



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ÜRETİMİNDE
METALURJİK SİLİSYUM KARBÜR VE FERRO SİLİSYUM
KATKILARININ MALZEME ÜZERİNDEKİ MEKANİK,
METALURJİK VE EKONOMİK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurettin Burak ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nurettin Burak ŞEN tarafından hazırlanan ‘‘Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Üretiminde Metalurjik Silisyum Karbür Ve Ferro Silisyum Katkılarının Malzeme Üzerindeki Mekanik, Metalurjik Ve Ekonomik Etkisinin Araştırılması’’ adlı tez çalışması 01.08.2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi. Mevlüt TÜRKÖZ

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi. Hakan Burak KARADAĞ

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Nurettin Burak ŞEN
Tarih: 17.08.2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LAMEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN ÜRETİMİNDE METALURJİK SİLİSYUM KARBÜR VE FERRO SİLİSYUM KATKILARININ MALZEME ÜZERİNDEKİ MEKANİK, METALURJİK VE EKONOMİK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurettin Burak ŞEN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2018, 73 Sayfa

Jüri

Prof.Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr.Öğr. Üyesi. Mevlüt TÜRKÖZ
Dr.Öğr. Üyesi. Hakan Burak KARADAĞ

Bu çalışmada Fe-Si ve Met-SiC gibi iki farklı değişkenin lamel grafitli dökme demir üretiminde kullanılması ile malzemelerin mekanik, metalürjik özelliklerinde ne gibi değişiklikler meydana getirebileceği araştırılmıştır. Bu iki parametre kullanılarak hazırlanan numunelerin deneysel çalışmaları yapılarak, lamel grafitli dökme demir üretiminde hangi parametrenin diğerine göre malzemenin özellikleri (mekanik , metalürjik ve ekonomik) açısından daha avantajlı olacağını sonuçlarına ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ferro- Silisyum, Gri Dökme Demirler, Karbon, Kütle ve Enerji Bilançosu, M-SiC (metalürjik silisyum karbür), Pik Demir

ABSTRACT

MASTER THESIS

THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL, METALLURGICAL AND ECONOMIC EFFECT OF METALLURGICAL SILICIUM CARBURETE AND FERRO SILICON ADDITIVES ON THE MATERIALS OF PRODUCTION OF LAMEL GRAPHITE CAST IRON

Nurettin Burak ŞEN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN

2018, 73 Pages

Jüri

**Prof.Dr. Hüseyin ARIKAN
Dr.Öğr. Üyesi. Mevlüt TÜRKÖZ
Dr.Öğr. Üyesi. Hakan Burak KARADAĞ**

In this study, it was investigated what changes in the mechanical and metallurgical properties of the materials could be brought about by using two different variables such as Fe-Si and Met-SiC in the production of lamellar graphite cast iron. Experimental studies of the specimens prepared by using these two parameters have been carried out and it has been found out that which parametres are more advantageous in terms of properties of materials (mechanical, metallurgical and economical) in production of lamel graphitic cast iron.

Keywords: Ferro-Silicon, Gray Cast Iron, Carbon, Mass and Energy Bilanosis, M-SiC (metallurgical silicon carbide), Pig Iron

ÖNSÖZ

Çalışmalarındaki değerli katkılarından dolayı, desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Hüseyin ARIKAN ve Dr. Öğr. Üyesi. Hakan Burak KARADAĞ' a, Tümosan Döküm Fabrikası personellerinden Rahman ERDOĞAN, Ahmet ARI, Bekir AKGÜL, Hasan KAYNAK' a teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans eğitimim süresince manevi desteğini esirgemeyen aileme göstermiş olduğu özveri ve sabrı için biricik eşim Neriman ŞEN hanımefendiye ve yakışıklı oğlum Erdem Kaan ŞEN'e sonsuz teşekkür ederim.

Nurettin Burak ŞEN

KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	ii
TEZ BİLDİRİMİ.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. DÖKME DEMİRLER.....	3
3.1. Dökme Demirin Çeşitleri	5
3.1.1. Lamel Grafitli Dökme Demir.....	6
3.1.1.1. A Tipi Gri Dökme Demir	6
3.1.1.2. B Tipi Gri Dökme Demir	7
3.1.1.3. C Tipi Gri Dökme Demir	8
3.1.1.4. D Tipi Gri Dökme Demir	8
3.1.1.5. E Tipi Gri Dökme Demir.....	9
3.2. Gri Dökme Demir Yapısında Bulunan Fazlar	9
3.2.1. Grafit.....	10
3.2.2. Ferrit	10
3.2.3. Ostenit.....	10
3.2.4. Perlit	11

3.2.5. Sementit	11
3.2.6. Steadit	11
3.3. Dökme Demirde Katılma	11
3.3.1. Karbon Eşdeğeri (CE), Doymuşluk Derecesi (Sc), Sıvılaştırma Eşdeğeri .12	
3.3.2. Demir – Karbon – Silisyum Alaşımının Katılması.....	13
3.3.3. Lamel Grafitli Dökme Demirlere Eser Elementlerinin Etkisi	15
3.4. Dökme Demirlerde Aşılama.....	18
3.5. Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi	19
3.5.1. Aşırı Isınma.....	20
3.5.2. Çil Kontrolü	20
3.6. Gri Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri.....	21
3.7. MetSiC ve Üretimi.....	22
3.7.1. MetSiC'ün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri.....	23
3.7.2. Metalurjik SiC Uygulamaları.....	24
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
4.1. Döküm Kumunun Hazırlanması.....	26
4.2. Otomatik Kalıplama Hattında Modelin Preslenmesi.....	31
4.3. Ergitme Ocaklarında Sıvı Metalin Hazırlanması.....	33
4.3.1. Met- SiC ile Sıvı Metalin Hazırlanışı.....	33
4.3.2. Fe-Si ile Sıvı Metalin Hazırlanışı.....	35
4.3.3. Kuşlama, Taşlama ve Boyama İşlemi.....	36
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	37
4.4.1. Çekme Testi Numunelerinin Hazırlanması.....	39
4.4.2. Darbe Testi Numunelerinin Hazırlanması.....	42
4.4.3. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması.....	43
4.4.4. Brinell Sertlik Deneyi.....	44

4.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi.....	45
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	46
5.1. Kimyasal Analiz İncelenmesi.....	46
5.2. Mikroyapıların Değerlendirilmesi	46
5.3. Sertlik Sonuçları	50
5.4. Çekme Deneyi Sonuçları.....	51
5.4.1. Kırılma Yüzeyi SEM Görüntülerinin Yorumlanması	53
5.5. Darbe Deneyi Sonuçları	55
5.6. Maliyet Analizi	56
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
6.1. Sonuçlar.....	58
6.2 Öneriler	58
KAYNAKLAR	59

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ	: Gerilme
E	: Elastisite Modülü
V	: Hacimsel Oran
ε	: Şekil Değişirme
A	: Kesit Alanı
L	: Boy
α	: Ferrit
γ	: Östenit
P_{max}	: Maksimum Yük
U	: Rezilyans
J	: Joule

