



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DİREKSİYON DİŞLİ KUTUSU GÖVDELERİNDE
KULLANILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİRLERE ZİRKONYUM DİBORUR (ZrB_2)
İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ramazan ORTAKAYA

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT**

**Mayıs-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ramazan ORTAKAYA tarafından hazırlanan “Direksiyon Dişli Kutusu Gövdelerinde Kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demirlere Zirkonyum Diborür (ZrB_2) İlavesinin Mekanik Özelliklere Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi” adlı tez çalışması 22/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Selman AYDIN

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT

.....

Üye

Doç. Dr. Mustafa TAŞYÜREK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü V.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ramazan ORTAKAYA
Tarih:22/05/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DİREKSİYON DIŞLI KUTUSU GÖVDELERİNDE KULLANILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERE ZİRKONYUM DİBORUR (ZrB_2) İLAVESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Ramazan ORTAKAYA

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT

2023, 52 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Selman AYDIN

Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT

Doç. Dr. Mustafa TAŞYÜREK

Değişen dünya koşulları ile birlikte otomotiv malzemeleri de değişmekte ve gün geçtikçe yüksek mukavemetli, hafif ve ucuz malzemeler ön plana çıkmaktadır. Direksiyon kutuları, araç üzerindeki konumu nedeniyle dişli çark sistemleri için yatak görevi görür. Direksiyon dişli kutularındaki bilye ve bilyeli yataklar sabit yük altında çalıştıkları için aşınma ve boşluklar oluşur. Bu aşınma ve boşluklar direksiyon dişli kutularının gürültülü çalışmasına neden olur. Bu aşınmaları önlemek için direksiyon dişli kutusu gövdelerinin mukavemetinin artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada farklı oranlarda (%0, %0.227, %0.455 ve %1.364) Zirkonyum Diborür ilave edilerek küresel grafitli dökme demirden direksiyon dişli kutusu gövde malzemesi üretilmiştir. Bu malzemeden standartlara göre sertlik, basma ve aşınma test numuneleri hazırlanmış ve ardından testler yapılmıştır. Zirkonyum Diborür ilave edilen numuneler ile ilave edilmeyen test numuneleri hem bazı mekanik özellikler (Sertlik ve basma) hem de aşınma açısından karşılaştırılmıştır. Sertlik testi sonuçlarının analizinde %0.455 ilave edildikten sonra C örneğinde en yüksek ölçüm 243 HB olmuştur. İlave oranı arttıkça sertlik ölçüm test değerleri de yükselmiştir. Numune C'deki en yüksek sıkıştırma değeri, %0.455'lik bir ilave oranıyla 1438MPa olmuştur. İlave oranı arttıkça genel olarak basma gerilmesi değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Aşınma hacmi, aşınma hızı ve sürtünme katsayılarındaki değişiklikleri incelemek için aşınma testleri yapılmıştır. Numunelerin aşınmış yüzeylerindeki aşınma mekanizmalarını belirlemek için SEM cihazı kullanılmıştır. Yük değeri arttıkça aşınma hacmi değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direksiyon Sistemi, Direksiyon Dişli Kutusu gövdesi, Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD), Zirkonyum Diborür (ZrB_2)

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ZIRCONIUM DIBORIDE (ZrB_2) ADDITION ON MECHANICAL PROPERTIES OF SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRONS USED IN STEERING GEARBOX BODIES

Ramazan ORTAKAYA

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN AUTOMOTIVE ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Rifat YAKUT

2023, 52 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN
Asst. Prof. Dr. Rifat YAKUT
Assoc. Prof. Dr. Mustafa TAŞYÜREK**

With the changing world conditions, automotive materials are also changing, and high strength, light and cheap materials come to the fore day after day. Due to their location on the vehicle, the steering boxes act as a bearing for the gear wheel systems. Wear and clearances occur as the ball and ball bearings in the steering gearboxes work under constant load. This wear and clearances cause the steering gearboxes to work noisily. To prevent these abrasions, it is necessary to increase the strength of the steering gearbox bodies. In this study, steering gearbox body produced from spheroidal graphite cast iron material by adding Zirconium Diboride at different rates (0%, 0.227%, 0.455% and 1.364%). Hardness, compression and abrasion test specimens were prepared from this material in line with standards, and then tests were carried out. Test samples with and without added Zirconium Diboride were compared in terms of both some mechanical properties (Hardness and compression) and wear. In the analysis of hardness test results, after adding 0.455% Zirconium Diboride, the highest measurement in the C sample was 243 HB. As the addition rate increased, the hardness measurement test values also increased. The highest compression value in sample C was 1438MPa, with a 0.455% addition rate. As the addition rate increased, it was observed that the compressive stress values increased in general. Wear tests were performed to examine the changes in wear volume, wear rate and friction coefficients. SEM device was used to determine the wear mechanisms on the worn surfaces of the samples. It was observed that the wear volume values increased as the load value increased.

Keywords: Steering System, Steering Gear Box body, Spheroidal Graphite Cast Iron (SGCI), Zirconium Diboride (ZrB_2)

ÖNSÖZ

“Direksiyon dişli kutusu gövdelerinde kullanılan küresel grafitli dökme demirlere zirkonyum Diborür (ZrB_2) ilavesinin mekanik özelliklere etkisinin deneysel olarak incelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezi Giriş, Kaynak Araştırması, Genel Bilgiler, Materyal ve Yöntem, Araştırma Sonuçları ve Tartışmalar, Sonuçlar ve Öneriler kısımlarından meydana gelmektedir. Giriş bölümünde; Dökme demirlere kısaca değinilmiş ve küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) endüstriyel uygulamalardaki kullanımlarına değinilmiştir. Kaynak Araştırması bölümünde; tez çalışması konusu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelenerek özetlerine yer verilmiştir. Materyal ve Yöntem bölümünde; zirkonyum diborür (ZrB_2) ilave edilmiş küresel grafitli dökme demir malzemenin üretilmesi, üretilen bu malzemeden sertlik numunesi, basma numunesi, aşınma numunesi ve metalografi işlemler için numune hazırlama işlemlerine değinilmiştir. Ayrıca, deneylerin yapılmasına ve deneylerin yapılmasında kullanılan tezgâhlara ve cihazlara da yer verilmiştir. Araştırma Sonuçları ve Tartışma bölümünde; Farklı ilave oranlarında (A:%0; B:% 0.227; C:%0.455 ve D:%1.364) zirkonyum diborür (ZrB_2) ilavesi yapılarak bu malzemelerin bazı mekanik özellikleri (Basma testi, sertlik testi) ve aşınma davranışları değerlendirilmiştir. Sonuçlar ve Öneriler bölümünde; tez çalışmasında elde edilen deney sonuçlarına değinilmiş ve daha sonra bu çalışmaya benzer çalışmalarda kaynak olması amacıyla önerilere yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasının her sürecinde desteğini görmüş olduğum tezimin danışmanlığını yürütmekte olan Dr. Öğr. Üyesi Rifat YAKUT’a teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda küresel grafitli dökme demir (KGDD) malzemelerin üretilmesinde verdikleri destekten dolayı Hema Otomotiv Döküm Fabrikası değerli yöneticilerinden Genel Müdür Yardımcısı Fatih BARAN’a teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda basma testlerinin yapılması için laboratuvarlarında bana yardımcı olan Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Lab. yetkililerine teşekkür ediyorum.

Tez çalışmamda Sertlik testleri ve aşınma testlerinin yapılmasında Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Lab. yetkililerinden Arş. Gör. Dr. Serkan BATI’ya yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Ayrıca, bu süreçte daima desteklerini gördüğüm aileme teşekkür ediyorum.

Ramazan ORTAKAYA
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. DİREKSİYON DİŞLİ KUTUSU	10
4. DÖKME DEMİRLER.....	11
4.1. Dökme Demirlerin Tanımı	11
4.2. Döküm Teknolojisi	12
4.3. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması	13
4.3.1. Gri (Lamel grafitli) dökme demirler	14
4.3.2. Küresel grafitli dökme demirler.....	15
4.3.3. Beyaz dökme demirler	15
4.3.4. Temper dökme demirler.....	16
4.4. KGDD Yapısında Bulunan Fazlar	16
4.4.1. Grafit.....	16
4.4.2. Ferrit.....	16
4.4.3. Perlit.....	17
4.4.4. Sementit	17
4.5. Alaşım Elementlerinin Dökme Demirlerin Özelliklerine Etkisi	18
4.5.1. Karbon (C)	18
4.5.2. Silisyum (Si)	18
4.5.3. Kükürt (S)	18
4.5.4. Mangan (Mn)	18
4.5.5. Fosfor (P)	19
4.5.6. Krom (Cr)	19
4.5.7. Nikel (Ni).....	19
4.5.8. Bakır (Cu)	19
4.6. KGDD'lerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	20
4.6.1. Basma deneyi.....	20
4.6.2. Sertlik deneyi	21

5. AŞINMA	22
5.1. Sürtünme Teorisi	22
5.2. Aşınma Mekanizmaları.....	22
5.2.1. Adhesiv aşınma.....	22
5.2.2. Abresiv aşınma	23
5.2.3. Koroziif aşınma.....	24
6. MATERYAL VE YÖNTEM	25
6.1. Malzeme Üretimi	25
6.2. Test Numunelerinin Hazırlanması.....	27
6.3. Metalografi İşlemleri İçin Numune Hazırlama işlemleri.....	28
6.4. Deneylerin Yapılışı.....	30
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	33
7.1. Sertlik Ölçümü Testleri	33
7.2. Basma Testleri	34
7.3. Aşınma Testleri.....	37
7.4. Mikroyapı Analizleri	40
7.4.1. Aşınma testleri öncesi SEM mikroyapı analizleri	40
7.4.2. Aşınma testleri sonrası SEM mikroyapı analizleri	42
8. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Araç üzerinde hidrolik güç destekli direksiyon sistemi görünümü	2
Şekil 1. 2. Hidrolik güç destekli direksiyon sisteminin hidrolik bileşenleri.....	2
Şekil 3. 1. Direksiyon kutusu ve parçalarının görünümü	10
Şekil 4. 1. Fe-C denge diyagramı	11
Şekil 4. 2. Basma testi numunesi	20
Şekil 4. 3. Brinell sertlik deneyi şeması.....	21
Şekil 5. 1. Dinamik ve statik yükleme durumlarında sürtünme mesafesi.....	22
Şekil 5. 2. Metal-Metal sürtünmesi sonucu malzeme yüzeylerinden parça kopması .	23
Şekil 5. 3. Metal-Metal yüzeylerde abresiv aşınma mekanizması.....	23
Şekil 6. 1. Hema otomotiv döküm fabrikasında üretilen direksiyon dişli kutusu.....	25
Şekil 6. 2. Döküm ergitme ocağı	26
Şekil 6. 3. Sertlik testi numunesi	27
Şekil 6. 4. Basma testi numunesi	28
Şekil 6. 5. Aşınma test numunesi.....	28
Şekil 6. 6. Hassas kesme cihazı	29
Şekil 6. 7. Bakalite alma cihazı.....	29
Şekil 6. 8. Zımparalama ve parlatma cihazı.....	30
Şekil 6. 9. Taramalı elektron mikroskobu.....	31
Şekil 6. 10. Sertlik ölçüm cihazı	31
Şekil 6. 11. Basma test cihazı	32
Şekil 6. 12. Aşınma test cihazı.....	32
Şekil 7. 1. Brinell sertlik ölçüm değerleri	34
Şekil 7. 2. Brinell sertlik ölçümü yapılan A (İlavesiz) numunesi yüzey görünümü...	34
Şekil 7. 3. Basma testi değerleri	35
Şekil 7. 4. Basma yükü kırılma hasarları görünümü.....	36
Şekil 7. 5. Basma testi gerilme-gerinim grafikleri.....	37
Şekil 7. 6. Aşınma testi numune görünümü a, b	38
Şekil 7. 7. Sürtünme katsayısı değişimleri, 5N, 8N, 10N ve 15N	40
Şekil 7. 8. ZrB ₂ tozunun SEM görüntüsü.....	41
Şekil 7. 9. ZrB ₂ tozunun XRD Analizi	41
Şekil 7. 10. KGDD mikro yapı grafit dağılımı a, b	42
Şekil 7. 11. SEM mikroyapı grafit dağılımı.....	42
Şekil 7. 12. Aşınma sonrası SEM görüntüleri	44

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 4. 1. Dökme demirlerde bulunan elementler ve yapıda bulunan miktarlar	14
Tablo 6. 1. Numunelerin kimyasal bileşimleri	25
Tablo 6. 2. Mg işleme kimyasal bileşimi	26
Tablo 6. 3. Aşılama malzemesinin kimyasal bileşimi	26
Tablo 6. 4. ZrB ₂ 'ün mekanik özellikleri	27
Tablo 7. 1. Aşınma hacmi, aşınma oranları ve ortalama sürtünme katsayıları.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Cu	:Bakır
C	:Karbon
Ca	:Kalsiyum
Cr	:Krom
S	:Kükürt
Fe	:Demir
N	:Azot
P	:Fosfor
Zr	:Zirkonyum
Si	:Silisyum
Sn	:Kalay
Ti	:Titanyum
B	:Bor
Mg	:Magnezyum
Mn	:Manganez
Al	:Alüminyum

Kısaltmalar

BDD	:Beyaz Dökme Demir
EDS	:X ışını enerji dağılım spektrometresi
Fe ₃ C	:Sementit
GDD	:Gri Dökme Demir
KGDD	:Küresel Grafitli Dökme Demir
HB	:Brinell Sertliği
HV	:Vickers Sertliği
HRC	:Rockwell Sertliği
SEM	:Taramalı Elektron Mikroskobu
TDD	:Temper Dökme Demir
XRD	:X-ışını kırınımı
Fe-Si	:Ferro Silisyum
Met-SiC	:Metalürjik Silisyum Karbür
GGG	:Küresel grafitli dökme demir
°C	:Sıcaklık birimi Santigrat derece
Kg	:Kilogram
mm	:Milimetre
MPa	:Megapaskal
Sn, (s)	:Saniye
%	:Yüzde
N	:Newton

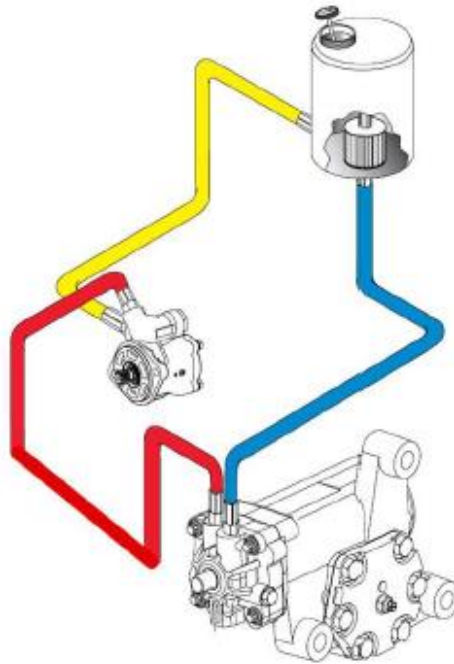
1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde tasarlanan her yeni ürün, bir önceki üretimden daha konforlu, daha ucuz ve daha güvenilir olmalıdır. Otomotiv üzerinde bulunan direksiyon dişli kutuları kullanım amacı itibarı ile önemli bir kısım olarak karşımıza çıkmaktadır. Direksiyon dişli kutusu, direksiyonun çalışmasını sağlayan en önemli parçasıdır. Direksiyon kutularının çeşitlerine baktığımızda, elektrik motorlu, özel sistemli ya da hidrolik sistemli olanları mevcuttur. Araç içerisindeki direksiyon simidinden gelen hareket aracın lastiklerine doğru bir şekilde iletilmektedir. Bu iletilen hareket ilk olarak direksiyon miline, daha sonra da rot başlarına iletilmektedir. Bu sayede aracın lastikleri istenen yönde hareket ettirilebilmektedir (Çözüm Direksiyon, 2020). Direksiyon sistemleri genel olarak araç tekerleklerinin dümenlenmesinde kullanılmaktadır. Araç konforu ve güvenliğini arttıran çalışmaların paralelinde direksiyon sistemlerinde gelişmeler devam etmektedir (Uymaz, 2019; Mallick, 2010; Koehn ve Eckrich, 2004). Ayrıca, aracın yönlendirilmesinde oluşan yanal kuvvetlerin gereğinden fazla artması yakıt ekonomisi sağlamak ve bunun yanı sıra aracın konforunu ve kararlılığına da olumsuz olarak etkiler yapmaktadır (Biswas, 2010).

Direksiyon sistemleri çeşitlerine baktığımızda öncelikle yaptığımız çalışmada gövdesini incelemiş olduğumuz hidrolik güç destekli direksiyon sistemleri, mekanik tahrikli direksiyon sistemleri, elektrik güç destekli direksiyon sistemleri ve elektrik ve hidrolik sistemlerin birlikte kullanılması ile oluşan melez (elektro-hidrolik) güç destekli direksiyon sistemleridir. Çekiciler, otobüsler ve kamyonlar gibi ağır ticari araçlarda ön tekerleklerle binen aks yüklerinin yüksek olması sebebiyle bu tip araçlarda hidrolik güç destekli direksiyon sistemleri (Şekil 1.1, Şekil 1.2) çoğunlukla kullanılmaktadır (Uymaz, 2019).



Şekil 1. 1. Araç üzerinde hidrolik güç destekli direksiyon sistemi görünümü (Uymaz, 2019)



Şekil 1. 2. Hidrolik güç destekli direksiyon sisteminin hidrolik bileşenleri (Uymaz, 2019)

Direksiyon dişli kutuları birçok avantajlarından dolayı dökme demirlerden üretilmektedir. Kimyasal bileşimlerinde %2'den daha fazla karbon bulunduran demir malzemeler grubuna dökme demir malzemeler denilmektedir. Dökme demirler, demir-karbon-silisyum alaşımlarıdır. İçerisinde yaklaşık olarak %2-4 C ve %1-3 Si bulunmaktadır. Dökme demir malzemeler son aşamadaki şekil ve boyutlara, döküm yöntemi ile getirilebildiği için bunlar dökme demir malzemeler olarak adlandırılmaktadır.

Dökme demir malzemeler geniş bir aralıkta kullanılmakta olup, değişen mukavemet, korozyon direnci, sertlik, aşınmaya karşı dayanıklılık, kolay işlenebilme ve titreşimleri sönmüleme gibi özelliklere sahiptirler (Çolak ve ark., 2018; Münker, 2010). Ayrıca, dökme demir malzemeler; ergitme işleminin ucuzluğu ve kolaylığı, iyi akışkanlık, düşük ergime sıcaklığı ve ısı iletkenlik gibi birçok avantaj sağlayan özelliklere de sahiptirler. Dökme demirlerin belirtilen bu üstün özellikleri, dökme demirleri birçok yapısal uygulamada yaygın kullanılmasını sağlamaktadır (Malcıoğlu, 2015; Diószegi ve ark., 2016). Dökme demirlerin özellikleri, iyi mekanik özellikler, fiziksel özellikler ve ekonomik üretim süreçlerinin bir kombinasyonunu içermektedir (Bilici, 2004; Ghasemi ve Elmquist, 2014).

