

**DÖKME DEMİRDEN ÜRETİLEN FREN
DİSKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Umut KURNAZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2020

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DÖKME DEMİRDEN ÜRETİLEN FREN DİSKLERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Umut KURNAZ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Ocak 2020

TEZ ONAY SAYFASI

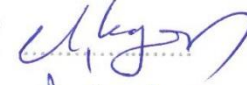
Umut KURNAZ tarafından hazırlanan “Dökme Demirden Üretilen Fren Disklerinin Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13 / 01 / 2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN
Afyon Kocatepe Ün., Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA
Afyon Kocatepe Ün., Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÇOLAK
Uşak Ün., Teknik Bilimler Meslek Yük.



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/01/2020



Umut KURNAZ

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**DÖKME DEMİRDEN ÜRETİLEN FREN DİSKLERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Umut KURNAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA

Bu çalışma araçlarda kullanılan fren diskleri üzerine yapılmıştır. Fren disklerinin aşınma sürecinin incelenmesi için ısıtma işlemi uygulanmış ve ısıtma işlemi uygulanmamış parçaların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Lamel grafitli gri dökme demirden üretilen fren diskinden numuneler elde edilerek östemplenme ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Östemplenme işlemi 900°C yapılarak 275°C ve 325°C iki farklı sıcaklıkta 5, 15, 30 ve 60 dk olmak üzere 4 farklı soğutma süresi kullanılarak ısıtma işlemleri yapılmıştır. Bu numunelerin testleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Araştırma Laboratuvarlarında ve Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Numuneler üzerinden darbe, sertlik ve ball on disk aşınma testleri yapılmıştır. Numunelerden deney sonrası mikro yapı görüntüleri alınmıştır. Mikro yapılar ve mekanik özellikler incelendiğinde yapılan ısıtma işlem uygulamasının malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

2020, ix + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fren disk, Dökme demir, Isıtma işlem, Aşınma, Sertlik, Tokluk

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

STUDY IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF BRAKE
DISCS MADE OF CAST IRON

Umut KURNAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Mehmet ÇAKMAKKAYA

This study is related to brake discs that are used in vehicles. In order to investigate the wear process of the brake discs, the mechanical properties of the heat-treated parts and non-heat treated parts were evaluated. Samples were obtained from brake disc that is produced from gray cast iron with lamella graphite and it was subjected to austempering heat treatment. The austempering process was carried out at 900°C and heat treatment was performed at two different temperatures as 275°C and 325°C by using four different cooling times such as 5, 15, 30 and 60 minutes. The tests of these samples were carried out in Afyon Kocatepe University Research Laboratories and Sakarya University Metallurgical and Materials Engineering Laboratories.

Impact, hardness and ball on disc wear tests were performed on the samples. After the test, microstructure images were taken from the samples. When the micro structures and mechanical properties were analysed, it was seen that the heat treatment application improved the mechanical properties of the material.

2020, ix + 59 pages

Keywords: Brake disc, Cast iron, Heat treatment, Wear, Hardness, Toughness

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamın her aşamasında öneri ve eleştirileriyle bana yol gösteren, maddi ve manevi her türlü olanağı sunarak çalışmalarımın tamamlanmasını sağlayan saygı değer hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÇAKMAKKAYA'ya çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında, Afyon Kocatepe Üniversitesi bünyesinde yer alan test ve ekipmanları kullanmamda yardımlarını esirgemeyen hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezim için gerekli olan fren diski temininde yardımcı olan Mensan Otomotiv'e, numunelerin CNC tezgahta işlenmesi konusunda yardımlarını esirgemeyen Temel Makine'ye ve numunelere ısıtma işlem uygulanması konusunda destek olan Yıldız Isıl İşlem firmasına teşekkür ederim. Ayrıca aşınma deney çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi öğretim üyelerinden sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Serdar ASLAN'a ve Arş. Gör. Erhan DURU'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bugünlere ulaşmamda kuşkusuz en büyük pay sahibi olan ve her konuda maddi ve manevi desteklerini bir an olsun esirgemeyen babama, anneme ve abime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Umut KURNAZ
Afyonkarahisar, 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Dökme Demirler	3
2.1.1 Beyaz Dökme Demir	3
2.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir	4
2.1.3 Temper Dökme Demir.....	5
2.1.4 Gri Dökme Demir.....	5
2.1.4.1 Gri Dökme Demirin Kullanım Alanları	8
2.2 Fren Sistemi	9
2.2.1 Kampanalı Fren	10
2.2.2 Disk Fren	11
2.3 Isıl İşlem	14
2.3.1 Östemperleme.....	15
2.4 Aşınma	16
2.4.1 Abrasif Aşınma.....	17
2.4.2 Adheziv Aşınma	18
2.5 Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	19
3. MATERYAL ve METOT	23
3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler.....	23
3.2 Mikro Yapı Çalışmaları	25
3.3 Metalografik Çalışmalar	25
3.3.1 Zımparalama İşlemi.....	25
3.3.2 Parlatma İşlemi	25
3.3 Sertlik Testleri.....	26
3.4 Darbe Deneyi	26

3.5 Aşınma Deneyi	28
3.6 Aşınma İzi Analizi	28
3.7 Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar	28
3.7.1 Zımparalama ve Parlatma Cihazı	28
3.7.2 Sertlik Ölçüm Cihazı	29
3.7.3 Darbe Deneyi Cihazı	30
3.7.4 Aşınma Deneyi Cihazı.....	31
3.7.5 Profilometre Cihazı	32
3.7.6 Optik Mikroskop	33
3.7.7 Taramalı Elektron Mikroskobu	34
4. BULGULAR	35
4.1 Optik Mikroskop Mikro Yapı Görüntüleri	35
4.2 Sertlik Ölçümleri.....	37
4.3 Darbe Deneyi Sonuçları.....	39
4.4 Aşınma Deneyi Sonuçları	44
4.5 SEM Mikro Yapı Görüntüleri.....	49
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	52
5.1 Sonuçlar	52
5.2 Öneriler	53
6. KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	59

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe ₃ C	Sementit
FeS	Demir sülfür
Mn	Mangan
MnS	Mangan sülfür
Ni	Nikel
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum

Kısaltmalar

AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
°C	Celcius
CNC	Bilgisayar destekli nümerik kontrol
HRA	Rockwell A sertlik değeri
N	Newton
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
STD	Standart numune
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Lamel grafitli gri dökme demir mikro yapısı.....	6
Şekil 2.2 Araçtaki fren sistemleri.....	10
Şekil 2.3 Isıl işlemde genel olarak işlem prosesi.....	15
Şekil 2.4 Abrasif aşınmanın şematik gösterimi.....	18
Şekil 2.5 Adheziv aşınmanın şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.1 Hazırlanan V çentik numunelerin detay çizimi.....	27
Şekil 4.1 Isıl işlem uygulanmamış numunenin mikro yapısı (100X).....	35
Şekil 4.2 275 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin mikro yapısı (100X).....	36
Şekil 4.3 325 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin mikro yapısı (100X).....	37
Şekil 4.4 Numunelerin sertlik sonuçları.....	39
Şekil 4.5 Darbe deneyi sonuçları.....	41
Şekil 4.6 Isıl işlem uygulanmamış numunenin sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	45
Şekil 4.7 275 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	45
Şekil 4.8 325 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.....	46
Şekil 4.9 Profilometre cihazından alınan 3 boyutlu aşınma yüzeyi.....	46
Şekil 4.10 Profilometre cihazından alınan aşınmış bölgenin kesit alanı.....	47
Şekil 4.11 Numunelere ait aşınma hacmi ve aşınma hızı.....	48
Şekil 4.12 Isıl işlem uygulanmamış numuneye ait SEM mikro yapısı (300X).....	50
Şekil 4.13 275 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin SEM mikro yapısı (300X).....	50
Şekil 4.14 325 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin SEM mikro yapısı (300X).....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan fren diskinin kimyasal bileşimi	24
Çizelge 3.2 Kullanılan deney parametreleri	24
Çizelge 4.1 Numunelerin sertlik ölçüm sonuçları	38
Çizelge 4.2 Numunelerin darbe deneyi sonuçları	40
Çizelge 4.3 Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri	44

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Gri dökme demirden üretilen parçalar	9
Resim 2.2 Kampanalı fren.....	11
Resim 2.3 Fren diski	13
Resim 3.1 Silindirik olarak hazırlanan örnek numune.....	23
Resim 3.2 Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış darbe deneyi numuneleri	27
Resim 3.3 Metkon Gripo 2V marka zımparalama ve parlatma cihazı	29
Resim 3.4 METTEST marka sertlik ölçüm cihazı	30
Resim 3.5 Darbe deneyi yapılan Charpy deney düzeneği	31
Resim 3.6 CSM marka aşınma deneyi cihazı.....	32
Resim 3.7 Nanovea ST 400 marka profilometre cihazı	33
Resim 3.8 Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskobu	33
Resim 3.9 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	34
Resim 4.1 Isıl işlem uygulanmamış numunenin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi ..	42
Resim 4.2 275 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyleri	42
Resim 4.3 325 ⁰ C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyleri	43

1. GİRİŞ

Günümüzde her sektörde olduğu gibi otomotiv endüstrisinde de rekabet çok fazla artmış durumdadır. Bu rekabet içerisinde yer alabilmek için daha uzun ömürlü, daha performanslı ve daha ucuza mal edilen malzemelerin kullanılması amaçlanmaktadır.

Otomotiv endüstrisinde dikkat edilmesi gereken en önemli konuların başında güvenlik konusu gelmektedir. Günümüzde araç güvenliği konuları ele alındığında frenleme performansı önemli konulardan biridir. Frenleme performansını arttırarak daha iyi sonuçlar elde etmek için fren disklerinde oluşan aşınma sorunlarına karşı çözüm üretilebilmesi önemli konulardan biridir. Otomotiv endüstrisinde dökme demirlerden üretilen fren diskleri kullanılmaktadır. Fren disklerinde oluşan frenleme performansındaki azalmayı en aza indirebilmek adına dökme demirden üretilen fren diskleri ısıtılarak, otomotiv endüstrisinde kullanılan bu disklerin mekanik özelliklerinin iyileşmesiyle, frenleme performansının artması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde, yapılan çalışmanın konusuyla birlikte amaçları ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatüre ait bilgiler ele alınmıştır. Bu bölümde dökme demirlerden, fren sistemlerinden, fren disklerine uygulanabilecek olan östemperleme ısıtılmasından ve daha önceden yapılmış olan literatür çalışmalarına ait bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, yapılan çalışma sırasında kullanılan metotlar ve materyaller ele alınmıştır. Çalışmada kullanılan numunelere ait malzeme bilgilerinden ve numunelere uygulanan ısıtılma işlem yöntemi ele alınmıştır. Afyon Kocatepe Üniversite bünyesinde yer alan makineler ve cihazlarla birlikte ölçme cihazları tanıtılmıştır. Ayrıca üniversite bünyesinde yer almayarak dışarıda yaptırılan testlere ait cihazlar hakkında bilgi paylaşılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde ise sertlik, darbe, aşınma test sonuçları ve numunelerin mikro yapı görüntüleri hakkında gerekli açıklamalar yapılarak görselleri paylaşılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde, elde edilen sonuçlarla birlikte, gelecekte yapılacak çalışmalara fikir vermesi amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Dökme Demirler

Dökme demir, %2.11 ile %6.67 arası karbon içeren demir-karbon alaşımlarının genel olarak isimlendirilmesidir. Çelikler de demirin karbonla alaşımlanması sonucunda elde ediliyor olmaktadır, fakat dökme demirden farklı olarak çeliklerin içerisinde %2.11'den daha az karbon yer almaktadır (Öztürk 2013).

Dökme demirler, demirin karbonla alaşımlanmasıyla üretiliyor olsa da, günümüzde sanayide dökme demir üretimi sırasında alaşım içerisine %1-%3 oranında silisyum ilavesi olmaktadır. Silisyum ilavesi göz önüne alındığında sanayide üretilen dökme demirler demir, karbon ve silisyum alaşımları olarak ele alınmaktadır. Karbon ve silisyuma ilave olarak dökme demirlerde düşük miktarda fosfor ve kükürtün yanı sıra mangan da yer almaktadır (Öztürk 2013).

Dökme demirlerin sınıflandırılması incelendiğinde 4 farklı türü olduğu görülmektedir. Bunlar;

1. Beyaz dökme demir
2. Küresel grafitli dökme demir
3. Temper dökme demir
4. Gri dökme demir (Anonim 2015).

Son zamanlarda otomobil üretiminde dökme demirin kullanımı zorunlu bir durum olarak gösterilmiştir. Erime noktası yüksek olması nedeniyle motor bileşenlerinde, aşınmaya dayanıklı özelliklerinden dolayı da otomobilde yer alan diğer bileşenlerinin yapımında da kullanılmaktadır. Dökme demir bileşenleri elde etmek için birçok döküm yöntemi kullanılmaktadır (Gowda vd. 2018).

2.1.1 Beyaz Dökme Demir

Beyaz dökme demir, kalıp içerisine dökülen demirin çabuk olarak soğuması sonucunda

karbonun yapı içerisinde kalması ile oluşmaktadır. Ana alaşım C, Si, Ni, Cr, ve Cu içeren demir esaslı alaşımlardır. Soğuma hızı gri dökme demirlerdeki gibi karbonun grafit yaprakları şeklinde çökmesine olanak sağlamaz. Bileşimlerinde genellikle %1,8 ve 3,6 arası C elementi, %0,5 ve 1,9 arası Si elementi yer almaktadır. Çelik üretiminde demir içerisinde bulunan C miktarının çok az olmasından dolayı bu karbon katılma esnasında yapıdan ayrışmamaktadır ve çözünmüş durumda kalmaktadır. Buna benzer durum beyaz dökme demirlerde de görülmektedir. Fakat çeliklere göre dökme demirlerin içerisindeki karbon miktarı çok daha yüksek olduğundan sıvı fazda çözünmüş olarak bulunan karbonun çökmesine fırsat vermeden malzemeyi katılaştırmak gerekmektedir. Beyaz dökme demirler, madencilik sektöründe, çamur pompaları ve çimento endüstrileri gibi yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Beyaz dökme demirlerin yapısı çeliklere benzemektedir. Oluşan demir karbon (Fe_3C), sert ve kırılgandır. Genellikle bu sementit parçacıklarından kırılma meydana gelir. Kırılma yüzeyleri incelendiğinde açık veya beyaz renkli görülür, bu sebepten dolayı bu dökme demirler “beyaz dökme demir” olarak isimlendirilebilir (Güler 2019).

Beyaz dökme demirler yüksek aşınma direncine sahip olmakla birlikte işlenebilirliği aşırı derece zordur. Beyaz dökme demirlere $800-900^{\circ}C$ sıcaklıklarda ısıtılarak işlem uygulanması Fe_3C grafit kümelerinin bozulmasına neden olur. Beyaz dökme demirler, temper dökme demir üretiminde kullanılmaktadır (Hayati 2016).

2.1.2 Küresel Grafitli Dökme Demir

Küresel grafitli dökme demir, yapısı içerisinde bulunan grafitlerin küresel biçimde olmasından dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. Küresel grafitli dökme demirlerin küresel yapısı, sıvı kır dökme demire çoğunlukla az miktarda magnezyum veya seryum, kalsiyum, lityum gibi elementlerin ilavesiyle elde edilir. Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde yaygın kullanımı çeliğin mekanik özelliklerine sahip olmakla birlikte dökme demirin fiziksel ve üretim özelliklerini taşımasından dolayı kazanmıştır. Bilindiği üzere dökme demirler kırılgandır. Fakat küresel grafitli dökme demirler ise diğer dökme demirlerden farklı olarak daha sünek bir yapıya sahiptir. Dökme demirlerin bilindiği üzere dökülebilirlik, işlenebilirlik,

yüklenme kapasitesi ve üretim özellikleri gibi üstün özelliklerinin yanı sıra küresel grafitli dökme demirlerde ise geniş mukavemet aralıkları, aşınma direnci, tokluk ve yorulma direnci özellikleri vardır (Gider 2015). Bu belirtilen özelliklerin yanında küresel grafitli dökme demirlerin en bilinen özelliği sünekliktir. Küresel grafitli dökme demirler belirtilen bu üstün özelliklerinden dolayı direksiyon mafsalları, pulluk, krank milleri, ağır dişliler, otomotiv ve kamyon süspansiyon parçaları, hidrolik parçalar ve otomobil kapı menteşeleri gibi birçok parça imalatında kullanılmaktadır (İnt.Kyn.3).

