

**KOK KIRICI MERDANELERİNİN
İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMÜRLERİNİN
ARTTIRILMASI**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Aziz ÖZER

**KOK KIRICI MERDANELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMÜRLERİNİN
ARTTIRILMASI**

Aziz ÖZER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

KARABÜK

Ocak 2013

Aziz ÖZER tarafından hazırlanan “KOK KIRICI MERDANELERİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMRÜNÜN ARTTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Refik POLAT

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 07/ 01/ 2013

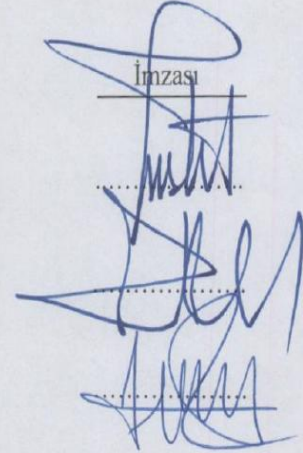
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Fatih ÜSTEL (SAÜ)

Üye : Prof. Dr. Refik POLAT (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

İmzası



23 / 01 / 2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Aziz ÖZER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOK KIRICI MERDANELERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE ÖMÜRLERİNİN ARTTIRILMASI

Aziz ÖZER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Refik POLAT

Ocak 2013, 83 sayfa

Bu çalışmada; Kardemir A.Ş Sinter fabrikasında bulunan kok kırıcılarında kullanılan sert dolgu kaynaklı merdanelerinin kısa süre içerisinde deforme olması, Sinter üretim maliyetlerini, Sinter ürün kalitesini etkilemektedir. Bununla birlikte merdane sert dolgu maliyetinin yüksek rakamlara ulaşması bizi bir arayışa itmiştir. Bu arayış, olumsuz etkilenmeyi en aza indirmek için maliyeti ucuz, işlenebilme kabiliyeti kolay, tokluk ve aşınma dayanımı yüksek olan Sfero' ya (Küresel Grafitli döküm) yöneltmiştir. Küresel grafitli dökme demirler, çeliğin mekanik özelliklerine ve dökme demirin üretim özelliklerine sahip bir malzeme grubu olarak tanımlanmıştır. Küresel grafitli dökme demirler, gri dökme demirlerden yaklaşık iki kat daha fazla mukavemete sahip olup, çeliğe göre çok daha kolayca dökülebilmektedir. Üstelik üretimindeki büyük maliyet avantajı, kullanım alanını hem çelik hem de diğer dökme demirlere göre her geçen gün biraz daha genişletmiştir. Günümüzde küresel grafitli dökme demirler özellikle otomotiv endüstrisinde başarıyla kullanılmaktadır. Bizde kok kırıcı merdanelerinde kullanıp performansını izledik, Sfero döküm merdaneleri

Kardemir A.Ş bağlı KARDÖKMAK A.Ş. tarafından dökümleri yaptırıldı. Yapılan bu dökümlere göre kimyasal analiz değerlendirmesi yapıldı; Merdanenin yüksek mekanik özelliklere sahip olması için döküm içindeki % C, % Mn, % Si, % S, % P, % Cr, % Ni, % Mo, % Cu, % Mg gibi elementlerin döküm üzerindeki etkileri ve sertlik kontrolleri incelendi. Bu inceleme sonucunda her bir merdane kok kırıcı makinesinde çalışma saatleri belirlendi.

Son olarak, Sfero döküm merdanenin kok kırıcı makinesindeki çalışma saati sert dolgu kaynaklı merdaneye göre 8 kat fazla olduğu tespit edilmiş oldu.

Anahtar Sözcükler : Kok kırıcı merdanesi, sfero döküm, merdane aşınma, sinter.

Bilim Kodu : 914:1.092

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE IMPROVEMENT OF COKE CRUSHING ROLLS AND THE INCREASE OF LIFE EXPECTANCY

Aziz OZER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor

Assoc. Prof. Dr. Refik POLAT

January 2013, 83 Page

This study examines how the hard fillet rolls, which are used in the coke crushing in the sinister factory of Kardemir Inc., are deformed within a short period of time, together with the cost of the sinister production and the effect on the sinister product quality. However, the high cost of the hard fillet rolls has caused us to search for an alternative way. As a result of this search to minimize the negative effect, attention has been turned towards Sfero (Nodular Graphitic Cast Iron) which is cheap and easy to process and whose toughness and erosion resistance is high. Graphitic casting iron has been defined as the steel which has the mechanical quality as well as production characteristics of cast iron. The resistance of Nodular Graphitic Cast Iron is twice as high as the resistance of grey cast iron, and thus it could be easily casted when compared to the steel. Besides, the advantage of the high production cost enlarges more and more every day the field of its usage according to both steel and another cast iron. Today Nodular Graphitic Cast Iron is successfully used in the automobile industry. In this study, Nodular Graphitic Cast Iron was used in the coke

crushing rolls, and its performance was observed. Nodular Graphitic Cast Iron rolls were casted by KARDOKMAK, which pertains to Kardemir Inc. According to this casting, the evaluation of chemical analysis was made. In order to have high quality rolls, the effect and stiffness controls of elements such as C%, Mn%, Si%, P%, Cr %, Ni%, Mo%, Cu%, and Mg% on casting were investigated. At the end of this investigation, the working hours in each roll of coke crushing machine were decided. Finally, it was determined that the working hours of Nodular Graphitic Cast Iron rolls were eight times as high as that of hard core rolls.

Key Words : Coke crushing rolls, sfero cast, roll erosion, sinter.

Science Code : 914:1.092

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yűrűtűlmesinde ve oluőumunda ilgi ve desteęini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrűbelerinden yararlandığım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ıőıęında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Refik POLAT'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Deneysel alıőmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Elif ŐZTUYAK, çok kıymetli iő arkadaőım Őzgűr AYKUT'a teőekkűrű bir borç bilirim.

Tezimin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen, Hűseyin ACAR'a teőekkűr ederim.

Sevgili eőim Firdevs Őzer 'e maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeden yanımda olduęu için tűm kalbimle teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	2
KARABÜK DEMİR ÇELİK FABRİKASI KURULUŞU	2
2.1. SİNTER PROSESİ.....	4
2.2. KARDEMİR SİNTER FABRİKASI.....	5
2.2.1. Sinter Makinelerinin Tarihçesi.....	5
2.2.2. Sinter Tesisi Genel Çalışma ve Tesis Bilgileri.....	8
2.2.2.1. Kok ve Kireçtaşı Kırma Eleme Hattı	9
2.2.2.2. Sinterlik Harman Malzemesi ve Yatak Malzemesi Hattı.....	11
2.2.2.3. Sinter Makineleri ve Soğutucular.....	12
2.2.2.4. Sinter Tozu ve Tozsuzlaştırma Tozu Hattı.....	15
2.2.2.5. Ürün Hattı	16
2.3. SİNTER TESİSİNDE KOK TOZUNUN ÖNEMİ	18
2.3.1. Kok Kırma Bölümü.....	18
2.3.2. Kok kırıcı merdanesi mevcut durumu	19

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3.	23
AŞINMA.....	23
3.1. AŞINMA TÜRLERİ	23
3.1.1. Abrazyon Aşınması	23
3.1.1.1. Düşük Gerilmeli Abrazyon	24
3.1.1.2. Yüksek Gerilmeli Abrazyon	24
3.1.1.3. Eşme, Yontma	24
3.1.1.4. Parlatma.....	24
3.1.2. Erozyon Aşınması	25
3.1.2.1. Katı Parçacık Çarpması	25
3.1.2.2. Akışkan Çarpması Erozyonu.....	25
3.1.2.3. Kavitasyon	26
3.1.2.4. Çamur Erozyonu	26
3.1.3. Adezyon Aşınması.....	26
3.1.3.1. Yeme Aşınması	26
3.1.3.2. Yapışıp Kaydırma Aşınması	27
3.1.3.3. Kaynama	27
3.1.3.4. Sıyırma ya da Kaydırma	27
3.1.3.5. Oksidatif Aşınma	27
3.1.4. Yüzey Yorulması	28
3.1.4.1. Yeme Aşınması	28
3.1.4.2. Spalling	28
3.1.4.3. Darbe Aşınması	29
3.1.4.4. Brinelling	29
BÖLÜM 4.	30
KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER	30
4.1. KGDD ÖZELLİKLERİ	30
4.1.1. KGDD' in Üretim Türleri.....	32
4.1.2. KGDD' in Sınıflandırılması ve Mühendislik Özellikleri.....	34
4.2. KGDD' in METALURJİK ESASLARI.....	38
4.2.1. Katılaşma ve Grafit Oluşumu	39

4.2.2. Küreselleştiricilerden Mg' in Etkisi	44
4.2.3. KGDD Bileşimindeki Ana Elementlerin Kontrolü	45
4.2.4. Grafitin Dağılımı ve Şeklini etkileyen Elementler.....	46
4.2.5. Küreleştirici ilavesi.....	49
4.2.6. Aşılama	50
4.2.7. Dökümhane ve Döküm Özellikleri	52
BÖLÜM 5	54
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	54
5.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI	54
5.1.1. Deney Numunelerinin Metalografik İncelenmesi.....	57
5.1.1.1. Numune Hazırlama	58
5.1.1.2. Zımparalama	58
5.1.1.3. Parlatma	58
5.1.1.4. Dağlama	59
5.2. SERTLİK CİHAZI VE SERTLİK TESTİ UYGULAMASI	59
5.3. ÇALIŞMA ÖMÜRLERİNİN İNCELENMESİ	60
BÖLÜM 6	61
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	61
6.1. NUMENELERİN MİKRO YAPISI VE SONUÇLARI	61
6.2. MERDANELERİN SERTLİK DEĞERİ	68
6.3. MERDANELERİN ÇALIŞMA SAATLERİ	71
6.4. MERDANELERİN AŞINMA KAYIPLARI İNCELENMESİ	75
BÖLÜM 7.	79
SONUÇ VE ÖNERİLER	79
7.1. SONUÇLAR	79
7.2. ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sinter külçesi.....	5
Şekil 2.2. 1947 – 1952 Sinter üretim değerleri	6
Şekil 2.3. 1963 – 1987 Sinter üretim değerleri	6
Şekil 2.4. 1963 – 1987 Sinter üretim değerleri	7
Şekil 2.5. 1988 – 2009 Sinter üretim değerleri	8
Şekil 2.6. Sinter tesisi genel görünüş resim	9
Şekil 2.7. Sinter kok kırıcıları	10
Şekil 2.8. Sinter tesisi yatak malzemesi hatları.....	12
Şekil 2.9. Sinter döner soğutucuları	13
Şekil 2.10. Sinter döner soğutucu resmi.....	14
Şekil 2.11. Sinter dozajlama binası	15
Şekil 2.12. Elektro speküler partikül tutucu.....	16
Şekil 2.13. Sinter makinası görünüş resmi.....	17
Şekil 2.14. Kok kırma makinası genel görünüş resmi	18
Şekil 2.15. Kok kırma makinesi kesit görüntü resmi	19
Şekil 2.16. Kok kırıcı merdanesi imalat resmi	20
Şekil 2.17. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.....	21
Şekil 2.18. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.....	22
Şekil 2.19. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.....	22
Şekil 2.20. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.....	22
Şekil 4.1. Farklı derecede küreselleşmiş KGDD ‘in mikroyapı fotoğrafı.....	30
Şekil 4.2. Değişik KGDD türlerinin σ ç (Çekme) ve % uzama değerleri	33
Şekil 4.3. KGDD’lerin çekmelerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması	33
Şekil 4.4. KGDD matris mikro yapısının darbe direncine etkisi	37
Şekil 4.5. Sertlik (BSD) ile çekme özellikleri arasındaki ilişki	38
Şekil 4.6. Dallanma frekansına göre bir grafit küresinin büyüme kademeleri.....	40

Sayfa

Şekil 4.7. Yüzey enerji hipotezi küre şekilli grafitin büyüme kademesi.	41
Şekil 4.8. Faz sınırı teorisi küre şekilli grafitin kademeleri	44
Şekil 4.9. Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar	47
Şekil 4.10. Grafit şekli üzerinde silisyum ve kalay arasındaki denge durumu.	48
Şekil 4.11. KGDD yapıda Mg miktarı ile Tİ miktarı arasındaki ilişki	48
Şekil 4.12. Küre şekilli grafitler elde etmek için gerekli mg miktarı.....	49
Şekil 4.13. Aşılama üzerine sıcaklığın etkisi..	52
Şekil 5.1. Kok kırıcı merdanesi teknik resmi.....	54
Şekil 5.2. İndüksiyon ocağı.....	55
Şekil 5.3. Dökümün potalara alınması	55
Şekil 5.4. Dökümhaneden genel görünüş resmi.....	56
Şekil 5.5. Kok kırıcı merdanesinin revize olmuş teknik resmi	57
Şekil 5.6. Optik mikroskop cihazı.....	58
Şekil 5.7. Metalografik parlatma cihazı	59
Şekil 5.8. Yerinde sertlik ölçüm cihazı	60
Şekil 5.9. Kok kırma makinesi.....	60
Şekil 6.1. Döküm (DKM1) mikro yapı şekli.....	62
Şekil 6.2. Döküm (DKM2) mikro yapı şekli.....	63
Şekil 6.3. Döküm (DKM3) mikro yapı şekli.....	64
Şekil 6.4. Döküm (DKM4) mikro yapı şekli.....	65
Şekil 6.5. Döküm (DKM5) mikro yapı şekli.....	66
Şekil 6.6. Döküm (DKM6) mikro yapı şekli.....	67
Şekil 6.7. Dökümler için alınan sertlik noktaları	68
Şekil 6.8. Merdane sertlik ölçüm resmi	68
Şekil 6.9. Merdane sertlik ölçüm resmi	69
Şekil 6.10. Kurutma makinesi.....	71
Şekil 6.11. Eleme cihazı.....	72
Şekil 6.12. Döküm(DKM1) merdanesi çalışma saati.....	72
Şekil 6.13. Döküm(DKM2) merdanesi çalışma saati.....	73
Şekil 6.14. Döküm(DKM3) merdanesi çalışma saati.....	73
Şekil 6.15. Döküm (DKM4) merdanesi çalışma saati.....	74
Şekil 6.16. Döküm(DKM5) merdanesi çalışma saati.....	74

Sayfa

Şekil 6.17. Döküm(DKM6) merdanesi çalışma saati.....	75
Şekil 6.18. Döküm(DKM1) merdanesi aşınma resmi.....	75
Şekil 6.19. Döküm(DKM2) merdanesi aşınma resmi.....	76
Şekil 6.20. Döküm(DKM3) merdanesi aşınma resmi.....	76
Şekil 6.21. Döküm(DKM4) merdanesi aşınma resmi.....	77
Şekil 6.22. Döküm(DKM5) merdanesi aşınma resmi.....	77
Şekil 6.23. Döküm(DKM6) merdanesi aşınma resmi.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Kırıcı kırma boyutları ve kapasiteleri	11
Çizelge 2.2. Döner soğutucu özellikleri	14
Çizelge 2.3. Esp teknik özellikleri	16
Çizelge 2.4. Sinter makinesi kapasite değerleri	17
Çizelge 2.5. Kok merdanesi tampon tabakası için kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri.....	20
Çizelge 2.6. Kok merdanesi sert dolgu tabakası için kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri.....	20
Çizelge 2.7. Merdane 1. alternatif sert dolgu tabakası için analiz değeri	21
Çizelge 2.8. Merdane 2. alternatif sert dolgu tabakası için analiz değeri	21
Çizelge 4.1. KGDD'in mekanik özelliklerinin diğer DD ile karşılaştırılması.....	31
Çizelge 4.2. TS 526 standardına göre KGDD 'in sınıflandırılması	35
Çizelge 4.3. DIN 1693 standardına göre KGDD 'in sınıflandırılması.....	35
Çizelge 6.1. Döküm(DKM1) Merdanesi yüzey sertliği	69
Çizelge 6.2. Döküm(DKM2) Merdanesi yüzey sertliği	69
Çizelge 6.3. Döküm(DKM3) Merdanesi yüzey sertliği	70
Çizelge 6.4. Döküm(DKM4) Merdanesi yüzey sertliği	70
Çizelge 6.5. Döküm(DKM5) Merdanesi yüzey sertliği	70
Çizelge 6.6. Döküm(DKM6) Merdanesi yüzey sertliği	71

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

B	: Bor
Be	: Beryum
C	: Karbon
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
HB	: Brinel Sertlik
K	: Potasyum
Li	: Lityum
M	: Modul
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
MPa	: Mega paskal
Mo	: Molibden
Na	: Sodyum
Ni	: Nikel
P	: Potasyum
S	: Kükürt
Se	: Seryum
Si	: Silisyum
V	: Parça Hacmi
Y	: Yitrium
σ_c	: Çekme gerilmesi sembolü

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
DD	: Dökümle yapılan Demirler
DKM1	: Dökülen 1. Merdane
DKM2	: Dökülen 2. Merdane
DKM3	: Dökülen 3. Merdane
DKM4	: Dökülen 4. Merdane
DKM5	: Dökülen 5. Merdane
DKM6	: Dökülen 6. Merdane
IIW-IIS	: Uluslararası Kaynak Enstitüsü
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
KGDD	: Küresel Grafitli Dökme Demir
MIG	: Metal Inert Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
INCO	: International Nikel Company

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demir çelik endüstrisi; geçmişten günümüze kadar sürekli olarak gelişmiş ve ürettiği yarı ve son ürünler birçok sanayi dalının vazgeçilmezi haline gelmiştir. Ülkelerin gelişmişliğinin kişi başına düşen çelik miktarıyla değerlendirilmeye başlanması buna karşılık hammadde kaynaklarının da giderek azalması bu sektördeki rekabeti ve bu sektörün önemini arttırmaktadır [1].

Ülkemizde ilk entegre Demir çelik Fabrikasının kurulmasına 3 Nisan 1937 tarihinde Cumhuriyetin ilk önemli ağır sanayi kuruluşunun temeli, görkemli törenlerle Soğanlı çayının kıyısında uzayıp giden çeltik tarlalarının üzerinde atılıyordu. Buralar bölgenin en önemli pirinç ekim alanlarıydı. Yüksek dağlarla çevrili dümdüz vadinin sessizliği artık bozuluyordu. İnsanlar çevre köylerden, Eflani ve Kastamonu'dan akın akın gelmişlerdi. O günlerin en önemli merkezi olan Safranbolu'dan memurlar, halk ve öğrenciler törende yerlerini almışlardı. Türkiye'de Demir Çelik Sanayinin kurulması çalışmalarına 1932 yılında Rus heyetinin incelemeleri ile başlanmıştır. Heyetin verdiği raporda, 1929-1930 yılları gümrük istatistiklerine göre yılda 150 000 ton ham demire sürüm bulunabileceği, gelecekteki ihtiyaçta düşünüldüğünde yılda 300 000 ton ham demir üretim yapacak yüksek fırınlara gereksinim duyulacağı tahmin edilmiştir. Yüksek fırınların işletilmesi için kurulacak kok fabrikasından da kimya sanayi bakımından çok önemli yan ürünler elde edileceği, ağır sanayi merkezi çevresinde kurulacak sülfürik asit ve diğer yan sanayinin ekonomik olacağı saptanmıştır. Nihayet ağır demir sanayinin kuruluş yerinin tespiti ve diğer sorunların incelenmesi için, Sümerbank ve Erkan-ı Harbiye birlikte incelemelerde bulunarak Birinci Sanayi Planında yer alan ağır demir sanayinin kesin olarak kurulmasına karar verilmiştir. Kuruluş yeri için KARABÜK yöresini uygun bulmuşlardır [1].

BÖLÜM 2

KARABÜK DEMİR ÇELİK FABRİKASI

Ulusların tarihlerinde dönüm noktalarını ve atılımlarını simgeleyen isimler vardır. Karabük, Türk ulusunun tarihinde yer alan, işte bu ışıltılı isimlerden biridir. Karabük adının Türkiye'nin yazgısında görev üstlenmek üzere saptandığı ve işitmeye başlandığı yıllar, Cumhuriyetin gençlik yıllarıdır. Büyük kurtarıcı ve kurucu Atatürk, her biri başlı başına “devrim” yaratan kararlarından bir yenisini daha verir. Türkiye sanayileşecek ve sanayileşme “ulusal” bir nitelik taşıyacaktır. Modern Türkiye'nin endüstriyel atılımlarına öncülük edip temel oluşturacak entegre demir çelik tesisleri, en uygun yerde ve koşulda süratle kurulacaktır. Büyük Önder'in, bütün bir ulusun da özlemini yansıtan bu kararı, O'nun sağlığında hayata geçirilir [2].

Ülkemizde demir çelik sanayisinin kurulmasına yönelik ilk girişimlere İktisat Vekâleti tarafından 1925 yılında başlanmıştır. Bu amaçla Avrupa'dan getirtilen uzmanlara madenlerimiz incelettirilmiş, 29 Mart 1926 tarihinde ise demir sanayisinin tesisine dair ilk kanun resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Ancak demir çelik sanayisinin kuruluşuna yönelik 1932 yılına kadar aralıklarla süren çalışmalardan netice alınamamış, 1932 yılında ise yabancı uzmanlara yeniden inceleme ve araştırma yaptırılmıştır. Demir Çelik sanayisinin kuruluş yerinin saptanması ve diğer sorunlarının incelenmesi için ise Sümerbank ve Erkan'ı Harbiye temsilcilerinin ortaklaşa yürüttükleri çalışma ile gerekli koşullar her yönüyle araştırılmış ve Türkiye'nin ilk entegre demir- çelik sanayinin; maden kömürü havzasına ve sahile yakınlığı, demiryolu güzergahında bulunuşu, jeolojik bakımdan ağır endüstrinin kurulmasına elverişli olması ve stratejik uygunluğu nedeniyle 13 hanelik Karabük Köyü'nde kurulmasına karar verilmiştir. Tesislerin yapımı ise, 10 Kasım 1936 tarihinde İngiliz Hükümeti ile imzalanan 2,5 Milyon Sterlinlik kredi anlaşmasına dayalı olarak H.A.Brassert Firmasına ihale edilmiştir. Karabük'teki Soğanlı ve Araç çaylarının arasında yer alan geniş çeltik tarlaları üzerine kurulacak

Türkiye'nin ilk entegre demir çelik tesisinin temeline ilk harcı, 3 Nisan 1937 tarihinde dönemin Başbakanı İsmet İnönü koymuş ve böylece ülkemizde çelik tarımından çelik sanayine dönüşüm başlamıştır. Temele konan bu ilk harçtan sadece bir yıl sonra 1 Mart 1938 yılında makine montajlarına başlanılan Karabük Demir Çelik Fabrikaları, Türk mühendis, teknisyen ve işçilerinin üstün çabaları sayesinde 2 yıl gibi kısa bir sürede tamamlanarak, 6 Haziran 1939'dan itibaren peyderpey işletmeye alınmıştır [2].

Başlangıçta Sümerbank'a bağlı bir müessese olarak faaliyetini sürdüren Karabük Demir Çelik Fabrikaları, işletmenin muhtelif ünitelerin ilavesi ile genişletilmesi üzerine 1955 yılında Sümerbank'tan ayrılarak bağımsız bir İktisadi Devlet Teşekkülü durumuna gelmiş ve "Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü" adını almıştır. Etibank'ın bir müessesesi olan Divriği Demir Madenlerinin de bünyesine katılmasıyla 1976 yılına kadar Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü olarak faaliyetini sürdüren Karabük Demir Çelik Fabrikaları, bu tarihten sonra Bakanlar Kurulu kararnamesi ile yeniden yapılandırılmış ve Genel Müdürlüğe bağlı bir müessese haline getirilmiştir. Karabük Demir Çelik Fabrikaları için en önemli statü değişikliği ise 1994 yılında yaşanmıştır.

1994 yılı sonuna kadar Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı bir müessese olarak faaliyet gösteren Karabük Demir Çelik Fabrikalarının, 5 Nisan 1994 tarihli ekonomik istikrar kararları çerçevesinde kapatılmasına karar verilmiştir. Ancak, ülkemize sayısız hizmetleri olan Karabük Demir Çelik Fabrikalarının kapatılması kararına karşı, fabrikada örgütlü bulunan Çelik İş Sendikası ve bağlı çalışanlarıyla birlikte tüm yöre halkı büyük tepki göstermiş ve kamuoyunda oluşan bu tepkiler Karabük Demir Çelik Fabrikaları için yeni bir sürecin başlangıcı olmuştur. Dönemin hükümeti ile sürdürülen uzun görüşmeler sonrasında fabrikanın özelleştirme kapsamına alınması sağlanmış ve Özelleştirme Yüksek Kurulunun kararı ile Karabük Demir Çelik Fabrikaları Müessesesinin, KARDEMİR A.Ş' ne devri öngörülmüştür. Özelleştirme İdaresi Başkanlığı ile Kardemir A.Ş Mütteşebbis Heyeti tarafından 1995 tarihinde imzalanan sözleşme ile devir şartları hükme bağlanarak özelleştirme gerçekleştirilmiş ve Karabük Demir Çelik Fabrikaları, Kardemir AŞ tarafından devir alınmıştır [2].