Dökme demirlerin üretiminde, ilk olarak aşılama işleminde başarı sağlanarak gri dökme demirlerin (GDD) üretilmesi olmuştur. Daha sonra ergimiş halde bulunan demir-karbon-silisyum alaşımlarına magnezyum ve seryum eklemesi ile GDD'lere nazaran iki kat daha mukavemetli olan küresel grafitli dökme demirlerin üretimi (KGDD) gerçekleştirilmiştir (Çelik, 2001). KGDD'ler sfero veya nodüler dökme demir olarak da isimlendirilmektedir (Demirlek, 2013). KGDD'ler, GDD'lerden daha fazla mukavemete ve süneklığe sahiptirler (Collini ve Pirondi, 2022). GDD'lere göre mukavemet değerlerinin iki kat arttırılabiliyor olması, grafitin küreselleşmesi ile mümkün hale gelmiştir. KGDD'ler günümüzde otomotiv endüstrisindeki kullanımları bakımından oldukça başarılıdır (Çelik, 2001). Çeliklerin ve dökme demirlerin pek çok özelliklerini anımsattığından dolayı günümüzde KGDD'ler fazlaca bulunmaktadır. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesi konusunda çeliklere yakın olmasından dolayı KGDD'ler ısı ısı işlem, dövülebilirlik, çekme dayanımı, sertlik, tokluk ve mekanik bakımında yüzeyleri daha güzel geliştirilebilmektedir. Ağır sanayi, demir yolu ve otomotiv sektöründe değişmesi kolay olan parçalar için KGDD'ler kullanılması açısından uygun ürünlerdir. Aşınma direncinin yüksek ve kaliteli olmasından dolayı KGDD'ler dişli çark, kam mili, krank mili, yatak kapakları, karteller, pistonlar, dişli kutuları, pompa gövdeleri, tarımsal araç gereçler ve özellikle lokomotif tekerleklerinde kullanılmaktadır (Ayday, 2013; Jost ve ark., 2018; Collini ve Pirondi, 2022).

Günümüz sanayisinde kullanılan dökme demirlerin yaygın olarak görülen önemli problemlerinden biri de aşınmadır. Teknik olarak aşınma işlemi, cismin yüzeyinde mekanik bir durum ya da mekanik bir enerji gibi mekanik etkenler sebebiyle mikro taneciklerin koparak ayrılması sonucunda malzemede istenmeyen değişikliklerin meydana gelmesi durumudur (Münker, 2010). Aşınma sistemlerinde; karşı malzemeler

(aşındıran), ara malzemeler, ana malzemeler (aşınan), yük ve hareket durumları aşınma işleminin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bu unsurlardan oluşan sistem "Tribolojik Sistem" olarak adlandırılmaktadır. Aşınma sistemlerinde, çevre koşulları önemli bir belirleyicidir. Aşınma sistemindeki unsurların, koroziv veya nem etkisi aşınmayı hızlandırmaktadır (Sağlam, 2009; Okay, 2006).

Direksiyon dişli kutularındaki bilye ve bilye yatakları sürekli yük altında çalıştıklarından dolayı aşınmalar ve boşluklar meydana gelmektedir. Bu aşınma ve boşluklarda direksiyon dişli kutularının sesli çalışmasına sebep olmaktadır. Oluşan bu aşınmaları önlemek için direksiyon dişli kutusu gövdelerinin mukavemetlerinin artırılması ihtiyacı oluşmuştur. Bu çalışmanın amacı, araçlarda kullanılmakta olan KGDD'lerden üretilmiş mukavemet değerleri düşük olan direksiyon dişli kutusu gövdelerinin farklı oranlarda (A numunesi:%0; B numunesi:%0.227; C numunesi:%0.455 ve D numunesi:%1.364) zirkonyum diborür (ZrB_2) ilavesi yapılarak mukavemet değerlerinin artırılması hedeflenmiştir. Bundan dolayı farklı ilave oranlarında üretilmiş olan numunelerin basma, sertlik ve aşınma davranışları incelenmiştir. Yapılan aşınma deneylerinde numuneler standartlara uygun olarak pin on disk aşınma test cihazında normal atmosferik şartlar altında, kuru ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında AISI 316 paslanmaz çelik bilye kullanılmıştır. 5N, 8N, 10N ve 15N'luk yükler altında, 219.9 mm/s kayma hızında ve toplam 500 m kayma mesafesinde testler gerçekleştirilmiştir. Test esnasında sürtünme katsayısı değerleri ölçülerek veriler toplanmıştır. Böylece, farklı oranlarda ZrB_2 ilaveli KGDD'lerde yük değişimlerinin aşınma davranışlarına etkileri incelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son yıllarda “Direksiyon sistemleri ve Küresel grafitli dökme demirler” üzerine yapılmış çalışmalar taranarak aşağıda sunulmuştur. Tez çalışması Direksiyon dişli kutusu gövdelerinde kullanılan küresel grafitli dökme demirlere ZrB_2 ilavesi yapılarak bazı mekanik özellikleri ve aşınma davranışları hakkında bilginin geliştirildiği bir çalışma olacaktır.

Öztürk ve ark. (2018), düşük moment ve yüksek devir ile çalışan elektrik motoru ile tahrik edilen direksiyon dişli kutusu tasarlanmışlardır. Yörünge ve planet dişliler arasındaki çap oranının 2 olması durumunda, küçük direksiyon açıları için hassas tekerlek açısı olanaklı hale getirilmiştir. Direksiyon sisteminin konumu ve diğer sistem parçalarının boyutsal değişimlerinin etkisi araştırılmış ve yönelme açlarına bağlı olarak optimum parametrelerin belirlenmesinin gerekli olduğunu görmüşlerdir. Hiposikloid dişli sisteminin hem istenilen redüksiyon oranının sağlanmasında, hem de tekerlek dönüş açılarının hassas bir şekilde çalışması için büyük bir avantaja sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Karadeniz ve ark. (2017), yaptığı çalışmada yaygın olarak kullanılan 3 farklı aşılایıcı türü (Aşılایıcı boyutu 3-6 mm; 1-3 mm ve 0.2-0.5 mm) ve 2 farklı aşılایıcı miktarı (İlave miktarı %0.2 ve 0.5) kullanılarak GGG-60 malzeme ile döküm deneyleri yapmışlardır. Aşılایıcı türü ve miktarına bağlı olarak üretilmiş döküm malzemelerin içyapı ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Kullanılan aşılایıcılardan tane boyutu daha ince olan numuneler, tane boyutu daha büyük olan aşılایıcı kullanılan numunelere göre daha üstün mekanik özellikler gösterdiğini belirlemişlerdir. Aşılایıcı ilave ederek yapılmış olan dökümlerden parlatma işlemi sonrasında yapılan mikro yapı incelemelerinde oluşan grafit küre şekillerinin uygun olduğunu, küre çaplarının ortalama $15\ \mu m$ ve mm^2 başına düşen küre sayısının ise standartlara uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Numune dökümler üzerinde yapılan sertlik ölçümlerinde; sertlik değerlerinin 205-225 HBN arasında olduğunu belirlemişlerdir. Aşılایıcı takviyesi ile birlikte sertlik oranlarında azalma olduğunu belirlemişlerdir. Aşılایıcı çeşidi ve miktarına bağlı olarak yapılan çekme testi sonuçlarında %0.2 oranında aşılایıcı ilave edilmiş döküm numunelerin çekme test sonuçlarının, %0.5 aşılایıcı ilave edilen döküm numunelere göre daha düşük değerlerde olduğunu tespit etmişlerdir. Aşılama etkisinin aşılایıcı boyutlarına bağlı olarak değiştiği ve daha küçük boyutlu aşılایıcı takviyesinde mekanik özelliklerin arttığını gözlemlemişlerdir. Aşılایıcı ilavesiz dökümde çekme dayanım değerleri 433

MPa bulunmuş, en kaba taneli aşılایıcı ilavesinde bu değeri 485 MPa olarak tespit edilmiştir. 0.2-0.5 mm boyutlarında aynı oranda (%0.2) 3. aşılایıcı takviyesi ile çekme dayanım değeri 550 MPa olduğu görülmüştür. Takviye miktarının %0.5 oranına yükseltilmesiyle çekme dayanım değeri 577 MPa olarak tespit edilmiştir. Dökümü yapılmış malzemelerin mekanik deneylerinde aşılایıcıların boyutları ve takviye miktarlarının etkili olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen veriler incelendiğinde optimum sonuçlar tane boyutu 0.2-3.0 mm aralığında olan ve %0.5 oranda aşılایıcı takviye edilmiş numunelerde gözlemlenmiştir.

Demirlek (2013), yaptığı çalışmada iki farklı kaliteye sahip KGDD, EN-GJS-500-7 (%2.4 Si) ve EN-GJS-500-14 (%3.6 Si) malzemeleri incelenmiştir. Mikroyapı karakterizasyonu, mikroyapı ve kantitatif analizler yapılmıştır. Dönel eğmeli yorulma testi ile yapmış oldukları deneylerde üretmiş oldukları numunelerin yüksek çevrimli yorulma davranışlarını incelemişlerdir. Yüksek silisyum oranının; geleneksel KGDD'lerin çekme mukavemeti, akma mukavemeti, sünekliği, sertliği gibi mekanik özelliklere etkisi ve yorulma sınırına etkisini belirlemişlerdir. Geleneksel EN-GJS-500-7 KGDD ferritik-perlitik mikroyapıya sahipken, yüksek silisyum içeren EN-GJS-500-14 malzemesinin ferritik mikroyapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yapıdaki fazla Si akma mukavemetini artırırken, yorulma dayanım sınırı değerlerinin benzer olduğunu tespit etmişlerdir. Üretilen numunelerin dayanıklılık oranları karşılaştırıldığında, EN-GJS-500-14 kalite malzemenin daha yüksek orana sahip olduğu belirlenmiştir.

Baydoğan (1996), yaptığı çalışmada GGG-60 (DIN 1693) sınıfı KGDD, 900 °C'de 100 dakika süreyle östenitlenmiş ve 300 °C'de 45, 60, 90 ve 180 dakika süreyle östemperlemiştir. Östemperleme süresinin mekanik özelliklere etkisini belirlemek amacıyla, çekme, çift yönlü eğmeli yorulma, disk üzerinde pim yöntemiyle metal-metal aşınma deneyleri yapmıştır. Östemperleme işlemiyle KGDD'lerin sertliği, çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve aşınma dirençleri önemli ölçüde artış göstermiştir. Kopma uzaması ve kesit daralması değerlerinin östemperleme süresinin artmasıyla arttığını belirlemiştir. Aşınma direnci döküm haline göre en az 3 kat artmıştır. Östemperlenmiş numunelerin aşınma dirençleri deney yüklerine bağlı olarak değiştiği, düşük yüklerinde (10 ve 20 N) önemli bir değişim gözlemlenmemesine rağmen, yüksek yüklerde (40 ve 80 N) östemperleme süresinin artmasıyla artış göstermiştir. KGDD'lerin döküm halindeki matris sertliği östemperleme ile 270 HV değerinden 580 HV değerine artış göstermiştir. Östemperleme İşlemiyle, döküm halindeki KGDD'e göre yaklaşık %100 oranında sertlik artışı, %50 oranında çekme mukavemeti artışı, %65 oranı sınırı

artışı elde etmiştir. Sertlik, çekme mukavemeti ve orantı sınırı, östemperleme süresine bağlı olarak önemli bir değişim göstermemiştir. Malzemelerin sünekliliğinin bir ölçüsü olan, % kesit daralması, % kopma uzama ve tokluk değerleri, östemperleme süresindeki artışa bağlı olarak artmıştır. Bu artış, yapıda çok düşük miktarlarda bulunan martensit miktarında meydana gelen azalmalardan kaynaklandığı düşünülmüştür. Yorulma dayanım sınırı, östemperleme sonunda döküm halindeki malzemeye göre yaklaşık olarak %10 oranında artış göstermiştir.

Karaman (2011), yaptığı çalışmada her geçen gün artan ve birçok sektörde kullanım imkanı bulan KGDD'lerin (sfero, nodüler), üretim sürecini incelemiştir. KGDD'lerin olan GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerde soğuma işleminin mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla farklı çaplarda döküm numuneler üretmiştir. Farklı çaplarda üretmiş oldukları bu numunelerden; çekme, yorulma ve sertlik testleri için numuneler hazırlamıştır. Numunelerin bir kısmına ısıtma işlemi uygulandıktan sonra, mekanik özelliklerin incelenmesi için tüm numunelere yukarıda belirtilen testler uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda, Ø30 ve daha küçük kesitli numunelerde çekme mukavemeti artışının yüksek oranda olduğu gözlemlenmiş ve bu artış oranının Ø30 üzerindeki kesit kalınlıklarındaki artış oranından fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çekici (2022), yaptığı çalışmada KGDD'lerin bir çeşidi olan GGG-60 döküm malzeme devirmeli pota yöntemi kullanarak üretim yapmıştır. Aşılmalı olarak Baryum (Ba) ve Lantan (La) esaslı aşılmalılar kullanmıştır. Bu aşılmalıları %0.25 oranında eşit olacak şekilde kullanmıştır. %1.3 oranında Ferro Silisyum Magnezyum (FeSiMg) alaşımını küreselleştirici olarak kullanmıştır. Numune olarak kesit kalınlıkları 5, 15, 25, 35 ve 50 mm olacak şekilde basamak kalıp modeli kullanmış ve her bir basamaktan mikroyapı incelemesi yaparak küre sayıları, küresellik ve ferrit/perlit oranlarını belirlemiştir. Sertlik ve çekme testi yaparak aşılmalı türünün mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Kesit kalınlığı arttıkça küre sayısında ve perlit oranında azalma kademeli olarak meydana gelmiştir. Bundan dolayı her iki aşılmalı numunenin sertlik miktarları, kesit kalınlıklarının artmasıyla birlikte azaldığını gözlemlemiştir.

İlçin (2022), yaptığı çalışmada molibden ve nikel içeren KGDD'lere östemperleme ısıtma işleminin optimizasyonunu yapmıştır. GGG-70 olarak üretilen KGDD malzemenin kompozisyonuna ek olarak molibden ve nikel elementlerinin takviye edilmesiyle KGDD üretilmiştir. KGDD'in üretim işleminden sonra 930°C sıcaklıkta 2 saat süre ile östenitleme işlemi yapılmıştır. Östenitlenen numuneler zaman-sıcaklık dönüşüm grafiği dikkate alınarak perlitik bölgeyi kesmeyen soğutma hızında 320°C ve

350°C sıcaklık değerlerine kadar numunelere tuz banyosu içerisinde su verme işlemi uygulamıştır. Bu işlemden sonra numuneler 320°C ve 350°C sıcaklık değerlerinde 90 dakika süreyle bekletilmiş ve östemperleme işlemine tabi tutulmuştur. Östemperleme işleminin tamamlanmasının ardından malzemelerin mekanik ve metalürjik özelliklerinin belirlenmesi için spektral analiz, metalografi, çekme testi, sertlik testleri, optik mikroskop yardımıyla mikroyapı analizlerini yapmıştır.

Öztürk (2019), yaptığı çalışmada ticari olarak üretilen GGG-50 kalite KGDD'lere uygulanan östemperleme ısısal işlemi sonucunda, malzemenin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Dökümü yapılan KGDD'e 930°C'de 120 dakika östenitleme ısısal işlemi yapmış ve yapının tamamen östenit olması sağlanmıştır. 2. İşlem olarak ise 320 ve 350°C derecede 90 ve 120 dakika boyunca tuz banyosunda ısısal işlem uygulamıştır. Östemperleme ısısal işlemi sonunda malzemenin mikroyapısının östemperleme sıcaklığı ve tuz banyosu sıcaklığına bağlı olarak değişimleri gözlemlemiştir. Her iki sıcaklık (320 ve 350°C) ve sürede (90 ve 120 dakika) ösferit ve yüksek karbonlu östenitten oluşan östemperlenmiş küresel dökme demir mikro yapısı elde etmiştir. Östemperleme sıcaklığı azaldıkça ve östemperleme süresi arttıkça numunelerin sertlik değerinde artış olduğunu tespit etmiştir. Sertlikte oluşan artışın sebebi olarak sıcaklığın azalmasıyla alt beynitik bölgeye yaklaşma ve sürenin artması ile birlikte yüksek karbonlu östenitin içindeki karbon yüzdesindeki atışa bağlı olduğunu ifade etmiştir. KGDD'lerin kalitesi ve döküm mikroyapısı östemperleme işlemi sonrasında mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemiştir. Bu mekanik özelliklerin alaşım elementlerine, östenitleme ve östemperleme sıcaklıklarına ve sürelerine bağlı olarak değişim gösterdiğini belirtmiştir. Isıl işlem görmemiş KGDD'in sertlik ölçümünü 175 HB bulmuş, ısısal işlem sonunda ise bu sertlik ölçümünün 300 HB değerine kadar yükseldiğini gözlemlemiştir. ÖKGDD'lerin sertlik ve çekme mukavemet değerlerinin, KGDD'lere göre daha üstün olmasının sebebini mikroyapıda oluşan ösferit fazının etkisi ile oluştuğunu ifade etmiştir. Östemperleme süresi arttıkça, birim alana düşen küre sayısı azalırken küre boyutlarının arttığını belirlemiştir. ÖKGDD numunelerinde Cu elementinin katkısının sertlik, çekme ve akma mukavemetine hiçbir etkisinin olmadığını ifade etmiştir.

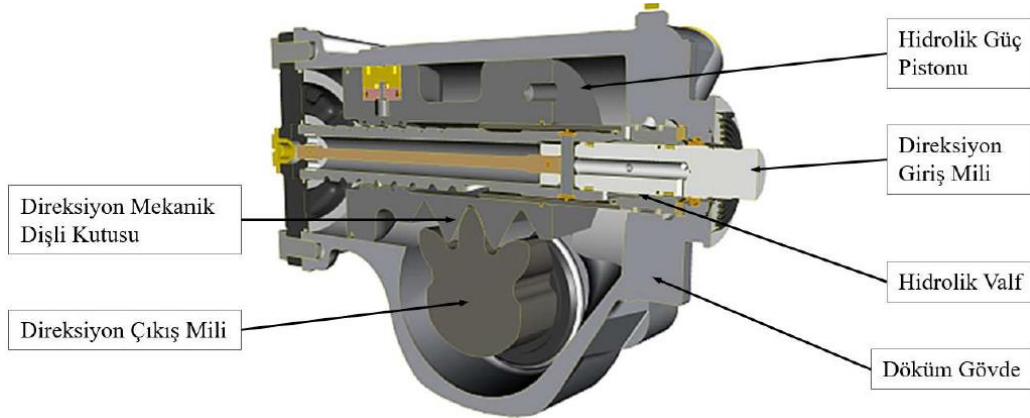
Canbilen (2022), yaptığı çalışmada yeni nesil KGDD'lerin geleneksel yöntemlerle üretilenlerden farklı ve üstün özelliklerini karşılaştırmıştır. Üretmiş olduğu yeni nesil katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik KGDD numunesi 600 MPa mukavemete ulaşırken, uzama değerinin ise %10 ve üzerinde olduğunu gözlemiştir. Benzer miktarda mukavemete sahip birinci nesil dökme demirlerde uzama miktarı %3 civarında

olduğundan üretilen numunenin benzer şartlar altında çok daha sünek olduğu ve mekanik özelliklerinin de çok daha üstte olduğu sonucuna ulaşmıştır. Mikroyapı analizinde ise, matris yapısının %80' in üzerinde ferritik olduğunu gözlemlemiştir. Benzer kalitedeki birinci nesil dökme demirlerle ferrit perlit oranının tamamen zıtlık gösterdiği ve bunun sonucunda, birinci neslin aksine numunelerin her yerinde homojen özellik gösterdiği sonucuna ulaşmıştır.

