DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GRİ DÖKME DEMİRLERİN GRAFİT YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN FREN DİSKİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Ziya AVCI

Şubat, 2022
İZMİR

GRİ DÖKME DEMİRLERİN GRAFİT YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN FREN DİSKİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Yüksek Lisans

Ziya AVCI

Şubat, 2022
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Ziya AVCI, tarafından **PROF. DR. UĞUR MALAYOĞLU** yönetiminde hazırlanan "**GRİ DÖKME DEMİRLERİN GRAFİT YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN FREN DİSKİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

……
Prof. Dr. Uğur MALAYOĞLU
Danışman

……
Dr.Öğr.Üyesi Bahadır UYULGAN
Jüri Üyesi

……
Doç.Dr.Onur ERTUĞRUL
Jüri Üyesi

_____
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle, 4 yıllık lisans sürecinde bana yol gösteren, desteğini esirgemeyen bölüm ikincisi olarak bitirmemde büyük desteği olan ve sonrasında yüksek lisans hayatımda da rehberliğiyle beni aydınlatan danışman hocam Prof. Dr. Uğur MALAYOĞLU'na bana gösterdiği sabır, ilgi, alakadan ve üzerimdeki büyük emeğinden dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisansım boyunca bana büyük yardımları dokunan Arş. Gör. Dr. Kadir Cihan TEKİN'e, öğrenci işlerinden sorumlu Nilüfer GENÇ'e, çalışma arkadaşım Bora GÜNTAY'a ve müdürüm Reşat SELAMİOĞLU'na ayrıca çalışma bütçesini destekleyen Ege Fren San. ve Tic. A.Ş yönetimine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisansım boyunca beni destekleyen, anlayış gösteren ve her zaman yanımda olan eşim Songül AVCI'ya, değerli aileme ve çalışma arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ziya AVCI

GRİ DÖKME DEMİRLERİN GRAFİT YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN AĞIR TİCARİ ARAÇLARDA KULLANILAN FREN DİSKİ KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ

ÖZ

Bu çalışmada, disk frenlerde kullanılan rotor parçasının aynı ortam koşullarında üretilmiş grafit tipi ve boyutu dışında tüm özellikleri aynı olacak şekilde dökülmüş lamel grafitli dökme demir numunelerinin sertlik, işlenebilirlik, aşınma ve fren performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hazırlanan numuneler ile gerekli malzeme testleri yapıldıktan sonra parçadan pin-on disk testi yapılmıştır. Bu test sonucunda diskteki aşınma A numunesinde 6.2mg olurken B numunesinde 16.92mg olarak gerçekleşmiştir. Takım ucu sarfiyatına etkisini görebilmek için her iki numuneden 160'ar adet parça işlenmiştir. Tezgah frekansı(0,35 mm/dk), devir(550 dev/dk) ve kullanılan takım(CNMA120412). A numunesinde 10 parçada bir takım ucunda körelme olup parçada kopmalar meydana gelirken B numunesinde 20 parçada bir bu durum meydana gelmiştir. A ve B numunesinden 1'er adet parça performans ve aşında testinin kontrolünün yapılacağı dyno testi için hazırlanmıştır. ISO26865 standardı fren performanslarını çeşitli araç hızı frenleme basıncı ve sıcaklığı kombinasyonlarında incelemektedir. Deney sırasında girdi olarak tanımlanan bu değişkenlerin yanında çıktı olarak fren torku kaydedilmiştir. A ve B numuneleri arasında %10'un altında fark görülmüştür. ISO26866 standardı frende diskinde meydana gelen aşınmayı çeşitli araç hızı, frenleme sayısı ve sıcaklığı kombinasyonlarında incelemektedir. Deney sırasında girdi olarak tanımlanan bu değişkenlerin yanında çıktı olarak balata ve diskteki kalınlık ve ağırlık farkları kaydedilmiştir. A numunesinde disk aşınması daha az olurken balatadaki aşınma daha fazla olmuştur.

Anahtar kelimeler: Fren diski, aşınma, lamel grafitli dökme demir, performans testi, dyno testleri, işleme

THE EFFECT OF GRAPHİTE STRUCTURAL PROPERTIES OF GRAY CAST IRON ON BRAKE DISC CHARACTERISTICS WHICH IS USED IN HEAVY COMMERCIAL VEHICLES

ABSTRACT

In this study, the effects of lamellar graphite cast iron samples, which were cast in such a way that all properties of the rotor part used in disc brakes were produced under the same ambient conditions, except for the graphite type and size, on the hardness, machinability, wear and brake performance were inspected. After the necessary material tests were done with the prepared samples, the sample was taken from the part for pin-on disc test. As a result of this test, the wear of A samples is 6.2mg and the wear of B sample is 16.92mg are founded.

In order to see the effect on tool tip consumption, 160 pieces of each of the two samples were machined. Machine frequency (0.35 mm/dk), period (550 dev/dk) and used tool (CNMA120412). While there was blunting at the tip of the tool in 10 pieces in the A sample and ruptures occurred in the piece, this situation occurred once in 20 pieces in the B sample. 1 piece of each of the A and B samples has been prepared for the dyno test, in which the performance and wear test will be checked.

The ISO26865 standard was examined braking performances at various combinations of vehicle speed, braking pressure and temperature. Besides these variables, which were defined as inputs during the experiment, brake torque was recorded as output. There was less than 10% difference between A and B samples. The ISO26866 standard examines the wear of the brake disc at various combinations of vehicle speed, braking number and temperature. In addition to these variables, which were defined as inputs during the experiment, the thickness and weight differences in the pad and disc were recorded as output. In the A sample, the disc wear is less, while wear on the lining is higher.

Keywords: lamellar graphite cast iron, brake disk, wear, performance test, machining, dyno tests

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ ix
TABLOLAR LİSTESİ x
SEMBOLLER LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Giriş 1
1.2 Disk Fren Mekanizması 1
1.3 Frenleme Sırasında Meydana Gelen Durumlar 4
1.4 Frenlemeye Etki Eden Durumlar 4

BÖLÜM İKİ - DÖKME DEMİRLER 8

2.1 Dökme Demirlere Genel Bakış 8
2.2 Döküm Yöntemleri 10
2.3 Kimyasal Bilesim ve Grafit Oluşumu 11
2.4 Dökme Demir Çeşitleri 12
2.4.1 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demir 12
2.4.1.1 Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Özellikleri 14
2.4.1.2 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirlerin Grafit Tipleri 15
2.4.1.3 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirlerin Kullanım Alanları 20
2.4.2 Küresel Grafitli Dökme Demirler 21

2.4.2.1 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları 23
2.4.3 Beyaz Dökme Demirler 23
2.4.3.1 Beyaz Dökme Demirlerin Kullanım Alanları 24
2.4.4 Temper Dökme Demirler 25
2.4.4.1 Temper Dökme Demirlerin Kullanım Alanları 26
2.4.5 Benekli Dökme Demirler 27
2.4.6 Çil Uygulanmış Dökme Demir 27
2.4.7 Alaşım Elementlerinin Dökme Demirler Üzerindeki Etkisi 28

BÖLÜM ÜÇ - İŞLENEBİLİRLİK 31

3.1 Giriş.. 31
3.2 İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler 33
3.2.1 Malzemelerin Kimyasal Yapısı 33
3.2.2 Malzemelerin Mekanik Özellikleri 34
3.2.3 Isıl İletkenlik 35
3.2.4 Malzeme Üretim Metodu Etkisi 35
3.2.5 İş Parçası Yüzey Kalitesi ve Boyutlarının Etkisi 35
3.2.6 Kesme Kuvvetleri 36
3.2.7 Kesme Sıvısı 36
3.2.8 Kesici Takım Geometrisi 36
3.2.9 Kesici Takım Malzemeleri 37
3.2.10 Takım Ömrü ve Kesme Hızı 38
3.3 Lamel Grafitli Gri Dökme Demirlerin İşlenebilirliği 39
3.4 Yüzey Pürüzlülüğü 41
3.4.1 Yüzey Yapısına Ait Özellikler 42

BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR 44

4.1 Numune Üretim Prosesi 44

4.1.1 Model Üretimi 44

4.1.2 Kum Nem Testi 45

4.1.3 Kum Sıcaklık Kontrolü 45

4.1.4 Kum Kompaktabilite Testi 46

4.1.5 Gaz Geçirgenlik Testi 46

4.1.6 Yaş Kesme ve Basma Mukavemet Testi 47

4.1.7 Islak Çekme Mukavemet Testi 47

4.1.8 Kalıp Hazırlanması 48

4.1.9 Döküm İşlemi 49

4.1.10 Döküm Sonrası Kumlama İşlemi 52

4.2 Deneysel Çalışmalar 53

4.2.1 Kum Testi Sonuçları 53

4.2.2 Sertlik Testi 54

4.2.4 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları 56

4.2.5 Spektrum Analizi Sonuçları 56

4.2.6 Metalografik İnceleme 57

4.3 İşlenebilirik İncelenmesi 61

4.4 Pin – On Disk Testi 62

4.5 Dinamometre Üzerinde Fren Performansı Testleri 64

4.6 Balata Aşınma Testi 78

BÖLÜM BEŞ – GENEL SONUÇ 83

KAYNAKLAR 85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Freni oluşturan alt bileşenler 2
Şekil 1.2 Frenleme sırasında meydana gelen kuvvetler 5
Şekil 1.3 Araç dinamiğine etki eden faktörler 6
Şekil 1.4 Dinamometre test ünitesi görüntüsü 7
Şekil 1.5 Fren performansının hız, sıcaklık ve basınç ile değişimi 7
Şekil 2.1 Demir-Karbon denge diyagramı. 8
Şekil 2.2 Demir esaslı alaşımlara ait sınıflandırma 9
Şekil 2.3 Laplanche Diyagramı 11
Şekil 2.4. Lamel grafitli dökme demir iç yapısı 13
Şekil 2.5 Ferrit(a) ve ve perlit(b) yapılı dökme demir 13
Şekil 2.6 Gri dökme demir grafit tipleri 16
Şekil 2.7 A tipi Lamel Grafit 17
Şekil 2.8 B tipi Lamel Grafit 18
Şekil 2.9 C tipi Lamel Grafit 19
Şekil 2.10 D ve E tipi Lamel Grafit 20
Şekil 2.11 Sfero dökme demirin iç yapısı 22
Şekil 2.12 Beyaz dökme demirin iç yapısı, (x400) 24
Şekil 2.13 Temper dökme demirin iç yapısı, (x150). 26
Şekil 2.14 a. Siyah Temper Dökme Demir b. Beyaz Temper Dökme Demir .. 26
Şekil 2.15 Çil Uygulanmıs Dökme Demirin İç Yapısı 28
Şekil 3.1 Talaşın oluşum safhaları. 32
Şekil 3.2 Talaş oluşumu 32
Şekil 3.3 Kesici takım üzerindeki açılar 33
Şekil 3.4 Takım uç açıları 37
Şekil 3.5 Gri dökme demir işlemesinde kesme hızının iç yapı ve sertliğe göre değişimi 39
Şekil 3.6 Gri dökme demir işlemesinde ömür doğruları 40

Şekil 3.7 Alaşımsız sert döküm karbon miktarına bağlı olarak, işlenebilirlik ve sertlik 41
Şekil 3.8 İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri. 42
Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülük değerleri 43
Şekil 4.1 Kalıp modeli 44
Şekil 4.2 Nem Test cihazı 45
Şekil 4.3 Kompaktabilite ölçüm cihazı 46
Şekil 4.4 Gaz geçirgenlik test cihazı 46
Şekil 4.5 Yaş basma ve çekme mukavemet test cihazı 47
Şekil 4.6 Islak çekme mukavemet test cihazı 48
Şekil 4.7. FTL'de üretilmiş kalıp 49
Şekil 4.8 Seri olarak döküm hattına giden kalıplar 49
Şekil 4.9 Sıvı metalin kalıba dökülmesi 50
Şekil 4.10 Sıcaklık Kontrolü 50
Şekil 4.11. Kimyasal analiz için numune alımı 51
Şekil 4.12 Spektrum analizi için alınan örnek 51
Şekil 4.13 Numunelerin sarsak sonrası durumu 52
Şekil 4.14 Kumlama sonrası görüntü 52
Şekil 4.15 Tokmaklama işlemin yapıldığı cihaz 53
Şekil 4.16 Yüzey işlemlerini bitmiş test numunesi 54
Şekil 4.17 Sertlik cihazı görüntüsü 55
Şekil 4.18 Zımparalama ve parlatma cihazı, test numuneleri, Nikon mikroskobu 58
Şekil 4.19 A numunesi mikroyapı resmi 59
Şekil 4.20 A numunesi mikroyapı resmi 59
Şekil 4.21 B numunesi mikroyapı resmi 60
Şekil 4.22 B numunesi mikroyapı resmi 60
Şekil 4.23 CNC – Torna işleme tezgahı 61
Şekil 4.24 Sırası ile A ve B numuneleri 62
Şekil 4.25 Pin on disk Cihazı 62
Şekil 4.26 A numunesi yüzey pürüzlülüğü 63
Şekil 4.27 B numunesi yüzey pürüzlülüğü 63
Şekil 4.28 Dinamometre testi 65

Şekil 4.29 A numunesi balata alıştırma sonrası performans grafiği 69
Şekil 4.30 A numunesi 100 ℃'deki performans grafiği 70
Şekil 4.31 A numunesi 300 ℃'deki performans grafiği 70
Şekil 4.32 A numunesi 500 ℃'deki performans grafiği 70
Şekil 4.33 B numunesi balata alıştırma sonrası performans grafiği 71
Şekil 4.34 B numunesi 100 ℃'deki performans grafiği 71
Şekil 4.35 B numunesi 300 ℃'deki performans grafiği 72
Şekil 4.36 B numunesi 500 ℃'deki performans grafiği 72
Şekil 4.37 A numunesi performanst testi öncesi sonrası görünüm. 73
Şekil 4.38 B numunesi performans testi öncesi sonrası görünüm. 73
Şekil 4.39 Balata alıştırma performansı 74
Şekil 4.40 100℃'deki performans karşılaştırması 75
Şekil 4.41 300℃'deki performans karşılaştırması 76
Şekil 4.42 500℃'deki performans karşılaştırması 77
Şekil 4.43 A numunesi milimetre cinsinden balatadaki aşınma grafiği 79
Şekil 4.44 A numunesi ağırlık cinsinden balatadaki aşınma grafiği 79
Şekil 4.45 B numunesi milimetre cinsinden balatadaki aşınma grafiği 80
Şekil 4.46 B numunesi ağırlık cinsinden balatadaki aşınma grafiği 80
Şekil 4.47 A numune test öncesi ve sonrası balata ve disk durumları 81
Şekil 4.48 B numunesi test öncesi ve sonrası balata ve disk durumları 82

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Araçlardan kaynaklı trafik kazaları 3
Tablo 2.1 Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri 10
Tablo 3.1 Gri Dökme Demir işlemesinde Referans Degerler 40
Tablo 4.1 Kalıp Kumu Değerleri 53
Tablo 4.3 Sertlik Değerleri 55
Tablo 4.4 Sıcaklık Değerleri 56
Tablo 4.5 Kimyasal Değerler 56
Tablo 4.6 Ocak Girdileri 56
Tablo 4.7 Metalografik inceleme sonuçları 60
Tablo 4.8 Yüzey pürüzlülük değerleri 63
Tablo 4.9 Aşınma miktarı 64
Tablo 4.10 A numunesi balata rotor alıştırma sonrası performans 66
Tablo 4.11 A numunesi 100 ℃'deki Performans 66
Tablo 4.12 A numunesi 300 ℃'deki performans 66
Tablo 4.13 A numunesi 500 ℃'deki performans 67
Tablo 4.14 B numunesi balata rotor alıştırma sonrası performans 67
Tablo 4.15 B numunesi 100 ℃'deki Performans 68
Tablo 4.16 B numunesi 300 ℃'deki Performans 68
Tablo 4.17 B numunesi 500 ℃'deki Performans 68
Tablo 4.18 A numunesi test değerleri 78
Tablo 4.19 B numunesi test değerleri 78

SEMBOLLER LİSTESİ

Z	: Tekerleğe düşen yük
X	: Tepki kuvveti
F_x	: Çevre kuvvetleri
F_s	: Fren sürtünme kuvveti
r	: Yarıçap
M_t	: Moment
V	: Hız
F_c	: Yolun tepki kuvveti, tekerleğin yükü
e	: Tekerlek yükünün etkime noktasının eksenden uzaklığı
W	: İş parçası genişliği
Ls	: Kayma düzlemi uzunluğu
t1	: Deforme olamamış talaş kalınlığı
ϕ	: Kayma düzlemi açısı
t2	: Deforme olmuş talaş kalınlığı
γ	: Kesici takım talaş açısı
CE	: Karbon eşdeğeri
Ra	: Değerlendirilen profilin aritmetik ortalama sapması
Rz	: Profilin en büyük yükseklik değerleri ortalaması
Rq	: Değerlendirilen profilin ortalama karekök sapması
Rt	: Profilin en büyük yüksekliği

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

1.1 Giriş

Frenleme anında araç dinamiğini etkileyen en büyük unsurlardan bir tanesi fren kuvvetleridir. Çeşitli nedenler ile aracın sağ ve sol tekerleklerinde eşit miktarda frenleme kuvveti oluşmaması durumunda araç frenleme kuvvetinin güçlü olduğu yöne doğru çekme yapar. Kuvvet farklarının az olduğu durumlarda sürücü direksiyona kumanda ederek bu çekme durumuna karşı bir girdi oluşturarak aracın düz bir hat üzerinde yavaşlamasını sağlar. Ancak kuvvet farkının yüksek ve aniden oluşması halinde araç güvenliğini tehlikeye atacak durumlar oluşabilir.

Frenleme performansının iyi olabilmesi için absorbe edilen ısı miktarı ve absorbe zamanı az olmalıdır. Oluşan ısının belirli bir miktarı dış ortama yayılsada belirli bir miktarı fren parçalarında depolanır. Frende depolanan bu ısı hızlı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmazsa ve parçanın ısıl kapasitesinin üstünde depolanırsa rotor balata baskı yüzeylerinde belli bir süre sonra camlaşma, termal çatlaklar ve parlama gözlemlenmesi kaçınılmazdır (Ceyhun ve Bayrak, 2019).

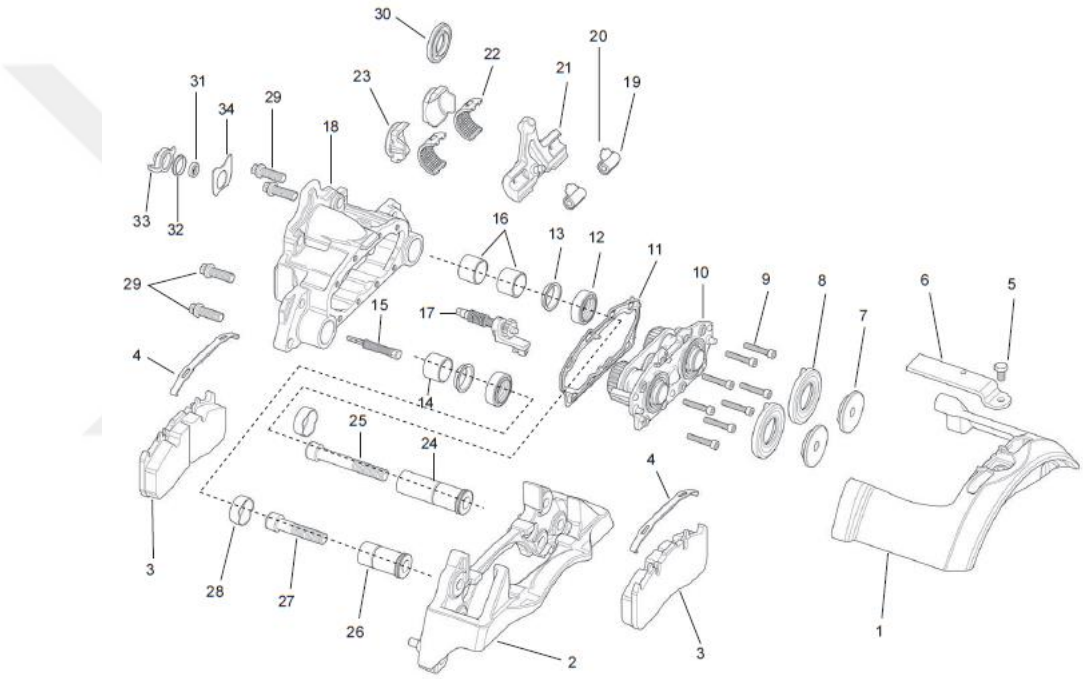
Fazla sıcaklık demir içerikli parçaların içeriğindeki karbonları yayılmasına izin vermekte ve camlaşmaya yol açmaktadır. Bu netice ile ses ve titreşim seviyesi arış göstermekte ve sürtünme kuvveti azalış göstermektedir. Disk yüzeyinin homojen olup olmaması, sürtünme seviyesine göre de değişiklik gösteren aşınma miktarına bağlıdır. Bu sebep ile frenleme gücü düşer ve rotor balata baskı yüzeylerinde termal çatlaklar meydana gelir. Bu kusurlar beraberinde frenleme gücünü kararsız hale getirir (Ceyhun, 2019).

1.2 Disk Fren Mekanizması

Bu tip frenlerde hava körüğü direk olarak kaliper gövdesine ve içerideki levyeye bağlıdır. Bu nedenle dışarıdan levyeli bir bağlantıya ihtiyaç yoktur. Fren frenleme ve

ayar yapma ana fonksiyonlarını yerine getirebilmek için, aşağıda görüldüğü gibi birçok alt bileşenden oluşur (Şekil 1.1).

Hava körüğü ve kaliper gövdesi arasındaki sızdırmazlık, körük ve kaliper üzerindeki keçeler ile sağlanır. Taşıyıcı, araç üzerine monte edilir. Fren diski, taşıyıcı parçasının köprülerinin arasında kalır. Taşıyıcı, fren balatalarını destekler. Kaliper, taşıyıcıya vidalanmış olan kılavuz pimler üzerinde kayar. Balatalar aşındıkça fren ayarı otomatik olarak yapılır.



Şekil 1.1 Freni oluşturan alt bileşenler (Meritor, 2009)

İki kılavuz pimi (14, 16), taşıyıcı (2) üzerine, kılavuz pimi cıvataları (15, 17) ile bağlıdır. Kaliper gövdesi (3), kılavuz pimler üzerine takılıdır ve bu pimler üzerinde kayar. Köprü (1), kaliper gövdesi (3) üzerine sabitlenmiştir ve dış balataya reaksiyon kuvvetini iletir. Gövde ve köprü, gövde üzerine çakılmış burçlar (12,13) üzerinde kayar. Kısa kılavuz pimine (16) denk gelen burç (13), frenleme sırasında sistemin esnemesine olanak sağlayacak şekilde ovaldir. Uzun kılavuz pimine (14) denk gelen

burçlar (12) ise daireseldir ve gövdenin pozisyonlanmasına yardımcı olur. Kılavuz pimleri, keçeler (10) ve kapaklar (18) ile dış ortamdan yalıtılmıştır.

Hava körüğü tarafından sağlanan kuvvet, levye geometrisi tarafından arttırılır. Bu sıkma kuvveti rulmanlar (20), makaralar (19), ayar cıvatası (36), pistonlar (37) ve piston kafaları (7) tarafından iç balataya iletilir. İç balata disk ile temas edip baskı uygulandığında, reaksiyon kuvveti kaliper gövdesini (3) ve köprüyü (1), kılavuz pimler üzerinde kaydırarak dış balatanın fren diskinin diğer tarafı ile temas etmesini sağlar. Balataların disk üzerinde yarattığı sürtünme kuvveti, aks üzerinde sabitlenmiş olan taşıyıcı (2) tarafından karşılanır. Levye üzerindeki kuvvet azaltılarak, sıkma kuvveti azaltılır ve frenler serbest bırakılır. Geri getirme yayı(48) sıkma mekanizmasını ve levyeyi başlangıç konumuna getirir. Balatalar çalışma boşluğuna geri döner. Fren diskindeki salgı ve poyra rulman boşlukları, dış balatanın (4) bir miktar itilmesine ve çalışma boşluğuna dönmesine yol açar (Güntay 2019).

Tablo 1.1'de anlaşılacağı üzere araç kaynaklı hatalarda fren sistemi 1.sıradadır (KGM, 2020; MEB, 2013).