Özelleştirildiği 1995 yılından itibaren yeni yatırım projelerini bir bir hayata geçiren Kardemir, geçen yıllar içinde bir taraftan üretim teknolojilerini yenilerken diğer yandan devreye aldığı Yeni Ray ve Profil Haddehanesi ve Yeni Yüksek Fırın yatırımları ile de, Türk sanayisine öncülük etmeyi sürdürmüştür. İstanbul Sanayi Odası tarafından her yıl açıklanan verilere göre ülkemizin en büyük ilk 50 sanayi kuruluşu arasında yer alan Kardemir, bugünkü kurumsal kimliği ile bir dünya şirketi olma yolunda emin adımlarla ilerlemektedir [2].

2.1. SİNER PROSESİ

Sinter fabrikasının ana fonksiyonu yüksek fırına sinter üretmek ve beslemektir. Ayrıca bu proses bir cevher hazırlama işlemidir. Nedeni de düşük terörlü ve toz halinde olan demirli malzemeler yüksek fırın prosesinde problemler çıkaracağından, bu malzemeler şarj edilmeden önce bir zenginleştirme işleminden geçirilir buna da Sinterleme prosesi denir. Bir baksa tarifi ise 0-8 mm ebadındaki demir cevherleri katı bir yakıt olan kok tozu ile (0-3 mm) karıştırılarak, gerekli katık maddeleri ile harmanlanıp, yüksek fırında kullanılabilir hale getirilmesi işlemidir. Sinterleme esas olarak, rutubetlenmiş demir cevheri tozları ve diğer toz haldeki malzemelerin katı yakıt (kok tozu) ile beraberce karışık olarak geçirgen bir yatak üzerine yüklendikten sonra, karışımın üst yüzeyinden sıvı veya gaz yakıtla yüksek bir sıcaklık elde edildiği ve geçirgen tabandan devamlı hava emişinin sağlandığı bir ortamda yapılır [3].



Şekil 2.1. Sinter külçesi.

Sinterleme ;

- Kısmi ergime metodu ile ufak parçaların temas yüzeylerinden birbirine yapışmaları,
- Yeniden kristalleşme ile difüzyon bağlarının oluşması ve parçaların erimeden birbirine yapışmalarını sağlayan hematit ve maganetit kristalinin büyümesi işlemidir. Sinterleme sonucunda toz demir cevherleri ısı ve oksidasyon yoluyla termik sertleştirilmeye uğradıktan sonra kompakt bir duruma getirilmiş olurlar. Sinter kullanımı ile yüksek fırınlarda yüksek verimlilik ve düşük kok oranı ile çalışma imkânı sağlanmaktadır [3].

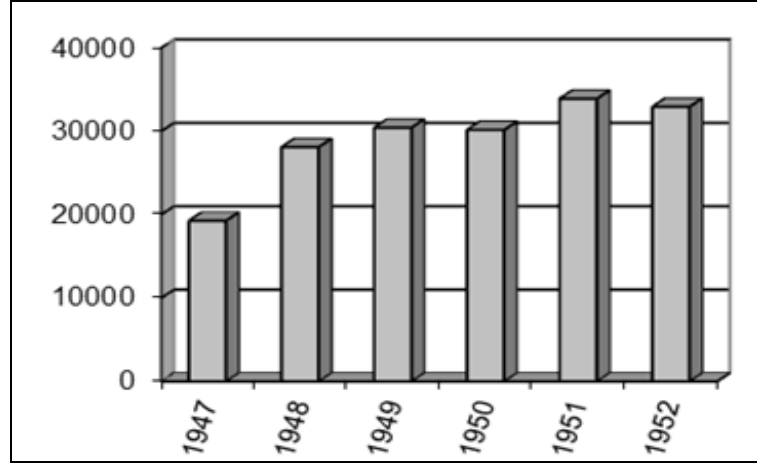
2.2. KARDEMİR SINTER FABRİKASI

Sinter Tesisi, yüksek fırınlarda doğrudan kullanılamayacak özellikteki kükürtlü ve toz cevherlerin ergime derecesinin altında bir sıcaklıkta ısıtılmak suretiyle kullanıma uygun ebat ve dayanıklılıkta külçeleştirildiği tesistir [3].

2.2.1. Sinter Makinelerinin Tarihçesi

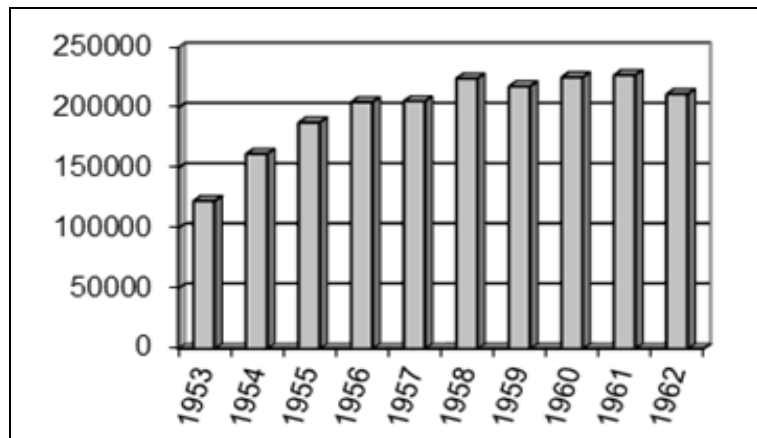
Türkiye’de ve aynı zamanda Kardemir A.Ş.de ilk sinter makinesi 1947 yılında devreye alınan 34 m² sinter makinesidir.

1952 yılına kadar toplam 174 788 ton ortalama 29 131 ton/yıl değerleri ile üretim gerçekleşmiştir. Bu zaman diliminde Yüksek Fırınlarda % 15 kullanım oranı ile ton başına 217 kg sinter tüketimi gerçekleştirmiştir [3].



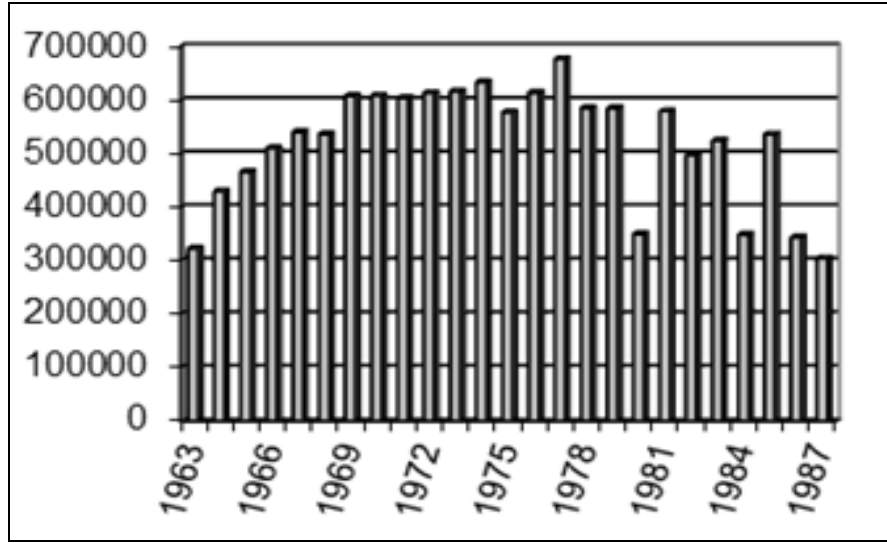
Şekil 2.2. 1947 – 1952 Sinter üretim değerleri.

1953 yılında söz konusu makine devre dışı bırakılarak yerine Alman Lurgi Firmasının yapmış olduğu Dwight-Lloyd tipi 35 m² yeni bir Sinter makinesi devreye alınmıştır. 1953–1962 yılları arasında yıllık ortalama 198 957 ton değeri ile toplam 1 989 572 ton üretim gerçekleşmiştir. 1952 yılında 2 Nolu Yüksek Fırının devreye girmesi ile birlikte artan sinter kullanım miktarı % 49,2 ile ton başına 877 kg şeklinde gerçekleşmiştir [3].



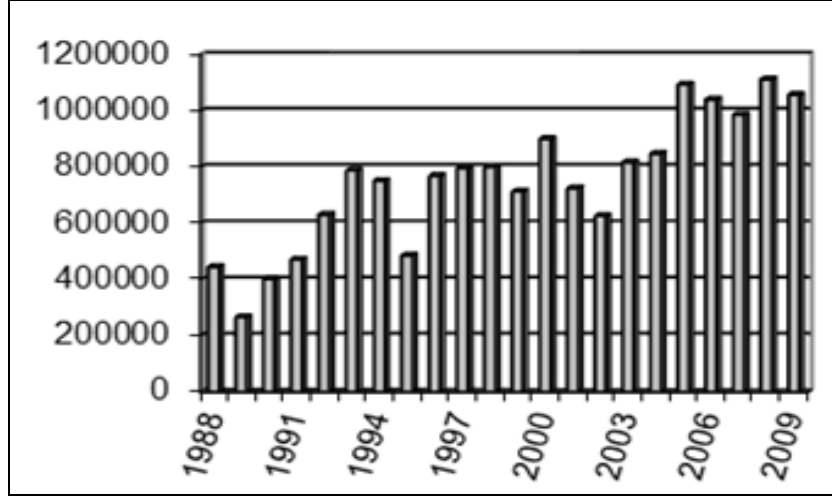
Şekil 2.3. 1953 – 1962 Sinter üretim değerleri.

1962 yılında ise mevcut 35 m² Sinter Makinesine ilaveten Alman Lurgi Firması tarafından ikinci bir 60 m² sinter makinesi daha devreye alınarak 1987 yılına kadar bu iki makine çalışmaya devam etmişlerdir. Bu yıllar arasında yapılan yıllık ortalama 520 071 ton ile toplam 13 001 780 ton üretim gerçekleştirilmiştir. Yüksek Fırınlara tarafına bakıldığında ise kullanım oranı % 59,8 ile ton başına 986 kg sinter tüketim değerlerine ulaşılmıştır [3].



Şekil 2.4. 1963 – 1987 Sinter üretim değerleri.

1987 yılında Alman Lurgi Firmasının 1953 yılında kurmuş olduğu 35 m² sinter makinesi yıkılarak yerine Romen Ipromet Firması tarafından 90 m² yeni bir makine inşa edilmiştir. Kuruluşunun ilk yıllarında yaşanan olumsuzluklar neticesinde söz konusu sinter makinesi 1992 yılına kadar istenilen üretim miktarlarına ulaşamamıştır. Yaşanan sıkıntılar özverili çalışmalar tarafından bertaraf edilerek ki bu zaman zaman diğer sinter makinesinin de üretimi kesintiye uğratmak pahasına stabil ve sürekli artan üretim değerlerine sahip bir sinter makinesi olarak günümüze kadar çalışmasına devam etmektedir. 1987 den günümüze kadar toplam 16 518 408 ton üretim ile ortalama 750 837 ton/yıl ile gerçekleştirilmiştir. Özellikle 2005 den itibaren her geçen yıl sinter üretim miktarları sürekli olarak yukarıya doğru tırmanmış ve rekor üretim değerlerine ulaşılmıştır. Bu süreçte yıllık 1 000 000 ton üretim değerinin üzerinde üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu süreç zarfında Yüksek Fırınlarda tüketim miktarları % 56,2 ile ton başına 961 kg olarak gerçekleşmiştir [3].



Şekil 2.5. 1988 – 2009 Sinter üretim değerleri.

Kardemir A.Ş. de 2008 yılı Temmuz ayında 4 Nolu Yüksek Fırının devreye alınmıştır. 1 Nolu yüksek fırının kapasitesinin arttırılmasına karar verildikten sonra ortaya çıkan sinter ihtiyacını karşılamak amacıyla 2009 yılı ekim ayı itibariyle projenin tamamı Kardemir personeli tarafından hazırlanmış olan 2.adet 110 m² yeni sinter makinelerinin yapımına başlanmıştır. 2011 yılında devreye alınmıştır [3].

2.2.2. Sinter Fabrikası Genel Çalışma ve Tesis Bilgileri

Sinterleme işlemi basit olarak; harmanlanmış demir cevherleri, kok tozu, kireçtaşı tozu ve sinter dönüş tozlarının belirli oranlarda karıştırılması ve elde edilen sinterlik malzeme harmanının bir tutuşturma ocağında 900-1100 °C 'de tutuşturulmasını takiben hava emişi yardımıyla tüm malzemenin külçeleştirilmesidir [3].

Sinter, diğer demirli şarj malzemelerine oranla daha ekonomik olması, yüksek fırın üretimini arttırıcı ve kok tasarrufu sağlayıcı özellikleri sebebiyle ideal bir şarj malzemesidir. Ayrıca hadde tufalı, yüksek fırın baca tozu, kireç tozu, çelikhane cürufu gibi fabrika atıklarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [3].



Şekil 2.6. Sinter Tesisi genel görünüş resim.

Sinterlenme neticesinde elde edilen mamul cevherin yüksek fırına şarj edilmesi halinde yüksek fırın ham demir kapasitesinde artış olur, ayrıca kok sarfiyatında ve oluşacak cüruf ve baca tozlarının miktarlarında da azalmalar gözlenir.

Sinter Kumanda Merkezinden yönetilen Tesisi beş ana bölüm halinde incelemek yerinde olacaktır:

- Kok ve Kireçtaşı Kırma Eleme Hattı
- Sinterlik Harman Malzemesi ve Yatak malzemesi hattı
- Sinter Makineleri ve soğutucular
- Sinter Tozu ve Tozsuzlaştırma tozu hattı
- Ürün Hattı

2.2.2.1. Kok ve Kireçtaşı Kırma Eleme Hattı

Bu bölümde kok ve kireçtaşı ayrı hatlardan alınarak kırma ve eleme işlemine tabi tutulmaktadır. Kireç taşı çekme hattı 901-902 ve 903 numaralı tahliye bunkerlerine alınan kireç taşı 201 nolu konveyör yardımı ile 907 ve 908 numaralı bunkerlere gelir.

Burada 307 ve 308 numaralı kırıcılar ile 15 mm' ye kırıldıktan sonra 407 ve 408 eleklerinde elenir. 0-3 mm boyutundaki elek altı kireçtaşı 210 numaralı konveyör ile dozajlama tesisinde bulunan 922 ve 923 numaralı bunkerlere gelir ve buradan istenilen oranda sinter harmanına şarj edilir.

Elek üstü malzeme ise 241E ve 242E elevatörleri ile tekrar 307 ve 308 numaralı kırıcılarda kırma işlemine tabi tutulur. Yani sürekli kapalı devre çalışmaktadır. Kok çekme hattı 904-905-906 numaralı tahliye bunkerlerine alınan kok 202 nolu konvöyer yardımı ile 909 ve 910 numaralı bunkerlere gelir. Burada 309 ve 310 numaralı kırıcılar ile 12 mm' ye kırılan malzeme 207 numaralı konveyör ile 911-912 ve 913 numaralı bunkerlere gelir. Burada bulunan 311-312-313 numaralı kırıcılar ile ince kırma işlemi gerçekleştirilir ve kokun boyutu -3 mm' ye indirilir. Yaklaşık %80'i -3mm boyutuna kırılan kok ince kırıcılardan sonra 208 ve 208A konveyörleri ile dozajlama tesisinde bulunan 919-920-921 numaralı kok bunkerleri ve 938-939 ilave kok bunkerlerine gelir ve buradan istenilen miktarlarda sinter harmanına şarj edilir.



Şekil 2.7. Sinter kok kırıcıları.

2.1. Çizelge kırıcı boyut ve kapasite değerleri.

Kırıcı Adı	Kırma Boyutu	Kapasitesi
307-308 Kireç taşı kırıcısı	15 mm	150 ton/saat
309-310 Kok kırıcısı	10 mm	25 ton/saat
311-312-313: İnce kok kırıcıları	3 mm	25 ton/saat

2.2.2.2. Sinterlik Harman Malzemesi ve Yatak Malzemesi Hattı

1.Sinter makinesi (sm1) sinterlik harman malzemesi hattı dozajlama tesisinde bulunan besleyicilerden istenilen oranlarda seçilen kok, kireç taşı, cevher ve sinter tozu 218 numaralı konveyör yardımı ile 501 numaralı birincil karıştırıcıya gelir. Burada birincil karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra 220 numaralı konveyör ile 503 numaralı ikincil karıştırıcıya gelir. Karıştırıcılarda istenilen oranda nemlendirilen ve homojen karışımı sağlanan sinter harmanı 221 ve son olarak da 222 ve 222A konveyörleri yardımı ile sinter makineleri üzerinde bulunan 934 numaralı bunkere gelir. Buradan da sinterlenmek üzere sinter makinelerine serilir. 2.Sinter makinesi(sm2) sinterlik harman malzemesi hattı dozajlama tesisinde bulunan besleyicilerden istenilen oranlarda seçilen kok, kireç taşı, cevher ve sinter tozu 223 numaralı konveyör yardımı ile 502 numaralı birincil karıştırıcıya gelir. Burada birincil karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra 225 numaralı konveyör ile 504 numaralı ikincil karıştırıcıya gelir. Karıştırıcılarda istenilen oranda nemlendirilen ve homojen karışımı sağlanan sinter harmanı 226 ve son olarak 227ve 227A konveyörleri yardımı ile sinter makineleri üzerinde bulunan 936 numaralı bunkere gelir. Buradan da sinterlenmek üzere sinter makinelerine beslenir.

Yatak malzemesi hattı ürün hattında bulunan 413 numaralı elek iki perdeli olup birinci perde 25 mm ikinci perde ise 15 mm açıklıktadır. 410 ve 412 numaralı eleklerde elenen + 6 mm boyutundaki ürün sinter 413 numaralı eleğe gelir. Bu eleğin iki peresinin arasında kalan (15mm-25mm) sinter bizim yatak malzemesi adı verdiğimiz malzemedir. 413 eleğinden 237 numaralı konveyöre gelen yatak

malzemesi buradan 238 ve 238A konveyörleri ile sinter makineleri üzerinde bulunan yatak malzemesi besleyicilerine (sm1 için 935, sm2 için 937) gelir ve ızgaralar üzerine serilir. Yatak malzemesi sermemizdeki amaç ince boyutlu harman malzemesinin ızgaraların arasını tıkayıp emişi zorlaştırmasını önlemektir.



Şekil 2.8. Sinter Tesisi yatak malzemesi hatları.

Cevher hattı cevher hazırlama ve harmanlama tesisinde sinter tesisine uygun şekilde (25-8 mm) harmanlanan ham cevher 43054 numaralı konveyör yardımı ile 212 numaralı konveyöre gelir. Ham cevher 212A konveyörü ile dozajlama tesisinde bulunan 213 numaralı arabalı konveyöre gelir. Arabalı konveyör yardımı ile de 914-915-916-917 ve 918 numaralı cevher bunkerlerine aktarılır.

2.2.2.3. Sinter Makineleri ve Soğutucular

Son olarak sinter makineleri üzerinde bulunan besleyicilere gelen sinter harmanı ve yatak malzemesi sinter ızgaraları üzerine serilir. Serme işlemi tamburlar vasıtası ile yapılır. İlk önce yaklaşık 4-6cm yüksekliğinde yatak malzemesi serilir. Yatak malzemesi üzerine palet dolacak şekilde sinter harmanı serilir. Izgara üzerindeki malzeme ateşleme başlığı altından geçerken harman içersindeki kok ateşlenir ve

yanmaya başlar. Izgara ilerledikçe hava emişi sayesinde yanma alt kısma doğru ilerler.



Şekil 2.9. Sinter döner soğutucuları.

Bu noktadan sonra cevher ve katkı maddeleri sıcaklık nedeniyle parçalanarak içeriklerini kaybetmekte ve taneler arası sinter bağları kurulmaktadır. Sıcaklıkla parçalanan içeriklerden bir kısmı kükürt gibi yüksek fırında istenmeyen içeriklerdir. Bunun yanı sıra bu içeriklerin çıkması sonucu sinter gözenekliliği artmakta ve cevherin yüksek fırın içersindeki reaksiyon özelliği yükselmektedir.



Şekil 2.10. Sinter döner soğutucu resmi.

Sinter makinelerinde sinterlenen ürün sinter kırıcıda kırıldıktan sonra sıcak ileticiler vasıtasıyla soğutuculara gelir. Her makine için bir adet olmak üzere toplam 2 adet soğutucu mevcuttur. Soğutucuların her biri 350 ton/saat kapasitelidir.

Çizelge 2.2. Döner soğutucu özellikleri.

Döner Soğutucu	701	702
Soğutma Alanı	175t/saat	175t/saat
Malzeme Giriş Sıcaklığı	120 m ²	120 m ²
Malzeme Çıkış Sıcaklığı	550-600 C°	550-600 C°
Soğutma Süresi	70-100 C°	70-100 C°
Soğutma Fan Sayısı	2 Adet	2 Adet

2.2.2.4. Sinter Tozu ve Tozsuzlaştırma Tozu Hattı



Şekil 2.11. Sinter dozajlama binası.

Sinter tozu hattı Sinter makinelerinden elde ettiğimiz ürün sinter soğutuculardan sonra 239 numaralı konveyöre gelir. Ürün sinter 239 numaralı konveyörün çıkış noktasında 409-410-411 ve 412 numaralı ürün sinter eleklerine gelir. Bu eleklerin perde açıklığı 6 mm dir. Eleklerde elenen ürün sinteri elek altı (-6 mm) hemen bu eleklerin altında bulunan 924-925 numaralı dozajlama bunkerlerine gelir. Bu bunkerlerden de istenilen oranlarda sinter harmanına şarjı yapılır.

Tozsuzlaştırma tozu hattı tozsuzlaştırma sistemi sinter tesisinde tozuma nedeniyle sistemden kaçan tozların tutulup tekrar sisteme dahil edilmesi amacıyla çalışmaktadır. Tesisin çeşitli noktalarına yerleştirilen tozsuzlaştırma boruları ile emiş yapılarak tozların yakalanması ve daha sonra bu tozlarca yoğun havanın torbalı filtrelerden geçirilerek tozunun ayrıştırılması sağlanmaktadır. Yakalanan bu tozlar son olarak dozajlama tesisinde bulunan 924 numaralı bunkere gelmekte ve istenilen

oranlarda sinter harmanına şarj edilmektedir. ESP 1 ve ESP 2 dediğimiz elektro filtreler tarafından yakalanan tozlar, sulu konveyörlerde çöken tozlar da 236 numaralı konveyör ile 925 numaralı bunkere gelmektedir.



Şekil 2.12. Elektro speküler partikül tutucu.

Çizelge 2.3. Esp teknik özellikleri.

	ESP 1	ESP2
Gaz akışı	600 000 m ³ /saat	600 000 m ³ /saat
Gaz Sıcaklığı	100-150 C°	100-150 C°
ESP İçindeki Sinter Tozu miktarı	5 g/m ³	5 g/m ³
ESP Baca Çıkışı Sinter Toz miktarı	0.050 g/m ³	0.050 g/m ³
En Düşük basınç	1500 mm/ws	1500 mm/ws

2.2.2.5. Ürün Hattı

Sinter makinelerinde sinterlenmiş ürün sinter, önce kırıcılara sonra sıcak besleyicilere buradan da soğutuculara gelir. Soğutucularda soğuyan ürün sinter ilk

olarak 239 numaralı konveyöre düşer. 239 numaralı konveyöre gelen ürün sinter bu konveyörün çıkış noktasında bulunan ürün sinter eleklerinde (409-410-411-412) elendikten sonra 240 ve 240A konveyörleri ile sinter tesisinden yüksek fırınlara sinter akışını sağlayan sırasıyla 42055, 42056, 42058 konveyörleri yardımıyla 85 numaralı bunkere buradan da 284B ve 284 numaralı konveyörler ile yüksek fırın bunkerlerine gelir.



Şekil 2.13. Sinter makinesi görünüş resmi.

Çizelge 2.4. Sinter makinesi kapasite değerleri.

	SM1	SM2
Sinterleme Kapasitesi	1 200 000 ton/yıl	1 200 000 ton/yıl
Etkili sinterleme alanı	110 m ²	110 m ²
Yatak derinliği	60 cm	60 cm
Palet sayısı	97 adet	97 adet
Palet Eni	1 m	1 m
Palet Boyu	3 m	3 m
Sinterleme Boyu	36,6 m	36,6 m

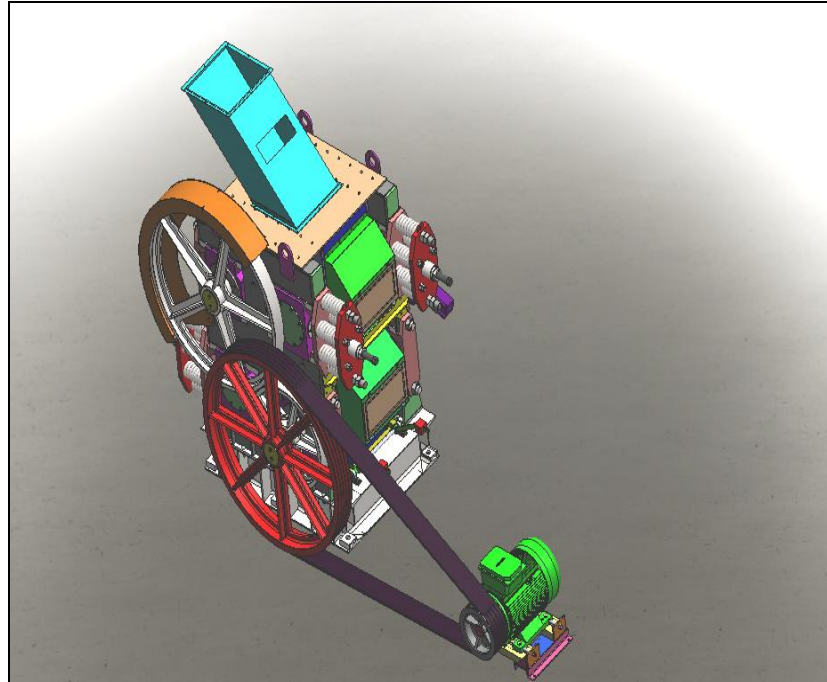
2.3. SİNER FABRİKASINDA KOK TOZUNUN ÖNEMİ

Sinter Prosesinde kullanılan kok tozunun 0-3 mm arasında olması gerekmektedir. Kok tozu boyutu ne kadar ince olursa sinter harmanı içerisinde o kadar homojen dağılacak, böylelikle kullanılan kok tozunun tamamı yanmış olacaktır. Buda hem sinter kalitesini arttıracak hemde kok tozu kullanım miktarını azaltacaktır.