Özusta (2021), yaptığı çalışmada EN-GJS-600-10, EN-GJS-600-3 ve EN-GJS-450-18 kalitedeki KGDD'lerin aşınma dirençlerini incelemiştir. Test numunelerini EN 1563 standardına uygun olarak üretmiş olup, çekme, darbe, sertlik ve aşınma testlerini yapmıştır. Aşınma deneylerini ASTM G133 standardına uygun olarak 20 N ve 40 N yükler değerlerinde 1.5 m kayma mesafesinde gerçekleştirmiştir. Katı çözeltili ile güçlendirilmiş KGDD'in içerisindeki yüksek orandaki silisyum miktarının mekanik özellikleri iyileştirdiğini belirlemiştir. İçerisinde perlit yapısının olmaması, perlit yapısından dolayı oluşacak süneklik kaybını engellediğini tespit etmiştir. Bu durumdan dolayı katı çözeltili ile güçlendirilmiş ferritik KGDD dayanımı 600 MPa değerine çıktığında bile uzamanın %10 seviyesine yükseldiğini tespit etmiştir. Aşınma direnci incelendiğinde geleneksel KGDD'lerin yeni nesil KGDD'lere göre daha yüksek oranda aşınmaya karşı direnç gösterdiği kanısına varmıştır. Sertlik test sonuçlarına göre, artan silisyum miktarının sertlik değerini düşürdüğünü belirlemiştir.

3. DİREKSİYON DİŞLİ KUTUSU

Direksiyon dişli kutusu (Şekil 3.1) döküm bir gövde içerisinde bütünleşik olarak hidrolik kontrol valfi ile mekanik direksiyon dişli kutusu ve hidrolik güç silindirin bir araya gelmesiyle oluşur. Ön aks yükü direksiyon kutularının araç üzerindeki büyüklüğünü belirlemektedir (Uymaz, 2019).



Şekil 3. 1. Direksiyon kutusu ve parçalarının görünümü (Uymaz, 2019)

Direksiyon dişli kutusu, direksiyon sisteminin en önemli parçasıdır. Direksiyon simidinden gelen dairesel hareket burada doğrusal harekete dönüştürülerek tekerlek bağlantılarına iletilmektedir. Burada bulunan dişliler yardımıyla direksiyondan gelen döndürme kuvveti artırılır. Böylece sürücünün uygulaması gereken kuvvet azaltılmaktadır (Balcı, 2010; Suryavanshi, 2018).

Araçlarda kullanılan direksiyonların amacı, aracın istenilen yönde sevk edilmesini sağlamak ve gidişi kontrol altında tutmaktır. Direksiyon dişli kutuları, direksiyon simidinden gelen döndürme hareketini doğrusal harekete çevirerek direksiyon bağlantı elemanlarına iletmektedir. Bu hareketin iletimi sırasında döndürme kuvveti artırılarak sürücüye kolaylık sağlamaktadır. Sürücünün döndürme kuvveti dişliler aracılığı ile çoğaltılmaktadır. Rot bağlantı elemanları vasıtası ile dingil başlarına ve tekerleklerle iletilmektedir.

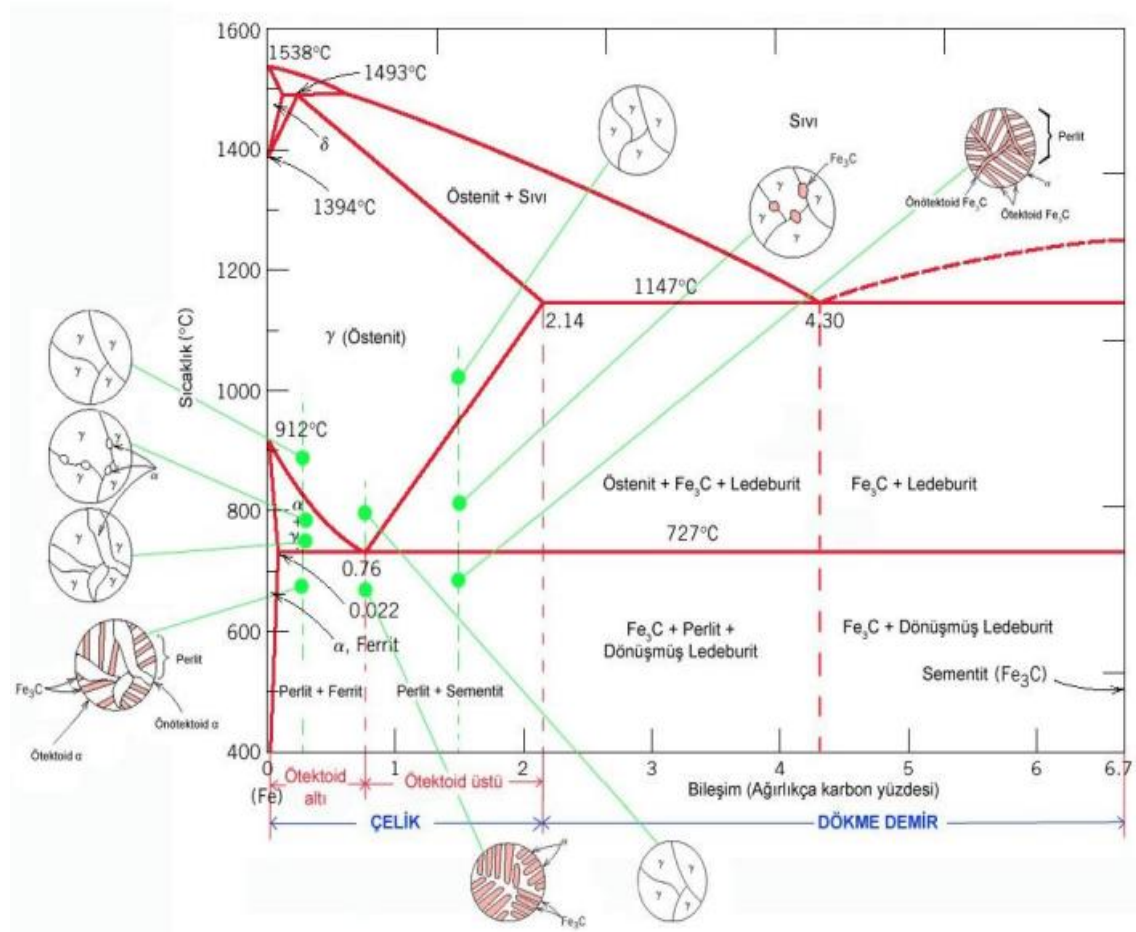
Direksiyon dişli kutusu arıza ve belirtileri baktığımızda, hareket halindeki araçlarda yoldan gelen darbeler direksiyon dişli kutusundaki bilye ve bilye yataklarına gelmektedir. Bu durum sürekli yük altında çalışan dişli kutusu mekanik sisteminde aşınma ve boşluk oluşumlarına sebep olmaktadır. Bu aşınma ve boşluklar direksiyon dişli kutularının sesli çalışmasına sebep olmaktadır (Motorlu araçlar teknolojisi, 2011).

4. DÖKME DEMİRLER

4.1. Dökme Demirlerin Tanımı

Yüksek fırından elde edilmiş olan sıvı ham demirlerin kalıplara alınarak katılaşması sonucunda elde edilmiş olan yarı mamullere pik denilmektedir. Piklerin ergitme fırınlarında ergitilerek kalıplara dökülmesi ve kalıp boşluklarının şeklini alarak katılaştıran malzemelere dökme demir denilmektedir (Bilici, 2004).

Dökme demir malzemeler, katılaşma sırasında ötektik reaksiyona uğrayan ve içeriğinde genellikle %2-4 arasında karbon ve %0.5-3 arasında silisyum içeren demir-karbon silisyum alaşımlarıdır (Bulut, 2021). Fe-C diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir (Şen, 2018).



Şekil 4. 1. Fe-C denge diyagramı (Şen, 2018)

Dökme demir malzemeler öncelikle soğutma hızına, ergitme işlemlerine ve bileşimlere bağlı olarak yarı kararlı demir-sementit veya demir-grafit sistemlerine göre katılaşabilmektedirler. Yarı kararlı durumdaki katılaşma sistemi izlendiğinde, ötektikteki

karbon fazı zengin demir karbürdür (sementit-Fe₃C). Kararlı bir şekildeki katılaşma sistemi izlendiğinde ise zengin karbon fazı grafitir (Bulut, 2021).

Dökme demirlerin içyapısında bulunmakta olan fosfor, silisyum ve karbon gibi alaşımların bileşimlerdeki değişiklik, ötektik bileşim, katılaşma sıcaklığı ve sıvılaşma gibi parametreler malzemelerin mekanik özellikleri etki etmektedirler. Etkinin derecesi malzeme içyapısında bulunan karbon Eşdeğeri (C_{eş}) ile belirlenmektedir

$$C_{eş} = \%C + (\%Si + \%P) / 3 \quad (4.1)$$

Dökme demir malzemenin içyapısındaki karbon eşdeğeri, bileşimin ötektik bileşime hangi oranda yakın olduğunu göstermektedir. Karbon eşdeğerinin %4.3 olduğu dökme demirlerde ötektik yapıya rastlanmaktadır. Malzeme içyapısındaki karbon eşdeğerinin %4.3'den küçük ya da büyük olması göre, dökme demirlerin ötektik altı yapı ya da ötektik üstü yapısını göstermektedirler. Malzeme içyapısındaki karbon eşdeğeri dökme demirlerde gerek yapı ve gerekse malzeme özelliklerinin tanımlanmasını sağlayan önemli parametrelerden biridir. Malzeme içyapısındaki karbon eşdeğeri oranına bağlı olarak alaşımın silisyum ve karbon içeriği, alaşımın katılaşma aralığının belirlenmesi, döküm karakteristiği ve özelliği ile ilgilidir (Münker, 2010).

4.2. Döküm Teknolojisi

Dünyadaki sanayisinin günümüzdeki seviyeye gelmesinde ve mekanik işlemlerin gelişmesindeki başlangıç noktası dökümcülüktür. Döküm endüstrisi günümüzde, birçok ülkenin ekonomik gelişme seviyelerinin bir göstergesi olarak kabul görmektedir. Dökümcülüğün önemli bir özelliği, son zamanlardaki teknolojik gelişmelerin sonucunda dinamik bir sektör haline gelmesidir.

Döküm yönteminin diğer imalat yöntemlerine göre avantajları:

- Dıştan ve içten karmaşık şekilli ve içleri boş parçaların üretimleri döküm yöntemi ile üretimi mümkün olmaktadır. Döküm işleminin sonrasında talaş kaldırma, kaynak ve benzeri işlemlere ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Malzemelerin bazıları metalürjik özellikleri sebebiyle sadece döküm yöntemi ile şekillendirilebilmektedirler.
- Seri üretim işlemine uygundur ve yöntem ekonomiktir.

- d. Makine ana gövdeleri, büyük pompa gövdeleri, büyük valfler gibi diğer üretim yöntemleri ile üretimleri zor olan büyük parçalar döküm yöntemi kullanılarak üretilmektedir.
- e. Bu yöntemin ağırlık ve büyüklük sınırları oldukça geniş olup, hem oldukça küçük parçaların, hem de ağırlığı tonları bulan parçaların üretimlerine uygundur.
- f. Kimyasal ve fiziksel özelliklerin dağılımı dökümlerde üniformdur. Test yapmak için kullanılan döküm çubuğu, parçasının hangi bölgesinden alınırsa alınsın yapılan test sonuçları aynı olmaktadır (Kavaklı, 2006).

Döküm yönteminin dezavantajları:

- a. Çok ince kesitlerin döküm yöntemi kullanılarak üretilmesi oldukça zordur.
- b. Parça sayısının az olduğu ve boyutların küçük olduğu parça üretimleri ekonomik değildir.
- c. Dayanım bakımından, aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemi ile üretilmiş olanından daha üstündür (Kavaklı, 2006).

4.3. Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Dökme demirler, döküm haldeyken sünek olmamalarından dolayı sıcak veya soğuk işlemlerle şekillendirilememektedirler. Fakat, kolay ergitilebilirler ve karmaşık şekiller nihayi boyutlara rahat bir şekilde dökülebilirler. Mukavemet, aşınma, işlenebilirlik ve korozyon dirençlerinin oldukça geniş bir aralıkta değişim göstermesi, dökme demirlerin kullanım alanlarının genişliğine ve sürekli olarak kullanılma durumlarını ortaya koymaktadır. Dökme demirlerde, silisyum ve karbon arasındaki oran değişirse, metalik ve metalik olmayan elementlerle alaşımlandırma işleminin yapılması döküm, ergitme ve ısıtma işlem uygulamalarının değiştirilmesiyle; sertlik, mukavemet, aşınma, işlenebilirlik ve korozyon dirençleri farklı değerlere ulaşır. Dökme demirler, üretim esnasında soğuma hızları, kimyasal bileşimleri, uygulanan sıvı işlemleri ve ısıtma işlemlerin farklı uygulamalarına göre sınıflamaları yapılmaktadır (Sağlam, 2009). Dökme demirlerde bulunan elementler ve yapıda bulunan miktarlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir (Münker, 2010).

Tablo 4. 1. Dökme demirlerde bulunan elementler ve yapıda bulunan miktarlar (%) (Münker, 2010)

Elementler	Küresel Grafitli Dökme Demir	Gri Dökme Demir	Beyaz Dökme Demir	Temper Dökme Demir
Karbon (C)	3.0-4.0	2.5-4.0	1.3-3.6	2.0-2.60
Silisyum (Si)	1.8-2.8	1.0-3.0	0.5-1.9	1.10-1.60
Mangan (Mn)	0.10-1.00	0.25-1.0	0.25-0.8	0.20-1.00
Kükürt (S)	0.3 Maksimum	0.02-0.25	0.06-0.20	0.04-0.18
Fosfor (P)	0.10 Maksimum	0.05-1.0	0.06-0.18	0.18 Maksimum
Demir (Fe)	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

4.3.1. Gri (Lamel grafitli) dökme demirler

Dökme demirler yavaş bir şekilde soğumaları sebebiyle, sıvı demir içerisindeki karbonun ayrışması ile grafit lamelleri oluşacak şekilde katılaşmayla oluşan dökme demirlere gri (lamel grafitli) dökme demirler denilmektedir (Çolak ve ark., 2018). GDD’lerdeki karbon miktarı ağırlıkça %2.5-4 ve silisyum oranı da %1-3 arasında değişmektedir. Alaşımdaki karbon, östenitte çözünebilen miktarı aştığında grafitler lamel olarak çöker. Grafit lamelleri, ferrit ve perlit matris içinde gömülü haldedir. GDD’ler, mekanik özellikler bakımından çekme gerilmesi altında gevrek ve zayıf davranışlar göstermektedirler. Bunun sebebi, çekme gerilmesi uygulandığı zaman grafit lamellerin keskin uçlarında gerilme yığılmaları oluşmasıdır. Bu tipteki malzemeler basma gerilmeleri oldukça dayanıklıdır. Bu tipteki malzemeler sünek davranış göstermektedirler. GDD’ler, sahip oldukları bazı üstün özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılırlar. GDD’lerin aşınma dayanımları oldukça iyidir. Yüksek akışkanlıkları nedeniyle, ince kesitli parçaların döküm yoluyla üretilmesine avantaj sağlar. Döküm sonrasında katılaşma sırasında çekinti oluşması da nispeten azdır (Bulut, 2021). Titreşim sönmüleme, yüksek bakma mukavemeti ve ekonomik olmasından dolayı ayrıca geniş kullanım alanları olmasından ve çeşitli özellikleri bakımından GDD’ler ilk sıralarda tercih edilmiştir. Yapılan incelemelerde katı hal dönüşümü sırasında yapının yavaş soğutulması “Grafit+Ferrit”, süratli bir biçimde soğutulması Grafit+Perlit olmak üzere iki aşamalı olarak yapılmaktadır. Bu durumun GDD’lerin özelliklerini mekaniksel olarak etkilemektedir. En az mukavemeti olan yavaş soğutulması “Grafit+Ferrit” durumudur. Mukavemetin ve sertliğin sağlanması durumu içerisinde bulunan karbon değerine bağlıdır (Kayalı, 2006; Döngel, 2008).

4.3.2. Küresel grafitli dökme demirler

KGDD serbest karbonu lamel Şeklinde olmayıp küre görünümlüdür. Bundan dolayı Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) nodüler dökme demir olarak bilinmekte, İngiltere’de ise küresel grafitli dökme demir (KGDD) olarak bilinmektedir. Karbonun lamel yerine küre Şeklinde oluŐmasını sağlamak için aşılama işlemi yapılmaktadır. Dökümden önce ergiyik demire çok küçük oranlarda magnezyum ilavesi yapılmaktadır. KGDD’lerin kimyasal kompozisyonları GDD’lerin kimyasal kompozisyonlarına benzemektedir. Fosfor ve kükürt gibi elementlerin miktarları oldukça azdır. KGDD’ler ferrit, perlit veya her ikisinin içinde dağılmış küresel grafitlerden oluşmaktadır. KGDD’lerin katılaşması sırasında karbonun çoğu GDD’lerdeki lamel grafitlerin yerine küresel grafitler oluşturmaktadır (Bilici, 2004).

KGDD’ler, diğer dökme demirler ve elik dökümlerle karşılaştırıldıklarında; iyi dökülebilir olmaları, ergime noktalarının düşük olması, ısıl işlemlere uygun olması, yüksek aşınma direncine sahip olması, yüzey kalitesinin iyi olması gibi özellikler gösterirler. KGDD’lerin sahip oldukları üstün mekanik özellikler, alaşımlarına eklenen elementler ve ısıl işlemlerle olmaktadır. KGDD’lerin alaşım elementleri, mekanik özellikleri, östenitleme ve östemperleme sıcaklıkları ve ayrıca bekleme süreleriyle de iliŐkilidir (Kaçal ve ark., 2008). Serbest karbonun, küresel formdaki malzeme grubu olan KGDD, “nodüler, duktıl ve sfero demir vb.” isimlerle anılmaktadır. Küresel grafitler, döküm işlemlerinden önce ergiyiğe çok az miktarda Mg ile Ce ilavesinin sonucunda sementit oluŐunun engellenmesiyle oluşur. Kimyasal muhteva bakımından GDD’lere benzeyen KGDD’lerde, kükürtle fosfor azdır. Temper dökme demire oranla boyut açısından geniş bir aralıktaki dökülebilir bu demirler iyi akma dayanımına sahiptirler (Sevgi, 2019).