Kısaltmalar

TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: American Society for Testing and Materials
EN	: European Norm
ISO	: International Organization for Standardization
SEM	: Scanning Electron Microscope
Cu	: Bakır
Si	: Silisyum
C	: Karbon
CM	: Sementit
Mn	: Mangan
Cr	: Krom
Ni	: Nikel
P	: Fosfat
S	: Kükürt
Ce	: Seryum
D.D.	: Dökme Demir
ASF	: Auto Sprüh Folie
Ti	: Titanyum
Mo	: Molibden
CE	: Karbon Eşdeğeri
M-SiC	: Metalürjik Silisyum Karbür
HNO₃	: Nitrik Asit
CH₃OH	: Metanol

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Fe-C Denge Diyagramı [3].....	3
Şekil.3.2. Değişik Tipteki Dökme Demirlerde Karbon ve Silisyum Miktarları.....	5
Şekil 3.3. Gri Dökme Demirde Standart Lamel Boyutlarının Gösterilişi [5].....	6
Şekil 3.4. ASTM' ye göre A-tipi grafit şekli [5].....	7
Şekil 3.5. ASTM' ye göre B-tipi grafit şekli [5].....	7
Şekil 3.6. ASTM' ye göre C-tipi grafit şekli [5].....	8
Şekil 3.7. ASTM' ye göre D-tipi grafit şekli [5].....	9
Şekil 3.8. ASTM'ye göre E- tipi grafit şekli [5].....	9
Şekil 3.9. Artan silisyum miktarıyla Fe-C diyagramının değerlerinin değişimi.....	14
Şekil 3.10. Üç Tip Çil Derinliği Kontrol Örneği	20
Şekil 3.11. Çil derinliği ile Karbon ekivalant arasındaki ilişki.....	21
Şekil 3.12. Metalurjik Silisyum Karbür	22
Şekil 3.13. Metalurjik Silisyum Karbür Üretim Proses Şeması.....	23
Şekil 3.14. SiC 'ün Kristal Yapısı.....	25
Şekil 4.1. Kum mikseri.....	27
Şekil 4.2. (a) Sıkıştırma test cihazı, (b) Nem ölçme cihazı	29
Şekil 4.3. (a) Islak çekme test cihazı, (b) Gaz geçirgenliği ölçme test cihazı	30
Şekil 4.4. Tümosan döküm fabrikası kum laboratuvarı	30
Şekil 4.5. (a) Alt ve üst derecenin birleşmesi, (b) Üst derecenin 180° dönmesi, (c) brülör yardımı ile derecelerin ısıtılması	31
Şekil 4.6 (a) Kalıplama hattı, (b)Döküme hazırlık (c) Döküm anı	32
Şekil 4.7. (a) Unrobot , (b) Havada soğumaya bırakılmış malzemeler.....	33
Şekil 4.8. Metalurjik Silisyum Karbür (Met-SiC).....	33
Şekil 4.9. Ergitme ocağına malzeme şarjı	35
Şekil 4.10. Ferro Silisyum (Fe-Si)	36
Şekil 4.11. (a) Kumlama İşlemi, (b) Taşlama işlemi, (c) Boyanan Malzeme	37
Şekil 4.12. Deney numunelerinin kalıbının hazırlanışı	38

Şekil 4.13. (a) Numune kalıpları, (b) Kumlanmış numune, (c) Kesme işlemi, (d) Tornalama	39
Şekil 4.14. Döküm çekme ve darbe numune ölçüleri	40
Şekil 4.15. Çekme numunesi kalıp ölçüleri.....	40
Şekil 4.16. TSE EN ISO 6892-1 çekme numunesi ölçüleri.....	41
Şekil 4.17. Çekme testi numunesinin torna tezgahında işlenmesi	41
Şekil 4.18. Darbe testi numunesinin CNC tezgahında işlenmesi.....	42
Şekil 4.19. TSE EN ISO 148-1 darbe numunesi ölçüleri	42
Şekil 4.20. Darbe Test Cihazı	43
Şekil 4.21. (a) Kesme cihazı, (b) Zımpara ve Parlatma Cihazı, (c) Metal Mikroskobu..	44
Şekil 4.22. Sertlik ölçüm noktalar	45
Şekil 5.1. Fe-Si numunlerine ait 100X büyütme mikroyapı görüntüleri.....	47
Şekil 5.2. Met- SiC numunelerine ait 100X büyütme mikroyapı görüntüleri	48
Şekil 5.3. 1 nolu Fe-Si numunesine ait dağlanmış mikroyapı görüntüsü.....	49
Şekil 5.4. 1 nolu Fe-Si numunesine ait dağlanmış 200X görüntüsü	49
Şekil 5.5. 1 nolu Met-SiC numunesine ait dağlanmış 200X görüntüsü	50
Şekil 5.6. Brinell sertlik sonuçları.....	50
Şekil 5.7. Çekme deneyi sonrası σ_{max} değerleri	51
Şekil 5.8. Fe-Si numunesine ait 200x SEM görüntüsü.....	53
Şekil 5.9. Met-SiC numunesine ait 200x SEM görüntüsü.....	53
Şekil 5.10. Met-SiC numunesine ait 100X SEM görüntüsü.....	54
Şekil 5.11. Fe-Si numunesine ait 100X SEM görüntüsü.....	54
Şekil 5.12. Kırılma Açısı Sonuçları	55
Şekil 5.13. Kırılma Enerjisi Sonuçları.....	56

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Ticari Aşıluyıcıların Kimyasal Kompozisyonu	19
Çizelge 3.2. Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri [8].....	21
Çizelge 3.3. Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri [9].....	21
Çizelge 3.4. MetSiC'ün kimyasal ve fiziksel yapısı [14].....	24
Çizelge 4.1. Mikser değerleri.....	27
Çizelge 4.2. Yaş kumun mekanik özellikleri (İLAVE ISLAK ÇEKME)	28
Çizelge 4.3. Tümosan Dt Ön Aks Mesnedi Kimyasal Kompozisyonu	34
Çizelge 4.4. Pik Analizi.....	34
Çizelge 4.5. Şarj miktarları ve içerdikleri oranlar.....	34
Çizelge 5.1. Fe-Si ile şarj edilmiş ocağın kimyasal analizi	46
Çizelge 5.2. Met- SiC ile şarj edilen ocağın kimyasal analizi	46
Çizelge 5.3. Numunelere ait σ_{max} ve ϵ değerleri.....	52
Çizelge 5.4. Şarj malzemelerinin fiyat tablosu	57