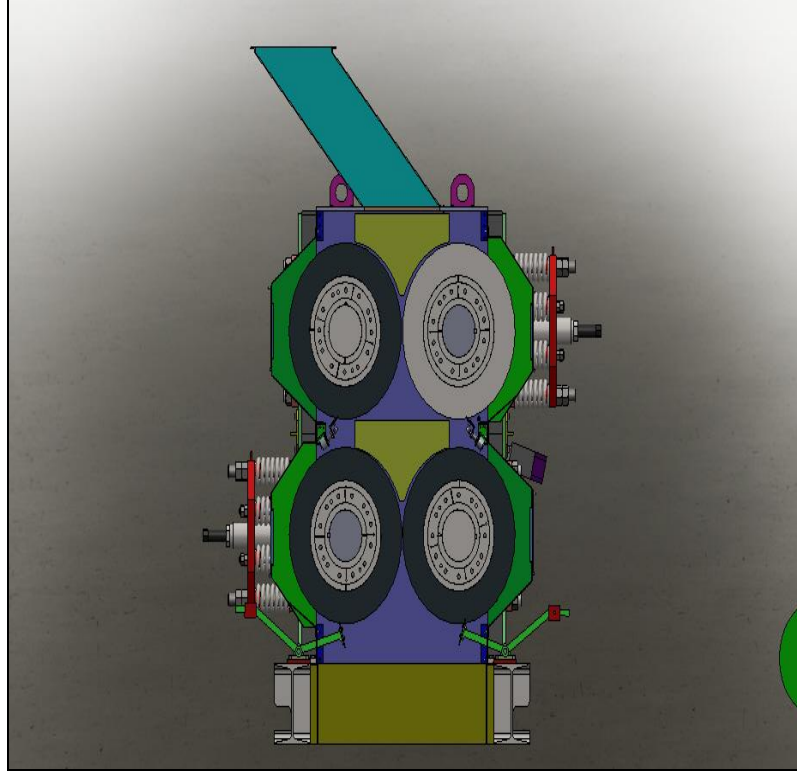
2.3.1. Kok Kırma Bölümü

Kok kırma bölümünde toplam 5 adet kok kırıcılarımız mevcut olup bu kok kırıcılarımızın 2 tanesi kaba kırıcıdır. Bu kırıcılardan kok kırıldıktan sonra 10 mm olarak çıkar. Diğer 3 kırıcımızda ince kırıcıdır. İnce kırıcıda kırılan kok boyutları 0-3 mm dir. 1 Adet Kok Kırma makinesinde toplam 4 adet merdane mevcuttur.

Bu merdanelerin 2 tanesi altta 2 tanesi üsttedir. Kaba kırıcılarda 10 mm kadar kırılan koklar, ince kırıcıda 0-3 mm kırılır. Bu kırma esnasında merdane gömlekleri darbeli olarak çalışır ve abrasif aşınma yüzeylerde gözükür.



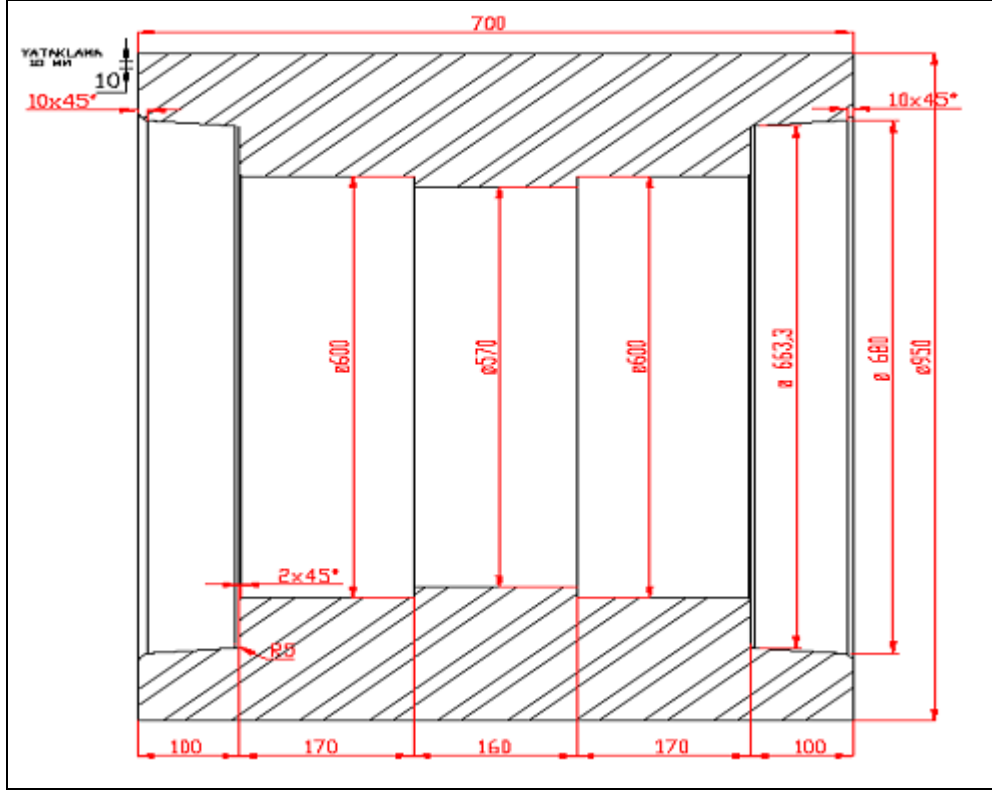
Şekil 2.14. Kok kırma makinesi genel görünüş resmi.



Şekil 2.15. Kok kırma makinesi kesit görüntü resmi.

2.3.2. Kok Kırıcı Merdanesi Mevcut Durumu

Kok Kırıcı Merdanesi C45 malzemeden dökülür. Dökümü yapılan merdane gerilim giderme işleminden geçirilir. Bu işlem sonrasında atölye şartlarına alınan merdane bütün yüzeyleri torna tezgâhında Şekil 2.16 'deki teknik resme göre işlenir. Sonra merdane yüzeyi ultrasonik kontrolle % 100 kontrol edilir. İçindeki gözenekler Ø3 mm 'den büyük veya belli noktalarda çatlaklar bulunduğu takdirde tambur kullanılmaz. Bu kontrol işleminden sonra merdanenin yüzeyine Tampon tabakası denilen yastıklama yapılır. Bu yastıklama üzerine de sert dolgulu kaynak teli kullanılmaktadır. Tampon ve sert dolgu kaynak dolguları otomatik makinelerde çevresel olarak yapılmaktadır. El ile doğrusal yöndeki kaynak dolguları istenilmez. Kaynak dolgusuna başlanmadan önce ana metale uygun ön tavlama yapılır ve bu sıcaklığın kaynak bitimine kadar sabit tutulması istenir.



Şekil 2.16. Kok kırıcı merdanesi imalat resmi.

Tampon tabaka kalınlığı çapta 7 - 8 mm yapıldı. Tampon tabakada aşağıdaki analiz ve sertlikte çeşitli özlü kaynak teli kullanıldı.

Çizelge 2.5. Kok merdanesi tampon tabakası için kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri.

C	Si	Mn	Cr	Sertlik
% 0.55 – 0.65	% 0.35 – 0.45	% 17.0 - 19.0	% 4.0 – 5.0	18 HRC

Sert dolgu tabaka kalınlığı çapta min: 4 mm, max: 5 mm yapıldı. Sert dolgu tabaka da aşağıdaki analiz ve sertlikte çeşitli özlü kaynak teli kullanıldı.

Çizelge 2.6. Kok merdanesi sert dolgu tabakası için kullanılan malzemenin kimyasal analiz değerleri.

C	Si	Mn	Cr	Sertlik
% 4.5 – 5.0	% 1.65-1.70	% 1.70 – 1.80	% 25.0 – 29.0	57HRC

Merdane dış çap ölçüsü Ø 950 mm yapılır. Kaynak dolgular bittikten sonra balans olmaması için tüm merdane yüzeyi taşlanarak dış çap ölçüsü tüm noktalarda aynı olması sağlanır. Tamburdaki sert dolgu kaynaklı yüzeylerin ölçüsü taşlamadan sonra tamburun dış yüzeyi ile eksensellik $\pm 0,5\text{mm}$ tolerans içinde kabul edilmektedir. Tambur son ölçülere işlendikten sonra, tamburun dinamik balansı kontrol edilir. Yapılan bu işlemler sonucunda üretilen merdanemizin çalışma süresi 800 saati geçmemiştir. Alternatif kaynak teli arayışına gidilmiş fakat aşınma ve çalışma ömründe bir farklılık görülmemiştir.

Çizelge 2.7. Merdane için 1.alternatif sert dolgu tabakası için kimyasal analiz değeri.

C	Si	Mn	Cr	Sertlik
% 4.0	% 0.70	% 0.60	% 9.0	59 HRC

Çizelge 2.8. Merdane için 2.alternatif sert dolgu tabakası için kimyasal analiz değeri.

C	B	Mn	Cr	Nb	Si	Fe
% 5.4	% 0.9	% 0.3	% 20.5	% 6.7	% 1.5	rest

Cr-Nb ve B elementlerinden oluşan kompleks karbürlerini içeren kaynak telidir. Bu kullanılan kaynak telleri yüksek darbe ve abrasif aşınmaya maruz kalan parçaların sert dolgu kaynağı telleridir. Metal metale sürtünmesinde oldukça dayanıklıdır fakat bizim merdane gömleklerimizde bu verim alınmamıştır.



Şekil 2.17. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.



Şekil 2.18. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.



Şekil 2.19. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.



Şekil 2.20. Merdane yüzeyindeki aşınma resmi.

BÖLÜM 3

AŞINMA

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybıdır [4].

Aşınma Triboloji biliminin bir konusudur. Aşınma, genel olarak abrazyon, erozyon, adezyon kuvvet ve yüzey yorulması olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, aşınan yüzeye gelen yük, aşındırıcı parçacığın boyutu ve türü, temas şekli ve temas geometrisi gibi etkenler dikkate alınarak yapılmıştır. En fazla aşınma kaybı, genellikle abrazyon aşınması türlerinde görülmektedir. Aşınma, makine elemanlarında enerji, malzeme ve zaman kayıplarına yol açan ve dolayısıyla ülke ekonomilerini önemli ölçüde etkileyen istenmeyen bir durumdur. Aşınma türleri ve mekanizmalarının çok iyi bilinmesi, aşınma kayıplarını asgariye indirmede önemli açılımlar sağlayacaktır. Şöyle ki, aşınan malzeme seçimi, aşınan malzemeye yapılan yüzey işlemi ve yağlama sistemi seçimi vs. gibi iyileştirme çabaları da beslenmiş olacaktır [4].

3.1. AŞINMA TÜRLERİ

Makine elemanlarında en sık karşılaşılan aşınma türleri, abrazyon, erozyon, adezyon ve yüzey yorulması aşınmasıdır.

3.1.1. Abrazyon Aşınması

Katı bir yüzeye karşı veya yüzey boyunca hareket eden sert parçacıkların yapmış olduğu aşınmadır. Karşılaşılan aşınma türlerinin % 60'ı abrazyon aşınmasıdır. Abrazyona neden olan parçacık ya da parçacıklar aşınmaya maruz kalan yüzeyden daha serttir [4].

Aşındırıcı parçacıkların yüzeyde yapmış olduğu hasar tipleri kayma, yuvarlanma, tıraşlama, kesme, çizme, öğütme, zımparalamadır. Bu aşınma türünde, parçacık boyutu ve yükleme en önemli parametrelerdir [4].

3.1.1.1. Düşük Gerilmeli Abrasyon

Etkin hasar türü kayarak çizmedir. Parçacık boyutu $> 3\mu\text{m}$ 'dir. Model olarak sabanla toprağın işlenmesine benzer (ploughing). Düşük yüklemelerde gerçekleşir. Yüzeyde serbest hareket ederse ve aşınan yüzeyde darbe veya ezilme söz konusu olmazsa bu aşınma türü geçerlidir. Örnek verilecek olursa çizme testidir [5].

3.1.1.2. Yüksek Gerilmeli Abrasyon

Etkin hasar türleri çizme ve sıkışan parçacıkların ortaya çıkardığı pitting (çukurcuk oluşturma), öğütme, ezmedir. Hasarda yüzeye uygulanan bası yükleri etkindir. Yüksek yüklemelerde gerçekleşir. Örnek verilirse sert toprak üzerinde çalışan tarım makinelerinde, merdaneleme, öğütme yapan elemanlarda görülür [5,6].

3.1.1.3. Eşme, Yontma

Düşük gerilmeli abrazyon ile yüksek gerilmeli abrazyon karışımıdır. Parçacık boyutu $> 50\mu\text{m}$ 'dir. Etkin hasar türleri; eşme, yongalama, oyma, kazma, yontmadır. Tekrarlı bası etkisi etkilidir. Örnek verilecek olursa öğütme işlevi gören çekiçler, küre öğüten parçalar, mengenerler, toprak işlemede kullanılan zirai makinelerde [5].

3.1.1.4. Parlatma

Parçacık boyutu $< 3\mu\text{m}$ 'dir. Etkin hasar türü olarak tekrarlı sürünme ve sürtünmedir. Malzeme yüzeyinin görülebilir seviyede çizilmeye, kırılmaya ya da plastik deformasyona uğramadan, diğer katı malzemelerle sürtünmesi sonucunda malzeme yüzeyinde istem dışı sürekli olan malzeme kaybıdır. Parlatma aşınmasına uğrayan yüzeyler, genelde düzgünleşir ya da parlar, fakat bu düzleşme ve parlama malzeme kaybını gerektirir. Parlatma aşınmasının mekanizması tam olarak anlaşılmamasına

rağmen, abrazyon aşınması sınıfına alınmıştır. Bazı araştırmacılar, şayet bir yüzey yaklaşık 3 µm 'den daha büyük sert parçacıklar tarafından aşındırılıyorsa, parlatma düşük gerilmeli mikro parçacık (mikrochip) ayrılmasına, yani abrazyona neden olur demişlerdir. Buna göre yüzeyler, daha küçük parçacıklar tarafından parlatma tabii tutulduğunda çizme ve mikro parçacıklar artık gözlenmez. Parçacık ayrılması yoksa malzeme nasıl kaybolmaktadır? sorusuna karşılık, Rabinowicz, bir moleküler kayıp mekanizması ortaya atmıştır. Buna göre, sürtünen iki yüzey ile yüzeylerden bilfiil atom ve moleküler seviyede ayrılmalar olur. Bu kuramı destekleyecek doğrudan bir kanıt olmamasına rağmen, parlatma uygulama açısından bir şeylerin tekrarlı sürünmesinden kaynaklandığı ya da meydana geldiği açıktır. Örneğin sürekli kullanımda olan merdiven basamakları, insanların ayak basmaları sonucunda parlamıştır. Tam olarak mekanizması anlaşılmayan parlatma, çok önemli bir aşınma mekanizmasıdır. Fakat yine de, sert malzemelerin aşınma sisteminin birer parçası olduğu hallerde düşük gerilmeli abrazyon kanunları geçerlidir. Örnek olarak kayıt diskleri, lens parlatma cihazlarıdır [5].

3.1.2. Erozyon Aşınması

Etkin hasar türü olarak katı parçacık veya akışkan parçacıkların yüzeye çarpması sonucu aşındırma yapması söz konusudur [5,6].

3.1.2.1. Katı Parçacık Çarpması

Etkin hasar türü olarak yaklaşık 205 000 mesh boyutundaki katı parçacıkların yüzeye tekrarlı çarpması söz konusudur. Bu hasar tek bir noktaya odaklanırsa, buna katı parçacık çarpması denmektedir. Hasar sonucu çukurcuk (krater) ya da mikro parçacıklar oluşmaktadır [5,6].

3.1.2.2. Akışkan Çarpması Erozyonu

Akışkan parçacıklarının yüzeye çarpması sonucu aşındırma söz konusudur. Hasar sonucu çukurcuk, krater ya da mikro parçacıklar, kaplama kaybı, çözünme, korozyon oluşabilmektedir [6].

3.1.2.3. Kavitasyon

Akışkan içerisindeki kabarcıkların patlamasıdır. Bu kabarcıklar sıvı içerisinde patladıkları zaman, kabarcığı çevreleyen sıvı kabarcık içerisindeki boşluğu doldurmak ister (yüzeyde şok dalgaları oluştururlar). İşte bu olay yüzeylerden malzeme kaybı ve/veya plastik deformasyona neden olacak derecede mekanik bir etki doğurabilen çok küçük akışkan jetleri oluşturur [5,6].

3.1.2.4. Çamur Erozyonu

Katı parçacıklar + sıvı (sıvı+gaz) oluşturdukları fiziksel karışımın yüzeye çarpması sonucu aşındırma söz konusudur. Katı parçacık boyutu, 1 mm ile 10 mm arasındadır. Hasar sonucu aşınma veya korozyon oluşabilmektedir. Oluşan hasarın derecesi, bu parçacıkların sertliğine, boyutuna, çarpma hızı ve açısına bağlıdır [7].

3.1.3 Adezyon Aşınması

İki katı yüzeyin aralarında yerel bir temas bağı oluşturarak yapışması söz konusudur. Yapışan yüzeylerin yük, hareket ve titreşim gibi sebeplerle birbirinden ayrılmakta ve beraberinde yüzeyden kütleli olarak parçalar kopmaktadır [8,9].

3.1.3.1. Yeme Aşınması

Yeme aşınması, iki katı yüzey arasında düşük genlikteki titreşim hareketidir. Yapı olarak yüzeye dik olarak gerçekleşmekte ve genelde istem dışı olarak kabul edilmektedir. Çoğu kez izafi hareketin olmadığı farz edilen parçalar arasında gerçekleşmektedir. Yeme aşınması,yüzeyler arasında yerel adezyonla başlar ve bu adezyon mikro seviyede bir birleşmedir. Bu birleşmede oluşan kontak bağı zamanla büyür ve düşük genlikteki titreşimler neticesinde malzeme aşınır. Malzeme aşınma hızı oldukça düşüktür, bu nedenle birçok sistem için yeme aşınması ihmal edilir [10,11].

3.1.3.2. Yapışıp Kaldırma Aşınması

Temas eden iki katı yüzeyin öncelikle yerel temas bağı oluşturması, daha sonra da izafi hareket sonucunda oluşan bu bağı kopması ile meydana gelen aşınmadır [5].

3.1.3.3. Kaynama

Kuru sürtünme neticesinde izafi hareketin durması, yani eş çalışan yüzeylerin kuru sürtünme sunucunda birbirine yapışıp çalışmaz hale gelmesidir. Oluşan yerel katı kaynak, kaynama mekanizmasının bir parçasıdır. Bu aşınma durumunda sürekli malzeme kaybı olmayıp herhangi bir yüzeye hasar verme söz konusu olmayabilir. Örnek verilecek olursa soğutma sistemi bozulmuş bir motorun, silindiri içerisindeki pistonların ısı etkisiyle genişlemesi sonucunda kaynama uğrayıp aşırı derecede ısındığı görülmüştür [5].

3.1.3.4. Sıyırma ya da Kaldırma (Galling)

Galling terimi, tartışmalı bir terimdir. Avrupa'da aşınma üzerine çalışan sektör, galling yerine scuffing (sürüyerek aşındırma) terimini kullanmaktadır. OECD ise scuffingi, yerel ergime olamadan kayan yüzeyler arasında katı-faz kaynağın meydana gelmesiyle oluşan hasar olarak tanımlamaktadır. Rusya'da kayan bir çiftten biri ya da her ikisinin üzerinde fazlalıkların oluşması Galling olarak tanımlanmaktadır (fazlalıktan maksat yüzeyden kopan metaldir). Gallingte hasar mekanizması oluşan bu fazlalıklara göre değerlendirilmektedir. Aşınan yüzeyler birbirlerine sıvanırlar. Galling, yüzeyler arasındaki yapışma ya da taşınım, bir çıkıntı (tümsek) ya da fazlalık oluşumuna sebep olduğunda meydana gelmekte, bu yüzey tümsekleri seizure'a, yani kaynak oluşumuna neden olabilmektedir [5].

3.1.3.5. Oksidatif Aşınma

Oksidatif aşınma, kayan yüzeylerin oksitli ortamda reaksiyona girecek bir ortamda olduğu bir aşınma şeklidir. Oluşan oksit filmler, sistemde yağlayıcı vazifesi görerek aşınma oranının daha düşük tutulmasını sağlar, fakat izafi hareket neticesinde

mekanik etkilerle yüzeye tutunan bu oksit filmler yüzeylerden ayrılır ve ayrılırken de beraberinde yüzeyden malzeme kaybı olur [5].

3.1.4. Yüzey Yorulması

Oluşum mekanizması, herhangi bir yüzey üzerinde tekrarlı yuvarlanma ya da kayma sonucunda üretilen bası-çeki gerilmeleriyle katı yüzeyden malzemenin kopması ya da ayrılması şeklinde gerçekleşir. Ortaya çıkan aşınma ve ürünlerinin farklı olmasında, yorulmaya sebep olan hasar vericinin geometrisi çok önemlidir [4,5].

3.1.4.1. Yorulma ile çukurlaşma (Pitting)

Pitting, (kavitasyon ve fretting gibi) birçok aşınma şekliyle birlikte gerçekleşebilmektedir. Yorulma olayı ile yüzeyde çukurcuklar oluşturulmasıyla malzeme yüzeyden ayrılır ya da yer değiştirir. Yüzey yorulmasının bir parçası olan pitting, genelde yuvarlanma yapan elemanlarda, dişlilerde, tekerleklerde ve kamlarda görülür. Kayma ve yuvarlanmadan dolayı oluşan tekrarlı bası-çeki gerilmeleri, yüzeyin belli bir bölgesinde kırılmaya yol açabilecek yüzey altı çatlaklar meydana getirir. Kırılan parçacığın ayrılmasıyla yüzeyde çukurcuk (pit) oluşur. Pitting aşınmasını azaltmak için, Yük azaltılabilir, Yüksek kayma ve basma mukavemetine sahip malzemeler kullanılabilir. Yüzeye gelen bası-çeki gerilmelerini dağıtabilen homojen malzemeler kullanılabilir. Yuvarlanma elemanı olarak kullanılan yatak malzemeleri, genellikle yüksek sertliğe, yüksek basma mukavemetine ve karpitler gibi kütleli mikro unsurlardan yoksun bir yapıya sahiptir. Şu an Amerika'da yuvarlanma elemanı olarak kullanılan yataklar, AISI 52100 çeliğidir [5].

3.1.4.2. Spalling

Parçacıkların tabakalar şeklinde yüzeyden kopmasıdır. Aşınma yüzey yorulması sonucunda meydana geldiği için, mekanizması pitting mekanizmasına benzer. Fakat spallingte herhangi bir işlemle kaplanmış yüzeylerin aşınması söz konusudur. Hertizan yüklemesiyle, kaplama ile taban malzeme arasında kayma gerilmeleri

oluşur. Özellikle yumuşak taban malzemeler üzerine yapılan ince sert kaplamalar spalling aşınmasına meyillidirler [5,12].

3.1.4.3. Darbe Aşınması

İki katı yüzeyden tekrarlı darbeler neticesinde oluşan hasar ve malzeme kaybıdır. Darbeye uğrayan yüzeydeki hasar, darbeye maruz kalan yüzeylerin şekline ve emilen enerjiyi sönümlenme ya da dağıtabilme gücüne ve darbe enerjisine bağlıdır. Bu parametrelerde malzemelerin sertliği ve tokluğuyla ilişkilidir. Örnek verilirse yüksek hızda yüzeye çarpıp kalıcı şekil değişimine uğrayan bir çekicinin başı [5].

3.1.4.4. Brinelling

Brinelling terimi, Brinell Sertlik Ölçme yönteminden gelmektedir. Kullanılan Brinell küre ile katı yüzeyin tekrarlı yerel darbe (dinamik) ya da statik yüklemeye hasara uğratılmasıdır [5,13].