4.3.3. Beyaz dökme demirler

Karbonun tamamı bileşik sementit (Fe_3C) haldedir. BDD’ler katılaşma sıcaklıklarından hızlı bir Şekilde soğuma ile oluşan ötektik altı alaŐımlardır. Mikro yapıları sementit ve aşınma davranışlarına karşı direnç göstermektedir. AŞınma direci istenen yerlerde ve sünekliğin istenmediği durumlarda kullanılmaktadırlar. Alaşımsız beyaz dökme demirler genel olarak ince perlitik matrise sahiptirler. Molibden, korom ve BDD’ler kırıldıklarında beyaz kristalin bir yüzey göstermektedirler. BDD’lerde eriyik

içerisindeki karbon demir ile birleşerek gevrek ve sert bir bileşik olan demir karbür ya da sementit olarak kalmaktadır. Bundan dolayı BDD'ler kırılgan ve serttirler. BDD'ler yüksek oranda basma mukavemeti ve aşınma özellikleri göstermektedirler (Bilici, 2004).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirin karakteristiğine bağlı olarak, kimyasal kompozisyonları kontrol altına alınabilir ve uygun ısıtma işlemlerin uygulanmasıyla, yüksek aşınma direnci ve sertliklere ulaşılabilir (Sağlam, 2009).

4.3.4. Temper dökme demirler

Temper dökme demirler sert, grafitiz ve kırılğan yapıda olan beyaz dökme demirlerin ısıtma işlemler yoluyla içindeki karbon, rozet grupları haline getirilmektedir. Bu ısıtma işlemle beraber karbürlerin parçalanması sonucunda, sünek, yüksek mukavemetli ve iyi işlenebilme özelliklerine sahiptirler. Kimyasal bileşiminin aynı olmasına rağmen temper dökme demirler, üretim metodunun farklılığı sebebiyle beyaz temper dökme demir ve Siyah temper dökme demir olara iki gruba ayrılmaktadır (Özcan, 2018).

4.4. KGDD Yapısında Bulunan Fazlar

4.4.1. Grafit

Karbon, dökme demirlerde serbest veya bileşik halde bulunabilir. Katılaşmayla beraber GDD'lerde lamel görünümlü, beyaz dökme demirlerin ısıtma işleminden geçirilmesiyle rozet görünümdedir. Dökme demirlerde az miktarda magnezyum ve seryum ilavesiyle küre şeklinde grafitler elde edilmektedir. GDD'lerin lamel grafitli yapıya sahip olması, süneklik özelliğinin olmamasına sebep olurken, temper dökme demirlerin yapısındaki rozet görünümlü lameller ve küresel grafitli dökme demirin yapısındaki küre görünümlü grafitler lameller kadar sünekliğe etki etmemektedir (Çolak, 2019).

4.4.2. Ferrit

Ferrit fazı temelde, yapısında düşük miktarda karbon içermektedir. Ferrit fazı içerisindeki karbon miktarı açısından basit yapıdır. Ferrit yalnız başına yapıda bulunduğu zaman yüksek mekanik özelliklere sahip olmaz. Yapılan bazı çalışmalarda söz konusu yapıları tek başlarına değerlendirmek mümkün değildir. Yaklaşık olarak 280 MPa mukavemet ile 85 HV sertlik göstermektedirler. KGDD'in yapısında %100 oranında

ferrit bulunduğu için düşük dayanıklılıkta sertlik değerine sahiptir. Bununla birlikte malzeme yüksek süneklikle tokluğa sahip olmaktadır. (Karaca, 2022).

4.4.3. Perlit

Yan yana sıralı halde ferrit ve sementit tabakalarından oluşmaktadır. Perlitin miktarı grafitleşme mertebesiyle alakalıdır. Perlitik GDD'ler yaklaşık olarak %0.5–0.9 arasında birleşik karbon ihtiva etmektedir. Birleşik karbonun daha düşük yüzdede olması, çoğunlukla serbest ferritin bulunduğu anlamına gelmektedir (Çolak, 2019). Perlitin oluşma mekanizması, ferritin tersine soğuma süratindeki artışla karbon difüzyonuna vakit tanımaksızın sementitler oluşmaktadır. Söz konusu karbür yapılar hemen çevresindeki bölgeden karbonu çekip buraların ferritik yapıda olmasını temin eder ve bu biçimde ardından sementit- ferrit katmanları oluşmaktadır (Karaca, 2022).

4.4.4. Sementit

Dökme demirlerde demir tamamen ya da kısmen sementit halde bulunabilmektedir. Sementit miktarı arttıkça, malzeme çok sert ve gevrek özellik göstermektedir. Dökme demirler bileşiminde bulunan karbon miktarının 15 katı kadar sementit bulunabilmektedir. Böyle bir durum malzemenin hem kırılgan hem de çok sert bir özellik göstermesine neden olmaktadır (Şekerden, 2019). Fe_3C bileşimindeki bu yapı karbür olarak bilinmektedir. Dökümü yapılan malzeme içerisindeki ince çeperli noktaların diğer yerlere oranla hızlı soğumasıyla oluşmaktadır. Malzeme içerisindeki dayanımı düşürdükleri için kümelenmeleri istenmemektedir. Bu yapılar malzemenin işlenmesini zorlaştırarak aynı zamanda kırılgan yapı sergilemektedirler. Bu fazların oluşumunu engellemek için dökme demirlere döküm prosesinde aşılama işlemi yapılmaktadır. Bu aşılama temel olarak Si' den oluşmaktadır. Silisyum ve dolayısıyla bu aşılama prosesi katılaşma sırasında grafit ayrışmasını desteklemekte ve karbür yerine grafit oluşmaktadır. Bu şekilde kırılgan yapılar engellenmektedir (Karaca, 2022).

4.5. Alaşım Elementlerinin Dökme Demirlerin Özelliklerine Etkisi

4.5.1. Karbon (C)

Yapılarda ana alaşım elementi olarak bulunur. Bileşimin %3-4'lük kısmını oluşturmaktadırlar. Yapıdaki karbon miktarları, yapıdaki grafit kürelerinin sayısını ve boyutunu etkileyen faktörlerden en önemlisidir. Karbon oranındaki artış miktarı grafit miktarının artmasına, akışkanlık özelliklerinin iyileşmesine ve döküm işlemlerinin kolaylaşmasını sağlar (Münker, 2010).

4.5.2. Silisyum (Si)

Silisyum karbür miktarını azaltması yönünden olumlu etkiye sahiptir. Silisyum grafitleştirici ve grafit sayısını arttırıcı etkisinin haricinde %4 orana kadar ferrit dokusu sertliğini arttırmaktadır. Bu durum özellikle tavlanmış durumda belirgindir. Silisyum KGDD'de olumsuz etkileri çentik darbe değerinin düşmesi ve geçiş sıcaklığının yükselmesi yanında ısı iletkenlik katsayısının azalmasıdır. Silisyum miktarının artmasıyla birlikte küre sayısında artış olmakta ve şekilsel olarak iyileşmektedir. Buna karşılık kalın parçalarda ise yüksek silisyum miktarında grafit bozulması ve chunk adı verilen grafitler oluşmaktadır. %3.5-7 arasındaki silisyum miktarlarında KGDD'lerin yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı dirençleri artmaktadır (Bilici, 2004).

4.5.3. Kükürt (S)

Östemperleme işleminde karbür oluşumuna engel olmak fakat bununla birlikte grafit oluşumunu ise desteklemek amacıyla, toz halindeki ferrosilisyum, sıvı metal içerisine ilave edilmektedir. Yapılan bu işlem ile ötektoid dönüşüm esnasında oluşan ferritin miktarı artmaktadır. Ayrıca, küresel grafitli dökme demirin sertlik değeri ve dayanımı değeri yükselirken bununla birlikte aşınma direnci de iyileşmektedir (Gider, 2015).

4.5.4. Mangan (Mn)

Yapı içerisinde segregasyona yol açan bir element olarak bilinmektedir. Ferritik yapı istenen dökme demirlerde manganez miktarının %0.2 ile sınıflandırılması maksimum sünekliğin elde edilebilmesi için gereklidir. Fakat perlitik dökümler için

manganez miktarı %1'e kadar çıkabilmektedir. Kötü etkisini dengeleyebilmek için kükürtün tane sınırına, demir sülfür ötektiği çökmesini engellemek için kullanılır (Aytaçoğlu, 2012).

4.5.5. Fosfor (P)

Fosfor, eriyik haldeki metallerde akışkanlık özelliğini arttıran ve soğumuş parçaların aşınma direnç özelliklerini arttırmaktadır. Katılaşma esnasında fosforun eriyiğe doğrudan katılması sebebiyle katılaşma sıcaklığı değeri azalmaktadır (Akgül, 2018).

4.5.6. Krom (Cr)

Perlit yapısını teşvik etmektedir. %0.15 ile %0.75 arasında küçük oranlarda lamel grafitli dökme demirin tamamen perlitik bir mikro yapıya dönüşmesini sağlamaktadır. Kromun perlit dengelemeye etkisi ve yavaş soğumasıyla meydana gelen serbest ferritin ortadan kalkmasıyla beraber mekanik özellikler artmaktadır. Kromun mukavemet ve sertlik artışı malzemenin oksidasyon direncini arttırmaktadır (Aytaçoğlu, 2012).

4.5.7. Nikel (Ni)

Temperleme, östemperleme veya sertleştirme uygulanacak dökme demirlerin üretimlerinde kullanılmaktadır. En önemli özelliği östenit-ferrit dönüşüm sıcaklığının düşürerek bir östenit kararlaştırıcı olarak rol oynamaktadır (Gider, 2015).

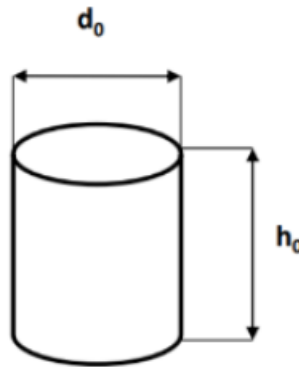
4.5.8. Bakır (Cu)

Esas olarak dökme demirlerin morfolojisindeki yapının perlitik olarak katılaşmalarını sağlamaktadır. Bakırın perlit yapıcı element olarak kullanılmalarının önemli nedeni, %0.50-1.20 seviyelerindeki ilave miktarlarda yapıda sementit tehlikesinin bulunmamasıdır. Bakırın faydalı olduğu diğer bir özelliği de, belirli miktarlarda kullanılması durumunda, dökme demirlerin kalınlıklarına göre çekme mukavemetlerinin ve sertlik değerlerinin değişmesini en aza indirmesidir. Bakır ilavesinin yapıdaki mekanik etkisi, dökme demir içerisindeki Silisyum (Si), Karbon (C) ve Manganez (Mn) oranlarına bağlıdır. Bakır elementlerinin dökme demirlere en faydalı katkısı, malzemenin işlenebilme özelliklerini arttırmasıdır (Akgül, 2018).

4.6. KGDD'lerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

4.6.1. Basma deneyi

Basma testi, bir malzemenin sıkıştırma kuvvetini ya da ezilme direncini belirlemek için belirli bir kuvvet uygulandıktan sonra malzemelerin geri kazanılma kabiliyetini belirlemek için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulanan kuvvet altında malzemelerin davranışlarını ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun dışında malzemelerin yük altında belli bir süre devam edebileceği maksimum stres basma testleri ile belirlenmektedir. Basma testleri genellikle kırılma sınırlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Uygulanan yükü malzemelerin türüne göre kırılmalar tespit edilmektedir. Malzemelerin sıkıştırma yüküne maruz kaldığında elde edilen gerileme durumları, çekme yükü uygulandığında elde edilen gerilme durumlarına benzemektedir. Fakat sonuçların elde edilmesi için uygulanan yük basma işleminde oldukça fazladır. Numunelerin bükülmeye bağlı olarak herhangi bir burkulmaya uğramaması için daha büyük kesitli alanlara sahip olması gerekmektedir. Deformasyon ilerledikçe zorlanma sertleşmesine maruz kalan numunelerin enine olan kesiti deformasyon ile beraber artmakta, dolayısıyla uygulanan yükte önemli bir artış gerekmektedir. Burkulma hareketine bağlı kararsızlık durumu, yüksekliğin az tutulmasıyla önlenabilmektedir. Basınç dayanımı, yükseklik ve kesit alanlarına bağlıdır. Bundan dolayı, büyük yükseklik-kesit alanı oranı daha küçük sıkıştırma mukavemeti anlamına gelmektedir. Basma testi uygulamalarında ASTM E9 standardı oda sıcaklığındaki metalik malzemeler için kullanılmaktadır. $1.5 \leq h_0 / d_0 \leq 10$, Metalik malzemelerde genelde $h_0 / d_0 = 2$ oranı kullanılmaktadır. Basma testi numune görünümü şekil 4.2'de gösterilmiştir (Albayrak, 2019).

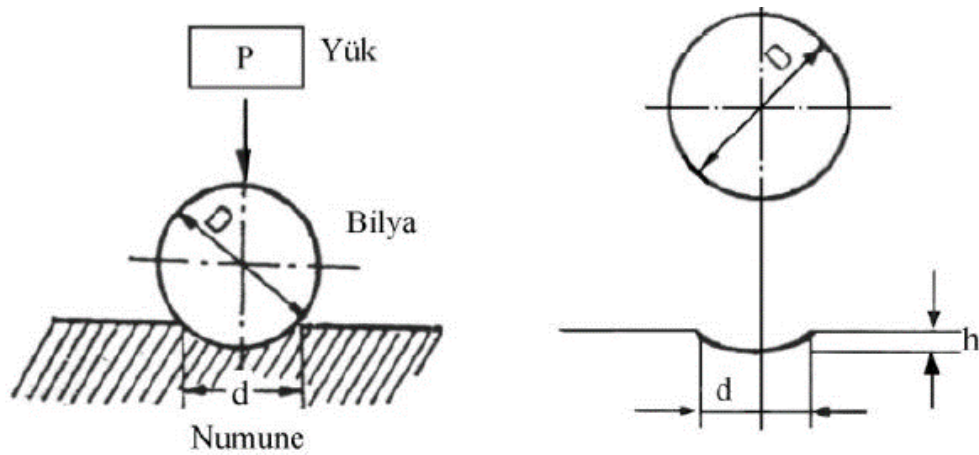


Şekil 4. 2. Basma testi numunesi (Albayrak, 2019)

4.6.2. Sertlik deneyi

Sertlik, malzemelerin plastik şekil değişimlerine karşı gösterdikleri direnç olarak tanımlanmaktadır. Rockwell, Vickers, Brinell ve Knoop gibi test metotlarıyla belirlenmektedirler. Uygulamada kullanılacak yöntem belirlendikten sonra seçilen standart test metoduna uygun olan batıcı ucun test numunesine yüzeyine bastırılmasına karşı test numunesinin göstermiş olduğu direncin ölçülmesi sonucu belirlenir. Sertlik testlerinin sonuçları çelik malzemelerde, çekme mukavemeti sonuçları ile doğru orantılı sonuçlar vermektedir (Babuçoğlu, 2021).

Brinell Sertlik Ölçme Yönteminde 1200 kademeye kadar zımparalanmış ve parlatılmış numunenin yüzeyine sert malzemeden yapılmış bir bilye, belirli bir yük altında, belirli süre uygulanarak ve bunun sonunda meydana gelen izin çapının ölçülmesiyle belirlenmektedir. Bu test yönteminde sertlik değerleri aşağıda verilen formül ile belirlenmektedir. Bu sertlik deneylerinde standart olarak 10 mm bilye çapı olduğunda 3000 kg yük 10-15 sn. uygulanmaktadır. 5 mm bilye çapında ise 500 kg'lık yük 30 sn. tatbik edilmektedir. Brinell sertlik deneyinin şema olarak gösterimi Şekil 4.3'te verilmiştir (Akgül, 2018).

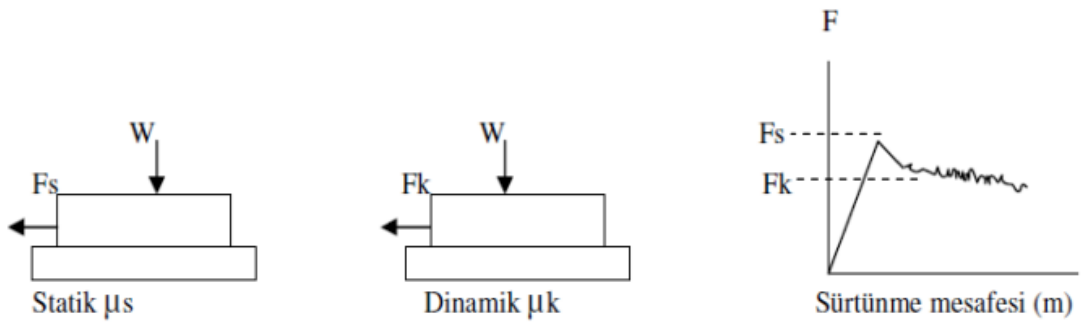


Şekil 4. 3. Brinell sertlik deneyi şeması (Akgül, 2018)

5. AŞINMA

5.1. Sürtünme Teorisi

Sürtünme, birbirleri ile teması olan yüzeylerin ve birbirleri üzerinde hareket eden ya da hareket etme ihtimallerine karşı oluşan dirençtir. Sürtünme hareketiyle birbirlerine göre relatif bir şekilde çalışan karşılıklı iki malzeme arasındaki kinetik enerjinin devamlı olarak düşüş göstermesidir. Aşınma kavramında, katı bir cismin sürtünme yüzeylerinde çeşitli etkilerle devamlı bir şekilde malzemede kayıpların oluşması durumudur. Dinamik ve statik yükleme durumlarında sürtünme mesafeleri Şekil 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5. 1. Dinamik ve statik yükleme durumlarında sürtünme mesafesi (Ayday, 2013)

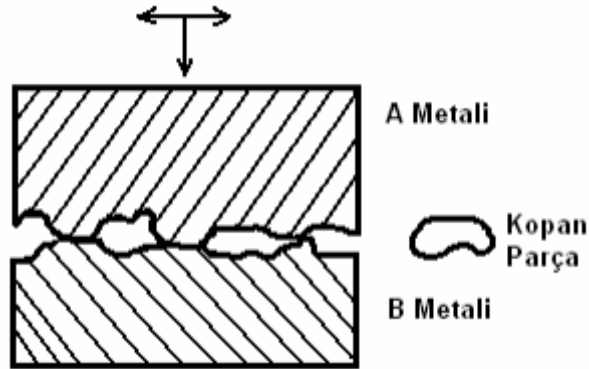
Sürtünme olayı kuru ortam, sıvı ortam, sınır olmak üzere üç durumda incelenebilir. Genel olarak kuru sürtünmede, birbirlerine göre izafi harekette bulunan ve doğrudan temasta olan iki yüzey arasındaki oluşan sürtünme durumudur. Temas eden yüzeylerin arasına bir yağlayıcı konulmasıyla sıvı sürtünme durumu ortaya çıkabilir. İki yüzeyin yağlayıcı tarafından ayrılmasıyla bu yüzeyler arasında tabakalar oluşmakta, sürtünmenin bu tabakalar arasında oluşması durumuna sıvı sürtünmesi denilmektedir. Temas yüzeylerinin tamamen ayrılmadığı durumlarda ise sınır sürtünme oluşur (Ayday, 2013).