Tablo 1.1 Araçlardan kaynaklı trafik kazaları (KGM 2020)

TAŞIT KUSURLARI	Yerleşim Yeri		Yerleşim Yeri Dışı		TOPLAM	
	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%
Kusurlu Fren	418	10,91	118	11,22	536	10,98
Lastik Patlaması	37	0,97	117	11,13	154	3,15
Kusurlu Rot	87	2,27	36	3,43	123	2,52
Far Kusuru	63	1,64	55	5,23	118	2,42
Kusurlu Direksiyon	58	1,51	32	3,04	90	1,84
Kapı Kusuru	34	0,89	38	3,62	72	1,47
Arka Lambalar	25	0,65	31	2,95	56	1,15
Aks Kırılması	14	0,37	32	3,04	46	0,94
Dönüş Sinyali	28	0,73	14	1,33	42	0,86
Şaft Arızası	10	0,26	12	1,14	22	0,45
Makas Arızası	9	0,23	11	1,05	20	0,41
Cam Sileceği Arızası	11	0,29	3	0,29	14	0,29
Şanzıman Arızası	2	0,05	7	0,67	9	0,18
Diğer	3037	79,23	545	51,86	3582	73,34
TOPLAM	**3833**	**100**	**1051**	**100**	**4884**	**100**

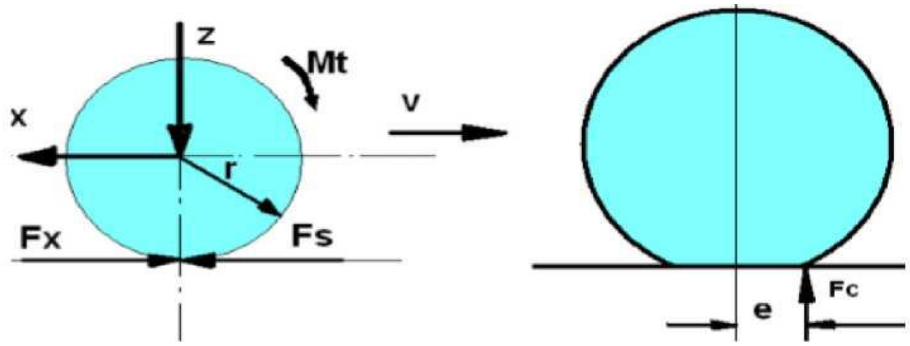
1.3 Frenleme Sırasında Meydana Gelen Durumlar

Isının parçadan hızlı bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmazsa ve maksimum seviye üzerinde birikim gerçekleşirse rotor balata baskı yüzeyinde belli bir süre sonrasında camlaşma, parlama ve termal çatlaklar oluşmasına yol açar. Fazla sıcaklık parça üzerinde bulunan karbonların serbest kalmasını sağlar ve camlaşmaya sebebiyet verir. Bunun sonucunda sürtünme kuvveti düşer,ses ve titreşim artış gösterir. Sürtünme seviyesi ile aşınma miktarı orantılı bir şekilde birbirinden etkilenir. Homojen olmayan rotor balata baskı yüzeyine aşınma sebep olur ve bunun sonucunda frenleme kuvveti düşüş gösterir. Aynı zamanda rotor yüzeyinde termal çatlaklar meydana gelir. Bu problem rotorların dizaynında değişiklik yapılarak ya da alternatif malzemeler kullanılarak çatlakların önlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır (Zuber ve Heidenreich, 2006).

1.4 Frenlemeye Etki Eden Durumlar

Durma mesafesini tanımlamak gerekirse; Frenlemenin başlangıcından itibaren başlayan ve aracın tamamen durmasına kadar oluşan mesafeye durma mesafesi adı verilir. Araçlarda frenlemenin performansını etkileyen ana etkenler ise; araç lastiğinin kalitesi, frenin mekanik ve hidrolik donanım durumu, aracın ağırlığı, tekerleklerdeki frenleme performansı, fren sisteminin dizaynı, frenleme sistemine etki edebilecek çevre şartları, aşınma durumu, toplam yük, yolun durumu, hava koşulları, frenleme ayarı, tekerler ile yol arasında oluşan sürtünme kuvveti ve tutunma katsayı olarak verilebilir. Fren üretimi yapan şirketler frenleme mesafesi için seri üretim öncesi bir çok teste tabi tutulmaktadırlar. Bu testlerden en önemlileri yol tutuş deneyleridir. Ama tabi üretilen her araç için bu deney yapılması imkansızdır, çünkü bu testler zaman alan testlerdir, seri üretimi aksatma durumları olacaktır. Frenleme anında frenlemeyi etkileyen parametrelerin sayısı çok fazla olduğundan frenleme ve durma mesafesini ve frenlemenin ne kadar verimli olduğunu sayısal bir veriye ulaşmak çok zordur. Bu sebep ile bazı kabuller yapılmıştır. Şekil 1.2'de anlaşılacağı üzere matematiksel modeller frenleme mesafesi ve fren verimi konusunda yapılan birçok çalışma sonrasında,

yavaşlama ivmesi, tepki zamanı, taşıt hızı, yol-tekerlek arasındaki sürtünme katsayısı gibi farklı unsurlara ilintili olarak geliştirilmiştir (Bayrakçeken ve Düzgün, 2005).



Şekil 1.2 Frenleme sırasında meydana gelen kuvvetler (MEB, 2013)

Z = Tekerleğe düşen yük

X = Tepki kuvveti

F_x = Çevre kuvvetleri

F_s = Fren sürtünme kuvveti

r = Yarıçap

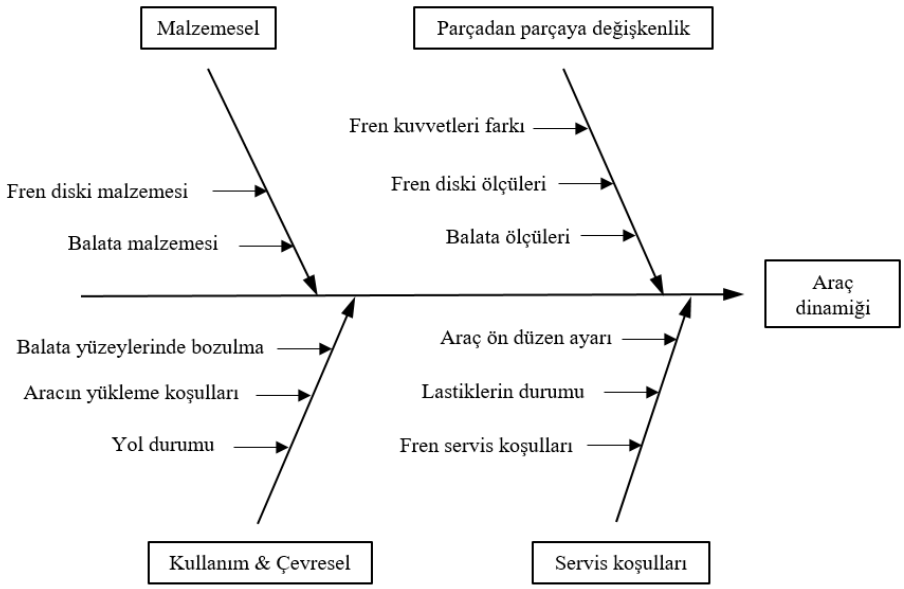
M_t = Moment

V = Hız

F_c = Yolun tepki kuvveti, tekerleğin yükü

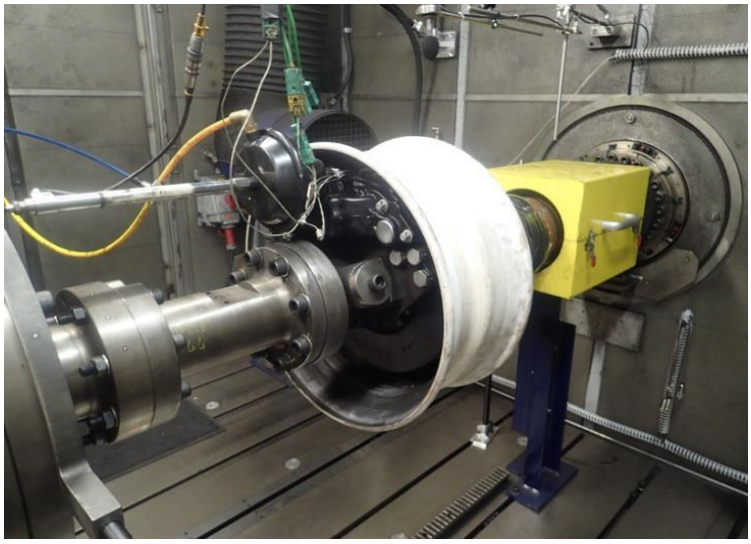
e = Tekerlek yükünün etkime noktasının eksenden uzaklığı

Araç dinamiğine etki eden faktörler kaynaklarına göre Şekil 1.3 ile gösterildiği biçimde gruplanabilir.

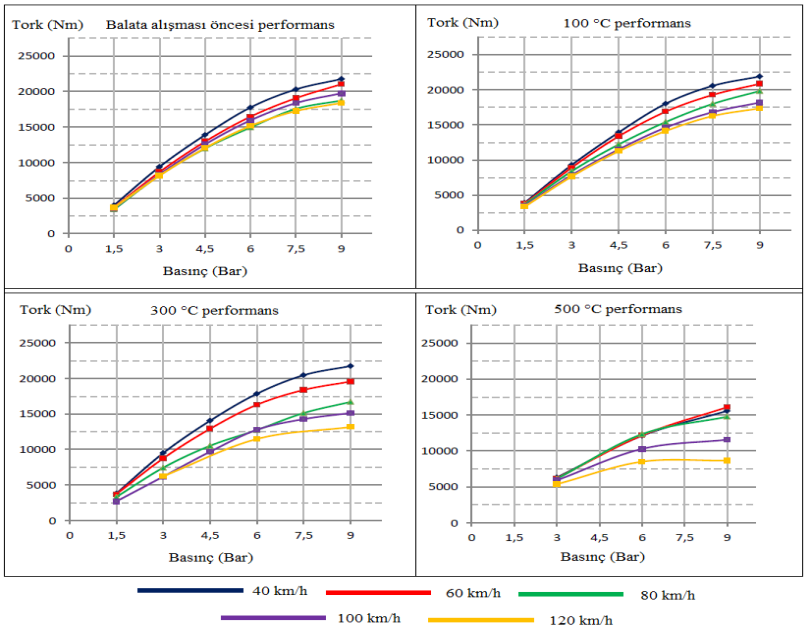


Şekil 1.3 Araç dinamiğine etki eden faktörler

Frenleme torku balata ve fren diski arasındaki sürtünme kuvveti ile doğru orantılı olduğu için, balata ve fren diski malzemelerinin üretim lotları arasındaki değişkenliği fren kuvvetlerini etkileyen temel etkenlerden birisidir. Balata ve fren diski birlikte sürtünme çifti olarak anılır. Sürtünme çiftinin performans karakteristiğini belirlemek için en sık kullanılan yöntem ISO26865 global performans testi standardıdır. Bu standart, Şekil 1.4 ile bir örneği verilen tekerlek dinamometresi yardımı ile sürtünme çiftinin çeşitli sıcaklıklar ve hızlardaki frenleme performansını inceler. Şekil 1.5 üzerinde görüldüğü gibi fren performansı araç hızı yükseldikçe ve sıcaklık arttıkça azalmakta, fren basıncı yükseldikçe artmaktadır (Güntay, 2019).



Şekil 1.4 Dinamometre test ünitesi görüntüsü



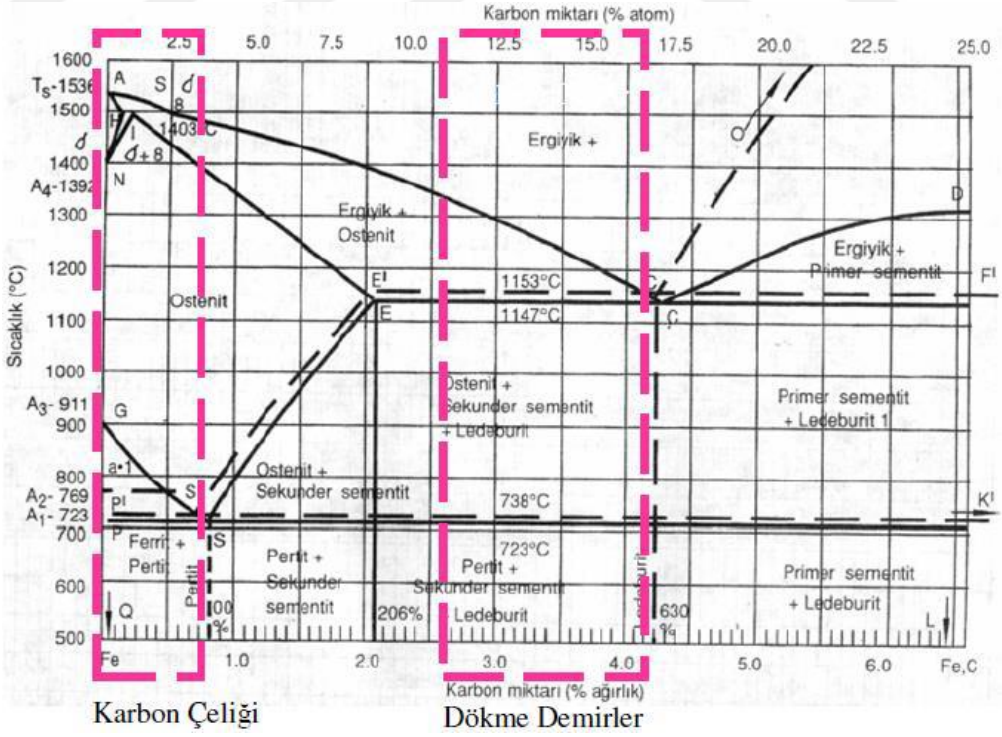
Şekil 1.5 Fren performansının hız, sıcaklık ve basınç ile değişimi

BÖLÜM İKİ
DÖKME DEMİRLER

2.1 Dökme Demirlere Genel Bakış

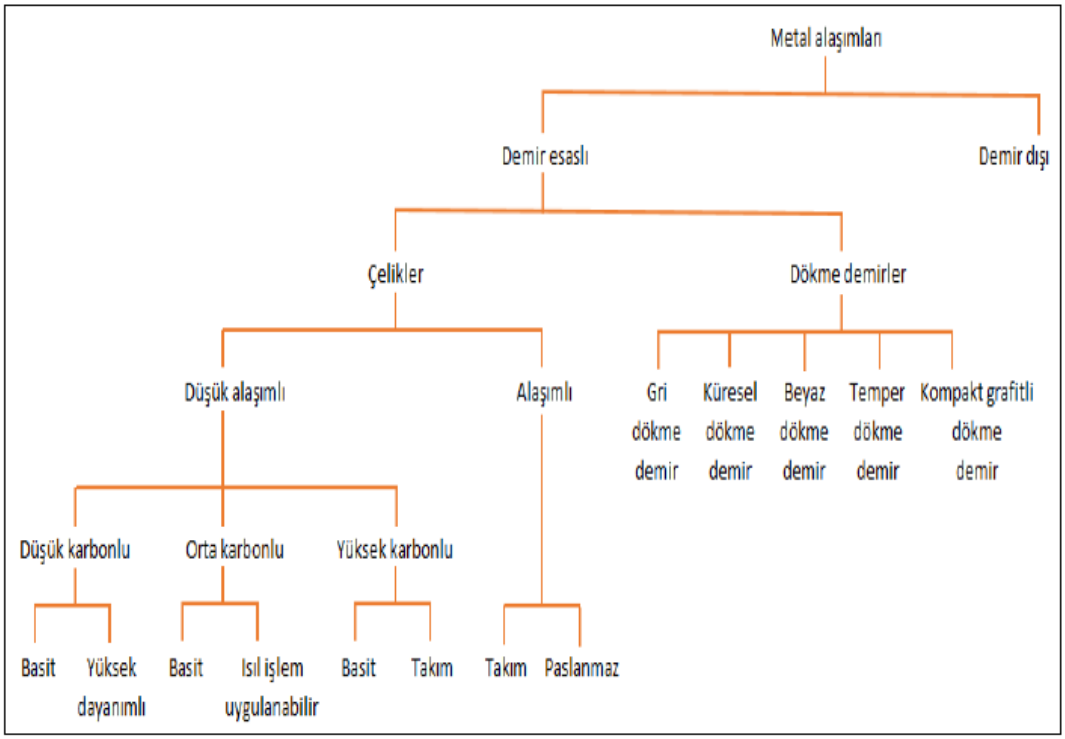
Karbon miktarı ağırlıkça %2,14'ü aşan demir alaşımı grubuna dökme demirler denir. Fakat pratikte dökme demirlerin birçoğu ağırlıkça %3 - %4,3 arası karbon ve bunun yanı sıra diğer birtakım alaşım elementlerini de içerebilir. Çoğu dökme demir tiplerinde karbon, grafit şeklinde gözlemlenir. Mikroyapıları ve mekanik özellikleri kompozisyon ve ısıl işlem uygulamalarına bağlı değişkenlik gösterir.

Dökme demir; ergime noktası çeliğin ergime noktasından daha düşük ve dökme demirlerin akışkanlığı çelikten daha iyi, , dolayısıyla dökülebilirlik özelliği daha üstün olan, genelde kum kalıba döküm metodu ile elde edilen ve daha az hammadde maliyeti bulunan dökme demir tipidir. Şekil 2.1'de çeliklere ait karbon oranının dökme demirlere göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 2.1 Demir-Karbon denge diyagramı (Akman, 2006)

Demir esaslı döküm malzemelerinin sınıflandırılmasına yönelik detaylar Şekil 2.2'de tanımlanmıştır.



Şekil 2.2 Demir esaslı alaşımlara ait sınıflandırma (Callister and Rethwisch, 2011)

Dökme demirlerin mekanik davranışları üzerinde, grafit parçaları ile birlikte ana faz yapısı da aktif rol oynamaktadır. Matris (ana yapı) esas olarak çelik olup ferritik, perlitik, östenitik ya da martensitik yapıda bulunabilir. Dökme demirlerde ana faz ve karbon şekli, kimyasal bileşime, soğuma hızına ve maruz kaldığı ısıl işlem türüne göre değişkenlik gösterebilir. Çoğunlukla iş parçası olarak kullanılan dökme demirlerin kimyasal kompozisyonları Tablo 2.1'de gösterilmektedir (Cavcar, 1996).

Tablo 2.1 Dökme demirlerin kimyasal bileşimleri (Cavcar, 1996)

	%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Fe
Beyaz D.D	2.5-4.0	0.4-1.6	0.15	0.4	0.3-0.8	Kalan
Gri D.D.	2.0-4.0	En az 1.0	0.2	0.6	En çok 1.0	Kalan
Temper D.D.	2.0-3.0	0.9-1.8	En çok 0.2	En çok 0.2	0.25-1.25	Kalan
Küresel D.D.	3.2-4.1	1.8-2.8	En çok 0.03	En çok 0.1	En çok 0.8	Kalan

Aralarında belirli değişkenlikler olmakla beraber beyaz dökme demir dışındaki dökme demirlerin genel özellikleri aşağıdaki gibidir:

a) Titreşim sönümleme kapasiteleri fazladır,
b) Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır,
c) Parçalarda tufal bulunmaz,
d) Basma kuvvetine karşı dirnçleri çekme kuvvetine göre fazladır,
e) Korozyona karşı dirençleri çeliklere göre daha iyidir,
f) Aşınma dirençleri yüksektir,
g) Ergime sıcaklıkları çeliklerden düşüktür,
h) Erimiş durumdayken kalıpları dah iyi doldururlar,
i) CNC işleme ve işlenebilirlik özellikleri iyidir,
j) Üretim yöntemleri nispeten ucuzdur,
k) Kimyasal bileşimlerinin geniş aralıkta olması da birbirlerine yakın özellikler gösterirler,
l) Dökme demirler de çelikler gibi aynı ısıl işlem uygulanabilir.

(Öztürk, 2016).

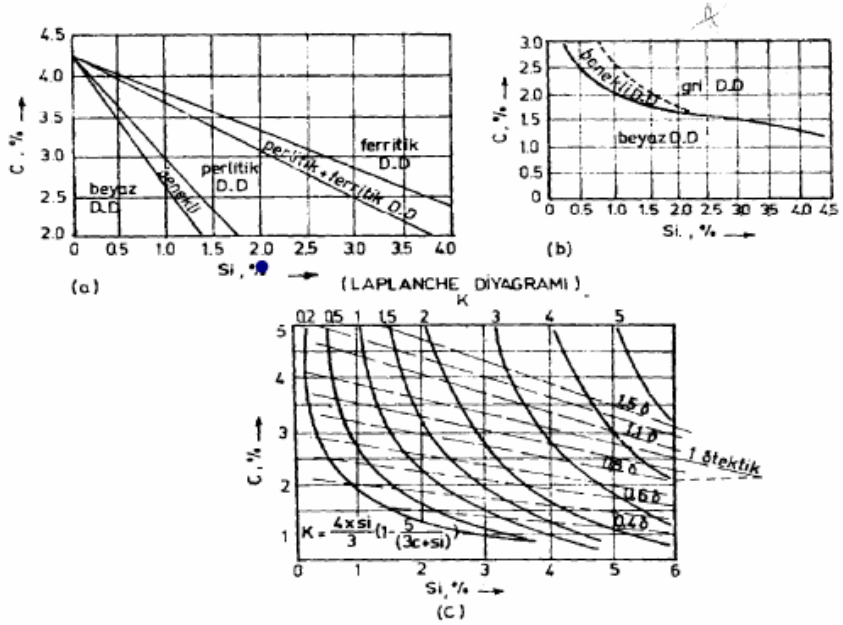
2.2 Döküm Yöntemleri

Dökme demirler genellike kum kalıba döküm yöntemi ile üretilirler. Aşağıda döküm yöntemleri kısaca belirtilmiştir.

1. Kum kalıba döküm
2. Hasas döküm
3. Alçı kalıba döküm
4. Seramik kalıba döküm
5. Kalıcı kalıba döküm
6. Basınçlı döküm
7. Savurma döküm

gibi yöntemler döküm teknolojisinde kullanılmaktadır (Aran, 2007).

2.3 Kimyasal Bilesim ve Grafit Oluşumu



Şekil 2.3 Laplanche Diyagramı(Çavuşoğlu, 1992)

Kimysal bileşimin dökme demir özelliklerine ve kullanımına etkisi, büyük ölçüde karbon ve silisyum elementlerine ve bu iki elementin grafit oluşumu üzerindeki etkisine bağlıdır.

Dökme demirlerde karbon, sementit (demir karbür) fazında yer alabilir ve bu durum, birleşik karbon olarak da adlandırılır. Bunun yanı sıra karbon, serbest grafit şeklinde de meydana gelebilir. Buna bağlı olarak grafitleşme adı verilen olay, ya serbest karbonun çökelmesi ya da bileşik durumundaki karbonun serbest grafite dönüşmesi olarak tanımlanabilir. Demir karbür kararlılığını azaltan grafit oluşturucu silisyum vb. elementler grafitleşmeyi teşvik eder. Şekil 2.3'te yer alan Laplanche diyagramında görüldüğü gibi, 'C' yada 'Si' elementlerinden birisi durağan oranda bırakılıp, diğerinin oranı yükseltilirse dökümler sırasıyla, diğer dökme demir oluşumlarına maruz kalacaktır. Bu olaya bağlı olarak, karbon ve silisyum oranlarında değişiklikler yapılarak gri veya beyaz dökme demir elde edilebilir. Fakat düşük soğuma hızlarında diyagramdaki doğrularda sola kaymalar, daha yüksek soğuma hızlarında ise sağa kaymalar meydana gelecektir. Pratikte lamel dökümlerden üretilen halkalar(pistonların) yüksek silisyum ve karbon içerirken, buna karşın lamel dökümden üretilen kesitleri kalın ve kocaman makinaların parçalarında belirtilen elementlerin yüzdesi daha az olabilir. (Çavuşoğlu, 1992).

2.4 Dökme Demir Çeşitleri

Günümüzde kullanılan genel dökme demir çeşitleri aşağıda sıralanmıştır ;

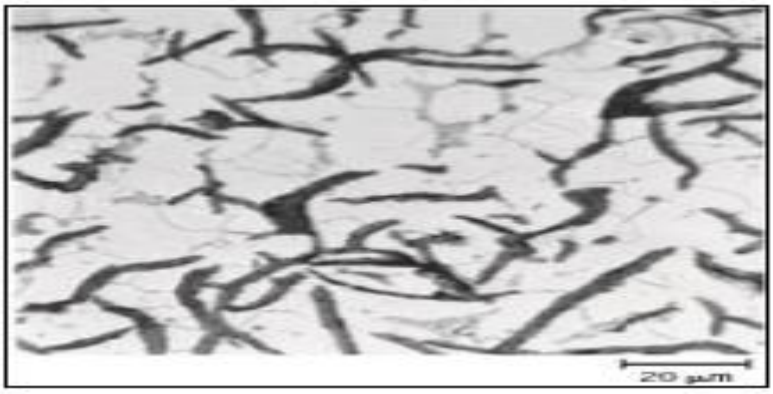
1) Lamel (gri) grafitli dökme demir
2) Küresel grafitli dökme demir
3) Beyaz dökme demir
4) Temper dökme demir
5) Benekli dökme demir
6) Çil uygulanmış dökme demir

2.4.1 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demir

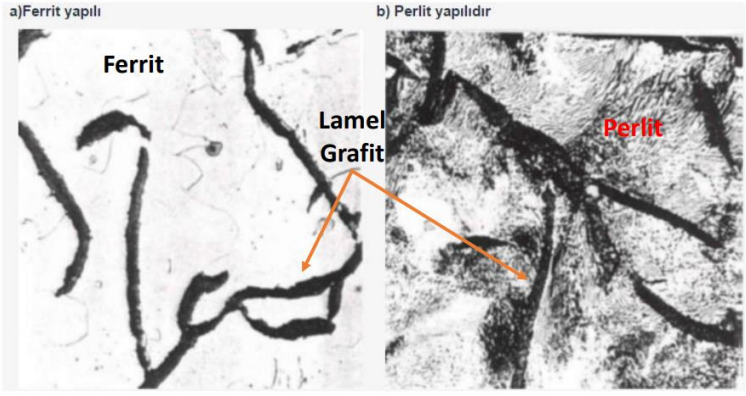
Gri (lamel grafitli) dökme demirlerde karbon oranı ağırlıkça %2,5 - %4 ve silisyum oranı ise %1 - %3 aralığında değişiklik gösterir. Bu dökme demir tiplerinde grafit lamelleri ferrit veya perlit matris fazı içine gömülü halde ve kuru yaprak şeklinde

bulunmaktadır. Ferritik matris içerisinde, lamel grafit yapısı içeren gri dökme demire ait mikroyapı görüntüsü aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.4). Gri dökme demirlerin ismi, grafit lamellerin kırılması sonrasında gri dökme demirin kırık yüzeylerinde meydana getirdiği gri renkli görünümden gelmektedir (Callister and Rethwisch, 2011).

Gri dökme demirlerin uygulama alanları oldukça geniştir. Süneklik ve uzama özellikleri düşüktür. Gri dökme demirler ötektik sıcaklığa ulaştığında, östenit fazının katı eriyik halinde içerebileceği miktardan daha fazla karbon içermesi nedeniyle bileşimindeki fazla karbon, lamel grafit olarak çökelme yapar (Akman, 2006).



