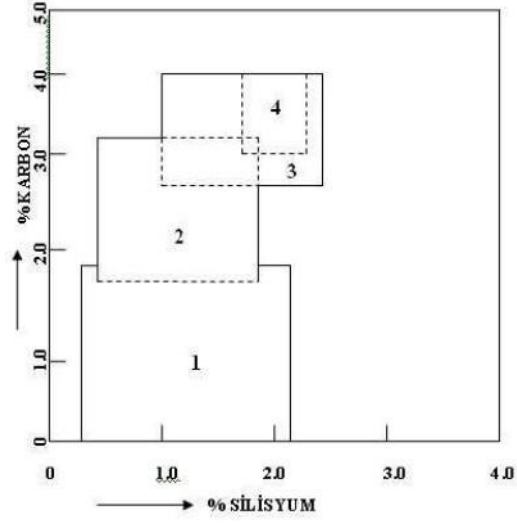
Özellik	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	Temper Dökme Demir	Küresel Grafitli Dökme Demir	Çelik Döküm
Dökülebilirlik	1	3	2	1	4
İşlenebilirlik	1	-	2	2	3
Güvenilirlik	5	4	3	1	2
Titreşim Söndürme Kapiliyeti	1	4	2	2	4
Yüzey Sertleşebilirliği	1	-	1	1	3
Elastisite Modülü	3	-	2	1	1
Darbe Direnci	5	-	3	2	1
Aşınma Direnci	3	1	4	2	5
Korozyon Direnci	1	2	2	1	4
Mukavemet/Ağırlık Oranı	5	-	4	1	3
Üretim Maliyeti	1	1	3	2	4

Alaşım elementlerinin farklı oranlarda olması açısından dökme demirlerin türlerine ayrılması için kimyasal bileşim sınırlandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir. Dökme demirdeki karbon ve silisyum açısından Çizelge 2.2’deki bileşim aralılarının genel bir gösterilişi Şekil 2.3’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı Dökme Demirlerin kimyasal bileşimleri [4].

Dökme Demir Türleri/Elementler (%)	Kimyasal Bileşimleri				
	C	Si	Mn	S	P
Beyaz Dökme Demir	1.8-3.6	0.5-1.9	0.25-0.8	0.06-0.2	0.06-0.2
Temper Dökme Demir	2.2-2.9	0.9-1.9	0.15-1.2	0.02-0.2	0.02-0.2
Gri Dökme Demir	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.02-0.25	0.02-1.0
Küresel Dökme Demir	3.0-4.0	1.8-2.8	0.1-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1
Silindirik Dökme Demir	2.5-4.0	1.0-3.0	0.2-1.0	0.01-0.03	0.01-0.1

Çizelge 2.2 ve Şekil 2.3’de görüldüğü üzere aynı kimyasal bileşim sınırları içinde birbirlerine yakın şekilde fakat değişik özelliklere sahip dökme demirler bulunmaktadır [5].



- | | |
|---|---|
| 1. Çelik dökümler | 3. Gri dökme demir |
| 2. Beyaz dökme demirler
(Temper dökme demir) | 4. Küresel grafitli dökme demirler
(Nodular-Sfero) |

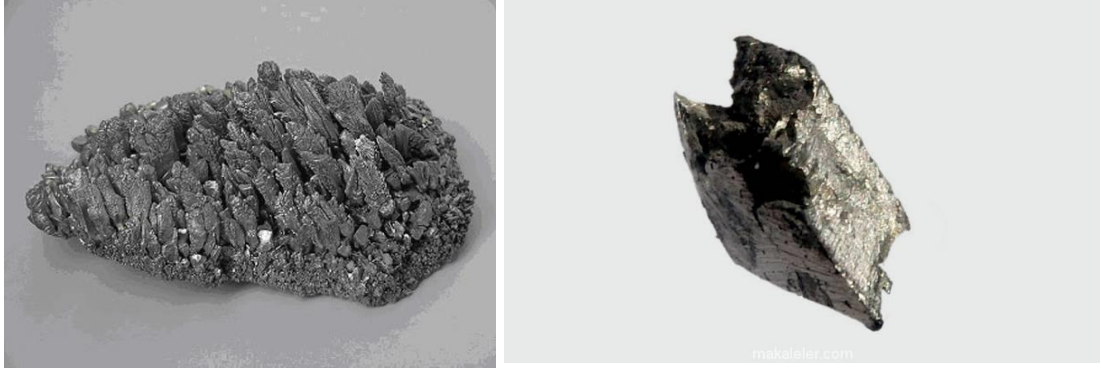
Şekil 2.2. Çeliklerin ve Dökme demirlerin karbon ve silisyum miktarının farklı tipleri[4].

BÖLÜM 3

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

Küresel Grafitli dökme demirlerin keşifi birbiri arasında herhangi bir ilişkisi olmayan iki farklı İngiliz Dökme Demirler Araştırmacıları Derneği (BCIRA) ve Uluslararası Nikel Şirketi (INCO) tarafından üzerinde araştırmalar sonucu geliştirilmiş ve 1948 yılında Amerikan Dökümcüler Derneği tarafından ilk kez bir toplantıda döküm sanayisi için yeni tür olarak literatür tarihine geçmiştir. Bu küresel dökme demirlere bir çok ad kullanılmıştır; ülkemizde daha çok Sfero, Küresel Grafitli Dökme Demir adları kullanılmaktadır.

İngiliz Dökme Demirler Araştırmacılar Derneğinin yaptığı araştırmalar sonucu geliştirdikleri yöntem, gri dökme demirle aynı kimyasal bileşime sahip ergimiş olan hiper ötektik dökme demir içerisinde Ceryum (Ce) ilave etmektir. Ceryumun büyük oranı Kükürt elementini gidermekte ve geri kalan %0,02-0,03 arası Ceryum ise gri dökme demir içerisindeki grafitlerin lamelli yapı yerine küresel grafitlerin yer almasını sağlamaktadır. Bir diğer yöntem ise Uluslararası Nikel Şirketine ait olan hipoötektik veya hiperötektik dökme demirlere magnezyum ilavesinin yapılmasıdır. Bu geliştirilen yöntemler ile Seryum elementinin yüksek maliyet içermesinden dolayı genellikle INCO'ya ait olan Magnezyum elementini ilavesi ile gerçekleşen küresel grafitli dökme demir üretiminde tercih edilmektedir. Şekil 3.1'de Magnezyum ve Seryum elementleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Magnezyum ve Seryum elementleri.

Küreselleşmiş grafit içeren dökme demirlerin yapısının lamelli dökme demirlerden farkı grafit şeklidir. Bu malzemelerde grafit boyutu ve şekili yapıyı önemli ölçüde etkilemektedir. Küresel grafitli dökme demirlerin gri dökme demire göre avantajları (ergitme derecesinin düşüklüğü, işleme, dövülme açısından mükemmeliği, daha iyi akışkanlık) olmakla beraber çeliğe göre ise (tokluk, süneklik, yüksek oranda dayanım, işlenebilme ve iyi oranda sertlik alabilme) yeni tür ve dökme demirler üye sayısını artıran bir malzemedir.

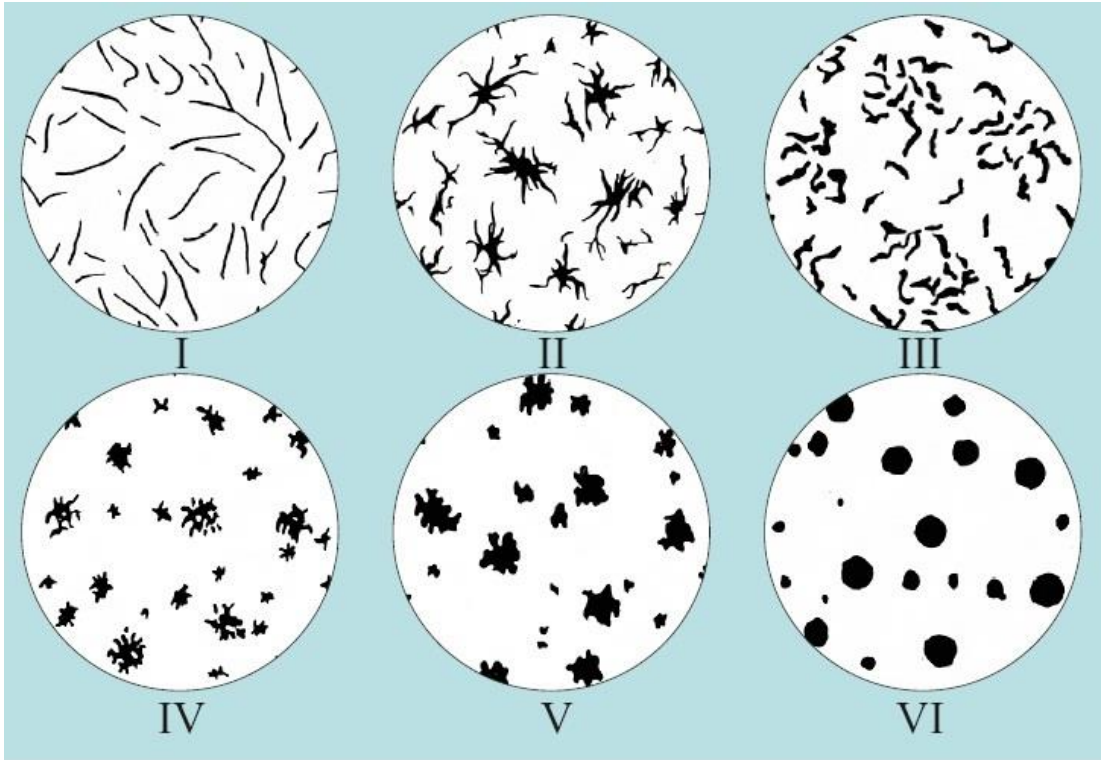
Küresel Grafitli dökme demirler ve Gri dökme demirlerin kimyasal bileşimlerinin benzer şekilde olması ama magnezyum ve kükürt elementlerinin dışında bu iki dökme demir tütü katılma biçimleri farklıdır. Bu katılma şekilleri özellikle ötektik katılaşmada daha belli olmakta ve üretim şekillerinin farklı olmasıdır [6].

3.2. KATILAŞMA SÜRECİ VE GRAFIT OLUŞUM EVRESİ

Dökme demirler incelendiğinde genellikle gri ve küresel dökme demirlerin katılma süreçleri benzer şekilde ancak küresel grafitli dökme demirin katılma sıcaklığı gri dökme demirin katılma sıcaklığına göre daha yüksektir. Katılma eğrisi incelendiğinde likidus sıcaklığı altı solidus sıcaklığının üzerinde grafitlerin çevresi östenit ile çevrenmektedir. Östenit yapısı sadece ötektik sıvı ile etkileşim halindedir. Bu tür katılaşmaya neo ötektik katılma adı verilmiştir. Küresel grafitlerin büyüebilmesi için ilave edilen karbonun oluşan östenit kabuğun içerisine doğru

ilerlemesi gerekmektedir bu sebepten katılaşma süreci gri dökme demire göre yavaş olmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerin sıcaklığı gri dökme demirin sıcaklığının düşük sıcaklığın olduğu ve daha geniş bir aralıkta bu işlem gerçekleşmektedir.[7]

Neo ötektik büyümesi başladıktan hemen sonra grafit küresi çekirdelenmesi olmaz ve küre sayısı ilk olarak katılaşma başlangıcında belirlenmektedir. Gri dökme demirlerde ötektoid sıcaklıktan geçerken alaşım elementleri ve soğuma hızı matris yapısını belirler. Grafit kürelerinin yapıyı belirlemesi için uygun miktarda küre olması gerekmektedir. Karbon elementinin yayılacağı yer miktarı az ise küre sayısı az miktarda olacaktır. Bu işlem sonucunda farklı soğuma hızlarında, kimyasal bileşimde bununla beraber gerçekleşen işlemler sonucu grafitler incelendiğinde küre olarak değilde lamel halinde veya karbür (Fe_3C) meydana gelecektir. Ötektik altı küresel grafitli dökme demirlerde östenit yapısının dentrit oluşturmasıyla katılaşma devam etmektedir. Ötektik üstü küresel dökme demirlerde ise grafit kürelerinin oluşması şeklindedir. Şekil 3.2’de dökme demirlerin grafit biçimleri verilmiştir. [5,7].