1. GİRİŞ

Dökme demir, %2.11 ile %6.67 arası karbon içeren demir-karbon alaşımlarına verdiğimiz genel bir isim. Bildiğiniz gibi çelikler de demirin karbonla alaşımlanması sonucunda elde ediliyor, fakat dökme demirden farklı olarak çelikler çok daha düşük miktarda karbon içeriyorlar (%2.11'den daha az). Dökme demirler her ne kadar demirin karbonla alaşımlanmasıyla elde ediliyor olsalar da, sanayide üretilen dökme demirlere baktığımızda, alaşım içinde karbona ek olarak mutlaka yaklaşık %1 ila %3 arasında silisyum olduğunu görüyoruz. Bu açıdan bakıldığında, sanayide üretilen dökme demirleri Fe-C-Si (demir, karbon ve silisyum) alaşımları olarak değerlendirmemizin daha doğru olacağını söyleyebiliriz. Karbon ve silisyuma ek olarak, dökme demirlerde sıklıkla gördüğümüz diğer elementler arasında mangani ve az miktarda da olsa fosfor ve kükürtü de gösterebiliriz. Dünya döküm üretiminin %70' ini dökme demir grubu oluşturmaktadır. Dökme demirler sahip oldukları birçok özellikleri nedeniyle kullanım alanları oldukça geniş bir alana sahiptir. Dökme demirlerin iyi bir mühendislik malzemesi oluşu ve üretim maliyetinin düşük olması bu malzemenin yüksek miktarda kullanılmasının en başta gelen nedenlerinden biridir. Dökme demirler çok geniş bir aralıkta değişen mukavemet, sertlik, işlenebilirlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve diğer özelliklere sahip olabilirler. Özet olarak dökme demir grubunun çok değişik mühendislik özellikleri sağlaması, bu malzemenin kullanış sahasının genişliğine devamlılığına neden olmaktadır.

Bu çalışmada;

Gri dökme demirlerin üretiminde kullanılan malzemelerden olan Ferro-silisyum yerine bir miktar karbon ilavesi ile birlikte M-SiC (metalürjik silisyum karbür) kullanılmasıyla ortaya çıkan maliyet ve kalite özellikleri araştırılmıştır.

SiC ve Fe-Si kullanılmasıyla;

- Ergitme ocağı içerisindeki refrakter özellik gösteren astar ömrünün durumu
- Ergitme ocağında katı haldeki malzemelerin sıvı metale dönüşüne kadar ki zaman farkı
- Dökülen malzemelerin iç yapısının kararlılığı,
- Malzemelerin mekanik açıdan göstermiş oldukları performanslar incelenecektir.

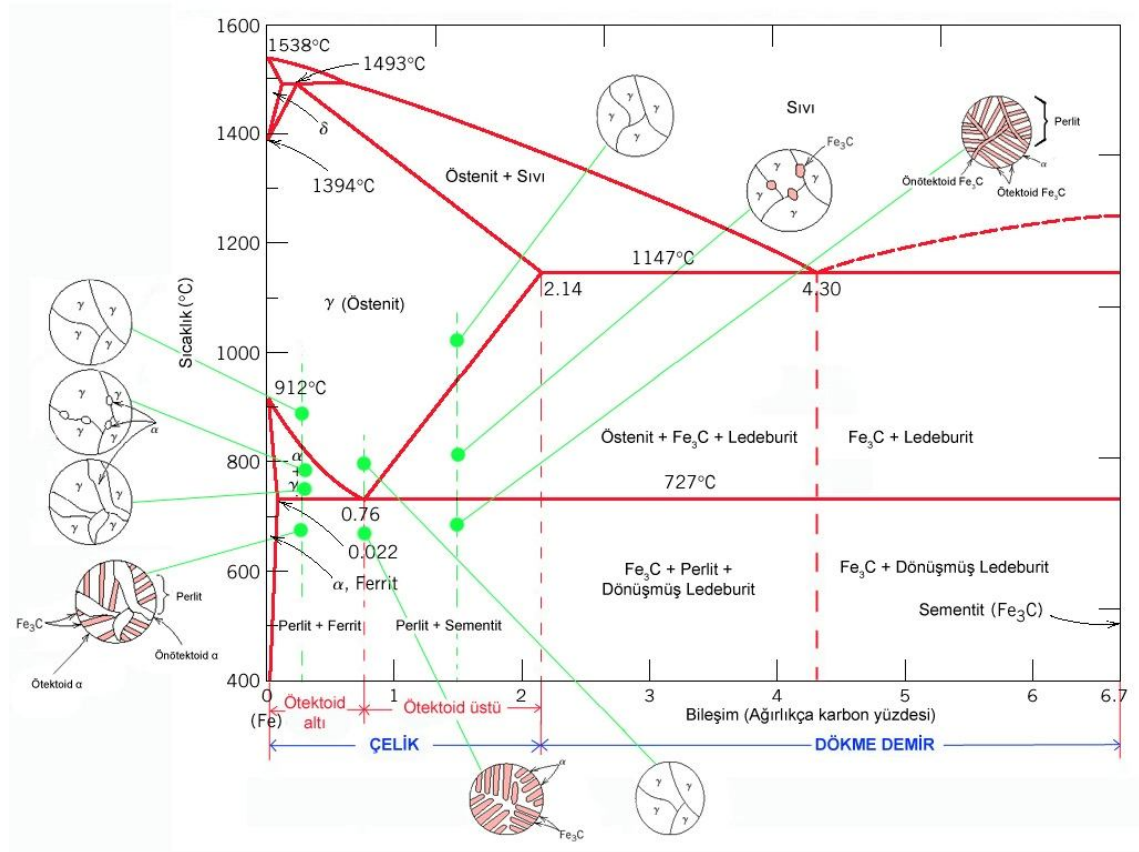
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ham demirin (pik) ergitme fırınlarında ergitilmesi ve bazı metalürjik işlemlerle değişiklik yapılması sonucu bir kalıp içine dökülmesine ve kalıp boşluğu şeklini alarak katılaşması ile meydana gelen malzemeye dökme demir denir [1]. Dökme demirler, çeliklere benzer demir-karbon alaşımı sınıfına girerler. Demir içinde %2'ye kadar C oranı var ise çelik olarak; % 2'den % 6,67'ye C içerdiğinde ise malzeme dökme demir olarak isimlendirilir. Ancak yüksek C oranı malzemeyi aşırı kırılgan yaptığı için dökme demirler % 4'e kadar C, % 3,5'e kadar Si içerirler. Dökme demirler döküm endüstrisinin en yüksek tonaja sahip ürününü teşkil etmektedirler. Dökme demirlerin iyi bir mühendislik malzemesi olması ve ucuz üretilebilmesi bu malzemeye talebi arttırmaktadır. Dökme demirlerinde değişik mühendislik özelliklerinin bulunması kullanım sahasının genişlemesini sağlamaktadır[2]. Dökme demirler, sünek olmadıkları için soğuk ve sıcak işlemler uygulanmak suretiyle şekillendirilemezler. Ama gerek döküm kolaylığı gerekse de mamul parça özellikleri ve aşağıdaki özelliklerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptirler [1].

3. DÖKME DEMİRLER

Demir cevherinin indirgenmesi ve ergitilmesi yoluyla elde edilen ve içinde %2' den fazla C ve diğer alaşım elementleri içeren (Mn, Si, F, Cr, ...) bulunduğu bir Fe-C alaşımına pik denir. Elde edilen pikin fırınlardan yeniden geçirilerek bazı metalürjik işlemlerden geçirildikten sonra bir kalıp içine boşaltılması ve kalıp boşluğu şeklini alarak katılaşması ile meydana gelen malzemeye dökme demir denir. [3]

Dökme demirler Fe-C diyagramına baktığımızda %2 den %6.67 ye kadar dökme demir olarak gösterilir. Ancak yüksek karbon oranı kırılabilirliğe sebebiyet verdiği için pratikte % 4,4'e kadar karbon ve %3. 5'a kadar silisyum içeren bir Fe-C-Si alaşımı olarak bilinir.