2.1.3 Temper Dökme Demir

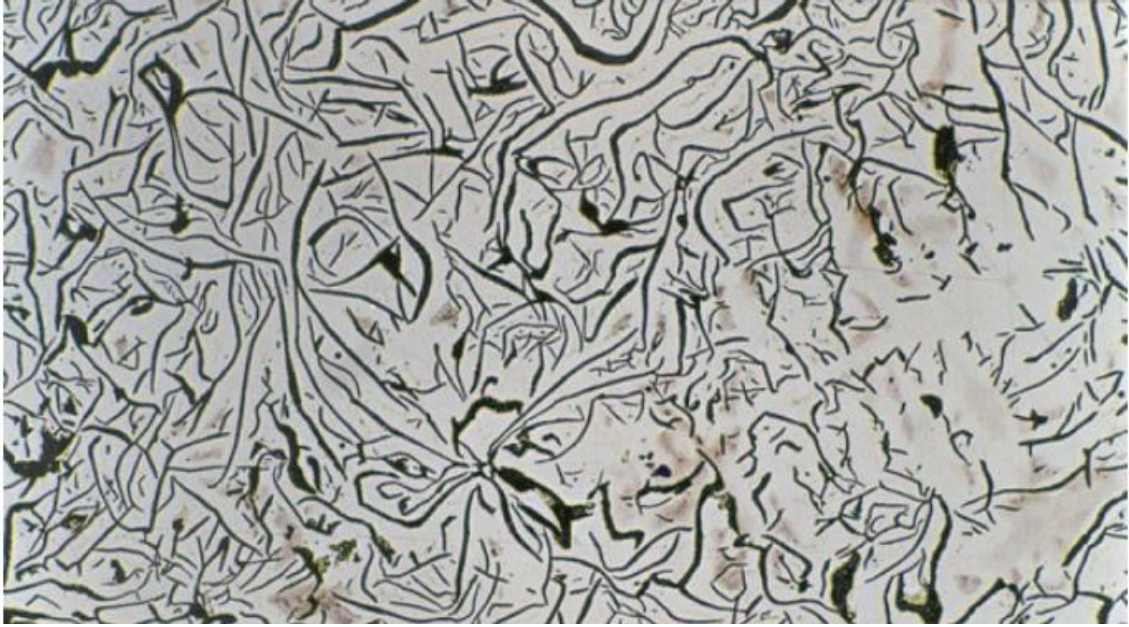
Temper dökme demirler diğer dökme demir türlerinden farklıdır. Beyaz yapıları ile dikkat çekmekle birlikte perlitik bir matriste bulunan demir karbürlerden oluşan bir yapıya sahiptir (Anonim 1990). Temper dökme demirler grafitsiz, sert ve kırılğan, beyaz dökme demirin temperlenmesi olarak adlandırılan ısıtma işlemi ile karbürlerin parçalanması sonucu oluşmaktadır. Temper dökme demirler yüksek mukavemetli, sünek, iyi işlenebilirlik özelliğine sahip ve mikro yapısı ferrit ve temper karbonundan meydana gelen bir dökme demir çeşididir. Temper dökme demirlerin yapısı beyaz dökme demir yapısına sahip dökümlerin ısıtma işlemiyle elde edilir (Sağlam 2009). Beyaz dökme demirlerin 800-900⁰C tavlama sonucu beyaz demir yapısı temper dökme demir yapısına dönüştürülebilir (Anonim 2010). Temper dökme demirler bazı uygulamalar için istenilen işlenebilirlik, tokluk, korozyon direnci, süneklik, yeterli dayanım ve bütün dökümlerin ısıtma işlemlerinden dolayı da üniformluğa sahip olduğundan dolayı önemli bir mühendislik malzemesidir. Temper dökme demirler ağır yük taşıyan yüzeylerde, zincirler, zincir dişlileri, bağlantı çubukları, aktarma organları ve aks bileşenleri, vagonlarda, tarım ve inşaat makineleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (İnt.Kyn.3).

2.1.4 Gri Dökme Demir

Dökme demirin tarihi incelendiğinde ilk olarak Çin'de 700'lü yıllarda görülmüştür. XIV. yüzyıla kadar farklı küçük aparatlarda kullanılırken, kütle olarak bu yüzyıldan sonra kullanılmaya başlanmıştır. 1730'da Darby adlı bir kişi dökme demirde ilk defa

kok kullanılmıştır. Daha sonra XIX. yüzyıl ve XX. yüzyıl da farklı gelişmeler yaşanarak daha mukavemetli dökme demir üretimleri gerçekleşmiştir. Günümüzde de birçok alanda kullanılan malzemelerde dökme demirlerle karşılaşmaktadır (Perez ve Stameroff 2003).

Katılaştıktan sonra bileşimindeki karbonun çoğunluğunun serbest grafit yaprakları (lamel-pul) halinde bulunan bir dökme demir çeşididir. Kırıldığı zaman kırılma yüzeyi incelendiğinde gri bir görünüme sahiptir. Grafitten dolayı rengi esmer olan bu dökme demire gri dökme demir, bir diğer adıyla lamel grafitli dökme demir denir (MEB 2011).



Şekil 2.1 Lamel grafitli gri dökme demir mikro yapısı (Ruble 2014).

Gri dökme demir mikro yapı görüntüsünde de görüldüğü gibi grafit pullarla dolu olsa da, özellikle yüksek bir erime sıcaklığı olan bir malzemedir. Gri dökme demir, aşınmaya karşı çok dirençlidir (Ruble 2014). Gri dökme demir içerisinde yer alan grafitler kayganlaştırıcı özellik katmasıyla birlikte kolay işlenebilir yapıya getirmektedir. Bununla birlikte gri dökme demirleri kırılgan bir hale getirmektedir (Anonim 2009).

Gri dökme demirin bileşeni incelendiğinde içerisinde karbon oranı; %2,5-%4, silisyum

oranı; %1-%3, mangan oranı; %0,2-%1, fosfor oranı; %0,02-%1 ve kükürt oranı; %0,02-%0,25 olacak şekilde yer almaktadır. Gri dökme demirin içerisinde yer alan bu alaşım elementlerinin her birinin farklı bir etkisi söz konusudur (İnt.Kyn.1).

Karbon, gri dökme demirin ergime sıcaklığının düşmesini sağlarken, akıcılığını artırır. Bunun yanında grafit miktarı fazla olduğundan gri dökme demirin dayanımını azaltır. Gri dökme demirin bileşiminde karbon miktarı azaldıkça (örneğin: %3'den az) gri dökme demirin çekmesinde de artış görülür. Gri dökme demirde karbon bileşik ve serbest halde bulunur. Kimyasal bileşimde belirtilen gri dökme demirdeki karbon oranı toplam karbon oranını ifade eder (İnt.Kyn.1).

Silisyum, gri dökme demir içerisinde %1,00-3,50 arasındadır ve silisyum en fazla grafitleşmeye etki etmektedir. Düşük orandaki silisyum katılaşma esnasında grafitleşmeyi sağlamak için yetersiz kalır, fakat yüksek sıcaklıkta ısıl işlem ile katı halde grafitleşme ve çekirdek oluşumunu sağlar. Mikro yapı incelendiğinde silisyum, ferritin içinde erimiş durumdadır ve ferrite dayanım kazandırır (Akgül 2018).

Gri dökme demir yapısında %0,25 civarı oranda kükürt, daha fazla grafitleşmeyi sınırlayan bir element konumundadır. %0,25'in üzerindeki kükürt gri dökme demirlerde istenilmeyen derecede sertlik kazandırır ve gri dökme demirin işlenebilme kabiliyetini düşürür. Kükürtün etkisi ele alınırken kimyasal bileşim içerisinde yer alan Mn elementi göz önüne alınarak incelenmelidir. Yalnız başına kimyasal bileşimde yer alan kükürt, demir sülfür oluşumuna neden olur. Kimyasal yapı içerisinde Mn elementi yer alıyorsa, manganın yüzde oranına bağlı olarak mangan sülfür veya kompleks yapıda demir-mangan-sülfürleri oluşur. Tek başına ele alındığında Mn elementi grafitleşmeye dirençlidir. Dolayısıyla S elementiyle reaksiyon için yetecek orandan fazla miktarda Mn elementi perlitik mikro yapının devamlılığını sağlar (Akgül 2018).

Fosfor, ergiyik metalin akışkanlığını arttıran ve soğumuş parçanın aşınma direncinin artmasını sağlayan bir elementtir. Katılaşma sırasında P elementinin ergiyiğe direkt olarak atılmasından dolayı katılaşma sıcaklığı düşmektedir. Ayrıca karbürlerle kolayca karışmaktadır (Akgül 2018).

Gri dökme demirlerin yapıları incelendiğinde olumlu yönleri ile birlikte olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Gri dökme demirin avantajlarını ele alacak olursak;

1. Grafitin enerji emme kapasitesi yüksektir. Bundan dolayı titreşimleri sönümlenme konusunda da çok etkilidir.
2. Aşınma dirençleri yüksektir.
3. Sıvı halde akışkanlıkları yüksek olduğundan dolayı karmaşık parçaların dökümü gerçekleştirilebilir.
4. Katılma sırasında büzülme ve çekilme oranı düşüktür.
5. Metalik malzemeler arasında değerlendirildiğinde ucuz bir malzemedir.
6. İşlenebilirlikleri iyidir.
7. Kaynak edilebilirlik kabiliyetleri iyidir.

Gri dökme demirlerin dezavantajlarını ele alırsak;

1. Mikro yapısı ve lamel grafit kümeleri yapısında barındırmasından dolayı düşük süneklik ve çekme dayanımına sahiptirler.
2. Darbe dirençleri yok denilecek kadar azdır (Anonim 2015).

2.1.4.1 Gri Dökme Demirin Kullanım Alanları

Gri dökme demirler ele alındığında sahip olduğu özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe, takım tezgahı gövdelerinde, boru ve boru bağlantı parçalarında, tarımsal aletlerde, ağır makinelerle birlikte titreşim sönümlenme ve ısı direncinin en önemli olduğu fren diski gibi araç parçalarında kullanılmaktadır (Ruble 2014). Fren diskinin yanında otomotiv endüstrisinde motor bloklarında da kullanılmaktadır. Ayrıca gri dökme demir, pompa gövdelerinin üretiminde de kullanılmaktadır (Köster 2013). Bunlara ilave olarak dişliler, pinyonlar, krank milleri, fren kampanası, debriyaj plakaları, silindir gömlekleri ve piston segmanları gibi otomobil parçaları da genellikle gri dökme demirden dökülür (Sarkar vd. 2018).



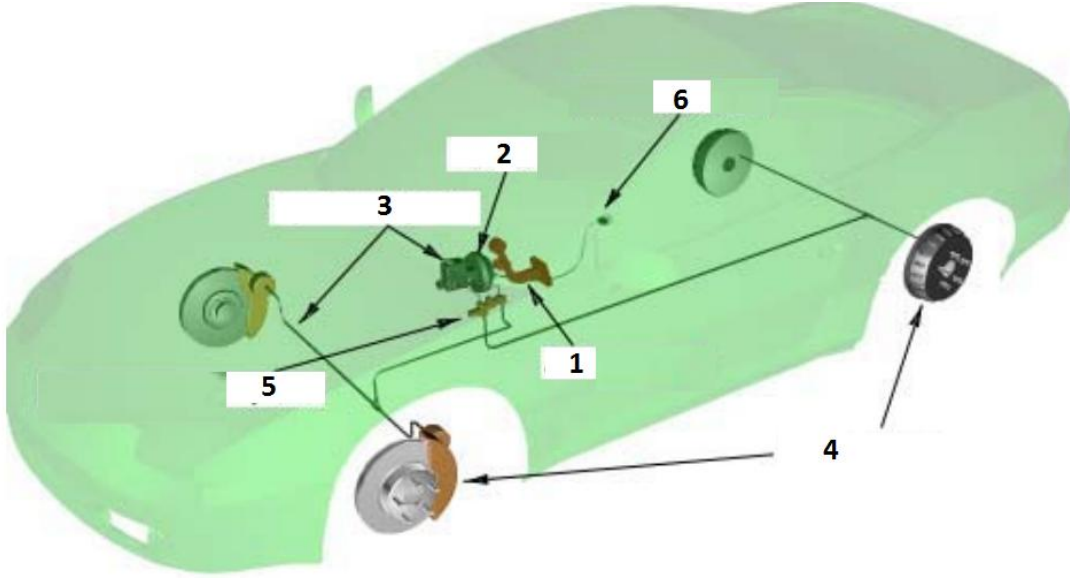
Resim 2.1 Gri dökme demirden üretilen parçalar (Anonim 2015).

2.2 Fren Sistemi

Otomobil fren sisteminin araçlarda en önemli sistem olduğu bilinmektedir. Frenleme gerçekleşmez ise, bir kaza olabilir, insanlar yaralanabilir ve hatta ölebilir. Otomobil fren sistemi bir otomobilin performansını ölçmek için önemli bir unsurdur. Fren sisteminin performansı, araçların diğer özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Shi 2016).

Otomotiv frenleri, kinetik enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek bir aracı yavaşlatmak ve durdurmak için tasarlanmıştır. Fren balataları kampana veya rotorlara temas ettiğinde, ısı enerjisi üreten sürtünme yaratırlar. Isının yoğunluğu, araç hızı, aracın ağırlığı ve durma hızıyla orantılıdır (Jones 2004). Bir fren, aracın en önemli kontrollerinden biridir. Fren sistemi bazı parçalarla etkileşim içerisinde. Her araçta o aracı durdurmak üzere fren sistemi bulunmaktadır. Otomobillerde kullanılan fren sistemlerini ele alınırsa;

1. Uygulama sistemi
2. Takviye sistemi
3. Hidrolik sistem
4. Tekerlek freni
5. Denge kontrol sistemi
6. Uyarı sistemi



Şekil 2.2 Araçtaki fren sistemleri (Jones 2004).

Çoğu modern otomobil, hidrolik sistemle çalışan dört tekerleğin hepsinde de fren yapar. Frenler disk tipi veya kampana tipi olabilir. Ön frenler, aracı durdurmada arka frenlerden daha büyük bir rol oynar, çünkü frenleme araç ağırlığını ön tekerleklere doğru ileriye atar. Bu nedenle birçok otomobil ön kısımda genellikle daha verimli olan disk frenlere sahip iken, arkada yer alan tekerleklerde ise kampanalı frenler bulunmaktadır (İnt.Kyn.4).

2.2.1 Kampanalı Fren

Modern araçlarda kullanılan birçok fren sistemi tasarımı vardır. Tasarımdan bağımsız olarak, tüm sistemler dönen ve döndürmeyen birimlerin kullanılmasını gerektirir. Bu birimlerin her biri, birlikte zorlandıklarında frenleme hareketi için sürtünme üreten fren yüzeylerinden birini barındırır. Birçok motorlu taşıt tekerlek frenindeki dönen ünite, tekerlekle sabitlenmiş ve tahrik edilmiş bir tamburdan oluşur. Dönmeyen ünite, fren pabuçlarından ve pabuçları tambura uygulamak için gereken bağlantıdan oluşur (Anonim 2015).

Kampanalı fren, tekerleği döndüren içi boş bir kampanaya sahiptir. Açık sırtı, üzerinde sürtünme balataları taşıyan iki kavisli pabuçların bulunduğu sabit bir arka plaka ile

kaplanmıştır. Pabuçlar frenin tekerlek silindirlerindeki hidrolik basınçlı hareketli pistonlar tarafından dışarıya doğru zorlanır, bu nedenle astarları tamburun içine doğru bastırmak veya yavaşlatmak için bastırır. Frenler açıkken, pabuçlar tamburlara karşı pistonları tarafından zorlanır. Her fren pabucunun bir ucunda bir pivot, diğeri ucunda bir piston bulunur. Önden hareket eden pabucun pistonu, tamburun dönüş yönüne göre ön kısımda bulunur. Kampananın dönüşü, ön pabucun temas ettiğinde sıkıca ona doğru çekerek frenleme etkisini artırma eğilimindedir (İnt.Kyn.4).

Kampanalı frenler kısa süre içinde tekrar tekrar uygulanırsa çabuk ısınırlar ve tekrar soğuyuncaya kadar verimleri düşmektedir. Diskler daha açık yapıli konstrüksiyonlara sahip olduklarından dolayı frenleme performansında azalma yaşanmaya daha az eğilimlidir (İnt.Kyn.4).



Resim 2.2 Kampanalı fren (Temiz 2010).

2.2.2 Disk Fren

Gelecekte, otomobil üreticilerinden otomotiv emisyonlarını azaltması istenilmesi ile

birlikte aynı zamanda sürücülerin artan performans talebini karşılayan yeni teknolojiler üretmeleri gerekecektir. Kilitlenme önleyici fren sistemi, elektronik fren gücü dağıtımı gibi aktif güvenlik kontrol sistemleri ve elektronik stabilite programının sürüş güvenliğini arttırmada gerçekten etkili olması için mevcut frenleme fonksiyonlarını iyileştirmesi gerekir (Ahn vd. 2009).

Frenler aracın hareketiyle oluşan kinetik enerjiyi sönümleyerek ısı enerjisine çevirir. Bunu yaparken sürtünmeyle oluşan yüksek ısının hızlı şekilde disklerden ve balatalardan atılması gerekir. Bu nedenle fren diskleri oldukça yüksek ısı ve mekanik yüklere maruz kalmaktadır. Yüksek aşınma direnci, sertlik ve korozyona karşı dayanıklılık gibi yönlerden dolayı en uygun malzeme maliyet göz önüne alındığında fren diskleri gri dökme demirden imal edilmektedir. Fren disklerinden beklenen en önemli mekanik özelliklerden biri sertliktir (Karanfil 2017).

Prensip olarak tekerlekle eş eksenli olarak monte edilmiş olan metal bir disk tekerlekle birlikte dönmektedir. Semer adı verilen ve tekerlek askı kollarına bağlı olan bir parça disk genel olarak bir köşesinden kavrar. Nadir olarak disk çepçevre kavrayan semerler de mevcuttur. Semerin iç kısımlarında diskin iki yüzeyine yaslanan balatalar, frenleme sırasında hidrolik basınç ile disk her iki yönden eşit kuvvetle sıkıştırırlar. Diskin semer tarafından örtülü olmayan kısımları hava akımlarına açık olduğundan kolayca soğutulmaktadır. Çamur ve balata tozları merkezkaç kuvvetle ya da hava akımı ile temizlenirler. Fren cevap süresini uzatan nem, oldukça hızlı buharlaştığından cevap çabuklaşır. Disk, kaba kirlenmelere karşı bir çamurluk sacı ile korunmaktadır (Karanfil 2017).



Resim 2.3 Fren diski.

Bir disk freninde, ana silindirden gelen sıvı, bir pistonu bastırıldığı bir kaliper içine zorlanır. Bu sırada piston, tekerleğe bağlı diske karşı iki fren balatasını sıkarak yavaşlamaya veya durmaya zorlar (İnt.Kyn.5). Balataların diski her iki yandan eşit kuvvetle sıkıştırabilmesi için ya diskin ya da her iki balatanın aksel yönde hareketli olması gerekir.

Avantajları:

- Tambur frenlerden daha az yorulma olayına uğrarlar. Çünkü daha iyi havalandırılırlar.
- Balata değişimi kolaydır.
- Balata aşınması eşit şekilde ve ayar otomatik gelişir.
- Frenleme etkisi hareket yönünden bağımsızdır (Karanfil 2017).