Şekil 2.4. Lamel grafitli dökme demir iç yapısı (Callister and Rethwisch, 2011)



Şekil 2.5 Ferrit(a) ve ve perlit(b) yapılı dökme demir(Öztürk, 2016)

2.4.1.1 Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Özellikleri

Lamel grafit yapılı demirlere ait özellikler aşağıdaki gibidir;

a) **Mukavemet**

Gri dökme demirlerin basma kuvvetleri çekme kuvvetlerine göre daha iyidir. Hatta bu oran yaklışıl 3 – 5 kattır.Burulma mukavemetleri de yaklalık 1.2 – 1.4 daha fazladır. Kesme mukavemetleri de çekme mukavemetinden 1 – 1.6 daha fazladır. Yorulma mukavemetleri de çekme mukavemetinin %35 – %50 arasında değişmektedir (Öztürk, 2016).

b) Uzama

Lamel grafitli dökme demirlerin uzama miktarları oldukça düşüktür. Lamel yapılı olması çentik etkisini arttırır ayrıca grafit şekil değişimini zorlaştırır.

c) Büyüme

Gri dökme demirler büyük grafit yapıları ,400°C yi aşan sıcaklıklarda oluşabilir. Bu durumda sementit, ferrit ve grafit halinde ayrışır (hacim büyümesi), iç yapının biraz daha rahatlaması ile oksijen diffüzyon yolu ile yapıya girer ve bu durumda ana yapı oksitlenir. Manganez ve krom elementleri parçalanmayı engeller bunuda sementiti sabitleştirerek yapar.

d) Korozyona dayanıklılık

Gri dökme demirlerin korozyona karşı dayanıklılığı iyidir.

e) İşleme yetenekleri

İşlenebilme yetenekleri iyidir, zira gri dökme demirdeki grafit lamelleri uzun talaş teşekkülünü engeller ve katı yağlayıcı madde gibi görev görür.

f) Titreşimleri yutma kabiliyeti

Titreşimleri absorbe etme kabiliyetleri yüksektir. Bunu sağlanyanda lamellerin titreşimlerin iletimini engellemesidir. Gri dökme demir çubukları, çelik çubukları gibi herhangi bir etki yapıldığında çınlama yapmazlar (Weissbach, 1998).

g) Elektrik direnci

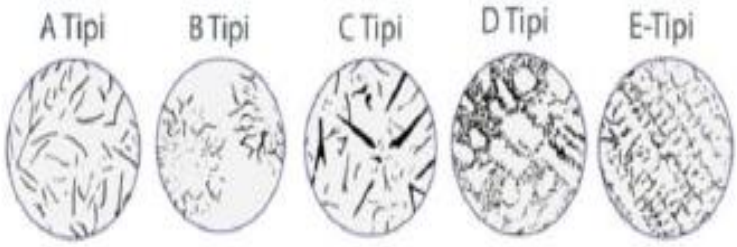
Elektrik dirençleri oldukça yüksektir.Bu sebep ilede belli uygulamalarda direnç malzemesi olarak kullanılırlar.

h) Aşınma dayanımı

Yüksek aşınma direncine sahip olan gri dökme demirler; piston halkası, silindir kovanı vb. parçaların üretimlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Öztürk, 2016).

2.4.1.2 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirlerin Grafit Tipleri

DIN EN ISO 945-1 standardında yer alan, gri dökme demirlerde bulunan grafit şekilleri A, B, C, D ve E olarak beş temel grupta toplanmıştır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Gri dökme demir grafit tipleri

a) A tipi grafit:

A tipi grafit, yapıda homojen halde dağılmış ve birbirinden bağımsız farklı yönlere yönelen yapraklar şeklinde oluşur. Nispeten düşük soğuma hızlarında ve uygun şekilde aşılanan dökme demirlerde A tipi grafitin oluşmasının yanı sıra, bu grafit tipinin olduğu dökme demirlerde düşük seviyelerde aşırı soğuma da gözlemlenmiştir. Bu grafit tipinin sağlamış olduğu yüksek mekanik özellikler, dökme demirin yapısında en çok tercih edilen grafit tipi olmasına da katkı sağlamıştır. Sadece ötektik katılaşma aralığında A tipi grafit oluşumu gözlemlenebilir.

Belirgin özellikleri ise aşağıdaki gibidir;

1) Mikroyapıda kalın, uzun ve ayrıca levha veya yaprak şeklinde yer alan grafitler gözlemlenir.
2) Ana yapı içerisinde homojen halde dağılmış olarak görülür.
3) Grafit grupları 1 - 4 arasında değişir. Parça boyutları ve soğuma süreleri, bu boylar üzerinde etkendir.
4) Küresel ve vermiküler grafitli dökme demirlere oranla ısıl ve elektriksel iletkenlikleri çok yüksektir.
5) Çekme ve basma özellikleri, element ilavesi veya ısıl işlem gibi çeşitli müdahalerle arttırılabilir.
6) Lamel boyutu arttıkça malzemede yumuşaklık artar.

7) İşlenebilirlik özellikleri çok iyidir. (Grafitin kendini yağlama özelliği bu kapsamda büyük bir avantaj sağlar.)



Şekil 2.7 A tipi Lamel Grafit

b) B tipi grafit:

Çiçeksi grafit (rozet grafit) olarak da isimlendirilen B tipi grafitler, ötektik bileşime sahip dökme demirlerde, ayrıca A tipi grafite oranla daha yüksek aşırı soğuma oluştuğu durumlarda gözlemlenir. B tipi grafit çoğunlukla ince kesit alanına sahip parçalarda veya kalın kesit alanına sahip parçalarda ise yüzeye yakın yerlerde gözlemlenir. Ayrıca yeterince aşılama olmadığı zamanlarda da B tipi grafit ortaya çıkabilir. Özellikle seryum (Ce) gibi toprak alkali metallerin ilaveleri ya da fosfor (P) gibi yapı bileşenleri, B-tipi grafit oluşumunu tetikler. En belirgin özellikleri şunlardır;

1) B tipi grafit, rozet şeklinde grafit yumakları halinde mikroyapıda gözlemlenir.
2) Yüzeyden içeriye doğru ilerledikçe normal şartlarda A tipi grafit görülmesi istenmişse, yukarıdaki faktörler nedeniyle dağınık halde B tipi grafitlerine rastlanabilir.
3) İstemli olarak B tipi grafit üretilemez.

4) Ana yapıdaki mevcut A tipi grafit yapısına ve miktarına göre mekanik davranışlarında değişkenlik görülebilir.
5) Ana yapının mukavemetini ve aşınma dayanımını düşürücü özelliğe sahiptir.
6) Homojen dağılmaması nedeniyle mekanik özelliklerde bölgesel bozukluklar meydana getirebilir.
7) Bu tipe sahip dökme demirler iyi aşılanmalıdır.



Şekil 2.8 B tipi Lamel Grafit

c) C tipi grafit:

Bir diğer adı kiş grafit (kish graphite) olan C tipi grafitler, yalnızca yüksek karbon eş değerine sahip, ötektik üstü dökme demirlerde meydana gelir. Primer katılaşma esnasında çökelen bu grafit tipi dökme demirin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkiler ve ayrıca talaşlı imalat sonrası yüksek pürüzlülüğe sahip bir yüzey ortaya çıkmasına da sebep olabilir. Yüksek grafit miktarı olmasından dolayı dökme demirin ısıl iletkenliğini yükselten bu grafit tipi, dolayısıyla pratikte yüksek ısıl iletkenlik istenen alanlarda sıklıkla kullanılabilir. Krom (Cr) ve mangan (Mn) gibi bazı alaşım elementlerinin yapıya ilavesi, C tipi grafitler oluşumunu teşvik eder. Belirgin özellikleri ise aşağıdaki gibidir;

1) Mikroyapıda kiş adı verilen kalın grafit yaprakları şeklinde gözlemlenir.
2) Kiş grafitler yapının ısıl geçirgenliğinin yükselmesini sağlar. Dolayısıyla malzemenin termal şoka dayanım özelliğini oldukça yükseltir.
3) Elastisite modülü azalır.
4) Çok büyük boyutlu kiş grafit parçacıkları malzemenin darbe dayanımını ve çekme değerlerini düşürür.
5) İşlenmiş yüzeylerin görünümünde bozukluklara sebebiyet verebilir.

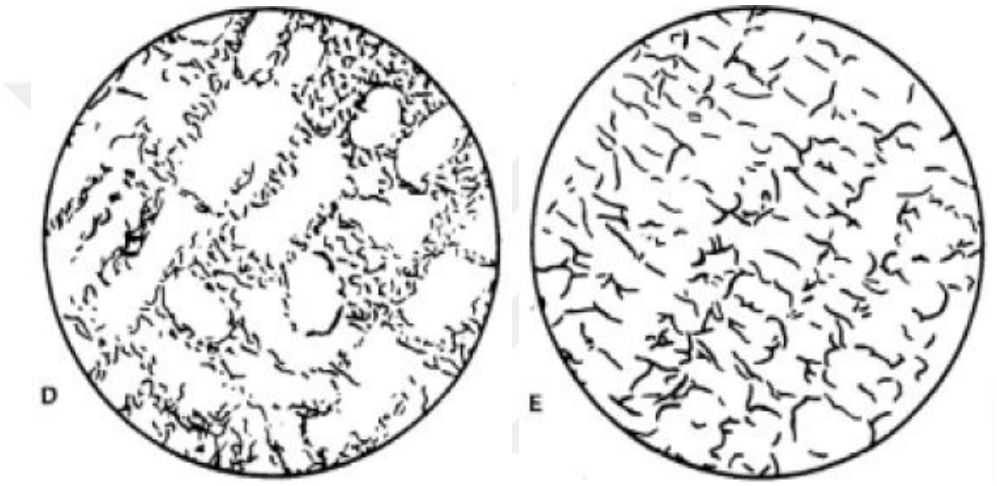


Şekil 2.9 C tipi Lamel Grafit

d) D tipi ve E tipi grafit:

D ve E tipi grafit yapıları, karbür (sementit) oluşturacak düzeyde olmamasına rağmen nispeten yüksek aşırı soğumanın olduğu durumlarda ortaya çıkar. Dendritler arasında toparlanmış şekilde gözlemlenen bu yaprak şeklindeki grafit yapıları, D tipinde rastgele yönelimlere sahip halde, E tipinde ise belirli doğrultularda yönlenmiş halde yer almaktadır. D ve E tipi grafitler her ne kadar ayrı ayrı belirtilse de, döküm parçasının her kesidinde A tipi grafitin çok zor elde edilebildiği ve özellikle kesit alanı ince olan parçalarda D ve E tipi grafit A tipiyle beraber gözlemlenebilir (Öztürk, 2016). Belirgin özellikleri ise aşağıdaki gibidir (Öztürk, 2016).

1) Mikroyapıda küçük ve düzenli halde dizilen yapraksı grafitler halinde gözlemlenir.
2) Malzemenin ince kesitli yerlerinde, bazı durumlarda da yapıda "çil" adı verilen formlarda sementitlere rastlanır.
3) İşleme özellikleri parçanın et kalınlığına göre değişkenlik gösterebilir.
4) A tipine göre elastisite modülleri daha yüksektir.
5) Matris yapısı genel olarak perlit fazındadır.
6) Sertlik, çekme ve basma dayanımları nispeten yüksektir.



Şekil 2.10 D ve E tipi Lamel Grafit

2.4.1.3 Gri (Lamel Grafitli) Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

Lamel grafitli (gri) dökme demirlerin genel uygulama alanları;

1) Motorlarda silindir blokları
2) Gömlekler (Silindirlerin)
3) Disk ve Kampana
4) Basınçlı birleştirme takımları
5) Yataklar,
6) Fırın aletleri (Akman, 2006).

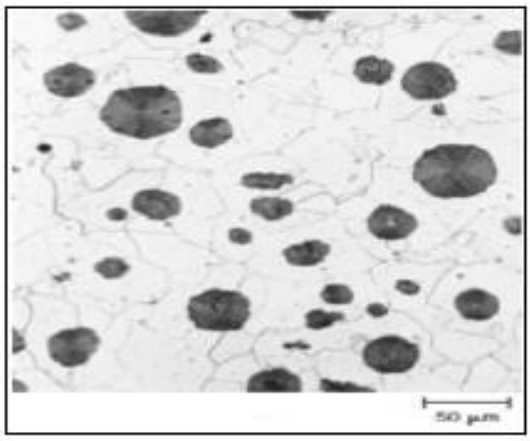
Perlitik ana yapılı lamel grafitli (gri) dökme demirin yüzeyi indüksiyon yolu ile ya da alevle sertleştirilebilir.

GG10 ile GG20 arası lamel grafitli (gri) dökme demirler, aşınma etkisi altında olmayan ve titreşimlerin çok iyi sönümlenmesi istenilen makine fondamentleri, gövdeleri, çerçeveleri ve yatak blokları gibi parçaların imalatında kullanılırlar. GG25 – GG40 ise, daha fazla aşınma söz konusu olduğunda örneğin silindir blokları, motor gövdeleri, dişli çarklar ve makinaların taşıyıcı ayakları için tercih edilirler. Kokil veya sürekli döküm ile de ince bir ana yapı sağlanabilir. Bu çeştlerin başlıca kullanılma alanları için basınçlı döküm ve boru üretimi örnek gösterilebilir (Weissbach, 1998).

2.4.2 Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) 1970'li yıllardan itibaren üretimi artmakla beraber mukavemet ve tokluk özelliklerinin yüksek olması, ayrıca ısıl işlemlerinin daha kısa sürmesi gibi avantajlar bu malzemelerin kullanımını teşvik etmiştir (Koçak vd., 2014).

Döküm işlemi öncesi, dökme demire düşük miktarlarda magnezyum (Mg) veya seryum (Ce) eklenmesi, farklı tiplerde mikroyapıların oluşmasına ve bununla birlikte farklı mekanik davranışların sağlanmasına neden olur. Küresel grafitli dökme demirlerde de grafitleşme gözlemlenir, ancak temel fark grafitlerin lamel şeklinde değil küresel şekilde oluşmasıdır. Bu şekilde elde edilen dökme demirlere küresel ya da sfero dökme demir adı verilir. Küresel grafit parçacıklarını gösteren matris fazı örneği Şekil 2.11'deki gibidir (Callister and Rethwisch, 2011).



Şekil 2.11 Sfero dökme demirin iç yapısı (Callister and Rethwisch, 2011)

Genellikle yaş veya kuru kum kalıba dökülen küresel grafitli dökme demirlerin bileşimi saflığın fazla olması haricinde gri dökme demir ile aynıdır. Magnezyum (Mg) ilave edilmiş eriyik metalin hemen oksitlenebilme özelliği sebebiyle küresel grafitli dökme demirlerin döküm işlemi öncesinde kum kalıbın nem oranı kontrolü daha dikkatli yapılmalıdır. Aşı kullanımı için birden fazla metotlar uygulanabilir. En yaygın olanları pota içinde aşı kullanım işlemi ve kalıpta aşılama işlemidir. Pota aşılama işleminde potaların en alt kısmında 10 ile 15 cm eriyik bulunurken aşı malzemesi eklenebilir. Kalıpta aşılama işleminde, aşılama malzemesi parçalar halinde bir miktar yolluk bölgesine yerleştirilir. Böylelikle magnezyum buharı, sıvı metalin üstünden yükselirken aynı zamanda sülfürü uzaklaştırır.

Döküm sonucunda sferolaşmanın gerçekleşip gerçekleşmediğine bakmak amacıyla testler yapılması gereklidir.Aşağıda belirtilmiştir :

1. Mikroyapı analizi (Faz analizi vb) yapılır.
2. Standartlara uygun test cihazlarında yapılan mekanik testler (süneklik analizi) yapılır.
3. Ultra-sonik test

Sfero dökme demir yukarıda da ifade edildiği üzere;

1. Lamel dökme demirlerden, mukavemet, yüksek aşınma ve korozyon dayanımı anlamında dahi iyidir.

2. Döküm durumunda %6, ısıl işlemli durumda %20'ye kadar sünekliğe sahiptir.

3. Maliyeti düşük olmasının yanı sıra basit imalat yöntemleriyle kompleks şekiller elde edilebilir.

4. Çelikten daha iyi işleme özellikleri bulunmaktadır.

2.4.2.1 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

1) Küresel grafitli dökme demirler madencilik ve metalurji sektöründe kullanılmaktadır. Kırıcı gövdeleri, pompa gövdeleri, curuf potaları, v.b.,

2) Otomobillerde; krank milleri, akslar, pistonlar, Çaftlar, çeşitli diskler,

3) Makina parçaları; hidrolik pres, dövme presleri kafa, v.b.,

4) İnşaat sektöründe; kreyn parçaları, beton karıştırıcı parçaları, yol inşaat makinaları,

5) Güç aktarım parçaları; volan, dişli kutuları, diferansiyel dişli kutuları,

6) Güç üretimi; kompresör gövde ve kafaları, su türbinleri dökme parçaları, v.b. küresel grafitli dökme demirden üretilmektedir (Karamusaoğlu, 2009 ve Güleyüpoğlu, 1997).

2.4.3 Beyaz Dökme Demirler

Kimyasal kompozisyonlarında %1'den daha düşük silisyum (Si) ihtiva eden dökme demirlerdir. Beyaz dökme demirlerin adı, daha hızlı soğuma ortamında Şekil 2.12'de görüldüğü üzere karbonun, grafit şeklinde ayrışamaması ve oluşan sementit içerisinde hapsolması sebebiyle iç yapıda rengi beyaz olan kırık yüzeyler oluşturmasından gelir. Kalın kesitli parçalarda yüksek soğuma hızı, yüzeyde ve yüzeye yakın yerlerde gerçekleştiği için yüzeye yakın bölgeler beyaz dökme demir olarak gözlemlenir. Fakat iç bölgelerde daha yavaş soğuma hızı görülmesi nedeniyle gri (lamel grafitli) dökme demir yapısı gözlemlenir (Callister and Rethwisch, 2011).

Belirgin özellikleri aşağıdaki gibidir;

1) Yüksek sıcaklık uygulamalarında özellikle 650 °C gibi kritik sıcaklık bölgelerinde başarılı şekilde kullanılabilirler. Sebebi;sertlğine bu açıdan bakıldığında bu sıcaklıklarda adi 'C' ve düşük alaşıma sahip çeliklerde olduğu gibi kayda değer bir miktarda azalma olmaz.

2) Çarpmaya karşı dayanımı azdır.

3) İşlenebilirlik yeteneği iyi değildir.

4) Kullanım sahaları kısıtlıdır.

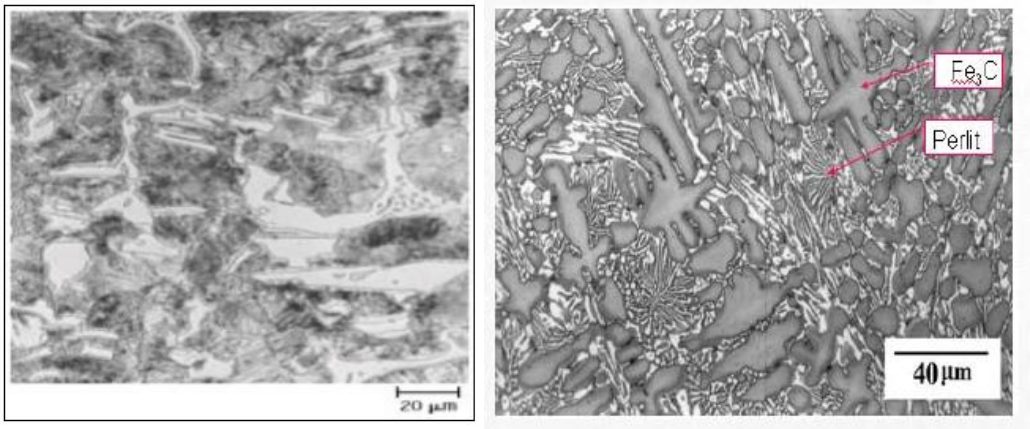
2.4.3.1 Beyaz Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

1) Değirmenlerin astarları (Çimento vb)

2) Öğütme işleminde kullanılan bilya

3) Kalıplar(Seramik)

4) Konvayor parçalarıdır (Akman, 2006).

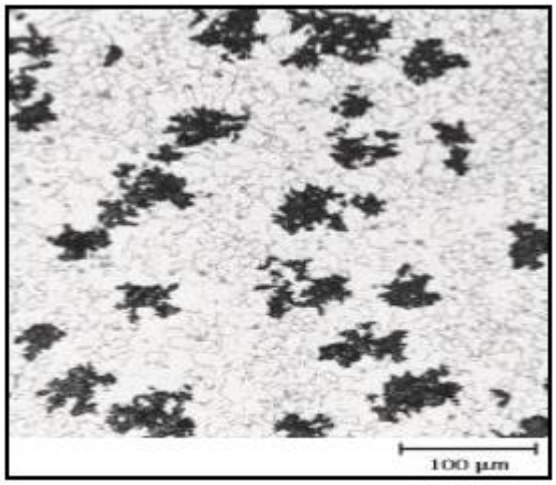


Şekil 2.12 Beyaz dökme demirin iç yapısı, (x400), (Callister and Rethwisch, 2011)

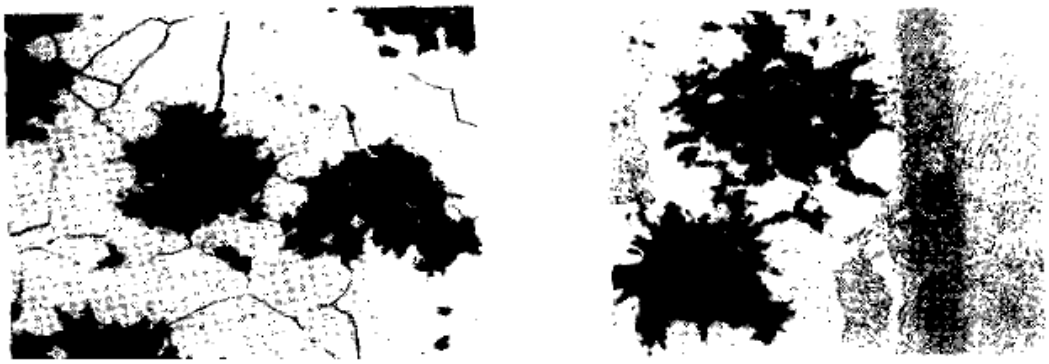
2.4.4 Temper Dökme Demirler

Belirli kompozisyonlarda beyaz dökme demirin ısıl işleme (temperleme) tabi tutulmasıyla üretilen sünek bir dökme demir türü olan bu dökme demirler, sfero dökme demirler ile aynı özellik göstermektedir. Bu dökme demirin matris içeriği ferritik, perlitik ya da temperlenmiş martenzitik halde bulunabilir. Temper dökme demirin özellikleri; küresel grafitli dökme demirlere benzerken aynı zamanda darbeye karşı iyi dayanım, süneklik ve işlenebilirlik özellikleri gösterir. Temper dökme demir; yapısında grafit olmayan sert ve kırılgan dökme demirin(beyaz) temperle olarakta bilinen ısıl işleme tabi tutularak karbürlerinin ayrıştırılması sonucunda meydana gelen, yüksek mukavemet ve işlenebilirliği olan ve mikroyapı içeriği ferrittik ve temper karbondan oluşan döküm türüdür. Grafit nodülleri düzensiz toplanan bu grafit türü, sfero dökme demirlere hemen hemen aynı özellik gösterir.

Bu dökümün ana içeriğinde ferritik, perlitik yada temperle olmuş martenzitik yapılar yer alır. Şekil 2.14 (a)'da görülen siyah (ferritik) döküm(temper) Şekil 2.13 (b)'de görülen beyaz (perlitik) döküm(temper) ise tek kademede tavlama meydana gelir. Siyah(Ferritik) döküm için birinci kademede, [2 – 36saat] aralığında ve 940(°C) sıcaklıklta uygun ortamda ısıl işlem uygulanır. Sonra birden 750(°C) 'ye birden soğutulur Ardından 2. kademede, kontrollü soğutma hızlarında 750 - 680 (°C) sıcaklık aralığında östenit fazı karbonları bütünüyle temperik ve ferrittik karbonuna dönüşür. Beyaz (perlitik) döküm(tempe) için ise tek kademede ve diğerine benzer olarak 2 - 36 saat sürede 940 °C'de ısıl işlem uygulanır. 870 (°C')ye yavaşça soğutulan malzeme, sonrasında havada soğutulur. Perlit fazına sahip temper döküm yapılacak temperleme ve sertlik kazandırma işlemleriyle martenzit yapılı dökümde gerçekleştirilir.



Şekil 2.13 Temper dökme demirin iç yapısı, (x150), (Callister and Rethwisch, 2011).



Şekil 2.14 a. Siyah Temper Dökme Demir b. Beyaz Temper Dökme Demir

2.4.4.1 Temper Dökme Demirlerin Kullanım Alanları

1) Otomotivd kullanımları şasi,diferansiyel tekerler, direksiyon, süspansiyon, diferansiyel vb parçaları,

2) Tren yayları,

3) Boru birleştirme parçalarında kullanılmaktadır (Akman, 2006).