Şekil 3.1. Fe-C Denge Diyagramı [3]

Dökme demirlerde karbonun katılaşma sırasında ayrışması mikro yapısında ayrı bir eleman olarak görülür. Bu ortaya çıkan karbonun oluşturduğu şekil ve biçim dökme demirin tipini belirlemekte ve dolayısıyla özelliklerine de etki etmektedir. [3]

Döküm endüstrisinin birçok özelliklerinden dolayı en büyük kapasitesi dökme demirlere aittir. Dökme demirler, gerek döküm ve gerekse mamul parça özellikleri bakımından birçok üstünlüklere sahiptirler. Bunların başlıcaları:

- a) Alçak ergime sıcaklıklarına sahiptir. (1150 -13000C),
- b) Ötektik birleşimine yakınlığından dolayı iyi akışkanlık gösterir.
- c) Döküm ve kalıp şeklini alabilme kabiliyeti yüksektir.
- d) Ergime sıcaklığının düşük olması sebebiyle maliyeti ucuzdur.
- e) Kimyasal bileşim sınırlarının geniş tutulabilmesi ve yakın özellikler elde edilebilmesi üretim kolaylığı sağlar.
- f) Çeşitli kısımlardan ibaret bir iş parçasının tek bir işlemle elde edilebilmesi.
- g) Üretim şartlarının basit ve kolay oluşu tasarımda final ürüne hızlı geçiş yapılmasını sağlar ve talaşlı imalat tekniğiyle iyi işlenebilir.
- h) Titreşim söndürme özelliğinin çok iyidir.
- i) Basma mukavemetinin yüksektir.
- j) Aşınma ve korozyona dayanımı yüksektir.
- k) Çok geniş bir aralıkta mekanik/fiziksel özellik göstermesi, örneğin mukavemet 10 Kg/mm² ile 160 Kg/mm² arasında değişir. Sertlik değerleri 120-300 HB standartları arasında değişirken, özel aşınmaya dayanıklı dökme demirlerde 600 HB değerindedir.
- l) Spesifik mukavemet değerleri iyidir.
- m) Aynı mukavemet seviyelerinde karşılaştırıldıklarında, çeliklere göre daha düşük yoğunluk ve daha yüksek termal iletkenlik gösterirler
- n) Yüksek hız ve kapasitelerde mükemmel işlenebilirlik, özellikle yapıdaki serbest grafit yağlayıcı özelliği göstererek işlemleri kolaylaştırır ve enerjiyi minimuma indirir.
- o) Özellikle gri dökme demirler mükemmel sönüm kapasitesi özelliği gösterirler
- p) Eşdeğer malzemelerle karşılaştırıldığında oluşan artık gerilmelerin daha az çarpılmaya sebep olduğu bilinmelidir.

Mühendislik uygulamalarında mukavemet ve esneklik konusunda biraz zayıf kaldığı bilinmektedir. Zira dökme demirlerde kopma mukavemeti 14-30 kg/mm² sınırları içerisinde, kopma uzaması ise yok denecek kadar azdır. [4]

3.1. Dökme Demirin Çeşitleri

Dökme demirlerin sınıflandırılmasında en başarılı yöntem, döküm mikroyapısına göre yapılan sınıflandırmadır. Demir dökümlerde mikroyapıyı kontrol eden başlıca dört faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Karbon içeriği,
- Alaşım elementi emprüte miktarı,
- Katılma sırasında ve katılma sonrası soğuma hızı,
- Dökümden sonraki ısıl işlemlerdir.

Bu değişkenler karbonun yapıda nasıl bulunacağını ve morfolojisini de kontrol ederler. Dökme demirler sınıflandırıldığında 5 gruba ayrılır. Bunlar;

Gri Dökme Demirler

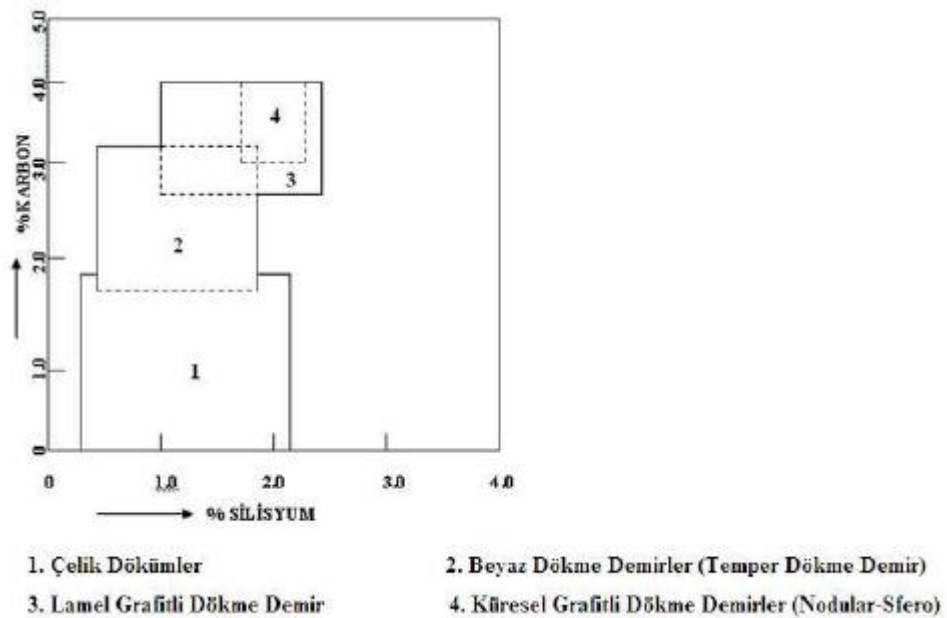
Küresel Grafitli Dökme Demir

Beyaz Dökme Demir

Temper Dökme Demir

Silindirik Grafitli Dökme Demir

Dökme demirlerin, karbon ve silisyum oranlarından doğan farklılıklar Şekil 3.2' de gösterilmiştir.



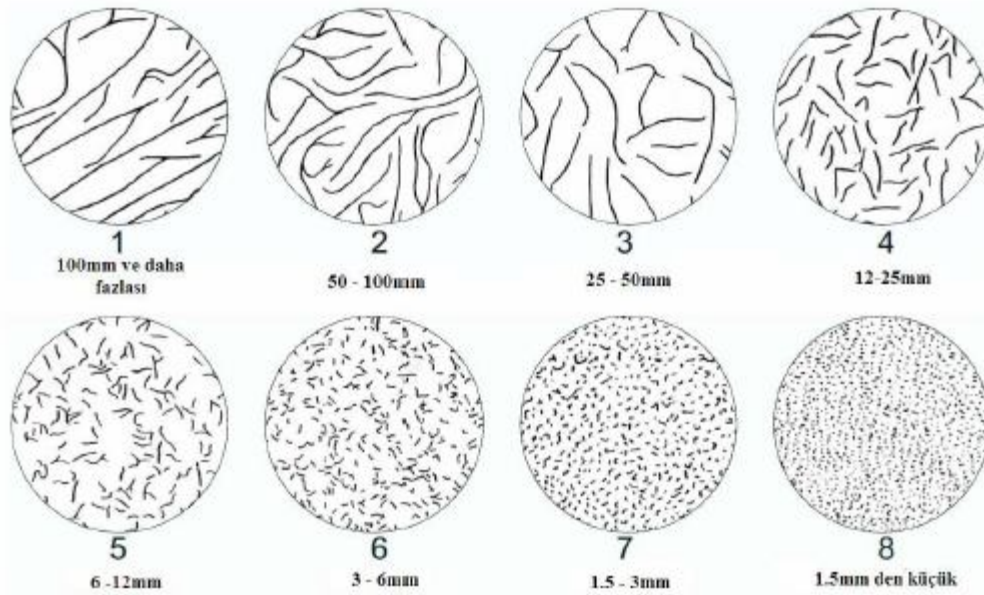
Şekil.3.2. Değişik Tipteki Dökme Demirlerde Karbon ve Silisyum Miktarları