Dezavantajları:

- Frenleme yüzeyi tambur frenlerden daha küçüktür. Balata baskı kuvveti daha büyük olmak zorundadır.
- Bu yüzden genelde fren kuvvetlendiricilere gerek vardır.
- Disk aşırı ısınabilir.

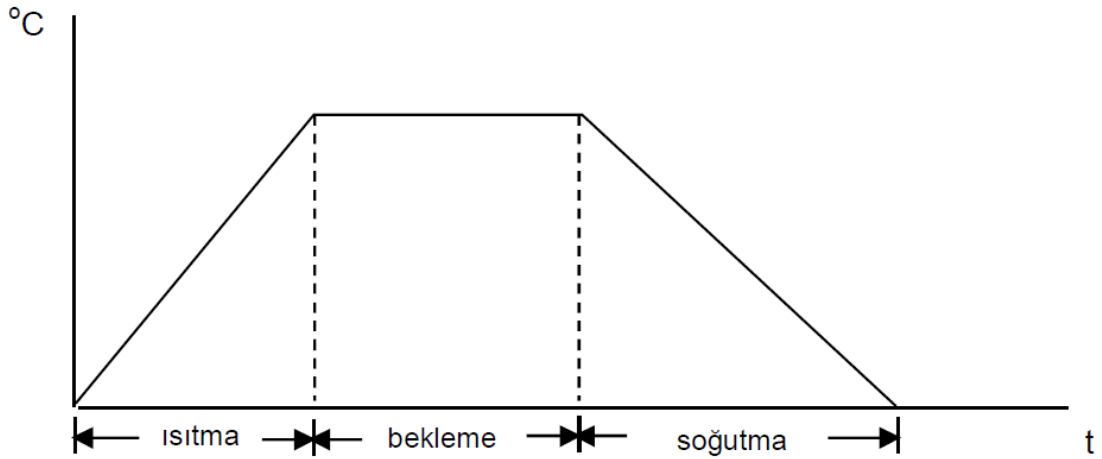
- El freninin montajı oldukça karmaşıktır. Bu yüzden genelde arka akslarda tambur fren kullanılır (Karanfil 2017).

2.3 Isıl İşlem

Isıl işlem; bir malzemenin özelliklerini ve/veya mikro yapısını değiştirmek amacıyla, o malzemeye belli bir sıcaklık-zaman programı dahilinde uygulanan bir ısıtma ve soğutma işlemleri sırasındır. Diğer bir deyişle; mikro yapı ve özellikler bakımından belirli bir durumu elde etmek üzere, malzemenin katılma sıcaklığının altında uygun sıra ve süreyle ısıtılıp soğutulmasına “ısıl işlem” denir (Eker Akdoğan 2008).

Isıl işlemin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

1. Talaşlı işlenebilme özelliğinin iyileştirilmesi (yumuşatma tavlaması, tane irileştirme diğer bir deyişle kaba tane tavlaması)
2. Dayanımın artırılması veya azaltılması (yumuşatma tavlaması, normalleştirme tavlaması, sertleştirme)
3. Soğuk şekil vermenin etkisini yok etme (yeniden kristalleştirme tavlaması, normalleştirme tavlaması)
4. Mikrosegregasyon'un giderilmesi (homojenleştirme tavlaması)
5. Tane büyüklüğünün değiştirilmesi (tane irileştirme tavlaması, normalleştirme tavlaması, yeniden kristalleştirme tavlaması)
6. İç gerilmelerin azaltılması (gerilme giderme tavlaması)
7. Belirli bir mikro yapının elde edilmesi (normalleştirme tavlaması, yumuşatma tavlaması, sertleştirme)



Şekil 2.3 Isıl işlemden genel olarak işlem prosesi (Eker Akdoğan 2008).

Uygulanacak ısıl işlem, hem malzemenin mikro yapısında iyileştirme sağlayıp, bunun yanında malzeme yüzeyine uygun olan özellikleri kazandırmalıdır. Ayrıca, uygulanan ısıl işlemler ve yüzey işlemleri, malzemedeki istenilen performansa uygun bir şekilde gerçekleştirilmelidir (Güler ve Özcan 2014).

Isıl işlemlerin sertleştirme amaçlı olabildiği gibi mikro yapının düzenlenmesi içinde malzemelere uygulanabilir. Malzemelerin sadece yüzeysel olarak değil kütleli olarak sertleşmesini sağlayan ısıl işlem yöntemi östemperleme yöntemidir (Eker Akdoğan 2008).

2.3.1 Östemperleme

Östemperleme ısıl işlem yönteminin asıl amacı martensit dönüşümü olmadan mikro yapıda beynitik yapının elde edilmesi sağlanarak gri dökme demiri sertleşmesini sağlamaktır. Bu ısıl işlem yönteminde 900°C civarında ısıtılarak matrisin östenit fazına dönüşmesi sağlanır. Daha sonra 230-425°C sıcaklıklarda tuz, yağ vb. banyolara sokularak, bu banyolarda parçalar bekletilerek östenit yapı beynite dönüştürülür. Banyo sıcaklığı ve bekleme sürelerine göre sertlik değişir (Münker 2010).

Numunelerin iç ve dış kısımları tamamen beynitik yapıya dönüşene kadar tuz banyosunda bekletilir. Dönüşüm tamamlandıktan sonra numuneler uygun bir sürede oda

sıcaklığına kadar soğutulur. Yavaş soğutma ile iç gerilmelerden dolayı oluşabilecek çarpılmaların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu işlem, termal şoklardan oluşabilecek yüzey çatlaklarını önlemektedir. Östemperleme ile oluşturulan beynit ile yapının mekanik özellikleri, temperlenmiş olan martensitin özellikleri ile benzer özellik göstermektedir. Su verme işlemindeki ani soğutma ile oluşabilen kalıcı gerilmelerin östemperleme ısıl işleminde daha az olmasından dolayı bazen mekanik özellikleri daha da iyidir. Östemperleme, özellikle belirli seviyelerde sertliğe rağmen süneklik ile darbe dayanımını artırmak, su verme esnasında oluşan çatlakların azaltılması için geleneksel su verme ve temperleme ısıl işlemlerine alternatif bir ısıl işlem yöntemidir (Sarıçiçek 2012).

Östemperleme ısıl işleminde kullanılan tuz banyosunda kullanılan tuzların bazı özelliklerine dikkat edilmelidir. Tuz banyosunda; tuzun, ısı transferi dengeli ve homojen olmalıdır. Ayrıca tuzun vizkozitesi uygun olmalıdır. Kullanılan tuzun numune ile tepkimeye girmemesi gerekir. Tuzun zaman içerisinde defalarca kullanılmasından veya çeşitli nedenlerden dolayı kirlenmemesine özen gösterilmelidir. Bu gibi durumlar beynit oluşturma işleminde, beynitin oluşum süresini ve hızını etkilemektedir (Sarıçiçek 2012).

2.4 Aşınma

Malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların, başka bir malzemenin yüzeyiyle mekanik zorlamalar veya kimyasal nedenlerle ayrılmasıyla değişim olması aşınma olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak parçanın yapısal ve şekil olarak bozulmasıyla birlikte performans kaybı oluşabilir. Kullanıcı bakımından; çalışma ömründe yaşanan azalma ve üretimde kalitesizlik, yüksek enerji tüketimi ve verimsizlik, çalışanlar için yüksek riskli çalışma ortamı gibi sebeplere neden olabilir (Bozbay 2019). Aşınma, makinelerde bulunan hareketli parçaların kullanım ömürleri, makinelerin performanslarını azaltan ve yine makinelerde bulunan bu parçaların deforme olmasına sebep olan çok önemli bir faktördür. Bundan dolayı ekonomik açıdan ele alındığında aşınmanın neden olduğu hasarlar ve kayıplar oldukça fazladır. Günümüzde tribolojik sistemlerin yorulma ile birlikte korozyon sorunları kadar önemli olan konuların başında aşınma gelmektedir. Aşınma, makine elemanlarında gözlemlenen kaçınılmaz bir konudur. Mühendislik

malzemelerinin kullanım ömürlerini azaltan ve ortadan kaldırılması mümkün olmayan aşınma, birbiriyle sürtünerek çalışmakta olan makine elemanlarının yüzeylerini değişikliğe uğratmaktadır (Karaca 2013).

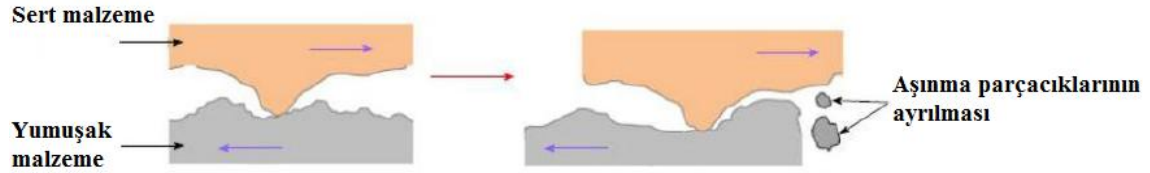
Aşınmayı etkileyen faktörler; karşı malzeme kaynaklı, asıl malzeme kaynaklı, çalışma ortamına ve servis koşullarına bağlı faktörler olarak ele alınabilir. Ayrıca ana malzemenin sahip olduğu kristal yapı, elastisite modülü, sertlik, deformasyon davranışı ve yüzey pürüzlülüğü gibi parametreler aşınmayı etkilemektedir. Örneğin, ana malzemenin mikro yapısını oluşturan fazlar ve bu fazların tane boyutları mekanik özelliklere etki eder ve malzemenin sahip olduğu mekanik özellikler de doğrudan aşınma direncini etkilemektedir. Bunun yanında ana malzemenin karşısında çalışan karşı elemana bağlı faktörler incelendiğinde tane büyüklüğü, dağılımı ile birlikte şekli gibi parametreler de aşınma üzerine etki etmektedir. Aşınma olayı atmosfer, nem, sıcaklık gibi ortam şartlarından ve basınç, kayma hızı gibi koşullardan da etkilenmektedir. Ana malzeme ile karşı malzemenin birbiriyle temas ettiği noktalarda sıcaklık artışı meydana gelir. Artan sıcaklık ile birlikte malzemelerin sahip olduğu kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde bazı değişikliklere sebep olmaktadır ve bundan dolayı aşınmayı doğrudan etkileyebilmektedir (Yağcı 2016).

Malzemelerin birbirleri olan temasları farklı şekillerde olabilmektedir. Bundan dolayı aşınmayı sistem kinematiğine bağlı olarak ele aldığımızda abrasif aşınma ve adheziv aşınma olarak iki ana başlığa ayırabiliriz (Adamiak 2012).

2.4.1 Abrasif Aşınma

Malzeme, sertliği aynı veya daha sert bir malzemenin parçacıkları tarafından yüke maruz kaldığında abrasif aşınma meydana gelmektedir (Williams 2005). Abrasif aşınma iki veya üç cisimli olmak üzere iki farklı şekilde meydana gelmektedir. İki cisimli abrasif aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzeye sahip malzemenin kendinden daha yumuşak malzeme ile temas etmesiyle birlikte, basıncın etkisiyle yumuşak malzeme üzerinde oluşan çizilme ve küçük parçacıkların yüzeyden kaldırılması suretiyle meydana gelen deformasyon olarak ele alınabilir. İki cisimli abrasif aşınmaya örnek olarak kazı makinelerini, zımparalama işlemini ve toprak işleme aletlerini verebiliriz. Şekil 2.4'te

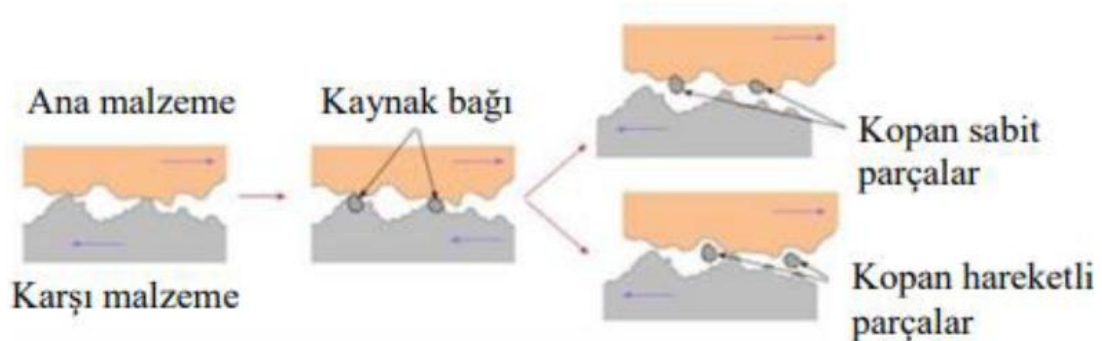
abrasif aşınmanın şematik şekli gösterilmiştir. Abrasif aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzey, daha yumuşak bir yüzey üzerinde kaydığında, yumuşak yüzeyde deformasyon ile ortaya çıkar. Abrasif aşınma, sert abrasif partiküller kayma yüzeyleri arasına girdiğinde ve malzemeyi aşındırdığında da meydana gelmektedir (Adachi vd. 2001).



Şekil 2.4 Abrasif aşınmanın şematik gösterimi (Rabinowicz 1995).

2.4.2 Adheziv Aşınma

Birbiriyle temas halinde çalışmakta olan yüzeylerin temas yüzeyleri az olmasına karşın temas halinde olan yüzeylerdeki gerilmeler, çok küçük miktarda yüklemeler neticesinde bile akma gerilmesi limitine ulaşırlar veya geçmektedirler (Dickens 1986). Adheziv aşınma birbirine göre kayan iki yüzey arasında meydana gelir. Temas eden pürüzlülüklerdeki yüksek kısmi basınç, plastik şekil değişimine, adhezyona ve kısmi birleşmelere neden olur. Bu yüzeyler arasındaki rölatif kayma bu birleşmelerin kopmasına ve sıklıkla bir yüzeyden diğerine geçmesine sebep olur. Şekil 2.5’de adheziv aşınmanın şematik hali gösterilmiştir. Adheziv aşınmaya örnek olarak dişlilerde, kam mekanizmalarında, kuru ve sınırlı yağlanmış kaymalı yataklarda, pistonlarda, kesme takımlarında, tel çekme kalıpları verilebilir (İpek 2019).



Şekil 2.5 Adheziv aşınmanın şematik gösterimi (İpek 2019).

Malzeme yüzeylerinde malzemenin işlenmesi ile birlikte pürüzlülük tamamen giderilemez ve malzeme yüzeylerinde farklı seviyelerde pürüzlülük seviyeleri oluşmaktadır. Yükün etkisiyle, pürüzlülük seviyesinde oluşan küçük temas yüzeylerinde, çok büyük basınçlar meydana gelir ve bazı temas alanlarında, mikron seviyelerinde kaynak bağları oluşmaktadır ve göreceli hareketlenme ile bu bağlar kopar. Bağların kopması için gereken kuvvet, sürtünme kuvvetini temsil etmektedir. Bu bağların kopmasında ortaya çıkan malzeme kaybı ise adheziv aşınmayı ortaya çıkarır (Renard 2005).

2.5 Literatürde Yapılan Çalışmalar

Sarkar ve Sutradhar tarafından yapılan çalışmada gri dökme demirden %3,46 C oranına sahip numunelere 871°C ve 982°C sıcaklıkları arasında farklı sıcaklıklara sahip 1 saat boyunca östemperleme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra da 310°C sıcaklığa sahip tuz banyosunda 1 saat boyunca soğutma işlemleri yapıldıktan sonra havada soğutma işlemi yapılmıştır. Farklı östenitleme sıcaklığına sahip darbe enerjileri incelendiğinde çok fazla değişim olmadığı görülmüştür. Östenitleme sıcaklığı arasında en yüksek sertlik ve mukavemet değerinin 898°C östenitleme sıcaklığına sahip numunede elde edildiği gözlemlenmiştir. Östenitleme sıcaklığı arttıkça bu değerlerde azalma meydana geldiği görülmüştür (Sarkar ve Sutradhar 2017).

Ghaderi ve arkadaşları tarafından yapılmış olan çalışmada 3 farklı dökme demir kullanılmıştır. Bu çalışmada gri dökme demir, küresel grafitli dökme demir ve kompakt dökme demirden malzemeler kullanılmıştır. Numunelerin içermiş oldukları C oranları %3.2-3.46 arasında değişmektedir. Bu numuneler östemperleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur ve östemperleme işleminin etkisi ile numunelerin sertlik değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir, bunun yanında östemperleme süresi arttıkça ise sertlik değerlerinde bir miktar azalma olduğu gözlemlenmiştir. 90 N yük altında 250 rpm hızla yapılan aşınma testi sonucunda ise en az kaybın kompakt numunelerde ve sonra gri dökme demirlerde elde edildiği görülürken, küresel grafitli dökme demirlerde en fazla ağırlık kaybı yaşandığı gözlemlenmiştir. Östemperleme ısıl işlemi gri dökme demirin aşınma direncini büyük ölçüde arttırdığı belirtilmiştir (Ghaderi vd. 2003).

Çetin tarafından yapılmış olduğu çalışmada küresel grafitli dökme demire 850°C ve 900°C’de 30, 60 ve 90 dakika boyunca östenitleme işleminden sonra 250°C, 320°C, 370°C ve 400°C’de 60, 120 dakika östemperlenmiş numunelere aşınma deneyi uygulanmıştır. İncelenen numunelerin sertliği, östenitleme sıcaklığı ve süresinin artmasıyla ve östemperleme sıcaklığının azalması ile artmıştır. 850°C’de östenitlenen numunelerin aşınma kaybı, uygulanmış olan yüklerde östemperleme sıcaklığının ve östenitleme zamanı artmasıyla azalmıştır. 900°C’de östenitlenme sonrası numunelerin aşınma kaybı, uygulanan yüklerin altında östemperleme sıcaklığının ve östenitleme zamanının artmasıyla azalmıştır. Östemperleme sıcaklığı düşük olan numunelerin yükseklere göre daha iyi aşınma direncine sahip olduğu görüldü. Östemperlenme sıcaklığının artması aşınma direncinin azalmasına sebep verdiği görüldü (Çetin 2005).