Şekil 3.2. Dökme Demirlerin grafit tipleri.

3.2. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFİT İÇEREN DÖKME DEMİRLERDE ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

3.3. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFİT İÇEREN DÖKME DEMİRLERDE ESER MİKTARDA ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

Küresel grafitli dökme demirler için eser miktardaki alaşım elementlerini etkisini aşağıda açıklanmaktadır:

Baryum: Grafit çekirdeklenmesini iyileştirmekle beraber aşılama ve treatment etkisinin azaltmayı önlemektedir. Genellikle %0,003' e kadar baryum elementi bulunmaktadır.

Bizmut: Dökme demirler % 0,01 üzerinde olması grafit şekilleri ve çil oluşturur. Bu değer in altında olması şeklinde küre sayısını artırabilmektedir.

Kalsiyum: Grafit küre sayısını ve grafit çekirdeklenmesini artırır ve genellikle %0,01 altında olmaktadır.

Krom: Küresel dökme demirlerde % 0.05'in üzerinde karbür, çil ve perlit oluşturmasıyla beraber mukavemeti artırmaktadır.

Bakır: Küresel dökme demir dökümünde ferritik yapıyı bozmasıyla beraber perlit oluşumunu artırır. Mikroyapıda olumsuz bir etkisi yoktur ve mukavemeti artırmaktadır.

Alüminyum: Alüminyum %0.005 üzerinde olursa hidrojen bazlı karınca boşluklarına neden olur. Azot ile tepkimeye girmesi ile yaklaşık %0.08 üzeri Al küresel grafitli dökme demirler için zararlıdır.

Arsenik: Güçlü perlit ve karbür oluşturur. Küresel grafit oluşumunu iyileştirir [2].

3.4. KÜRESELLEŞMİŞ GRAFİT İÇEREN DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Küreselleştirilmiş grafit içeren dökme demirlerin sınıflandırılması EN 1563 :2011 standartına göre sahip olduk mekanik özellikleri (Sertlik, darbe enerjisi, akma ve çekme mukavemetlerinin, uzama oranları) ve mikroyapı (ferrit, perlit ve ferrit+perlit) özelliklerini bize sunmaktadır. Dökme demirlerde bölümünde bahsedilen birinci nesil ve ikinci nesil dökme demirlerin sınıflandırılmasını EN 1563 standartına göre belirlenmektedir. Çizgele 3.1’de küresel dökme demirlerde istenilen mekanik özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Birincil ve İkincil nesil dökme demirlerin özellikleri [11].

Malzeme Tanımı	Akma Muk. (Mpa)	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
EN-GJS-400-18-LT	241	401	19	130-175
EN-GJS-450-10	310	450	10	160-210
EN-GJS-450-18	350	40	18	170-200
EN-GJS-500-7	320	500	7	170-230
EN-GJS-500-14	400	500	14	185-215
EN-GJS-600-13	370	601	14	190-270
EN-GJS 600-10	470	601	11	200-230
EN-GJS-700-2	421	701	3	225-305
EN-GJS-800-2	481	801	3	245-335
EN-GJS-900-2	601	901	3	270-360
EN-GJS-800-8	501	801	9	260-320
EN-GJS-900-6	601	901	7	280-340

Küresel grafitli dökme demirler için bir önemli özelliklerden birisi olan mikroyapılar kesit kalınlığına ve kimyasal bileşime bağlı şekilde sınıflandırılma yapılmaktadır. Çizelge 3.2’de EN:1563 standartına göre küresel dökme demirlerin mikroyapısı verilmiştir.

Çizelge 3.2. Küresel dökme demirlerin mikroyapıları [11].

Malzeme Tanımı	Mikroyapı
EN-GJS-400-18-LT	Ferritik
EN-GJS-450-10	
EN-GJS-450-18	
EN-GJS-500-7	Ferritik+Perlitik
EN-GJS-500-14	
EN-GJS-600-13	
EN-GJS-600-10	
EN-GJS-700-2	Perlitik
EN-GJS-800-2	Perlitik+ Temperlenmiş Martenzit
EN-GJS-800-8	
EN-GJS-900-2	Martensit+ Temperlenmiş Beynit
EN-GJS-900-6	

BÖLÜM 4

KATI ÇÖZELTİSİYLE SERTLEŞTİRİLMİŞ FERRİTİK SFERO DÖKME DEMİRLER

Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini değiştirmek üzere ferrit/perlit oranlarının küresel dökme demirlere sertlik, uzama, akma ve çekme dayanımlarını değiştirdiği tespit edilmiştir. Çizelge... incelendiğinde örneğin EN-GJS-450-18 ve EN-GJS-600-10 normlarına sahip malzemelerin incelediğimizde EN-GJS-450-18 malzemesinin çekme ve uzama değerleri incelendiğinde 400 N/mm^2 ve %18 olmakla beraber EN-GJS-600-13 malzemesinin akma ve uzama değerleri incelendiğinde 600 N/mm^2 ve %13 olduğu tespit edilmiştir. Burada görüldüğü üzere malzemenin mukavemeti arttığında uzamayı olumsuz etkileyecektir.

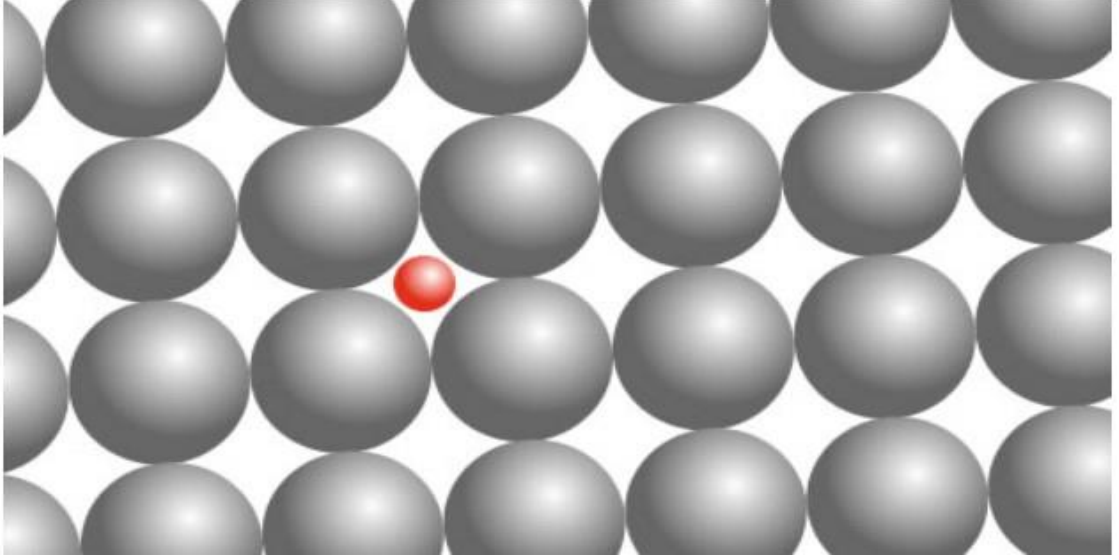
Katı çözeltili sertleşmesi mekanizması malzemenin mukavemetinin artmasını ferrit/perlit oranına bağlı şekilde sadece perlit miktarının artırılmasıyla olmayacağını göstermektedir. Katı çözeltiliyle sertleştirilmiş küresel dökme demirlerin ferrit yapısı ile mukavemeti artırmasıyla beraber uzamayı artırması sağlanmıştır.

4.1. KATI ÇÖZELTİSİ SERTLEŞMESİ

Katı çözeltili sertleşmesi mekanizması yeni nesil ferritik sfero dökme demirlerin mekanik özelliklerini belirleyen mekanizmadır. Mekanizma dislokasyon hareketlerini engellenip atom düzlemlerinin kaymasını engellemektir. Bu yolu sağlamanın en basit yolu kayan düzlemlerin çevrelerini kapatılıp malzemedeki mukavemetini arttırmış olmaktadır.

Bir malzemenin meydana getirdiği atomların içerisine bir başka kristal atomu yerleştiğinde yapıdaki mükemmeliği bozmakta ve atom düzlemlerinin kayması zorlaşıyor yani akma mukavemeti artmaktadır. Bu olayın sonucunda çekme

mukavemetide akma mukavemeti ile beraber doğru orantıda artmaktadır. Şekil 4.1’de katı çözeltili sertleşmesini atomlar üzerindeki etkisini belirten şeklini temsil olarak görmekteyiz.



Şekil 4.1 Katı çözeltili sertleşmesinin temsili.

Katı çözeltili sertleştirme mekanizmasındaki oluşan atomsal düzlemlerinin çevresine bahsedilen farklı düzlemdeki atomları basit bir yolla içerisine yerleştirilebilmektedir. Bu yöntem mekanizmaya uygun bir elementi sıvı hale gelmiş bir yapıya (döküm ile) içerisinde yerleştirmektir.

4.1.1. Silisyum Elementini Mekanik Özelliklere Etkisi

Silisyum elementi grafitleşmeyi desteklemektedir. Östenit yapısı oluşumundan hemen sonrası karbon çözünmesi azalır. Sıcaklık düştükçe östenit içerisindeki karbon elementi grafit haline dönüşür ve proötektoid grafit etrafında toplanmaktadır. Sonrasında proötektoid etrafından toplanan grafitler etrafındaki karbonlar difüzyon yoluyla yapıdan ayrılır ve bölgeyi karbonsuzlaştırmasıyla beraber ferrit yapısını oluşturmaktadır. Silisyum, ferrit oluşturmada yukarıda anlatılan olayda desteklemektir ve bölgede aşırı soğumayı engellemektedir. Bununla beraber çil oluşumunu engellemesi ile birlikte sıvı olan demirin akışkanlık kabiliyetini iyileştirmektedir [12].