Brinelling, enjeksiyonla kalıplamada yüzeylerde çukur oluşturma mekanizmasına benzer. Yuvarlanan elemanlara statik bir yüklemeye uygulamayla da Brinelling oluşturulabilmektedir. Brinelling, yüzeyde yerel plastik çentik oluşturma ya da kalıcı şekil değişimi ile ifade edilen hasar oluşturma mekanizmalarından biridir. Burada malzemenin ortadan kalkması zorunlu değil, sadece yer değiştirme de olabilir. Örnek verilecek olursa bilye ya da rulmanların temas noktasında çentik oluşumu [13].

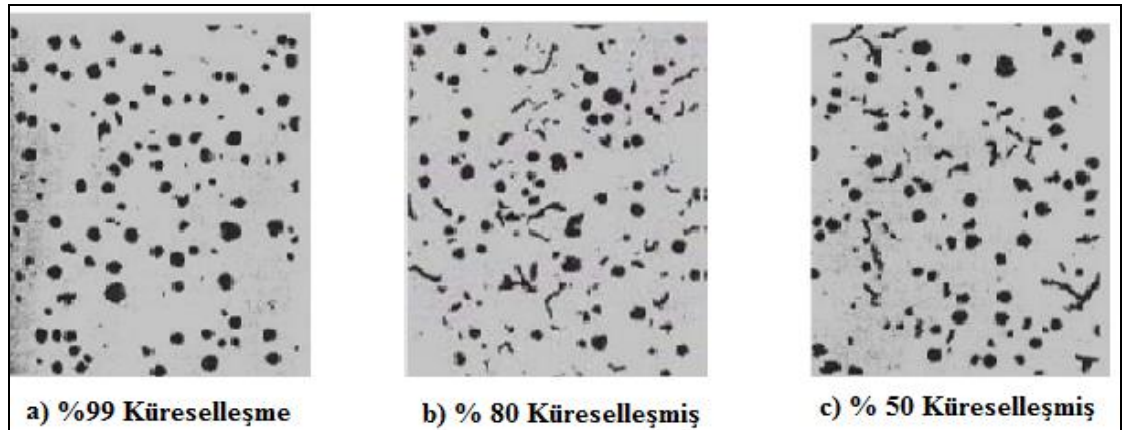
BÖLÜM 4

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

4.1. KGDD'İN ÖZELLİKLERİ

Küresel grafitli dökme demir, birbirinden bağımsız British Cast Iron Research Association (BCIRA) ve International Nickel Company (INCO) tarafından geliştirilmiş ve ilk defa Amerikan Dökümcüler Cemiyetinin 1948'deki yıllık toplantısında döküm endüstrisi için yeni bir malzeme olarak tanıtılmıştır [14,15].

Bu tip dökme demir için sphero, nodüler ve küresel grafitli adları kullanılmıştır; yurdumuzda kabul edilen daha çok Küresel Grafitli Dökme Demir tabiridir. BCIRA yöntemi esas olarak, gri dökme demirle aynı bileşimde olan hiperötektik dökme demirlere ergimiş halde, cerium (Ce) ilavesinden ibarettir. Cerium 'un büyük kısmı, bileşimdeki S 'ü gidermekte ve geri kalan yaklaşık %0.02 Ce ise grafitlerin lamel yerine küre şeklini almalarını sağlamaktadır. Yapı açısından gri dökme emirden yegane ayrıcalığı grafitlerin şekilleridir. Küreleşme bileşimindeki alaşım elementi miktarlarına göre farklılıklar göstererek, belirli oranlarda oluşabilir. Şekil 4.1'de Küresel grafitli dökme demir şekilleri verilmiştir [16].



Şekil 4.1. Farklı derecede küreselleşmiş KGDD 'in mikro yapı fotoğrafı.

Şekil 4.1' de farklı derecelerde küreselleşmiş küresel grafitli dökme demirlerin parlatılmış haldeki optik mikroskop fotoğraflarında küresel grafit resimleri görülmekte ve grafit oranları farklı oldukları gözlenmektedir [17,18].

Endüstrinin bütün alanlarındaki kritik parçalarda KGDD 'in çok başarılı. Uygulamaları bu malzemenin çok yönlülüğünü belirtir ve beraberinde pek çok ilave uygulama sunar. KGDD 'i güvenilir şekilde kullanmak için tasarım mühendisleri bu malzemenin mekanik özelliklerini dikkate almak zorundadırlar. Bu mekanik özellikler elastik davranış, statik dayanım, süneklik, sertlik, kırılma tokluğu ve yorulma özellikleridir. Mekanik özelliklerin yanı sıra termal genleşme, termal iletkenlik, ısı kapasitesi, yoğunlu, manyetik ve elektriksel özellikler ile şekil verilebilirlik ve işlenebilirlik KGDD 'lerde ön plana çıkan özelliklerdir. Bu özelliklerin benzer metaller ile karşılaştırılması Çizelge 4.1' de gösterilmiştir [19].

Çizelge 4.1. KGDD 'in mekanik özelliklerinin diğer DD ile karşılaştırılması [19].

Karakteristik	KGDD	Dövme Demir	Gri Demir	Dökme Çelik*	Beyaz Demir
Dökülebilirlik					
İşlenebilirlik					-
Sönümleme					
Sertleştirilebilirlik					-
Elastisite Modülü					-
Darbe Direnci					-
Korozyon Direnci					
Mukavemet/Ağırlık					-
Aşınma Direnci					
İmalat Maliyeti					

* %0.3 C içeren

4.1.1. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretim Türleri

KGDD malzemeler herhangi bir ilave ısıl işleme gerek duyulmaksızın genel olarak üç şekilde üretilirler.

Ferritik KGDD

Küresel grafitler ferrit ana yapısındadır. Yüksek darbe direnci, göreceli iyi termal iletkenlik, yüksek magnetik geçirgenlik, düşük histerisis kayıpları, iyi islenebilirlik ve bazı ortamlardaki iyi korozyon direnci belirgin özellikleri arasında sayılabilir [20].

Ferritik – Perlitik KGDD

Ferrit ve perlit karışımı ana fazında küresel grafitler bulunduran ve en yaygın olan bir türdür. En ucuz tip olup belirgin özellikleri arasında iyi islenebilirlik gelirse de diğer özellikleri tam perlitik ve tam ferritik KGDD 'ler arasında bulunur [20].

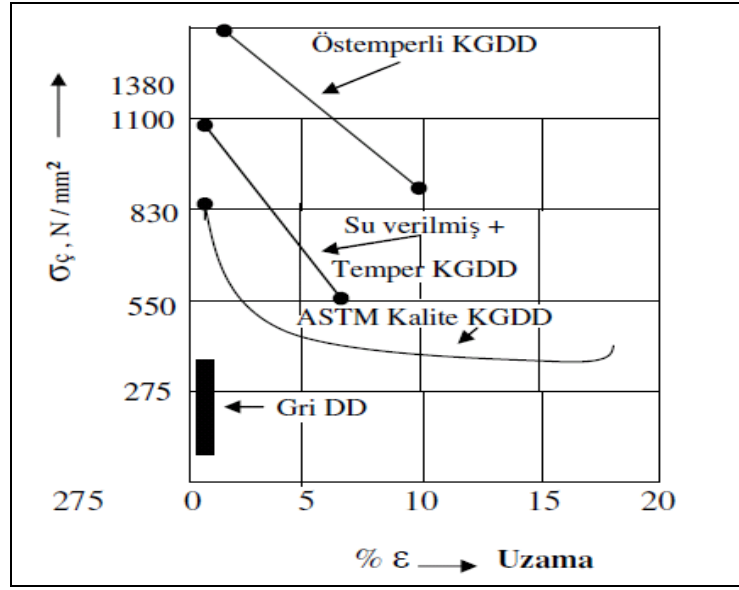
Perlitik KGDD

Perlit ana fazındaki küresel grafit metalografik yapısını belirler. Yüksek mukavemet, iyi aşınma direnci, düşük magnetik geçirgenlik, yüksek histerisis kaybı, iyi islenebilirlik, orta darbe direnci ve süneklik belirgin özellikleri arasında sayılabilir [20].

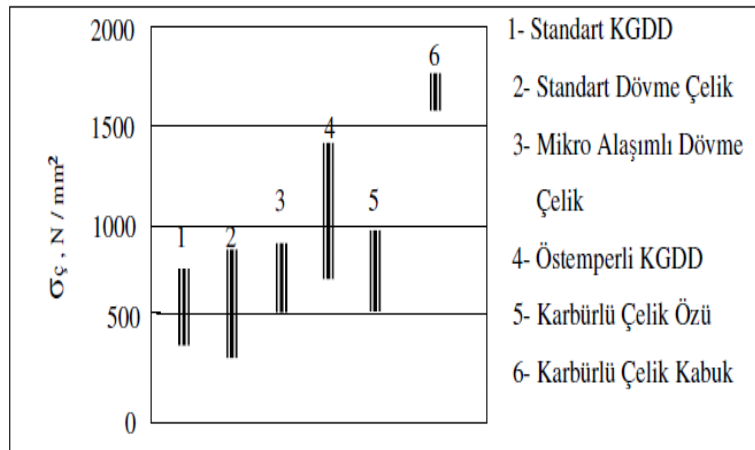
Dökme demirler içinde özel yeri olan KGDD ailesini bu üç grup içinde sınırlamak mümkün değildir. Özel durumlarda mühendislik ihtiyaçlarına cevap veren diğer KGDD çeşitleri de vardır. Martensitik, östenitik ve östemperli KGDD 'ler bunlar arasında sayılabilir ancak bunlar pahalı türlerdir [20].

Martensitik KGDD döküm halinde iken sert ve kırılgan olup, nadiren kullanılır. Temperlenmiş martensitik yapı çok yüksek mukavemet ve aşınma direnci gösterir. Östenitik KGDD çekme mukavemeti en düşük olan KGDD türüdür. Ancak iyi korozyon ve oksitlenme direnci, yüksek sıcaklıklarda boyutsal kararlılık en belirgin özellikleri arasındadır [17,18].

Östemperli KGDD küresel grafitli dökme demirler ailesine en son katılan, tasarım mühendislerine fevkalade mukavemet, tokluk ve aşınma direnci özelliklerinin kombinezonunu sunan bir türdür. Görüleceği gibi östemperlenmiş KGDD, ASTM kaliteli KGDD türlerine göre iki kat daha mukavemetlidir ve % 10'lara varan uzama veya şekil değiştirme davranışı sergilemektedir. Östemperli KGDD' in çekme mukavemeti ve uzama değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.2 'de görülmektedir.



Şekil 4.2. KGDD türlerinin σ_c (Çekme) ve % ϵ (Uzama) değerleri [20,21].



Şekil 4.3. KGDD'lerin çekmelerinin diğer malzemelerle karşılaştırılması [20,21].

Bütün bu iyi özelliklerin elde edilmesi çok yakın ve sıkı kontrol gerektiren östemperleme ısı işlemi ile gerçekleştirilir. Östemperleme işleminin başarılı olarak Gerçekleştirilmesi ve istenilen uygun değer sonuçların elde edilmesi kullanılacak KGDD türünün ve ısı işlem parametrelerinin dikkatli seçimine ve kontrolüne bağlıdır [20,21].

4.1.2. KGDD 'in Sınıflandırılması ve Mühendislik Özellikleri

Küresel grafitli dökme demirler Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'e göre sınıflandırılması çizelge 4,2 'de verilmektedir. (DDK) işareti (Dökme demir küresel grafitli) anlamına gelmektedir. DDK işaretini izleyen sayılar ise minimum çekme mukavemetini gösterir. Alman (DIN) standardında küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılışı aynen TSE 'deki gibidir, ancak işareti GGG olarak verilmektedir. Amerikan ASTM (A 536-70) 'e göre minimum çekme mukavemeti % 0.2 akma mukavemeti (p.s.i olarak) ve uzama % sini gösteren rakamlar sınıflandırma işareti olarak kullanılmaktadır. Örneğin 60-40-18 işaretli malzeme, (60 000 p.s.i minimumum çekme mukavemeti, 40 000 p.s.i % 0.2 akma mukavemeti ve % 18 uzaması olan) küresel grafitli dökme demirlerdir [19].

Fransız standartlarında (NFA 32-201) küresel grafitli dökme demir için kullanılan işaret (FGS) olup izleyen rakamlar Kg/mm² olarak minimum çekme mukavemetini ve % uzama değerini göstermektedir. Örnek olarak (FGS 70-2) İngiliz (BS 2789) standardında yine çekme mukavemeti (ton/inç²) ve minimum % uzamayı belirtecek şekilde, örneğin (SNG 24/17) işareti kullanılmaktadır. Rus (GOST 7293-70) standardında (VCH 38-17) işaretiyle 38 kg/mm² minimum çekme mukavemeti ve %17 uzamaya sahip küresel grafitli dökme demir belirtilmektedir [19].

Mühendislik malzemeleri içinde küresel grafitli dökme demirlerin özel yeri, başka hiçbir demir esaslı malzemenin, DDK 'ın sahip olduğu mekanik özellikleri ve dökülebilirlik özelliğini bir arada sağlayamamasından ileri gelmektedir [19].

Çizelge 4.2. TS 526 standardına göre KGDD 'in sınıflandırılması [22].

Simgesi	İçyapısı	Çekme Day. (N/mm ²)	0.2 Akma Day. (N/mm ²)	Kopma Uzaması %	Brinel Sertlik Değeri (BSD)
DDK -40	Daha Çok Ferritik	420	280	12	140-201
DDK -50	Ferritik-Perlitik	500	360	7	170-241
DDK -60	Perlitik-Ferritik	600	400	3	192-269
DDK -70	Daha Çok Perlitik	700	450	2	229-302
DDK -80	Perlitik	800	500	2	248-352
DDK -35.3	Ferritik	350	220	22	
DDK -40.3	Ferritik	400	250	18	

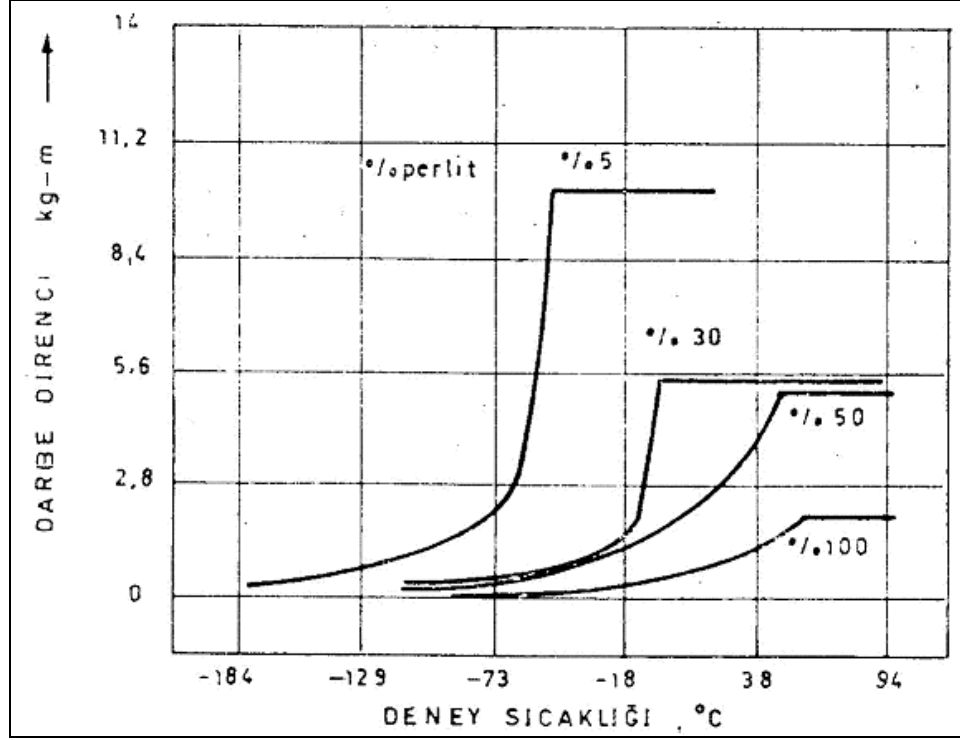
Çizelge 4.3. DIN 1693 standardına göre KGDD 'in sınıflandırılması [23].

Kısa Gösterilişi	Çekme Day (N/mm ²)	0.2 Akma Day (N/mm ²)	Uzama (%)	Doku
GGG - 40	400	250	15	G. Ferritik
GGG - 50	500	320	7	Ferritik-Perlitik
GGG - 60	600	380	3	Perlitik- Ferritik
GGG - 70	700	440	4	G.Perlitik
GGG - 80	800	500	2	Perlitik

Küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliği eşdeğer sertlikteki lamel grafitli dökme demirden ve eşdeğer mukavemete sahip çelikten daha iyidir. Keza korozif ortamlarda korozyona karşı direnci lamel grafitli dökme demirinkine eşit ve genellikle karbon çeliğinkinden daha iyidir [24].

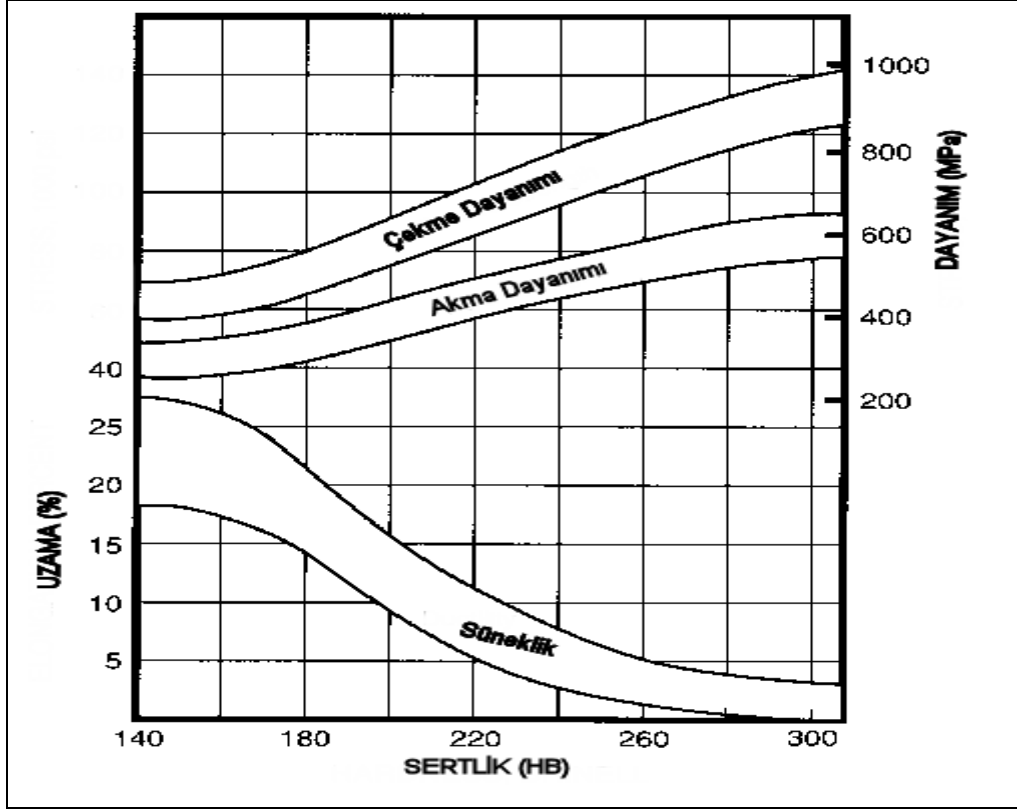
Küre şekilli grafitler yapıda yağlayıcı deposu görevi görürler. Kullanma süresinde gösterdiği performans küresel grafitli dökme demirden yapılmış silindir laynerler, krank şaftlar, merdaneler, kalıplar ve dişlilerin aşınmaya karşı dirençlerinin en iyi kalitedeki lamel grafitli dökme demirinkine eşit ve çeliğinkinden yüksek olduğunu göstermiştir. Ani sıcaklık değişikliklerine karşı küresel grafitli dökme demirlerin gösterdiği direnç lamel grafitli dökme demirden ve çoğu çelikten daha fazladır. Örneğin 760 °C'tan soğuk suya daldırılan bir ince çelik parça muhtemelen çarpılacak, lamel grafitli dökme demir dökme demir çatlayacaktır oysa aynı şartlarda küresel grafitli dökme demirden yapılmış bu sıcaklık değişimini bozulmadan karşılayabilmektedir [24].

Küresel grafitli dökme demirlerin darbe direnci çeliklerde olduğu gibi sıcaklığa bağlı olup, yapı ve bileşim tarafından önemli oranda etkilenmektedir. Matriks yapısı tamamen ferritik olan küresel grafitli dökme demirler en yüksek tokluğa sahip olanlardır. Tokluk derecesi matrikste artan perlit % ile azalmaktadır. Ancak tamamen ferritik veya çoğunlukla ferrit + az perlitten matrikse sahip olanlar düşük sıcaklıklara inildikçe çok dar bir sıcaklık aralığında (~100 °C) darbe dirençlerinin % 80-90 nını kaybetmektedirler. Matris yapısı beynitik olan veya temperlenmiş martenzit veya tamamen perlitik olanların darbe dirençleri yüksek sıcaklıklarda ferritlere nazaran çok daha düşük olmasına karşı deney sıcaklığının düşürülmesiyle dirençteki azalma % si daha azdır [24].



Şekil 4.4. KGDD matris mikro yapısının darbe direncine etkisi [19].

Bileşimdeki silisyum ve fosfor oranındaki artış darbe direncinde azalma meydana getirir ve tranzisyon sıcaklığının daha yüksek sıcaklıklara doğru kaymasına neden olur. Manganez, nikel veya bakır içeriklerindeki normal değişimlerin darbe direnci veya bir başka deyimle tokluk üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır. Bir çekme deneyi özelliği olan kesit daralması küresel grafitli dökme demirler için genellikle kullanılan bir özellik değildir; ancak bir fikir vermek için kesit daralma % sinin yaklaşık olarak uzama % sine eşit veya biraz fazla olduğu söylenebilir. Orantı sınırı ise küresel grafitli dökme demirlerde çeliklere nazaran çok küçük değerler almaktadır, bunun nedeni mikro yapıdaki grafitler ve bunların getirdiği milyonlarca atomik boyutlu hatalardır; gerilim altında hatalar düşük mertebede plastik deformasyona neden olmaktadır. Genel amaçlar için, çekme özellikleri ile sertlik arasındaki ilişki Şekil 4.4 'de belirtilmektedir. Burada belli bir sertlik değeri için gerek çekme ve akma mukavemetinin, gerekse uzama oranının bir aralık halinde verilmesi, değişik ticari tip küresel grafitli dökme demirlerdeki kimyasal bileşim farklılıklarının sonucudur.



Şekil 4.5 Sertlik (BSD) ile çekme özellikleri arasındaki ilişki [19].

Küresel grafitli dökme demirde kesit kalınlığının özellikler üzerindeki etkisi lamel grafitli demirde olduğu gibi ciddi değildir. Ancak kesit boyutlarının, katılaşmada soğuma hızını etkilemesi sonucu, bileşime de bağlı olarak, ferrit ve perlitin sertliği ve yapıdaki perlitin oranı ve tane küçüklüğü değişmektedir. Yüksek mukavemet ve sertlik, dolayısıyla düşük süneklik, ince perlitik veya asiküler yapıli matriks ile elde edilir. Buna karşılık, mukavemet ve sertlikteki azalmayla beraber, yüksek süneklik, matriksin tamamen ferritik olmasıyla mümkündür. Ayrıca çok kalın kesitlerde grafit şeklinin bozulma ihtimali daha fazla olmaktadır [19,24].

4.2.KGDD METALURJİK ESASLARI

Gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimleri (kükürt ve magnezyum haricinde) esas olarak birbirinin aynı olmasına rağmen, bu iki dökme demir oldukça farklı şekillerde katılırlar. Bu farklılıklar özellikle ötektik katılaşmasında daha bariz olmakta ve her iki dökme demir üretiminde uygulanan işlemlerdeki değişikliklerin nedeni olmaktadır [24,15].