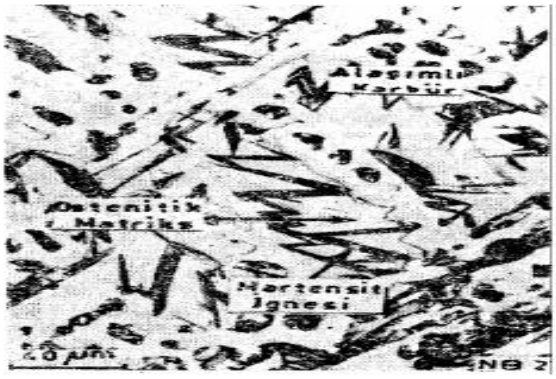
2.4.5 Benekli Dökme Demirler

Beyaz dökme demirler yüksek soğuma hızı şartlarında, gri dökme demirler ise nispeten düşük soğuma hızı şartlarında meydana gelmektedir. Döküm parçanın soğuma hızının beyazdan griye geçiş aralığına denk getirilirse, gri ve beyaz bir arada ortaya çıkabilir. Bu şekilde üretilen parçaların kesilmesiyle beyaz arka planda gri adacık şeklinde kesit görüntüleri oluştuğundan, bu dökme demirlere benekli dökme demirler adı verilir (Akman, 2006).

2.4.6 Çil Uygulanmış Dökme Demir

Normal şartlarda gri dökme demir halinde katılaşma şartlarında kompozisyon içeren, ancak belirli alanları beyaz dökümün durumuna gelecek şartlarda hızlı soğutma işlemi (çil uygulanmış) uygulanan dökümlere çil işlemi uygulanmış dökümler denir. Kesitli yüzeyleri incelendiğinde yüksek katılaşma hızına maruz kalan bölgelerde beyaz, normal katılaşma hızlarına maruz kalan alanlarda lamel yapıya sahip dökme demir meydana gelir.

İç yapısı tok olan ve dış tarafı sert halde bulunan çil işlemi görmüş dökümler; konvayör roleleri, vinçlerin tekerlek kısımları vb parça imalatlarında sıklıkla kullanılır. Şekil 2.15‘te görüldüğü gibi yüksek oranda nikel (Ni) eklemesiyle, beyaz ve çil uygulanmış dökme demirdeki sert martenzitik yapı görülebilmektedir (Çavusoğlu, 1992 ve Akman, 2006).



Şekil 2.15 Çil Uygulanmıs Dökme Demirin İç Yapısı (Akman, 2006)

2.4.7 Alaşım Elementlerinin Dökme Demirler Üzerindeki Etkisi

Nikel(Ni) ve Silis (Si) ve gibi alaşım elementleri grafit oluşturucu özellik sağlarken; krom (Cr) ise karbür oluşturucu ve korozyon dayanımını arttırıcı özellik sağladıkları bilinmektedir.

Karbon miktarındaki artışın dökme demirler üzerindeki etkisi aşağıdaki gibidir;

1. Sertliğin yüzeyden aşağı doğru derinliğini arttırdığı,
2. Parça sertliğini arttırdığı,
3. Parçn kıralganlığının arttırdığı
4. Soğuma sırasında grafitleşmeyi teşvik ettiği görülmektedir.

Silisyumdaki artış;

1. Ötektik karbon oranını azaltır.
2. Katılaşma sırasında grafitleşmeyi teşvik eder.
3. Sertliğin yüzeyden aşağı doğru derinliğini azaltır.
4. Sertlik negatif yönde etkilenir.
5. Martenzit yapıda perlit meydana gelmesini sağlar.
6. Martenzitin illk oluşum sıcaklığını (M_s) arttırır.
7. Sıcaklığın fazla olduğu durumlarda soyulmayı pozitif etileyebilir..

Mn (Manganez) ve sülfür ise malzemede;

1. Sertliğin yüzeyden aşağı doğru derinliğini arttırırlar.
2. Mns değerinin etki durumunu azaltırlar.
3. Manganın fazlası sülfür ile etkileşime girerek östenit fazını kararlılaştırır.
4. Sertleştiricisi rolü üstlenir.
5. Aşınma dayanımını azaltır.(sülfür)

Fosfor;

1. Grafitin yumuşak olmasını sağlar.
2. Sertliğin yüzeyden aşağı doğru derinliğini azaltır.
3. Alaşım eklenen dökme demirlere negatif etkiye neden olur.

Krom;

1. Karbür oluşturucudur.
2. Korozyon dayanımını arttırır.
3. Yüksek sıcaklıklarda stabiliteyi sağlar.
4. %3'e kadar, sertliğe etki etmez.
5. %10'u aşması durumunda, mukavemet ve sertlik arttırıcı etki sağlar.

Nikel;

1. Grafit oluşturucu özelliği vardır.
2. Perlit mukavemetini yükseltir.
3. Sertleşebilirliği yükseltir.

Molibden;

1. Sertliğin yüzeyden aşağı doğru derinliğini arttırırlar.
2. Pertlit yapısıını kırılganlaştırır.
3. Perlitin meynda gelmesini önler.
4. Sertleşebilirliği yükseltir

BÖLÜM ÜÇ
İŞLENEBİLİRLİK

3.1 Giriş

İşlenebilirlik tanımı yapmak gerekirse kısaca parçanın CNC – Torna tezgahı ile işlemeye verdiği tepkidir. Parçadan talaş alma faktörlerine göre işlenebilirlik kabiliyeti de değişir. İşleme koşulları aynı olacak şekilde işlenen parçaların karşılaştırılması yapılabilir.

Metal parçaların işlenebilirlik açısından aşağıda belirtilen maddeler dikkate alınır.

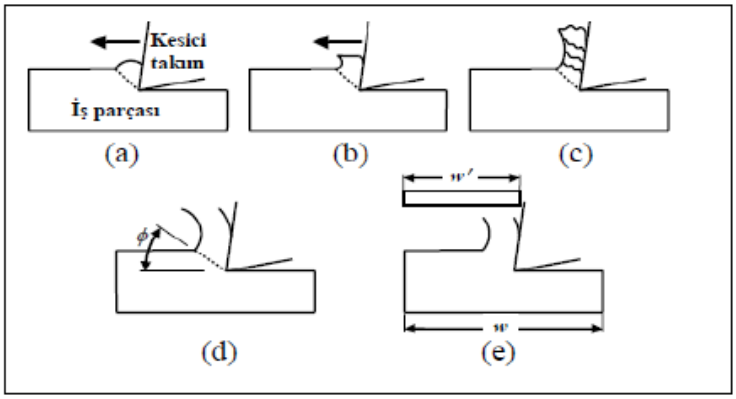
1. Metal işleme yüzeylerinin iyi kalite olması
2. Kontrolün kolay olabilmesi için taşların iyi kırılması gerekir
3. Malzemenin bir kısmını kesebilmek için düşük eneji kullanımı
4. Takımların bilenmesinde metal kesiminin maximum olması
5. Kesim maliyetinin olabildiğince düşük olması

Genel olarak baktığımızda metal bir parçanın işlenebilirliği bir çok faktöre bağlıdır, bunlar kesme faktörüne, en çok etkili olan takımın malzemesine, işleme sırasında kullanulan sıvıya ve bunun içeriğine, parça sertliği, metalografik yapısına vb faktörler etkilidir (Akman, 2006).

En yalın ifadeyle üretimde talaş kaldırma, işlenen parça için istenilen ölçü, şekil ve yüzey pürüzlülüğünü sağlayabilmek için ucu sivriltilmiş bir kesici takım yardımı ve bir gücün etkisiyle iş parçasından katman şeklinde malzeme kaldırma faaliyetidir. Bu faaliyet ile birlikte elastik ve plastik şekil değişimi ile bağlantılı olarak iş parçası ve kesici takım arasında ısı oluşumu, kesici takımın ucunda aşınma, talaşın parçadan kırılarak atılması, iş parçası yüzeyinde sertleşme, yüzey kalitesinin değişimi gibi durumlar gerçekleşir. Talaşın kırılarak parçadan uzaklaşabilmesi için iş parçasının sertliğinin kullanılan kesici takımın sertliğinden düşük olması ve kesici takıma verilen kuvvetin de şartlara uygun olması gerekmektedir. Talaş oluşumu plastik şekil

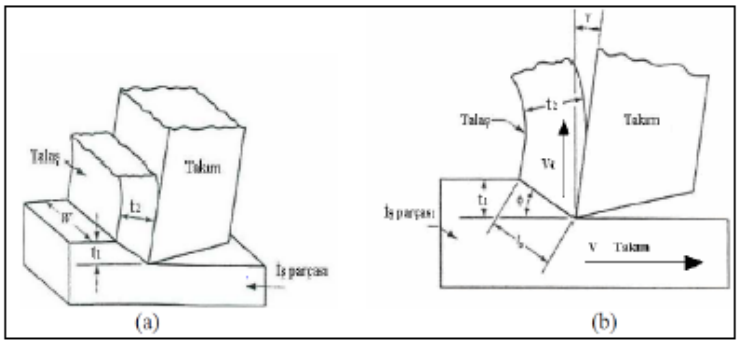
değiştirme işlemi ile doğrudan bağlantılı olup kesici takımın iş parçası üzerindeki teması sonucunda iş parçasında deformasyon yaratmasıyla ortaya çıkar ve talaş kesici takımın talaş yüzeyi bölgesinin üstünden geçerek atılır. Talaşlı imalat sırasında gerçekleştirilen kesme işlemi ile ortaya çıkan talaş oluşum safhaları Şekil 3.1'deki gibi;

a) Kesici takımın iş parçasına dalması,
b) Yığılma olşumu,
c) Talaşın akması,
d) Talaşın parçadan kopması,
e) Oluşan talaş uzunluğu gösterilmektedir (Ay, 2013).



Şekil 3.1 Talaşın oluşum safhaları (Ay, 2013).

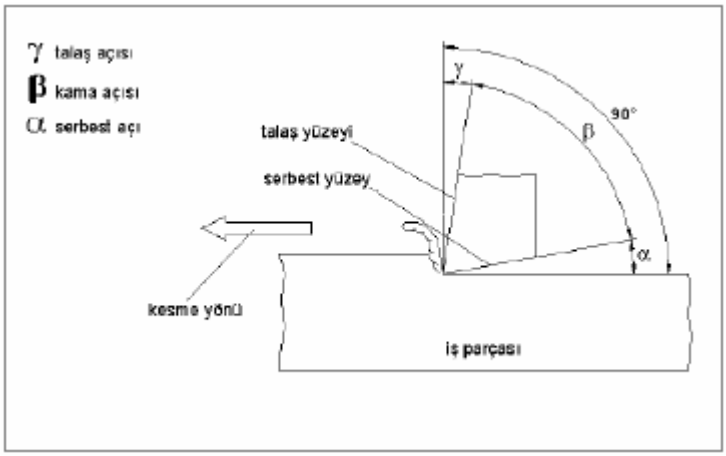
Şekil 3.2'de talaş oluşumu ile ilgili faktörler gösterilmektedir (Karamusaoğlu, 2009).



Şekil 3.2 Talaş oluşumu (Karamusaoğlu, 2009)

W: İş parçası genişliği
t1: Deforme olamamış talaş kalınlığı
t2: Deforme olmuş talaş kalınlığı
ls: Kayma düzlemi uzunluğu
ϕ: Kayma düzlemi açısı
γ: Kesici takım talaş açısı

Kesici takım üzerinde ġekil 3.3' teki gibi üç açı bulunmaktadır. Sert ve gevrek malzemelerde düşük talaş açıları, yumuşak malzemelerde küçük kama açısı ve takımda kırılma riskini azaltmak için düşük serbest açısı seçilir (Apakhan, 2006).



Şekil 3.3 Kesici takım üzerindeki açılar (Apakhan, 2006).

3.2 İşlenebilirliğe Etki Eden Faktörler

3.2.1 Malzemelerin Kimyasal Yapısı

Malzemelerin ana yapısını oluşturan elementlerin işlenebilirliğe olumlu ve olumsuz yönde etkileri olabililmektedir. Çelik malzemeleri düşünürsek ve çeliklerin ana elementlerinden olan karbonun etkisine bakıldığında, % 0,1 – 0,3 aralığında karbon miktarındaki artış relatif kesme hızını orantılı olarak azda olsa arttırır. %0,3 – 0,9 aralığında sıcak haddeleme işlemine uğramış, dövme yada normalizasyon işlemlerine uğramış halde karbondalki artışa bağlı olarak kesme kızı az bir oranda düşmekte fakat

tavlama işlemi uygulandığında artmaktadır. Sertliği 300HB üzerinde su verme işlemi uygulanmış ise karbon miktarındaki değişiklik kesme hızına etki etmemektedir.

Manganez oranı % 0,25 – 2 aralığında, relatif kesme hızı olumsuz etkilenmektedir. Fosfor oranı % 0 – 0,15 aralığında, işlenebilirliği arttırmakta yani relatif kesme hızı artmakta. Kükürt % 0 – 0,3 aralığında pozitif yönde etkilemekte iken silisyum % 0 – 2 aralığında çok bir etki gösterememektedir. Krom % 0 – 1,10 aralığında aynı orantıda negatif etki göstermekte ve nikel % 0 - 5 aralığında, negatif olarak çok fazla etkilemektedir. Molibden % 0 – 0,75 aralığında, aynı orantıda negatif yönde orta seviyede etki göstermektedir (Akman, 2006 ve Akün, 1978).

3.2.2 Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Çoğu malzemede kopma mukavemeti ile sertlik arasında bir orantı vardır. Bu iki malzeme özelliğinin parça işleme becerisi arasında da bir bağlantı vardır. Bundan yola çıkarak yapıln araştırmalarda ve testlerde işleme kabiliyeti ile kopm mukavemeti veya sertlik arasında ters orantı vardır. Tabi sertlik ve kopma muvakemeti aynı olan iki parçanın işleme performansları farklı olabilir.

Parçanın sünek olması işleme performansını arttırmaz. Aslında sünek parçalar işlenirken kopan talaşın takıma yapışma riski yüksektir ve buda takımın körelmesini kolaylaştırır. Tabi ayrıca parça sert ise takım daha çabuk aşınır. Bu durumda sünek ve sert yapı arasında bir yapıa sahip malzemelerde işleme performansı açısından daha uygundur.

Buna verilebilecek en uygun malzeme çelik olabilir. İçeriğinde az karbon bulunan çelikler sünek bir yapıya sahiptir ve bunların işleme performansı kötüdür. İçeriğinde karbon miltaro %2'den yüksek olan çelikler sert bir yapıya sahiptir ve işleme performansları düşüktür.

İçeriği yaklaşık %0.2 karbon içeren çelikler işleme performansı en iyi olan çeliklerdir. Demir dışı hafif metal parçalar genel olarak işlemesi kolaydır. Örnek

verirsek aleminyum işlemesi çok kolay ve çeliğe göre kabiliyeti daha iyidir (Akman, 2006).

3.2.3 Isıl İletkenlik

İşleme sırasında ısının talaş alınan alandan bertaraf edilmesi yani ısıl iletkenlik işlenebilirlik açısından önemlidir. İşlenebilirlik açısından bakıldığında, yüksek değerde olan ısıl iletkenlik çoğunlukla fayda sağlar. Isıl iletkenlik ayrıca takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne de etki eden bir özelliktir.

3.2.4 Malzeme Üretim Metodu Etkisi

Sıcak haddeleme, normalizasyon, tavlama (yumuşatma tavlaması, gerilim giderme tavlaması), sertleştirme ve temperleme çelikler için üretim durumlarıdır. Sıcak haddelenmiş iş parçaları yüksek sıcaklık sebebiyle içeriğindeki düzenli olmayan dağılım bulunmaktadır. Bu düzensiz dağılım boşluk ya da sapmalara neden olmaktadır. Bu yapı da işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir. Normalizasyon işlemi ile birlikte malzemenin homojen bir yapıya dönüşmesi sağlanmaktadır. Soğuk şekillendirme işlemi daha uygun yüzey kalitesi, yığıntı talaş oluşumunun ve çapağın ortaya çıkmasının düşürülmesi açılarından olumlu etki yapar. Soğuk şekillendirme uygulanmış malzemelere çoğunlukla, normalizasyon ya da yumuşatma tavlaması işlemleri uygulanır.

3.2.5 İş Parçası Yüzey Kalitesi ve Boyutlarının Etkisi

İşlenecek hammaddeye verilen yüksek toleranslar, istenen boyutsal değere ve yüzey kalitesine ulaşılması için daha fazla talaşlı imalat faaliyeti gerçekleştirilmesini gerektirmektedir. Bu da takım ömrü ve işlenebilirliğe olumsuz etki etmektedir. Eğer malzemeye ön işlem yapılırsa işlenebilirliğe olumlu etkisi olmaktadır (Karamusaoğlu, 2009).

İş parçası dışında kesme hızı, kesme kuvveti, ilerleme hızı, takım geometrisi, takım malzemesi, kesme sıvısı gibi etkenler de işlenebilirliği etkilemektedir.

3.2.6 Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri hem kesici takım hem de iş parçasına talaşlı imalat sırasında şekil değiştirmeye neden olup takım ve parça yerleşimini değiştirirler ve baktığında işleme performansı etkilenir. İşlenebilirlik yeteneği konusunda tanımlanmış kesme koşullarında en ideal durum kesme kuvvetinin iş parçasına en az etki ettiği durum kabul edilir (Akman, 2006).

3.2.7 Kesme Sıvısı

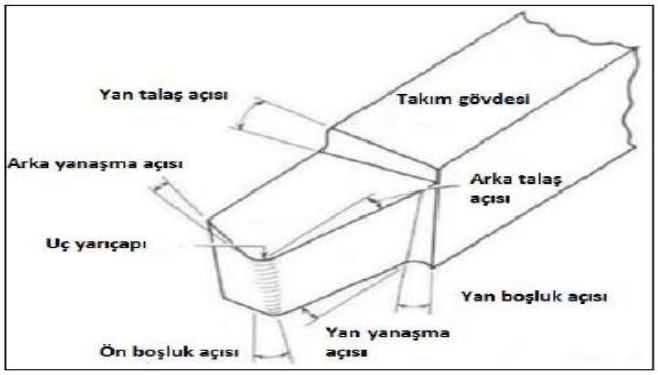
İşlenebilirliği etkileyen bir başka unsur da kesme sıvısıdır. Talaşlı imalat sırasında soğutma ve yağlayıcı özelliklerinden dolayı sürtünmeyi azaltarak işlenebilirliğe olumlu etkileri olmaktadır. Kesme sıvısının sürtünmeyi azaltma etkisinden dolayı kesici takım aşınması önlenmiş olur. Kesme sıvısı seçerken kritik olan konu talaş kaldırmaya ait yöntem ve iş parçasına ait malzemedir. Kesme sıvısı seçilirken kesici takım ve iş parçası arasında yeterli teması gerçekleştirmesi, talaşı uzaklaştırmak için debisinin ve basıncının uygun olması önem taşımaktadır. Kesme sıvısı türlerinden en çok kullanılanı yüksek soğutma yetenekleri nedeniyle emülsiyon kesme sıvılarıdır (Akman, 2006).

Si3N4 kesici takımın sürtünme ile birlikte AISI321 paslanmaz çeliği aşındırması sırasında kullanılan soğutucu yağın kesici takım aşınmasına olumlu anlamda etkisi olması üretimde tercih sebebi olmaktadır (Uçal, 2019).

3.2.8 Kesici Takım Geometrisi

Talaşlı imalatta iş parçasının istenilen şekilde kesilebilmesi kesici takım uç bölgelerine farklı açılar oluşturulmakta ve bununla beraber keskin kenarlar meydana getirilmektedir. Keskin köşeler de iş parçasından talaş alma işlemini gerçekleştirmeye

yarar. Tornalama işlemi için örnek bir kesici takım geometrisi Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Takım uç açıları (Özocakcıoğlu, 2016)

3.2.9 Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takım malzemesi metal işlenebilirliğinde büyük önem arz etmektedir. İş parçasının talaşlı imalatı sırasında seçilen işleme parametreleri neticesinde kesici takım ile iş parçası arasında gerçekleşen sürtünme, basınç, ısı ve aşınma gibi durumların gerçekleşmesine karşılık kesici takım için doğru malzeme kullanılması önemlidir. Talaşlı imalatta ideal bir kesici takımın malzemesinden beklenen sertliğinin yüksek, işlenebilmesi iyi, tokluğu fazla, aşınmaya ve ısıya dayanıklı olması beklenir. Takım malzemesi seçilirken iş parçasına ait malzeme, işleme tezgahının özellikleri, kesici takım geometrisi, fiyatının uygunluğu, soğutma sistemi ve yüksek hızlarda bile sertliği aynı kalan kızıl sertlik gibi özelliklere bakılır. Talaşlı imalatta metaller için kullanılan takım malzemeleri ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

1. Sert Metaller: Eğilmeye karşı dayanımı düşük olan bu kesici takım malzemesi yüksek kesme hızlarında kullanılan aşınma ve sıcaklığa dayanıklı yapıya sahiptir.
2. Hız Çelikleri: Düşük kesme hızlarında kullanılırlar ve eğilme dayanımları iyidir.
3. Düşük Alaşımlı Takım Çelikleri: Bu kesici takım malzemeleri karbon takım çeliklerine benzer özellikler taşımaktadır.

4. Karbon Takım Çeşitleri: En yüksek ulaşabildikleri 200°C - 250°C sıcaklık aralığında ve 10 m/dak'kaya olacak kadar kesme hızları mevcuttur. Talaşlı imalatta bu tür metal parçalar çok nadir kullanılırlar.

5. Elmaslar: Fiyatları diğer takım malzemelerine göre pahalıdır. Diğer takım malzemelerinin etkin olamadığı koşullar için kullanılırlar. Kısıtlı uygulama alanları bulunmaktadır.

6. Seramikler: Kullanım sahaları kısıtlı olan bu takım malzemesi genellikle ince talaş kaldırma faaliyetlerinde kullanılırlar (Akman, 2006).

Kesici takımlarda kullanılan seramik malzemelerden biri olan Si3N4 yüksek sertlik, kabul edilebilir termal şok direnci ve kaplamalarla beraber kimyasal aşınmaya direncin iyi olması sebebiyle talaşlı imalatta tercih edilirler (Uçal, 2019).

Seramikler içerisinde SiAlO'lar yüksek sıcaklıklarda iyi performans isteyen şartlarda kullanılırlar (Kılıç, 2014).

3.2.10 Takım Ömrü ve Kesme Hızı

Talaşlı imalatta işlenebilirlik için önemli bir unsur da takım ömrüdür. Takım ömrü çoğunlukla, talep edilen şartlara uymak için ihtiyaç olan kesme süresi ya da iki bileme arasındaki aktif çalışma süresi olarak belirlenmektedir. Üretimde rekabet edebilmenin yolu kesici takım seçiminin doğru yapılması ve bununla birlikte maliyetlerin azaltılmasıdır. Takım ömrünü değerlendirebilmek için başta takım aşınması olmak üzere işlenmiş parçanın yüzey pürüzlülüğünün değişimi, kesme sıcaklığı değişimi ve işleme tezgahının kesme kuvvetlerinin artması sonucu iş parçasındaki sonuçlarındaki boyutsal sapmalar incelenmektedir (Ay, 2013).

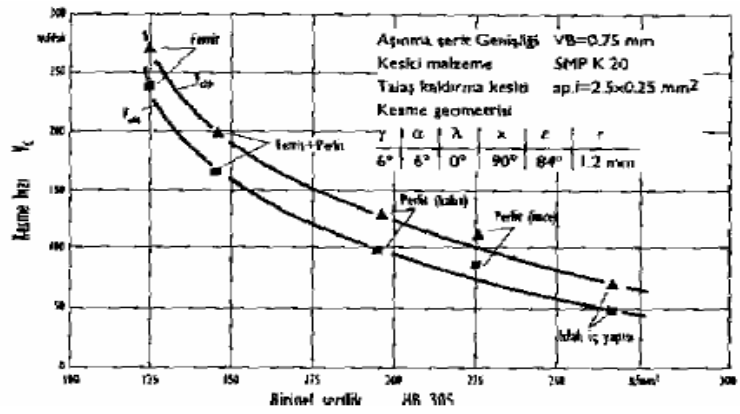
Üretim hızının en verimli şekilde sağlanabilmesi için kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi işleme parametrelerinin takım ömrünü uzatacak şekilde belirlenmesi talaşlı imalatta önem arz etmektedir. Üretim hızını etkileyen diğer faktörler ise tezgah gücü (talaş iletim oranını etkiler), yüzey pürüzlülüğü (ilerleme miktarını kısıtlar), tezgahın rijitlik durumu (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğini

sınırlar) ve talaş derinliğini sınırlayan talaş kaldırma sabitliğidir (Karamusaoğlu, 2009).

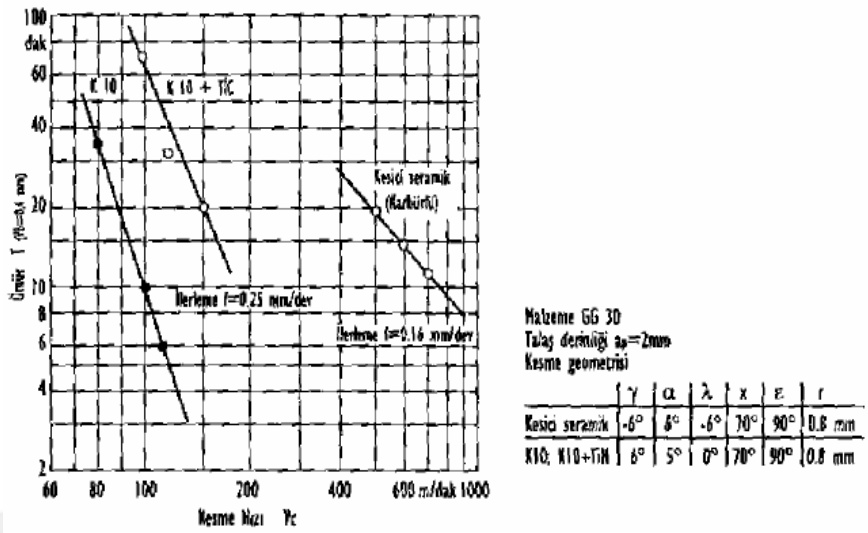
3.3 Lamel Grafitli Gri Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

Gri dökme demirler diğer dökümlere göre işleme yönünden daha farklı özellikler gösterir. Grafit yapısından kaynaklı oluşan düzensizlikler, talaş alma sırasında parçada yırtılma ve kesme durumları meydana gelir. Bununla beraber kesme işlemi için uygulanan kuvvetin azaldığı gözlemlenmiştir. Parça işlemesi sırasında talaş alınan yüzey kenarlarında ve takımın kesen kısmında döküntüler meydana gelmektedir. Lamel yapıya sahip dökme demirler lamel yapıya sahip çelik malzemelere benzerler ama süneklikleri azdır. Bu sebep ile parça işlemelerinde kısa talaş alma oluşur. İmalat yönteminin seçiminde, işleme yapılacak parça, oluşan yüzey kalitesi, genellikle tercih edilen kesme standardlarına bunlar ile beraber iç yapının özellikleri ve homojenliği ile ilişkilidir. Brinell sertlik değerleri işleme yapılacak parçanın kesme hızı seçiminde yönlendirici olmaktadır.