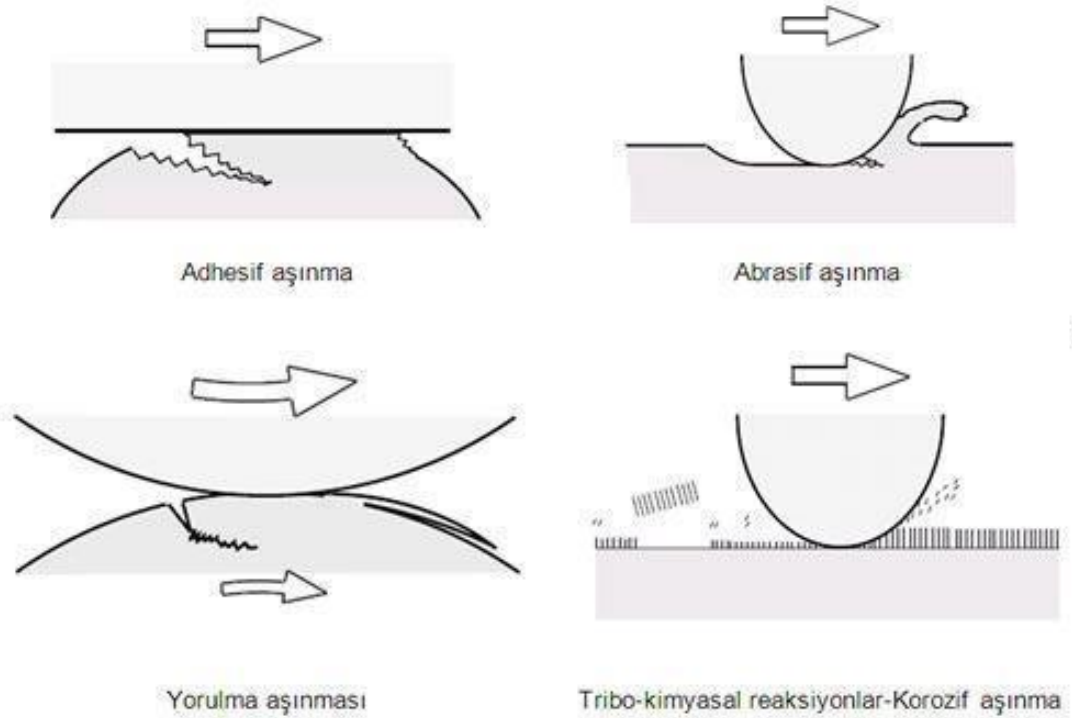
İncelenmiş olan EN-GJS-600-10 normuna sahip katı çözeltili ile güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirde en önemli element silisyumdur. Bu malzemede adından belli olduğu üzere tamamen ferritik bir yapı elde edilmektedir.

Katı çözeltili sertleşmesinin bir özelliği parça kalınlığına bağlı olmadan mekanik özelliklerden birisi olan sertliğin değişmemesidir. Matriste genellikle ferrit yapısı olduğu için sertlikte bir değişim gözlenmemektedir. Ferrit yapısının oluşumu parça kalınlığının sadece değişimi mikroyapıya (Perlit yapıcı elementler yani bakır, kalay, mangan vb.) değil soğuma hızıyla beraber kesit farklılığına bağlı olarak değişmektedir. İşte bu nedenle Katı çözeltili sertleşmesi mekanizması ile homojen bir şekilde sertlik dağılımının olduğunu gözlemlemekteyiz.

BÖLÜM 5

AŞINMA

Aşınma, çalışan sistemlerin mekanik etki üzerinde malzeme kaybı ve yer değiştirme olarak rastlanan şeklidir. Bu konu önemli bir terim olmasına rağmen günümüzde daha yeni ilgi gösterilmektedir. Aşınma mekanizmasında malzeme kaybı çok küçük olduğu için sıradan yöntemler ile incelenemezler. Şekil 5.1’de aşınma türleri görülmektedir.



Şekil 5.1 Aşınma türlerinin sıralanması.

5.1 AŞINMA TİPLERİ

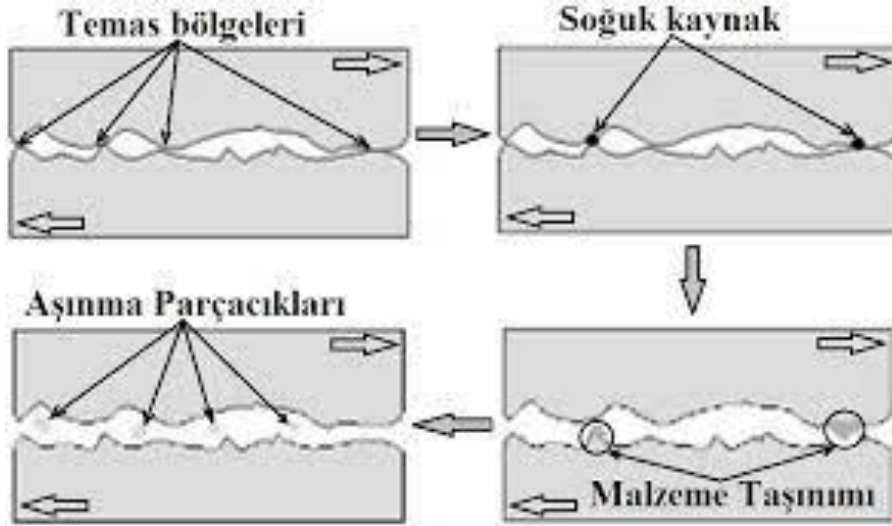
İki cismin kuru ve sıvı bir ortamda yüzey özelliklerini etkisini belirlemektedir. Mekanik yükleme sonucu iki yüzeyin etkileşimi ile ortaya çıkan kimyasal veya fiziksel olarak bir reaksiyon oluşmasıdır.

Aşınma türleri 5 tipte incelenmektedir. Bunlar ;

- Abrasiv Aşınma
- Adhesiv Aşınma
- Korozif Aşınma
- Yorulma Aşınma
- Erozyon Aşınma

5.1.1. Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınmanın diğer bir anlamı olan yapışma aşınması birbirine kayma gerilmesi ile oluşan sürtünmenin meydana getirdiği alanların birbirine yapışması veya soğuk kaynak oluşmasıyla yüzeyler arası parçacıklar taşınması ve ileri-geri-sağ-sol kayma hareketleri sonucu oluşan malzemenin deformasyonudur. Adhesiv aşınmayı ortaya çıkaran yüzey uygunsuzluğunun meydana getirdiği plastik deformasyonu bölgesine girdiği basınç oranı çok önemlidir. Bu basıncın kontrolü yüzeyde gerilmenin sonucu pürüzlüklerin birbirini çizmesi ile ortaya çıkan parçacıkların topaklaşıp yüzeye yapışması böylece yapışma aşınmasını meydana getirmektedir. Şekil 5.2’de adhesive aşınma mekanizmasının nasıl ortaya çıktığı tespit edilmektedir.



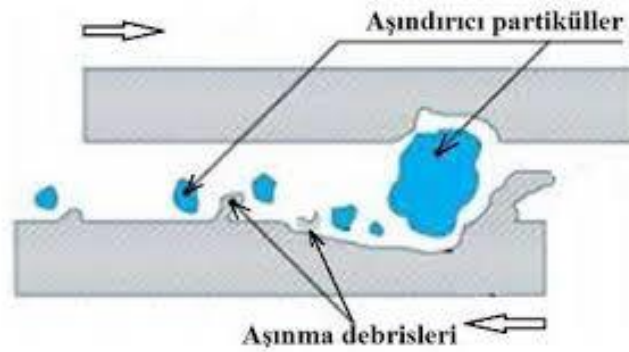
Şekil 5.2 Adhesiv Aşınma mekanizması.

Eğer biz adhesiv aşınmayı aşağıda verilen önlemleri alırsak hem malzemeyi korumak hemde bu aşınma türünü engelleyeceğiz. Bunlar:

- İyi bir yağlayıcı kullanmak (Bor içerikli yağlayıcılar)
- Birbiri içerisinde hiç bir şekilde çözünme gerçekleşmeyecek malzemeler kullanılması (Aşınmaya dayanıklı “Yüksek Manganlı Çelikler” veya “Ni-Hard” malzemeler seçilebilir)
- Pürüzsüz ve düz yüzeyler kullanmak
- Malzemelerin birbiri içerisinde temasını önlemek

5.1.2 Abrasiv Aşınma

İki yüzeyin arasında sürtünme kaynaklı malzemeden kopan veya dışarıdan gelebilecek küçük sert parçaların oluşturduğu aşınma türüdür. Bu parçalar yüzeydeki meydana gelen gözeneklilik ile sert olan parçacıklar aşınma sonucu malzemenin diğer malzemeye göre yumuşak olan yüzey arasına yerleşmektedir. Bu aşınmaya örnek olarak torna tezgahının bir parçayı işlemesi verilmektedir. Şekil 5.3’ de abrasiv aşınma mekanizması görülmektedir [13].



Şekil 5.3 Abrasiv Aşınma mekanizması.

Eğer biz abrasive aşınmayı önlemek istersek aşağıda verilen işlemleri uygulamamız yeterli olacaktır. Bunlar;

- Parça eğer işlenecekse işlem öncesi Isıl işlem (İndüksiyon ile yüzey sertleştirme) yapılmalıdır.
- Meydana gelen talaş, kum gibi atıkların temizlenmelidir.

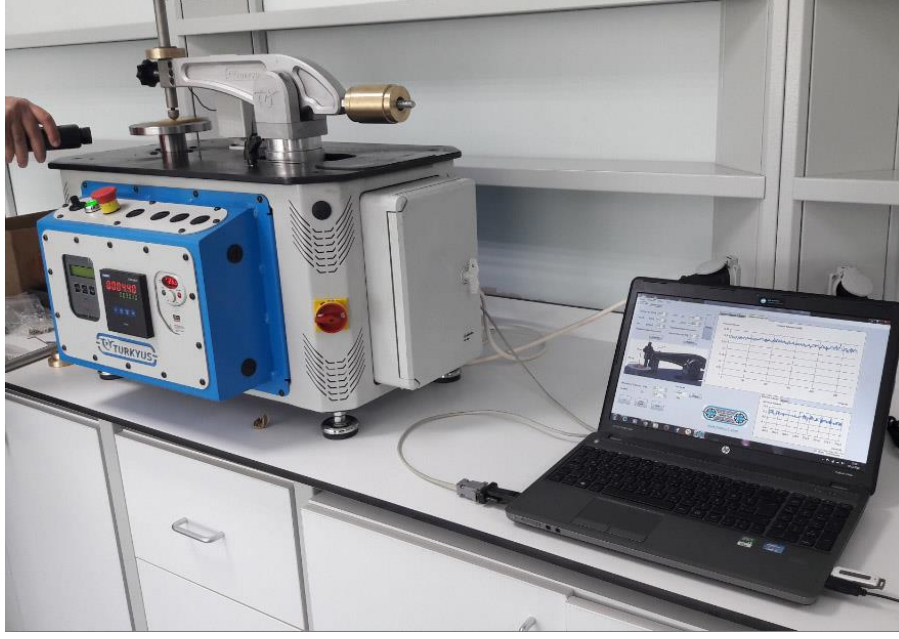
5.2 AŞINMA DENEYLERİ

Aşınma prosesine maruz kalan parçalarda sürtünme sonucu meydana gelen sürtünme katsayı, gerinim gibi etkileşen malzemenin mikroyapısının yanısıra, “Triboloji” adı verilen mekanizmada malzemelerin eşleşmesiyle beraber yüzey uygunlukları, şekil ve pürüzlülük gibi bir çok etmene bağlıdır.

Yukarda belirtildiği üzere malzemelerin tribolojik davranışlarının incelenmesi için mekanik testlerin yapılması hem üretici için hemde makineler için önem arz etmektedir. Bahsedilen mekanik testlerin yorumlanması uzun, karmaşık, zor ve pahalıdır. Bu yüzden yapılan araştırmalar sonucunda aşağıda belirtilen basit etki-tepki testleri yapılmaktadır.