4.2.1. Katılma ve Grafit Oluşumu

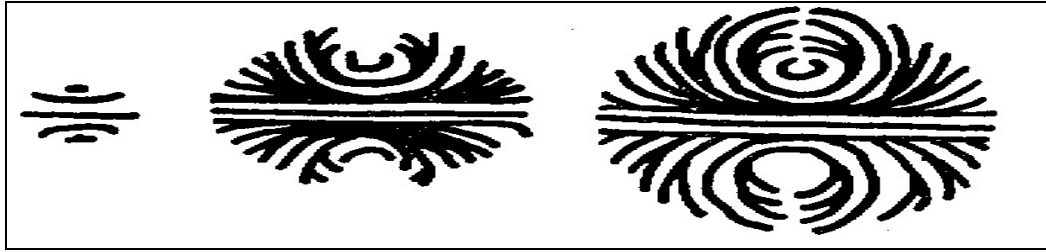
Gri dökme demirin katılmasında, “lamel grafit-ostenit” ötektidinin oluşumu daha önce verilmiş olup katılmanın konvansiyonel şekilde azalan sıvıya karşı büyüyen ostenit hücreleri ve grafit lamelleri şeklinde geliştiği belirtilmişti. Gri dökme katılması tamamlandıktan sonra daha da ağır soğuma sonucu katı ostenit karbon kismakta ve mevcut grafit lamelleri üzerine grafit çökmesi meydana gelmektedir; nihayet ötektoid sıcaklık aralığındaki soğuma ile alaşım elementlerinin etkisine veya soğuma hızına bağlı olarak tamamı ferritten, tamamı perlit kadar çok çeşitli matriks yapısı meydana gelebilmektedir. Buna karşılık aynı karbon ekivalanı değerleri için küresel grafitli dökme demirde ötektid katılması, lamel grafitli ötektikten daha yüksek sıcaklıkta başlar. Bu durumda küre şekilli grafit bir ostenit kabuğu ile örtülüdür ve yalnız bir faz (ostenit) ötektik sıvı ile temas halindedir. Bu tip katılma neoötektik tabir edilmektedir. Her bir grafit küresi ve ostenit kabuğu bir hücre olarak kabul edilebilir, grafit kürelerinin büyüebilmesi için karbonun ostenit kabuğundan içeriye doğru yayılması gerekir, bunun sonucu, katılma olayı gri dökme demirinkine nazaran daha yavaş olmakta ve neoötektik katılma aralığı 49 °C kadar olabilmektedir. Küresel grafitli dökme demirde sıvı metal, gri dökme demire nazaran daha geniş bir sıcaklık aralığında ve daha düşük sıcaklıklarda mevcut olabilmektedir. Neoötektik’in büyümesi başladıktan sonra, başka küresel grafit çekirdeklenmesi olmaz; dolayısıyla grafit kürelerinin sayısı katılmanın hemen başlangıcında belirlenmiş olmaktadır. Ötektoid sıcaklığına kadar mevcut grafit küreleri üzerine grafit çökmesi meydana gelir. Gri dökme demirde olduğu gibi ötektoid sıcaklığından geçerken ki hızı ve alaşımlandırma, matriks yapısını tayin eder. Tamamen küresel grafitli bir yapının elde edilmesinde, uygun sayıda kürenin mevcut olması gerekir [25,26].

Küre sayısının az olması karbonun yayımlayabileceği yer sayısının az olması demektir ve bunun sonucu, işlem değişkenlerine ve bileşimine bağlı olarak, müteakip soğuma esnasında ya lamel şekilli grafitler veya demir-karbür oluşacaktır [25,26].

Hipoötektik bileşimli küresel grafitli dökme demirlerde ostenit dentritlerinin oluşumu ile katılma başlar. Hiperötektik bileşimlilerde ise katılma genel hatlarıyla aynı olup tek ayrıcalığı, ilk katılma faz (primer) küre şekilli grafitlerdir. Bazı noktalarda birbirleriyle çelişen teorilere aşağıda kısaca değinilmiştir [26].

Grafit şekli çekirdek tarafından tayin olur. Grafitlerin küresel şekilli oluşlarının açıklanmasında önceleri en popüler olan bu teori esas olarak, yabancı tanecilerin (muhtemelen küreleştirici element bileşikleri grafitlerin her yönde aynı hızla büyümelerine neden olan çekirdek görevi gördükleri temeline dayanmaktadır. Metalografik kanıtın olmayışı bu teorinin en eksik yanındır; çünkü grafit kürelerinin polikristalin yapısı açıklanamamaktadır [26].

Grafit küreleri büyüyen grafit dentritlerinin dallanma frekansına bağlı olarak oluşur” Bu görüşe göre kürelerin büyümesi dentrit lamellerinkine benzer şekilde başlar. İleri sürüldüğüne göre dentritik olarak başlayan grafit büyümesi, dentrit dallarının oluşum frekansı düşük olduğunda, lamel grafit oluşumuna yol açar; küreleştirici mevcudiyetinden dolayı dallanma frekansı çok yüksek olduğunda ise birbiri üzerine binen dallar küre şeklini oluşturur [25,26].

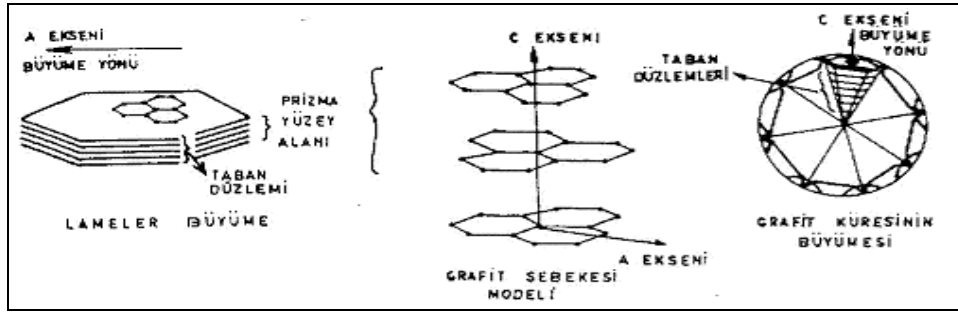


Şekil 4.6. Dallenma frekansına göre bir grafit küresinin büyüme kademeleri [25].

Dallenma frekansı hipotezi de grafitin polikristalin yapısını açıklanmasında yetersiz kalmakta ve bu görüşün metalografik bir kanıtı da bulunmaktadır. Küre şekilli grafitin minimum yüzey enerjisi vardır [25].

Bazı yüzeyi aktif elementlerin mevcudiyetinde grafit, kristalografik yapısına göre büyür. Bu türlü oluşan yapı lamel olacaktır; ancak ortamda bir küreleştirici

bulduğunda daha hızlı büyüme yönü taban düzlemine dik olmaktadır. Bazı görüşlere göre oksijen, kükürt ve benzerinin giderilmesi, bunda ana etken olmakta; bir başka görüşe göre ise esas etken küreleştirirci elementlerin grafit kristalinin prizma düzlemleri tarafından absorbe edilmesidir. Daha yeni bir araştırmada sıvı küresel grafitli dökme demir ile grafit kristalinin prizma yüzeyi arasındaki ara yüzey enerjisinin, sıvı ile taban düzlemi arasındaki enerjiden daha büyük olduğu gösterilmiştir. Küresel büyüme de bu duruma bağlanmaktadır [25].



Şekil 4.7. Yüzey enerji hipotezine göre, küre şeklindeki grafitin büyüme kademeleri [25].

Bununla beraber prizma yüzeyi ile taban düzlemi arasındaki oran, bir hegzagonal piramit için, ince bir hegzagonal plaka için olandan daha büyüktür; buna göre (prizma yüzeyi/sıvı), ara yüzey enerjisi yüksek olduğunda tercihli bir lameler büyümenin gerçekleşeceği ileri sürülebilir, bunun tam tersi düşünen araştırmacılar da vardır. Bu günkü bilgilerle bu görüşlerden hiçbirine kesin olarak katılma olanağı yoktur. Bu arada vakum altında ergitilen düşük kükürtlü dökme demirlerde, bilinen herhangi bir küreleştirici bileşiminde bulunmasına rağmen grafitlerin küreleşmeye meylettği görülmektedir. Bu da küreleşme olayında oksijen ve kükürdün rolüne işaret etmektedir. Ayrıca grafit kristalinin taban düzlemleri arasında bağ çok zayıftır ve kristalin kristallografiye uygun büyümeden ziyade minimum yüzey oluşturacak şekilde büyümesi söz konusudur. “Küre şekli, grafitin katı faz içinde büyümesi sonucudur. Bu görüşe göre gri dökme demirde, grafit lamelleri sıvı ile temas halinde büyür [25].

Küreleştirme işlemi etkisiyle büyüyen grafit kristalleri tamamen katı faz (ostenit) ile çevrili olmaktadır. Bu durumda büyüme hızı, karbonun yayınma hızı ile kontrol

edildiğinden, bütün yönlerde yaklaşık olarak eşit olacak ve kristaller küre şeklini alacaktır [25].

Ancak bu görüşe karşı olarak, dendrit kolları arasında son katılan sıvı ile temas halinde büyüyen uzun şekilli grafit kristalleri gösterilmektedir, ayrıca sıvı ile doğrudan temas halinde de grafit kürelerinin büyüdüğü ispatlanmıştır; bu ekseri halde birbiri ile temas eden grafit kürelerinin tespiti ile kanıtlanmaktadır. Nihayet grafitin katı demir içinde büyüdüğü kabul edildiğinde, bu olay için başka deyimle büyüyen grafitin ostentisi plastik olarak deforme edilebilmesi için oldukça yüksek bir enerjiye ihtiyaç vardır, bu ise katılma gizli ısısının, ergime ısısından çok çok büyük olması halini gerektirir ki gerçek durum böyle değildir [25].

“Faz sınırı veya gaz kabarcığı (buble) teorisi” Bu teoriye katılanlar az olmakla beraber, grafit kürelerinin gaz kabarcığı teorisinde tarif edildiği şekilde oluşturduğunu kanıtlayan veriler mevcuttur. Grafitin, çatlak, gaz boşluğu enklüzyon gibi belirli yüzeylerden kristalleşmeye başladığı bilinen bir olaydır, “gaz kabarcığı teorisi” de grafit kristalleşmesinin yalnız herhangi türde bir faz sınırı ile desteklendiğinde gerçekleşebileceğini öne sürmekte, aksi halde karbür oluşacağını belirtmektedir. Yine bahis konusu teoriye göre gerekli faz sınırları sıvı metal içindeki CO gaz kabarcıkları aşağıdaki reaksiyon sonucu oluşmaktadır [25].

$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$ Lamel grafit şıkında ise büyük kabarcıklar oluşmakta ve yüzeyleri ince bir grafit tabakasıyla kaplanmaktadır. Yeni oluşmuş grafit yüzeyi CO gazı absorbe eder, gaz kabarcığı büzülür bunun sonucunda da düzensiz gruplar halinde grafit lamelleri oluşur [25].

Gri dökme demirde SiO_2 'in gerekliliği Belçikalı ve Alman araştırmacıların elde ettikleri sonuçlarla kanıtlanmıştır. Alman araştırmacıya göre özetle:

Sıvı metalde grafitin heterojen kristalleşmesi için çekirdeklere gerek vardır. Kural olarak bu çekirdekler silis (SiO_2) tanecikleri olmaktadır.

$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$ dengesi üzerinde yaklaşık 50 °C sıcaklık aralığında sıvı demirdeki silisyum oksijeni bağlar.

Sıvı demiri uzun süre sıcakta tutmak oksijen kaybına ve dolayısıyla grafit yapısının bozulmasına yol açar. Bu olay vakum ergitmede olan olaya benzerdir.

- Oksijen kaybı aşılama ile giderilemez.
- Manganezle aşılama grafitin heterojen çekirdeklenmesine engel olur.
- Sıvı demirin aşılama cevap verebilmesi için yeterli oksijene gerek vardır.
- Ca, Ba, Sr, Al v.b. aktif aşılama maddeleri stabil oksitler oluşturarak silisin çökmesinde katalizör rolü oynar [25].

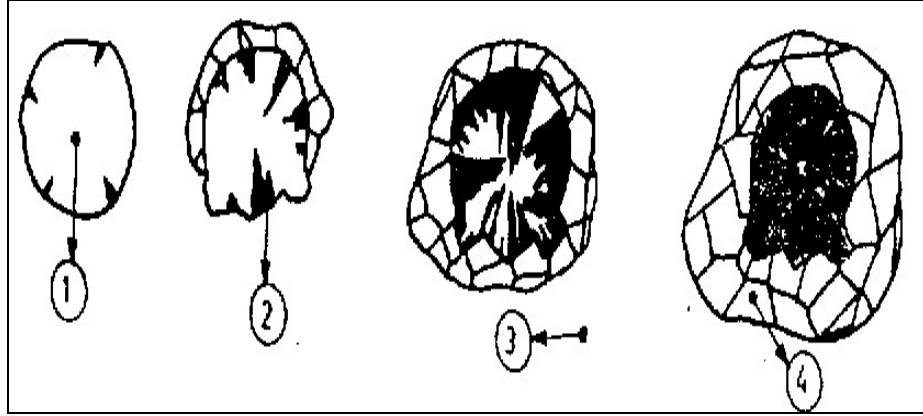
Bu bulgulara göre sıvı demire küreleştirici ve aşılama maddesi ilave edildiğinde ne olduğu ve grafit kürelerinin nasıl oluştuğu şöyle açıklanabilir [25].

Sıvı demirin gördüğü işlemler oksijen içeriğini yaklaşık olarak 100 ppm 'den 30 ppm'e düşürür. Kükürt oranı da zamanla azalır. Aşılama maddesi sıvı demire "aktif aşılama maddesi" nin oksitlerinden çok sayıda submikroskopik tanecikler sağlar [24].

Ya yüzey aktif elementlerden kükürdün giderilmesi veya magnezyum gibi küreleştiricilerin mevcut oluşu, film şeklindeki grafit büyümesini engeller. Dislokasyonlar, grafit kristalinin büyümekte olan taba düzlemini kendi üzerine katlamaya zorlar ve spiral tipi bir büyümeye neden olur. Dolayısıyla, küre şekilli grafitin büyüme kademeleri aşağıdaki gibi olacaktır.

- Oksijen içeriği azalır ve CO gaz kabarcıklarının toplam hacmi, çökecek grafit hacmi ile aynı mertebede olur.
- Sıvı demire aşılama maddesi oksit tanecikleri sağlanır.
- Soğumada, (C) ile dengede olacak şekilde erimiş silis aşılama maddesi oksitlerin üzerine çöker. Denge heterojen hale geçer.
- Homojen dengeyi sağlamak için bir kısım SiO₂ karbonla reaksiyona girerek çok ince dağılmış küçük kabarcıklar oluşturur.

Olayın geri kalını ise şekil 4.8 'de gösterilmektedir [25].



Şekil 4.8. Faz sınırı teorisi küre şekilli grafitin büyüme kademeleri [25].

(1)- Gaz, (2)- Grafit iğneleri (whisker), (3)- Sıvı, (4)- Ostenit. Demir ve karbona ilaveten, grafit (küresel veya lamel şekilli) oluşması için iki element daha gerekli olmaktadır, bunlar silisyum ve oksijendir. Grafit şeklinin küre olabilmesi için ilave edilen diğer elementler oksijen içeriğini azaltmak ve Wisker tipi grafit büyümesine neden olmak amacıyla güderler [25].

4.2.2. Küreleştiricilerden Mg'un Etkisi

Daha önce de belirtildiği gibi hipoötektik ve hiperötektik bileşimleri için, küresel grafitler elde edilmesinde en çok kullanılan yöntem magnezyum ilavesidir. Magnezyumdan başka elementler aynı amaçla denemişlerse de bunlardan hiç biri yeter derecede uygun olamamışlardır. Bu elementler arasında seryum, kalsiyum ve yitrium sayılabilir [27].

Magnezyum ayrıca ergimiş metal için bir oksijen ve kükürt giderici rol oynar. Ergimiş metalin oksijen ve kükürt muhtevası çok yüksek ise önemli miktarda magnezyum, magnezyum oksit ve sülfürlerin oluşumunda harcanacaktır. Henüz kesin açıklanmayan bir mekanizma ile magnezyum lamel grafit oluşumunu önleyip, grafit şeklinin küre olmasını sağlamaktadır.

Genel olarak küreleşmenin sağlanması için bileşiminde %0.05 oranında artık magnezyum gereklidir. Magnezyumun sıvı metale ekleniş yöntemleri daha ileride açıklanacaktır [28].

4.2.3. Küresel Grafitli Dökme Demir Bileşimindeki Ana Elementlerin Kontrolü

Küresel grafitli dökme demir içerisinde karbon, silisyum, manganez, fosfor, kükürt, bakır, krom, nikel, vanadyum ve bor gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Aşağıda bu alaşım elementlerinin küresel grafitli dökme demire etkileri kısaca açıklanmıştır. Karbon: KGDD bileşiminde % 3-4 karbon bulunmaktadır. Karbon miktarının artmasıyla grafit kürelerinin sayısının artmasına sebep olur. Ayrıca döküm kabiliyetinin artmasına neden olur [22,20].

Silisyum; KGDD içerisinde silisyum miktarı % 1,8-2,8 arasındadır. Silisyum ötektoid dönüşümde oluşan ferrit'in oranını ve sertliğini arttırarak dökme demir mukavemetinde de önemli artış meydana getirir [31,20]. Bunun yanında sünek-gevrek geçiş sıcaklığını da yükseltir. Bu nedenle maksimum tokluğun ve sünekliğin sağlanması için silisyum oranı % 2 'nin altında tutulmalıdır [17,20].

Mangan; Özellikle kalın kesitli dökümlerde manganez tane sınırı karbürlerinin oluşumunu teşvik eder. Bunun sonucunda ise süneklik ve tokluk düşer. Ferritik döküm yapısı istenen KGDD malzemelerde manganez oranının % 0,2 tutulması sonucunda maksimum süneklik elde edilmesi için gereklidir. Ayrıca perlitik döküm yapısı sağlamak için manganez oranı % 1 'e kadar çıkabilir [17,20].

Fosfor; Yapıda steadit fazı oluşturarak kırılabilirliği artırır. Bu nedenle yapıda maksimum % 0,05 olarak sınırlandırılmalıdır [22,20].

Kükürt; Grafitleri küreselleştirmek için kullanılan magnezyum miktarının daha fazla kullanımını gerektirdiği için bileşimi, magnezyum işlemi öncesinde % 0,02 veya daha az bir seviyeye indirilmelidir [22,20].

Bakır; Malzemede işlenebilirliği artırmak ve tokluğun yanı sıra yüksek mukavemet sağlar [22,17].

Yukarıda sözü edilen elementlerden başka antimuan, kursun, titanyum, tellür, bizmut ve zirkonyum gibi elementlerde çekirdekleşme potansiyeline etki ederler.

Bu elementler, bileşiminde ya çok seviyelerde bulunmalı ya da hiç bulunmamalıdır. Krom, nikel, vanadyum ve bor gibi alaşım elementleri ise karbür yapıcı perlit kararlaştırıcı ya da ferrit oluşumunu teşvik edici elementler olarak bilinir [22,20].

4.2.4. Grafitin Dağılımı ve Şeklini Etkileyen Elementler

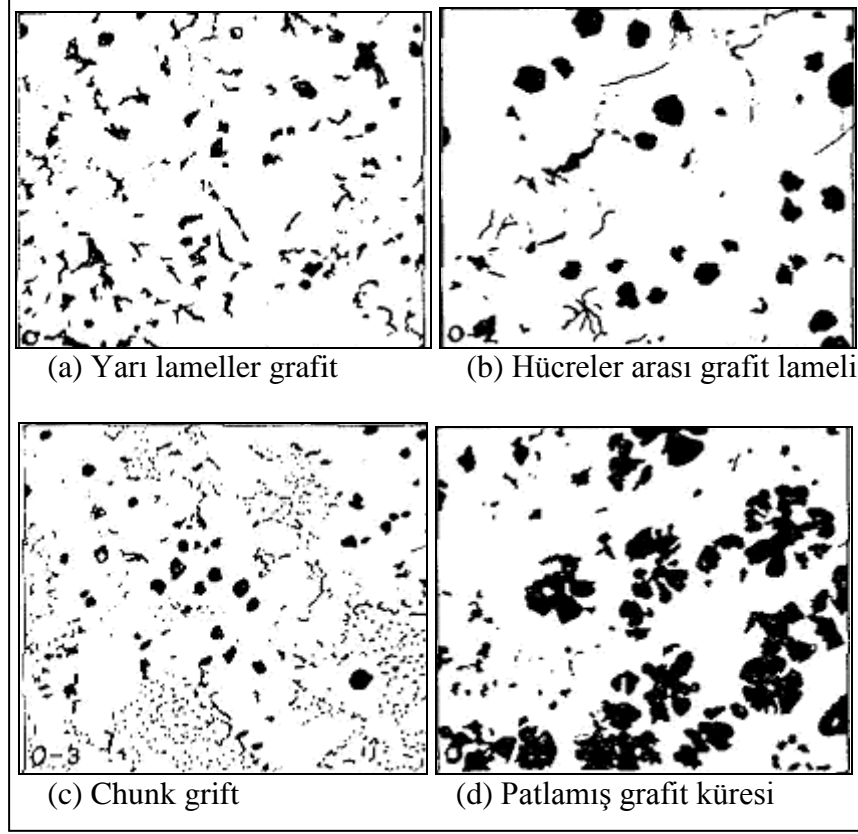
Grafit dağılımı tarif olarak birim hacimdeki grafit kürelerinin sayısıdır. Bu değer kesit üzerinde birim alana düşen grafit küre kesiti sayısı ile doğru orantılıdır ve “grafit küre sayısı / mm²” olarak ölçülür [19].

Grafit kürelerinin dağılımını yarı-kimyasal olarak etkileyen element silisyumdur. Silisyum oranı arttıkça küre sayısı da artar, ancak fazla silisyum (Chunk-type) “gelişmemiş grafit partikülleri” şekline yol açar. Grafit küre sayısını etkileyen diğer elementler “aşılama” bahsinde açıklanmaktadır [19].

Karbon miktarı hem grafit şeklini hem de boyutunu etkiler, çünkü karbon ekivalanı değiştirir. Grafit küreleri, hiperötektik küresel grafitli dökme demirde daha küçük ve daha düzgün ekilidir [19].

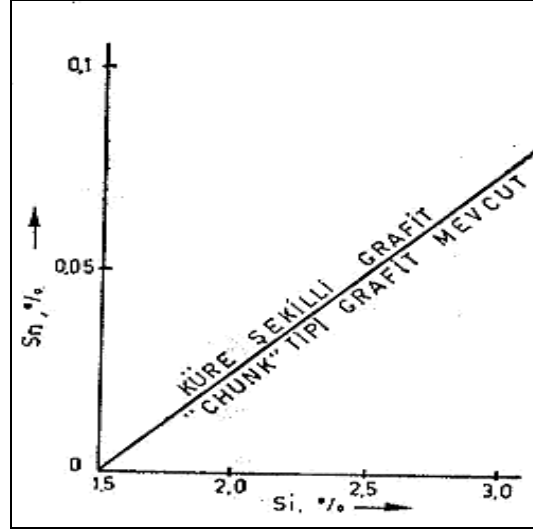
Yüksek nikel ve silisyum içeriği de grafit şeklinin bozulmasını kolaylaştırabilir. Bu etki özellikle orta veya kalın kesitli, yüksek nikelli ostenitik küresel grafitli dökme demirlerde görülmektedir. As, Sb gibi çok çok küçük miktarlarının dahi zararlı olduğuna inanılan elementler, laboratuvar çalışmalarında ve bazı sınırlı endüstriyel uygulamalarda perlit oluşumunu teşvik ve grafit şeklini düzeltme amacıyla (Ce) ile beraber ilave edilebilmektedirler. Bir zamanlar küresel grafit oluşumunun sağlanmasında temel element olarak bilinen seryumun ise bazı eser miktardaki elementler mevcut olmadığı takdirde, Chung-grafit oluşumuna yol açtığı, özellikle ostenitik grafitli dökme demirlerde müşahede edilmiştir. Küresel grafitli dökme demirlerde tamamen küre şekilli grafitleri içeren bir yapı ancak küreleştirici elementlerden bir veya birkaçının ilavesiyle elde edilebilir. Bu elementleri içeren grup Mg, Ce, Ca, Li, Na, K, Se, Be, Y ve diğer bazı elementlerden oluşmaktadır. Bunlar grafit şeklini etkileyen elementler olarak bilinir. Ancak çeşitli araştırmalar, daha kırk veya daha fazla elementinde grafit şekline etkili olduğunu ileri

sürmektedir. Küresel grafitli dökme demirde grafit şeklinin küreden sapışı kabaca 4 şekilde olmaktadır [19].



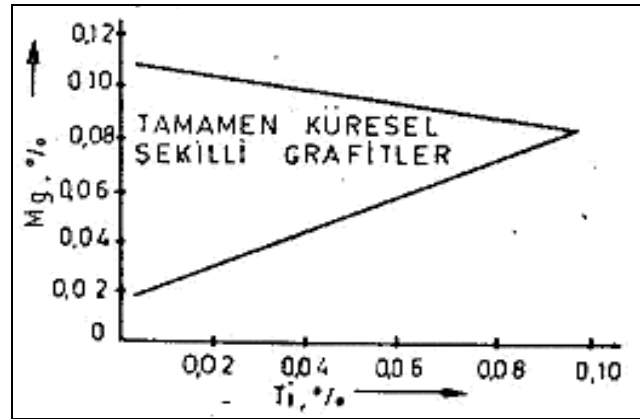
Şekil 4.9. Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar.

İstenmeyen bir grafit şekli olan yarı-lameler tipinin yanında patlamış küre tipinin dökme demirin mekanik özelliklerine büyük oranda bir menfi etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Özelliklere en çok zararlı olan, hücre ara sınırlarında küçük grafit lamelleri ve “Cunk grafit” tipidir. Hücreler arası grafit lamellerinin oluşumuna yol açan elementler muhtemelen katılaşma sırasında katıdan atılarak sıvıda zenginleşip bu son katılaşan sıvı içinde grafit lamellerinin çökmesine neden olacak konsantrasyona erişmektedirler. Kısaca bir elementin zararlı etkisi, yine zararlı kabul edilen bir başka element tarafından giderilebilmektedir. Örneğin chunk tipi grafit oluşumuna yardımcı olarak tanımlanan silisyum ile hücreler arası grafit lamellerinin oluşumunu teşvik edici olarak bilinen kalay arasındaki yaklaşık ilişki şekil 5.9’da verilmektedir[19].