Wang ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada %3,87 C oranına sahip küresel grafitli dökme demir malzemeler kullanılmıştır. Bu çalışmada 900°C sıcaklıkta 25 dk bekletildikten sonra 276°C, 321°C ve 373°C sıcaklıklara sahip tuz banyolarında 30 dk soğutmaya tabi tutulmuştur, sonrasında oda sıcaklığına kadar havada soğutma işlemi yapılmıştır. Bu işlemten sonra farklı sıcaklıklarda 60 dk boyunca tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin sertlik değerleri ele alındığında tuz banyosunda soğutma sıcaklığı arttıkça sertliğin azaldığı ve aynı şekilde tavlama sıcaklığı arttıkça da sertlik değerlerinde düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir (Wang vd. 2018).

Kuş tarafından yapılan çalışmada küresel grafitli dökme demir olarak GGG 40 malzeme kullanılarak oluşturulan numuneler 900°C’de 90 dakika östenitlendikten sonra östemperleme sıcaklığı 315°C ve 375°C seçilerek 120 dakika boyunca bekletilmiştir. Daha sonra numunelere farklı uygulama yükleri altında ve farklı kayma mesafelerinde aşınma deneyi uygulanmıştır. 315°C östemperleme sıcaklığına maruz bırakılan numunelerde 375°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelere göre daha iyi aşınma sonuçları elde edildiği görülmüştür (Kuş 2007).

Kim ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada C oranı %3,5-3,6 oranına sahip küresel grafitli dökme demire 910°C sıcaklığında 90 dk süre ile östemperleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra 350°C sıcaklıktan başlayarak 20°C’şer sıcaklık artışı

sağlanarak 410°C sıcaklığına kadar çıkılarak tuz banyolarında 90dk boyunca soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha yüksek östemperleme sıcaklığında daha yüksek süneklik elde edilmiştir. En yüksek süneklik değeri 410°C soğutma sıcaklığında elde edilirken, en yüksek çekme mukavemeti değeri ise 350°C soğutma sıcaklığına sahip numunelerde elde edilmiştir. Brinell sertlik değeri sonuçları ele alındığında ise tuz banyosu sıcaklığının artması ile birlikte sertlik değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Son olarak darbe dayanımı sonuçları incelendiğinde ise tuz banyosundaki soğutma sıcaklıkları arttığında, ortalama darbe direnci enerjisinin de arttığı gözlemlenmiştir (Kim vd. 2008).

Akay tarafından yapılmış olan çalışmada küresel grafitli dökme demir olarak GGG 40 malzeme kullanılarak oluşturulan numuneler östemperleme işlemi, 900°C’de 90 dakika östenitleme sonrası numunelerin, 250°C, 300°C, 350°C ve 400°C sıcaklıklarla birlikte 5–640 dakika arasındaki 8 farklı süre tutulması şeklinde uygulanmıştır. Borlama işlemi için malzemelerin ticari Ekabor-3 içerisine gömüldükten sonra 900°C’de 90 dakika tutulduğu kutu borlama işlemi uygulanmıştır. Borlama ve östemperleme işlemini aynı anda 900°C’de 90 dakika borlandıktan sonra, belirlenen östemperleme sıcaklık ve sürelerinde gerekli işlemlere tabi tutulduktan sonra soğutma işlemi havada gerçekleştirilmiştir. Çalışmada östemperleme, borlama ve borlama+östemperleme yapılan numunelere ait gerekli deneyler yapılmıştır. 250°C sıcaklıkta 5 dakika süreyle östemperlemeye tabi tutulan numunelerde en yüksek sertlik değerine ve 400°C’ de 80 dakika östemperlemeye tabi tutulan numunelerde en düşük sertlik değerine sahip olduğu görülmüştür (Akay 2007).

Kılıçlı tarafından yapılan çalışmada östemperlemenin küresel grafitli dökme demirlerde mikro yapı ve çekme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışma sırasında %3,5 karbon oranına sahip ferritik küresel grafitli dökme demirler 900°C’de ısıtıldıktan sonra 365°C’de 30 ile 180 dk arasında farklı sürelerde bekletilmiştir. Kaba ösferritik morfolojisine sahip numunelerin %uzama değerinin 120 dk’da arttığı gözlemlenirken, ince ösferritik morfolojisine sahip numunelerin ise 90 dk’ya kadar %uzama değerinde artış olduğu görülmüştür (Kılıçlı 2004).

Putatunda çalışmasında %3,4 C oranına sahip olan küresel grafitli dökme demirden üretilen numunelere tek ve iki kademeli östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Östemperleme ısıl işlemi 927°C sıcaklıkta 2 saat boyunca tutularak östenitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. 260°C ve 400°C sıcaklıklar arasında farklı sıcaklıklarda 2 saat boyunca tuz banyosunda soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde iki aşamalı östemperleme ısıl işlemine uygulanan numunelerin tek östemperleme ısıl işlemi uygulanan numunelere göre bir miktar daha yüksek değerlerin elde edildiği gözlemlenmiştir. Her iki östemperleme ısıl işleminde de soğutma sıcaklıkları arttıkça çekme mukavemeti değerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. %uzama değerleri incelendiğinde ise östemperleme soğutma sıcaklığı arttıkça her iki yöntemde de artış olduğu gözlemlenmiştir (Putatunda 2001).

Malcioğlu yapmış olduğu çalışmada %3,15 C oranına sahip gri dökme demir numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler iki aşamalı bir ısıl işlem olmak üzere 900°C'de 60 dakika östenitleme işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler 250°C, 300°C, 350°C ve 400°C sıcaklıklarda tuz banyosunda 5, 20, 40, 60 ve 120 dakika olmak üzere 5 farklı süre boyunca bekletilmiştir. Sertlik olarak en yüksek değer 250°C'de 5 dakikada elde edilirken, en düşük sertlik değeri ise 400°C'de 120 dakikada elde edilmiştir. Bunun yanında aşınma dirençleri incelendiğinde östemperleme işlemi sonrasında numunelerin döküm halindeki durumuna göre yaklaşık 3-5 kat daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. 250°C'de 5 dakikada en iyi aşınma direnci elde edilirken, en düşük aşınma direnci 400°C'de 120 dakikada elde edilmiştir (Malcioğlu 2015).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Mensan Otomotiv firmasından temin edilen GG25 malzeme dökme demirden üretilen fren diskinden elde edilen numuneler kullanılmıştır. Fren diski numunelerine östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır ve bunun yanında herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmayan numunelerde kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de verilen parametreler doğrultusunda ısıl işlem yapılmıştır. Bunun sonucunda fren disklerinde meydana gelebilecek aşınma, sertlik ve tokluk özellikleri araştırılmıştır.

Fren diski üzerinden uygun ölçülerde test numuneleri hazırlanmıştır. Bunlar 30 mm çapında ve 10 mm kalınlığında Resim 3.1’de görüldüğü gibi CNC tezgahta hazırlanmıştır.



Resim 3.1 Silindirik olarak hazırlanan örnek numune.

Çalışmada kullanılacak olan malzemenin spektral analizi yapılarak Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan fren diskinin kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	P	S
%							
3,63	1,95	0,54	0,123	0,151	0,04	0,01	0,015

Resim 3.1’de görüldüğü gibi hazırlanan deney numunelerine östemperleme ısı işlemi uygulanmıştır. Östemperleme ısı işlemi Yıldız Isıl İşlem firmasında 900⁰C sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek yapılmıştır. Daha sonra bu numuneler 275⁰C ve 325⁰C farklı sıcaklıklarda ve 4 farklı süre kullanılarak sodyum nitrit banyolarında bekletilmiştir. Yapılan ısı işlem sonrası çalışmada kullanılan deney parametreleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan deney parametreleri.

Numune Adı	Bekleme Sıcaklığı(⁰ C)	Bekleme Süresi(dk)
A5	275 ⁰ C	5
A15	275 ⁰ C	15
A30	275 ⁰ C	30
A60	275 ⁰ C	60
B5	325 ⁰ C	5
B15	325 ⁰ C	15
B30	325 ⁰ C	30
B60	325 ⁰ C	60

3.2 Mikro Yapı Çalışmaları

Isıl işlem uygulanan ve uygulanmayan numunelerin tamamının optik mikroskop altında mikro yapıları incelenmiştir. Bununla birlikte numunelere lineer ball on disk aşınma deneyi yapılmıştır. Yapılan aşınma deneyi sonucunda aşınmış yüzeylerin elektron mikroskobu altında (SEM) görüntüleri incelenmiştir.

3.3 Metalografik Çalışmalar

Numuneler CNC tezgahta işlendiği için metalografik numune kesme işlemine tabi tutulmamıştır. Ayrıca numune ebatlarının zımparalama işlemine elverişli olmasından dolayı bakalite alma işlemi yapılmamıştır. Numunelere optik mikroskop altında mikro yapı görüntülerinin incelenebilmesi için zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır.

3.3.1 Zımparalama İşlemi

Hazırlanan numunelerin mikro yapı görüntüleri alınması için zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi yapılarak farklı seviyedeki aşındırıcı zımparalar kullanılarak, kaba zımpara kağıdından ince zımpara kağıdına doğru kademeli olarak adım adım numunelere zımparalama işlemi uygulanmıştır. Zımparalama işlemi sırasında sırasıyla 180, 400, 800, 1000, 1200 numaralı aşındırıcı kağıtlar kullanılmıştır.

3.3.2 Parlatma İşlemi

Bu işlemin amacı, kesme ve düzlemsel taşlama nedeniyle oluşan hasarı gidermektir. Bu genellikle minimum yüzey hasarı üreten çok sayıda küçük kesme kenarı nedeniyle elmas aşındırıcı kullanılarak yapılır. Nihai parlatma, yüzeydeki hasarı gidermek için kullanılır, kesme ve/veya düzlemsel taşlamadan kaynaklanan hasarı gidermek için uygulanmaktadır (Trgo ve Akca 2015).

Parlatma işlemi, numune hazırlama işleminin önemli adımlarından biridir. Parlatma işlemi zımparalama işlemi sonrasında yüzeyde oluşan çiziklerin ortadan kaldırılması

için uygulanmaktadır. Dönen disk üzeri çuha ile kaplanır. Çuha üzerine parlatma sıvısı olarak alümina uygulanarak numunelerin çuha üzerinde yüzeylerin parlatılması sağlanır. Numuneler parlatma işlemi sonrası parlatma sıvısından arındırılmak üzere temizlenir ve sonrasında kurutma işlemi yapılarak mikro yapı incelenmesine hazırlanmış olur.

3.3 Sertlik Testleri

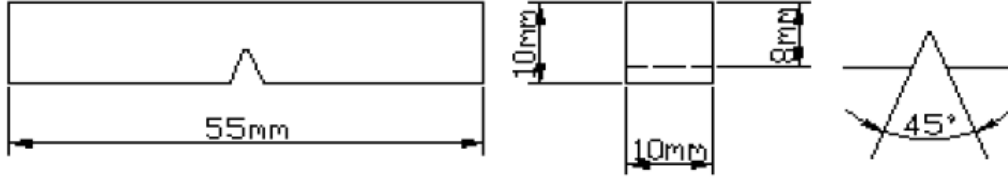
Stanley P. Rockwell, büyük bir bilyeli rulman firmasında bir metalurjist olarak çalışmaktaydı ve rulman yarışlarında yaptıkları ısıl işlem sürecinin başarılı olup olmadığını belirlemek için hızlı ve tahribatsız bir yol kullanmak istediği için kendi adını taşıyan bir sertlik metodu geliştirmiştir (Anonim 2013).

Rockwell sertlik deneyinde standart batıcı uç genellikle önce 10 kg gibi küçük bir yükün malzeme yüzeyine bastırılmasıyla oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Böylelikle malzeme yüzeyi ile uç arasındaki temas sağlanmış olur. Ön yükten sonra yüksek değerde yükleme yapılarak ucun batma derinliğine göre Rockwell sertlik değeri belirlenmektedir. Rockwell sertliğinin ölçümünde genelde batıcı uç olarak 120⁰ tepe açısına sahip elmas konik uç kullanılmaktadır. Sertlik ölçümünde uygulanan yükün değeri ve ucun tipine göre bir sembolle gösterilmektedir. Bundan dolayı, farklı skalalara göre RSD-A/B/C gibi farklı simgelerle birlikte verilir. Sert malzemelere daha yüksek gerçek yükleme yapılırken, daha yumuşak malzemelere daha az yükleme yapılarak farklı skala değerlerine göre değerler belirlenmektedir. RSD-A için 60 kg, RSD-B 100 kg ve RSD-C için ise 150 kg yük uygulanmaktadır. Ayrıca herhangi bir skalaya göre Rockwell sertlik değeri 20 sayısından aşağı değerler elde edildiğinde farklı bir sertlik ölçümünün kullanılması tavsiye edilir (Anonim 2012).

3.4 Darbe Deneyi

Metalik malzemelerin özellikle gevrek kırılmaya uygun şartlardaki mekanik özellikleri ile ilgili olarak fikir elde etmek amacıyla darbe deneyi yapılır. Darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir kıyaslama değeri elde edilmesini sağlamaktadır. Darbe deneyi sırasında numunelere V veya U çentik açılabilir. Darbe testi yapılması

için fren diskinden elde edilen numunelere, V çentik açılarak numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ait detay çizimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir (İnt.Kyn.2).



Şekil 3.1 Hazırlanan V çentik numunelerin detay çizimi.

Darbe deneyi numuneleri fren diski üzerinden CNC tezgahta işlenerek hazırlanmıştır. Çizelge 3.2’de verilen parametreler doğrultusunda ısıtılmış ve uygulanmamış olan darbe deneyi numuneleri Resim 3.2’de gösterilmiştir.



Resim 3.2 Isıtılmış ve uygulanmamış darbe deneyi numuneleri.

Darbe deneyi izod ve charpy yöntemi olarak 2 farklı yöntem uygulanarak gerçekleştirilebilir. Hazırlanan numunelerin Afyon Kocatepe Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarındaki charpy darbe deneyi cihazında testleri

yapılmıştır. Charpy darbe deneyi, yatay ve basit kiriş halinde iki mesnete yaslanan deney numunesinin orta kısmına bir sarkacın ucunda bulunan çekiçle bir darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile deney parçasının kırılması için gerekli enerjiyi belirleme prensibine göre darbe deneyinin yapılmasını sağlayan bir yöntemdir (İnt.Kyn.2).

3.5 Aşınma Deneyi

Mikro yapı görüntülerinin alınması için hazırlanmış numunelerin görüntüleri alındıktan sonra aynı numuneler aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Aşınma deneyi sırasında lineer ball on disk yöntemine sahip cihaz kullanılmıştır. Aşınma deneyinde 10 mm çapında alüminyum oksit (Al_2O_3) bilya kullanılmıştır. Bu aşınma deneyinde ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelere oda sıcaklığında 5 N yük, 40 cm/s hız ve 300 metre kayma mesafesi seçilerek aşınma yapılmıştır.

3.6 Aşınma İzi Analizi

Aşınma deneyi sonrasında numunelerin aşınma yüzeyleri profilometre cihazının tablasına yerleştirilerek lazer ışığı vasıtasıyla taranarak aşınma yüzeyinin 3 boyutlu görüntüsü ortaya çıkarılır. Profilometre cihazındaki tarama sonuçlarının incelenmesi için 3 boyutlu programlar kullanılarak aşınma yüzeyi alanı, aşınma hacmi ve derinliği ile ilgili bilgiler edilebilmektedir.

3.7 Çalışmada Kullanılan Makine ve Cihazlar

Çalışma sırasında ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi sırasında kullandığımız makine ve ekipmanlar aşağıdaki gibidir.

3.7.1 Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Numunelerin metalografik çalışmaları Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Zımpara ve parlatma işlemlerinin yapıldığı Metkon Gripo 2V marka cihazın görüntüsü Resim 3.3'te gösterilmiştir.



Resim 3.3 Metkon Gripo 2V marka zımparalama ve parlatma cihazı.

3.7.2 Sertlik Ölçüm Cihazı

Fren disklerinden alınan numunelerin sertliklerini ölçmek için Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mekanik Test ve Isıl İşlemler laboratuvarında yer alan Resim 3.4'de gösterilen METTEST marka sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Rockwell A test yönetiminde 10 kg ön yük uygulanmış ve asıl yük olarakta 60 kg yük uygulanarak numunelerin yüzeyinden 3 farklı noktadan alınan ölçümlerin aritmetik ortalaması hesaplanarak numunelerin sertlik değerleri tespit edilmiştir. Numunelerin sertlik değerleri rockwell sertlik değeri rockwell A skalasına göre HRA'ya göre hesaplanmıştır.



Resim 3.4 METTEST marka sertlik ölçüm cihazı.

3.7.3 Darbe Deneyi Cihazı

Fren diski üzerinden numune alınarak oluşturulan V çentik numunelerinin darbe deneyi sırasında Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mekanik Test ve Isıl İşlemler laboratuvarında kullanılan Charpy darbe cihazı düzeneği Resim 3.5’de gösterilmiştir.



Resim 3.5 Darbe deneyi yapılan Charpy deney düzeneği.