5.2. Aşınma Mekanizmaları

5.2.1. Adhesiv aşınma

Birbirleriyle temaslı olarak çalışmakta olan yüzeylerin temas yüzeylerinin az olmasına karşın, temas halinde olan yüzeylerde oluşan gerilmeler, küçük miktarlardaki yüklemelerle bile akma gerilmesi limit değerlerine ulaşmakta ya da geçmektedir. Adhesiv aşınma, birbirlerine göre kaymakta olan iki yüzey arasında meydana gelmektedir. Temas

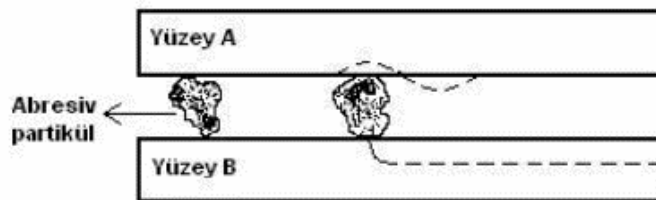
yüzeylerindeki pürüzlülükler, plastik şekil değişimlerine, yüksek oranlarda kısmi basınçlara, adhezyona ve kısmi birleşmelere neden olmaktadır. Adheziv aşınmalara örnek olarak dişli çarklar, kam mekanizmaları, pistonlar, kaymalı yataklar (kuru ve sınırlı yağlanmış), tel çekme kalıpları, kesme takımları verilebilir (Kurnaz, 2020). Metal-Metal sürtünmesi sonucu malzeme yüzeylerinden parça kopması Şekil 5.2’de görülmektedir (Münker, 2010).



Şekil 5. 2. Metal-Metal sürtünmesi sonucu malzeme yüzeylerinden parça kopması (Münker, 2010)

5.2.2. Abresiv aşınma

Abresiv aşınma, sertlik değerleri birbirlerinden farklı olan metal çiftlerinden biri daha sert ve pürüzlüdür. Metal-metal yüzeylerin birbirleriyle teması sırasında kayma meydana gelmektedir. Çalışma esnasında sert metallerdeki parçacıkların, yumuşak metallere batmasıyla birlikte yumuşak metallere parça kopması durumu abresiv aşınmaya sebep olmaktadır. Bu mekanizmalara örnek olarak, çalışan sistemlere dışarıdan giren toz parçacıkları ya da motorlarda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma verilebilir. Abresiv aşınma, çalışma esnasında endüstriyel cihazların birbirleriyle çalışan yüzeylerinde oluşan malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Metal-Metal yüzeylerde abresiv aşınma mekanizması Şekil 5.3’te gösterilmiştir (Münker, 2010).



Şekil 5. 3. Metal-Metal yüzeylerde abresiv aşınma mekanizması (Münker, 2010)

5.2.3. Koroziif aşınma

Koroziif aşınma, çalışma ortamı ile çalışan parçaların yüzeyleri arasında oluşan etkileşim etkili olmaktadır. Bu aşınma iki aşamada oluşmaktadır;

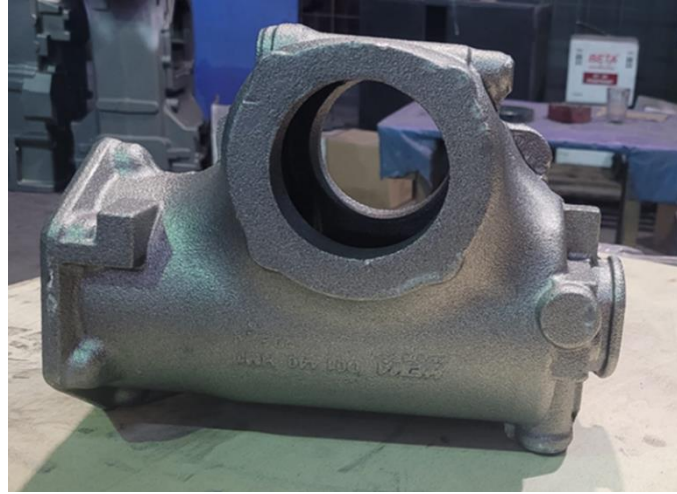
- a. Birbirleri ile temas halindeki yüzeylerin çalışma ortamıyla reaksiyona girmesi ve yüzeylerde reaksiyona giren ürünlerinden tabaka oluşur.
- b. Temas yerinde çatlak oluşumu ya da abraziif etkiden dolayı reaksiyon tabakasında hasar oluşur.

Malzeme yüzeyleri havayla temasa girmesi sonucunda oluşan yüzey tabakaları (oksiit tabakası) aşınmaları azaltmalarına rağmen, yüzey tabasının tribo-oksidasyon sonucu özelliklerinde değışiklik olması, aşınmaları hızlandırmaktadır. Yağ ve benzeri kimyasal maddelerin bulunduğu ortamlarda çalışan makine parçalarının yüzeyinde oluşan yüzey tabakasının bir kısmının tribolojik zorlanmalar yoluyla kırılması sonucunda aşındırıcı parçacıklar oluşur, bu da aşınmayı arttırmaktadır. Tribo-oksidasyon aşınması, metalik malzeme yüzeylerinde daha fazla görölmektedir. Malzemelerin yüzeylerinde çatlaklar oluşur, bu da yüzeylerden parçacık ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine neden olmaktadır (Döngel, 2008).

6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Malzeme Üretimi

Bu çalışmadaki döküm numuneleri, Hema Otomotiv Döküm Fabrikası dökümhane koşullarında farklı oranlarda Zirkonyum Diborür (ZrB_2) ilave edilerek kum kalıba döküm yöntemi kullanılarak (Şekil 6.1) üretilmiştir. Üretimi yapılmış olan bu KGDD numunelerinin, basma, sertlik, mikro yapı ve aşınma analizleri incelenmiştir. KGDD'ler ASTM A 536 standardına uygun olarak üretilmişlerdir (Penticton Foundry, 2023). Numune üretimleri dört farklı (A (İlavesiz), B, C ve D) ilave oranında yapılmış olup, numunelerin kimyasal bileşimleri Tablo 6.1'de belirtilmiştir.



Şekil 6. 1. Hema otomotiv döküm fabrikasında üretilen direksiyon dişli kutusu

Tablo 6. 1. Numunelerin kimyasal bileşimleri (%)

No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Mg	Al	Ti	ZrB ₂
A	3.78	2.44	0.33	0.0034	0.0022	0.08	0.03	0.039	0.06	0.001	0.033	-
B	3.57	2.71	0.35	0.0126	0.0161	0.133	0.0872	0.0435	0.0442	0.008	0.0066	0.227
C	3.55	2.82	0.391	0.0245	0.0202	0.146	0.0986	0.0563	0.0381	0.0073	0.0167	0.455
D	3.5	2.81	0.346	0.014	0.015	0.133	0.0783	0.0452	0.051	0.007	0.0082	1.364

KGDD üretiminde grafit parçacıklarını küreselleştirmek için sıvı dökme demir magnezyum (Mg) ile işleminden geçirilmektedir. Bu işlem sırasında ne kadar Mg eklediği oldukça önemlidir. Gereğinden fazla Mg ilave edilmesi çekintiye sebep olmakta, ince kesitlerde ise karbür oluşumu gibi sorunları tetiklemektedir. Mg'nin yetersiz kalması durumunda ise küreselleşmenin düşük kaldığı gözlemlenmektedir (Dökümhane Akademi, 2023). Yapılan bu çalışmadaki Mg işlemi Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6. 2. Mg işlemi kimyasal bileşimi

Karakteristik	% Si	% Mg	% RE	% Ca	% Al
Min-Max	44.0-48.0	6.2-6.8	0.85-1.15	1.80-2.30	0.6 max
Döküm örneği	47.9	6.3	1.01	2.18	0.6

Numunelerin döküm işlemi sırasında, döküm ağırlığının % 0.24'ü oranında aşılama malzemesi ilave edilmiştir. Aşılama malzemesinin kimyasal bileşimi Tablo 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6. 3. Aşılama malzemesinin kimyasal bileşimi

Elementler	% Si	% Ca	% Al	% Ba
Min-Max	60.00-67.00	0.40-1.70	0.80-1.70	10.00-12.00
Döküm örneği	65.89	1.30	1.03	11.41

Son döküm pota sıcaklığı 1410 °C'de iken Şekil 6.2'de gösterilen ergitme ocağından ayrı ayrı kum kalıplara dökülerek numune üretimleri gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 6. 2.** Döküm ergitme ocağı

Çalışmada kullanılan ZrB_2 ilave malzemesi Nanografi Nano Teknoloji firmasından temin edilmiştir. Zirkonyum diborid parçacıklarının sertlik değeri yüksek, ısı iletkenliği yüksek, oksidasyon direnci iyi seviyelerde ve korozyon önleyici özelliği de iyi seviyelerdedir. Nükleer endüstri, uzay endüstrisi, özel seramik refrakter endüstrisi ve askeri endüstri gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yuvarlanan toplarda yüzey kaplama ve pürüzsüz istenen yerlerde ve ayrıca katı malzemelerde

kullanılmaktadır. KGDD içerisine farklı oranlarda ilave edilen ZrB_2 'ün mekanik özellikleri Tablo 6.4'te verilmiştir (Nanografi Nano Teknoloji, 2023).

Tablo 6. 4. ZrB_2 'ün mekanik özellikleri (Nanografi Nano Teknoloji, 2023)

Saflık	%99.5			
Renk	Black			
Parçacık boyutu	5.5 μm			
Kaynama Noktası	3040 °C			
Kristal yapısı	hekzagonal			
Element Analizi (%)	Zr	B	N	Si
	80.0	18.90	0.08	0.1

6.2. Test Numunelerinin Hazırlanması

Döküm işleminin ardından, küresel grafitli dökme demir numuneleri oda sıcaklığında kum kalıptan çıkarılmıştır. Kum kalıptan çıkarılan bu numunelerden sertlik testleri için dört farklı (A, B, C ve D) ZrB_2 ilave oranlarında, 12mm x 32mm x 45mm boyutlarında sertlik numuneleri hazırlanmıştır. Her numunenin yüzeyinde farklı bölgelerden en az 5 noktadan olacak şekilde ölçümler alınmış ve alınan bu ölçümlerin ortalaması sertlik değerlerini belirlenmiştir. Sertlik ölçümü için hazırlanan numunelerden A (İlavesiz) numunesinin görseli Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



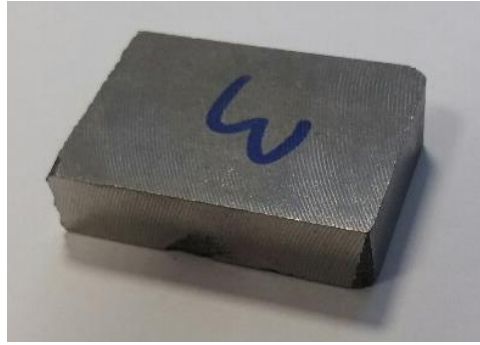
Şekil 6. 3. Sertlik testi numunesi

Yapılan çalışmada basma testleri için dört farklı (A, B, C ve D) ZrB_2 ilave oranlarında, her bir ilave oranından 3 adet olmak üzere toplam 12 adet Ø10 mm x 16 mm boyutlarında silindirik numuneler (Şekil 6.4) hazırlanmıştır. Basma oranı, h_0/d_0 formülü kullanılarak oran belirlenmekte ve yapılan bu çalışmada basma oranı 1.6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. 4. Basma testi numunesi

Aşınma testleri için dört farklı (A, B, C ve D) ZrB_2 ilave oranlarında 12mm x 32mm x 45mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin aşınma testine tabi olacak yüzeyleri aşınma testi öncesinde parlatılmıştır. Aşınma test numune görseli Şekil 6.5'te verilmiştir.



Şekil 6. 5. Aşınma test numunesi

6.3. Metalografi İşlemleri İçin Numune Hazırlama işlemleri

Metalografi işlemleri için 15 mm x 15mm x 15 mm boyutlarında kesme işlemi yapılmıştır. Dört farklı (A, B, C ve D) ZrB_2 ilave oranlarında hazırlanan KGDD'ler her bir parametresinden 3'er adet olmak üzere mikroyapı analizleri için toplamda 12 numune kesilerek hazırlanmıştır. Numuneler Metcon Metacut 250 marka hassas kesme cihazıyla (Şekil 6.6) kesilerek elde edilmiştir.



Şekil 6. 6. Hassas kesme cihazı

Kesme işlemi tamamlanan numunelerin bir sonraki işlemlerinin kolaylığını sağlamak için bakalite alma işlemi yapılmıştır. Mikroyapı analizi için hazırlanmış 12 adet numune için 4 adet bakalite alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bakalit içerisine 3'er adet numune yerleştirilmiştir. Bakalite alma işlemi Metkon EcoPress 50 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Bakalite alma cihazı Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. 7. Bakalite alma cihazı

Kesimi ve bakalite alma işlemi tamamlanan numunelere, görüntü alma işlemi için zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Zımparalama ve parlatma işlemleri, numune üzerinde çizikler vb. görüntüyü olumsuz yönde etkileyecek durumları ortadan

kaldırmak için yapılmıştır. Hazırlanan numuneler öncelikli olarak, 120-240-400-800 ve 1200 mesh'lik zımpara kağıtları ile zımparalama işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemlerinden sonra parlatma işlemi %1'lik elmas parlatıcı ve yağlayıcı yardımıyla çuha üzerinde gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemlerinden sonra numuneler dağlama işlemine hazır hale getirilmiştir. Bu işlemler Metkon Forcipol 2V cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Zımparalama ve parlatma cihazı Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6. 8. Zımparalama ve parlatma cihazı

Zımparalama ve Parlatma işlemlerinden sonra numunelerin mikroyapı analizleri için, dağlama işlemi yapılmıştır. Dağlama içeriği %3'lük Nital bileşimi hazırlanmıştır. Numuneler daldırma yöntemi ile %3'lük nital dağlayıcıya daldırılarak 5 saniye süre bekletilerek dağlanmıştır. Dağlama işlemi yapılmış numuneler mikroyapı analizi için uygun hale getirilmiştir.

6.4. Deneylerin Yapılışı

Aşınma testlerinin öncesi ve aşınma testlerinden sonra metalografik incelemeler, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM mikroskobu incelemeleri Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında TESCAN MAIA3 XMU taramalı elektron mikroskobu (Şekil 6.9) kullanılmıştır.



Şekil 6. 9. Taramalı elektron mikroskobu

Sertlik ölçümü için hazırlanmış olan analiz numuneleri Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında Şekil 6.10’da görülen Ernst AT250DR marka Brinell sertlik ölçüm test cihazı kullanılarak standartlara uygun olarak sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada Brinell sertlik ölçüm yönteminin kullanılmasının amacı, sertlik ölçümü yapılan malzemenin yüzeyinde diğer sertlik ölçüm yöntemlerine göre daha derin ve geniş izler bırakmasıdır. Böylece, sertlik ölçümü yapılan numunelerin yüzeyinde daha geniş bir alanın sertlik değerlerinin ölçümü yapılmaktadır. Sertlik ölçümü yapılan numunelerin birbirleri ile kıyaslamalarının yapılabilmesi için ölçüm koşulları aynı tutulmuştur. Ölçümler her numune için 5 farklı bölgeden yapılarak bu değerlerin ortalaması alınmış ve sertlik değerleri ortalaması tespit edilmiştir.



Şekil 6. 10. Sertlik ölçüm cihazı

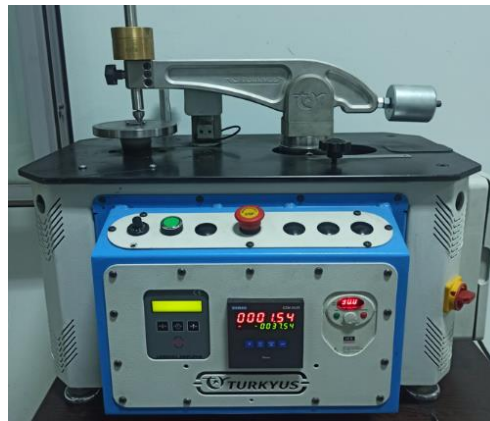
Basma testleri, işlem olarak çekme testlerinin tersi olarak kabul edilmektedir. Basma testleri genelde basma yüklerine maruz kalan gevrek malzemelere uygulanmaktadır. GDD’den üretilmiş yatak alaşımları gibi metal malzemelerin basma

gerilmeleri, çekme gerilmelerinden daha yüksek olduğundan, bu gibi malzemeler basma gerilmelerine maruz kalınan yerlerde kullanılmakta ve basma testleri ile muayene edilmektedirler (Aslan ve Akçay, 2022). Yapılan bu çalışmada basma testleri Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü laboratuvarında şekil 6.11’de görülen Zwick Roell Z600 universal test cihazı ile ASTM E9 standardına göre göre $L/D= 1.6$ olacak şekilde 0,5 mm/dak parametrelerinde yapılmıştır. Basma testi yapılan numunelerin birbirleri ile kıyaslamalarının yapılabilmesi için ölçüm koşulları aynı tutulmuştur.



Şekil 6. 11. Basma test cihazı

Aşınma testleri Batman Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında Turkeyus marka pin on disk aşınma cihazında (Şekil 6.12) ile normal atmosferik şartlar altında, kuru ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Malzemeyi aşındırıcı olarak 6 mm çapında AISI 316 paslanmaz çelik bilye kullanılmıştır. 5N, 8N, 10N ve 15N’luk yükler altında, 219.9 mm/s kayma hızında ve toplam 500 m kayma mesafesinde testler gerçekleştirilmiştir. Test esnasında sürtünme katsayısı değerleri kaydedilmiştir. Aşınma testlerinden sonra, aşınma izleri SEM tarafından incelenmiştir.



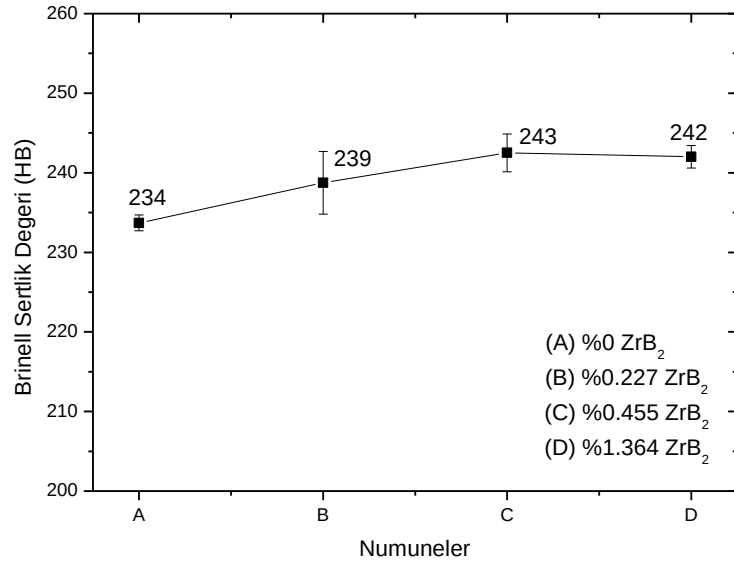
Şekil 6. 12. Aşınma test cihazı

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

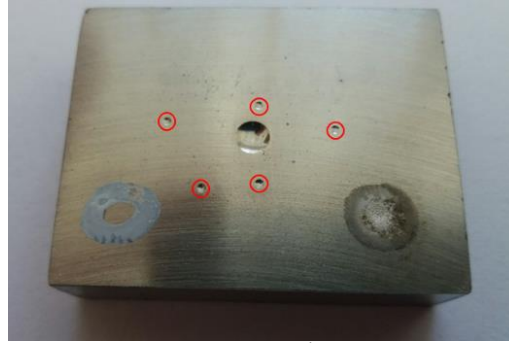
7.1. Sertlik Ölçümü Testleri

Literatürde görüldüğü üzere, dökme demirlerin mekanik özellikleri, grafit morfolojisine, (şekil, dağılım, miktar ve boyuta) ve matris yapılarına (ferrit, perlit) bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yapılan araştırmalarda matris yapısındaki perlit oranının artışı ve grafit morfolojisindeki düzenli dağılımın sertlik değerlerini arttırdığını göstermektedir (Akgül, 2018). Dökme demirler, oldukça geniş bir aralıkta mekanik/fiziksel özellikler göstermekte olup, sertlik ölçüm değerleri 120-300 HB aralığında değişim gösterirken, özel aşınmaya dayanıklı dökme demirlerde ise sertlik ölçüm değeri 600 HB olduğu görülmektedir (Şen, 2018).