- İmalat Tezgah deneyleri
- Gerçek bir sistemden tekil birleştirilmiş izolasyon deneyler
- Aşınma mekanizmasını bire bir simülasyon eden deneyler

Bu bahsedilen deneyler (Şekil 5.4’de görülen) diğer deneylere göre maliyeti daha uygun ve kolaydır. Yapılan bu deneylerin sonucunda dünya çapında standartlar yazılmış ve ticari olarak piyasaya sunulmuş belirli yöntemler ortaya çıkmıştır. Deneylerin yapılması hem literatür ile kıyaslanması böylece deneylerin diğer yapılmış olan sonuçların eşleştirilmesi kolay olmuştur. Ortaya çıkan sonuçların yorumlanması yapılan standartlara uygun olduğu tespit edilmeli ve sistematığe bağlı olması önem taşımaktadır.



Şekil 5.4 Aşınma Deney Düzeneği

Deneyler için belirlenen malzemeler normal kullanılan malzemelerden boyutsal olarak daha küçük parçalardır. Malzemelerin birbiri ile etkileşim sonucu meydana gelen ısı kontrolünün yapılması gerekmektedir çünkü bu sıcaklık kontrol edilmez ise farklı türde bir tribolojik mekanizma ortaya çıkmaktadır. Bahsedilen deneylerin sonucunda aşınma katsayısı, dişli çarkların eğimlerinin hazırlanması gibi daha sayılabilecek tribolojik sistemlerin kurulması ve tasarlanması gerçekleştirilmektedir.

Piyasada uluslararası standartlara uygun tasarlanmış bir çok deney makinesi bulunmaktadır. Tribolojik mekanizmaya göre belirlenmiş test makineleri Şekil 5.4’de verilmiştir. Bu deneyler yapılmadan önce malzeme seçimine, iki malzeme arasındaki uyuma ve sonuçların test ile uygunluğuna dikkatli bir şekilde karar verilmesi gerekmektedir [14].

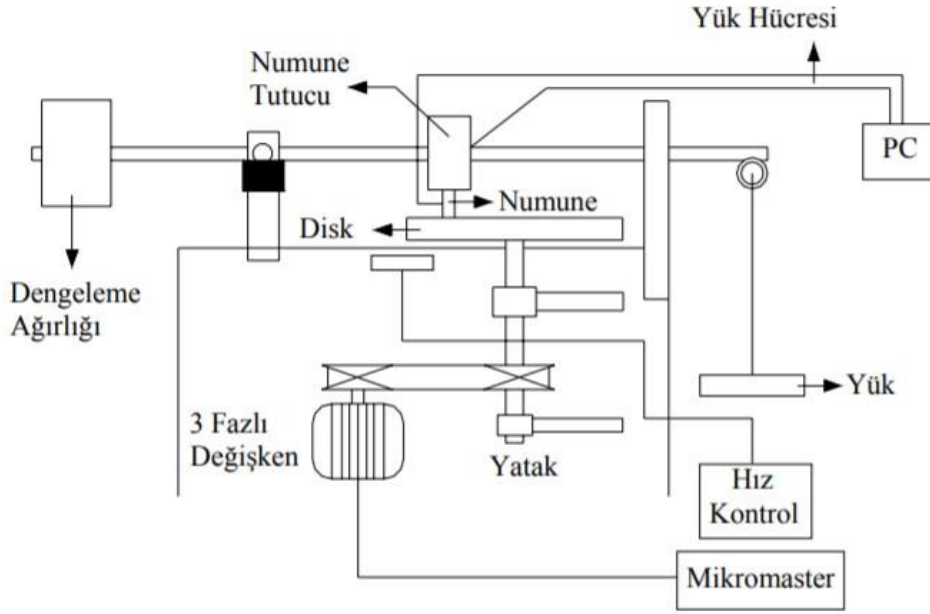
5.2.1. Pin-ON-Disk Deneyi

Yapılan bu deneyde ASTM G133 normuna sahip olan standartına uygun bir şekilde hazırlanmış pin-on-disk deney cihazı kullanılmıştır.

Deney düzeneğini içeren temel ekipmanlar:

- Kuvvet Göstergesi
- Devir sayacı
- Disk tablası
- Pin
- Ağırlık tablası

Cihazın temel çalışma prensibi ise Normal bir kuvvet alındaki pimin aşınma diskini ile oluşan teğetsel kuvvetin yükün baskısı altında okumasıyla beraber teğetsel kuvvetin sürtünme kuvvetinin değişimini bir excel dosyası altında kaydetmektedir. Şekil 5.5’de deney mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Pin-On-Disk Mekanizması.

BÖLÜM 6

LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Genel olarak aşınma, mekanik olarak meydana gelen yüzey hasarıdır ve bu yüzey ile temas eden bir madde veya maddeler arasındaki göreceli hareket nedeniyle malzemenin aşamalı olarak kaldırılması ile sonuçlanır. Temas eden bir madde, başka bir yüzey, bir sıvı veya örneğin bir yağlayıcı gibi bir sıvı veya süspansiyon formunda bulunan sert, aşındırıcı partiküllerden oluşabilir. Sürtünmede olduğu gibi, aşınmanın varlığı da iyi veya kötü olabilir. Üretken, kontrollü aşınma, işleme, kesme, taşlama ve cilalama gibi işlemlerde bulunabilir. Bununla birlikte, teknolojik uygulamaların çoğunda, aşınma oluşumu son derece istenmeyen bir durumdur ve bileşenlerin bozulmasına yol açtığı için son derece pahalı bir sorundur. Güvenlik açısından, genellikle kırılma kadar ciddi veya ani değildir. Bunun nedeni, aşınmanın genellikle öngörülebilmesidir. Sertlik, karbür tipi ve hacim yüzdesi gibi malzeme özellikleri, belirli bir uygulamada bir malzemenin aşınma direnci üzerinde belirli bir etkiye sahip olabilir. Aşınmanın, korozyon gibi, birden çok türü ve alt türü vardır, bir dereceye kadar tahmin edilebilir ve laboratuvar veya hizmette güvenilir bir şekilde test edilmesi ve değerlendirilmesi oldukça zordur.

Küresel dökme demirler için yenilikçi bir malzeme olduğunu, mekanik özelliklerinin iyi olduğu için birçok alanda kullanıldığını, akışkanlık açısından dökülecek sıvı metalin çeliklere kıyasla daha iyi, çeliklere göre maliyeti daha uygun olduğunu belirtilmiştir [15].

Üretim yöntemi olarak döküm yöntemini seçmiştir. Üretimler sonrasında küreselliğin mekanik özellikleri büyük oranda etkilediğini tespit etmiştir. Mikroyapılara göre ferrit ve perlit yapılarına sahip küresel dökme demirin sertlik, akma ve çekme mukavemetlerinde yüksek oranda elde ettiğini ama içerisinde perlit yapısını içerdiği için ferritik dökme demirlere oranla uzama ve darbe dayanımının düştüğünü bununla

beraber perlit yapısının birçok mekanik özelliklerinin olumsuz yönde etkilediğini tespit etmiştir [16]. Gonzalez ve arkadaşları yüksek orandaki silisyum (2.29 ile 9.12 arasında) içeriğine sahip küresel dökme demirler üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretim sonrası küresel dökme demirlerin küresellik ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda sertlik açısından % 6,15 Silisyum içeren küresel dökme demirin 310 ile 315 HB olarak tespit ettiği ve %9,12 Silisyum içeren küresel dökme demirlerin 396 HB olduğunu tespit etmiştir. Yapılan çalışmadaki literatür sonucunda akma ve çekme mukavemeti için gerekli silisyum içeriğinin %4,6 olduğunu ama yapılan deneysel çalışmada %5,2 ile %5,4 olarak olduğunu tespit etmiştir. Bununla beraber mikroyapı incelemeleri sonucunda küresellik açısından %4.60 silisyum içeriği için Chunky grafitlerinin oluştuğunu tespit etmiştir [17].

Wolfram ve arkadaşları birlikte yaptıkları çalışmada katı çözeltili ile sertleştirilmiş ferritik sünek dökme demirler ile birinci nesil küresel dökme demirlerin üretim yöntemlerini ve özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda ilk hedef ise Krom, Mangan ve Vanadyum gibi elementlerin uzama açısından olumsuz bir etki etmediğini ve bununla beraber katı çözeltili ile sertleştirilmiş ferritik sünek dökme demirlerin işlenme açısından birinci nesil dökme demirlere göre daha kolay olduğunu tespit etmişlerdir. Yüksek oranda Silisyum elementi içeriğinin doğru oranda ayarlanmadığı sürece küresellik açısından grafit dejenerasyonları, porozite, sıvı metalin akışkanlığının düşüş gerçekleştiğini görmüşlerdir [18]. Abedi ve arkadaşları dökümlerini gerçekleştirmiş olduğu parçalarda mikroyapı, küresellik, küre sayılarını incelemişlerdir. Döküm sonrası inceledikleri mikroyapının perlitik bir yapıyı elde ettiklerinden hemen sonrasında aşınma deneylerini 1,5 ve 5,5 kg'lık yükler altında gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda küre sayısı yüksek olan parçaların az sayıda ki küreler içeren dökme demirlere kıyasla aşınma direncinin daha az olduğunu tespit etmişlerdir [19].

Küresel dökme demirlerden birisi olan GGG 40 normuna sahip malzeme seçimi yapılmıştır. Üretim yöntemi döküm yöntemi seçilmesiyle beraber malzeme içerisine alaşım elementleri olarak molibden ve bakır elementlerinin sürtünme ve aşınma dirençleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda yapılan ısıl işlem sonucunda su

verme ve normalizasyon yapılan parçalarda etkilerin düşük ama yağda soğutma yapılan parçaların etkilerinin yüksek olduğu görülmüştür [20].

Borsato ve arkadaşları çalışmada yüksek oranda silisyum içeren dökme demirlerin ilk başta karbon eş değerine (Ceş) değerlerini hesaplayıp uygun oranda çekinti olmaması ve uygun mikroyapıya sahip olmasını istemişlerdir. İlk başta dökümleri hızlı soğuma ve yavaş soğuma olacak şekilde üretimleri gerçekleştirmişlerdir. Dökümleri standartlara uygun şekilde gerçekleştikten sonra 6 adet numune incelenmiş ve bu inceleme sonucunda yorulma direnci ile mikroyapıları incelenmiştir. İncelemeler sonucunda parça kalınlığına göre mikroyapı görüntülerinde kalın kesitli parçalarda ferrit oranının arttığını ve perlit oranının azaldığını tespit etmişler ancak ince kesitli parçalar incelendiğinde segregasyonlar, küresel oranlarında bozulmalar gözlenmesiyle beraber ani soğumadan kaynaklı kaba perlit yapısı ve ferrit oranında azalma görmüşlerdir. Yorulma özelliklerine bakıldığı zaman soğuma hızının dengeli bir şekilde gerçekleştiği zaman iyi oranda yükselme olduğunu ve mekanik özelliklerin iyileştiği tespit etmişlerdir [21].

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. MALZEME TÜRLERİ

Literatür araştırması yapılan malzemelerin birinci nesil küresel grafitli dökme demirler (EN-GJS-450-18, EN-GJS-600-3) ve yeni nesil dökme demir temel başlığındaki katı çözelti ile güçlendirmiş ferritik küresel grafitli dökme demir (EN-GJS-600-10) malzemelerin aşınma davranışları incelenmiştir.