3.7.4 Aşınma Deneyi Cihazı

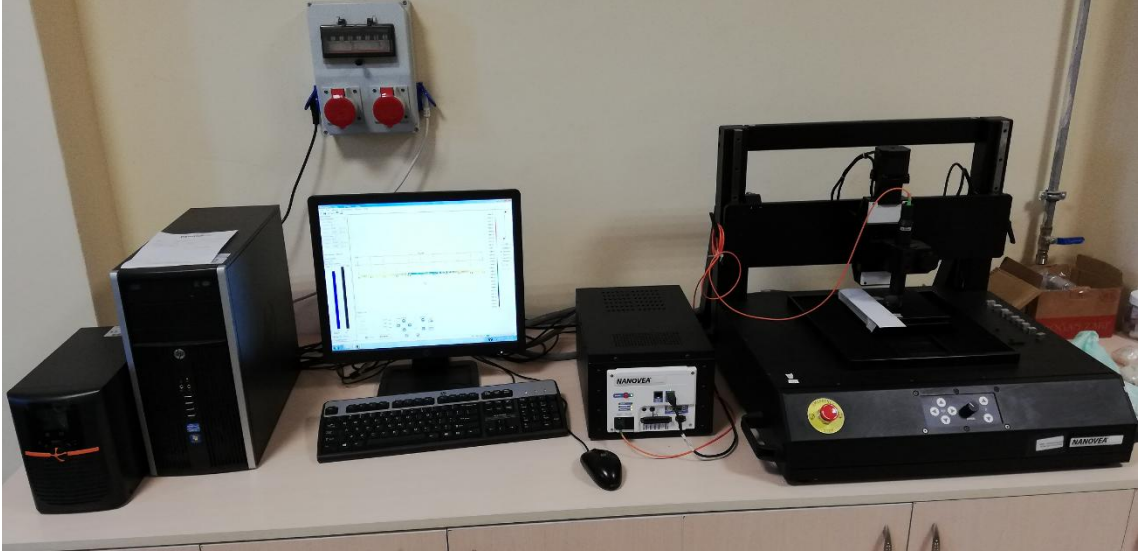
Numunelerin aşınma deneyleri sırasında Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında bulunan lineer ball on disk yöntemi ile çalışan CSM marka aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneyi sırasında kullanılan aşınma test cihazı Resim 3.6'da gösterilmiştir.



Resim 3.6 CSM marka aşınma deneyi cihazı.

3.7.5 Profilometre Cihazı

Aşınma deneyi sonrası numunelerin yüzeyindeki aşınma izlerinin analizi Resim 3.7’de gösterilen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği laboratuvarında bulunan Nanovea ST 400 marka profilometre cihazı kullanılmıştır.



Resim 3.7 Nanovea ST 400 marka profilometre cihazı.

3.7.6 Optik Mikroskop

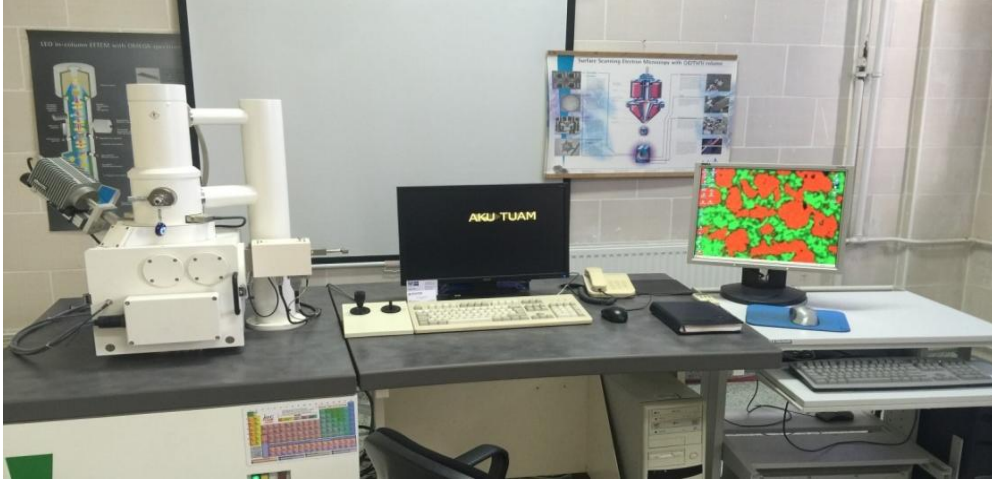
Numunelerin mikro yapı görüntülerinin alınması için Resim 3.8’de gösterilen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarında bulunan Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskop kullanılmıştır.



Resim 3.8 Nikon Eclipse MA100 marka optik mikroskobu.

3.7.7 Taramalı Elektron Mikroskobu

Fren disklerinden alınan numunelerin mikro yapılarını incelemek amacıyla Resim 3.9'da gösterilen Afyon Kocatepe Üniversitesi, TUAM bünyesinde yer alan LEO 1430VP model taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Bu cihazda geri yansıyan elektron (backscattered electron) ve EDS (Enerji Dağılımı Spektrometresi) dedektörleri sayesinde görüntü üzerinde, çizgi ve haritalama yöntemleri ile analiz yapılabilmektedir.



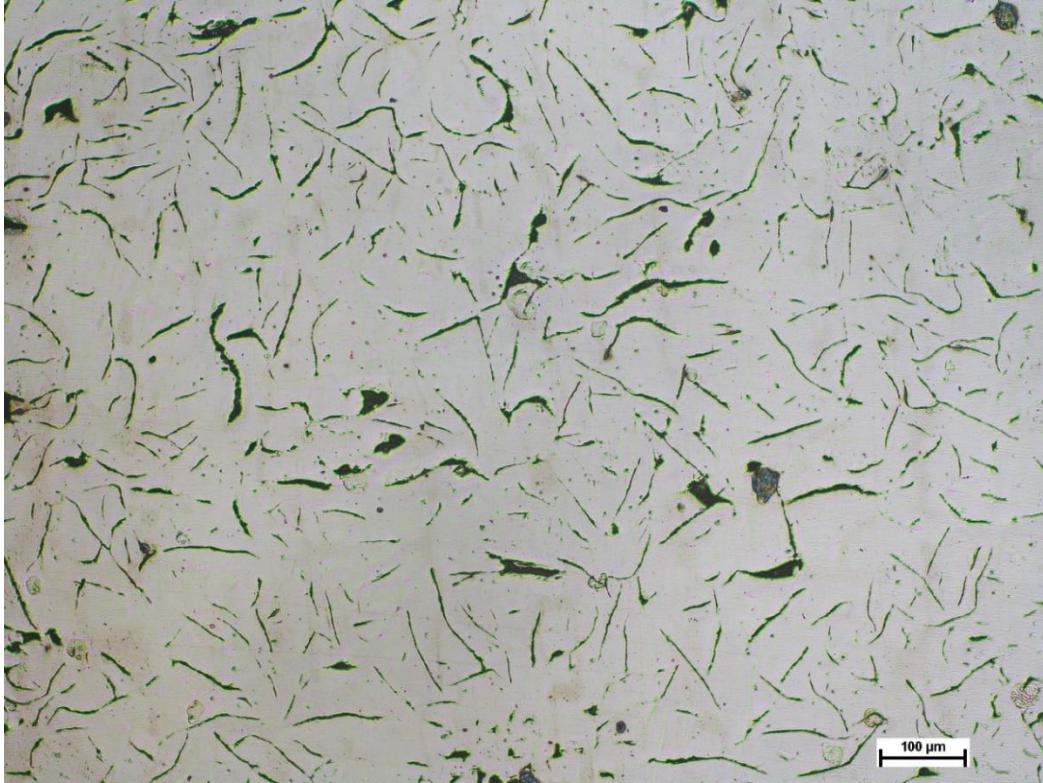
Resim 3.9 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

4. BULGULAR

Bu çalışmada, ilk olarak kullanıma hazır bir fren diski tedarik edilmiştir. Bu disk üzerinden numuneler alınmıştır. Bu numunelere Çizelge 3.2’de yer alan parametrelere uygun olarak ısıl işlem uygulanmıştır ve ortaya çıkan yeni analizleri yapılarak değerlendirilmiştir.

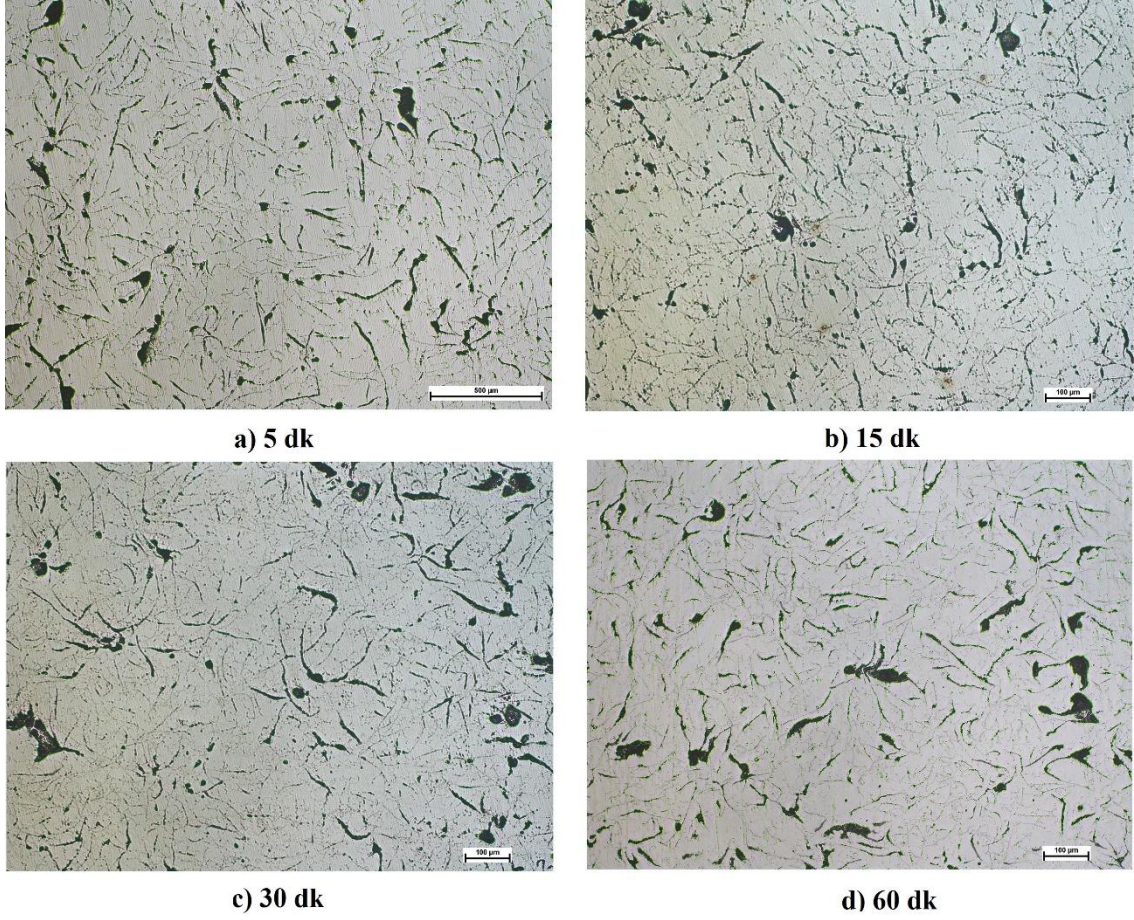
4.1 Optik Mikroskop Mikro Yapı Görüntüleri

Numunelerin, numune hazırlama süreci tamamlandıktan sonra optik mikroskop altında mikro yapıları incelenmiştir. Isıl işlem uygulanmamış numuneye ait mikro yapı görüntüleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu mikro yapıda lamel grafitli dökme demirlerin çizgisel grafitleri görünmektedir, çünkü kesitten bakıldığında lamel görüntüleri çizgi olarak görülür. Yapı içerisinde az oranda ferrit (açık renkli faz) ve kalan kısımlar perlitten (koyu renkli faz) oluşan ana faz içerisindeki grafit yapraklarından oluşmaktadır. Lamel grafitler homojen dağılım göstermektedir.



Şekil 4.1 Isıl işlem uygulanmamış numunenin mikro yapısı (100X).

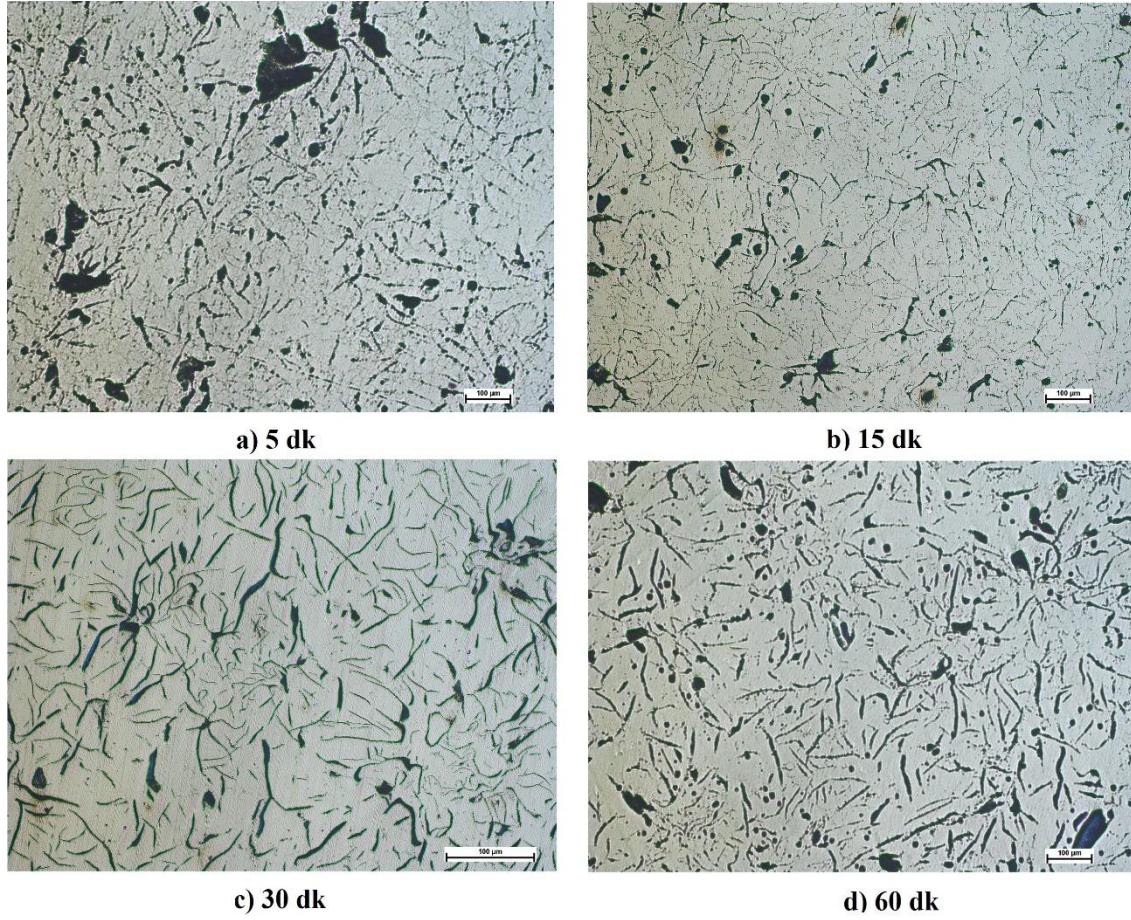
Östemperleme işlemi sonrası 275°C 'de sıcaklıkta 5, 15, 30 ve 60 dk süre tuz banyosunda bekletilmiş olan numunelere ait mikro yapıları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Burada tuz banyosunda bekletme süreleri sonrasında standart malzemeye göre perlit oranlarında belirgin bir artış görülmüştür. Fakat bekletme sürelerindeki artış ile birlikte perlit oranlarında azalma meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak sertlik değerlerinde azalma olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.2 275°C 'de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin mikro yapısı (100X).

Östemperleme işlemi sonrası 325°C 'de sıcaklıklarda 5, 15, 30 ve 60 dk süre tuz banyosunda bekletilmiş olan numunelere ait mikro yapıları Şekil 4.3'de gösterilmiştir. 275°C bekletme sıcaklığında olduğu gibi benzer yapılar oluşmuştur. Burada da tuz banyosunda bekletme süreleri sonrasında standart malzemeye göre perlit oranlarında belirgin bir artış görülmüştür. Fakat bekletme sürelerindeki artış ile birlikte perlit oranlarında azalma meydana gelmektedir. 325°C bekletme sıcaklığında da sertlik

değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.3 325⁰C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin mikro yapısı (100X).

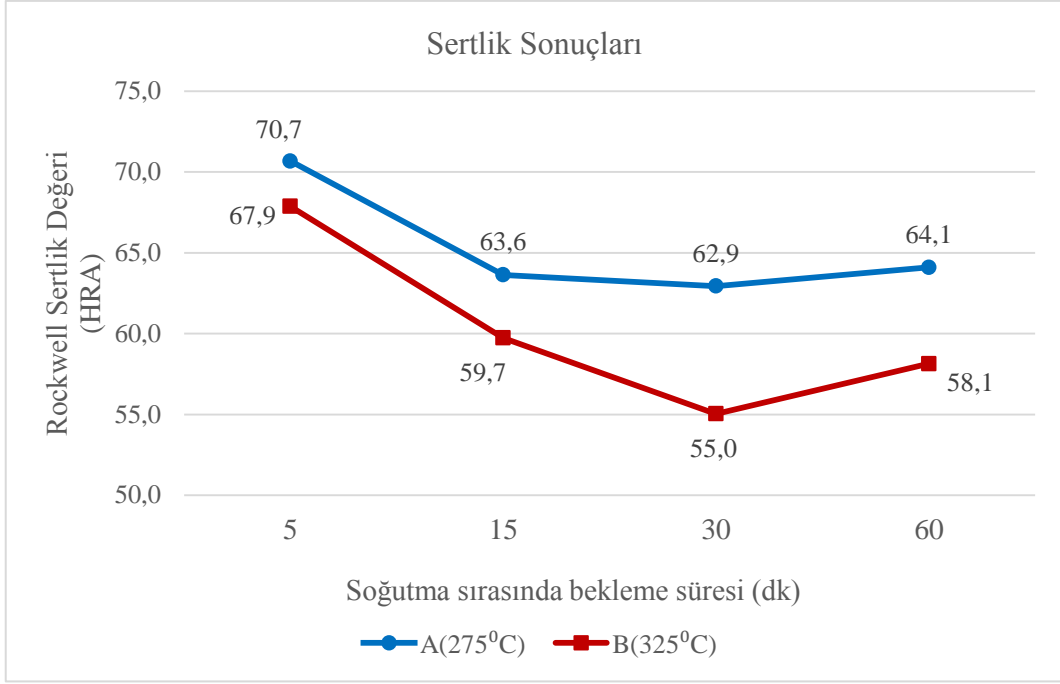
4.2 Sertlik Ölçümleri

Metalografik incelemeler sonrası her numuneden sertlik ölçümü alınmıştır. Bu sertlik ölçümleri yapılırken her numuneden üçer sertlik değeri alındıktan sonra bu değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Rockwell sertlik testine göre yapılmıştır. Deney, oda sıcaklığında 10 sn ön yük uygulandıktan sonra 60 kg asıl yüklemeye altında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Numunelerin sertlik ölçüm sonuçları.