3.1.1. Lamel Grafitli Dökme Demirler

Katılaşmadan sonra içerdiği C un büyük kısmı serbest halde veya başka deyimle grafit lamelleri halinde bulunacak şekilde bir birleşime sahip dökme demir tipidir. Lamel grafitli dökme demirin kırık yüzeyi isli gri renktedir. Lamel grafitli dökme demirin diğer bir adı gri dökme demirdir. Lamel grafitli dökme demirlerin, yalnız grafit şekli göz önüne alındığında 5 bölüme ayrılır. Bunlar;

1. A tipi Gri Dökme Demir
2. B tipi Gri Dökme Demir
3. C tipi Gri Dökme Demir
4. D tipi Gri Dökme Demir
5. E tipi Gri Dökme Demir

Lamel Grafitli Dökme demir sınıflandırılmasında birkaç kategoriye ayırmak mümkündür. Bunlardan biri de Şekil 3.3'te gösterilen lamel uzunluklarıdır.



Şekil 3.3. Gri Dökme Demirde Standart Lamel Boyutlarının Gösterilişi [5]

3.1.1.1. A Tipi Gri Dökme Demir

Yapıda lamel grafitlerin, muntazam bir büyüklüğe sahip olup düzgün bir dağılım göstermesi a tipi gri dökme demirin ayırt edilebilecek en önemli özelliğidir (Şekil 3.4.). Lamel grafitli dökme demirlerin tipik grafit şekli olup ferrit veya perlit ile beraber bulunmaktadır. Oluşum nedenlerinin başında düşük miktarlarda alt soğuma olması, yüksek miktarlarda çekirdeklenme sağlanabildiği taktirde düşük miktarlarda bir alt soğuma oluşacaktır. Bu durumda grafit hücrelerinin büyüme hızları düşük olur; yani A

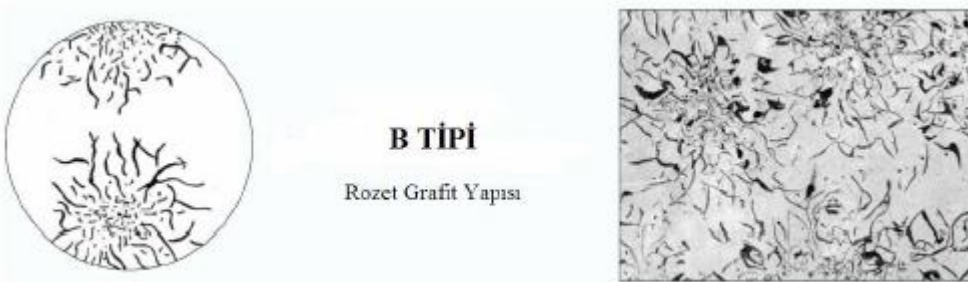
tipi grafitler oluşur. Katılma süresinin uzun tutulması, katılmanın çok uzun bir soğuma aralığında olması ve hatta teşvik edilmesi gerekir. Bu sayede grafit boyları ve kalınlıkları artırılabilir. A tipi grafitleşme yalnız ötektik katılma aralığında gerçekleşebilir. [3]



Şekil 3.4. ASTM' ye göre A-tipi grafit şekli [5]

3.1.1.2. B Tipi Gri Dökme Demir

En belirgin özelliği grafitlerin mikro yapıda grafit yumakları şeklinde olması ve gelişigüzel dağılmasıdır (Şekil 3.5.). Elektrik ve ısı iletim özelliği küresel ve vermiküler grafitli dökme demire göre çok iyidir. Çekme ve basma özellikleri ilave element, ısıl işlem gibi çeşitli müdahalelerle yükseltilebilir. Lamel boyutları büyüdükçe malzeme yumuşaklık kazanır. İşlenebilme özellikleri çok iyidir. Genellikle 10mm kalınlığındaki kesitlerin yüzeyinde görülmekte olup soğuma hızının yavaş olduğu merkez kısmında A tipi grafitler görülebilmektedir. [3]



Şekil 3.5. ASTM' ye göre B-tipi grafit şekli [5]

3.1.1.3. C Tipi Gri Dökme Demir

Ötektik üstü katılaşma sonucu oluşan grafit yapısıdır. C tipi Gri dökme demir üretmek için bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Bunlar;

- Çekirdek sayısının üst düzeyde olması
- Kristalleşme hızının düşük seviyelerde tutulması
- Büyüme hızının yüksek olması ve
- Malzemenin soğuma hızının yüksek seviyelerde tutulmasıdır.

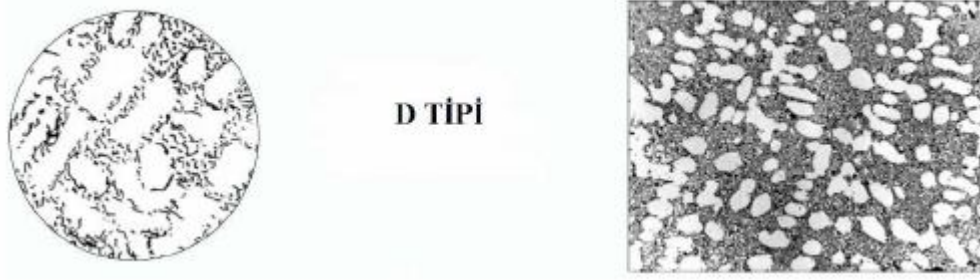
Katılaşma süresi, katılaşma başlamasından çok kısa bir süre içerisinde gerçekleşir. Cr, Mn gibi bazı alaşım elementleri C- tipi grafit yapısını teşvik edici özellik taşımaktadır Tipik görünümleri kiş adı verilen kalın grafit yaprakları şeklindedir (Şekil 3.6). Bu tip grafit ihtiva eden dökme demirler termal soka dayanıklıdır, ancak düşük mukavemet ve islendikten sonra kaba yüzey verir. Yapıda bulunan çok iri grafitler çekme mukavemetini düşürür. İşlenmiş yüzeylerde görünüm bozukluklarına sebebiyet verirler. Sistemin elastik modülü düşüktür. [3]



Şekil 3.6. ASTM' ye göre C-tipi grafit şekli [5]