Şekil 4.10. Grafit şekli üzerinde silisyum ve kalay arasındaki denge durumu [19].

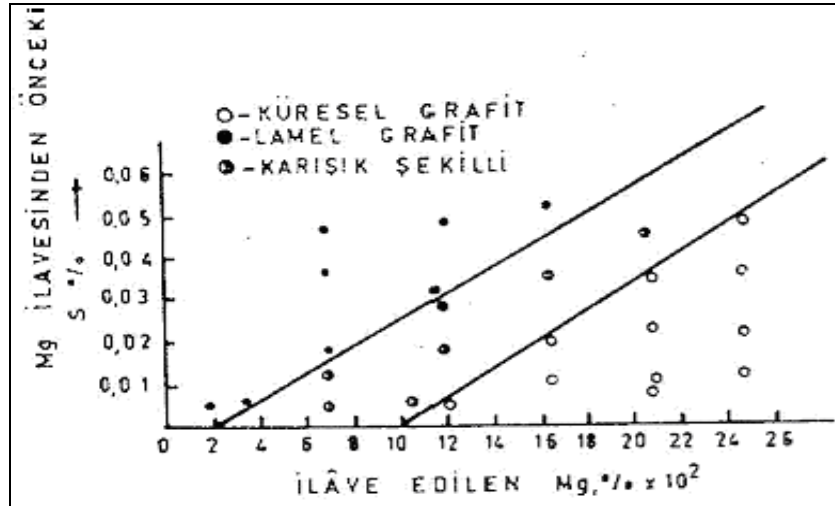
Şekil 4.10 'de grafit şekli üzerinde değişik etkileri olan silisyum ve kalay arasındaki denge durumu. Küresel grafitli dökme demir bileşiminde, gerek kalıp gerekse maçalarda kullanılan bağlayıcılardan gelebilecek azotun kötü etkisini karşılamak için, % 0.02-0.04 oranlarında titanyum istenebilir, ancak yüksek oranda Ti, magnezyumun etkisini henüz bilinmeyen nedenlerle ters yöne çevirerek lamel tipli grafitleşmeye yol açtığı için arzu edilmez.



Şekil 4.11. KGDD yapıda Mg miktarı ile Ti miktarı arasındaki ilişki [29].

Şekil 4.10 'de küresel grafitli yapıda magnezyum miktarı ile titanyum miktarı arasındaki ilişki küresel grafitli yapının eldesi için gerekli magnezyum miktarı artan titanyum miktarı ile artar. Yüksek magnezyum ve yüksek titanyumun beraber

bulunuşu lamel tipli grafit oluşumuna yol açar. Grafit şekli üzerinde etkisi önemli olan kükürtün dökme demirdeki oranı ne kadar az olursa küreleştirmek için yapılacak ilave miktarı da o kadar az olacağı açıktır. Küresel grafit eldesi için gerekli magnezyum oranı ile magnezyum ilavesinden önce dökme demir bileşiminde bulunan kükürt oranı arasındaki ilişki şekil 4.11 'de verilmektedir.



Şekil 4.12. Küre şekilli grafitler elde etmek için gerekli mg miktarı [19].

4.2.5. Küreleştirici İlavesi

Dökme demirde grafitleri küreleştirmek amacıyla bir çok elementin etkisi incelenmiş ancak magnezyum (genellikle bir miktar Ca, Ce ve bazı diğer nadir toprak metalleriyle birlikte) bu amaç için en efektif ve ekonomik küreleştirici olarak bulunmuştur. Küre şekilli grafitleri oluşturmak için gerekli olan magnezyum miktarı, dökme demirin ana bileşimindeki kükürt ve oksijen miktarlarına büyük ölçüde bağlıdır. Daha öncede belirtildiği gibi bileşiminde minimum % 0.015 ila % 0.05 magnezyum kalması uygun kabul edilir Küresel grafitli dökme demir üretiminde küreleştirici olarak kullanılan ilaveler başlıca altı grup altında toplanırlar [29,25].

- Metalik magnezyum; Magnezyum metalik halde ya saf veya alüminyumla (düşük % de) alaşımlandırılmış olarak kullanılabilir.
- Reaksiyon oldukça şiddetlidir, bu sebeple daha ileride açıklanacak ilave yöntemlerinde dikkatli seçim yapmak gerekir.

- Nikel esaslı alaşımlar; Bunlar “ceriumlu” veya “ceriumsuz” olabilirler. Ostenitik tip küresel grafitli dökme demir üretildiğinde cerium ilave edilmelidir.
- Ferro silisyum esaslı alaşımlar; Bu alaşımlardan bazıları endüstriyel uygulamada büyük oranda kullanılanlar olup, bazıları ise laboratuvar veya dökümhanelerde deney amaçları için kullanılmaktadır. MgFeSi alaşımları için en uygun parça boyutu 50 mm ile 3mm arasında değişmektedir; daha incelerin Mg verimi daha düşük olacağından ekonomik olmamaktadır.
- Magnezyum emdirilmiş kok; Bu maddenin kullanım alanı daha çok küresel grafitli dökme demir üretiminin dışında kalmaktadır. Yaklaşık %40 oranında Mg içerir. Magnezyum emdirilmiş kok ucuz olmakla beraber, daldırma yoluyla ilave edildiğinde reaksiyon şiddetli ve nispeten uzun (2 dakika veya daha fazla) olabilmekte ve dolayısıyla aşırı ısı kaybına yol açmaktadır.
- Mekanik olarak bağlanmış küreleştiriciler; En çok kullanılanların başında sünger demir veya demir talaşı ile magnezyum talaşının karışımından briketleme ile elde edilenlerdir. Magnezyum oranı ortalama %15 ila 20 arasındadır. Magnezyum oranı arttıkça reaksiyon şiddeti de artar.
- Magnezyum içermeyen küreleştiriciler [29,30].

4.2.6. Aşılama (Inokülasyon)

Bu işlemin amacı ergimiş metale katılaşmanın üzerinde oluşacağı çekirdekleri sağlamaktır. Çekirdek görevi görecektanecikler katılaşan fazın aynı olabildiği gibi bir başka malzemeden de olabilir (Heterojen çekirdeklenme). Bu tanecikler ilave edildikleri sıvı metal içinde katılaşma başlayana kadar erimedikleri zaman yeni kristallerin oluşması ve büyümesi için en uygun zemini oluştururlar. Daha fazla sayıda grafit küresi, daha fazla sayıda grafitleşme merkezi demektir. Dolayısıyla aşılama grafitleşme meylinin artışına ve karbür oluşumunun azalışına sebep olmaktadır [25].

Bu nedenle aşılamanın başlıca iki amacı vardır:

- Çekirdek sayısını arttırmak,
- Karbür oluşumunu önleyerek mekanik özellikleri arttırmaktır.

Küresel grafitli dökme demirde en verimli aşılama maddeleri ferro-silisyum alaşımlarıdır. Bu alaşımlar çeşitli sınıflar halinde üretilirler. En çok bilinenler %50 ila %80 silisyum içerenlerdir [25].

Bunların ferro silisyum esaslılara olan başlıca üstünlükleri, arzu edilen sonuca erişmek için ilave edilecek miktarın daha az oluşu, dolayısıyla maliyetin azalması ve yine daha az ilaveden dolayı bileşim değişikliğinin çok az oluşudur. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan aşılama maddeleri ferro silisyum esaslılardır [25,29].

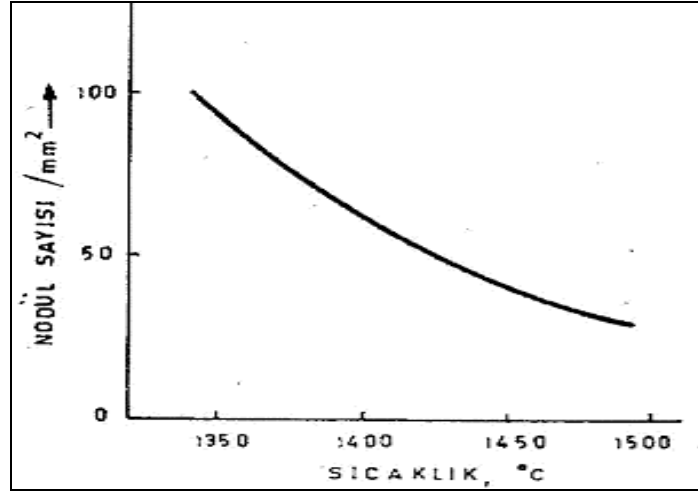
Aşılama maddesinin hangi oranda ilave edileceği ise çok sayıda değişkene bağlıdır. Bunların başlıcaları: sıvı metal bileşimi, döküm sıcaklığı dökülen parça kalınlığı, kalıp malzemesi, ergitme ortamı ve döküm süresidir. Dolayısıyla çok sayıda değişken sabit bir aşılama miktarının tespitini imkânsızlaştırmaktadır.

Küresel grafitli dökme demirle yapılan deneyler %75 veya %85'lik ferro silisyumun % 0.5-1.0 (dökülen parça kalınlığına göre) oranlarında ilavesinin en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. İnce kesitler, kalın kesitli olanlardan daha fazla aşılama gerektirirler. Aşılama için çeşitli yöntemler uygulanabilir, bunların başlıcaları: potada aşılama, oluk aşılması ve kalıp aşılmasıdır. Aşılama maddelerinin en iyi ilave şekillerinden biri fırının boşaltma ağzından çıkan metalin içine aşılama maddesi ilave etmektir. Aşılamanın yapılacağı zamanın kaba bir yaklaşımla tayini şöyle yapılabilir: aşılama ilavesi potanın dibinde 10-15 cm sıvı metal varken yapılır ve böylece hızlı ergitme ve sıvı metalle tamamen karışma gerçekleşebilir [29].

Bazı dökümhanelerde aşılama maddesi magnezyum ile beraber ilave edilir. Ancak bu yöntemin pek etkin olduğu söylenemez; bazılarında ise iki veya üç kademe aşılama yapılmaktadır; fakat aşılamanın etkisi zamanla kaybolduğundan sıvı metalin her aktarılışında yeni bir miktar aşılama maddesi gerekli olmaktadır [29].

Bir de yukarıda açıklanan işlemlerden sonra yapılan kalıp aşılması vardır. Bu aşılama bir miktar aşılama maddesi parçaları halinde yolluğa yerleştirilir. Aşılama işleminde dikkat edilecek hususların başında aşılama maddesinin tamamen kuru olması gereği gelir, aksi halde döküm yüzeyinde karıncalanma hatasına neden olabilir. Aşılama maddesinin boyutu hızlı ergiyebilecek kadar küçük ve hemen okside

olmayacak ve ani patlama göstermeyecek kadar büyük olmalıdır. Sıvı metal aşılama esnasında cüruftan tamamen arınmış olmalıdır. Bir genelleme olarak iyi bir sonuç almak için mümkün olduğu kadar geç aşılama gerekir, aşılama sonrası geçen zamanla aşılamanın etkisi kaybolduğu gibi, bu zaman ısı kaybına da yol açmaktadır ve düşen ısı grafit küre sayısını da azaltacaktır. Ayrıca aşılama sıcaklığı ne kadar yüksek ise aşılama verimi de o kadar düşük olur [29,30].



Şekil 4.13. Aşılama üzerine sıcaklığın etkisi [25].

Dolayısıyla aşılamanın mümkün olan en düşük sıcaklıkta ve en son anda yapılması en uygun sonucu verecektir Genel olarak uygulanan çalışma şekli, aşılama malzemesinin döküm potasına, işlem potasından eriyiğin dökülmesi esnasında verilmesidir [25].

4.2.7. Dökümhane ve Döküm Özellikleri

Küresel grafitli dökme demirler çoğunlukla yaş veya kuru kum kalıba dökülürler. Küresel grafitli döküm demir için döküm ortamı, gri dökme demir için olanla aynıdır, ancak birincisinde kumdaki nem oranı daha dikkatli kontrol edilmelidir, bunun nedeni, magnezyum ilave edilmiş sıvı metalin kolay oksitlenebilmesidir. Kum içindeki toplam yanıcı madde oranı % 6-7 ile sınırlanır. Kullanılan kum karışımı ve kalıplama işlemleri gri dökme demir için belirtilen prensiplere uymaktadır [30].

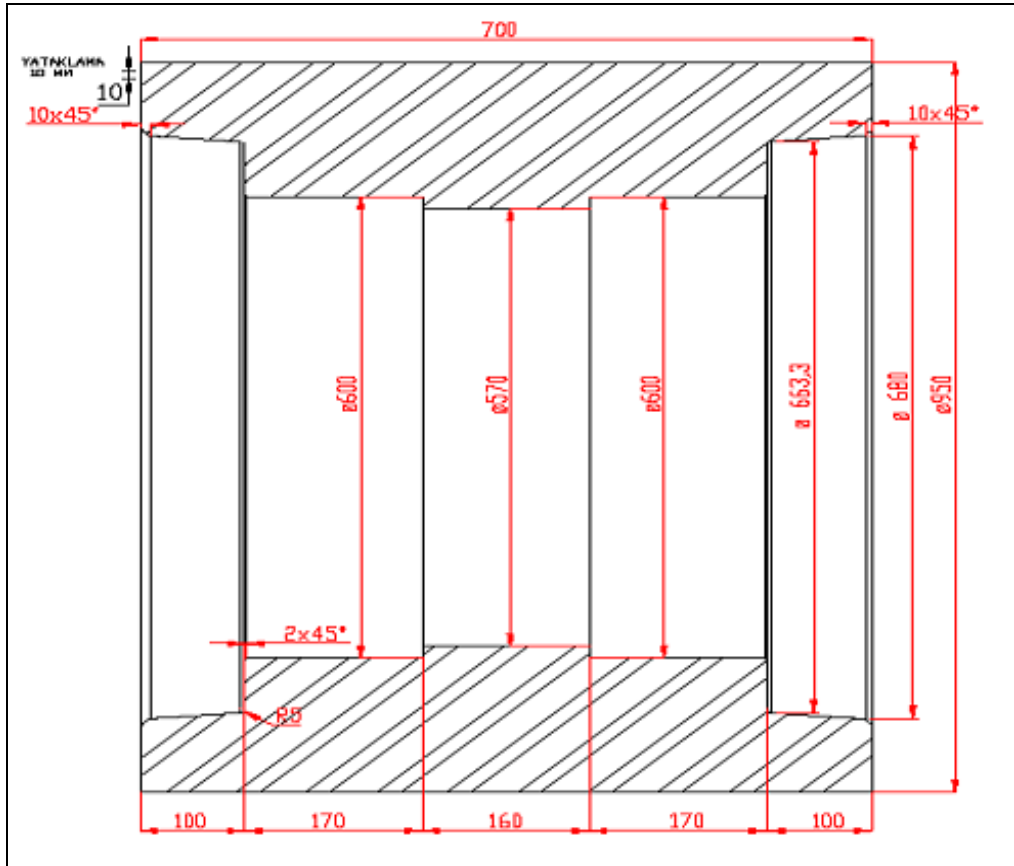
Magnezyum ilavesi ve aşılama sonrası dökme demirin son kimyasal bileşimini tespit etmek için numune alınır. Burada önemli olan, artık magnezyum oranının belirlenmesidir; bu amaçla grafit (çil uygulanmış=hızlı soğutulmuş) numunelerin spektrografik analiz tercih edilir. Bileşim kontrolü açısından basit bir yöntem karbon ekivalanı nı soğuma eğrisinden elde etmektir. Ancak ölçümün doğru olması, soğuma eğrisinin alınacağı numunenin beyaz dökme demir olarak katılmasını (grafitsiz) gerektirir. Karbon ekivalanı soğuma eğrisindeki ilk duraklama ile ötektik duraklaması arasındaki sıcaklık farkına bağlı olmaktadır. Grafit şeklinin döküm sıcaklığına dökülen parçanın kesit boyutlarına ilave edilen küreleştiricinin efektif miktarına, aşılama ve dökme demirin ana bileşenine bağlıdır. Dolayısıyla düşük döküm sıcaklıkları, kalın kesitler, yetersiz magnezyum ilavesi, aşılamanın yapılmayışı veya yetersiz oluşu ve düşük karbon ekivalanı grafit şeklinin küreden sapmasına yol açacaktır. Ancak burada bir defa daha hatırlatmak yerinde olacaktır ki yüksek karbon ekivalanına sahip küresel grafitli dökme demirlerde patlamış tipte grafit oluşumu veya büyük boyutlu ve dökümün üst yüzeyine yakın grafit birikmeleri söz konusu olabilir. Ayrıca gri dökme demirde olduğu gibi küresel grafitli dökme demirde de katılma esnasında ötektik karbür oluşumu mümkündür. Bu primer karbürlerin önlenmesi yeter derecede yüksek bir karbon ekivalanı ve uygun sayıda grafit kürelerinin oluşumuna bağlıdır. Yine döküm parçalarında özellikle üst yüzeylerde magnezyumlu bileşiklerin (magnezyum oksit veya silikat) sebep olduğu hatalar görülebilir bunlar da yüksek döküm sıcaklığı, fazla magnezyum ve yolluk sistemindeki çalkantılardan meydana gelir [31].

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada kullanılacak olan 1.Döküm, 2 Döküm, 3 Döküm, 4 Döküm, 5 Döküm, 6 Döküm olarak adlandırdığımız küresel grafitli dökme demir malzemeleri döküm yolu ile kum kalıp kullanılarak elde edilmiştir. Bu 6 farklı malzemeden üretilen merdanelerinin her birinin çap ve boyları aynı olmak üzere $\varnothing = 950$ ve boy = 700 dür. Aşağıdaki şekil 'de kok kırıcı merdanesi ölçüleri görülmektedir.



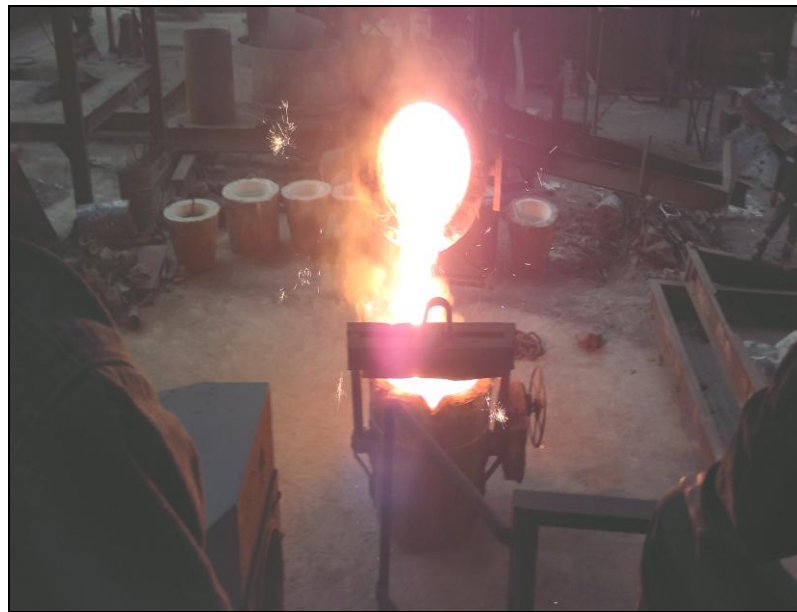
Şekil 5.1. Kok kırıcı merdanesi teknik resmi.



Şekil 5.2. İndüksiyon ocağı.

Küresel grafitli dökme demir üretimini kardökmak bünyesinde bulunan döküm atölyesindeki indüksiyon ocaklarında yapılmıştır. İndüksiyon ocaklarında yapılma nedeni, iyi çalışma koşulları, ekonomik üretim, hedeflenen analiz değerlerinden çok az sapma değerleriyle sağlanmasıdır.

Çizelge 5.1 'de dökümü yapılan merdanelerin kimyasal analizlerine göre indüksiyon ocağında dökümleri hazırlanmış ve potalara alınmıştır.



Şekil 5.3. Dökümün potalara alınması.

İndüksiyon ocağından alınan döküm potalara alınıyor ve sonra potalara alınan dökümler hazırlanmış kum kalıplara dökülmektedir.

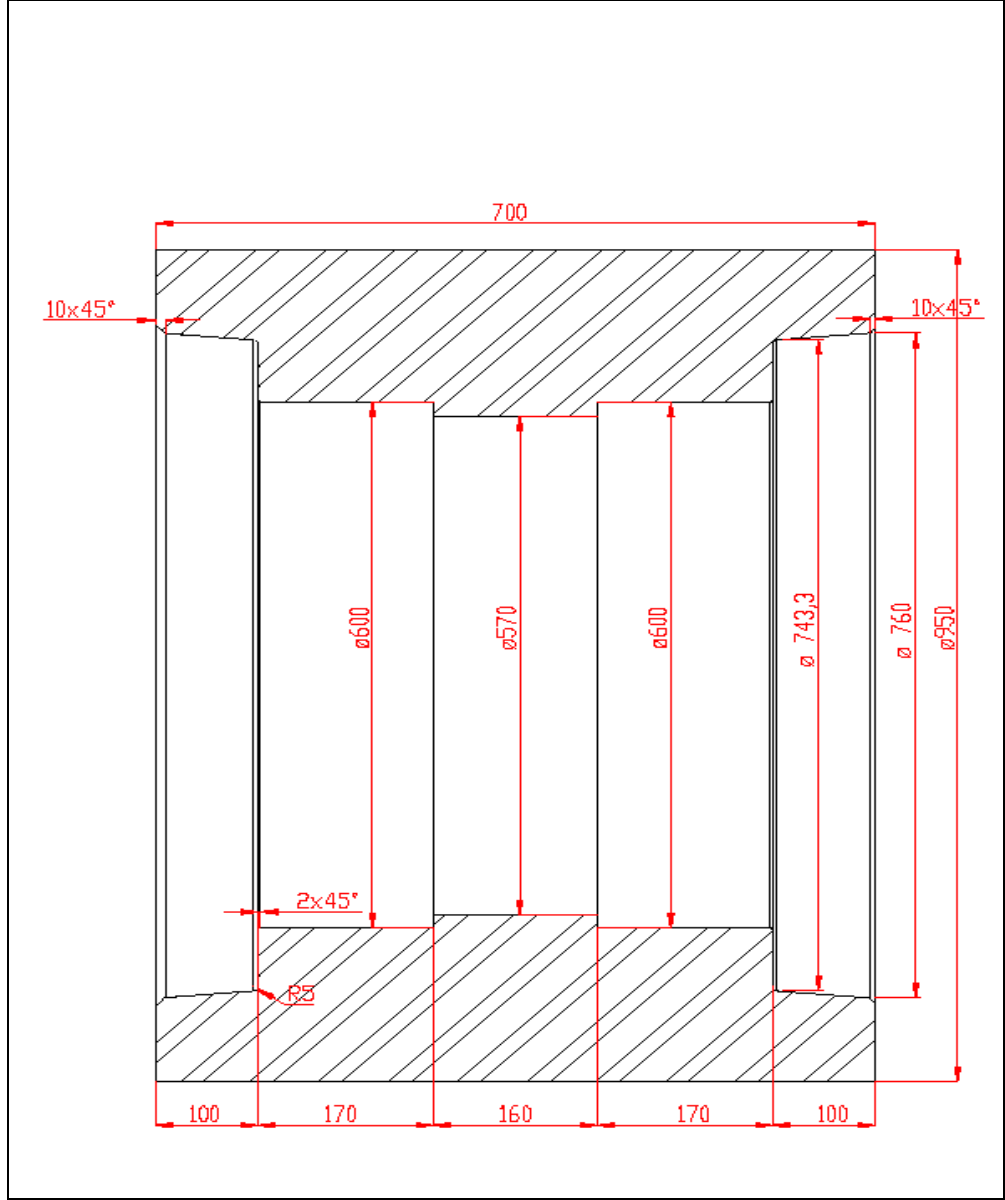


Şekil 5.4. Dökümhaneden genel görünüş resmi.

Çizelge 5.1. Dökümü yapılan merdanelerin kimyasal analiz değerleri.

Elementler	1.DKM	2.DKM	3.DKM	4.DKM	5.DKM	6.DKM
% C	3.85	3.30	3.14	3.35	3.50	3,40
%Mn	0.25	0.23	0.26	0.48	0.70	0,51
%Si	0.77	0.73	1.45	1.50	1.31	1,87
%S	0.022	0.020	0.022	0.019	0.016	0.016
%P	0.05	0.04	0.046	0.044	0.048	0.027
%Cr	1.09	0.50	1.16	1.35	1.50	1.26
%Ni	2.31	2.30	2.43	2.45	2.317	2.32
%Mo	0.14	0.13	0.22	0.30	0.60	0.25
% Cu	0.64	1.30	1.09	1.10	1.184	1.18
%Mg	0.03	0.03	0.03	0.051	0.070	0.046

Merdanelerin kimyasal analiz değerleri çizelge 5.1 'deki değerlere göre yapılmıştır. Bu dökümlerin kimyasal analiz oranları merdanenin çalışma ömrüne göre belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Kok kırıcı merdanesinin revize olmuş teknik resmi.