Tavlama işlemi gördükten sonra az oranda perlit içeren (yaklaşık %10) gri dökme demire, aynı durumlarda, %90 perlit içeren dökme demire göre üç kat daha fazla kesme hızı kullanılabilir. Öteki sert iç yapıya sahip parçalar örnek verilecek olursa, fosfor ötektiği, nasıl sertliği arttrıan perlit ve Fe3C yapıya sahip kesici takımların aşınması artış göstermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Gri dökme demir işlemesinde kesme hızının iç yapı ve sertliğe göre değişimi



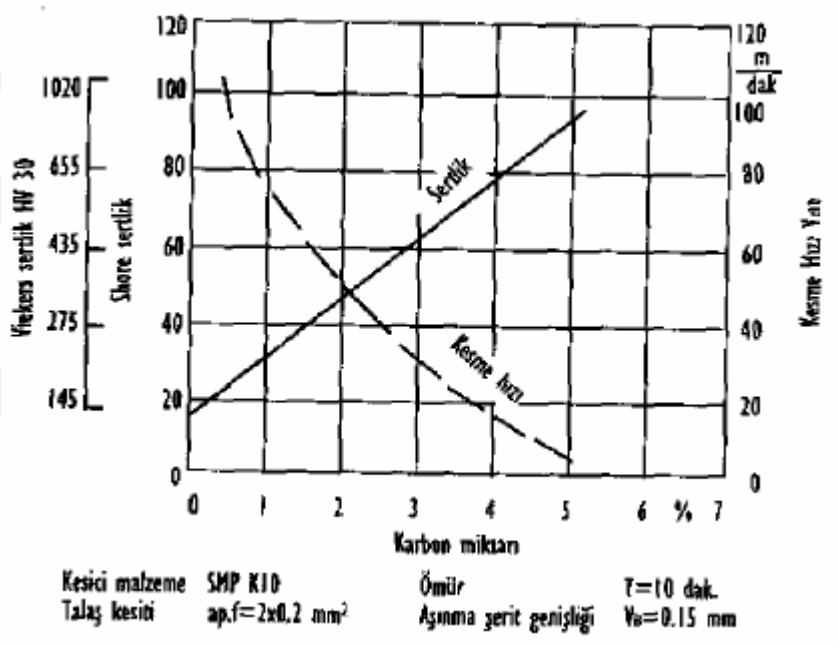
Şekil 3.6 Gri dökme demir işlemesinde ömür doğruları

Gri dökme demirin işlemesinde Tablo 3.1 ‘de gösterilen degerler önerilmektedir.

Tablo 3.1 Gri Dökme Demir işlemesinde Referans Degerler (Kömmer 'e Göre)

İşlenecek Malzeme	Kesme Derinliği ap (mm)	İlerleme f (mm/d)	Kesici Malzeme	Serbest Açı α°	Talaş Açısı γ°	Eğim Açısı λ°	Ayar Açısı x°	Kesme Hızı
	0.5	0.1				0	45-90	40-50
	3.0	0.3	S 10-4-3-10	8	0-6	-4	45-70	30-40
	6.0	0.6						25-35
GG10	1.0	0.1	K05, K10	8	6	0	45-90	80-120
	3.0	0.3	K10, K20	5-8	6-10	-4	45-70	70-100
GG15	6.0	0.6	K20, P30, M15					50-80
	1.0	0.2	Seramik	5-8	0	-4	60-75	300-400
	3.0	0.4						250-350
	0.5	0.1					45-90	28-38
	3.0	0.3	S 10-4-3-10	8	0-6	0	45-70	27-35
	6.0	0.6						20-30
GG20	1.0	0.1	K05, K10	8	0-6	0	45-90	80-110
	3.0	0.3	K10, K20		6			65-85
GG25	6.0	0.6	K20, M15	5-8	6-10	-4	45-70	50-70
	1.0	0.2	Seramik	5-8	0	-4	60-75	200-350
	3.0	0.4						200-300
	0.5	0.1						32-40
	3.0	0.3	S 10-4-3-10	8	0-6	0	45-90	23-32
GG30	6.0	0.6					45-70	15-23
	1.0	0.1	K05, K10	6	0	0	45-90	70-100
	3.0	0.3	K10,K20,M10	5-8	6	-4	45-70	55-75
GG40	6.0	0.6	K20, M15		6-9			45-65
	1.0	0.2	Seramik	5	0	-4	60-75	100-250
	3.0	0.4						100-200
	0.5	0.1					45-90	18-25
	3.0	0.3	S 10-4-3-10	8	0	0	45-70	15-20
	6.0	0.6						12-15
Alaşımlı Dökme Demir	1.0	0.1	K05	5	0	0	45-90	60-90
	3.0	0.3	K10,M10,M15	5-8	0-6	-4	45-70	40-70
	6.0	0.6	K10,K20,M15					30-60
	1.0	0.2	Seramik	5	0	-4	60-75	100-200
	3.0	0.4						80-150

Sert yapıya sahip parçaların işlemesinde, K kalitesine sahip sert yapılı metal plaketlerin kulllanılmasının sebepleri parçada meydana gelen aşınma etkisi ve kesici takım ucundaki basınç kaynaklıdır. Şekil 3.7'de de anlaşılacağı üzere, sertliği çok fazla olan dökme demirleri işleme yerine taşlamak ekonomik açıdan daha uyguna gelmektedir. Parça işlemesinde kesici uç olarak seramik yapılı malzeme tercih edilmesi halinde kesme hızı % 50 - 100 aralığında artışı sağlanabilir. Seramik yapılı uçlar işleme performansını arttırmasının yanında kırılma eğilimide artış görülmektedir (Akman, 2006).



Şekil 3.7 Alaşımsız sert döküm karbon miktarına bağlı olarak, işlenebilirlik ve sertlik (Vierrgge Göre)

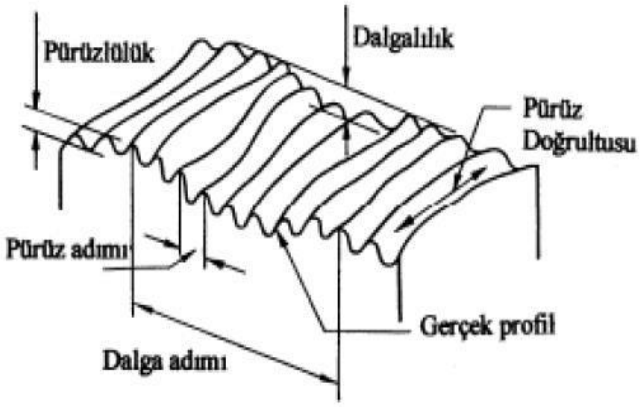
3.4 Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalat sırasında kesici takım ile işlenen parça arasında birtakım mekanik hareketler oluşur. Operasyon parametreleri, kesici takım tipi ve iş parçası malzemesi ile ilişkili olarak ısıl, kimyasal ve fiziksel etkiler ile beraber bu mekanik hareketler iş parçası yüzeyinde düzensizliklere neden olur. Olması gereken ortalama yüzey çizgisi yüzeyden tümsek ve çukur şeklinde oluşan bu farklılıklara yüzey pürüzlülüğü adı

verilmektedir. Yüzey pürüzlülüğü talaşlı imalat sonucunda mutlaka ortaya çıkan bir düzensizliktir (Karamusaoğlu, 2009).

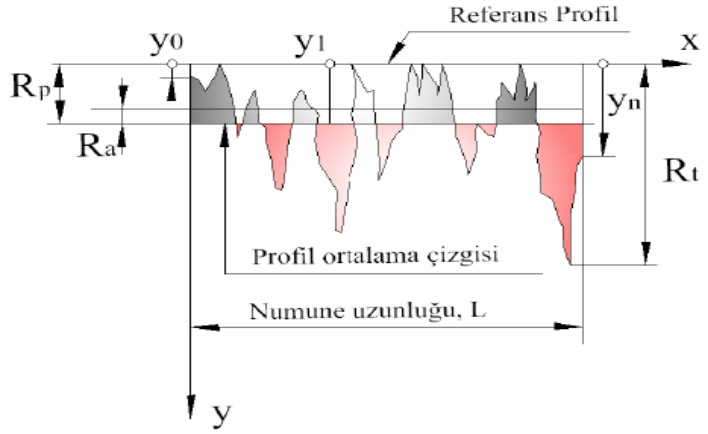
3.4.1 Yüzey Yapısına Ait Özellikler

Yüzeye ait yapı iki çeşit sapmadan oluşur. Bunlardan biri yüzeyin geometrisini oluşturan dalgalılık, diğeri ise yüzeyin kalitesini belirleyen pürüzlülük olarak adlandırılır. Yüzey pürüzlülüğü spesifikasyonlara göre yüzeye dik olan bir kesitte, tanımlı bir numune uzunluğu boyunca, tanımlı bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre belirlenir. Referans profil olarak çoğunlukla geometrik profil alınır. Profil ortalama çizgisinin yeri belirlenirken, bunun üstünde ve altında bulunan bölgelerin toplamı birbirine eşit olmasına bakılır. Dalgalılık yüzeye ait geometrik şekli ifade ederken, yüzey pürüzlülüğü de yüzeye ait kaliteyi ifade eder. Şekil 4.7'de talaşlı imalat sonrası bir yüzey şekli bulunmaktadır (Domaç, 2011).



Şekil 3.8 İşlenmiş bir yüzeyin yüzey karakteri (Domaç, 2011).

Yüzey pürüzlülüğüne ait detaylar ölçümü için lazım olan değerlere ait detaylar Şekil 4.8'de belirtilmektedir.



Şekil 3.9 Yüzey pürüzlülük değerleri (Karamusaoğlu, 2009)

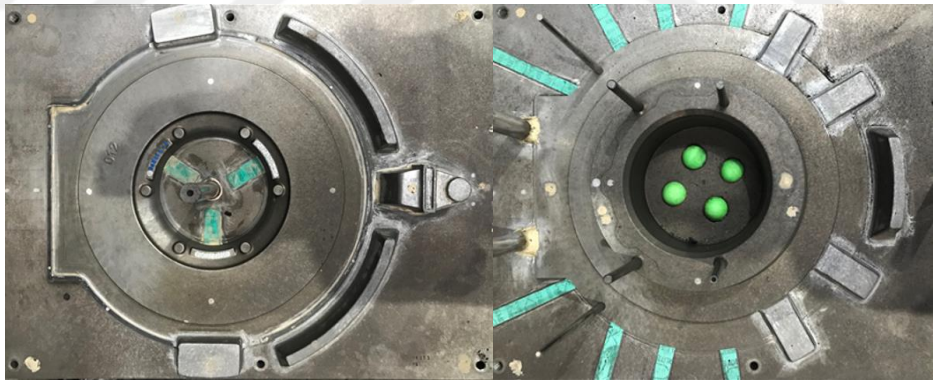
BÖLÜM DÖRT
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLAR

4.1 Numune Üretim Prosesi

Numunelerin üretim süreçleri anlaşmalı bir dokümanhanede gerçekleştirilmiştir. Burada amaçlanan her iki numune için döküm süreci aynı olacak şekilde ergitme sırasında kullanılan ham malzemelerde bir farklılık yaparak grafit tipi ve boyutu birbirinden farklı iki numune elde etmek ve sonrasında bu rotor numunelerinin mekanik, işleme performansı, frenleme performasnını incelemek üzere gerekli testleri yapmaktır.

4.1.1 Model Üretimi

Şekil 4.1'de gösterilen kalıp modeli kullanılarak numune döküm kalıbı hazırlanmıştır.



Şekil 4.1 Kalıp modeli

Üretilecek numuneler için kalıplar hazırlanması için kalıp kumuna ihtiyaç vardır.Burda kullanılacak kumun özeliklerinin belirlenen standardları karşılayıp karşılamadığını tespit etmek gerekmektedir.Bunun içinde aşağıda sırası ile belirlenen testler uygunlanmalıdır.

4.1.2 Kum Nem Testi

Şekil 4.2'de gösterilen test cihazında kullanılmak üzere döküm kalıbını çıkarmak için hazırlanan kalıp kumundan 5gr alınıp test cihazı kullanılarak % nem miktarı hesaplanmıştır.



Şekil 4.2 Nem Test cihazı

4.1.3 Kum Sıcaklık Kontrolü

Kum sıcaklığı kontrolü önemlidir, bu sebep ile kumdan belirli bir miktarda alınıp ivedilikle sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Max 50 ℃ olmalıdır.

4.1.4 Kum Kompaktabilite Testi

145gr'lık kalıp kumu numunesi hasas terazide tartılarak silindirik kap içine alınır. Şekil 4.3'de gösterilen kompaktabilite cihazına yerleştirilir. FTL hattı için ise %36 - 45 dir.



Şekil 4.3 Kompaktabilite ölçüm cihazı

4.1.5 Gaz Geçirgenlik Testi

145gr'lık hazırlanan standart test numunesi, sıkıştırılabilirlik cihazında sıkıştırılır numune sonrasında Şekil 4.4'de gösterilen gaz geçirgenlik test cihazına yerleştirilir. FTL hattı için 50 - 95 değerleri arasında olmalıdır.



Şekil 4.4 Gaz geçirgenlik test cihazı

4.1.6 Yaş Kesme ve Basma Mukavemet Testi

Islak çekme ve basma mukavemet testleri için Şekil 4.5'te gösterilen cihaz kullanılmıştır. Burada numunede çatlak oluşumu sağlanana kadar yük uygulanır ve cihazda gösterilen mukavemet değerleri alınır.



Şekil 4.5 Yaş basma ve çekme mukavemet test cihazı

4.1.7 Islak Çekme Mukavemet Testi

Belilenen standardlara uygun hazırlanmış test numunesi Şekil 4.6'da gösterilen cihaza yerleştirilerek çekme mukavemeti belirlenir. Bu testiin yapılma amacı döküm esnasında metal döküm kalıbına döküldüğünde, kalıp kumu ısınır ve bu sırada oluşan nem sıcak bölgeden daha soğuk bölgeye doğru geçerek kalıptan ayrılmaya çalışır. Bu şekilde belirtilen bölgede ıslak bir tabaka meydana gelir. Bu tabakanın mukavemetinin belirlenen aralıklarda olması istenir. Bu sebep ile ilgili test gerçekleştirilir. FTL hattı için 0,20 – 0,30 N/cm^2 aralığında olmalıdır.



Şekil 4.6 Islak çekme mukavemet test cihazı

Kum kontrolleri yapıldıktan sonra yapılan tüm testlerin sonuçlarının belirtilen standard aralıklarında olması halinde kumdan kalıbın hazılanması sürecine ve döküm süreçlerinin başlamasına geçebiliriz.

4.1.8 Kalıp Hazırlanması

FTL yatay döküm hattında döküm kalıbı oluşturlmak üzere ,kalıp modeli yerleştirilir.Bu şekilde hatta uygun kalıplar üretitilir Şekil 4.7'de görüleceği gibi sonrasınd seri şekilde döküm hatına transfer edilir.Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. FTL'de üretilmiş kalıp



Şekil 4.8 Seri olarak döküm hattına giden kalıplar

4.1.9 Döküm İşlemi

İndüksiyon ocağında ergitilen metal taşıma potasına alınır taşıma potası forklift yardımı ile hatta götürülür. Taşıma potasından döküm potasına metal aktarılır ve bu aşamada aşılama yapılır. Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Sıvı metalin kalıba dökülmesi

Curuf alma işleminin ardından sıcaklık ve içeriği kontrol edilir. Döküm işlemi bu şekilde başlatılır. Sıcaklık döküm için önemli bir parametredir ve bu işlemin zaman kaybetmeden hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir çünkü sıcaklığın istenilen seviyede olmaması dökümde hatalar sebebiyet verebilir erken davranılması durumunda bunun önüne geçilebilir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi potada sıcaklık ölçümü yapılır.



Şekil 4.10 Sıcaklık Kontrolü

Ayrıca Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterildiği şekilde dökülecek olan numune içeriğinin kontrolünün sağlanabilmesi için daha önceden belirlenen şekilde kimyasak analiz numunesi hazırlanır. Analiz için test cihazına gönderilir. Kontrollerin hızlı bir şekilde yapılması sağlanmalıdır ki içerikte çıkan hatalara zamanında müdahele edilebilsin.



Şekil 4.11. Kimyasal analiz için numune alımı



Şekil 4.12 Spektrum analizi için alınan örnek

4.1.10 Döküm Sonrası Kumlama İşlemi

Döküm işlemi tamamlanmış numunlerin yüzeylerinin düzgün ve taşlama ve vb ön işlemlerinin giderilmesinin sağlanması ayrıca kum kalıntılarının giderilmesi için parçalar önce sarsak sonrasında kumlama makinesine gönderilir. Numunelerin sarsaktan çıktıktan sonraki hali Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Kumlama makinasınada parçalara çelik bilyalar püskürtülerek yüzeyin kum ve taşlama vb yüzeyi olumsuz etkileyen olumsuzluklardan temizlenmesini sağlar bu şekilde düzgün bir yüzey elde edilmiş olur. Şekil 4.14'te numune parça gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Numunelerin sarsak sonrası durumu



Şekil 4.14 Kumlama sonrası görüntü

4.2 Deneysel Çalışmalar

4.2.1 Kum Testi Sonuçları

Yaş kesme, ıslak çekme, ıslak basma mukavetimi belirlenmesi için yapılan kompaktibilite testinde aynı standardlara sahip numune kalıbı kullanılır. Bu kalıp içi boş ve numune hazırlama kalıbı kullanılır. Şekil 4.15'te gösterilen cihaza numune konur ve 3 kez tokmak ile vurularak test işlemi tamamlanmış olur.



Şekil 4.15 Tokmaklama işlemin yapıldığı cihaz

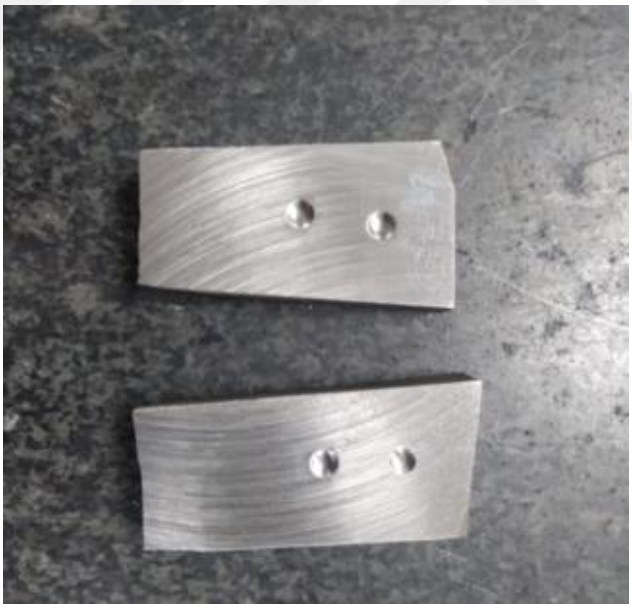
Tablo 4.1'de numune kalıplarında kullanılan kumların daha önce belirlenmiş standard değerleri ve test sonucu çıkan değerler görülmektedir. Bulgular spek içinde olduğundan kullanılan kumun uygun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.1 Kalıp Kumu Değerleri

	Nem %	Islak Çekme Mukavemeti N/cm2	Basma Mukavemeti N/cm2	Kompaktabilite %	Gaz Geçirgenliği	Yaş Kesme Mukavemeti
Aralık Değerler	4.8 - 6.5	0,20 - 0,30	18 - 26	36 - 45	50 - 95	3,5 - 5
Bulgular	5	0,22	22	44	57	4,8

4.2.2 Sertlik Testi

Sertlik testi için 3 farklı cihaz kullanımı yapılabilir, Brinell , Vikers ve Rockwell sertlik cihazları kullanıablir.Biz bu çalışmamızda Brinell sertlik cihazını kullanacağız. Sertlik ölçüleceği yer teknik resimde belirtlen bölgeden çıkarılan numune üzerinden yapılmalıdır.Teknik resimde sertliğin nereden bakılacağının bilgisi verilmektedir. Kesilen sertlik numunesi zımparalama işleminden geçildikten sonra test cihazına yerleştirilir burda dikkat edilmesi gerekn kısım tet cihazına numenin plaka yüzeyine paralel ve düz bir şekilde oturması sağlanmalıdır aksi durumda numuneden uygun veri alınamayabilir.Bu teste kullanılan uç 10mm çapında tugsten karbür bilyadır ve uygulanan yük ise 3000 kgf ‘dir. Bu şekilde A ve B numunelerinin sertlik sonuçları tabloda verilmiştir.Sertlik numunesi Şekil 4.16’da Brinell sertlik test cihazı Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.16 Yüzey işlemlerini bitmiş test numunesi



Şekil 4.17 Sertlik cihazı görüntüsü

Teknik resimde talep edilen sertlik değerleri 160 – 200HB'dir. Tablo 4.3'te yüzeyden orta çapa doğru 10 mm aralıklarla 5 farklı noktadan Brinell yöntemi ile sertlik taraması yapıldı. Brinell sertlik değerleri; 5 farklı yerden alınıp ortamala alındı.

Tablo 4.3 Sertlik Değerleri

Numune	A	B
1	187 HB	162 HB
2	192 HB	163 HB
3	195 HB	166 HB
4	189 HB	165 HB
5	196 HB	160 HB
Ortalama	192 HB	163 HB

4.2.4 Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

A ve B numunelerinin döküm sırasında sıcaklık ölçümleri alınmıştır.Lamel grafitli dökümlerde döküm sıcaklığının 1360 – 1400 arasına olması beklenmektedir. Tablo 4.4'te sıcaklık sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Sıcaklık Değerleri

Malzeme	Döküm Sıcaklığı
A	1397°C
B	1397°C

4.2.5 Spektrum Analizi Sonuçları

Üretim sırasında alınan kimyasal analiz numunesi ile yapılan spektrometre sonuçları Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5 Kimyasal Değerler

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Mg	Cr	%Ni	%Mo	%Cu	%Sn	%Al	%Ti	%Co	%B
A	3,85	2,03	0,52	0,03	0,06	0,001	0,201	0,005	0,005	0,056	0,007	0,002	0,011	0,001	0,0004
B	3,55	1,93	0,52	0,03	0,06	0,001	0,201	0,005	0,005	0,056	0,007	0,002	0,011	0,001	0,0004

Ocak şarj değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Baryumlu pota aşısı 3 – (6mm tane boyutunda) kullanılıyor. Çekirdeklenme süresini uzun tutmak için %0.4 oranında kullanılıyor.

Tablo 4.6 Ocak Girdileri

Ocak Şarjı	Ocak Tonajı	DKP	Döndü	C	FeSi	Mn	Cr
A Numunesi(kg)	6000	1700	3200	70	56	3	12
B Numunesi(kg)	6000	1700	3200	60	50	3	12

B numunesinde görülmeyip, A numunesinde kiş grafit görülmesinde etkisi olabilecek 3 mekanizma aşağıdaki gibidir:

1) Karbon eşdeğerinin ötektik nokta üzerinde gerçekleşmesi
2) Hızlı soğuma
3) Bazı alaşım elementlerinin denge halinde bulunmamasıdır.

Dökümün optimum şartlarda ve her iki numune içinde aynı ortam ve sıcaklık koşullarında gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra kish grafite etki edecek alaşım elementlerinin (Cr, Mn,…) biribirine oldukça yakın değerlerde olduğu da görülmektedir. Dolayısıyla C tipi grafitin sebebi olarak Karbon eşdeğeri konusunun üzerinde durulmuştur.

CE = %C + (%Si + %P) / 3

Yukarıdaki hesaplama dikkate alındığında;

A numunesi için CE değeri = 3,85 + (2,03 + 0,05) / 3 = 4,54

B numunesi için CE değeri = 3,55 + (1,93 + 0,05) / 3 = 4,21

Sonuçlar göz önünde alındığında, A numunesinin ötektik noktanın üzerinde katılaştığı yani hiperötektik alaşım olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle malzemenin mikroyapısında yer yer C tipi (kish) grafit taneleri gözlemlenmiştir.