3.1.1.4. D Tipi Gri Dökme Demir

Hiperötektik alaşımlarda görülür. Yüksek silisyum içeren dökme demirlerin hızlı soğuma şartlarında gelişigüzel yönlendirilmiş küçük boyutlu grafitlerdir. Bu ince grafit tipi genellikle matris perlitik olduğunda dahi ferrit ile birlikte olmaktadır. Hücresel şekilde olan bu tip grafitlerin oluşumuna katılaşma esnasında aşırı soğumanın neden olduğu ileri sürülmektedir. Dikine kesitlerde A veya B tipi grafitlerle beraber bulunan bu tip çoğunlukla soğuma hızının hızlı olduğu ince kesitlerde bulunmaktadır. Malzemenin mukavemetinde bir artış meydana getirmeyip, iyi islenebilme özelliği kazandırır. Ti, Al gibi bazı alaşım elementleri karbür ve perlit oluşumuna teşvik eder. [3] (Şekil 3.7)



Şekil 3.7. ASTM' ye göre D-tipi grafit şekli [5]

3.1.1.5. E Tipi Gri Dökme Demir

Hipoötektik katılaşmada görülen grafit yapısıdır. Hipoötektik bileşimlerin katılaşması esnasında oluşan bu tip grafitin malzemenin mukavemetinde A tipi grafitlere nazaran daha iyi olduğu görülmüştür. Düşük karbonlu dökme demirlerde tercihli yönelme durumu gösteren ve dentritler arası yapı arz eden grafitlerdir. Birincil östenit miktarının yüksek oluşu, E tipi grafitin oluşumunda önemli rol oynar. Çok yüksek döküm sıcaklıklarında görülürler. Sertlik, çekme mukavemeti, basma mukavemeti nispeten yüksektir. [3]



Şekil 3.8. ASTM'ye göre E- tipi grafit şekli [5]

3.2. Gri Dökme Demir Yapısında Bulunan Fazlar

Dökme demir malzemelerin özellikleri büyük ölçüde malzemenin metalografik yapısında mevcut fazların sayısına, cinsine, biçimine ve bu yapıdaki fazların dağılımına bağlı bulunmaktadır.

Mikro yapı tayin edici birçok faktör olduğundan lamel grafitli dökme demirin mikro yapısında farklılıklar gözlenmektedir. Önemli yapı bileşenleri ve her bir yapı

elemanı için gerekli olan şartlar ve de malzeme özelliklerine yaptıkları etkiler aşağıda verilmektedir.

3.2.1. Grafit

Dökme demir bileşimindeki karbon, kimyasal bileşim ve soğuma hızının uygun olduğu şartlarda, hegzagonal kristal yapısında, hegzagonal taban düzlemlerinin bir biri üzerinde ve iki yönde büyümesinden grafit şeklinde çökeler. Grafitin yoğunluğunun dökme demirdeki matris yapılarına göre düşük olması sebebiyle, katılaşması sırasında gri dökme demirlerde %6 - %17 arasında bir hacim artması olur. Grafit tabakalarında her atom diğerine kovalent bağlarla bağlıdır. Dökme demirlerde grafitler sıvı eriyikten çökdikleri gibi, katı ortamlarda ikinci derecede grafitleşme halinde de teşekkül edebilirler.

Gri dökme demirlerde, grafit lamelerinin şekli, boyut ve dağılımı katılaşma esnasında oluşur. Kimyasal bileşim, aşırı soğuma, aşırı ısınma, aşılama ve soğuma hızı gibi faktörler önemli faktörlerdir. Lamel grafit şekil ve boyut karakteristikleri AFS ve ASTM tarafından kabul edilen standartlarda tarif edilmiştir. [4]

3.2.2. Ferrit

O da sıcaklığından 910 °C'ye kadar kübik hacim merkezli olan ve çok düşük miktarlarda karbon ile meydana gelen katı çözeltili halidir. Ferrit oldukça yumuşak esnek ve orta derece mukavemete sahip olan bir yapı elemanıdır.

Ferritin dökme demirlerde serbest halde bir yapı elemanı olarak bulunabilmesi genel olarak kimyasal bileşimi ve dökümün soğuma hızına bağlıdır. Malzeme bileşiminde karbon ve grafitleşmeyi teşvik eden diğer elementlerin miktarı fazla ve yavaş bir soğuma hızı mevcutsa ona yapı elemanı olarak ferritin serbest bulunma şansı çok yüksektir.

Ferrit, lamel grafitli dökme demirlerde ya sementit ile birlikte ya da serbest halde ötektoid yapısı içerisinde her zaman bulunabilir.

Dökme demirlerde silisyum ferriti sertleştirir ve mukavemeti artırır. Silisyum miktarına bağlı olarak ferritin sertliği 100-140 HB, uzaması%20-30 ve mukavemeti 35-50kg/mm² değerlerinde olabilir. Tamamen ferritik yapılar normal olarak yalnız tavlama ile elde edilebilir.

3.2.3. Ostenit

Demirin yüksek sıcaklıklardaki (910-1410 °C arasında) kübik yüzey merkezli demir ile karbonun meydana getirdiği katı eriyiktir. Yavaş soğuma ile perlit, ferrit veya her ikisinin karışımı bir yapıya dönüşür.

Dökme demirin mikro yapısında oda sıcaklığında ostenitin bulunuşu, ancak osteniti bu sıcaklıkta kararlı hale getiren alaşım elementleri ile mümkündür.

3.2.4. Perlit

Dökme demirlerin soğuması esnasında, ostenitin ve otektoid sıcaklığında yan yana sıralanmış ferrit ve sementit tabakalarından oluşmuş bir yapı elemanıdır. Dökme demirlerde perlit mukavemeti, orta sertlik ve bir dereceye kadar sünektir. Çekme mukavemeti 84 kg/mm^2 civarında ve sertliği 200-300HB'dir. Perlitin bu özelliklerinden dolayı, yüksek mukavemetli dökme demirler bu yapıdadır.

Oluşan perlit miktarı grafitleşme mertebesine bağlıdır. Perlitik gri dökme demir yaklaşık olarak %0,50-0,90 arası birleşik karbon içerir. Birleşik karbonun düşük yüzdelerde olması, genellikle serbest ferritin bulunduğunu belirtir.

3.2.5. Sementit

Dökme demirlerde karbonun bileşik halde bulunmasından (Fe_3C) meydana gelen sementit daha ziyade dökümdeki karbürleştirici ortamda gelişir. Karbürleştirici ortamın durumuna bağlı olarak sementit, serbest halde, ötektoid karışımın bir fazı olarak ya da dönüşmüş ledeburit içinde mevcut olabilir. Sementit gerçek gri dökme demirlerde serbest veya kitle şeklinde bulunmayıp, normal olarak ötektoid perlit içinde bulunmaktadır. Serbest sementit çil uygulanmış dökme demirlerde ve benekli dökme demirlerde bulunmaktadır.

Sementit çok sert ve gevrek bir yapıya sahiptir. Bu nedenle dökme demir yapısında bulunması malzemenin sert ve kırılğan özellikte olmasına sebebiyet vereceğinden işleme esnasında zorluklar çıkarır.