7.2. MALZEMELERİN ÜRETİMİ

İncelenecek olunan malzemelerin üretimi Cer Döküm ve Makine Sanayi A.Ş.'de gerçekleşmiştir. Üretilen malzemeler nötr astarlı indüksiyon ocağında ergitilme işlemi yapılmıştır. Ocak şarjında sfero piki, çelik hurda ve sfero döngüleri (yolluk) kullanılmıştır. İndüksiyon ocaklarında yapılan şarjın ergitme süresi 45 dakika süremesiyle beraber sıcaklık kontrolü yapılarak ergitilme gerçekleşmiştir. Bu süreç sonucunda gerekli olan karbon, silisyum ve mangan oranlarını ve gerekli oranda magnezyum ve pota aşılması için gerekli oranlarda hesaplanarak ergitilme yapılmıştır. Hazırlanan malzemelerin ocak çıkış sıcaklığı 1400°C olup döküm sıcaklığı 1380°C olarak termokulp makinesi kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan dökümler için hesaplanan döküm süresi 5 dakika olarak hesaplanmış ve bu hesaba göre malzemelerin dökümleri yapıldı. Dökülen parçaların standartlara uygun şekilde fiziksel (sertlik, çekme testi, aşınma testi) ve kimyasal özellikleri incelenmesi gerçekleşmiştir.

7.3. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

İncelenen parçaların zımparalama ve parlatma öncesi Şekil 7.1’de gösterilen Mikrotest Multicut Easy Plus kesme cihazı ile 10*10*10 cm şeklinde kesilmiştir.



Şekil 7.1. Mikrotest Multicut kesme cihazı.

Parçaların kesme işlemi sonrasında sırasıyla 60, 400, 600, 800, 1000 ve 2500 boyutlarında SiC içeriğine sahip su zımparaları kullanılmış ve 3 µm parlatma çuhası ile elmas içeriğine sahip parlatma sıvısı ile parlatma işlemi yapılmıştır. Şekil 7.2’de verilen Mikrotest Multipol model zımparalama ve parlatma cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.2. Mikrotest Multipol zımparalama ve parlatma cihazı.

Zımparalama ve parlatma işlemi sonrasında yapı tayini için %3 Nital çözeltilisi ile dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleşen işlemler sonrasında ayrı olarak hazırlanmış olunan numunelerin dağlanma öncesi küresellik, küre sayısı ve dağlanma sonrası mikroyapıda ferrit ve perlit fazlarının incelenmesi için Şekil 7.3'deki Nikon markalı optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 7.3. Nikon markalı optik mikroskop.

Numunelerin optik mikroskoptan mikroyapıları incelendikten sonra taramalı elektron mikroskobuna girmeden önce Şekil 7.4’de gösterildiği Quorum markalı Q150R Rotary-Pumped Sputter Coater/Carbon Coater model cihazda yalıtkanlığı sağlanması için numunler kaplanmıştır.



Şekil 7.4. Quorum markalı Q150R Rotary-Pumped Sputter Coater/Carbon Coater model yalıtkan kaplama cihazı.

Numunelerin hepsi kaplama işlemi yapıp yalıtkan bir hale geldikten sonra Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model Şekil 7.5’de gösterilen Taramalı electron cihazda mikroyapıları incelenmiştir.



Şekil 7.5. Zeiss marka Ultra Plus Gemini Fesem model Taramalı Elektron Mikroskobu.

7.4. ÇEKME, SERTLİK ve DARBE DENEYLERİ

Yapılan deneyler sonrasında çekme testi TS EN ISO 6892-1 standartına uygun çekme çubukları işlenmiştir. Çekme test deneyi Şekil 7.6'da gösterilen Zwick/Roell Z600 çekme cihazı kullanılmıştır.



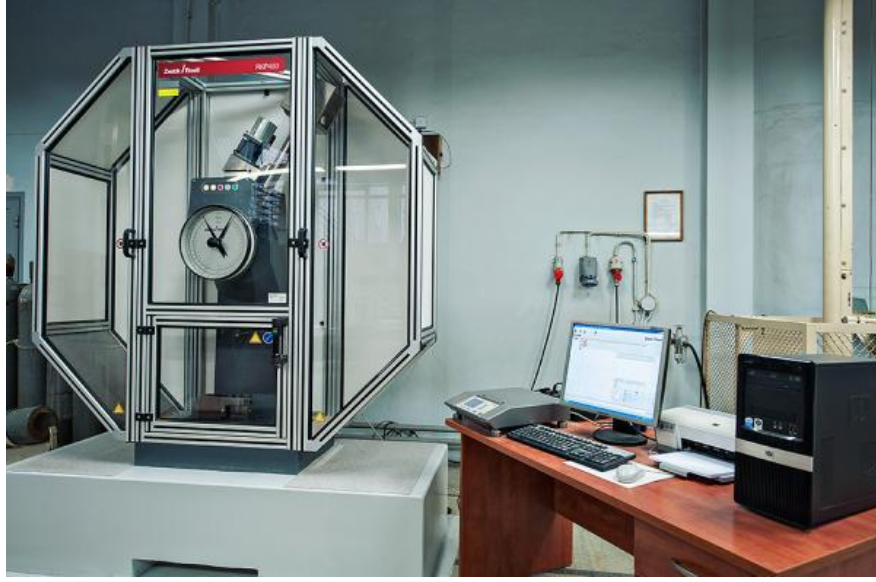
Şekil 7.6. Zwick/Roell Z600 markalı çekme cihazı.

Mikroyapı incelemelerinin sonrasında sertlik testi deneyleri ISO 6506-1 standartına uygun bir şekilde Şekil 7.7’de QNESS Q10 A+ markalı mikro sertlik ölçüm cihazı ile sertlik deneyleri yapılmıştır.



Şekil 7.7. QNESS Q10 A+ markalı mikro sertlik cihazı.

Darbe testi deneyleri TS EN ISO 180 standartına uygun bir şekilde numuneler Şekil 7.8’de gösterilen Zwick/Roell Rkp450 çentik darbe test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.8. Zwick/Roell Rkp450 markalı çentik darbe testi cihazı.

7.5. AŞINMA DENEYİ

Mikroyapı ve mekanik testler incelendikten sonra uygun olan küresel dökme demirler aşınma deneyini ASTM G133 standartına uygun bir şekilde gerçekleştirmiştir. Aşınma deneyleri 1,5 m olarak mesafe belirlenmesiyle beraber 20 N ve 40 N’luk yükler kullanılmıştır. UTS Tribometer T10 Test Cihazında yapılan aşınma deneyleri Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. UTS Tribometer T10 aşınma testi cihazı.

Aşınma testi sonrası Şekil 7.10’da Mituyoto marka SJ-410 model yüzey pürüzlük cihazında numunlerin hepsi incelenmiş ve yüzeyden aşınma sonucu meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır.



Şekil 7.10. Mituyoto marka SJ-410 model yüzey pürüzlük cihazı.

BÖLÜM 8

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

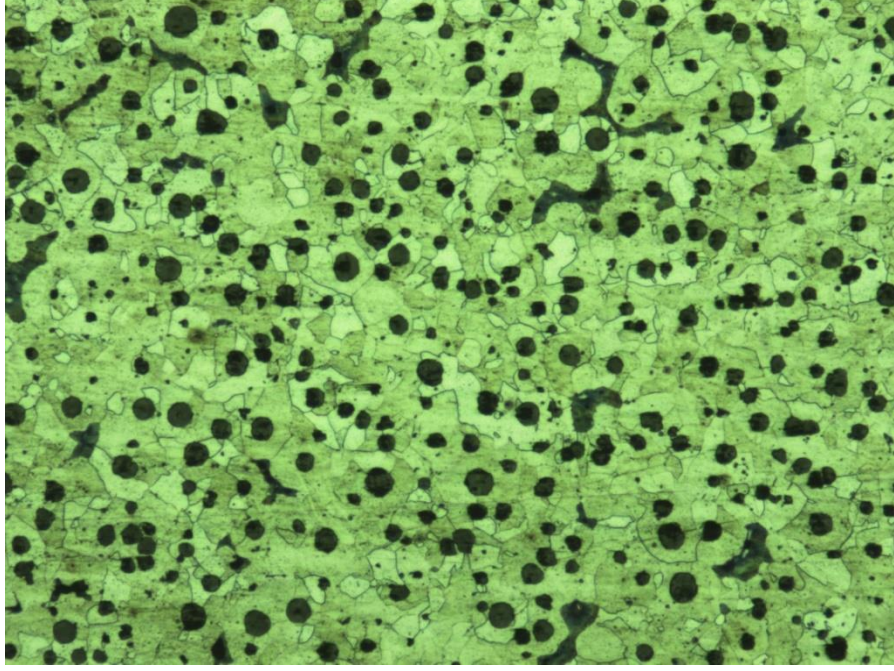
8.1. KİMYASAL KOMPOZİZYON ANALİZİ ve MİKROYAPI SONUÇLARI

Birinci nesil küresel dökme demirler (EN-GJS-400-18 ve EN-GJS-600-3) ve yeni nesil küresel dökme demiri (EN-GJS-600-10) Çizelge 8.1'i incelediğimizde silisyum miktarı arttığını, karbon ve mangan oranlarının benzer olduğunu görmekteyiz.

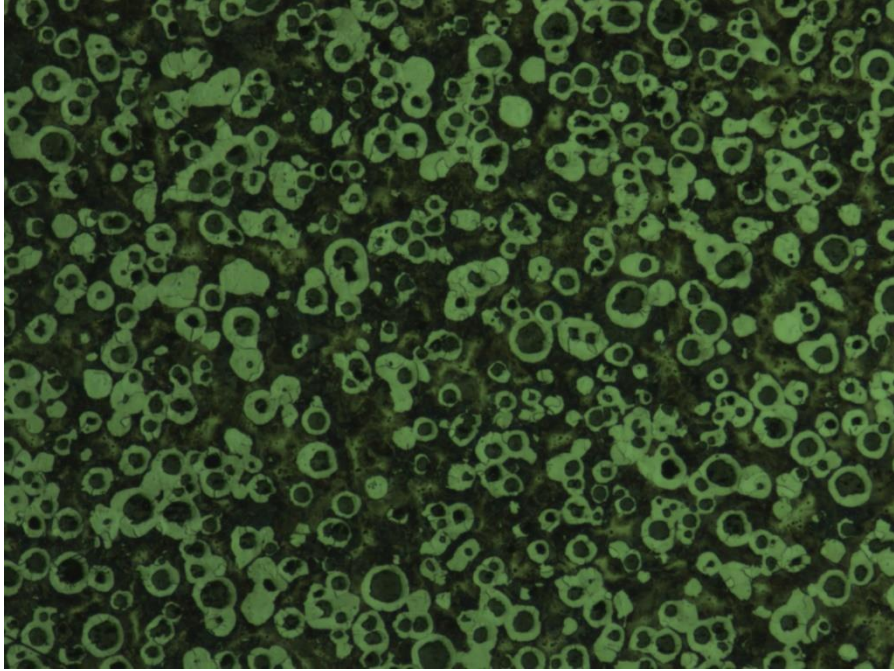
Çizelge 8.1. Küresel dökme demirlerin kimyasal analiz sonuçları.