4.2.6 Metalografik İnceleme

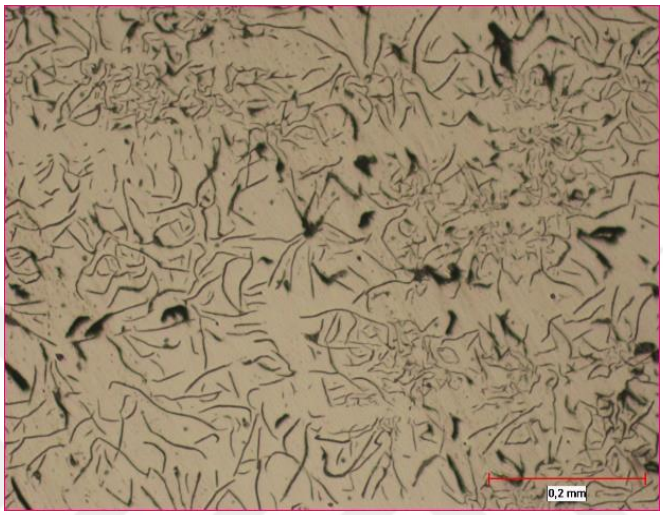
A ve B numunelerinden metalografik inceleme için talimatta belirtilen bölgeden parça kesilmiştir sonrasında bakalite alma işlemi yapılmış olup sorasında sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır. Numuneler daha önce belirlenmiş standardlara uygun şekilde hazırlandıktan sonra metalografik kontrol için Nikon mikroskop cihazı kullanılmıştır. Frenleme sisteminde kullanılan rotor parçasında teknik resim ölçülerine uygunluğun ve dış yüzey özelliklerinin iyi olmasının yanında kimyasal ve metalografik karakteristiklerde çok fazla önem taşımaktadır. Çünkü bu özellikler ve karakteristikler frenleme performansını etkilemektedir. Numune hazırlama işlemi metalografik inceleme oldukça önemlidir çünkü numunenin parçayı

temsil etmesi gerekir ki elde edilen sonuçlarda doğru yorumlama yapılabilsin. Bu sebep ile teknik resimde numunenin nereden alınacağı belirtilir ve numune teknik resimde belirtilen yer dışında farklı bir yerden alınmamalıdır. Teknik resimde belirtilen yerden numune alınması için parçanın ilgili kısım yüzeyde hasar oluşturulmadan kesilir ve gerekili bakalite alma, zımparalma, partlama ve dağlama işlemi yapılarak gerekli işlemler yapılır. Şekil 4.18'de zımparalama, parlatma ve Nikon ışık mikroskobu görüntüsü paylaşılmıştır.

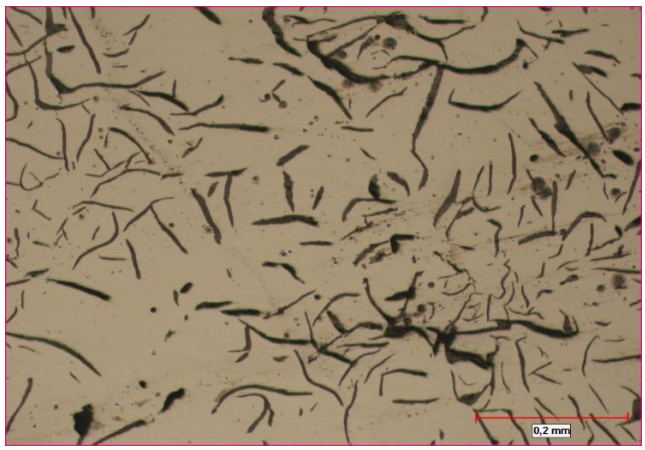


Şekil 4.18 Zımparalama ve parlatma cihazı, test numuneleri, Nikon mikroskobu

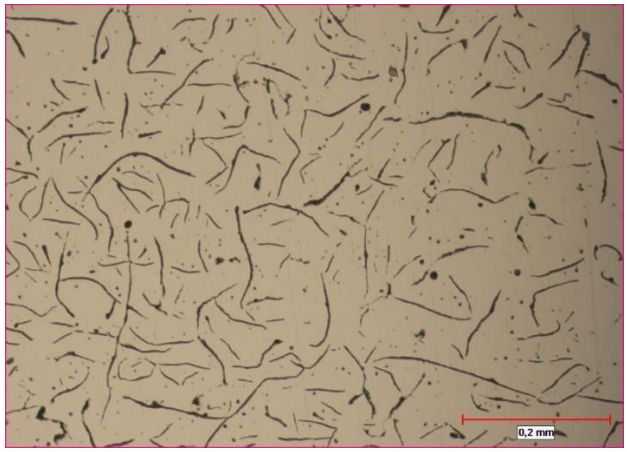
Şekil 4.19'da A numunesinin dağlama öncesi mikroyapı görüntüleri paylaşılmıştır. Şekil 4.20'de A numunesinin dağlanmış mikroyapı resimleri paylaşılmıştır. Şekil 4.21'de B numunesinin dağlama öncesi mikroyapı görüntüleri paylaşılmıştır. Şekil 4.22'de B numunesinin dağlanmış mikroyapı resimleri paylaşılmıştır. Tablo 4.7'de analiz sonuçları verilmiştir.



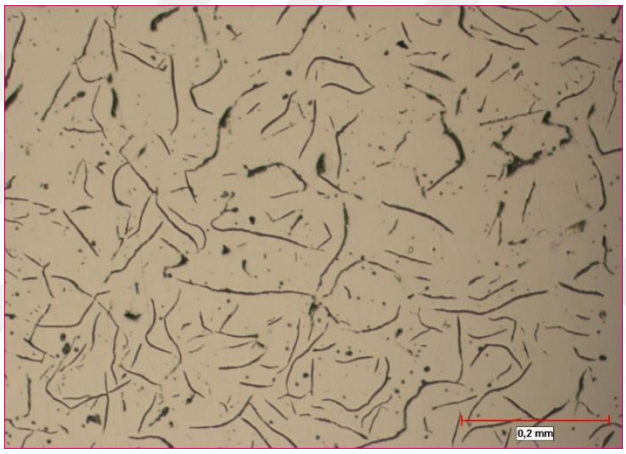
Şekil 4.19 A numunesi mikroyapı resmi



Şekil 4.20 A numunesi mikroyapı resmi



Şekil 4.21 B numunesi mikroyapı resmi



Şekil 4.22 B numunesi mikroyapı resmi

Tablo 4.7 Metalografik inceleme sonuçları

	A	B
Grafit Formu	I	I
Grafit Boyu	5 - 6	4 - 5
Grafit Tipi	A(%71.25) - C(28.75)	A(%94) - C(%6)

Nikon optik mikroskobu yardımı ile grafit formu, boyutu ve tipi ile ilgili net değerler elde edilmiştir.Tabloda görülmektedir.

4.3 İşlenebilirik İncelenmesi

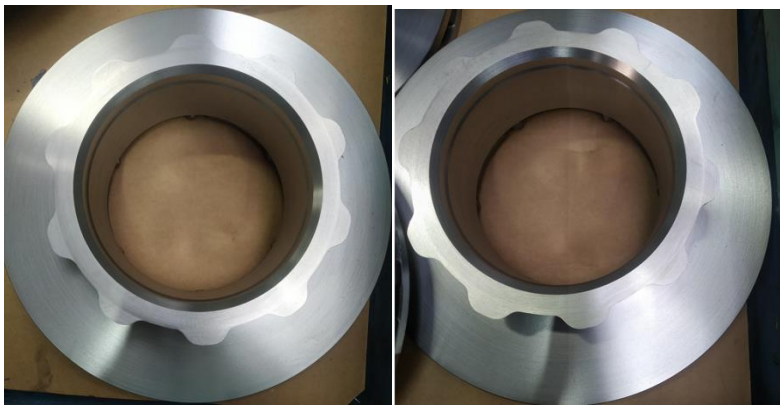
Bu çalışmada CNC / Torna işleme tezgah kullanılarak parçaların işleme performansı incelenmiştir.

Kullanılan takım ucu(CNMA120412), frekans(0,35 mm/dk), devir(550 dev/dk) her iki parça işlenirken aynı alınmıştır.



Şekil 4.23 CNC – Torna işleme tezgahı

Parçalar Şekil 4.23'de yer alan CNC / torna işleme tezgahında frekans(0,35 mm/dk), devir(550 dev/dk) ve takım(CNMA120412) aynı olacak şekilde 160'ar adet parça işlemesi yapılmıştır. İşleme sırasında A numunesinde her 10 parçada bir takımda körelme meydana geldi, disk yüzeyinde koparma oluşmaya başladı ve diks ölçülerinde sapmalar meydana geldi bu sebep ile değiştirilmiş olup toplamda 16 adet takım ucu kullanılmıştır. Fakat B numunesinden her 20 parçada bir takım değiştirilmek zorunda kaldığından toplamda 8 adet takım ucu kullanılmıştır. %100 oranında takım sarfıyatında artış meydana gelmiştir. Bu durumun oluşma sebebi olarak malzeme farklılık gösteren grafit tipi ve boyutu olduğu düşünülmektedir. İşlenmiş parçalara örnek resimler Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24 Sırası ile A ve B numuneleri

4.4 Pin – On Disk Testi

Pin on disk yöntemi ile 100Cr6 çeliğine karşı aşınma durumu incelendi. Bu test Ø6 mm' lik çeliği bir bilyanın, döküm fren diski üzerinde hareket ettirilerek 200m sonundaki yüzeyden kaldırılan malzemenin hacimce oranını vermektedir. Test parametreleri aşağıdaki gibi tasarlandı. Test cihazı Şekil 4.25'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Pin on disk Cihazı

Stroke mesafesi: 10 mm

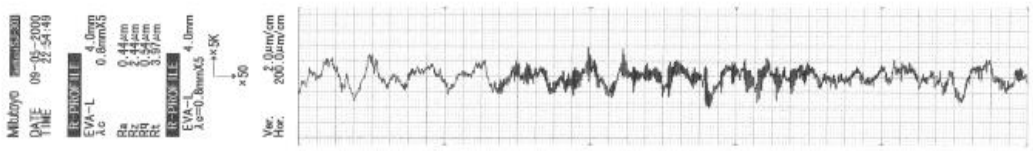
Toplam gidilen mesafe: 200 m

Motorun dönme frekansı: 3 Hz; 6 stroke/sn

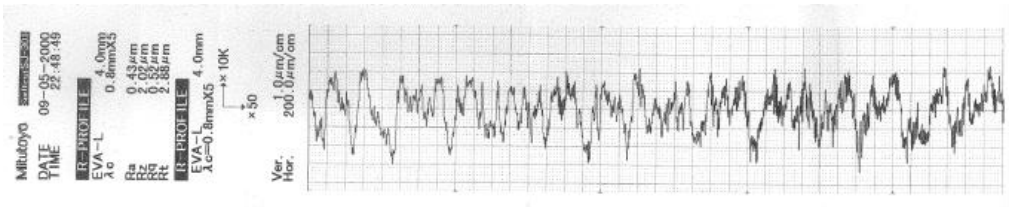
Aşındırıcı malzeme: 100Cr6

Sürtünme katsayısı kaydetme frekansı: 30 Hz

Test için fren disklerinin balata baskı yüzeylerinden Ø60mm H11mm olacak şekilde numune çıkarıldı ve yüzeyleri taşlama tezgahında parlatılarak, düzlemsellikleri ve paralellikleri kontrol edildi. Yüzey ölçümleri aşağıdaki gibi ölçüldü. Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir.



Şekil 4.26 A numunesi yüzey pürüzlülüğü



Şekil 4.27 B numunesi yüzey pürüzlülüğü

Elde edilen değerleri aşağıdaki Tablo 4.8'de özetlenmiştir.

Tablo 4.8 Yüzey pürüzlülük değerleri (birim : μm)

Numune	Ra	Rz	Rq	Rt
A	0,44	2,44	0,54	3,97
B	0,43	2,02	0,52	2,88

Yüzeyde yapılan bu ölçümlerin ardından Ra değerlerinin birbirine çok yakın olması sebebi ile aşınma testinin yapımına karar verildi. Yapılan Pin-on-Disk testinin sonuçları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Numunede yüzeyden içeri doğru 3 farklı noktadan test yapıldı ve aşağıdaki tabloda 1-2-3 olarak belirtildi. Aşınma yüzeyleri ise baş-orta-son olarak 3 farklı noktadan profilometre ile ölçüldü ve ortalaması alındı.Birim miligram(mgr)'dır.

Tablo 4.9 Aşınma miktarı (birim : mgr)

Aşınma İzi	A				B			
	Baş	Orta	Son	Ortalama	Baş	Orta	Son	Ortalama
1	5,76	5,75	5,73	5,74	15,32	13,13	14,47	14,31
2	6,85	6,31	6,22	6,46	20,3	18,74	17,29	18,78
3	5,68	6,7	6,9	6,42	17,32	17,97	17,8	17,67
Ortalama	6,2				16,92			

Yapılan testlere göre aşınma miktarı olarak A numunesinin çok daha az aşındığı görülmüştür. Bu farkın grafit tipi ve boyutunun farklı olmasından kaynaklanmaktdır sebebi de kish grafitin daha sert bir yapı elde etmesidir.

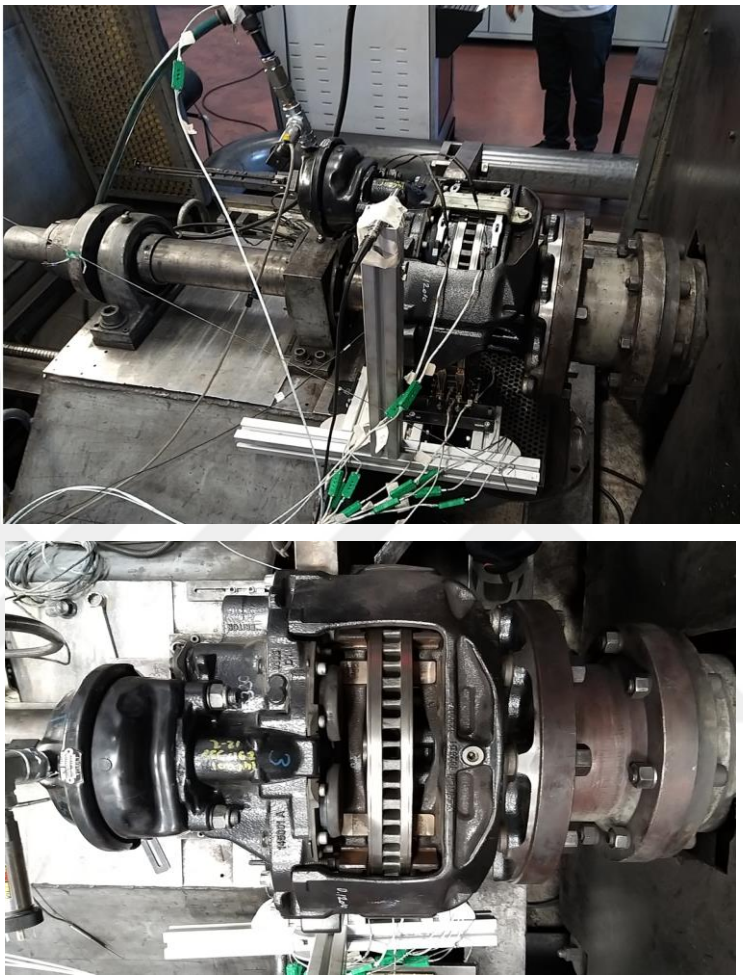
4.5 Dinamometre Üzerinde Fren Performansı Testleri

Bu deneyin amacı grafit boyutu 5-6 ve grafit tipi A-C yapısına ait malzeme olan A numunesi ile grafit boyutu 4-5 ve grafit tipi A mikro yapısına sahip olan B numunesinin fren performansına etkisini incelemektedir.

Bu çalışmada kum kalıba döküm yapan bir dökümcüde aşağıdaki özelliklerde dökülmüş birer adet numune fren dinamometresi (Şekil 4.28) üzerinde ISO26865 standardına göre test edilerek karşılaştırılmıştır.

- İşlenebilirliği yüksek
- Yüksek ısı iletkenliğe sahip
- Titreşim sönümleme kapasitesi yüksek
- Yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılabilecek

- Korozyon direnci yüksek
- Aşınama dayanımı yüksek
- Basma dayanımı yüksek



Şekil 4.28 Dinamometre testi

ISO26865 standardı fren performanslarını çeşitli araç hızı frenleme basıncı ve sıcaklığı kombinasyonlarında incelemektedir. Araç hızı(km/h) 40 - 60 - 80 - 100 sürtünme çit sıcaklığı 100 ℃ - 300 ℃ - 500 ℃, frenleme basıncı(Bar) 1,5 - 3 - 4,5 - 6,0 - 7,5 - 9. Bu çalışma kapsamındaki deneylerde A numunesi için Tablo 4.10 - 4.11 - 4.12 - 4.13 ve B numunesi için tablo 4.14 - 4.15 - 4.16 – 4.17 ’de verilen sınır şartları kombinasyonları kullanılmışıtır.

Tablo 4.10 A numunesi balata rotor alıştırma sonrası performans

100 °C	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	6000	6000	6000	6000	6000
3 (Bar)	12500	12500	12500	12000	11500
4,5 (Bar)	18500	18500	17500	17000	16500
6,0 (Bar)	23500	21500	20000	18500	18500
7,5 (Bar)	26500	22000	22000	20000	21500
9,0 (Bar)	26500	22500	22500	21000	22000

Tablo 4.11 A numunesi 100 °C'deki Performans

100 °C	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	5500	5000	5000	5000	5000
3 (Bar)	12000	10500	10000	10000	10000
4,5 (Bar)	17500	15500	14000	14000	14000
6,0 (Bar)	22000	20000	18500	18000	18000
7,5 (Bar)	24000	23000	22000	21000	20500
9,0 (Bar)	24500	24000	23500	22000	21000

Tablo 4.12 A numunesi 300 °C'deki performans

300 °C	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	5000	5000	5000	4000	
3 (Bar)	12000	11000	10000	7500	7000
4,5 (Bar)	18000	16000	13500	11500	
6,0 (Bar)	22500	19000	17000	14500	14000
7,5 (Bar)	25000	22500	18000	16500	
9,0 (Bar)	26000	23000	18500	17500	17000

Tablo 4.13 A numunesi 500 ℃'deki performans:

500 ℃	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)					
3 (Bar)	8000	7500	7000	6000	5500
4,5 (Bar)					
6,0 (Bar)	17500	15000	12500	11000	8500
7,5 (Bar)					
9,0 (Bar)	22000	17550	16000	12500	10000

Tablo 4.14 B numunesi balata rotor alıştırma sonrası performans

100 ℃	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	5000	5000	5000	5000	5000
3 (Bar)	11500	12000	12500	12000	11500
4,5 (Bar)	17000	18000	17000	17000	17000
6,0 (Bar)	22000	21500	17500	20000	20000
7,5 (Bar)	25000	22000	18000	22000	22000
9,0 (Bar)	26500	22500	18500	23000	23000

Tablo 4.15 B numunesi 100 ℃'deki Performans:

100 ℃	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	5000	5000	4500	5000	5000
3 (Bar)	11500	11000	9500	10500	11000
4,5 (Bar)	16500	15000	14000	15000	15000
6,0 (Bar)	20500	19000	18500	18500	18500
7,5 (Bar)	23000	22500	22500	22500	21500
9,0 (Bar)	24000	23500	24000	23000	22000

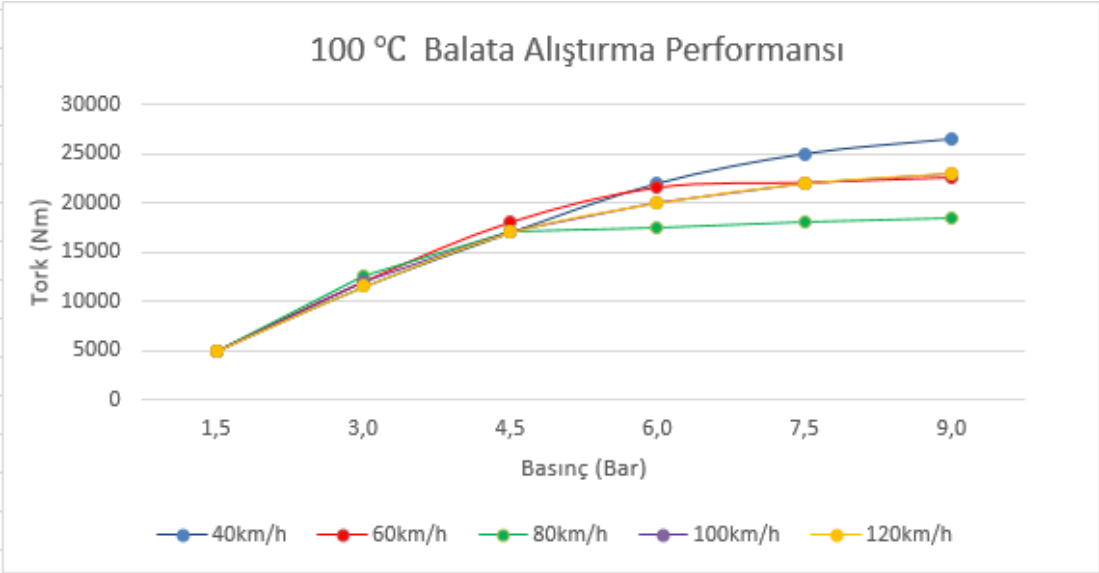
Tablo 4.16 B numunesi 300 ℃'deki Performans

300 ℃	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)	5000	5000	5000	4000	
3 (Bar)	12000	11000	10000	7500	7500
4,5 (Bar)	17500	16000	14500	12000	
6,0 (Bar)	22500	20000	17500	15000	14500
7,5 (Bar)	25000	22550	18500	17500	
9,0 (Bar)	26000	22500	19500	18000	17000

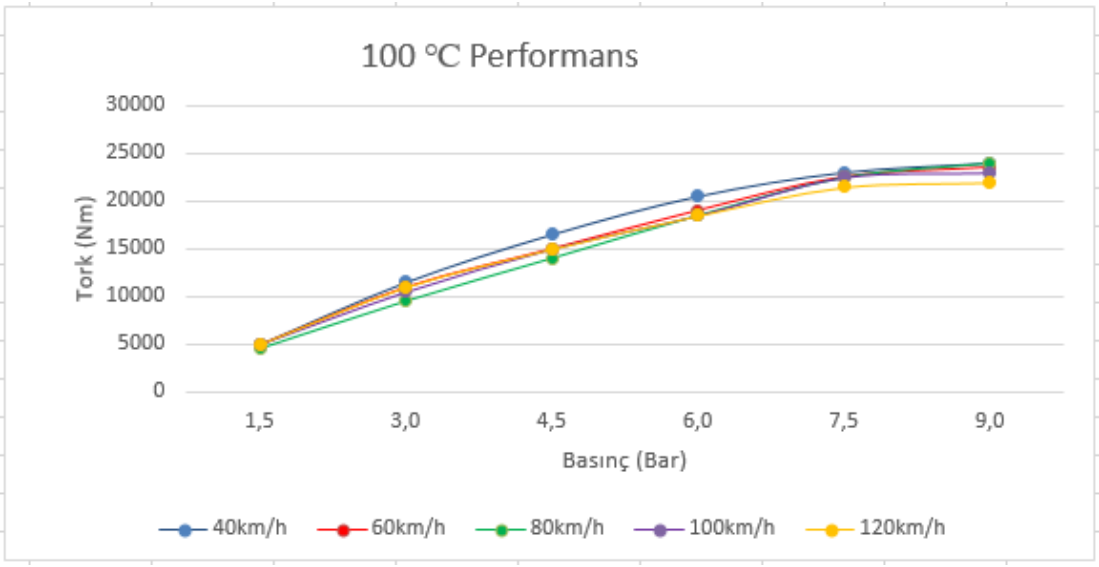
Tablo 4.17 B numunesi 500 ℃'deki Performans

500 ℃	40[km/h]	60[km/h]	80[km/h]	100[km/h]	120[km/h]
1,5 (Bar)					
3 (Bar)	9000	9000	7500	6500	5000
4,5 (Bar)					
6,0 (Bar)	18500	16000	12500	10000	8500
7,5 (Bar)					
9,0 (Bar)	22500	18000	15000	12500	10000

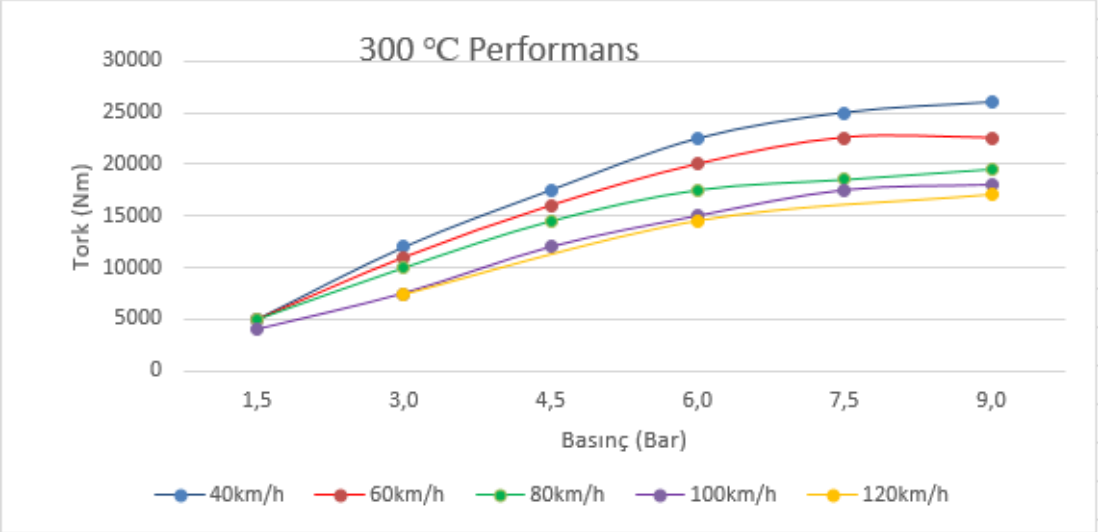
Deney sırasında girdi olarak tanımlanan bu değişkenlerin yanında çıktı olarak fren torku kaydedilmiştir. Yukardaki tablolardaki veriler kullanılarak 100 ℃ - 300 ℃ - 500 ℃ sıcaklıkları için fren torku değişimi A numunesi için Şekil 4.29 - 4.30 - 4.31 - 4.32, B numunesi için Şekil 4.33 - 4.34 - 4.35 – 4.36'da gösterilmiştir.Ayrıca rotorların öncesi sonrası durumları A numunesi için (Şekil 4.37) ve B numunesi için (Şekil 4.38) aşağıda belirtilmiştir.