3.2.6. Steadit

Dökme demirlerde, özellikle lamel grafitli dökme demirlerde fosfor düşük ergime dereceli ($954-982^\circ\text{C}$) bir demir- demir fosfor ötekiği olan steadit şeklinde bulunur. Steadit %10.20 fosfor içerir. Fosfor katılasmada en son katılşan bölgelerde toplandığından mikro yapıda steadit bölgeleri ekseriye hücrenel bir görünüme sahiptir. "Demir-fosfor" da demir- karbür gibi çok sert ve kırılğandır.

3.3. Dökme Demirde Katılşma

Dökme demirlerde grafit miktarları, şekli, büyüklüğü ve dağılımı katılşmada önemli rol oynar. Grafit yapılarının diğer atomlarla kovalent bağ kurmasına karşın, grafit yapısının kendi aralarında wader waals zayıf bağ yapısının oluşu grafiti gevrek malzeme haline getirir.

Grafitin makro yapısı yaprak ve pervane gibidir. Üç eksen boyunca grafit kristalleşip, normal bir şekli alınca kopma mukavemeti ve uzaması sıfır olan bir malzeme meydana gelir. Grafit bu bakımdan dökme demire kötü tesir yapar.

Dökme demirlerde istenilen özelliklerin elde edilebilmesi için katılaşma sırasında grafit şekli ve miktarı kontrol altına alınması önemlidir. Dökme demirlerde grafitin iki türlü kötü tesiri vardır.

- a) Efektif bakımdan iş yapma alanını düşürür.
- b) Çentik etkisi yapar

3.3.1. Karbon Eşdeğeri (CE), Doymuşluk Derecesi (Sc), Sıvılaşma Eşdeğeri

Saf Fe-C alaşımının ötektik değeri % 4,3 olmaktadır. Ancak alaşım içindeki bazı elementlerin mevcudiyeti ötektik değerini düşürmektedir. Özellikle silisyum ve fosfor değerinin 1/3 'ü ötektik değerini %0,1 kadar düşürmektedir. Böylece her hangi bir dökme demir için ötektik karbon değeri yaklaşık $4,3 - 1/3(\text{Si}+\text{P})$ olmaktadır. Örneğin %25 Si'li ve % 0,42 P'li bir dökme demir %3,48'lik karbon yüzdesi ile ötektik olabilmektedir. Bileşimi ötektik değer cinsinden ifade etmenin yolu karbon eşdeğeri kullanmaktır. Alaşım elementlerinin ötektik değere yaptıkları etkinin bir ölçüsü olan karbon eşdeğerini (CES) bir genel formül halinde aşağıdaki bağıntı ile göstermek mümkündür.

$$\text{CES} = \text{C} + 1/3 (\text{Si} + \text{P}) \quad (3.1)$$

Fe – C ötektigindeki karbon yüzdesi % 4,3 olarak kabul edilirse, dökme demirlerin karbon eşdeğerleri hesaplandığında bulunan değerlere göre malzemeye isim verilir. Bunlar;

CES < 4,3 ise alaşım ötektik altı (hipoötektik)

CES = 4,3 ise alaşım ötektik tipi

CES > 4,3 ise alaşım ötektik üstü (hiperötektik)

Karbon ekivalentine benzer olan diğeri bir kriterde "Doymuşluk derecesi" (Sc) dir. Sc toplam karbon miktarının ötektik karbon miktarına oranıdır.

$$\text{Sc} = \text{Toplam karbon} / \text{ötektik karbonu} = \text{T.C} / 4.3 - 1/3 (\text{Si} + \text{P}) \quad (3.2)$$

Formül 2.4'te gösterilen doymuşluk derecesinin bağıntısı, < 1 olduğunda hipoötektik alaşım, doymuşluk derecesi bire eşit olduğunda ötektik alaşım, doymuşluk derecesi >1 olduğunda ise hiperötektik alaşım olduğunu göstermektedir. Ötektik altı kompozisyona sahip alaşımlarda sıvılaşma sıcaklığı bileşime bağlı olarak değişir. C ve

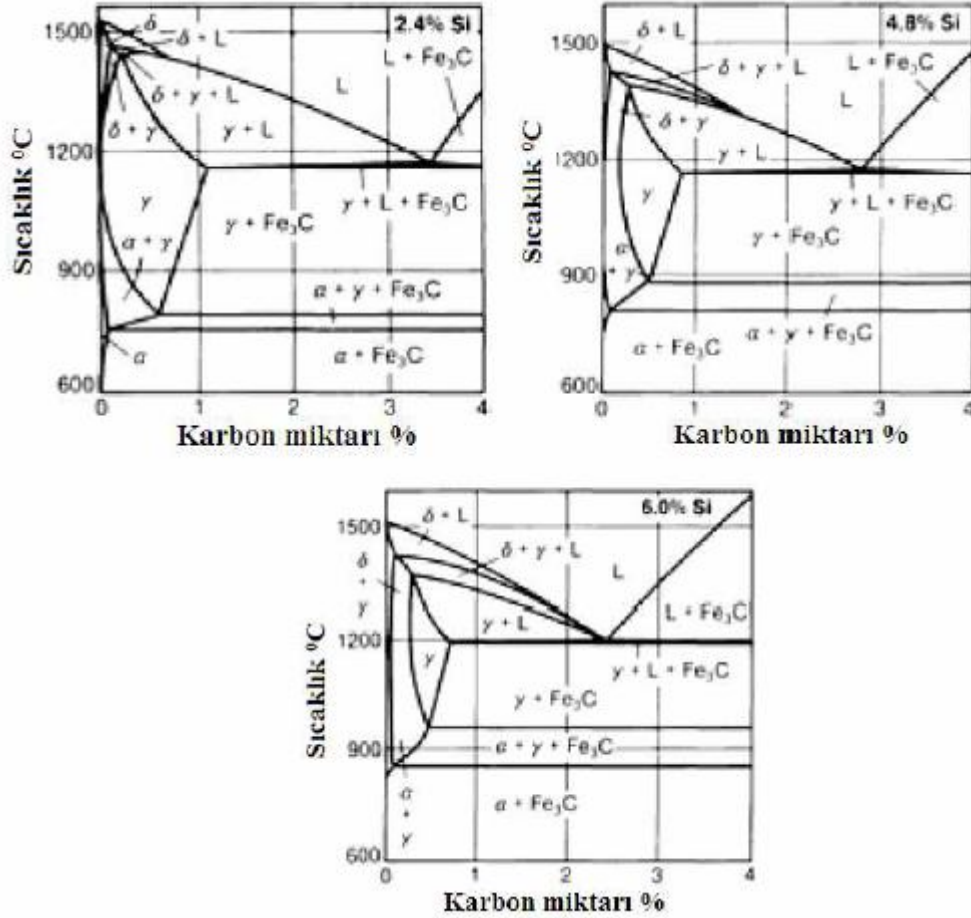
Si 'nin sıvılaşma sıcaklığına etkisi de incelenebilir. Si ve P 'un sıvılaşma sıcaklığına olan etkisi sıvılaşma eşdeğeri (SEV) formülü ile aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$SEV = \% C + \% Si / 4 + \% P / 2 \quad (3.3)$$