5.1.1. Deney Numunelerinin Metalografik İncelenmesi

Malzemelerin tüm fiziksel, kimyasal, mekanik özellikleri bileşiminin yanı sıra içyapıları ile doğrudan ilgilidir. Deney numunelerinin içyapılarını incelemek için çeşitli işlemler yapılmıştır. Bu işlemlerde numune hazırlama, zımparalama, parlatma, dağlamadır. Numunelerin mikro yapı fotoğrafları Şekil 5.6 'de gösterilen optik mikroskop ile siyah-beyaz olarak çekilmiştir. Metalik malzemelerin; mevcut fazların cinsinin, miktarının, dağılımının, şeklinin ve tane boyutunun belirlenmesinde

kullanılır. Malzemedeki tane sınırları, kayma bantları, ikizler, porozite, kalıntı ve çatlaklar kolayca ayırt edilebilmektedir.



Şekil 5.6. Optik mikroskop cihazı.

5.1.1.1. Numune hazırlama

Metalografik inceleme için döküm parçalarından numuneler kesilmiştir. Numuneler malzemelerin soğuma davranışlarını inceleyebilme açısından ve yanlış sonuçlar elde etmeme açısından orta bölümlerinden alınmıştır.

5.1.1.2. Zımparalama

Kesilen numuneler sırasıyla 240-320-400-600-800 ve 1000 mesh sırasını takip eden SiC zımpara kâğıdı ile sulu olarak zımparalanmıştır. Her bir zımparalama diskinde sadece önceki zımparalardan oluşan çizikleri gidermek için gerekli olan zaman kadar işleme tabi tutulmuştur.

5.1.1.3. Parlatma

Numuneler daha sonra sırasıyla 6 μm , 3 μm ve 1 μm 'lik elmas pasta yardımıyla çuha üzerinde en ufak çizgi kalmayacak şekilde ve grafit taneleri de iyice açılıncaya kadar

parlatılmıştır. Daha hassas parlatmayı da şekil 5.7 metalografik parlatma cihazı ile yapılmıştır.



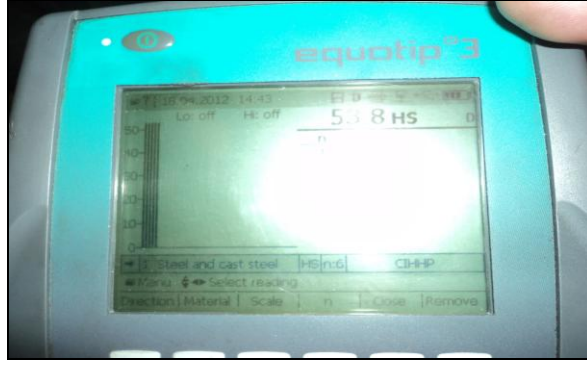
Şekil 5.7. Metalografik parlatma cihazı.

5.1.1.4. Dağlama

Parlatılan numuneler % 2 'lik Nital ile dağlanmıştır (% 2 Nitrik asit + % 98 saf alkol). Dağlama 10-12 sn süre ile yapılmış ve su ile durulanan numune leke oluşumunu engellemek için iyice kurutulmuştur. Derin dağlama işlemi % 15 'lik HCl çözeltisinde 10 saat bekletilerek yapılmıştır. Daha sonra numuneler saf su ve alkol ile temizlenmiştir.

5.2. SERTLİK CİHAZI VE SERTLİK TESTİ UYGULAMASI

Numunelerin sertliklerin ölçümü Şekil 5.8 'de gösterilen sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçme cihazı kullanımı numune üzerine dikey yerleştirilir. Darbe (vuruş) çubuğu, kilitleme noktasına kadar çekilir. Tetiğe basıldığında çubuk aşağı düşer. Bilya numune yüzeyine çarpar ve geri döner bu dönme sonucunda çubuğu en yüksek noktada kaldığı yer bize sertlik değerini verir.

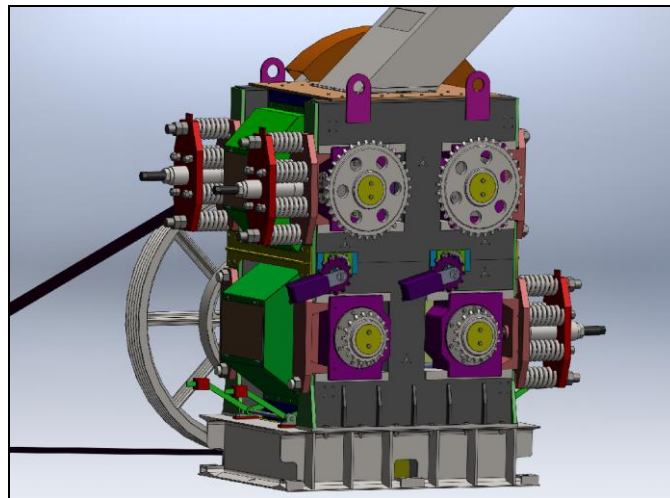


Şekil 5.8.Yerinde sertlik ölçüm cihazı.

Numunelerin sertliklerini doğru olarak ölçmek için test parçalarının yüzeyleri hassas şekilde fırçayla temizlendikten sonra taşlanmıştır. Böylece herhangi bir yanlışlığa düşme engellenmiştir. Her numuneden en az 3 farklı noktadan sertlik değeri ortalaması alınarak saptanmıştır. Sertlik ölçümü sayesinde her bir numunenin sertlikleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur.

5.3. ÇALIŞMA ÖMRÜNÜN İZLENMESİ

Sinter Fabrikasında bulunan mevcut kok kırma makinelerinde dökümü yapılan merdaneler gerekli ölçülere atölye şartlarında geldikten sonra kok kırma makinelerine montajı yapılmaktadır. Bu montaj sonrasında her bir merdanenin çalışma saatleri izlenerek ve çalışma ömür değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 5.9. Kok kırma makinesi.

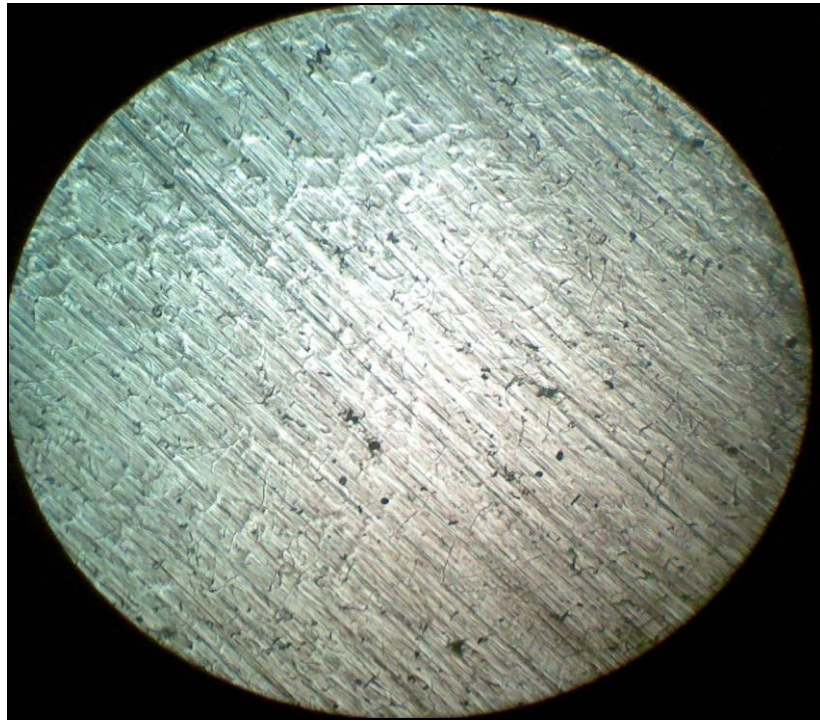
Yapılan denemelerin mevcut çalışma ortamında yapılması bizi daha sağlıklı bir sonuca götürmüştür. Mevcut ortamı kısaca anlatacak olursak; Kok kırma makinesi 90 kW gücünde 1000 devir/dakika motorla ile çalışmaktadır.

Motordan alınan güç kayış kasnak yardımıyla merdanelerin dönmesini sağlamaktadır. Her bir kok kırma makinesi üzerinde bunkerleri olarak tabir ettiğimiz kok siloları bulunmaktadır. Bunkerlerdeki ceviz koklar besleyici bantlar vasıtasıyla kok kırma makinelerine alınır. Alınan bu ceviz koklar dönen merdaneler arasında geçirilerek kok tozları haline gelmiş olur. Bu kırma işlemi sonucunda 0-3 mm arası kok kırma boyutu toplam kırma miktarının % 80 sağlaması gerekmektedir.

BÖLÜM 6

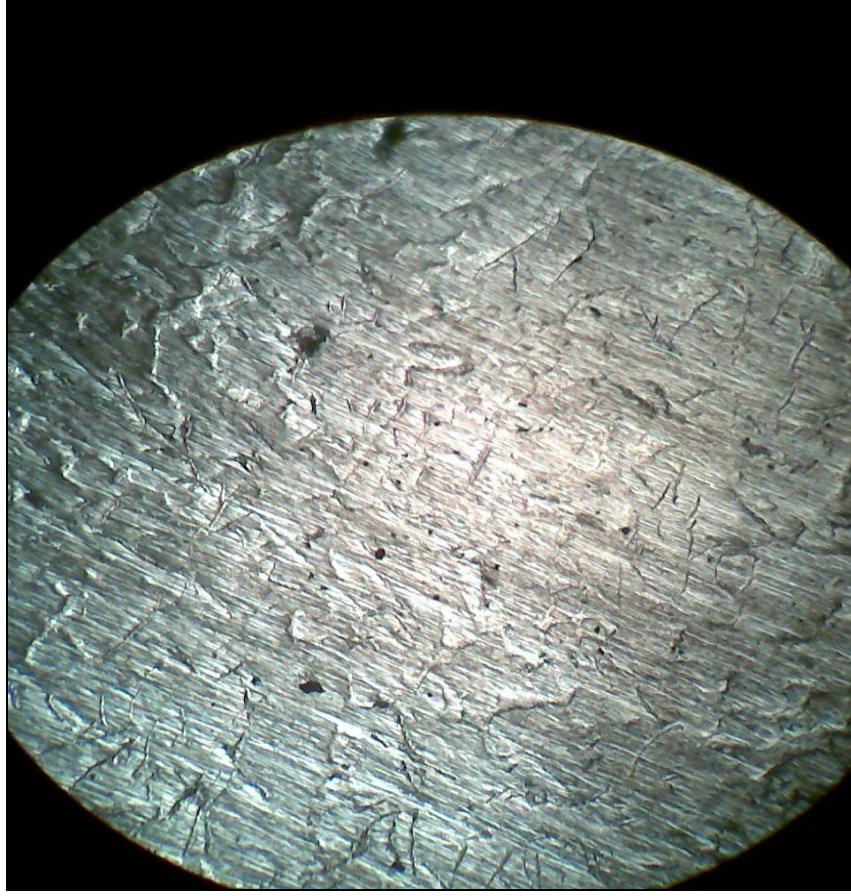
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1 NUMUNELERİN MİKRO YAPISI VE SONUÇLAR



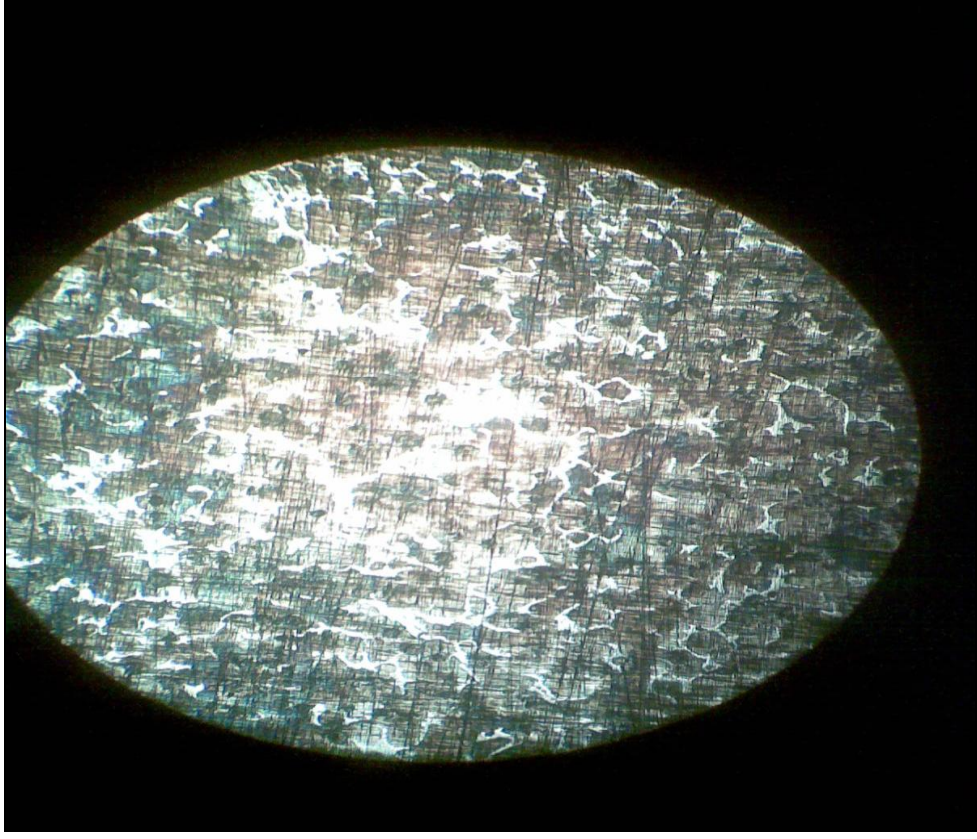
Şekil 6.1. Döküm(DKM1) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem Şekil 6.1 ' de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1370 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma sıcaklığı 24 saattir. Dökümün mikro yapısı lamel grafitli dökme demir olduğu mevcut lamellerden görülmektedir. Bu mikro yapıya ait olan merdanenin kenarlarında 520 saat çalışmadan sonra kırılmalar görüldü. Bu kırılmaların % C ve % Cr oranından kaynaklanacağını düşünerek karbon ile krom yüzdeleri düşürüldü ve malzeme içyapısında yüksek tokluk ve dayanım sağlaması için % Cu yüzdeleri artırılarak yeni döküm merdanesi yapılmasına karar verildi.



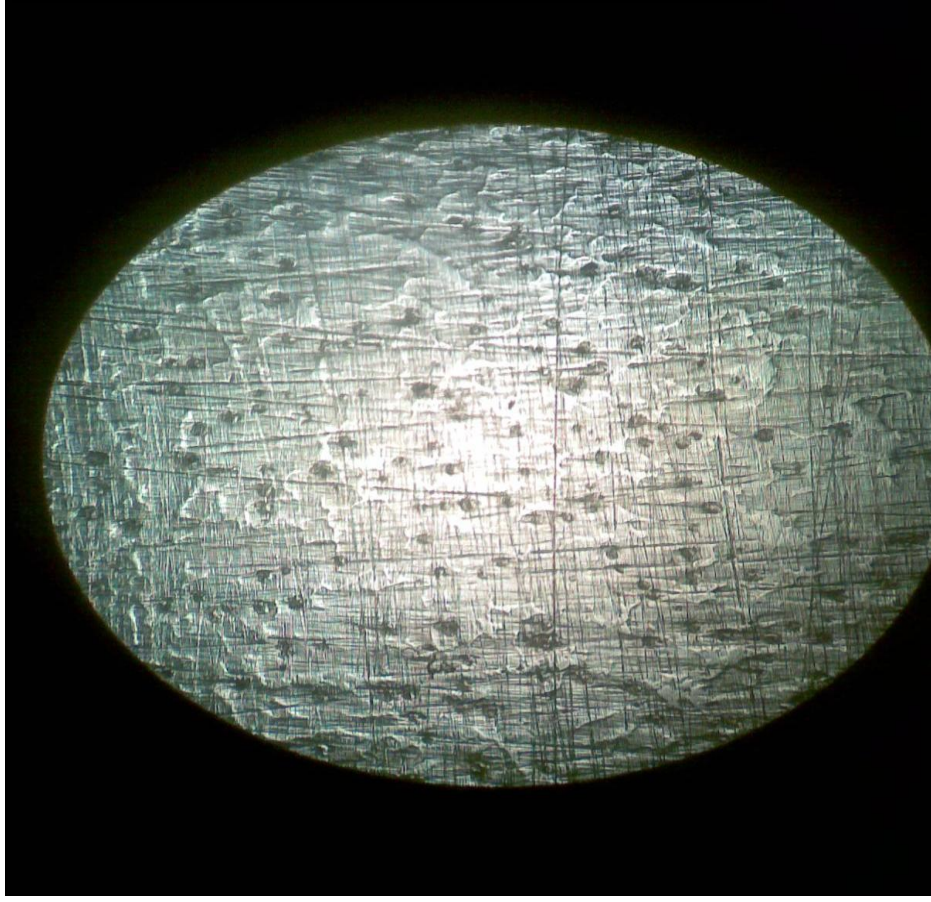
Şekil 6.2.Döküm (DKM2) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem Şekil 6.2 'de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1370 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma zamanı 23 saattir. Dökümün mikro yapısından lamel grafitli dökme demir olduğu mevcut lamellerden görüldü ve sertliğin çok düşük olduğu ve aşınmanın fazla olduğu kenar çatlaklarının 482 saat sonra tespit edilmiştir. Sonuç olarak mikro yapıdaki değişikliklerin kenarlardaki çatlakların çözümü olmadığı sebebiyle parçanın geometrisi değiştirilerek bu bölgelere ekstra kalınlık verilerek darbeye karşı dayanımı arttırılacağına karar verildi. %Cr oranının arttırılması yüzey sertliğinin malzeme iç yapısına kadar yayacağını düşünerek arttırılması kararı verildi. % Si oranı arttırarak mevcut grafitleşmeyi arttırmak ve çil oluşumunu azaltacağı düşünülmektedir.



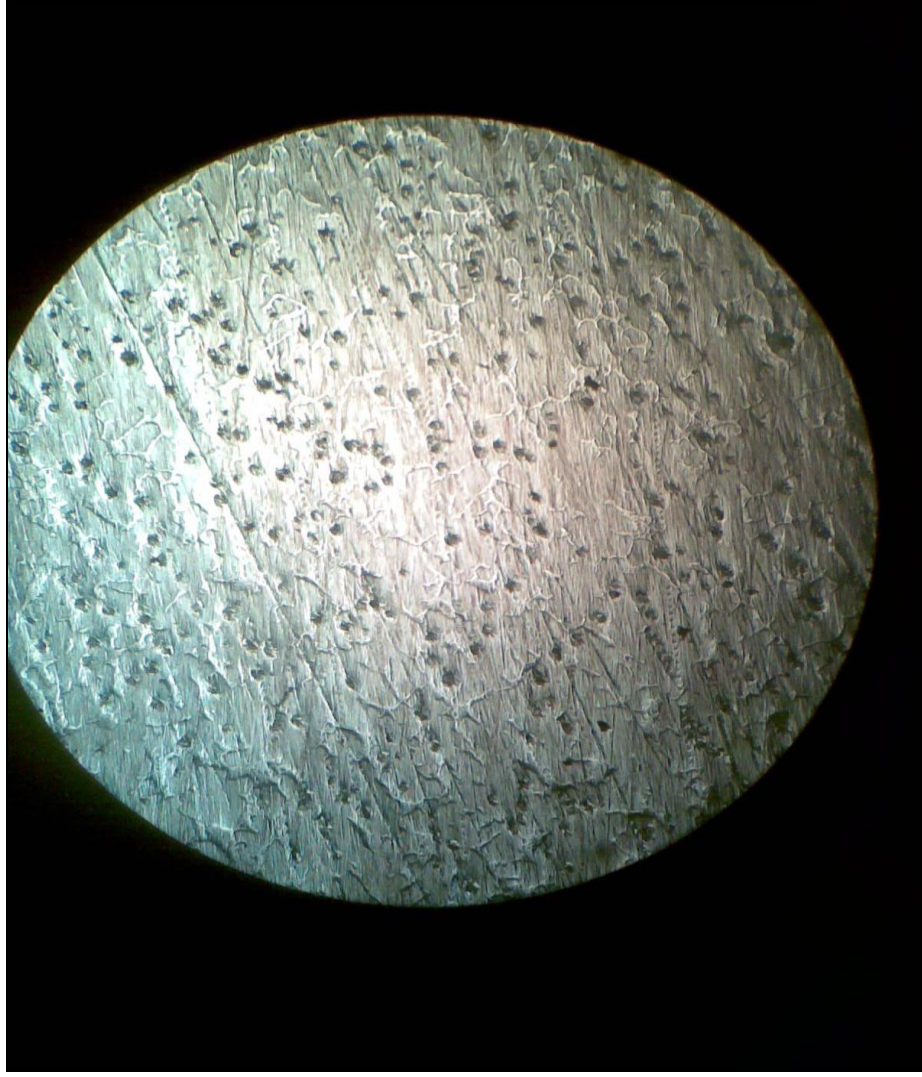
Şekil 6.3. Döküm (DKM3) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem Şekil 6.3 'de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1450 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma zamanı 24 saattir. Dökümün mikro yapısında hücreler arası grafit lamelcikleri görülmektedir. Merdanede çalışma süresi boyunca kenar çatlakları görülmedi. Bu mikro yapıya ait olan merdanede 1500 saat sonra aşınmalar tespit edildi. Aşınmanın önüne geçmek için daha iyi karbür yapısına sahip olunması gereğini tespit edilmiştir. % Mg , % Mo ve % Mn oranları artırılarak karbür tabakası ve daha iyi küresel grafit elde edileceği düşünüldü.



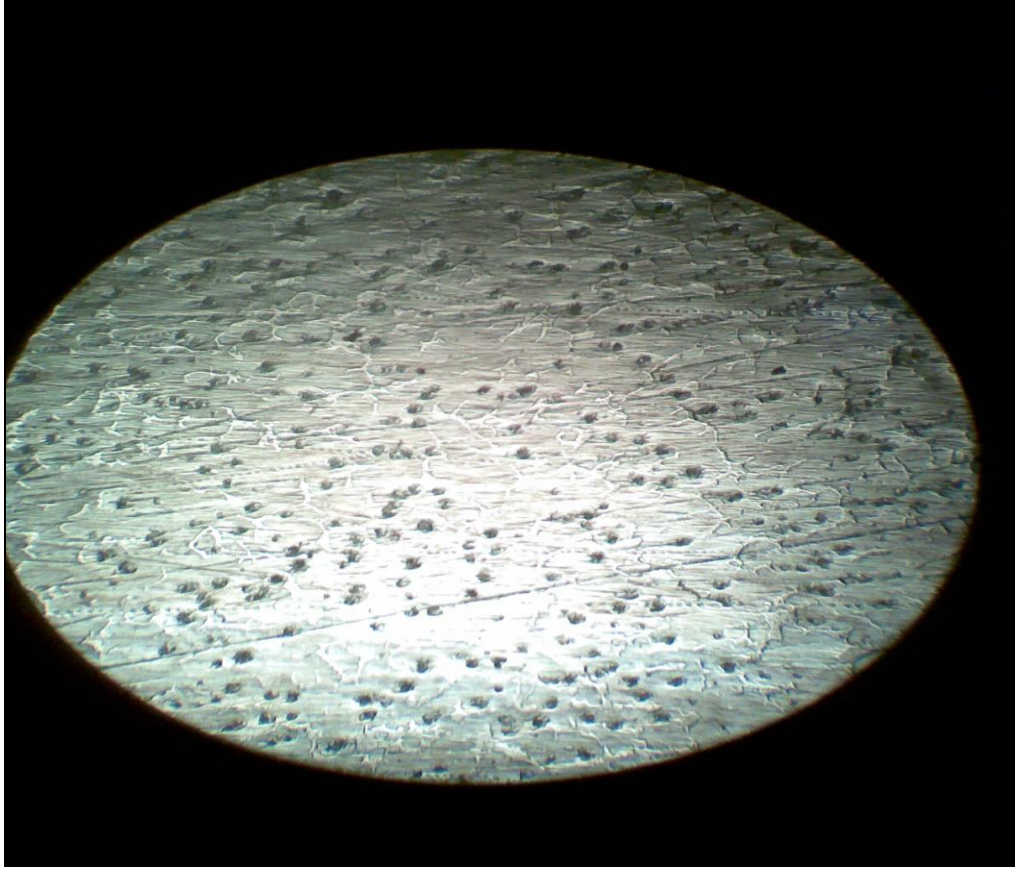
Şekil 6.4. Döküm (DKM4) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem Şekil 6.4’ de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1435 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma zamanı 23 saattir. Dökümün mikro yapısında küresel grafit tanecikleri daha net bir şekilde görülmektedir. Bu mikro yapıya ait olan merdanede 3000 saat sonra aşınmalar tespit edildi. Aşınmanın süresini arttırmak için küresel grafit sayısını arttırmak ve karbür yapısını oluşturmak olduğu bir önceki dökümden tesbit edildi. Karbür yapısının yüzey sertliğini etkilediğini tespit edilmiştir. % Mg , % Mo ile % Mn oranları arttırılarak karbür tabakası ve daha iyi küresel grafit elde edileceği düşünüldü.