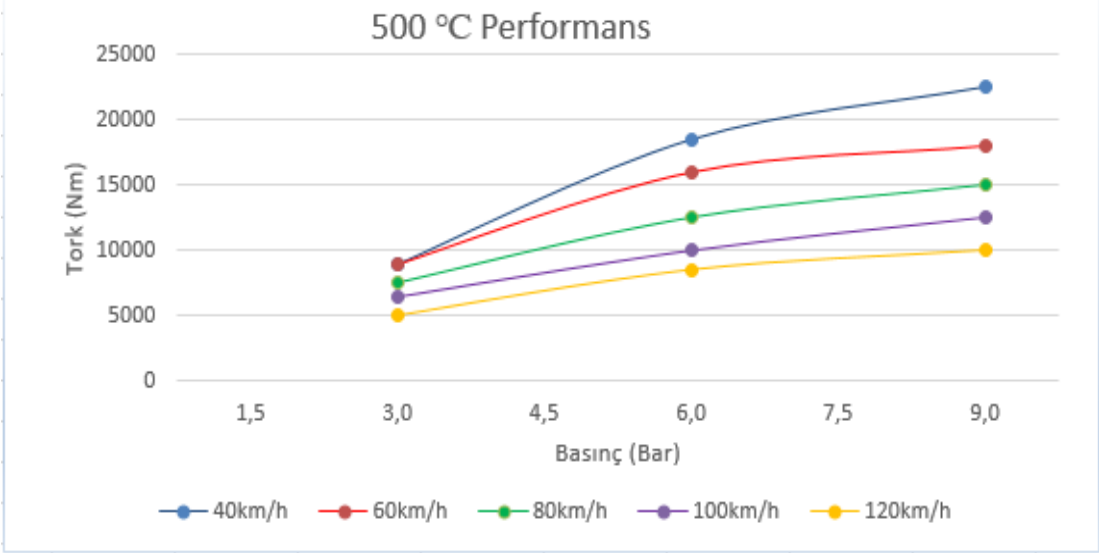
Şekil 4.29 A numunesi balata alıştırma sonrası performans grafiği



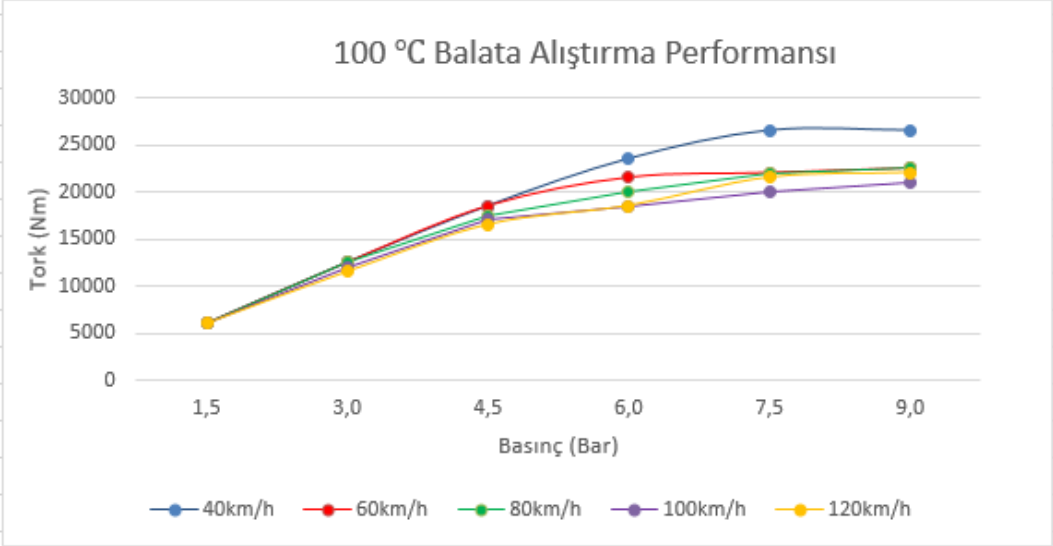
Şekil 4.30 A numunesi 100 °C'deki performans grafiği



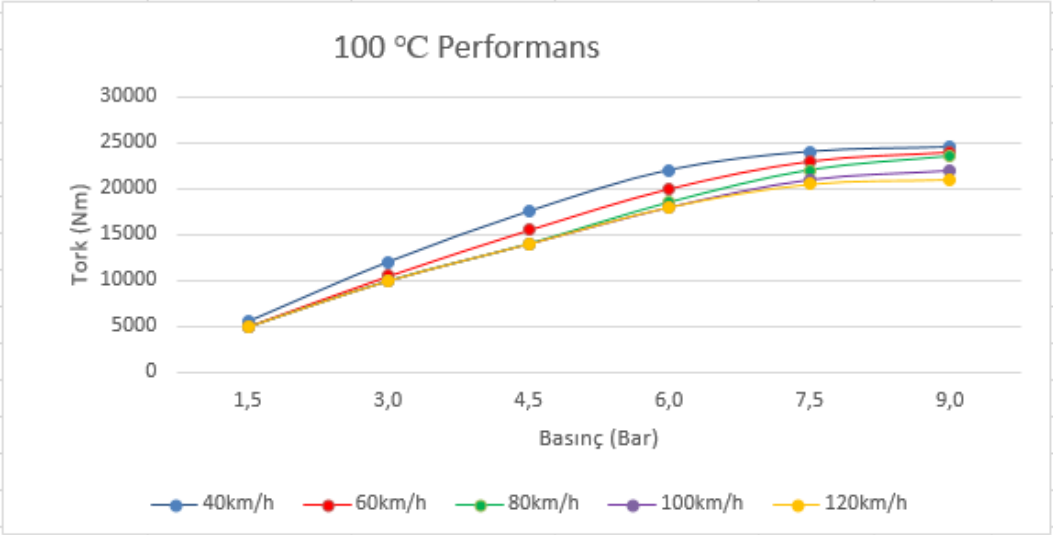
Şekil 4.31 A numunesi 300 °C'deki performans grafiği



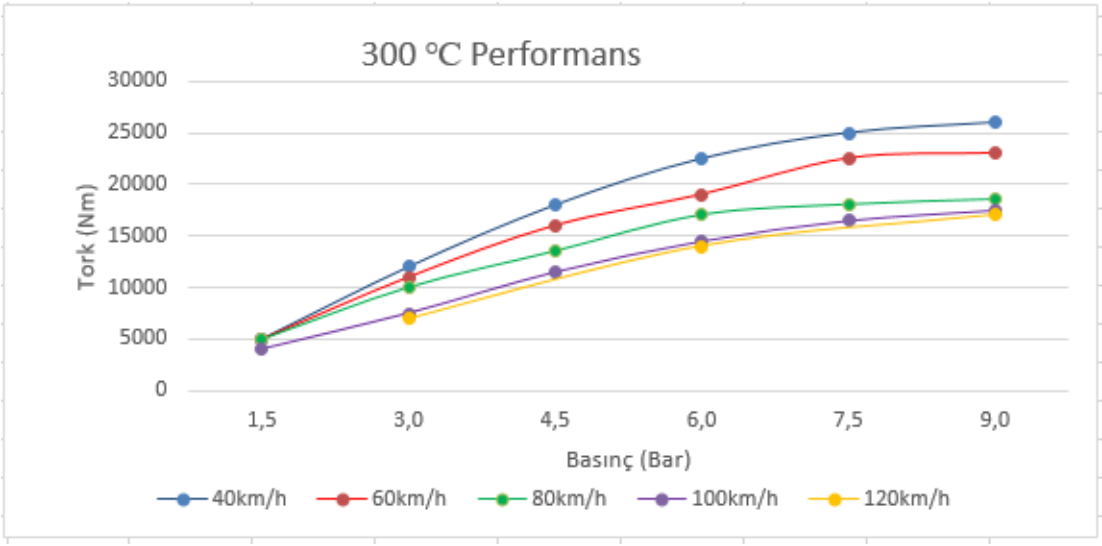
Şekil 4.32 A numunesi 500 °C'deki performans grafiği



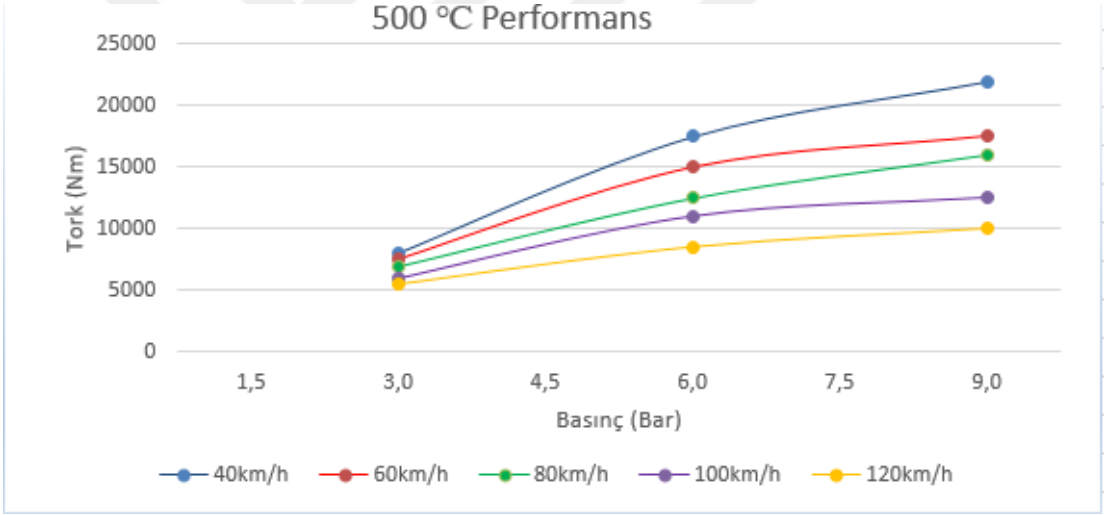
Şekil 4.33 B numunesi balata alıştırma sonrası performans grafiği



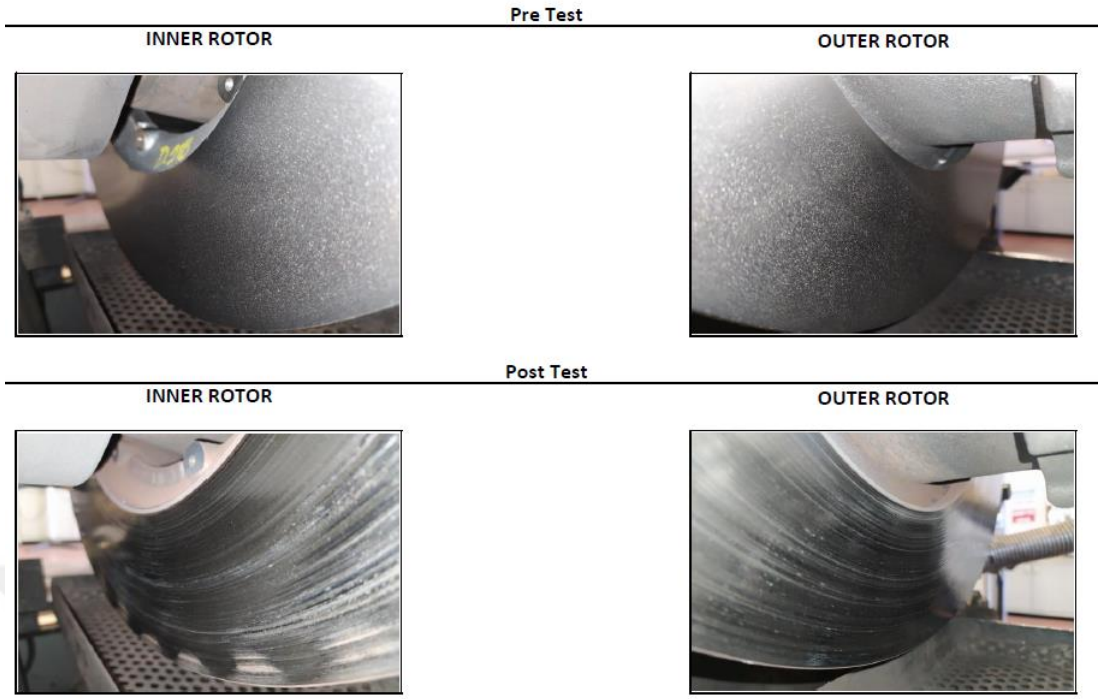
Şekil 4.34 B numunesi 100 °C'deki performans grafiği



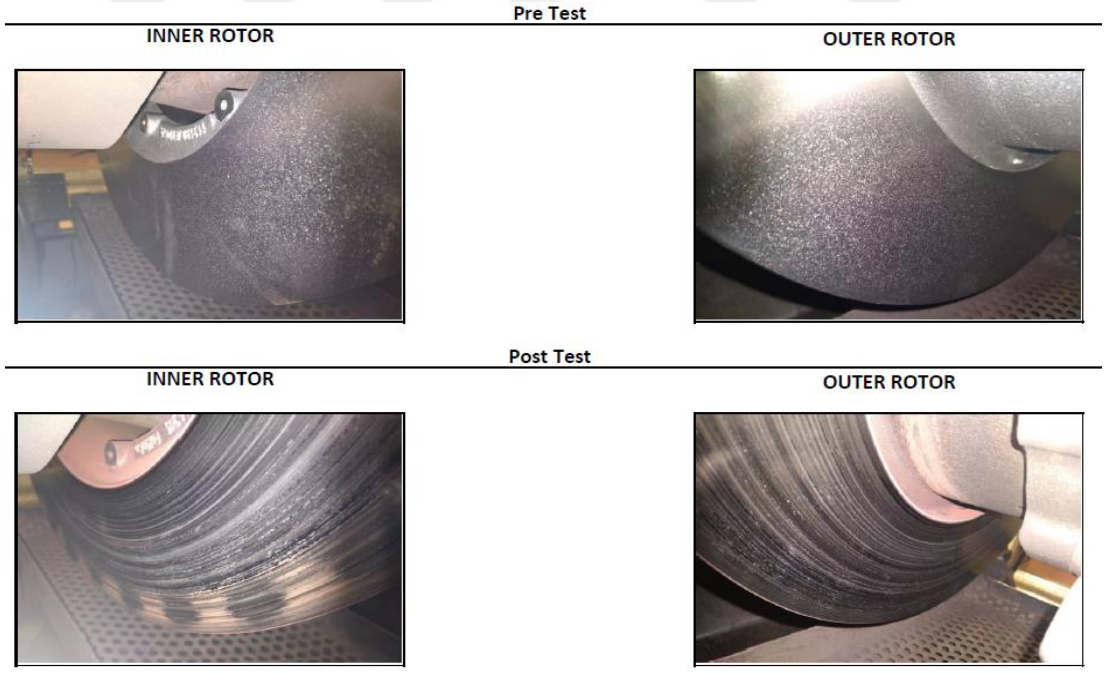
Şekil 4.35 B numunesi 300 °C'deki performans grafiği



Şekil 4.36 B numunesi 500 °C'deki performans grafiği

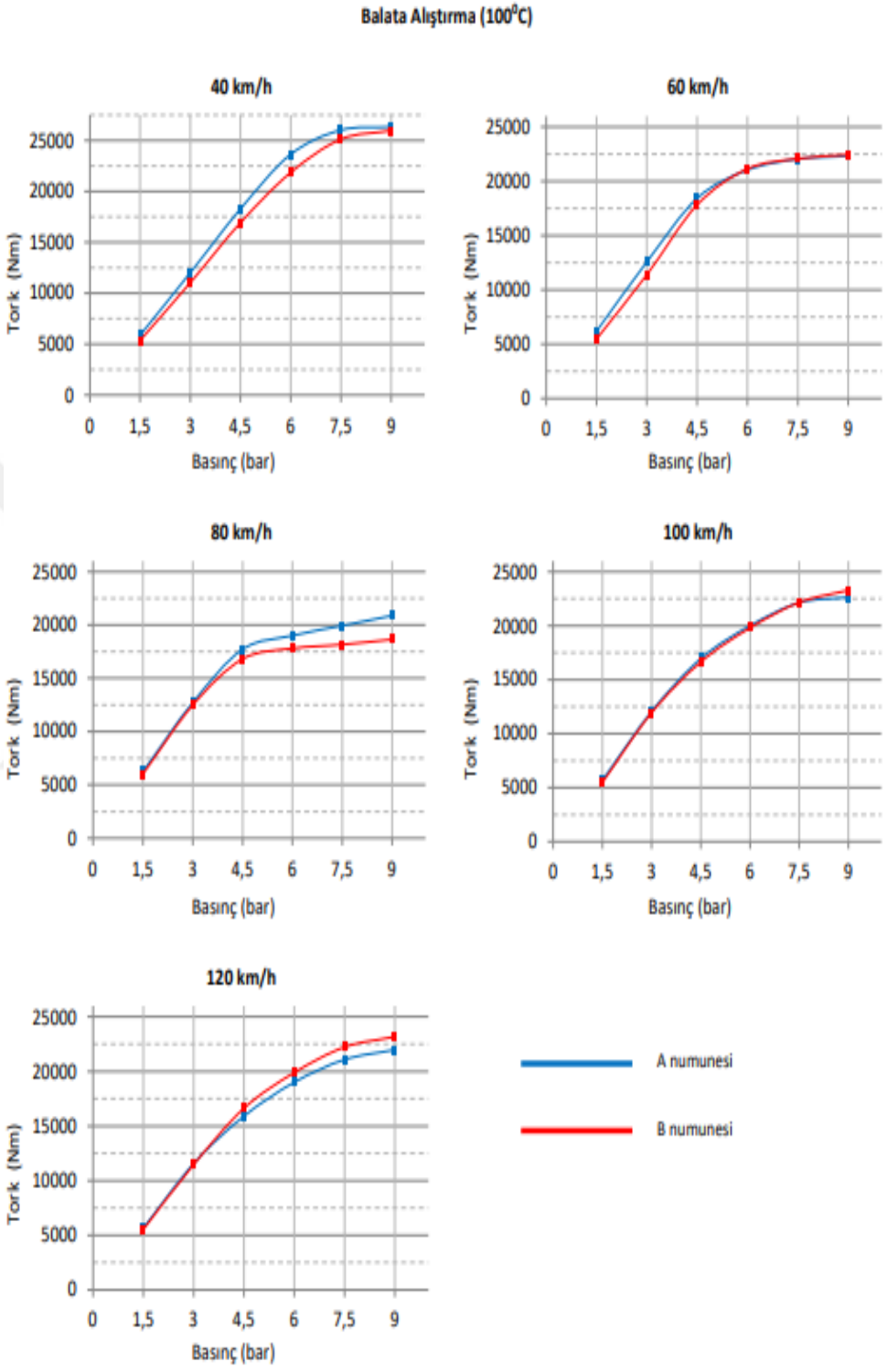


Şekil 4.37 A numunesi performanst testi öncesi sonrası görünüm.

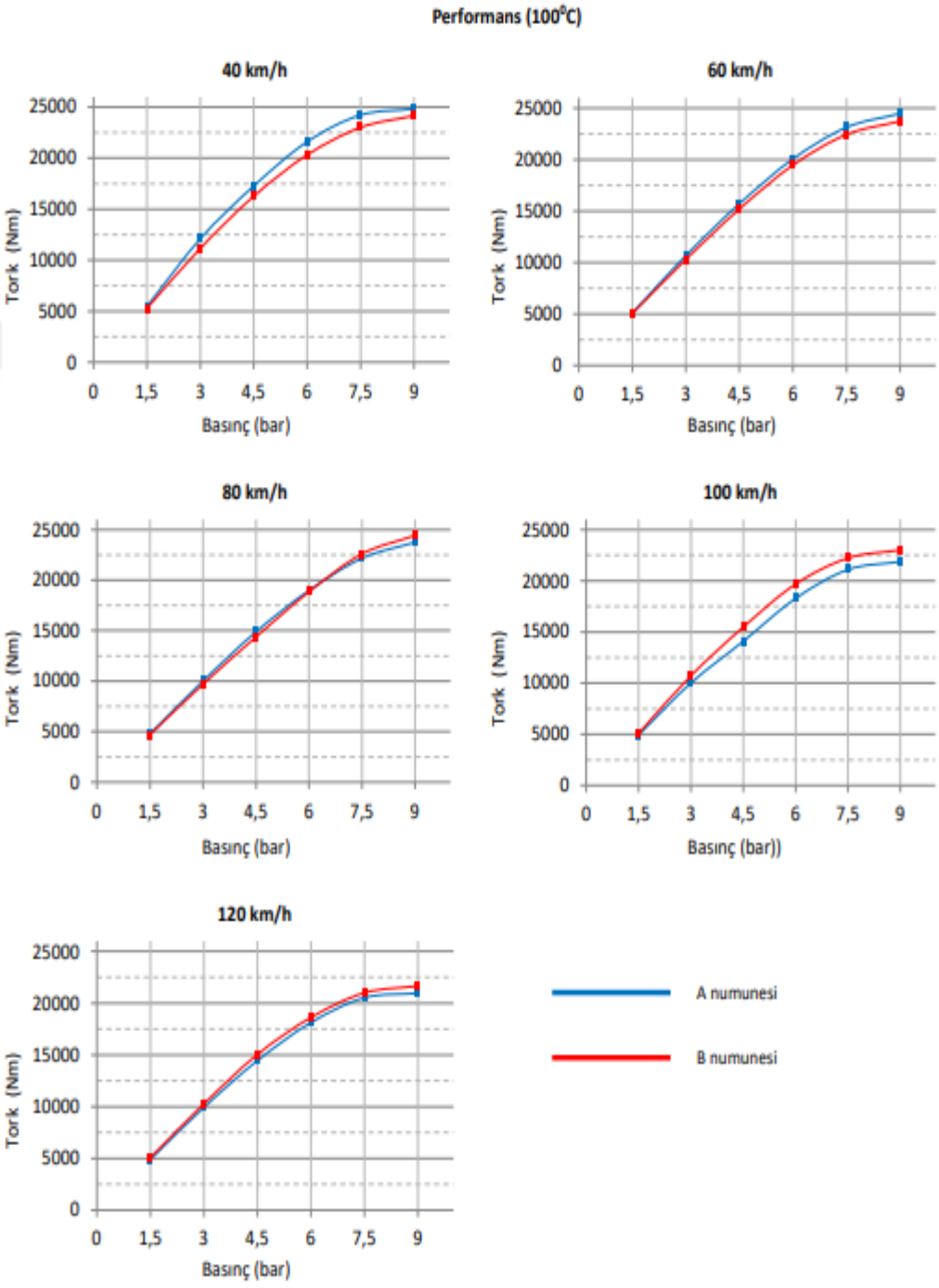


Şekil 4.38 B numunesi performans testi öncesi sonrası görünüm.