Numune Adı	Sertlik Değeri (HRA)
STD	44,6
A5	70,7
A15	63,6
A30	62,9
A60	64,1
B5	67,9
B15	59,7
B30	55
B60	58,1

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi ısıtılma işlemi etkisi sertlik değerlerini değiştirmiştir. Burada standart malzemedeki sertlik değeri 44,6 HRA değerinde hesaplanırken, ısıtılma işlemi uygulanmış numunelerdeki sertlik değerinin ortalaması daha yüksek değerde ölçülmüştür. 275⁰C ve 325⁰C sıcaklık değerlerinde, farklı sürelerde soğutulan numunelerin sertlik değerlerinin ısıtılma işlemi uygulanmamış numuneye göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. Numunelerin sertlik değerleri aşağıdaki Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Numunelerin sertlik sonuçları.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi 275°C ve 325°C sıcaklıklarda bekletilmiş olan numunelerin soğutma sürelerinin artması ile sertlik değerlerinde azalma olduğu gözlemlenirken, her iki bekleme sıcaklığında 60 dk bekletilen numunelerde sertlik değerinde az miktarda artış gözlemlenmiştir. Bununla birlikte soğutma sıcaklığı arttıkça sertlik değerlerinde azalma meydana geldiği belirlenmiştir.

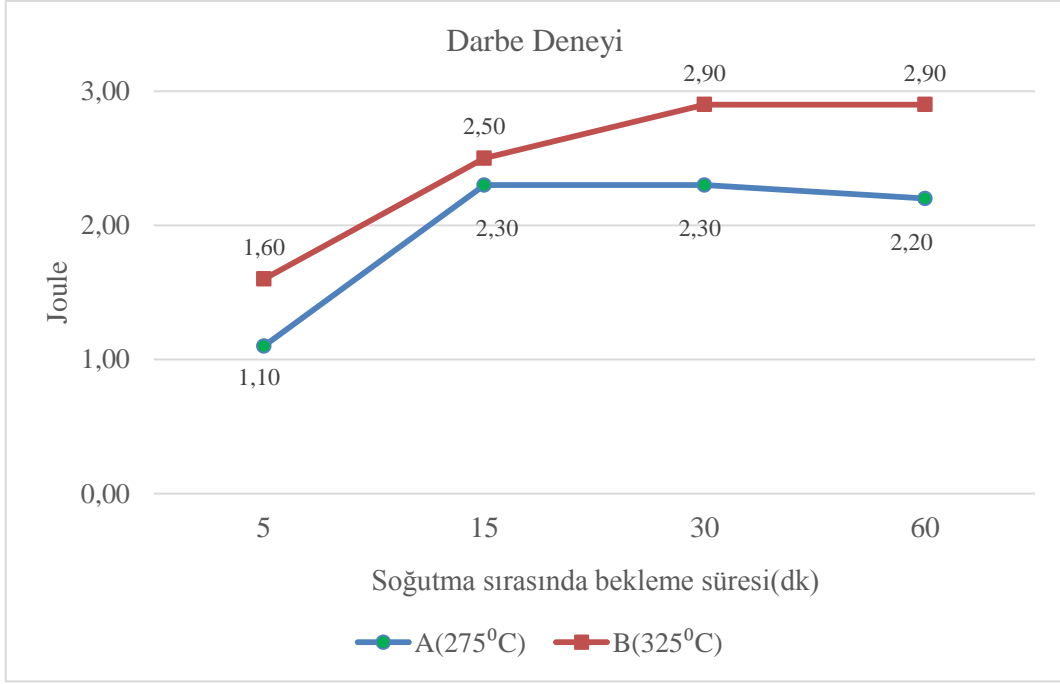
4.3 Darbe Deneyi Sonuçları

Deney parametrelerine uygun olarak yapılan ısıl işlem sonucunda oluşan yapının tokluk değeri darbe deneyi ile incelenmiştir. Buna göre ısıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin darbe deneyi test sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Numunelerin darbe deneyi sonuçları.

Numune Adı	Darbe Deneyi Sonuçları (J)
STD	2,5
A5	1,1
A15	2,3
A30	2,3
A60	2,2
B5	1,6
B15	2,5
B30	2,9
B60	2,9

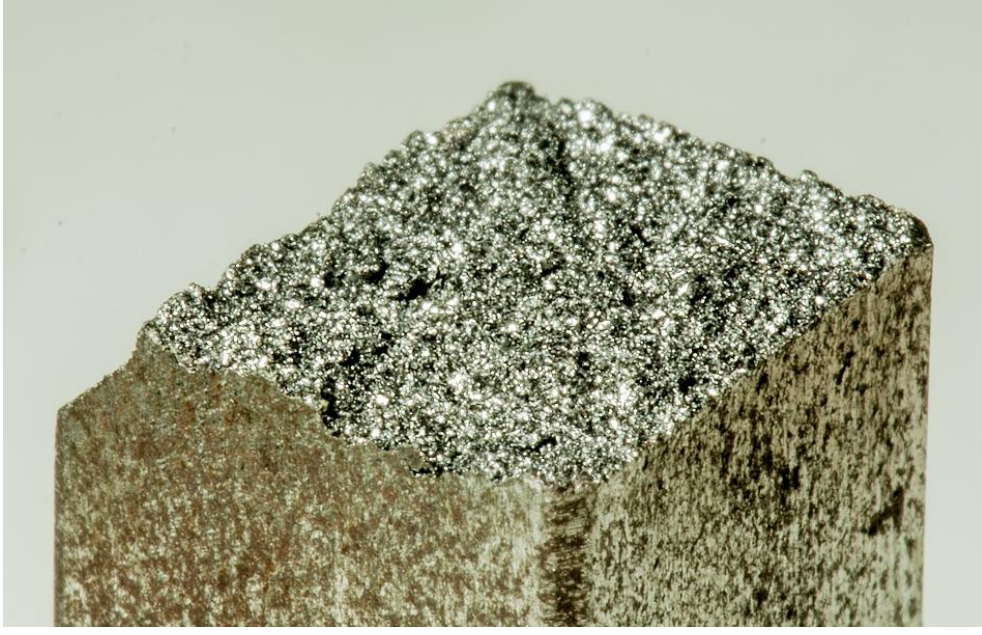
Burada her iki soğutma sıcaklığında da, 5 dk bekletme süresine sahip olan numunelerin tokluk değerleri daha düşüktür. Diğer bekletme sürelerinde ise standart malzemeye yakın tokluk değerleri oluşmuştur. 275⁰C bekletme sıcaklığında 15, 30 ve 60 dk bekletme sürelerindeki tokluk değerlerindeki değişim ile, 325⁰C bekletme sıcaklığında 15, 30 ve 60 dk bekletme sürelerindeki tokluk değerlerindeki değişimin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin darbe deneyi test sonuçlarındaki değişim Şekil 4.5’de verilmiştir



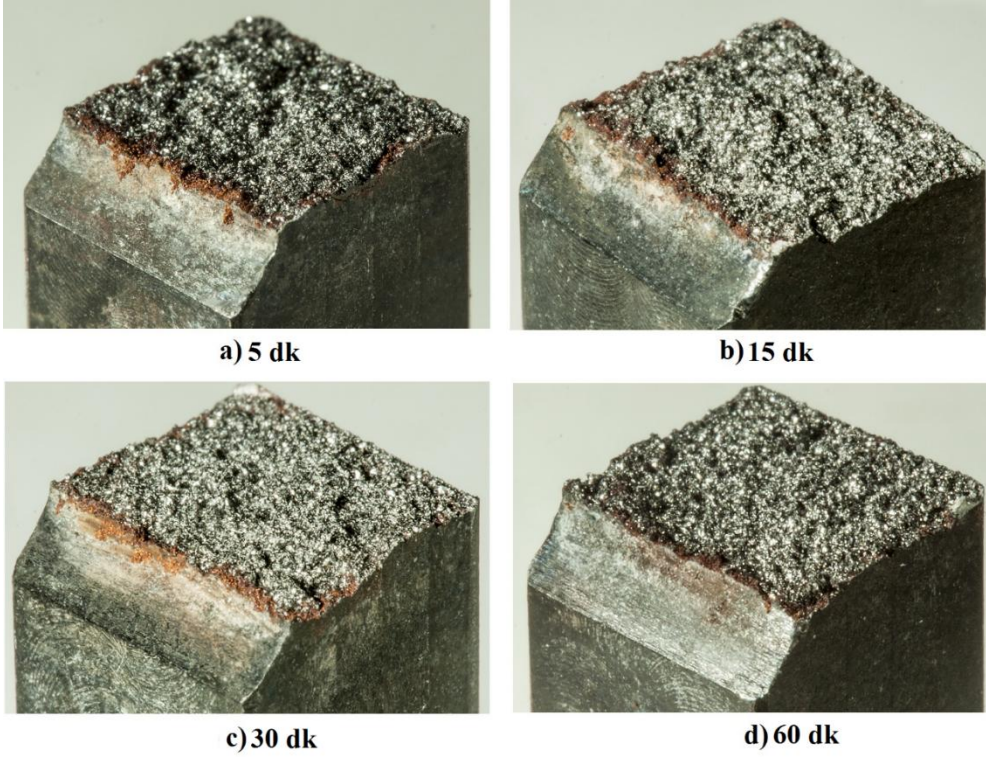
Şekil 4.5 Darbe deneyi sonuçları.

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi bekleme süresinin artması ile birlikte darbe deneyi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. 325⁰C bekleme sıcaklığındaki numunelerin değerleri, 275⁰C bekleme sıcaklığındaki numunelere göre daha yüksek değerlere sahiptir. Her iki soğutma sıcaklığında da 5 dk bekleme süresinden 15 dk bekleme süresine geçişte tokluk değerinde belirgin bir artış gözlemlenirken, diğer bekleme sürelerinde tokluk değerleri stabil olarak devam etmiştir.

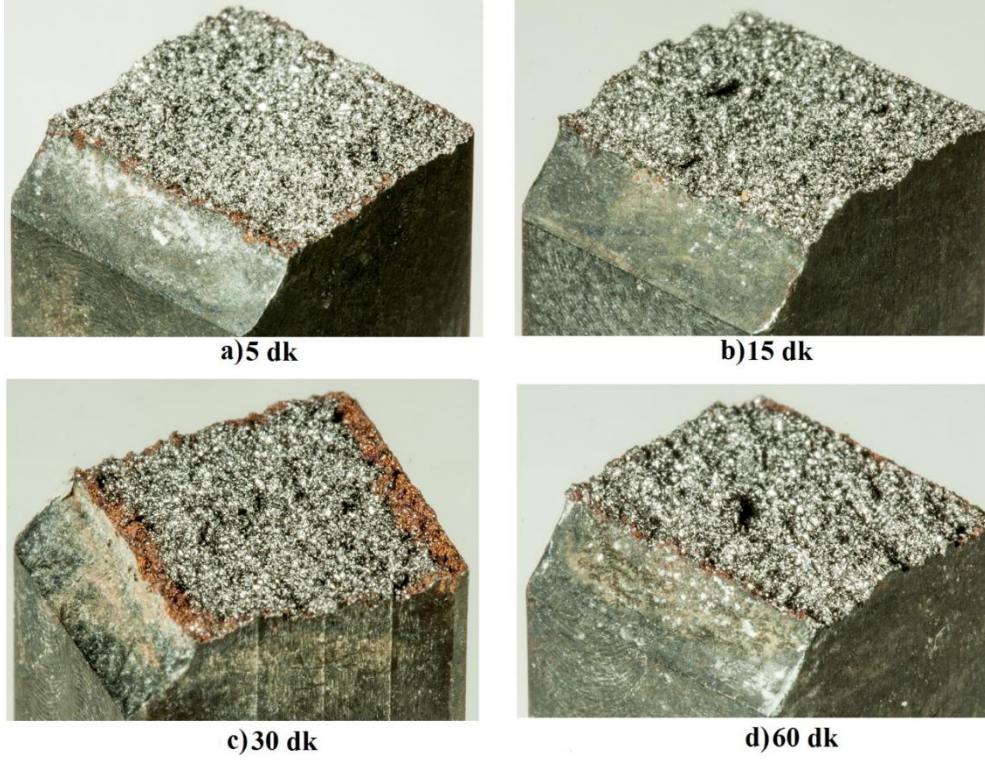
Darbe deneyi sonrasında V çentik numunelerin kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Numunelerin kırılma yüzeylerine ait görseller dijital fotoğraf makinesiyle elde edilmiştir. Numunelerin kırılma yüzeylerine ait görseller Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3’de gösterilmiştir.



Resim 4.1 Isıl işlem uygulanmamış numunenin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyi.



Resim 4.2 275°C'de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyleri.



Resim 4.3 325°C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin darbe deneyi sonrası kırılma yüzeyleri.

Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3 görüldüğü gibi lamel grafitli dökme demirde lamellerin etkisi ile kendi içerisinde gevrek kırılma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Isıl işlem uygulanmamış numunede darbe deneyi sonucunda 2,5 J değeri elde edilirken, 275°C’de 5 dk bekletilen numunede darbe deneyi sonucu, standart malzemeye göre yarıdan fazla bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. 275°C sıcaklıkta soğutma yapılan diğer sürelerde ise standart malzemeye göre belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Buna ilave olarak 325°C’de 5 dk bekletme süresine sahip numunede de standart malzemeye göre daha düşük darbe direnci elde edildiği gözlemlenirken, diğer soğutma sürelerinde standart malzemeye göre daha düşük darbe direnci değerleri elde edilmiştir.

Kırılma yüzeylerinin kenarlarında görülen renkli bölgeler darbe deneyi sonrasında numunelerin hava ile temas etmesi sonucunda meydana gelen oksit tabakası olduğu düşünülmektedir.

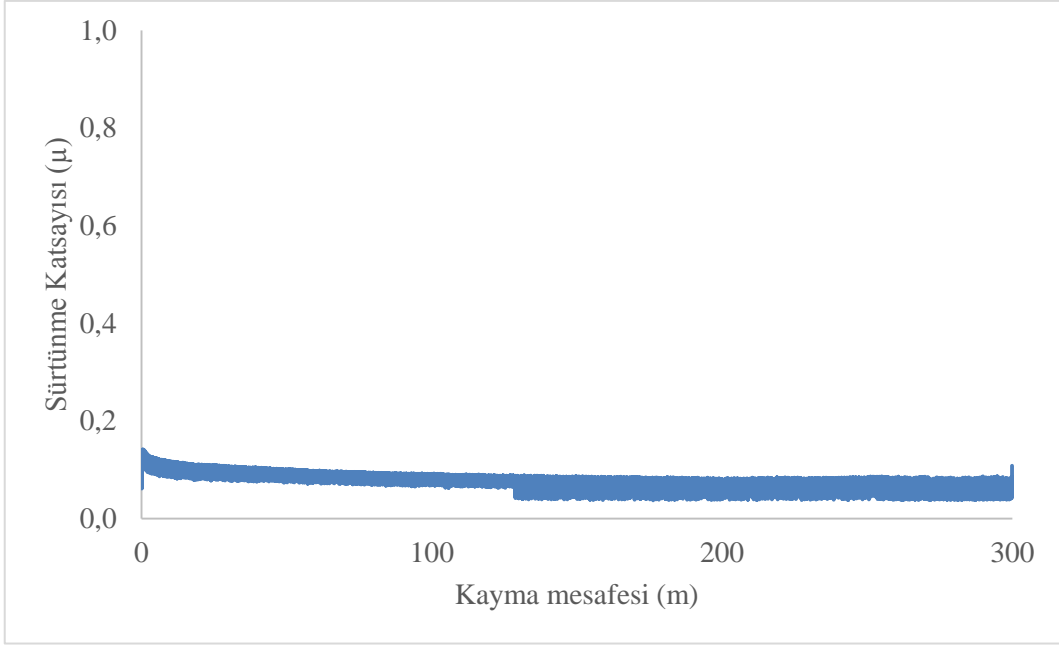
4.4 Aşınma Deneyi Sonuçları

Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin 5 N aşınma yüküne bağlı olarak kayma mesafesine göre yanal kuvvetlerden faydalanılarak belirlenen sürtünme katsayısı değişimleri elde edilmiştir. Isıl işlem uygulanmamış numuneye ait değişimler Şekil 4.6'da, 275°C soğutma sıcaklığına ait numunelere ait değişimler Şekil 4.7'de ve 325°C soğutma sıcaklığına ait numunelere ait değişimler ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

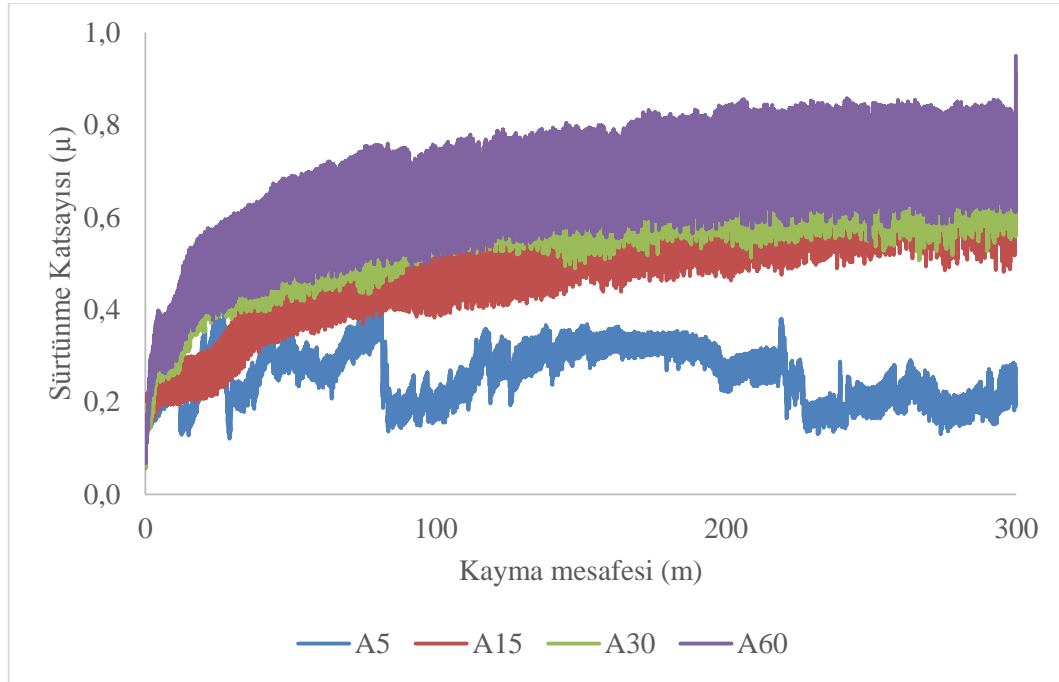
Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelere yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen ortalama sürtünme katsayısı değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı sonuçları incelendiğinde, en yüksek sürtünme katsayısı 275°C'de sıcaklıkta 60 dk soğutma yapılan numuneye ait iken, en düşük sürtünme katsayısı ısııl işlem uygulanmamış numuneye ait olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.3 Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin ortalama sürtünme katsayısı değerleri.