Şekil 6.5. Döküm(DKM5) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem şekil 6.5 'de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1435 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma zamanı 23 saattir. Dökümün mikro yapısında küresel grafit tanecikleri daha net bir şekilde görülmektedir. Bu mikro yapıya ait olan merdanede 2000 saat sonra erken aşınmalar tespit edildi. Bir sonraki döküm için bu dökümde % Mg , % Mo ile % Mn oranları artırılması aşınmada olumsuz etki tespit edildi, bir önceki döküm numunesi analiz değerine göre bağlayıcı olarak % Si oranının artırılması döküm için daha uygun olacağı tespit edildi.



Şekil 6.6. Döküm(DKM6) mikro yapı şekli.

Yapılan metalografik incelemede metal mikroskobu kullanılarak yapılan gözlem Şekil 6.6' de görülmektedir. Kum kalıpta yapılan döküm işlemi 1435 °C döküm sıcaklığında soğutulmaya bırakılmış ve kalıp bozulma zamanı 23 saattir. Dökümün mikro yapısında küresel grafit tanecikleri daha net bir şekilde görülmektedir. Bu mikro yapıya ait olan merdanede 6000 saat sonra aşınma görüldü.

6.2. NUMUNELERİN SERTLİK DEĞERİ



Şekil 6.7. Dökümler için alınan sertlik noktaları.

Dökümü yapılan 6 adet merdane Şekil .6.7 'de görüldüğü gibi sertlik alma noktaları belirlendi ve sertlik ölçümleri alındı.



Şekil 6.8. Merdane sertlik ölçüm resmi.

Şekil 6.8 'de merdane yüzeyinden sertlik ölçme işlemi sırasında çekilen resim görülmektedir.



Şekil 6. 9.Merdane sertlik ölçüm resmi.

Şekil 6.9 'de merdane yüzeyinden sertlik ölçme işlemi sırasında çekilen başka bir resim görülmektedir.

Çizelge 6.1. Döküm(DKM1) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 1	A	B	C
HB	243	243	243
1	243	243	244
2	243	243	243
3	244	243	243

DKM 1 Merdanesinin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri çizelge 6.1 'de görülmektedir. 243-244 HB arasında sertlik değişmektedir.

Çizelge 6.2. Döküm(DKM2) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 2	A	B	C
HB	169	169	169
1	168	168	169
2	169	169	169
3	168	169	169

DKM 2 Merdanesinin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri şekil 6.2 'de görülmektedir. 168-169 HB arasında sertlik değişmektedir.

Çizelge 6.3. Döküm (DKM3) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 3	A	B	C
HB	265	265	266
1	265	266	265
2	266	266	265
3	266	265	266

DKM 3 Merdanesinin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri çizelge 6.3' de görülmektedir. 265-266 HB arasında sertlik değişmektedir.

Çizelge 6.4. Döküm (DKM4) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 4	A	B	C
HB	323	323	323
1	323	322	323
2	323	323	323
3	323	323	323

DKM 4 Merdanesinin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri çizelge 6.4 'de görülmektedir. 323-322 HB arasında sertlik değişmektedir

Çizelge 6.5. Döküm(DKM5) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 5	A	B	C
HB	316	315	315
1	315	315	315
2	315	316	315
3	315	315	315

DKM 5 Merdanesinin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri çizelge 6.5 'de görülmektedir. 315-316 HB arasında sertlik değişmektedir.

Çizelge 6.6. Döküm(DKM6) merdanesi yüzey sertliği.

DKM 6	A	B	C
HB	330	330	330
1	329	330	330
2	330	330	330
3	330	330	330

DKM 6 Merdanelerin 3 ayrı noktadan alınan sertlik değerleri çizelge 6.6 ‘de görülmektedir. 329-330 HB arasında sertlik değişmektedir.

6.3. MERDANELERİN ÇALIŞMA SAATLERİ

Her bir merdanenin çalışma saati Kok kırma makinesindeki kırılan kok tozu boyutuna göre çalışma saatleri belirlenmiştir. Kok makinesinde kırılan kok tozlar belli oranda alınarak kalite kontrol laboratuvarına gönderildi. Laboratuvarında şekil 6.10 ‘da görülen cihazda kurutulduktan sonra eleme cihazına konularak bir personel tarafından eleme işlemi yapıldı. Bu yapılan eleme sonuçlarına göre kok kırma oranları belirlenmiştir. Numune kok tozları en az % 80 oranında 0-3mm boyutu sağlayamaması durumunda kırıcı çalışma ömrünü tamamlamış olarak kabul edildi.

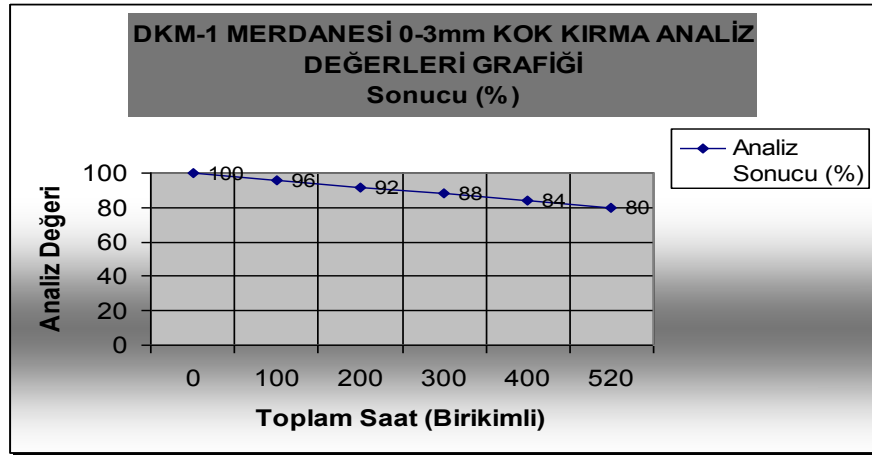


Şekil 6.10. Kurutma makinesi.



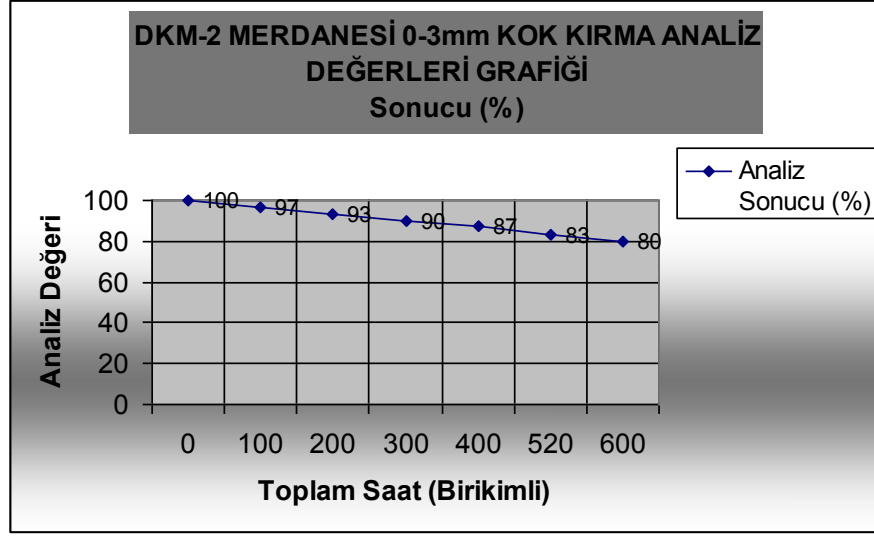
Şekil 6.11. Eleme cihazı.

Kok tozlarının eleme işlemi Şekil 6.11 'de görülen eleme cihazında yapılmaktadır. Her merdanenin kok kırma boyutunu ölçümü aynı şekilde yapılmıştır. Doğru kırma verimini bulmak için kok tozu numuneleri günde 3 defa alınarak günlük ortalamalara göre kırma boyutu belirlenmiştir.



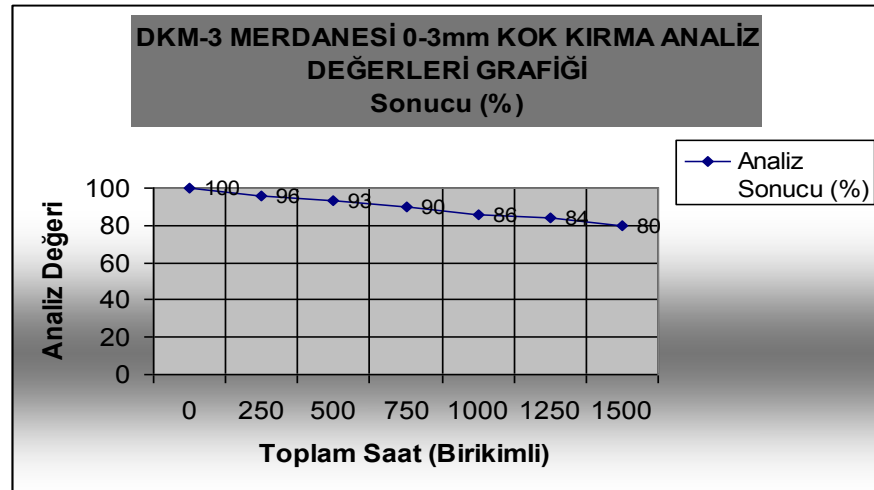
Şekil 6.12. Döküm(DKM1) merdanesi çalışma saati.

DKM 1 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 520 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok tozu boyutu sağlayamamıştır. Merdanenin dış gömleği kırılmış olması büyük etken olarak göze çarpmıştır.



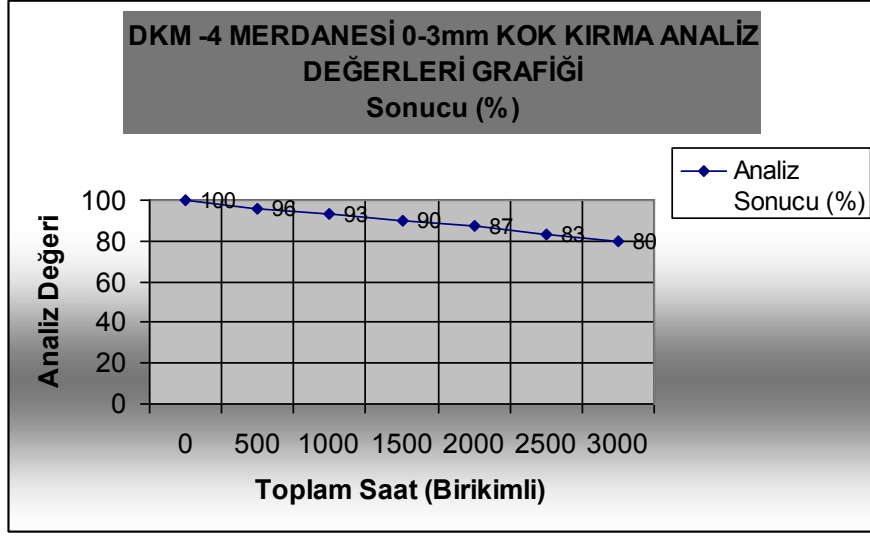
Şekil 6.13. Döküm(DKM2) merdanesi çalışma saati.

DKM 2 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 600 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok boyutu sağlayamamıştır. Merdanenin dış gömleğinde kırılmalar gözlenmiştir. Bu kırılmalar sonucunda kok tozları kırılmadan buradan kaçtığı gözlenmiştir.



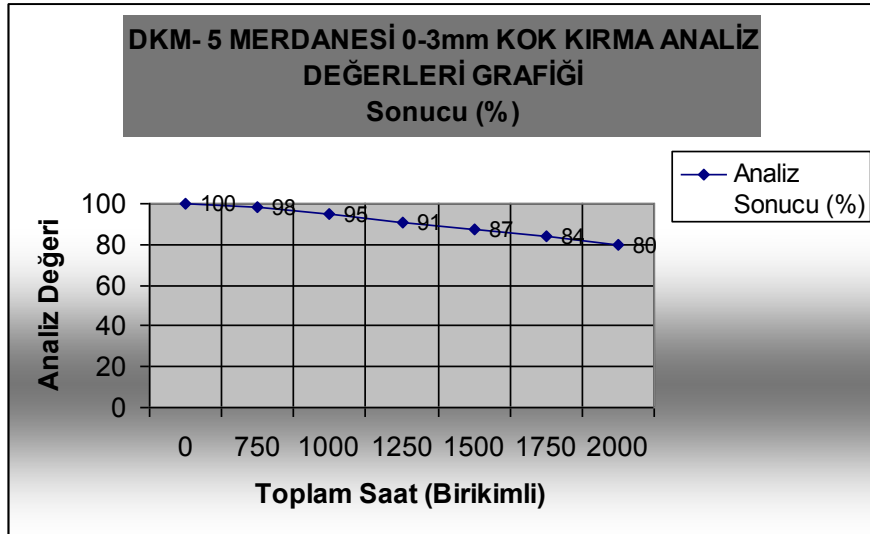
Şekil 6.14. Döküm(DKM3) merdanesi çalışma saati.

DKM 3 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 1500 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok boyutu sağlayamamıştır. Merdanenin dış gömleğinde kırılmalar gözlenmemiştir.



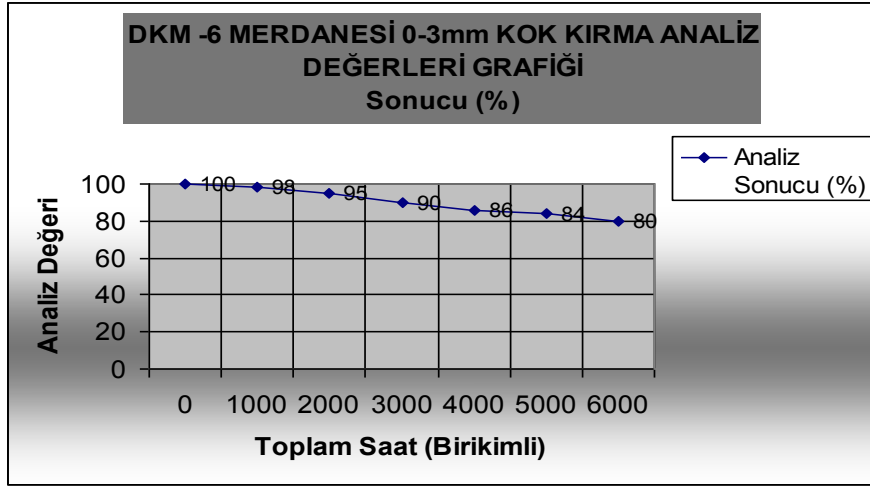
Şekil 6.15. Döküm (DKM4) merdanesi çalışma saati.

DKM 4 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 3000 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok boyutu sağlayamamıştır.



Şekil 6.16. Döküm(DKM5) merdanesi çalışma saati.

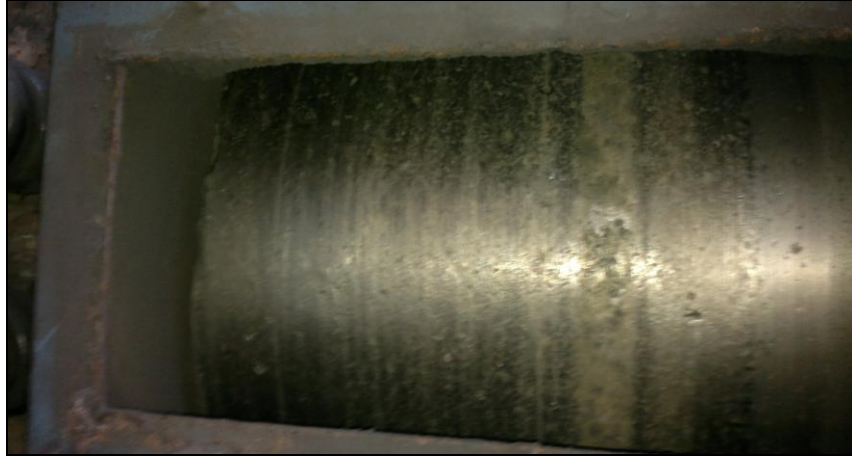
DKM 5 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 2000 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok boyutu sağlayamamıştır.



Şekil 6.17. Döküm(DKM6) merdanesi çalışma saati.

DKM 6 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başladıktan; 6000 saat sonra en az % 80 (0-3) mm kok boyutu sağlayamamıştır. Bu çalışma maksimum çalışma saati görülmüştür.

6.4. MERDANELERİN ÇALIŞMA SONRASI AŞINMA KAYIPLARININ İNCELENMESİ



Şekil 6.18. Döküm(DKM1) merdanesi aşınma resmi

DKM 1 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2109,26 kg gelmektedir. Merdane köşe kırılmalarının sonucunda yerinden sökülmiş ve 2060,74 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.19. Döküm(DKM2) merdanesi aşınma resmi.

DKM 2 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2112,36 kg gelmektedir. Merdane köşe kırılmalarının sonucunda yerinden sökülmüş ve 2048,74 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.20. Döküm(DKM3) merdanesi aşınma resmi.

DKM 3 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2350,76 kg gelmektedir. Merdane (0-3) mm kok kırılması sonucunda yerinden sökülmüş ve 2314,79 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.21. Döküm(DKM4) merdanesi aşınma resmi.

DKM 4 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2350,52 kg gelmektedir ve Merdane (0-3) mm kok kırmaması sonucunda yerinden sökülüş 2328,61 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir



Şekil 6.22. Döküm(DKM5) merdanesi aşınma resmi.

DKM 5 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2351,72 kg gelmektedir. Merdane (0-3) mm kok kırmaması sonucunda yerinden sökülüş ve 2314,45 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.23. Döküm(DKM6) merdanesi aşınma resmi.

DKM 6 Dökümünden yapılan merdane çalışmaya başlamadan önce 2358,50 kg gelmektedir. Merdane (0-3) mm kok kırmaması sonucunda yerinden sökülmüş ve 2322,74 kg ağırlığında olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kardemir A.Ş Sinter Tesisinde bulunan; kok kırıcılarında kullanılan sert dolgu kaynaklı merdaneler yerine küresel grafitli merdaneler denenmiştir. Küresel grafitli merdaneye yönelmemizdeki etkenler düşük maliyetli olması, mikro yapısında kırılma eğilimine sebebiyet verici malzemenin olmaması bu bizim için en büyük etkendi çünkü kok kırıcı merdanelerinin darbeli olarak çalıştığını düşünecek olursak kırılma etkenini en aza indirmek önemliydi. Grafitin yapıda olması, işlenebilme kabiliyetinin yüksek olması mekanik dayanımının iyi olması küresel grafitli merdaneye yönelmiştir. Dökümlerimiz Kardemir A.Ş bağlı olan diğer bir şirket Kardökmak 'ın imkânları çerçevesinde yaptırılmıştır. Sert dolgulu merdanelerle çalışan kok kırıcıları maksimum 800 saat çalışma gösterirken sfero dökümle yapılan iyileştirmeler sonucunda küresel grafitli merdane ile çalışan kok kırıcıları 6000 saat çalışma saati görülmüştür. Lamel grafitli dökme demirin dayanım olarak kok merdanelerinde yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Küresel grafitli merdane dayanımının yapılan dökümler sonucunda sertlikle ve küreselliğin iyi olmasıyla doğru orantılı bir şekilde arttığını tespit edilmiştir. Ekonomik olarak Kardemir A.Ş. 'ye katkı sağlamıştır.

7.2. ÖNERİLER

Özellikle 0-3 mm kok boyutu istenilen tesislerinde kok kırıcı makinelerindeki merdanelerin küresel grafitli olması; daha az maliyetli ve tesisinin daha verimli çalışmasını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Kalaycıođlu, O., ‘‘Kardemir’de ray üretiminde iyileştirmeler’’Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya,1-8 (2006).
2. İnternet: Karabük Demir Çelik Fabrikası (Kardemir) , ‘‘Kardemir Kuruluşu’’, <http://www.kardemir.com/frmKurum.aspx?id=1&SectionID=kurum> (2012).
3. Bağ, R.,’’Sinter tesisleri genel bilgi’’, *Kardemir Sinter Yatırımı Sempozyumu*, Karabük, 3-15 (2010)
4. Kurt, M., ‘‘Makina Elemanları 1’’*Birsen Yayınevi*, İstanbul, 30-50 (1990).
5. Budinski, K.G., ‘‘Surface Engineering for Wear Resistance’’, *Prentice Hall*, German , 8-45 (1988).
6. Bhushan, B. and Gupta, K.B.,’’ Handbook of Tribology Materials, Coatings and Surface Treatments’’, *Krieger Pub Co*, USA, 77-102 (1991).
7. İnternet: Thermal Spray Coatings Industry, ‘‘Wear Resistant’’, <http://www.gordonengland.co.uk/wear.htm> (2012).
8. İnternet: Surface Engineering , ‘‘Abrasive Wear Test ASTM G65’’, <http://www.extremecoating.com/weardata.html> (2012).
9. İnternet: Abrasion Resistant Steel ‘‘The Aggregate report’’, http://www.wagesterlease.com/aboutus/Aggregate_f2003.pdf (2012).
10. Arnell, R.D., Davies, P.B., Halling, J., and Whomes, T.L., ‘‘Tribology Principles and Design Applications’’*Principles of Tribology*, New York, 68-70 (1991).
11. Hutchings, I.M.,’’ Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials’’, *Butterworth-Hienemann*, USA, 112-118 (1999).
12. İnternet: Concrete Sealer and Blanket, ‘‘Spalling Damage’’, <http://www.concretesealerandblanket.org/concrete-spalling/spalling.php> (2012).
13. İnternet: Dynaroll, ‘‘Brinelling Damage’’, <http://www.dynaroll.com/excessive-force.asp> (2012).
14. Döngel, A., ‘‘Bortemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin yüksek sıcaklık aşınma davranışının incelenmesi’’, Yüksek lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 19-21 (2008).

15. Akray, S., “Küresel grafitli dökme demire uygulanan yüzey işlemlerinin aşınma direncine karşı incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 20-35(2007).
16. Şen, U., “Küresel grafitli dökme demirlerin bor kaplanması ve kaplama özellikleri”, Doktora tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 40-80 (1997).
17. Çavusoglu, E.N., “Döküm Teknolojisi I”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 372 (1992).
18. İzgiz, S., ”Küresel Grafitli Dökme Demir”, *Segem Yayını* , Ankara, 8-35 (1986).
19. Kırçalı, K., “Farklı matris yapılarına sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 21-36 (2006).
20. Yavuz, K., “GGG 70 sınıfı küresel grafitli dökme demir kam millerinin işlenebilirliği deneysel olarak incelenmesi”Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-40 (2006).
21. Toprak, H., “Borlanmış ve PVD yöntemiyle TiN kaplanmış KGDD kam milleri ile kaplanmaz ve sertleştirilmiş çelik dövme kam millerinin çalışma performanslarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-17 (2002).
22. Özel, A., “GGG 40-80 sınıfı küresel grafitli dökme demirde ısıl işlemin darbe direnci ve darbe geçiş sıcaklığına etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 89-124 (1994).
23. TS 526, “Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-9 (1997).
24. Toktas G., Toktas A., “Küresel grafitli dökme demirin (KGDD) krank mili malzemesi olarak incelenmesi”, Metal Dünyası Dergisi, *Prestij Yayıncılık*, İstanbul, 5-13 (2005).
25. Cevher, Ö., “Dökme Demirlerde Sert Faz Oluşumunun Önlenmesi ve giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 16-80 (2006).
26. Çavusoglu, E.N., “Döküm Teknolojisi I”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 283-372 (1992).
27. İzgiz, S., “Küresel Grafitli Dökme Demir”, *SEGEM Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Yayınları*, Ankara, 2-25 (1988).

28. Gül, F., “Küresel grafitli dökme demirde malzeme ve proses parametrelerinin küre dağılımına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-120 (1989).
29. Sümer, A., “Demir Döküm”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul , 20-40 (1981).
30. Ferizoğlu, M.T., “Küresel grafitli dökme demirde kaliteye etki eden bazı parametreler” *Metalurji Dergisi*, 75: 53-56 (1988).
31. Aras, N., “Küresel Grafitli Demir Dökümü”, *Makine Mühendisleri Odası Yayını*, 45 : 28-39 (1970).

ÖZGEÇMİŞ

Aziz ÖZER 1984 yılında Karabük/merkez 'de doğdu. İlk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. Lise eğitimini Demir Çelik Lisesinde 2002 yılında tamamladıktan sonra Atatürk üniversitesi mühendislik fakültesi makine mühendisliği bölümüne başladı. 2006 yılında mühendislik fakültesini bitirdi. 2006-2007 yılları arasında Erzurum'da özel bir şirkette sıhhi tesisat ve doğalgaz işleri yaptı. 2008 yılında askerlik görevini yaptıktan sonra Kardemir'e başladı. Kardemir'de makine bakım mühendisi olarak şuan görev yapmaktadır ve Karabük üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrencisidir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yeni şehir Mah.
Ergenekon cad. 26/5
Karabük /Merkez
E-posta : aziz_ozar@hotmail.com