Aşılmalı ilavesi olmadan Karadeniz ve ark. Üretmiş oldukları GGG-60 KGDD'lerin sertlik değerini 220.4 HB olarak tespit etmişlerdir (Karadeniz ve ark., 2017). Yapılan çalışmada sertlik testleri ölçümleri literatüre uygun olarak yapılmış olup, ölçüm sonuçlarının ortalamaları alınarak daha önce yapılmış KGDD çalışmaları ile karşılaştırılmış olup sonuçların literatürdeki sertlik ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Yapılan sertlik ölçümü testlerinde, en düşük ölçüm A (İlavesiz) numunesinde ortalama 234 HB ölçülmüştür. %0.227 ZrB₂ ilavesi ile ilavelendirilmiş B numunesinde, ZrB₂ ilavesinin etkisiyle sertlik değeri ortalaması yükselerek 239 HB olarak tespit edilmiştir. %0.455 ZrB₂ ilavesi ile ilavelendirilmiş C numunesinde, ilave oranının artmasına bağlı olarak artış göstermiş ve ortalama sertlik değeri 243 HB olarak ölçülmüştür. %1.364 ZrB₂ ilavesi ile ilavelendirilmiş D numunesinde ise ilave oranının artmasına rağmen sertlik değerinde belirgin bir artış olmamış ve D numunesine göre az bir düşüş göstererek sertlik değeri ortalaması 242 HB olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak K.G.D.D. malzemelerin kimyasal bileşim ve bölgesel soğuma hızlarına bağlı olarak değişmektedir (Ertürk, 2021). Sertlik testleri sonuçları incelendiğinde en yüksek sertlik değeri ortalaması %0.455 ZrB₂ ilaveli C numunesinde tespit edilmiştir. İlave oranlarına bağlı olarak numunelerin brinell sertlik ölçüm değerleri Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Brinell sertlik ölçümü yapılan A (İlavesiz) yüzey görünümü Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7. 1. Brinell sertlik ölçüm değerleri



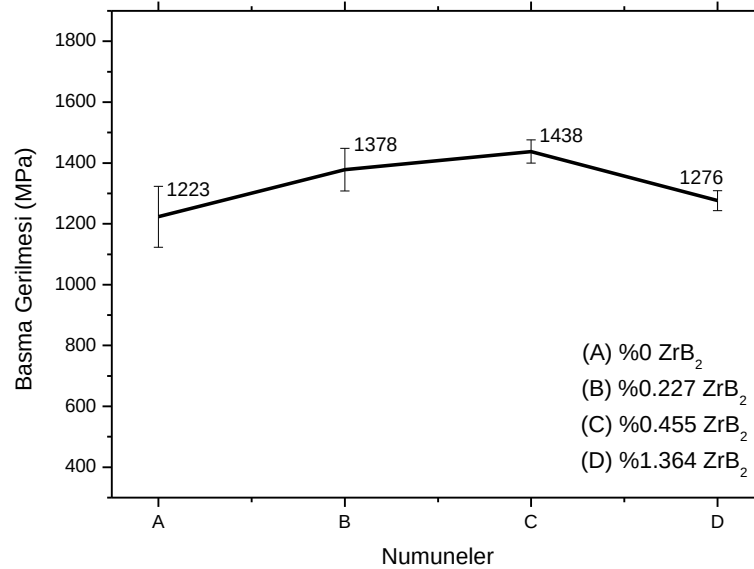
Şekil 7. 2. Brinell sertlik ölçümü yapılan A (İlavesiz) numunesi yüzey görünümü

7.2. Basma Testleri

Basma kuvvetlerinin kullanılacağı yerlerde malzemeler çoğunlukla gevretir. GDD'ler, yatak alaşımları gibi metalik olan malzemeler kullanılır. Ayrıca tuğla, beton ve benzeri metal dışı olarak bilinen malzemelerin basma gerilmeleri, çekme gerilmelerinden daha fazla olması sebebiyle bu türdeki malzemeler basma gerilmelerinin olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Metalik malzemelerin basma deneyi, 2023). Çalışmamızda incelemiş olduğumuz direksiyon dişli kutusu çekme gerilmesine maruz kalmayıp, üzerindeki dişlilere yataklama görevi gördüğünden dolayı literatüre uygun olarak basma testleri yapılmıştır. KGDD (GGG60, EN-GJS-600-3) genel özelliklerine bakıldığında basma dayanımının 1000 MPa olduğu bilinmektedir (Dijkkamp, 2023).

Yapılan çalışmada basma test numunelerinin birbirleri ile kıyaslamalarının yapılabilmesi için, tüm test numuneleri aynı koşullar altında test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında basma test sonuçları literatür ile karşılaştırıldığında sonuçların literatüre uygun olduğu görülmektedir. Yapılan basma

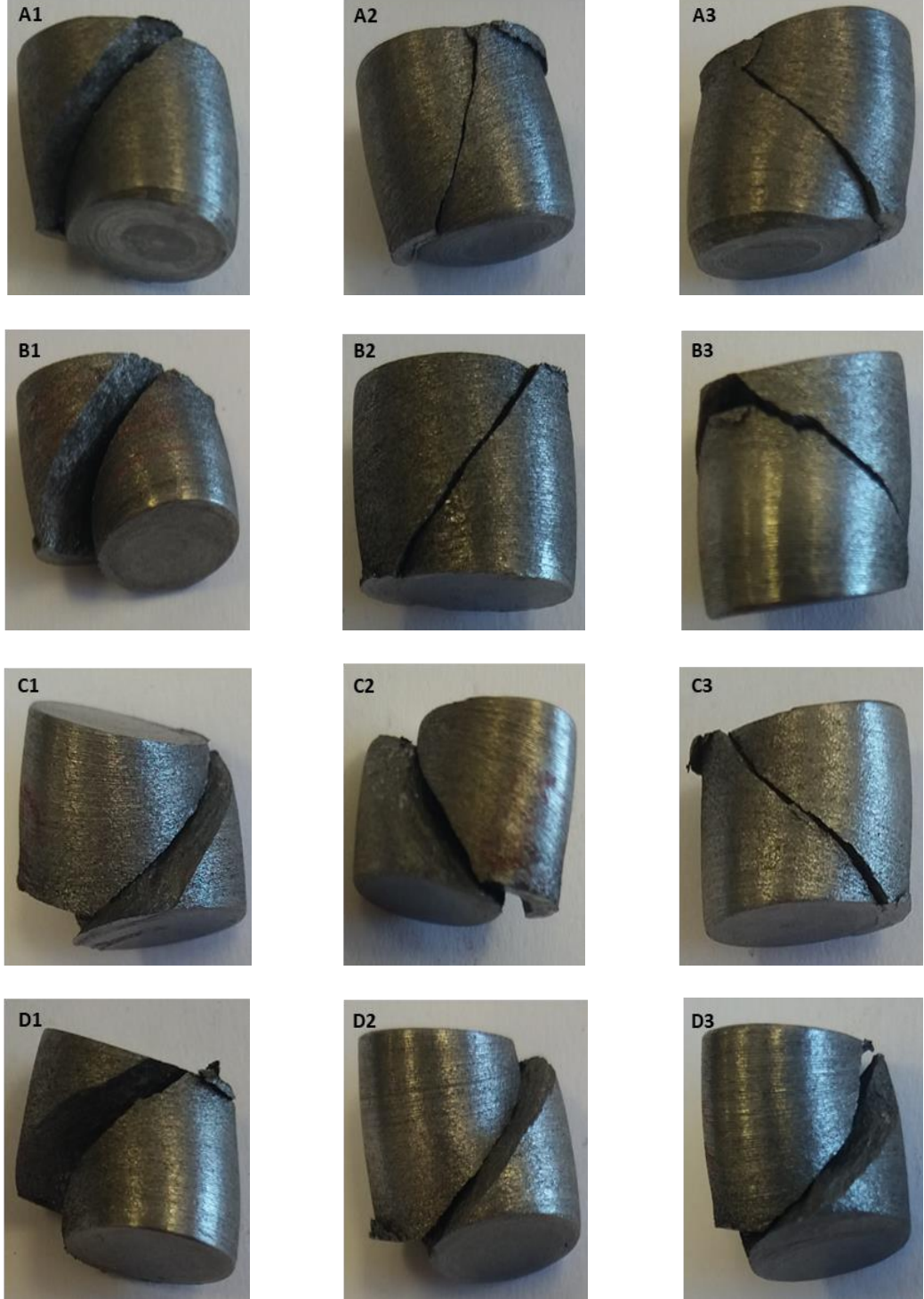
testlerinde, A (İlavesiz) numunenin basma gerilmesi ortalaması 1223 MPa olarak bulunmuştur. İlave oranları arttıkça basma gerilmesi değerlerinde artış göstermesi beklenen bir durumdur. %0.227 ZrB₂ ilave edilmiş B numunesinde ilave oranı artıkça basma gerilmesinde (Ortalama 1378 MPa) artış olduğu tespit edilmiştir. %0.455 ZrB₂ ilave edilmiş C numunesinde ilave oranı artıkça beklentiye uygun olarak basma gerilmesinde (Ortalama 1438 MPa) artış görülmüştür. %1.364 ZrB₂ ilave edilmiş D numunesinde ilave oranının artmasına rağmen basma gerilmesinde (Ortalama 1276 MPa) artış görülmemiştir. KGDD'lerde malzemenin mikroyapı küreselliği ve grafit sayıları çekme gerilmesi, süneklik ve işlenebilirlik gibi özellikleri etkilemektedir. Küresel grafit/nodül sayılarının artmasıyla birlikte daha düzgün ve homojen mikroyapılar oluşmaktadır. Bu durum karbür, perlit veya yapıları bozulmuş grafit oluşumlarına sebep olabilecek elementlerin segregasyonunu azaltmaktadır. (Demirlek, 2013; Canbilen ve Ürküt, 2020). Küresel grafit sayısındaki artış mikroyapıdaki ferrit/perlit oranını etkilemektedir. Bu sayı arttıkça perlit oranı azalmakta, bu azalmanın etkisiyle mukavemet değeri düşerken sünekliğin arttığı gözlenmektedir (Canbilen ve Ürküt, 2020; Khalil-Allafi ve Amin-Ahmadi, 2011; Shinde ve ark., 2012). En yüksek basma gerilmesi %0.455 ZrB₂ ilave edilmiş C numunesinde görülmüştür. İlave oranlarına bağlı olarak numunelerin basma test değerleri Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



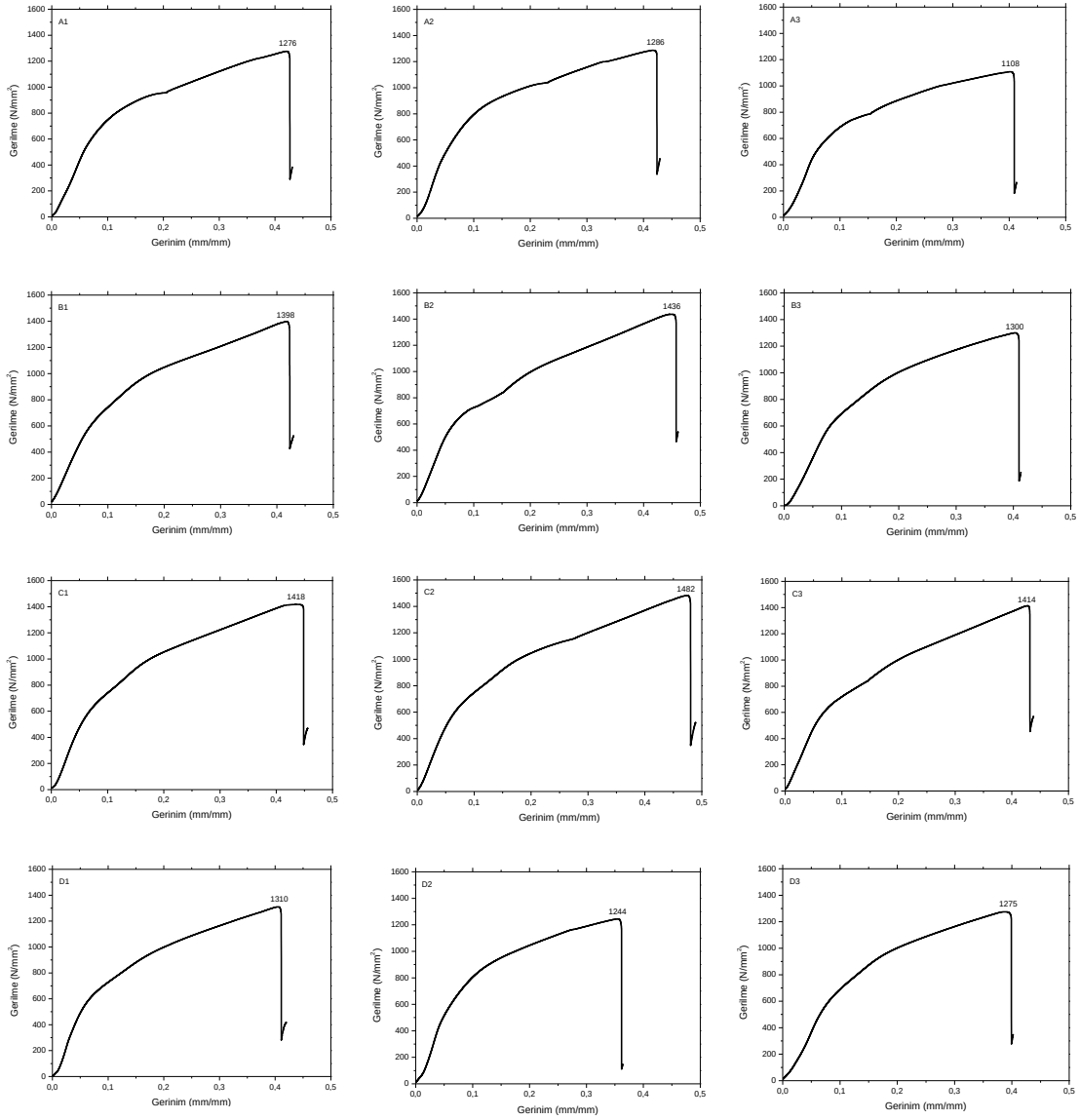
Şekil 7. 3. Basma testi değerleri

Basma testleri için gerilme-gerinim grafikleri incelendiğinde, eğrilerin birbirleriyle benzerlik göstermelerine rağmen en yüksek gerilme noktalarında farklılıklar olduğu görülmüştür. Uygulanan basma yüklerinde oluşan gerilmelerin etkisiyle

malzemelerde kırılma hasarları (Şekil 7.4) meydana gelmiştir. Hasar görünümleri incelendiğinde kırılmaların $\sim 45^\circ$ açıyla olduğu gözlemlenmiştir. Basma testleri için gerilme-gerinim grafikleri Şekil 7.5'te verilmiştir.



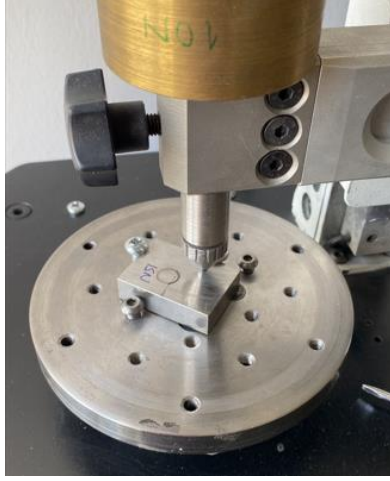
Şekil 7. 4. Basma yükü kırılma hasarları görünümü



Şekil 7. 5. Basma testi gerilme-gerinim grafikleri

7.3. Aşınma Testleri

Aşınma testleri yapılırken numunelerin birbirleri ile kıyaslamalarının yapılabilmesi için, aşınma test numunelerine benzer koşullar altında test işlemleri uygulanmıştır. Aşınma testlerinde (Şekil 7.6) elde edilen aşınma oranı değerleri, aşınma hacmi miktarı ve sürtünme katsayısı değerleri farklı ZrB₂ ilave oranlarındaki numune değerleri ile ilavesiz kontrol numunesi değerleri karşılaştırılmıştır.



a)



b)

Şekil 7. 6. Aşınma testi numune görünümü a, b

Yapılan çalışmada, uygulanan yük ve ilave oranları incelendiğinde, 5 N yük değeri için aşınma hacmi en yüksek B ve D numunelerinde 0.1 mm^3 olarak bulunmuş, aşınma oranı ise en yüksek $5.2 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak D numunesinde gözlemlenmiştir. Yük değeri 8 N olduğunda, aşınma hacmi en yüksek B numunesinde 0.5 mm^3 olarak tespit edilmiş, aşınma oranı ise en yüksek $13.1 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak B numunesinde belirlenmiştir. 10 N yük değerinde aşınma değerleri incelendiğinde, aşınma hacmi en yüksek B numunesinde 0.9 mm^3 ölçülmüş, aşınma oranı ise en yüksek $18.8 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak B numunesinde gözlemlenmiştir. Aşınma testinde kullanılan yük değeri 15 N olduğunda, aşınma hacmi en yüksek D numunesinde 2.4 mm^3 olduğu belirlenmiş, aşınma oranı en yüksek $31.6 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ olarak D numunesinde tespit edilmiştir. Arslan (2019), yaptığı aşınma testi çalışmasında, basınçlı döküm yöntemini kullanarak numune üretmiştir. Üretilen numunenin sertlik miktarının artmasıyla birlikte, sürtünme katsayısında azalmalar olduğu ve malzeme kaybının da bu oranda azaldığını gözlemlemiştir.