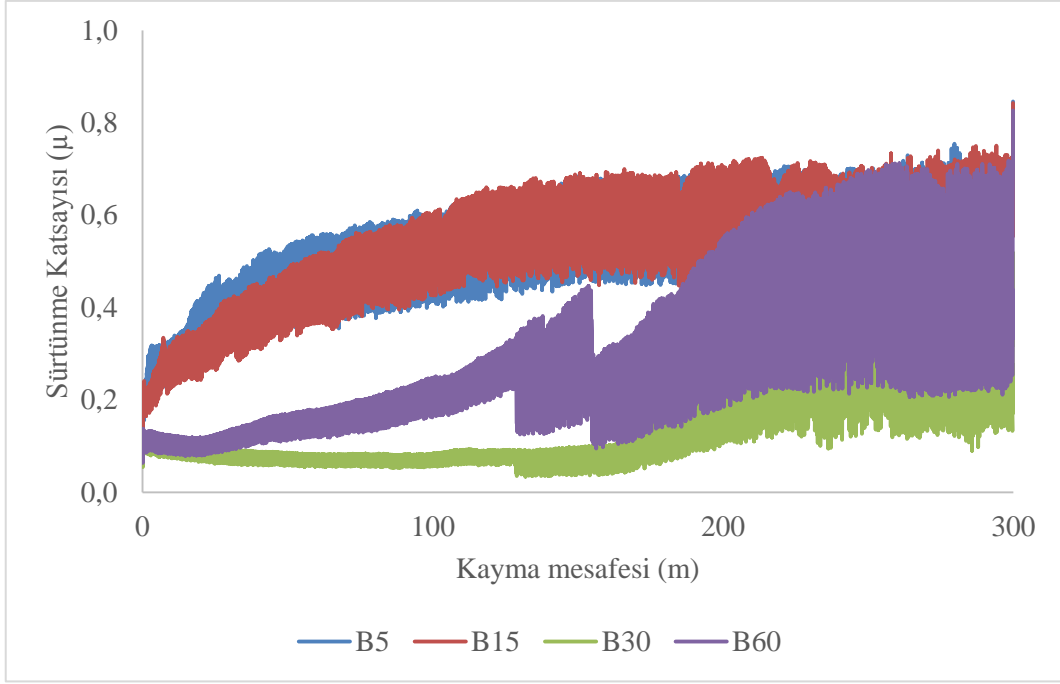
Numune Adı	Ortalama Sürtünme Katsayısı (μ)
STD	0,074
A5	0,264
A15	0,546
A30	0,624
A60	0,671
B5	0,545
B15	0,543
B30	0,148
B60	0,286



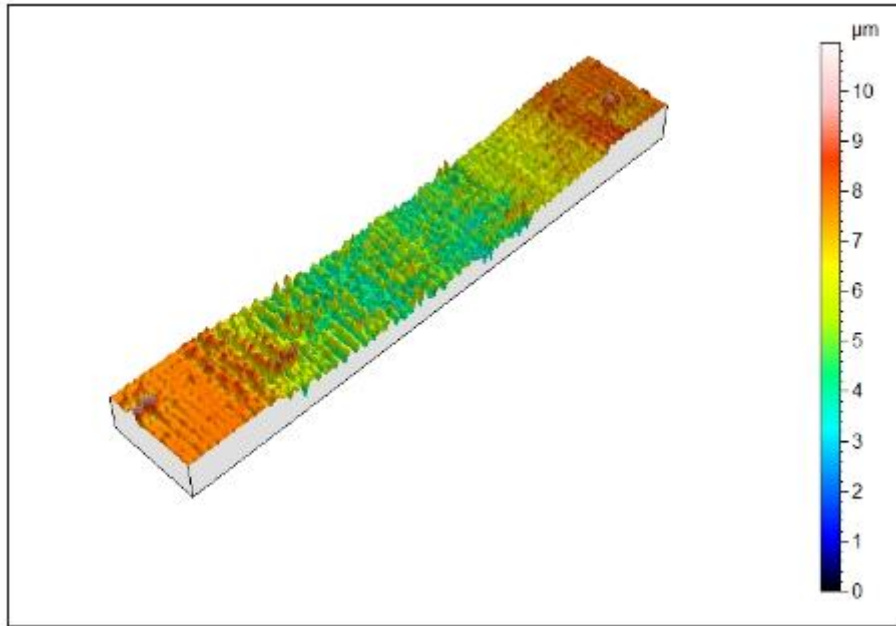
Şekil 4.6 Isıl işlem uygulanmamış numunenin sürtünme katsayısının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.



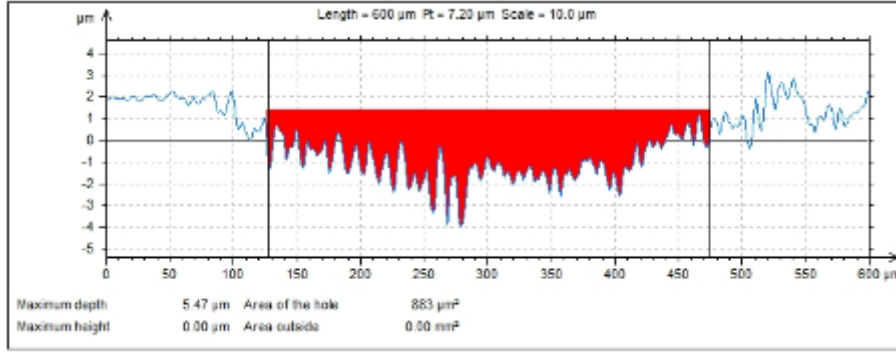
Şekil 4.7 275°C'de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.8 325⁰C’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin sürtünme katsayılarının kayma mesafesine bağlı olarak değişimi.



Şekil 4.9 Profilometre cihazından alınan 3 boyutlu aşınma yüzeyi.



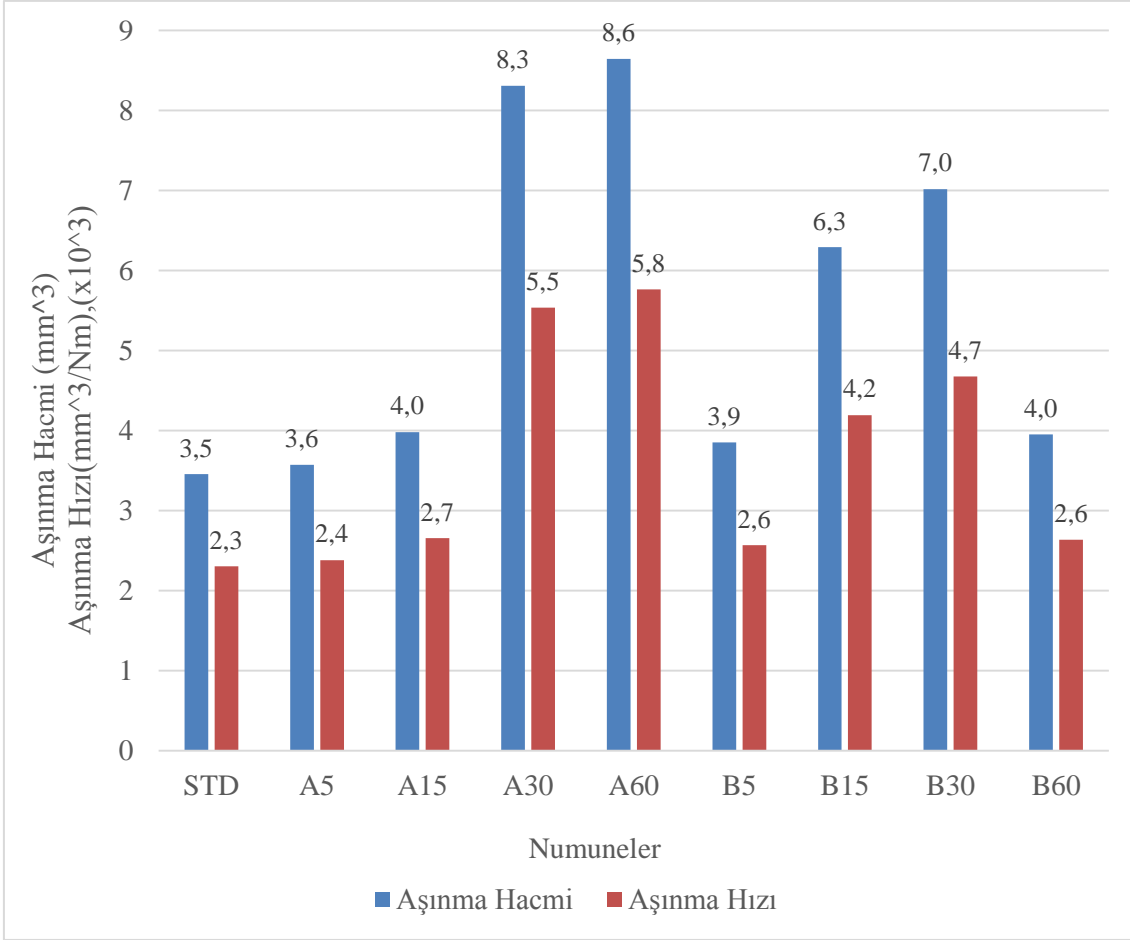
Şekil 4.10 Profilometre cihazından alınan aşınmış bölgenin kesit alanı.

Profilometre cihazından elde edilen 3 boyutlu aşınma yüzeyi Şekil 4.9’da gösterilmiştir. Numunelere ait profilometre cihazından Şekil 4.10’da görüldüğü gibi elde edilen aşınma yüzeyindeki kesit alanları profilometre cihazına ait 3 boyutlu yazılım programı yardımıyla hesaplanmıştır. Numunelere ait kesit alanı hesabı sonrasında aşağıdaki formül kullanılarak numunelere ait aşınma hızı ve aşınma hacmi değerleri elde edilmiştir.

$$Aşınma\ Hızı\ \left(\frac{mm^3}{Nm} \times 10^3\right) = \frac{Aşınma\ Hacmi\ (mm^3)}{Kuvvet(N) \times Yol(m)} \quad (4.1)$$

Romanov ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada fren diski numunelerinin aşınma testleri yapılmıştır. Bu testleri farklı yükler altında gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca aşınma testleri sonrasında elde edilen sürtünme katsayısı sonuçlarına göre en yüksek sürtünme katsayısına sahip numunelerin en iyi frenleme performansına sahip numuneler olacağı gözlemlenmiştir (Romanov vd. 2019).

Straffelini ve arkadaşları tarafından fren disklerine ısıl işlemin etkisi incelenmiştir. Bu durumda orijinal fren diski, ısıl işlem uygulanmış ve ısıl işlem sonrası işlenmiş olan numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerin aşınma testi sırasında aşınma özellikleri ve sürtünme katsayıları ele alınmıştır. Isıl işlem ile birlikte fren diskinde sertlik değerlerinde artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen değerler sonrası ısıl işlemin fren diskine olumlu katkılarının olacağı belirtilmiştir (Straffelini vd. 2016).



Şekil 4.11 Numunelere ait aşınma hacmi ve aşınma hızı.

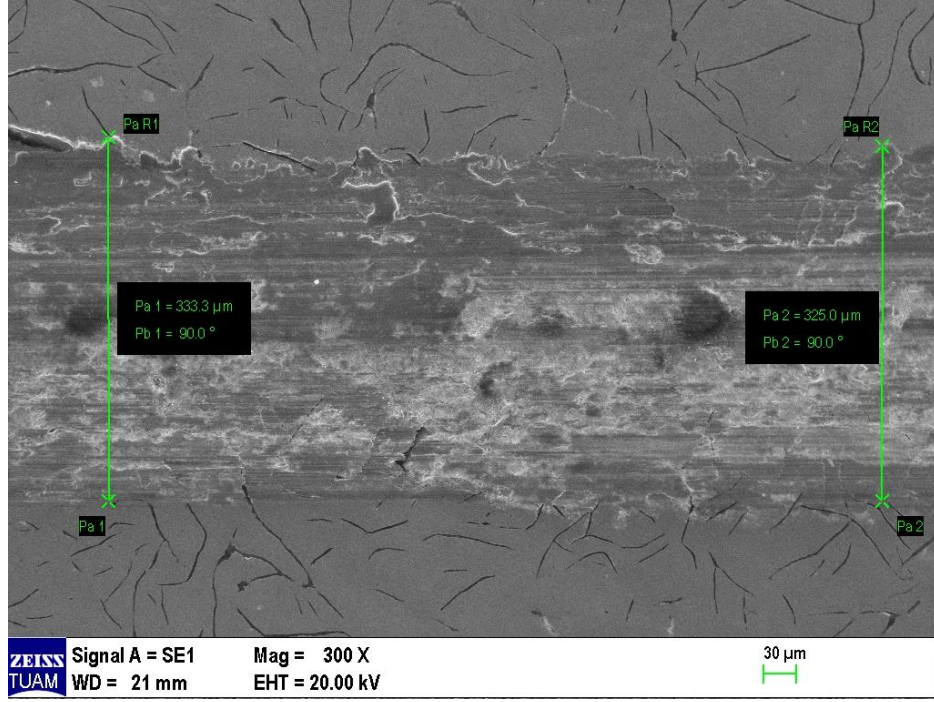
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi standart numunedeki aşınma hacmi değeri $3,5 \text{ mm}^3$ değeri ile numuneler arasında en düşük aşınma hacmi değerine sahip iken, en yüksek aşınma hacmi değeri 275°C ’de 60 dk bekletilen numunede meydana geldiği ve $8,6 \text{ mm}^3$ olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde aşınma hızı değerlerinde de ısıtma işlem uygulanmamış numunede aşınma hızı 2,3 ile aşınma hacminde olduğu gibi numuneler arasında en düşük değere sahiptir. Bunun yanında 275°C ’de 60 dk bekletilen numunede, numuneler arasında 5,8 aşınma hızı değeri ile en yüksek aşınma hızı değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. 325°C ’de soğutma sıcaklığına sahip numuneler incelendiğinde 30 dk bekletme süresine kadar aşınma hacmi ve aşınma hızında artış gözlemlenirken 60 dk soğutma süresinde ise standart malzeme değerlerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

4.5 SEM Mikro Yapı Görüntüleri

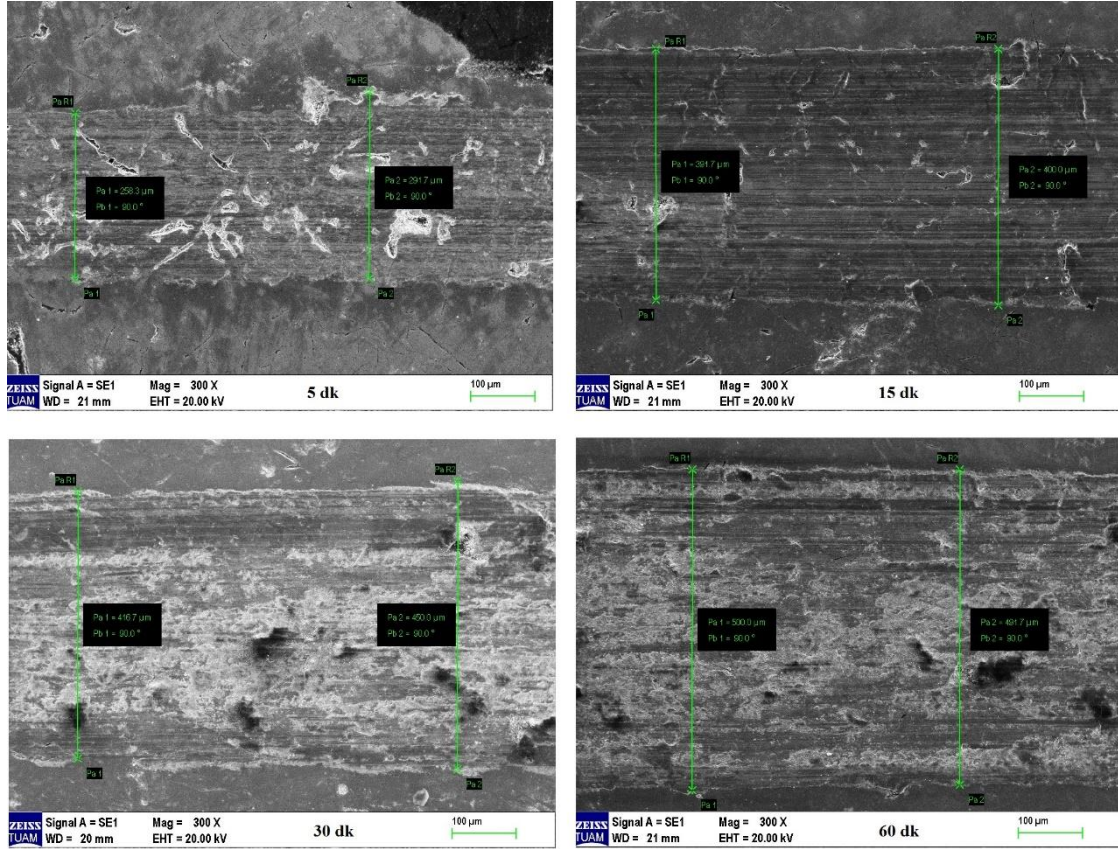
Aşınma deneyi sonrasında numunelerin elektron mikroskobu altında aşınma yüzeyleri incelenmiştir. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin yüzeylerinin alümina bilyeye karşı, 40 cm/s hızında, 5 N yük altında yapılan aşınma deneyleri sonrasında etkisi incelenmek amacıyla aşınma izlerinin genişlikleri ölçülmüştür. Isıl işlem uygulanmış ve uygulanmamış olan numunelerinin aşınma izlerine ait SEM mikro yapı görüntüleri Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir.