Numune	Kimyasal Analiz % ağı.						
	C	Si	Mn	P	S	Mg	Diğer
EN-GJS-400-18	3,25	2,40	0,31	0,01	0,012	0,042	<0,30
EN-GJS-600-3	3,10	2,15	0,32	0,009	0,011	0,048	<0,30
EN-GJS-600-10	3,20	4,18	0,35	0,01	0,010	0,43	<0,30

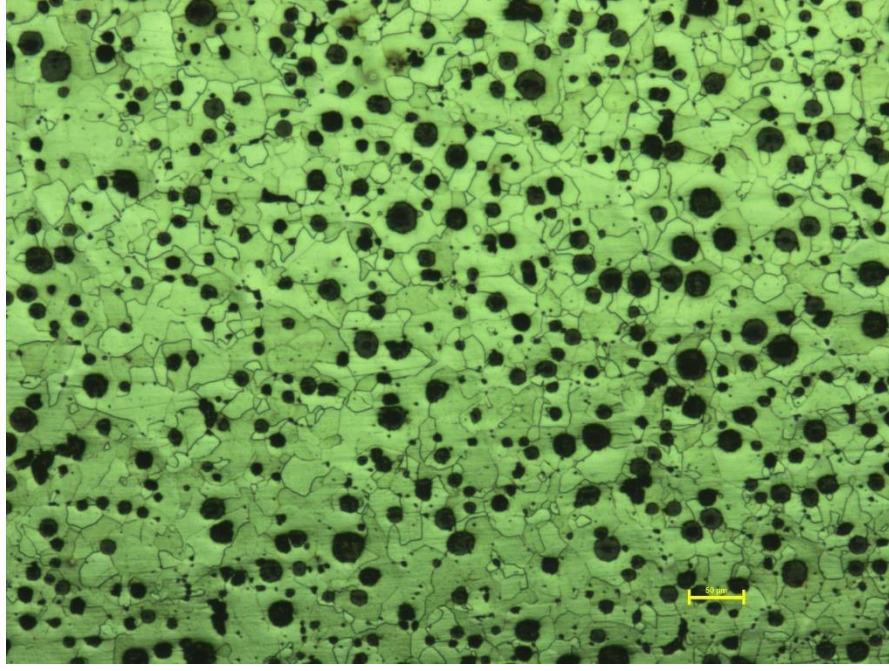
Mikroyapı resimlerinde Şekil 8.1 incelediğimizde EN-GJS-400-18 numunesinin ferrit oranı yüksek ve perlit oranının düşük miktarda olduğu tespit edilmiştir. Şekil 8.2'de EN-GJS-600-3 numunesinin mikroyapısına bakıldığında grafit kürelerinin etrafında ferrit yapısını çevrelediğini ve yanında da perlit yapısının olduğu görülmüştür. Şekil 8.3'de EN-GJS-600-10 numunesine bakıldığında perlit yapısının görülmediği ve grafit kürelerinin etrafında sadece ferrit yapısını yer almıştır.



Şekil 8.1. EN-GJS-400-18 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.

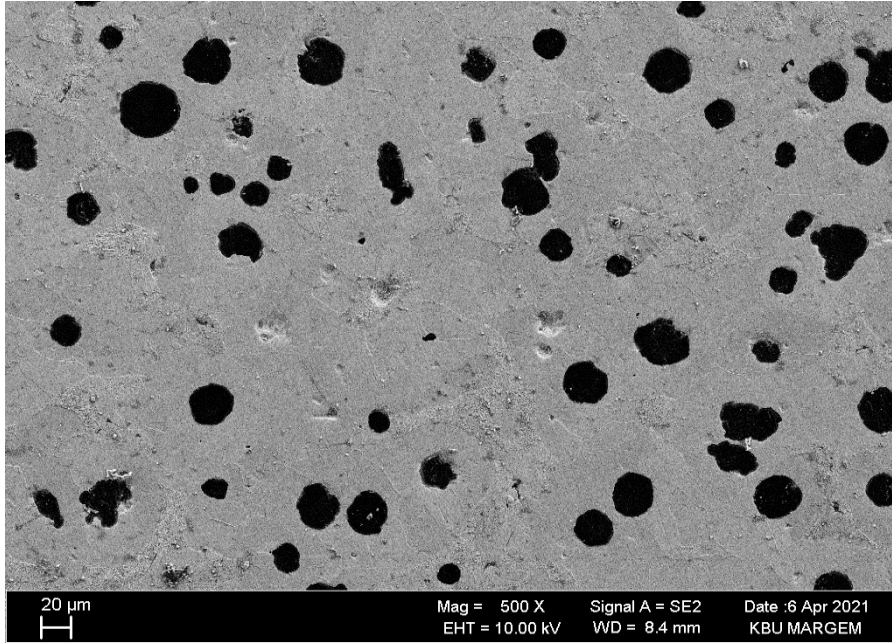


Şekil 8.2. EN-GJS-600-3 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.

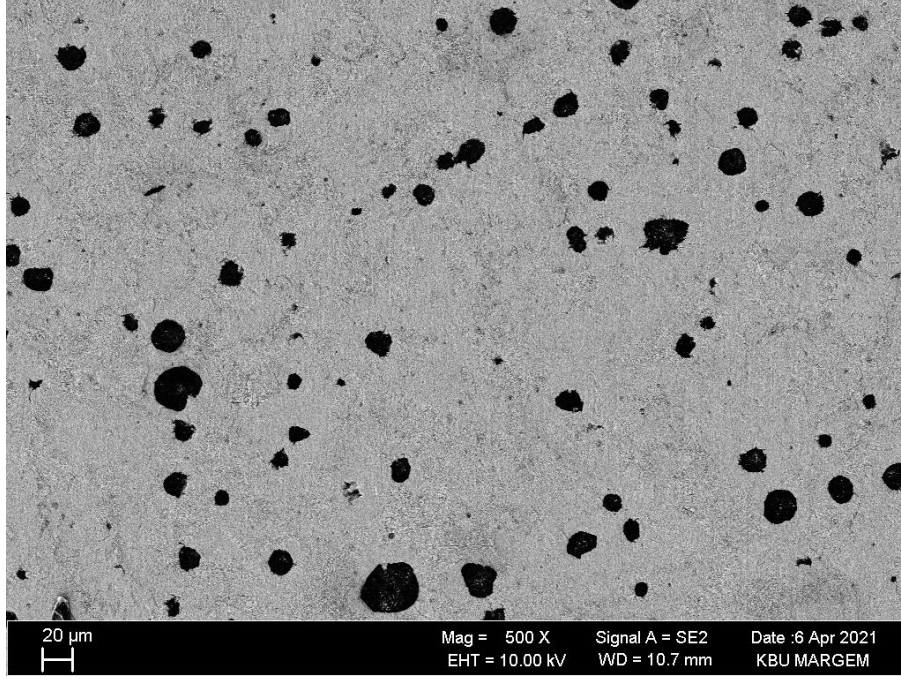


Şekil 8.3. EN-GJS-600-10 numunesine ait optik mikroskop mikroyapı görüntüsü.

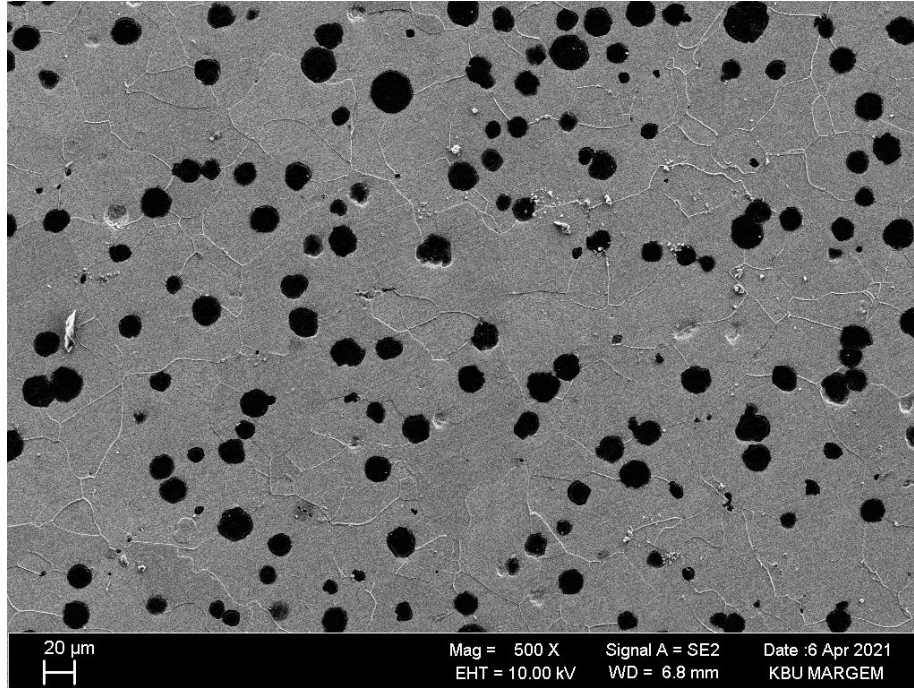
Optik mikroskop sonrası görüntüler incelendikten sonra Taramalı Elektron Mikroskopunda numuneler incelenmiş olup numunelerin küresellik açısından uygunluğu incelenmiştir.



Şekil 8.4. EN-GJS-400-18 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.5. EN-GJS-600-3 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.



Şekil 8.6. EN-GJS-600-10 numunesine ait SEM mikroyapı görüntüsü.

Çizelge 8.2'ye bakıldığında her 3 numune için dağlanma öncesi mikroyapıları alınmış ve Nikon programında incelenmiştir.

Çizelge 8.2. Küresel dökme demirlerin numunelerinin analiz sonuçları.

Numune	Ortalama Grafit Çapı (mm)	Küreselleşme Oranı (%)	Grafit Sayısı	Matris
EN-GJS-400-15	3-6	100	178	Ferrit+Perlit
EN-GJS-600-10	3-6	100	184	Ferrit
EN-GJS-600-3	3-6	100	181	Perlit+Ferrit

8.2. MEKANİK TEST DENEY SONUÇLARI

Üretim yöntemi olarak seçilen döküm sonrası Küresel Grafitli dökme demirlerin yapılan mekanik testler (çekme, çentik darbe ve sertlik) deney sonuçları Çizelge 8.3’de verilmiştir.

Çizelge 8. 3. Küresel Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri.

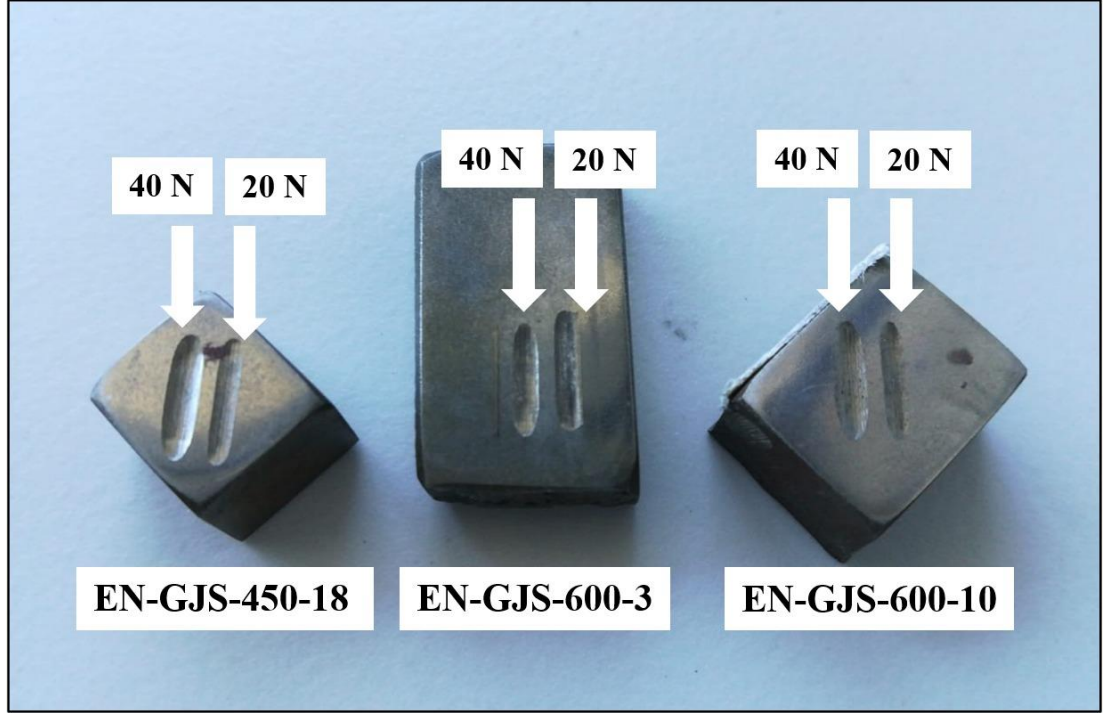
Mekanik Özellikler/ Malzeme Türleri	EN-GJS-400-15	EN-GJS-600-10	EN-GJS-600-3
Akma Muk. (σ_y , MPa)	428.8	461.4	420.2
Çekme Muk. (σ_{TS} , MPa)	586.7	662.5	730.4
Uzama (ϵ_f , %)	19.2	23.4	7.2
Tokluk ($\sigma_{TS} \times \epsilon_f$, J/m ³)	8,56 x 10 ⁷	9,42 x 10 ⁷	7,19 x 10 ⁷
Sertlik (HB)	180	225	240
Darbe Enerjisi(J)	81	91	48