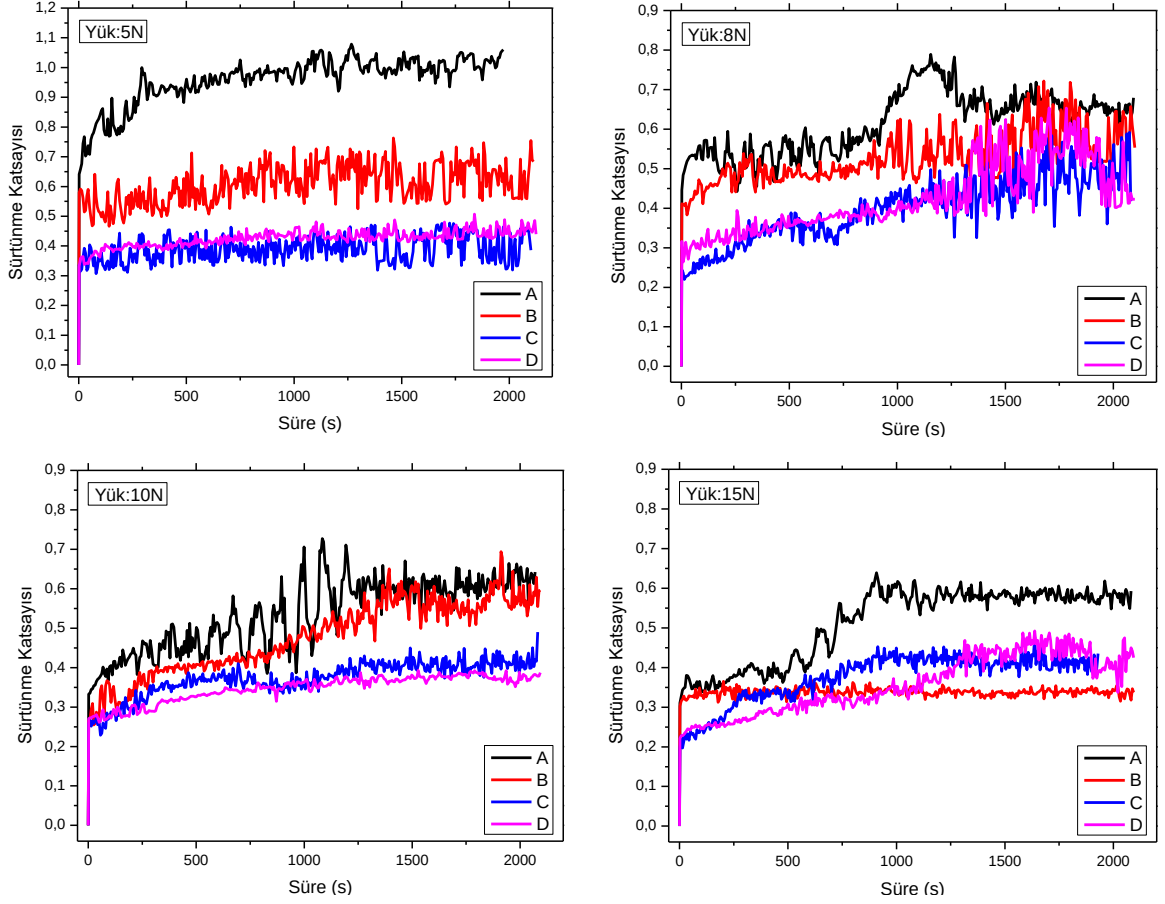
Yapılan çalışmadaki aşınma testlerinde (Tablo 7.1) genel beklenti, yük sabit tutulduğunda ZrB_2 ilavesi arttıkça sertlik değerlerinin artması ve buna bağlı olarak numune üzerinden kopan partiküllerin azalmasıdır.

Tablo 7. 1. Aşınma hacmi, aşınma oranları ve ortalama sürtünme katsayıları

Numune	Yük (N)	Aşınma Hacmi (mm ³)	Aşınma Oranı (x10 ⁻⁵ mm ³ / Nm)	Sürtünme Katsayısı Ortalaması (COF)
A (%0 ZrB ₂)	5	0.0	1.4	0.96
B (%0.227 ZrB ₂)	5	0.1	3.2	0.61
C (%0.455 ZrB ₂)	5	0.0	0.7	0.39
D (%1.364 ZrB ₂)	5	0.1	5.2	0.42
A (%0 ZrB ₂)	8	0.1	2.4	0.61
B (%0.227 ZrB ₂)	8	0.5	13.1	0.53
C (%0.455 ZrB ₂)	8	0.3	8.2	0.40
D (%1.364 ZrB ₂)	8	0.4	8.8	0.42
A (%0 ZrB ₂)	10	0.1	1.6	0.53
B (%0.227 ZrB ₂)	10	0.9	18.8	0.48
C (%0.455 ZrB ₂)	10	0.7	13.4	0.37
D (%1.364 ZrB ₂)	10	0.6	11.4	0.35
A (%0 ZrB ₂)	15	0.1	1.9	0.51
B (%0.227 ZrB ₂)	15	1.8	23.8	0.34
C (%0.455 ZrB ₂)	15	0.9	12.3	0.38
D (%1.364 ZrB ₂)	15	2.4	31.6	0.36

Numunelerin sürtünme katsayısı değişimleri (Tablo 7.1; Şekil 7.7) incelendiğinde, 5 N yük değeri için sürtünme katsayısı değeri en yüksek %0 ZrB₂ ilavesiz A numunesinde 0.96 olarak belirlenmiştir. En düşük sürtünme katsayısı değeri %0.455 ZrB₂ ilaveli C numunesinde 0.39 olduğu görülmüştür. 8 N yük değeri için sürtünme katsayısı değeri incelendiğinde ise sürtünme katsayısı değeri en yüksek %0 ZrB₂ ilavesiz A numunesinde 0.61 tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı %0.455 ZrB₂ ilaveli C numunesinde 0.40 bulunmuştur. 10 N yük değeri için sürtünme katsayısı değeri incelendiğinde ise sürtünme katsayısı değeri en yüksek %0 ZrB₂ ilavesiz A numunesinde 0.53 olduğu görülmüştür. En düşük sürtünme katsayısı ise %1.364 ZrB₂ ilaveli D numunesinde 0.35 olduğu tespit edilmiştir. 15 N yük değeri için sürtünme katsayısı değeri incelendiğinde ise en yüksek değer %0 ZrB₂ ilavesiz A numunesinde 0.51 tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı ise %0.227 ZrB₂ ilaveli B numunesinde 0.34 olarak bulunmuştur. Sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 7.7’de verilmiştir. Gecü (2022), Kum kalıba döküm yöntemini kullanarak alüminyum (Al) içermeyen ve ağırlıkça %3 Al içeren KGDD üretmiştir. Üretim sonrası, 900°C’de dakika östenit sahada tutulan numuneler, 300°C’ye hızla soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 60 dakika boyunca bekletilmiştir. Üretilen numuneler ASTM G99-17 standardına uygun olarak disk üzeri bilye tipi aşınma makinesi kullanılarak kuru ortamda aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında, bağlı

nemin %40 olduğu koşullarda, kayma mesafesi 200 m, kayma hızı 0.1 m/s ve yük 10 N değerinde Al_2O_3 bilye tarafından aşındırılmıştır. %3 Al ile alaşımlama işlemi aşınma direncini artırırken, östemperleme işlemi alaşımsız numunenin aşınma dayanımında daha iyi sonuç vermiştir. Aşınma deneyinde elde edilen, sürtünme katsayıları ile sertlik miktarları arasında ilişki olduğu belirlenmiştir. Aşınma miktarı, sertlik miktarı ile ters orantılı olarak azalmaktadır (Arslan, 2019).



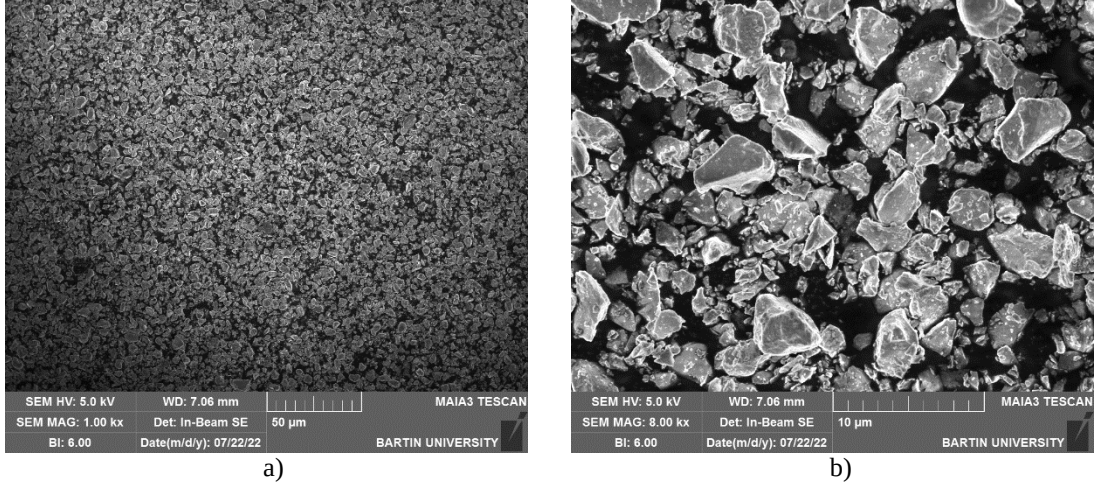
Şekil 7. 7. Sürtünme katsayısı değişimleri, 5N, 8N, 10N ve 15N

7.4. Mikroyapı Analizleri

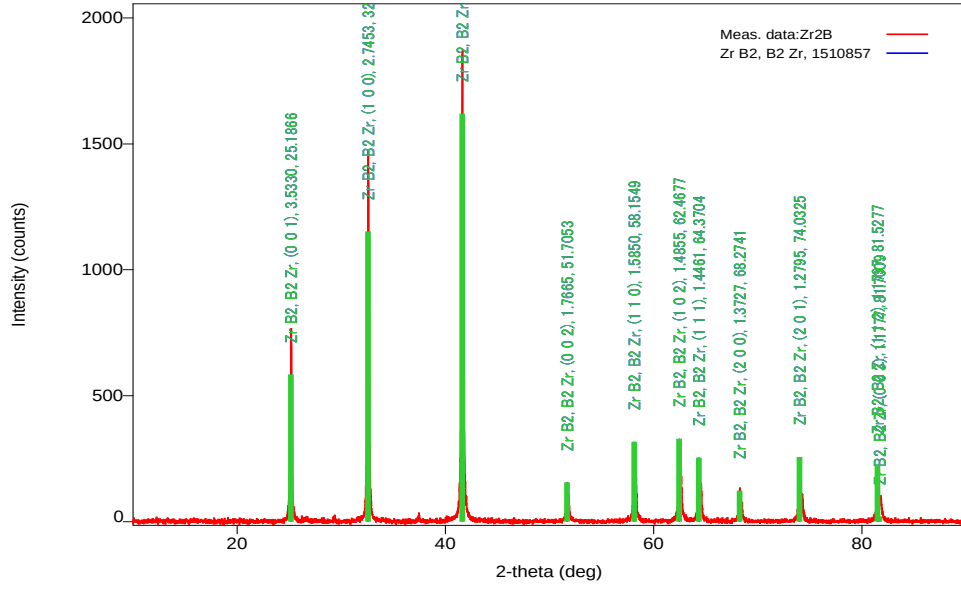
7.4.1. Aşınma testleri öncesi SEM mikroyapı analizleri

KGDD'ler mekanik özellikler yönünden diğer dökme demirler ile karşılaştırıldıklarında özelliklerinin diğerlerine göre daha üstün mekanik özellikler gösterdikleri bilinmektedir. Bu üstün mekanik özelliklerin elde edilebilmesi için ilave edilen alaşım elementlerinin türü ve kullanılan miktarları, sementit oluşumları, grafitin küreselleşme durumları ve dağılımı miktarları ile matris mikro yapıları önemlidir (Aşkun

ve ark., 2003; Gençer, 2012). İlave elmanı olarak kullanılan ZrB_2 tozunun SEM görseli Şekil 7.8’de verilmiştir. Ayrıca XRD analiz görseli de Şekil 7.9’da gösterilmiştir.

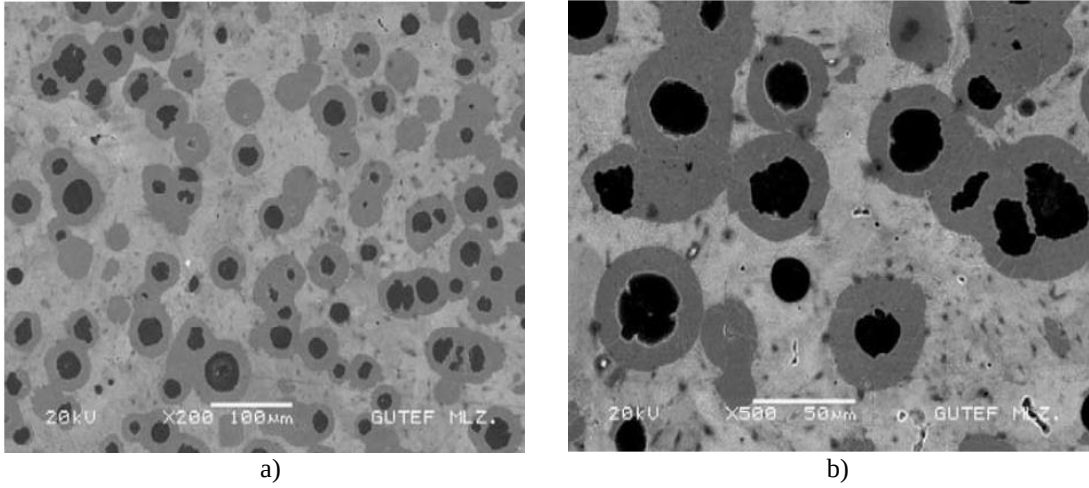


Şekil 7. 8. ZrB_2 tozunun SEM görüntüsü



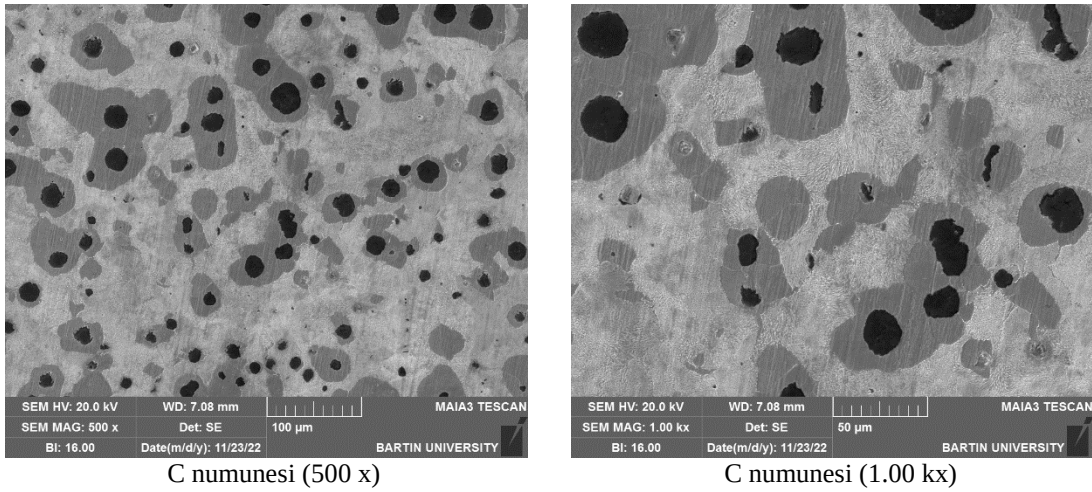
Şekil 7. 9. ZrB_2 tozunun XRD Analizi

Gençer (2012), yapmış olduğu KGDD için Şekil 7.10’da görülen mikro yapı grafit dağılımı elde etmiştir. Mikro yapı incelendiğinde grafitlerin küreleştiği ve çevresindeki ferritik kısımların oluşumlarını tamamladıkları görülmektedir. Bu kısımların dışında kalan bölgeleri oluşturan perlitik yapı malzemelerin dayanım değerlerini belirleyen en önemli faktördür (Gençer, 2012).



Şekil 7. 10. KGDD mikro yapı grafit dağılımı a, b (Gençer, 2012)

Aşınma testleri öncesi numuneler SEM cihazı ile yüzeyden incelenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde numunelerin SEM mikroyapı grafit dağılımları Şekil 7.11’de verilmiştir. Literatür ile karşılaştırıldığında mikroyapı grafit dağılımının literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

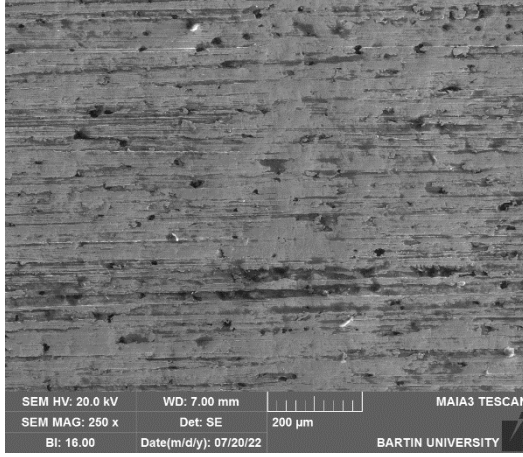


Şekil 7. 11. SEM mikroyapı grafit dağılımı

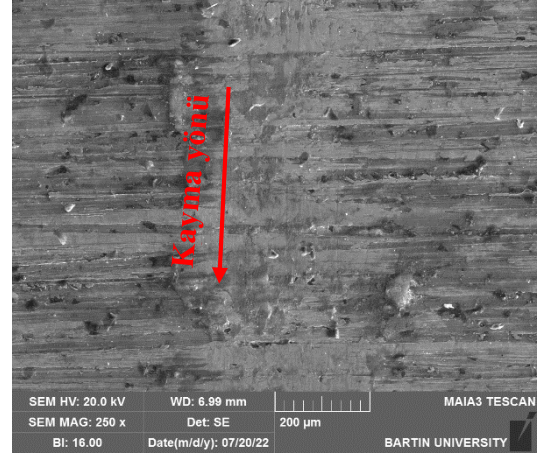
7.4.2. Aşınma testleri sonrası SEM mikroyapı analizleri

Numunelerin aşınmış yüzeyleri SEM (Scanning Electron Microscope) cihazı ile incelenerek aşınma mekanizmaları belirlenmiştir. İlavessiz A numunesinde, artan yük ile birlikte aşınma hacminde artış olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada en fazla aşınma %1.364 ZrB₂ ilaveli D numunesinde, parçacık kopması şeklinde 15 N yük altında oyuklar halinde meydana gelmiştir. Çalışma 5N, 8N ve 10N yükler için aşınma yüzeyleri incelendiğinde, aşınma yüzeylerinde parçacık kopması olmadan aşınmalar

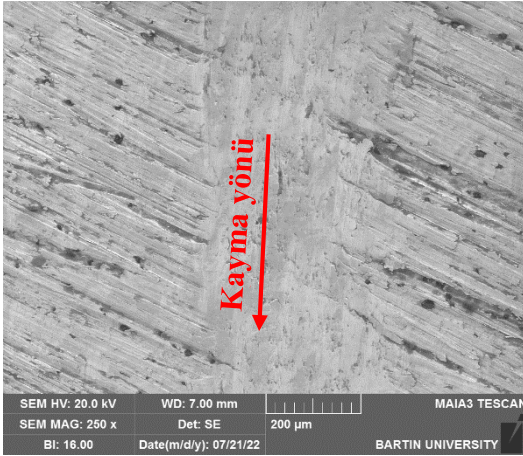
gerçekleşmiştir. Aşınma yüzeylerinde kayma yönüne paralel olarak belirgin çizikler görülmektedir. Aşınma sonrası SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 7.12’de verilmiştir.