Numunelere ait aşınma izlerinden alınan SEM görüntüleri incelendiğinde, aşınma bölgesinde abrazif çizgilerin varlığıyla birlikte, aşınan ürünlerin sürtünmeye bağlı çukur bölgelerde aşınan ürünlerin birikerek sıvama yarattığı ve aşınma bölgelerinde kopmalar yaşandığı öngörülmektedir.

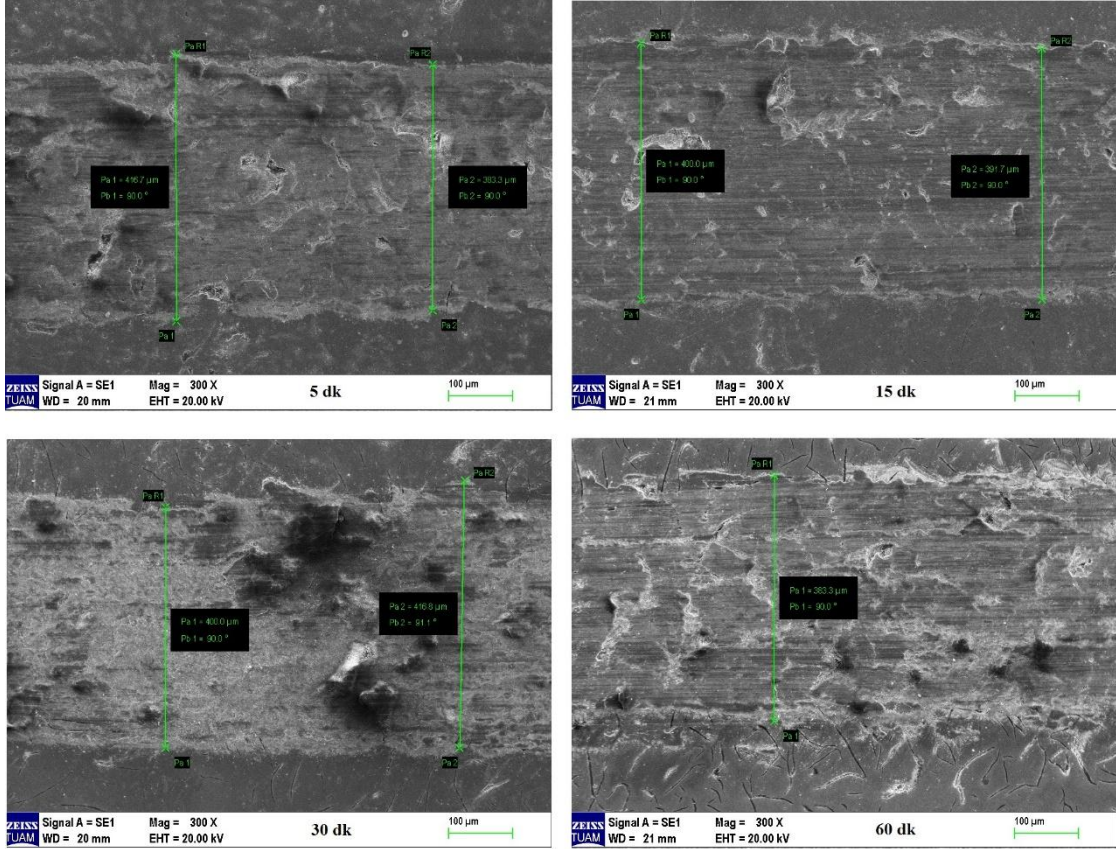
SEM mikro yapı görüntüleri incelendiğinde ısıtıl işlem uygulanmamış olan numuneye ait ortalama aşınma iz genişliği ortalama olarak 330 µm olarak ölçülmüştür. Bunun yanında 275°C soğutma sıcaklığında farklı soğutma sürelerine sahip numuneler incelendiğinde ise artan süre ile birlikte aşınma izinin de arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca numuneler içerisinde en düşük aşınma izi genişliğine 275°C soğutma sıcaklığında 5 dk bekleme süresine ait numunede olduğu görülmüştür. 325°C soğutma sıcaklığında farklı soğutma sürelerine sahip aşınma izleri incelendiğinde de süre artışı ile birlikte aşınma izinin arttığı görülmüştür, fakat aşınma izleri arasında belirgin farklar olmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.12 Isıl işlem uygulanmamış numuneye ait SEM mikro yapısı (300X).



Şekil 4.13 275°C'de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin SEM mikro yapısı (300X).



Şekil 4.14 325^oC’de 5, 10, 30 ve 60 dk tuz banyosunda bekleme yapılan numunelerin SEM mikro yapısı (300X).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada östemperleme ısıl işlemi uygulanarak fren diskinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Daha önceden Straffelini ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da ısıl işlem uygulamasının fren diski mekanik özelliklerini iyileştirdiğini ifade etmiştir. Isıl işlem sonrası, mikro yapı, darbe direnci, sertlik ve aşınma üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler ve araştırmalar doğrultusunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Isıl işlem uygulanmamış numuneye göre ısıl işlem uygulanmış numunelerin sertlik değerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Östemperleme soğutma sıcaklığının artması ile birlikte ise numunelerin sertliklerinde düşüş gözlemlenmiştir. 275°C'de sıcaklıkta 5 dk boyunca soğutma gerçekleştirilen numunelerde 70,7 HRA değeri ile en yüksek sertlik değerine sahip iken, ısıl işlem uygulanmamış numunede ise 44,6 HRA değeri ile en düşük sertlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.
2. Darbe deneyi sonuçları incelendiğinde, numunelerin lamel grafitli dökme demir olmalarından dolayı düşük tokluk direncine sahip olduğu görülmüştür. Kırılma yüzeyleri incelendiğinde, mikro yapıda yer alan lamellerin etkisi ile gevrek kırılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Darbe direnci değerleri ele alındığında her iki soğutma sıcaklığında da 5 dk soğutma yapılan numunelerde diğer numunelere göre daha düşük darbe direnci değerleri elde edilirken, geriye kalan numuneler arasında belirgin farklar olmadığı gözlemlenmiştir.
3. Numunelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde 275°C'de 5 dk soğutma gerçekleştirilen numunenin en az aşınma izi genişliğine sahip olurken, numunelerin aşınma izleri arasında belirgin farkların olmadığı gözlemlenmiştir.
4. Sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde ise 275°C soğutma sıcaklığında 60 dk bekleme süresine sahip olan numunede en yüksek sürtünme katsayısı değeri

elde edilirken, en düşük sürtünme katsayısı değeri ise ısıl işlem uygulanmamış numunede elde edilmiştir. Sürtünme katsayısı değerlerinde yaşanan bu artışın frenleme performansına da pozitif etki yaratacağı öngörülmektedir. Romanov ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada da sürtünme katsayısı değerlerinde ortaya çıkan artışın frenleme performansına olumlu yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir.

5. Numunelerin profilometre kesit alanları ve SEM görüntüleri incelendiğinde aşınma sırasında bölgesel olarak çukurluklar oluşmuştur. Abrazif aşınmanın bu oluşuma sebep olabileceği düşünülmektedir.

5.2 neriler

1. Soğutma sıcaklığı 275°C sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir.
2. Soğutma süresi olarak 5 dk'dan daha kısa sürelerde bekletme gerçekleştirilebilir. Ayrıca soğutma süresi olarak 60 dk'dan daha uzun sürelerde de bekletme gerçekleştirilebilir.
3. Standart fren disklerine üretimden sonra direk olarak ısıl işlem uygulanarak frenleme performansları araç üzerinden alınan sonuçlar ile değerlendirilebilir.
4. Aşınma deneyi sırasında farklı yükler, hızlar ve kayma mesafeleri kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Adachi K, Kato K, 2001, Wear Mechanisms, Modern Tribology Handbook:Principles of Tribology, CRC Press, 1, 273-301.
- Adamiak M, 2012, Effect of Abrasive Size on Wear, Abrasion Resistance of Materials, InTech.
- Ahn K J, Jung K H, Kim D H, Jin H B, Kim H S, Hwang H S, 2009, Analysis Of A Regenerative Braking System For Hybrid Electric Vehicles Using An Electro-Mechanical Brake, International Journal of Automotive Technology, 10, 229-234.
- Akgül B, 2018, Gri Dökme Demirde Kalayın (Sn) Mikroyapıya ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 68s, Konya.
- Akray S İ, 2007, Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Aşınma Direncine Etkisinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66s, İstanbul.
- Anonim, 1990, ASM International, Properties and Selection: Irons, Steels and High-Performance Alloys, 1, 3-11.
- Anonim, 2009, Engineering Materials. Indian Institute of Technology Kharagpur, India.
- Anonim, 2010, Steel and Cast Iron, Malmö University, Sweden.
- Anonim, 2011, Gri (Esmer) Dökme Demir. MEB, Yayın No: 521MMI271, Ankara.
- Anonim, 2012, Sertlik Deneyi, Deney Föyü Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon.
- Anonim, 2013, Mechanical Properties Laboratory Practice Guide, Óbudai University, Hungary.
- Anonim, 2014, Brakes, Seabee Online Magazine, Washington, USA.
- Anonim, 2015, Metalik Malzemeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, İzmir.
- Bozbay A B, 2019, Lastik Koruyucu Zincirlerinde Kullanılan 20MnCr5 ve 8620 Malzemelerinin Farklı Isıl İşlem Şartları İçin Yorulma ve Aşınma Dirençlerinin İyileştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, Sakarya.

- Çetin M, 2005, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışlarının Geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 246s, Ankara.
- Dickens P M, Sullivan J L, 1986, Speed Effects On The Dry and Lubricated Wear Of Polymers. *Wear*, 112, 273–289.
- Eker Akdoğan A, 2008, Çeliğin Isıl İşlemleri, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, İstanbul
- Ghaderi A R, Ahmadabadi Nili M, Ghasemi H M, Effect of Graphite Morphologies On The Tribological Behavior of Austempered Cast Iron, *Wear*, 255, 410-416.
- Gider G, 2015, Farklı Oranlarda Silisyum İçeren Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikro Yapılarına Çift Kademeli Östemperlemenin Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, İstanbul.
- Gowda D, Kumar C, Sandeep G, Parthasarathy A, Chandrashekar S, 2018, Tribological Characterization of Centrifugally Cast Graphite Cast Iron under Dry and Wet Conditions, *Materials Today*, 5, 145-151.
- Güler H, Özcan R, 2014, Yüksek Karbonlu Çeliklere Su Verme İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19, 77-83.
- Güler O, 2019, Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde Kesit Hassasiyetinin İyapı Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Afyon.
- Hayati A, 2016, Cast Iron, Ders Notları, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Engineering, School of Mechanical Engineering, Malaysia.
- İpek A, 2019, Hvof ile Yapılan Wc-Co Esaslı Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Sakarya.
- Jones D, 2004, Introduction to Brake Systems, Study Guide, Brookhaven College, Lead Automotive Faculty, Texas, USA.
- Karaca S, 2013, Östemperlenmiş DDK 70 Dökme Demirde Aşınma Özelliklerinin Mikro yapı ile İlişkinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, Eskişehir.

- Karanfil S, 2017, Fren Disklerinin HVOF Yöntemi ile Kaplanması ve Taşıtlarda Fren Performansına Etkisinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 93s, Afyon.
- Kılıçlı V, 2004, Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kısmi Östenitleme ve Östemperleme Isıl İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 116s, Ankara.
- Kim Y J, Shin H, Park H, Lim J D, 2008, Investigation Into Mechanical Properties of Austempered Ductile Cast Iron (ADI) in Accordance with Austempering Temperature, *Materials Letters*, 62, 357-360.
- Köster S, 2013, Recarburizer for Cast Iron, Superior Graphite, Freiberg, Germany.
- Kuş H, 2007, Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Konya.
- Malcioğlu U, 2015, Östemperlenmiş Gri Dökme Demirin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, İstanbul.
- Münker F, 2010, Sertleştirilmiş Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 77s, İstanbul.
- Öztürk S, 2013, Dökme Demirler, Ders Notu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Trabzon.
- Perez A, Stameroff A, 2003, Metallurgical Properties of Cast Irons, Santa Rosa Junior College, California, United States.
- Putatunda S K, 2001, Development of Austempered Ductile Cast Iron (ADI) with Simultaneous High Yield Strength and Fracture Toughness by A Novel Two-Step Austempering Process, *Materials Science and Engineering*, A315, 70-80.
- Rabinowicz E, 1995, Friction and Wear Of Materials, Second Edition, Aaviley-Interscience Publication, USA.
- Renard B J, 2005, Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials, Series in Materials Science and Engineering, 1, 19-60.
- Romanov I, Chernyshov E, Romanov A, 2019, Assessment of The Possibility for Substituting Cast Iron in Vehicle Brake Disc With Aluminum-Based Metal-Matrix Composite Material Produced by Internal Oxidation, *Materials Today*, 19, 2125-2128.

- Ruble A, 2014, Department of Material Science and Engineering, University of Washington, Seattle, United States.
- Sağlam D, 2009, Dökme Demirlerin Aşınma Özellikleri, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, İstanbul.
- Sarıççek N, 2012, Östemperlenmiş Toz Metal Çeliklerin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Ankara.
- Sarkar T, Sutradhar G, 2017, Influence of Austenitizing Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Austempered Gray Iron (AGI), *Materials Today*, 4, 10138-10143.
- Sarkar T, Bose P K, Sutradhar G, 2018, Mechanical and Tribological Characteristics of Copper Alloyed Austempered Gray Cast Iron (AGI), *Materials Today*, 5, 3664-3673.
- Shi S, 2016, Automobile Brake System, Master's Thesis, Savonia University Of Applied Sciences, Degree Programme in Industrial Engineering and Management, Finland.
- Straffelini G, Verma C P, Metinoz I, Ciudin R, Perricone G, Gialanella S, 2016, Wear Behavior of A Low Metallic Friction Material Dry Sliding Against A Cast Iron Disc: Role of The Heat-Treatment of The Disc, *Wear*, 348-349, 10-16.
- Temiz V, 2010, Frenler, Ders Notu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul.
- Trgo E, Akca E, 2015, Metallographic Procedures and Analysis, *Periodicals Of Engineering and Natural Sciences*, 3, 9-11.
- Wang B, Barber G C, Tao C, Sun X, Ran X, 2018, Characteristics of Tempering Response of Austempered Ductile Iron, *Journal of Materials Research and Technology*, 7, 198-202.
- Williams J A, 2005, Wear and Wear Particles-Some Fundamentals, 38. baskı. *Tribology International*.
- Yağcı T, 2016, Metal Bazlı Kompozit Ürünlerde Mekanik ve Tribolojik Özelliklerin İyileştirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 69s, İzmir.

İnternet Kaynakları

- 1) http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48936/37057/d%C3%B6kme_demirler-5_gri-1.pdf, 16.02.2019.
- 2) <http://w3.bilecik.edu.tr/makine/wp-content/uploads/sites/27/2017/09/Centik-Darbe.pdf>, 30.09.2019.
- 3) <https://www.reliance-foundry.com/blog/cast-iron#gref>, 28.11.2019.
- 4) <https://www.howacarworks.com/basics/how-the-braking-system-works>, 01.12.2019.
- 5) <http://www.tezu.ernet.in/sae/Download/Brakingsystem.pdf>, 01.12.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Umut KURNAZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 1988
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : umut.kurnaz@yandex.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mustafa Şeker Anadolu Lisesi, (2002-2006)
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Metalurji ve
Malzeme Mühendisliği Bölümü, (2006-2010)
Yüksek Lisans : Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (2012-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : [Özel Sektör–Metal] – Proje Sorumlusu -2012
[Özel Sektör-Otomotiv]– Proje Mühendisi - 2013
- Devam ediyor

Yayımları (SCI ve diğer) : Kurnaz U, Aslan S, 2019, Çok Katlı Poliamid
Kompozit Borunun Extrüzyon ile Üretiminde Alev Uygulamasının Mekanik Özelliklere
Etkisinin İncelenmesi, Marmara Uluslararası Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON), 1-3
Kasım, 228-233.