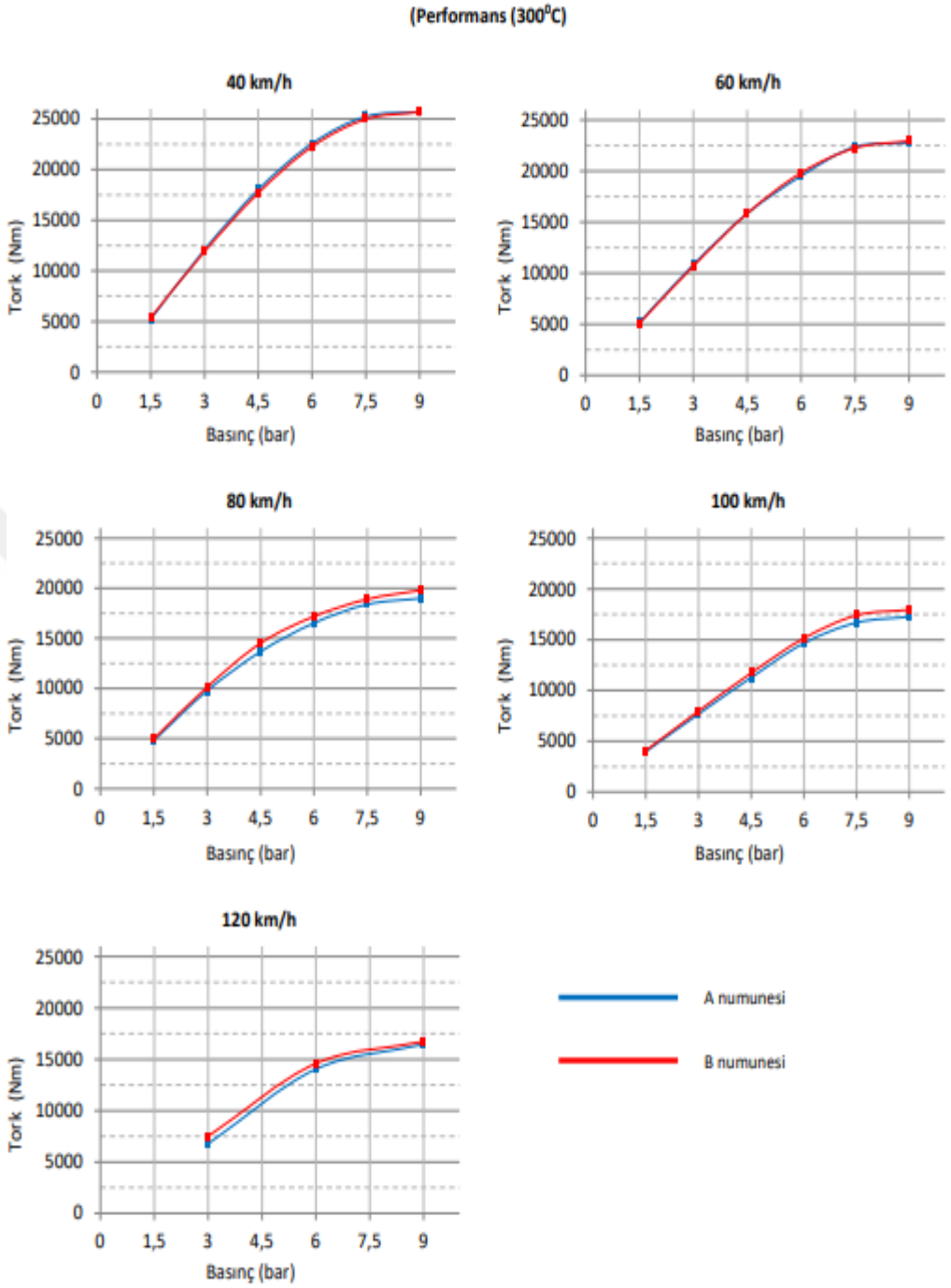
Karşılaştırmalı olarak aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



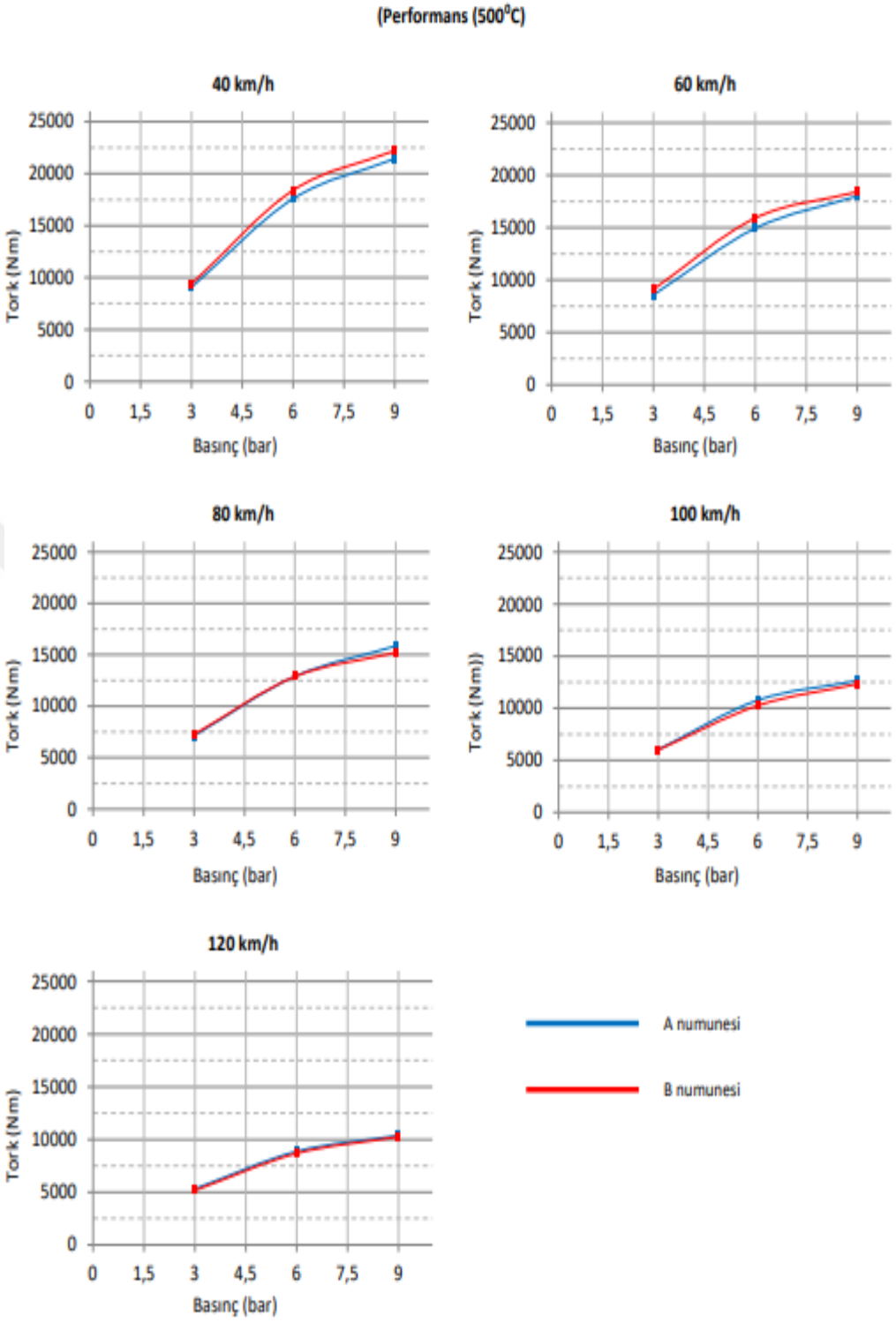
Şekil 4.39 Balata alıştırma performansı



Şekil 4.40 100°C'deki performans karşılaştırması



Şekil 4.41 300°C'deki performans karşılaştırması



Şekil 4.42 500°C'deki performans karşılaştırması

4.6 Balata Aşınma Testi

ISO26866 standardı frende diskinde meydana gelen aşınmayı çeşitli araç hızı ,frenleme sayısı ve sıcaklığı kombinasyonlarında incelemektedir. Araç hızı 60 - 100 ,sıcaklık 100 ℃ 200℃ - 300℃ - 400℃ - 500℃ ,frenleme sayısı 250 - 500. Bu çalışma kapsamındaki deneylerde A. Numunesi için Tablo 4.18 ve B.numunesi için Tablo 4.19'de verilen sınır şartları kombinasyonları kullanılmışıtır.

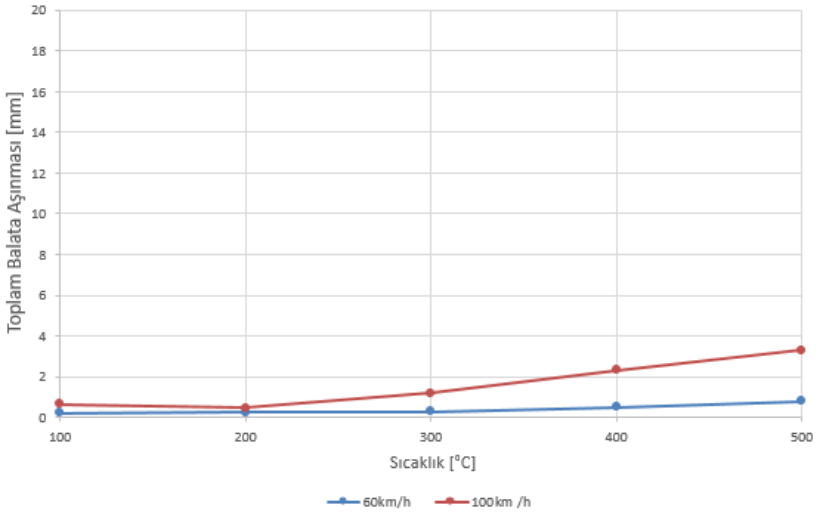
Tablo 4.18 A numunesi test değerleri

Test Çevrimi				Balata Aşınması(mm)			Balata Aşınması(gr)		
Sıcaklık	Hız	Adım No	Frenleme Sayısı	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam
100	60	1	500	0,14	0,09	0,23	6	4	10
200	60	3	500	0,16	0,13	0,29	6	4	10
300	60	5	250	0,15	0,16	0,31	14	11	25
400	60	7	250	0,36	0,23	0,59	26	21	47
500	60	9	250	0,66	0,55	1,21	44	42	86
Test Çevrimi				Balata Aşınması(mm)			Balata Aşınması(gr)		
100	100	2	250	0,96	0,91	1,87	42	41	83
200	100	4	250	0,27	0,23	0,5	16	11	28
300	100	6	250	0,79	0,59	1,38	45	32	77
400	100	8	250	1,41	1,04	2,45	71	50	121
500	100	10	100	1,97	1,83	3,8	86	83	168

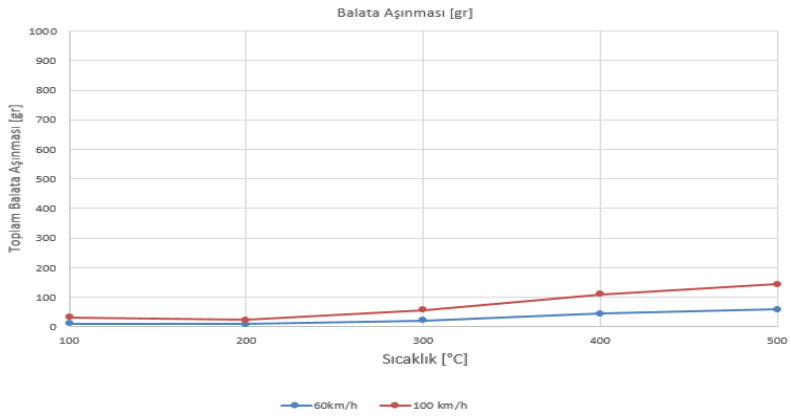
Tablo 4.19 B numunesi test değerleri

Test Çevrimi				Balata Aşınması(mm)			Balata Aşınması(gr)		
Sıcaklık	Hız	Adım No	Frenleme Sayısı	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam
100	60	1	500	0,14	0,17	0,21	4	5	9
200	60	3	500	0,11	0,14	0,25	4	4	8
300	60	5	250	0,11	0,16	0,27	11	11	21
400	60	7	250	0,2	0,3	0,50	23	21	44
500	60	9	250	0,43	0,36	0,78	30	29	59
Test Çevrimi				Balata Aşınması(mm)			Balata Aşınması(gr)		
Sıcaklık	Hız	Adım No	Frenleme Sayısı	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam	İç Taraf	Dış Taraf	Toplam
100	100	2	250	0,36	0,3	0,66	17	15	31
200	100	4	250	0,31	0,28	0,45	12	11	23
300	100	6	250	0,66	0,54	1,2	30	25	56
400	100	8	250	1,26	1,06	2,32	60	51	110
500	100	10	100	1,67	1,63	3,3	73	70	143

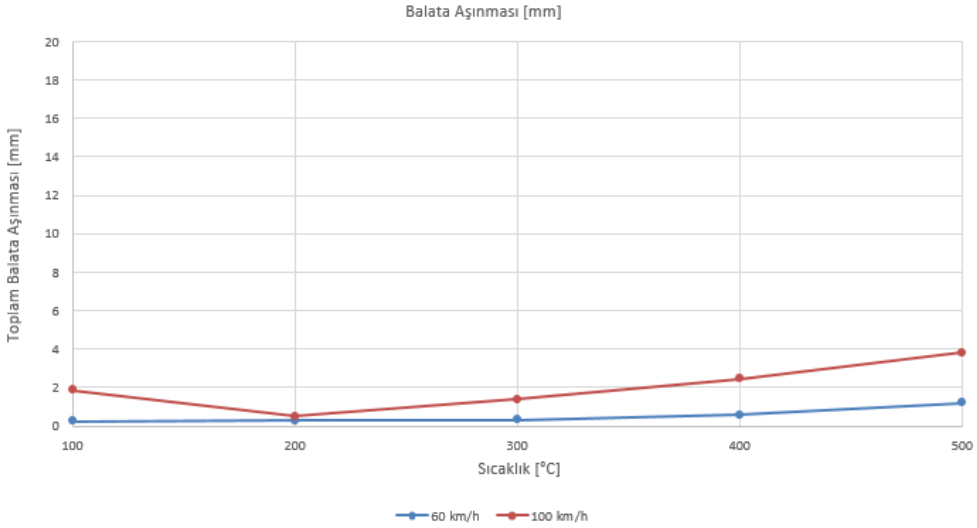
Deney sırasında girdi olarak tanımlanan bu değişkenlerin yanında çıktı olarak balata ve diskteki kalınlık ve ağırlık farkları kaydedilmiştir. Yukardaki tablolardaki veriler kullanılarak 100 ℃ - 200℃ - 300℃ - 400℃ - 500℃ sıcaklıkları için balata ve diskteki kalınlık ve ağırlık farkları değişimi A numunesi için Şekil 4.43 - 4.44, B numunesi için için Şekil 4.45 - 4.46'te gösterilmiştir.Ayrıca rotorların ve balataların öncesi sonrası durumları A numunesi (Şekil 4.47) ve B numunesi (Şekil 4.48) için aşağıda belirtilmiştir.



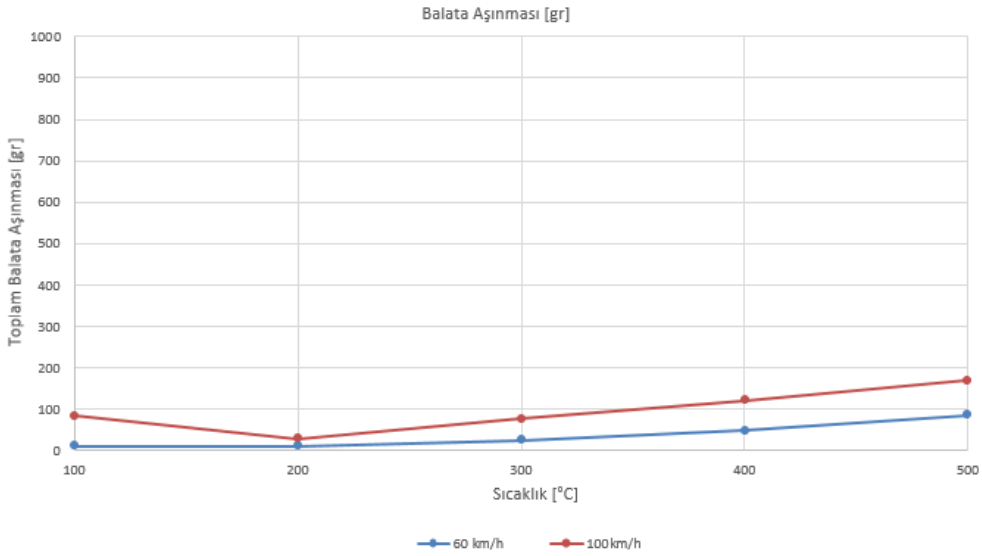
Şekil 4.43 A numunesi milimetre cinsinden balatadaki aşınma grafiği



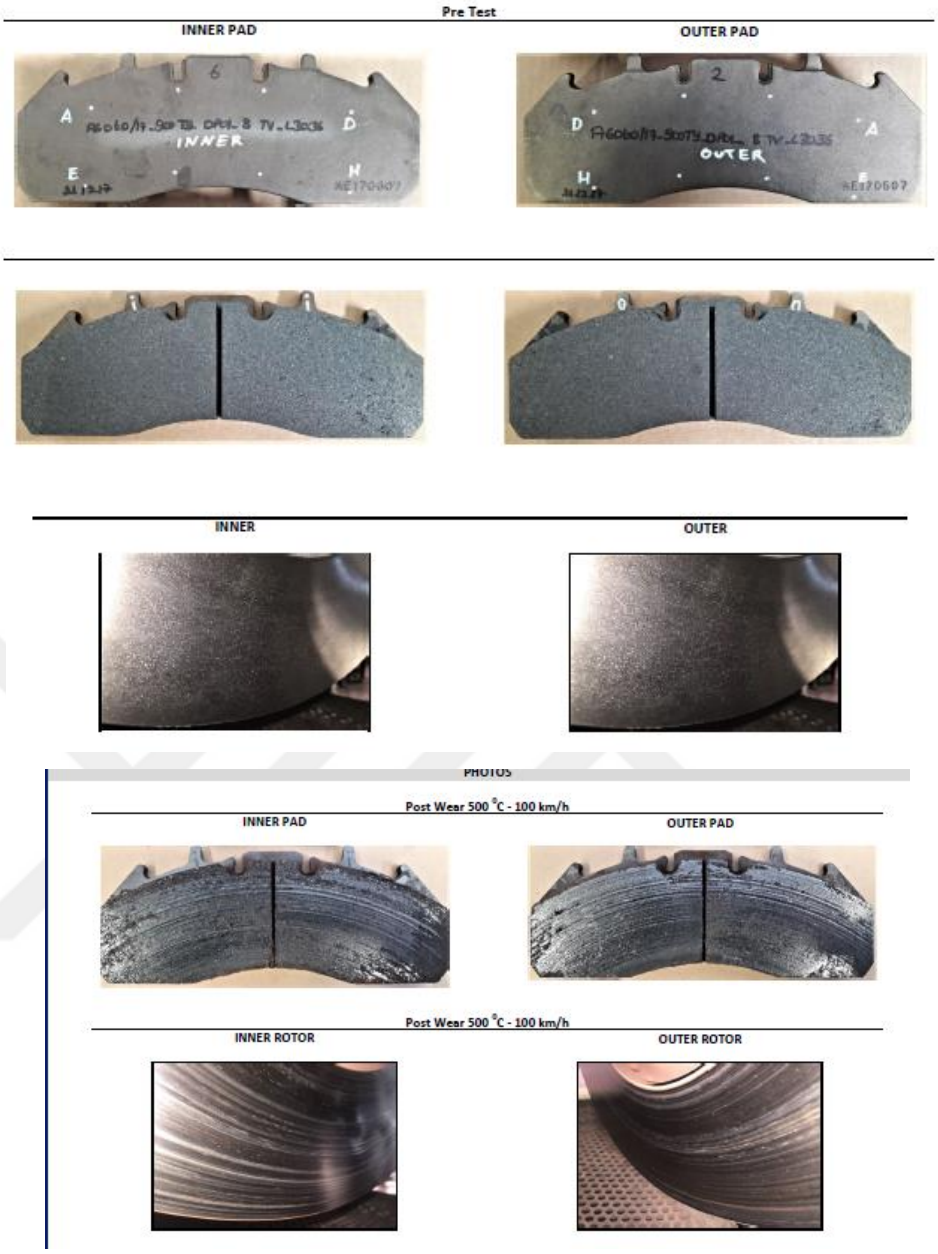
Şekil 4.44 A numunesi ağırlık cinsinden balatadaki aşınma grafiği



Şekil 4.45 B numunesi milimetre cinsinden balatadaki aşınma grafiği



Şekil 4.46 B numunesi ağırlık cinsinden balatadaki aşınma grafiği



Şekil 4.47 A numune test öncesi ve sonrası balata ve disk durumları



Şekil 4.48 B numunesi test öncesi ve sonrası balata ve disk durumları

BÖLÜM BEŞ
GENEL SONUÇ

Fren sisteminin en önemli parçalarından biri olan fren diski yani rotor üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların yapılma amacı fren performansının arttırılmasının sağlanması, aşınma ve işleme kabiliyetinin arttırılması hedeflenmiştir.Fren diski üzerine birçok çalışma yapılmıştır fakat yapılan çalışmalar genel olarak diskte dizayn anlamında değişiklikler yapılarak, performansın arttırılması hedeflenmiştir. Birkaç çalışma da dökme demir yerine farklı alternatif malzemelerin kullanılabiliriği üzerine yapılmıştır.Bu çalışmamda lamel grafitli dökme demirin iç yapısında gratif tipi ve boyutunu değiştirerek fren performansı, işlenebilirlik ve aşınma anlamında meydana gelecek değişikliği incelemeyi hedefledim. Döküm optimum şartlarda ve her iki numune içinde aynı ortam ve sıcaklık koşullarında gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra kish grafite etki edecek alaşım elementlerinin biribirine oldukça yakın değerlerde olduğu da görülmektedir. Dolayısıyla C tipi grafitin sebebi olarak karbon eşdeğeri konusunun üzerinde durulmuştur.A numunesinin karbon eşdeğeri ötektik nokta üzerinde gelmektedir, B numunesinin karbon eşdeğeri ötiktik altı gelmektedir.

Bölüm 4.3 ‘te , frekans(0,35 mm/dk), devir(550 dev/dk) ve takım(CNMA120412) aynı olacak şekilde 160’ar adet parça işlemesi yapılmıştır. İşleme sırasında A numunesinde her 10 parçada bir takımda körelme meydana geldi, disk yüzeyinde koparma oluşmaya başladı ve disk ölçülerinde sapmalar meydana geldi bu sebeblerden dolayı takım ucu değiştirilmiştir fakat B numunesinde aynı durum 20 parçada bir meydana gelmiştir ve takım ucu değiştirilmiştir. Bunun da sebebi olarak A numunesinin grafit tipinin ve boyutunun farklı olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

Bölüm 4.4’te ölçülen pin on disk sonuçları karşılaştırıldığında aynı şartlar altında B numunesinin daha fazla aşındığı görülmüştür.Daha fazla aşınmış olmasının sebebi olarakta B numunesinde parçaya sert bir yapı verecek C tipi grafit az olmasından kaynaklı daha fazla aşındığı düşünülmektedir. Numunede yüzeyden içeri doğru 3 farklı noktadan test yapıldı ve aşağıdaki tabloda 1-2-3 olarak belirtildi. Aşınma yüzeyleri ise

baş-orta-son olarak 3 farklı noktadan profilometre ile ölçüldü ve ortalaması alındı. A numunesinde ortalama 6,9(gr) aşınma meydana gelirken, B numunesinde 16,92(gr) gelmektedir. Buda B numunesine sahip diskin daha çok aşındığını göstermektedir.

Bölüm 4.5'te ölçülen frenleme performansı değerleri karşılaştırıldığında çeşitli araç hızları, disk sıcaklıkları ve frenleme basınçları altında A ve B numuneleri arasında %10'un altında fark görülmüştür.Testin tekrarlanabilirliği ve geçek saha koşullarıda göz önüne alındığında bu iki numunenin eş değer frenleme performansı gösterdiği yorumu yapılabilir.

Bölüm 4.5'te ölçülen balata aşınma değerleri incelendiğinde tüm hız ve sıcaklık sınır koşullarında A numunesinin B numunesinden daha iyi aşınma performansı gösterdiği görülmüştür. Ancak A numunesi balataları daha fazla aşındırmasına karşın diskin kendisi daha az aşınmıştır.Bunun nedenin A numunesinin grafit tipinin A ve C tipi grafit içermesi ve grafit boyutunun 5- 6 olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akman, C. (2006). GG22 *Lamel grafitli dökme demirden üretilen motor silindir gömleklerinin CNC torna tezgahında işlenebilirliğinin incelenmes*i. [Yüksek Lisans Tezi], Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aran, A. (6 Mayıs 2020). *Döküm teknolojisi imal usülleri ders notları.* http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/dokum.pdf

Akün, F. (1978) *Takım Tezgahları*, İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, 74-105.

Anayurt, M., Ferizoglu, T., Öztürk, S., Sadioglu, S. ve Erkeksoy, İ (1994). *Demir Döküm Teknolojisi*, KOSGEB Dökümhane Geliştirme İhtisas Merkezi, Ankara 120, 125, 135.

Anonim, (02.03.2020). Bartın Üniversitesi *14.hafta döküm teknolojisi*. https://cdn.bartin.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/14.-hafta-dokum-teknolojisi.pdf

Apakhan, M. (2006). *Seramik takımlarla talaş kaldırmada talaş açısının işlenebilirliğe etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi], Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ay, E. (2013) *Farklı seramik kesici takımlar için takım ömrü modellerinde üstel değerlerin deneysel olarak belirlenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi], Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bayrakçeken, H. ve Düzgün, M. (2005). Taşıtlarda Fren Verimi ve Frenleme Mesafesi Analizi. *Politeknik Dergisi, 8*, 153-160

Cavcar, M.M. (5 Haziran 2020). *Dökme Demirler ve dökme demirlerin kaynağı,* https://www.magmaweld.com.tr/Content/UserFiles/OerlikonKutuphanesi/Dokme_demirler_ve_dokme_demirlerin_kaynagi.pdf.

Callister, W.D. ve Rethwisch, D.G. (2011), *Materials Science and Engineering*, John Wiley and Sons, *8*, 971, ABD.

Ceyhun., N. ve Bayrak., Ö. (2019) "Hava delikli fren disklerinin termal ve mekanik gerilme analizi ve geometrik optimizasyonunun yapılması", *Euroasia 3rd International Congress Of Applied Sciences*, 57, 69, Sivas.

Çavusoglu, E.N. (1992) *Döküm Teknolojisi 1*, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya - Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi.

Domaç, H. (2011) *Frezeleme işleminde kesici uç yarıçapı ve uç geometrisinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin araştırılması,* [Yüksek Lisans Tezi], Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100.

Düzgün, M. (2014) "Hava soğutma kanallı fren disklerinin termo-mekanik özelliklerinin sonlu eleman analizi kullanılarak geliştirilmesi", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29, 627.

Güntay, B. (2019) *Taşınabilir fren dinamiği inceleme cihazı tasarımı ve yazılımı*, [Yüksek Lisans Tezi], Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güleyüpoglu, S. (1997). *Casting Process Design Guidelines*, AFS Transactions, 83, 869-871

Karamusaoğlu, H.A. (2009). *Küresel grafitli dökme demirin (GGG60) işlenmesinde kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi*, Karabük Üniversitesi Fen

Bilimleri Enstitüsü, 11.

Kılıç, S. (2014). *SiAlON kesici takım üretimi ve kesme performansının incelenmesi,* Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 126.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (7 Ocak 2021).“*Trafik Kazaları Özeti 2020”,* https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/TrafikKazalariOzeti2020.pdf.

Koçak, H., Gülesin, M. ve Uzun, G. (2014). *GGG90 küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmesi,* ISITES, 296-301.

MEB, (2013) *“Fren Sistemleri (Motorlu Araçlar Teknolojisi)”*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 5-6, 11-12.

Meritor, (2009). *Maintenance Manual no. MM-0350,* www.meritor.com, Cwmbran, 91.

Öztürk, S. (6 Mayıs 2020). *Dökme demirler*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, aves.ktu.edu.tr/ImageOfByte.aspx?Resim=8&SSNO=3&USER=7811.

Özocakcıoğlu, A., (2016) *Sertleştirilmiş AISI4140 çelik malzemenin işlenmesinde seramik kesici takımda oluşan aşınmanın incelenmesi,* [Yüksek Lisans Tezi], Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 68.

Uçal, O. (2019) *Lamel grafitli dökme demirin talaşlı işlenmesinde takım performanslarının karşılaştırmalı analizi*. [Yüksek Lisans Tezi], Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Weissbach, W. (1998). Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, *Birsen Yayınevi,* 347, İstanbul.

Zuber, C. ve Heidenreich, B. (2006) “Development of a Net Shape Manufacturing Mehod for Ventilated Brake Discs in Single Piece Design”, *Materials Science & Engineering Technology*, 37, 30