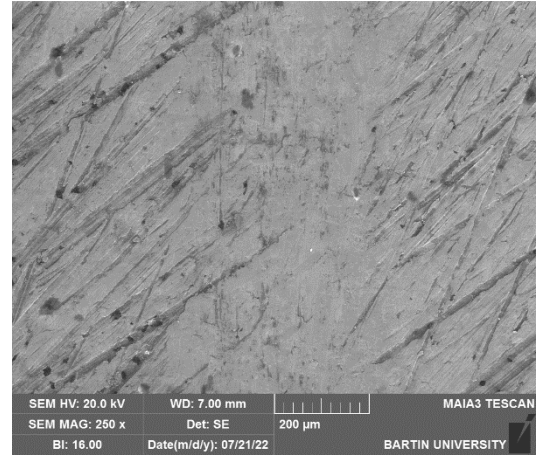
C Numunesi (5N)



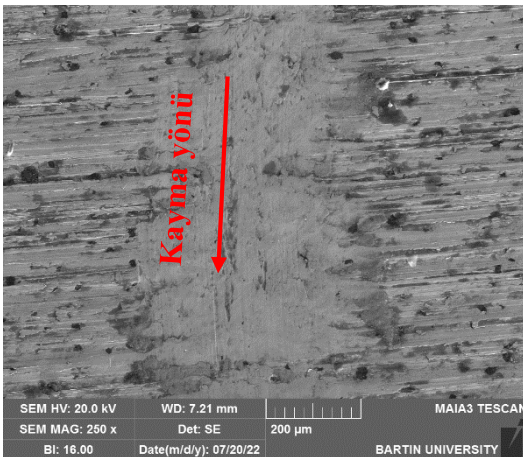
D Numunesi (5N)



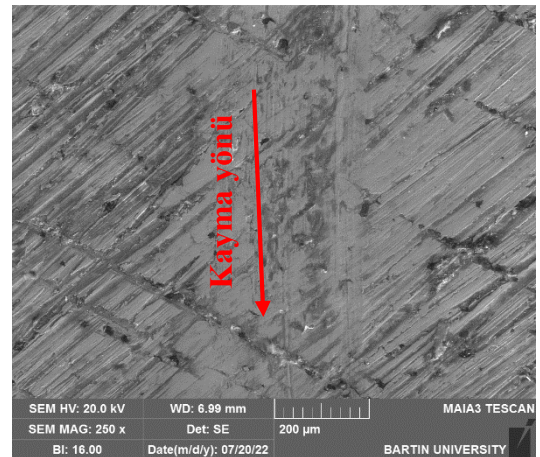
C Numunesi (8N)



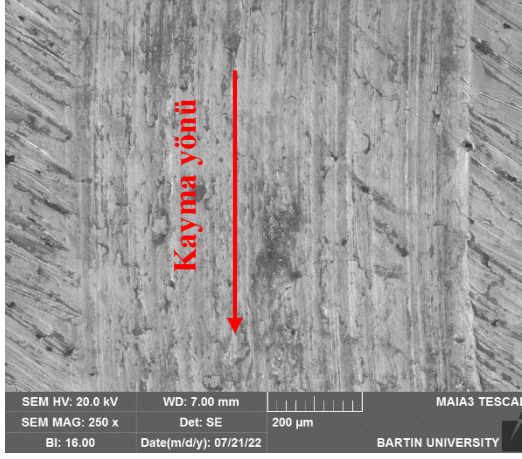
D Numunesi (8N)



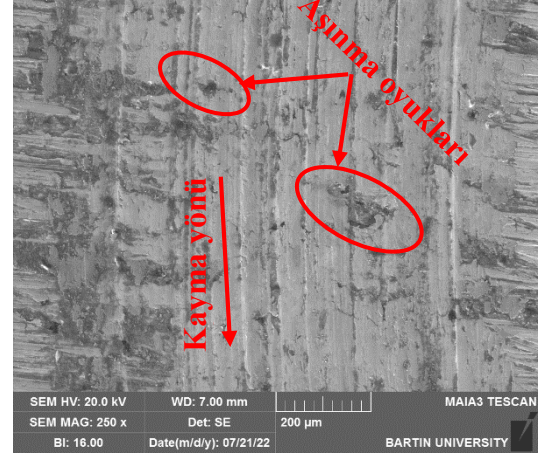
C Numunesi (10N)



D Numunesi (10N)



C Numunesi (15N)



D Numunesi (15N)

Şekil 7. 12. Aşınma sonrası SEM görüntüleri

8. SONUÇLAR

Direksiyon dişli kutusu üzerinde bulunan bilye ve bilye yataklarının sürekli yük altında çalışmalarından dolayı aşınma ve boşluklar oluşmaktadır. Oluşan bu aşınmaları önlemek için direksiyon dişli kutusu gövdelerinin mukavemet değerlerinin artırılması ihtiyacı oluşmuştur. Bu çalışmada, KGDD'lerden üretilmiş olan direksiyon dişli kutusu gövdesine farklı oranlarda ZrB_2 ilavesi yapılarak basma, sertlik ve aşınma davranışlarının sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- ✓ Sertlik ölçüm testlerinde, en yüksek ölçüm değeri C numunesinde ortalama 243 HB, buna en yakın değer ise D numunesinde ortalama 242 HB olarak bulunmuştur. Böylece daha önce yapılmış literatürdeki çalışmalara uygun olarak genel anlamda ilave oranı arttıkça, A (ilavesiz) numunesine göre sertlik ölçüm test değerlerinde artış olduğu görülmüştür.
- ✓ Basma testlerinde, en yüksek değer C numunesinde ortalama 1438 MPa olarak tespit edilmiştir. İlave oranı arttıkça, A (takvisiz) numunesine göre genel anlamda basma gerilmesi değerlerinde artış olduğu söylenebilir.
- ✓ Artan yük değerlerine göre aşınma durumu incelendiğinde, yük değerinin artmasıyla birlikte aşınma hacmi değerlerinde artış gözlemlendiği söylenebilir.
- ✓ Artan ilave oranları ile birlikte sertlik değerlerinde artış eğilimi görülmüş, fakat sertliği artan malzemeden partikül koparmak zorlaştığı için sertlik artışı ile birlikte aşınma miktarı azalmıştır.

KGDD'lerden üretilmiş olan direksiyon dişli kutusu gövdesine farklı oranlarda ZrB_2 ilavesi yapılarak, malzemelerin basma testi, sertlik testi ve aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla yapılmış olan bu çalışmanın sonuçları, bundan sonra yapılacak olan çalışmalara kaynak oluşturması için önerilere aşağıda yer verilmiştir.

- ✓ Kum kalıba döküm ve savurma döküm yöntemleri kullanılarak literatüre uygun belirli oranlarda ZrB_2 ilaveli lamel grafitli dökme demirler üretilir ve üretilen bu dökme demir malzemelerin mekanik özellikleri, mikro yapısı ve sürtünme davranışları incelenerek karşılaştırılabilir.
- ✓ Kum kalıba ve kokil kalıba döküm yöntemlerini kullanarak ZrB_2 ilaveli lamel grafitli dökme demirler üretilir ve bu dökümlerin mekanik özellikleri, mikro yapıları ve sürtünme davranışları incelenerek karşılaştırılabilir.

- ✓ Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, lamel grafitli dökme demirlere ZrB_2 ilavesinin çalışılmadığı görülmüştür. Lamel grafitli dökme demirlere literatüre uygun olacak şekilde ZrB_2 ilavesi yapılarak mekanik özellikler, mikro yapı ve sürtünme davranışları incelenebilir.
- ✓ Lamel grafitli dökme demirlere farklı oranlarda ZrB_2 ilavesi yapılarak talaşlı imalat yöntemleri ile işlenebilirliği araştırılabilir.
- ✓ Lamel grafitli dökme demirlere farklı oranlarda ZrB_2 ilave edilerek yaşlanabilirlik üzerinde etkisi incelenebilir.
- ✓ KGDD'lere farklı oranlarda ZrB_2 ilavesi yapılarak talaşlı imalat yöntemleri ile işlenebilirliği araştırılabilir.
- ✓ KGDD'lere farklı oranlarda ZrB_2 ilave edilerek yaşlanabilirlik üzerinde etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akgül, B., 2018, Gri dökme demirde kalayın (Sn) mikroyapıya ve mekanik özelliklere etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Albayrak, F., 2019, Sanal basma testi tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Arslan, R., 2019, Döküm presi ile elde edilen magnezyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırşehir.
- Aslan M. ve Akçay S. B., 2022, Metalürji ve malzeme laboratuvar II basma ve eğme deneyi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Aşkun Y., Hasırcı H. ve Şeker U., 2003, Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey kaliteleri açısından değerlendirilmesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 191-199.
- Ayday, A., 2013, Elektrolitik plazma teknolojisi ile küresel grafitli dökme demir malzemesinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Aytaçoğlu, L. C., 2012, Dökme demirlerde termal analiz ve matematiksel yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Babuçoğlu, E., 2021, Kaynaklı parçalarda titreşim ile gerilim gidermenin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Balcı, Ş., 2010, Otomobil elektrikli direksiyon sisteminin modellenmesi ve duyarlılık analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Baydoğan, M., 1996, GGG-60 Sınıfı küresel grafitli dökme demirde östemperleme ısı işleminin çekme, yorulma ve aşınma özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bilici, M. K., 2004, Alaşımsız dökme demirlerin aşınma özelliği, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Biswas, S., 2010, Design of steering system through optimization of TCD and steering effort, *Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering* -2010. doi:10.1109/fame.2010.5714859
- Bulut, E., 2021, Vermiküler grafitli dökme demir (CGI) ile üretilen motor blokların özelliklerini etkileyen faktörlerin alternatif dökme demirler ile karşılaştırmalı

- analizi, Yüksel Lisans Tezi, *Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bursa.
- Canbilen A.R., 2022, Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerin üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Canbilen, A. E. ve Ürküt, B. B., 2020, Küresel grafitli dökme demirin nodularite ve küreselliğinin görüntü işleme yöntemleri kullanılarak belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Ejosat Özel Sayı 2020 (ICCEES), 60-64. doi:10.31590/ejosat.802698
- Collini, L. and Pirondi, A., 2022, Microstructural, multilevel simulation of notch effect in ferritic ductile cast iron under low cycle fatigue, *International Journal of Fatigue*, 162, 106993. doi:10.1016/j.ijfatigue.2022.106993
- Çekici, M., 2022, GGG-60 küresel grafitli dökme demirde kullanılan baryum ve lantanlı aşılarda mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Çelik, Ö., 2001, Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çolak, M., Arslan, İ. ve Gavgalı, E., 2018, Gri dökme demirlerin katılaşma modellemesi ve gerçek dökümler ile karşılaştırması, *Engineering Sciences*, 13 (4), 280-290.
- Çolak, O., 2019, Küresel grafitli dökme demirlerin üretiminde modülün mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bayburt.
- Çözüm Direksiyon, 2020, Direksiyon kutusu arızası belirtileri nelerdir?, [online], <https://cozumdireksiyon.com/direksiyon-kutusu-arizasi-belirtileri-nelerdir> [Erişim Tarihi: 27 Mart 2023].
- Demirlek M., 2013, Küresel grafitli dökme demirlerin yüksek çevrimli yorulma davranışına silisyum oranının etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dijkkamp, (b.t.), Characteristics of GGG60. Gieterij Dijkkamp B.V. | site by Questo, [online], <https://www.dijkkamp.nl/en/materials/ggg60-en-gjs-600-3/> [Erişim Tarihi: 28 Nisan 2023].
- Diószegi, A., Svidró, P., Elmquist L., and Dugic, I., 2016, Defect formation mechanisms in lamellar graphite iron related to the casting geometry, *International Journal of Cast Metals Research*, 29 (5), 279-285.
- Dökümhane Akademi, (b.t.), Kalan Mg ile küreselleştirme işleminin verimini değerlendirmek neden doğru değil?. TÜDÖKSAD, [online], <https://dokumhane.net/kutuphane/kalan-mg-ile-kuresellestirme-isleminin-verimini-degerlendirmek-neden-dogru-degil/> [Erişim Tarihi: 28 Nisan 2023].

- Döngel A., 2008, Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin yüksek sıcaklık aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Ertürk, S. Ö., 2021, Katı çözelti sertleşmeli küresel grafitli dökme demirlerin üretimi ve mekanik özelliklerinin östemperleme ısı işlemiyle iyileştirilmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Gecü, R., 2022, Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışına alüminyum ilavesinin ve östemperleme ısı işleminin etkilerinin incelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2) , 423-430. doi:10.28948/ngumuh.1069484
- Gençer, M., 2012, Farklı bileşimlerdeki küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapı ve işlenmiş yüzey kalitelerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ghasemi, R. and Elmquist, L., 2014, A study on graphite extrusion phenomenon under the sliding wear response of cast iron using microindentation and Microscratch Techniques, *Wear*, 320, 120-126. doi:10.1016/j.wear.2014.09.002
- Gider, G., 2015, Farklı oranlarda silisyum içeren küresel grafitli dökme demirlerin mikro yapılarına çift kademeli östemperlemenin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- İlçin, F., 2022, Molibden ve nikel içeren küresel grafitli dökme demirlerde östemperleme ısı işlemi ile mekanik özelliklerdeki değişimin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Jost, B., Klein, M., Beck, T. and Eifler, D., 2018, Out-of-phase Tmf lifetime calculation of en-GJS-600 (ASTM 80-55-06) ductile cast iron based on strain increase tests and evaluation of cyclic deformation behavior in isothermal measuring intervals, *International Journal of Fatigue*, 117, 274-282. doi:10.1016/j.ijfatigue.2018.08.012
- Kaçal, A., Gülesin, M. ve Melek, F., 2008, GGG-40 Küresel grafitli dökme demirlerin ince tornalama operasyonlarında kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 11 (3), 229-234.
- Karaca, İ., 2022, Küresel grafitli dökme demirlerin üretiminde metalurjik silisyum karbür ve ferro silis katkılarının malzeme üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik.
- Karadeniz, E., Çolak, M. ve Barutçu, F., 2017, GGG-60 küresel grafitli dökme demir üretiminde aşılmalı türü ve miktarının içyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6 (1), 275-282. doi:10.28948/ngumuh.298199

- Karaman, S., 2011, Küresel grafitli dökme demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60,GGG70) üretim sürecinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.
- Kavaklı, Ü., 2006, Konya bölgesinde döküm sanayinin durumu ve tarım makinelerinde kullanılan döküm parçaların standartlara uygunluğunun belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Kayalı Y., 2006, Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri ve aşınma davranışının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Khalil-Allafi, J. and Amin-Ahmadi, B., 2011, Influence of mold preheating and silicon content on microstructure and casting properties of ductile iron in permanent mold, *Journal of Iron and Steel Research International*, 18 (3), 34–39. doi:10.1016/s1006-706x(11)60034-4
- Koehn, P. and Eckrich, M., 2004, Active steering - the BMW approach towards modern steering technology, *SAE Technical Paper Series*. doi:10.4271/2004-01-1105
- Kurnaz, U., 2020, Dökme demirden üretilen fren disklerinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar.
- Malcıoğlu, A. U., 2015, Östemperlenmiş gri dökme demirin yüksek sıcaklık aşınma davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Mallick, P. K., 2010, Materials, design and manufacturing for Lightweight Vehicles. doi:10.1533/9781845697822
- Metalik malzemelerin basma deneyi, (b.t.), Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Ve İmalat Mühendisliği Bölümü Mühendislikte DeneySEL Metodlar Dersi, [online], <http://w3.bilecik.edu.tr/wp-content/uploads/sites/119/2016/12/Basma-Deneyi.pdf> [Erişim Tarihi: 28 Nisan 2023].
- Motorlu araçlar teknolojisi, 2011, Direksiyon sistemleri 525MT0027, *T.C. Milli Eğitim Bakanlığı*, Ankara.
- Münker, F., 2010, Sertleştirilmiş dökme demirlerin aşınma özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Nanografi Nano Teknoloji, 2023, Zirkonyum Diborür (ZrB₂) Mikron Tozu, Saflık: 99.5%, Boyut: 5.5 um, Hekzagonal, [online], <https://shop.nanografi.com.tr/zirkonyum-diborur-zrb2-mikron-tozu-safl-k-99-5-boyut-5-5-um-hekzagonal/> [Erişim Tarihi: 07 Mart 2023].

- Okay, F., 2006, PVD yöntemi ile TiN kaplı öztemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Özcan, B., 2018, Gri dökme demir malzemelerin izlenebilirliğinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Öztürk, E., 2019, Östemperleme sıcaklığının küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Öztürk, E., Köroğlu, S., Can, Ö., Güler, R. F., Bıyıklı, F. M., Balkan, M. E., Belli, B. ve Demirçalı, A., 2018, Otonom taşıtlar için hiposikloid direksiyon dişli kutusu tasarımı ve prototip imalatı, *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science* 09-11 November 2018 (ISITES2018), Antalya-Türkiye.
- Özusta, B., 2021, Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik küresel dökme demirlerin aşınma direncinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük.
- Penticton Foundry, (b.t.), Ductile Iron, [online], <https://www.pentictonfoundry.com/alloys/ductile-iron/#:~:text=ASTM%20A536%20refers%20to%20the,ductile%20iron%20%20occurs%20as%20spheroids> [Erişim Tarihi: 28 Nisan 2023].
- Sağlam, D., 2009, Dökme demirlerin aşınma özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sevgi, E., 2019, Küresel grafitli dökme demirlerin ısıtma şartlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Shinde, V. D., Ravi, B. and Narasimhan, K., 2012, Solidification behaviour and mechanical properties of ductile iron castings with varying thickness, *International Journal of Cast Metals Research*, 25 (6), 364–373. doi:10.1179/1743133612y.0000000024
- Suryavanshi, O. D., 2018, Selection procedure of number of plies for carbon fiber tie RODSFOR all terrain vehicle, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 07 (08), 109–113. doi:10.15623/ijret.2018.0708014
- Şekerden, M., 2019, Küresel grafitli dökme demirlerin kalıplama tasarımında besleyici boğaz bağlantılarının etkisinin deneysel ve modelleme teknikleri ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Bayburt Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bayburt.
- Şen, N. B., 2018, Lamel grafitli dökme demirlerin üretiminde metalurjik silisyum karbür ve ferro silisyum katkılarının malzeme üzerindeki mekanik, metalurjik ve ekonomik etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Uymaz, G., 2019, Kontrollü titreşimin direksiyon sistemlerinde oluşan teker-yol sürtünmesine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ramazan ORTAKAYA
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Üniversite	: Batman Üniversitesi, Batman	2019
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi, Batman	2023

UZMANLIK ALANI: Otomotiv

YABANCI DİLLER:

YAYINLAR

Yakut, R., & Ortakaya, R., The effect of the addition of ZrB_2 to spherical graphite cast irons on tensile behavior, 4. *International Dicle Scientific Research And Innovation Congress*, Diyarbakır, 18-19 April 2023, 447-454.