Sonuçlar incelendiğinde EN-GJS-600-10 numunesinin mikroyapısında perlit yapısı tespit edilmemesine rağmen akma mukavemetinde ve uzama değerinde diğer numunelere göre yüksek oranda değer olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni içerik olarak silisyum elementinin yüksek olmasıyla beraber bu element katı çözelti

sertleşmesi gerçekleşmiş ve ferrit fazını meydana getirmiştir. Yapının ferrit içermesiyle EN-GJS-450-18 numunesine göre sertlik ile çekme mukavemeti artmış ve yapısında perlit içeren EN-GJS-600-3 numunesine göre sertlik ve çekme mukavemeti düşmüştür.

8.3. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Aşınma deneyi sonrası 20 N ve 40 N yükler altında makro görüntüleri Şekil 8.7’de gösterilmiştir. Geleneksel Küresel Dökme Demirlerin Yeni Nesil Dökme demirlere göre daha az oranda aşındığı gözlemlenmiştir.



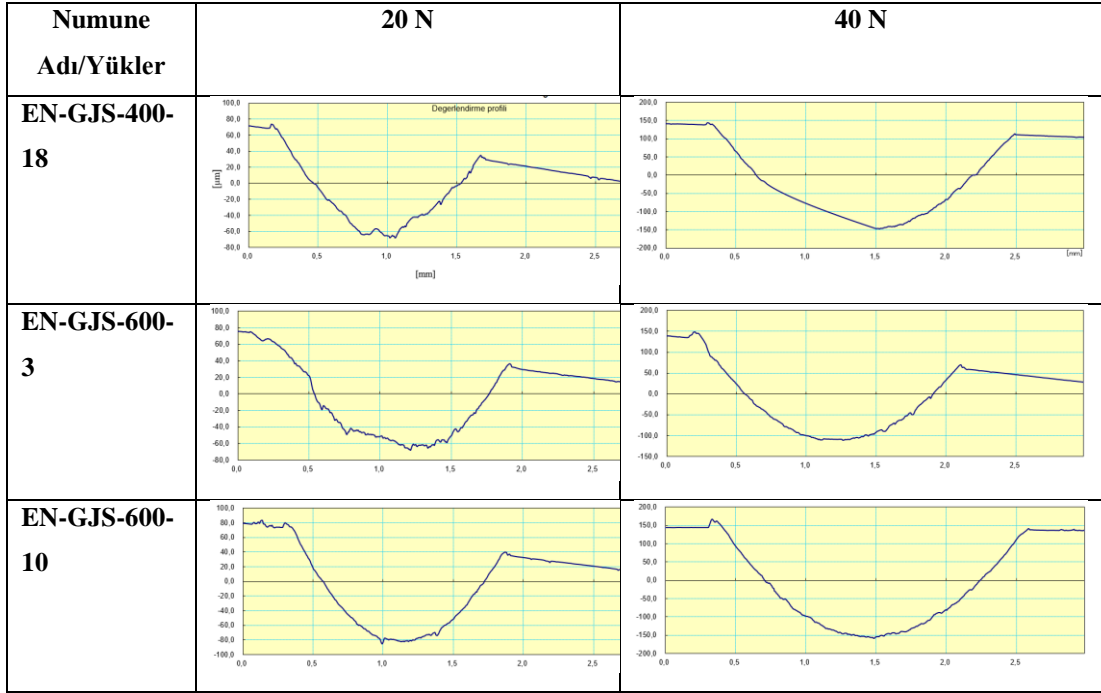
Şekil 8.7. Aşınma izi makro görüntüleri.



Şekil 8.8. Yüzeş profilometre cihazında kesit alan kaybı ölçümü.

Şekil 8.8’de gösterildiğı gibi aşınma numunelerinin kesitinden yüzeş profilometre test cihazı ile birim alan kaybı ölçümleri yapılmıştır. Aşınma numuneleri aşınma kurs boyları standart 10 mm olduğı için yüzeş profilometre cihazından bulunan birim kesit alanın 10 mm ile çarpılması sonucunda toplam hacim kaybı hesaplanmıştır. Hacim kaybı da yoğunluk değeri ile çarpılarak ağırlık kaybı bulunmuştur.

Şekil 8.9 incelendiğinde EN-GJS-600-3 ile diğer küresel dökme demirler incelendiğinde 20 N yükte de daha fazla alana sahip olduğundan dolayı az aşınma sergilediği tespit edilmiştir.



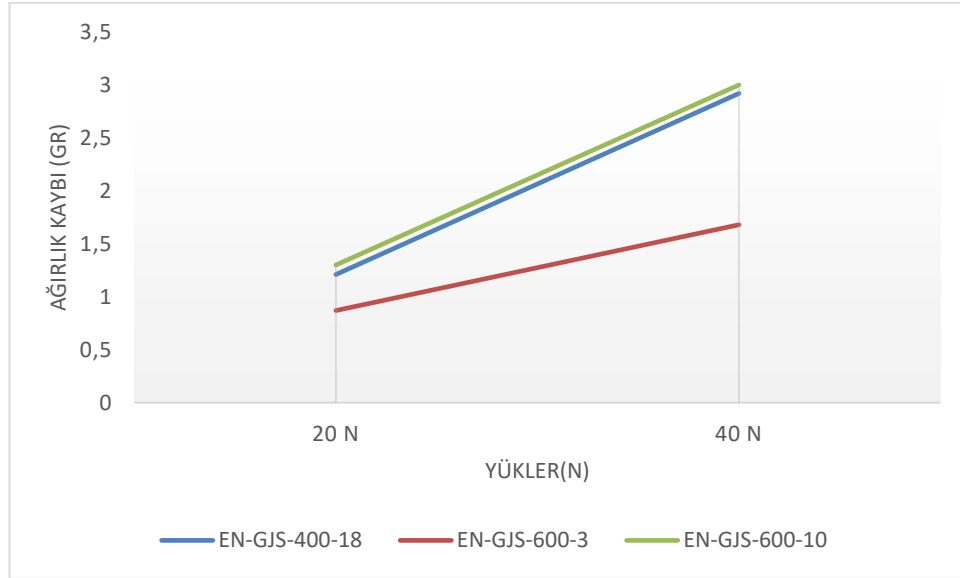
Şekil 8.9 Yüzey profilometre cihazından elde edilen grafikler.

Aşınma testi sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 8.5’de gösterilmiştir. Yeni nesil küresel dökme demirlerin geleneksel dökme demirlere göre daha fazla ağırlık kaybının olduğu görülmüştür.

Çizelge 8.4.Aşınma testi sonucunda elde edilen veriler.

Numune adı	Uygulanan yük (N)	Birim alandaki aşınma kaybı (mm ²)	Kurs boyu (mm)	Toplam hacim kaybı (mm ³)	Yoğunluk değeri (gr/cm ³)	Toplam ağırlık kaybı(gr)
EN-GJS-400-18	20 N	0,165	10 mm	1,65	7,3	1,21
	40 N	0,400	10 mm	4,00	7,3	2,92
EN-GJS-600-3	20 N	0,120	10 mm	1,20	7,3	0,87
	40 N	0,230	10 mm	2,30	7,3	1,68
EN-GJS-600-10	20 N	0,170	10 mm	1,78	7,3	1,30
	40 N	0,412	10 mm	4,12	7,3	3,00

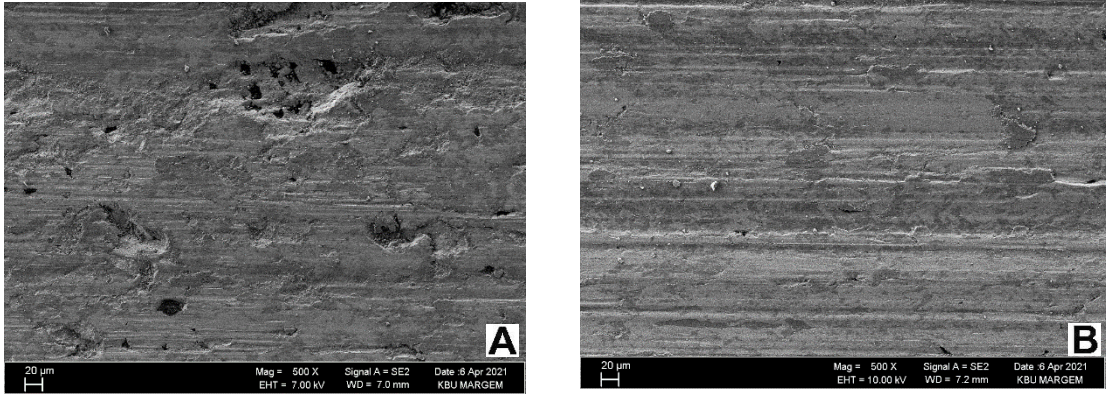
Şekil 8.10 incelendiğine EN-GJS-600-3 norm kaliteye sahip malzemenin diğer (EN-GJS-400-18 ve EN-GJS-600-10) küresel dökme demirlere göre daha az oranda ağırlık kaybı olduğunu, EN-GJS-400-18 normuna sahip küresel dökme demirin EN-GJS-600-10 olan malzeme ile kıyaslandığında daha az oranda ağırlık kaybının olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 8.10. Ağırlık Kaybı grafiği.

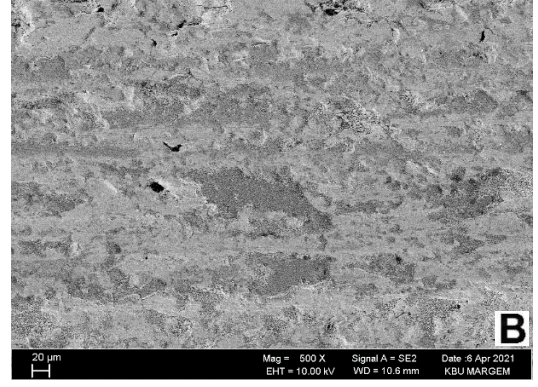
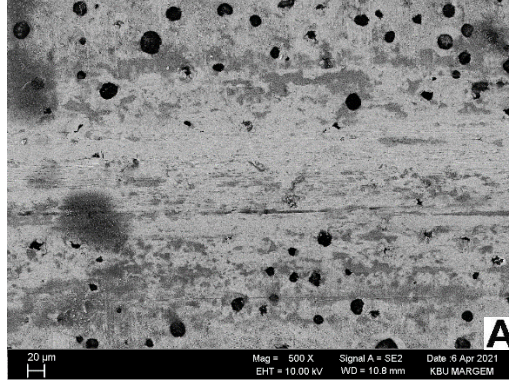
8.4. AŞINMA DENEYİ SONUCUNDA YÜZEY İNCELEME SONUÇLARI

Aşınma sonrası incelenen Taramalı Elektron Mikroskopunda incelenen Şekil 8.9'da EN-GJS-400-18 numunesinin 20 N ve 40 N yük altındaki mikroyapısı görülmektedir. Mikroyapı incelemesi sonucunda 20N'luk kuvvette yapıda kürelerin kaldığı ancak yeterli oranda bulunmadığını ve 40 N'luk kuvvette yapıda küre tespit edilemediği bunun nedeni ise mikroyapı incelemesinde %5 oranında perlit yapısının olduğu ve bu yapı sayesinde düşük orandaki yüklerde kürelerin tespit edildiği ancak yük artıça kürelerin yapıdan ayrıldığı tespit edilmiştir.



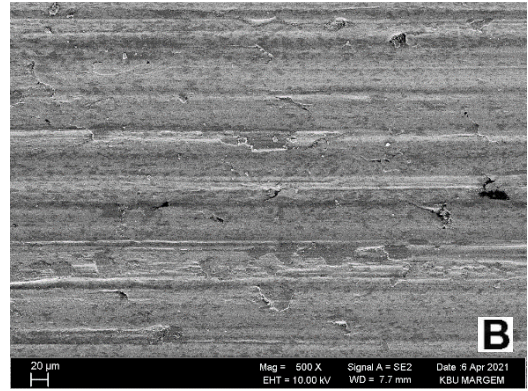
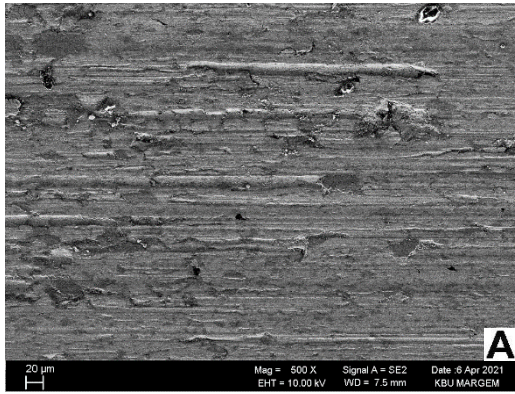
Şekil 8.11. EN-GJS-400-18 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.

Taramalı Elektron Mikroskopunda incelenen Şekil 8.10'da EN-GJS-600-3 numunesinin 20 N ve 40 N yük altındaki mikroyapısı görülmektedir. Mikroyapı incelemesinde içerisinde %40 oranda perlit içerdiği için yapıda kürelerin yapı arasında tutunarak kürelerin yapıda kalması tespit edilmiştir.



Şekil 8.12. EN-GJS-600-3 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.

Taramalı Elektron Mikroskopunda incelenen Şekil 8.11’de EN-GJS-600-10 numunesinin 20 N ve 40 N yük altındaki mikroyapısı görülmektedir. Mikroyapı incelemesinde yapı %100 ferritik yani yumuşak bir yapı olduğu için bütün yükler altında hiç bir küre tespit edilmediği görülmüştür.



Şekil 8. 13.EN-GJS-600-10 malzemesinin 20 N (a) ve 40 N (b) yükler altında aşınma sonrası SEM mikroyapıları.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR

Bu çalışmada 3 farklı Küresel Dökme Demirler (EN-GJS-450-18, EN-GJS-600-3, EN-GJS-600-10) döküm yöntemi ile üretimi sağlanmıştır. Yapılan dökümler sonrasında istenilen uygun kalite değerlerini sağlanmasını için çekme, çentik darbe ve aşınma testleri uygulanmıştır. Bu testler ile beraber döküm sonrası sertlik ve optik mikroskop çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ferritik ve Perlitik Küresel Dökme Demirleri döküm yöntemi olarak üretim yöntemi seçilmesi ile beraber kimyasal kompozisyonun değişmesinin mekanik ve mikro yapı özelliklerinin etkisi incelendiği bu çalışma sonucunda;

- Sertlik test sonuçları incelendiğinde artan silisyum miktarının sertlik miktarını düşürdüğü tespit edilmiştir.
- Mikroyapı resimleri incelendiğinde bütün küresel dökümlerde küresellik oranının %100 olduğu görülmüştür. EN-GJS-400-18 malzemesinde 178 küre miktarı ile %90 ferrit ve %5 perlit yapısı, EN-GJS-600-10 malzemesinde 184 küre miktarı ile beraber %100 ferritik yapısı, EN-GJS-600-3 malzemesinde 181 küre miktarı ile %95 perlit ve %5 ferrit yapısı elde edilmiştir.
- Çekme testlerine bakıldığında EN-GJS-600-3 normundaki malzemenin diğer dökme demirlere göre daha yüksek oranda çekme mukavemetinin olduğu ama EN-GJS-600-10 normuna sahip malzemenin diğer dökme demirlere göre akma mukavemetinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.
- Çekme testi sonrası EN-GJS-600-10 malzemesi ile diğer küresel dökme demirlere kıyaslandığında yüksek oranda uzama oranı olduğu elde edilmiştir.

- Geleneksel dökme demirler ile yeni nesil dökme demirin darbe direnci incelendiği zaman katı çözelti sertleşmesi mekanizması sayesinde yeni nesil dökme demirlerin daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- Sonuçlara bakıldığında yapılan literatür çalışmalarında bahsedilen yüksek silisyum miktarının mekanik özelliklere ters etki edileceğini söylemektedir ama bakıldığı zaman sadece silisyum miktarının değişmesi ile mekanik özellikler iyileşmiştir.
- Aşınma verileri incelendiği zaman EN-GJS-600-3 normuna sahip malzemenin 20 N ve 40 N yükler altında alınan mesafelere göre aşınma değeri EN-GJS-400-18 ile EN-GJS-600-10 normuna sahip malzemelere göre daha yüksek oranda aşınma değerlerine sahip olduğunu gözlenmiştir.
- Aşınma sonrası malzemelerin Taramalı Mikroskopta incelendiğinde EN-GJS-600-3 normuna sahip malzemenin içerisindeki perlit yapısı sayesinde kürelerin yapı arasında tutunduğunu ve böylece aşınma direncinin 20 N ve 40 N yükler altında diğer dökme demirlere göre daha yüksek dayanım sağlandığı görülmüştür.
- Yeni nesil dökme demirler incelendiği zaman geleneksel dökme demirlere göre işlenebilirlik konusunda daha kolay işlem olabileceği konusunda yeni bilimsel çalışmalara katkı sağlaması için yol gösterdiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. *ASM International*, “Properties and selection: irons, steels and high performance alloys”, Vol.1, Tenth Edition, (1990) **ASM Metals Handbook**.
2. *ASM International*, “Cast Iron”, (1996) **ASM Specialty Handbook**
3. *ASM International* “Alloy phase diagrams”, Vol 3, Tenth Edition (1992) **ASM Metals Handbook**.
4. İnternet: Milli Eğitim Bakanlığı, “Gri Dökme Demirler”, http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Gri%20%28esmer%29%20D%C3%B6kme%20Demir.pdf (2011).
5. **Baydoğan, M.** “GGG-60 sınıfı küresel grafitli dökme demirde östemperleme ısıl işleminin çekme, yorulma ve aşınma özelliklerine etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1996).
6. **Karsay S.I.**, “Ductile Iron Production Practices”, First Edition, Rio Tinto Iron & Titanium Inc. (1985).
7. **Callister W. D. Jr.**, “Materials Science and Engineering – An Introduction” (8th ed.), *Phase Diagrams*, 47, (2009) WILEY.
8. **ASM International**, “Casting”, Vol.15, Tenth Edition, ASM Metals Handbook (1992).
9. **Fredriksson H., Stjerndahl J., Tinoco J.**, Mater. Sci. Eng. 413,363–372 (2005).
10. **Pietrowski S., Gumienny G.**, Archives of Foundry 6 (22) 406–415 (in Polish) (2006).
11. **EN 1563:2011**. Founding – Spheroidal Graphite Cast Irons. European Committee for Standardization (2011).

12. Internet: Vac Aero, “Isothermal Solidification”, <https://vacaero.com/information-resources/vacuum-brazing-with-dan-kay/1292-isothermal-solidification.html> (2013).
13. **Kvande H.**, “Production of Primary Aluminium,” Woodhead Publishing Limited, (2011)
14. **Geim A. and Novoselov K.** , “Graphene: Scientific Background on The Nobel Prize in Physics,” pp. 505-508,(2010).
15. **Tiedje N. S.**, Solidification, processing and properties of ductile cast iron. *Materials Science and Technology*, 26(5), 505–514 (2010) .
16. **Gonzaga R.A.**, Influence of ferrite and pearlite content on mechanical properties of ductile cast irons” *Materials Science & Engineering A*, 1-3 (2013).
17. **González R., Martínez, Torre U., Ebel A., Lacaze J., Sertucha J.**, “Effects of high silicon contents on graphite morphology and room temperature mechanical properties of as-cast ferritic ductile cast irons. Part II – Mechanical properties”. *Material Science & Engineering A*, 803–811 (2018).
18. **Stets W., Löblich H., Gassner G. , Schumacher P.**, “Solution strengthened ferritic ductile cast iron properties, production and application”, *International Journal of Metalcasting/Volume 8, Issue 2* (2014),
19. **Abedi H.R, Fareghi A., Saghafian H., Kheirandish S.H.**, Sliding wear behavior of a ferritic–pearlitic ductile cast iron with different nodule count, *Wear*, 268 622–628 (2010).
20. **Mohamed I. A., Ibraheem A. A., Khashaba M. I., Ali W. Y.**, Influence of Heat Treatment on Friction and Wear of ductile Iron: I. Role of Copper and Molybdenum, *International Journal Of Control, Automation And Systems*, Vol.2 No.3 (2013).
21. **Borsato T., Ferro P., Berto F., Carollo C.**, Effect of Solidification Time on Microstructural, Mechanical and Fatigue Properties of Solution Strengthened Ferritic Ductile Iron, *Metals*, 9, 2, (2019).

ÖZGEÇMİŞ

Batuhan ÖZUSTA Ankara'da doğdu ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Bahçelievler Deneme Anadolu lisesinden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde Lisans öğrenime başladıktan sonra 2016 yılında aynı üniversitede çift anadal program kapsamında Makine Mühendisliği bölümünde eğitimini devam ettirdi. Okula başladığı ilk dönemlerde Karabük Üniversitesi Türk Kızılayı Kulübünde gönüllü olarak okul hayatını devam ettirdi ve bir çok büyük gönüllü projesinde yer almasıyla beraber organizasyon kurucularından birisi oldu. 2016 yılında ise Karabük Üniversitesi Türk Kızılayı Kulübünde Başkan Yardımcısı olarak devam etti. 2019 yılında iyi derece ile mezun oldu. Okulunun bitmesininden 1 ay sonra Ankara ilinde Cer Döküm ve Makine A.Ş.' de Kimyasal Kalite Kontrol Şefi olarak meslek hayatına başladı. Aynı yıllar içerisinde Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. Şuanda Mitaş A.Ş.'de Üretim Mühendisi (Galvaniz Mühendisi) olarak çalışmaya devam etmektedir.