Ötektik altı bileşime sahip bir alaşımın katılaşması oldukça karışıktır. Kalıp cidarlarında önce östenit çekirdeklenmesi ve dendritik büyümesi görülür. Dendrit kolları arası karbon ve diğer elementler bakımından zenginleşir. Sıcaklık belirli bir seviyeye düştüğünde, dendrit kolları arasındaki sıvı ötektik olarak katılaşır. Bu katılaşma yapısı ya yarı düzenli Fe-Fe₃C ötektiği yada Fe – Grafit ötektiklerinden biridir. Fe – G ötektiklerinin yapısı: bileşim, aşılama, empürite ve ilaveler ile soğuma hızına bağlıdır. Katılaşma: östenitlerin (dendritik ve ötektik) perlitte katı hal dönüşümü ile takip edilir. Ötektik ve ötektik üstü bileşime sahip dökme demirler de benzer şekilde katılaşırlar. [3,6,13]

3.3.2. Demir – Karbon – Silisyum Alaşımının Katılaşması

Gri dökme demirlerde grafitleşmeyi teşvik edici en önemli bileşim faktörü, alaşımdaki silisyum'dur. Silisyum'un etkisi, Fe-C-Si üçlü sisteminden alınan düşey kesitler yardımı ile daha iyi gösterilebilir (Şekil 3.9). % 2 Si ve yaklaşık % 3.5 C içeren bir Fe-C-Si alaşımının katılaşması göz önüne alındığında: dengeli katılaşma şartlarında primer ostenit dendritleri 1260 - 1127°C) da yani liküdüs eğrisi ile ötektik katılaşmanın başlangıcını belirten eğri arasındaki sıcaklık aralığında, meydana gelirler. 1127 - 1099°C aralığında ötektik (ostenit + grafit) katılaşması ile katılaşma olayı tamamlanır. Bahis konusu alaşımda katılaşma sona erdiğinde, mikroyapı % 20 primer ostenit dendritleri ve % 80 ostenit + grafit ötektiğinden oluşur. Sıcaklığın solüdüs'ün altına düşmesi ile karbon, ostenitten grafit halinde kusulur ve ötektikteki grafit lamelleri üzerine çökler.



Şekil 3.9. Artan silisyum miktarıyla Fe-C diyagramının değerlerinin değişimi

Karbon çökmesi ötektoid sıcaklığına (%2 Si için yaklaşık 801 — 706°C) erişilinceye kadar devam eder. Ötektoid sıcaklığında % 2.0 Si' li östenit yaklaşık olarak %0.60 C içerir; bunun takip eden dengeli soğumada ise ostenit ferrite dönüşür ve karbonun geri kalan kısmında grafit lamelleri üzerine çöker. En son mikroyapı, primer ostenit dendritlerin-den oluşan ferrit alanları ile ostenit grafit ötektiğinden oluşan ferrit ve grafit karışımı şeklindeki alanlar halinde görülür.

Ticarî dökme demirlerde birçok başka elementin mevcut oluşu ve dolayısıyla başka faktörlerin işin içine girişi nedeniyle aynı katılaşma çok daha kompleks şekilde oluşur. Grafitleşmenin üç önemli kademesini ortaya konmaktadır, a) Katılaşma esnasındaki grafitleşme, b) Ostenitten karbon çökmesi ile grafitleşme (katı halde) ve c) Ötektoid dönüşüm esnasındaki katı halde grafitleşme devam eder. 538°C'a kadar da bahsi geçen sıcaklıklarda geçecek sürenin çok uzun olmaması şartıyla grafitleşme meydana gelebilmektedir. [3,13]

3.3.3. Lamel Grafitli Dökme Demirlere Eser Elementlerinin Etkisi

- **Karbon (C)**

% 2.5 ilâ %4.5 karbon içerebilen Lamel grafitli dökme demirler, 2 farklı fazda bulunabilmektedir. Bunlar;

1. Bileşik halde bulunan karbon
2. Serbest halde bulunan karbon

- **Silisyum (Si)**

Gri dökme demirde silisyumun etkisi büyüktür. Gri dökme demirler % 1-3.50 arasında silisyum içerir ve en büyük etkisi grafitleşme üzerinedir. Şekil 3.9'da gösterildiği gibi artan silisyum % si demir-karbon denge diyagramındaki ötektik noktasını sola doğru kaydırır. Ötektikteki bu kayma, karbon eşdeğeri göz önüne alınarak aşağıdaki bağıntı ile tarif edilebilir.

Silisyum grafitleşmeyi teşvik eder. Düşük yüzdelerde Silisyum katılma esnasında grafitleşmeyi sağlamak için yetersiz kalır, ancak yüksek sıcaklıkta ısıtılarak (örneğin temperlemede) katı halde çekirdek oluşumu ve grafitleşmeyi sağlar. [3,13]

Silisyum ve daha az oranlarda bulunan fosfor, bakır ve nikel katılma hızını yavaşlatarak kararlı sistem oluşumuna yardımcı olur. Buna karşılık; manganez, krom ve diğer karbür oluşturuç elementler katılma hızını artırır (ince kesitlerde) ve yarı kararlı sistemin oluşumuna yardımcı olurlar [15]. Kararlı ya da yarı dökme demir yapısında bulunan karbon, silisyum, fosfor gibi alaşım elementlerinin bileşimlerindeki değişiklik, sıvılaşma ve katılma sıcaklığı ve ötektik bileşim gibi parametreleri, dolayısı ile mekanik özellikleri etkiler.

- **Kükürt (S) ve Manganez (Mn)**

Gri dökme demir yapısında % 0.25 oranına kadar bulunabilen kükürt, daha çok grafitleşmeyi sınırlayan (karbürü stabilize eden) bir elementtir. % 0.25'in üzerindeki kükürt dökme demire istenmeyen sertlik kazandırır ve işlenebilirlik kabiliyetini azaltır. Kükürtün etkisi, bileşimde bulunan manganez göz önünde tutularak incelenmelidir. Kükürt miktarı arttıkça bileşik karbon miktarı da artar böylece sert ve gevrek beyaz dökme demir oluşumuna teşvik eder. Kükürt, bileşik karbon oluşturmaktan başka, demirle reaksiyona girerek demir sülfür (FeS) oluşturur. Bu düşük ergime dereceli bileşik ince dentritler arası tabakalar şeklinde mevcut olup yüksek sıcaklıklarda kırılma ihtimalini artırır, diğer bir deyişle sıcak gevrekliğe sebep olur. Bu yüzden kükürtün mevcudiyeti arzu edilmeyen kötü dağılımı gösteren FeS segregasyonlarına sebebiyet verdiği için malzemenin sertliğinde muntazam olmayan değişimlere ve işlenebilirlik

zorluklarına sebep olur. Aynı zamanda FeS karbürleştirici bir bileşiktir, yani malzeme yapısında karbürlerin stabil olmasına sebebiyet verir.

Manganez mevcut olduğunda, Mn'in % miktarına bağlı olarak MnS veya kompleks Demir - Manganez sülfürleri oluşur. MnS olarak kükürt, perlitik bir mikroyapıya neden olma etkisini büyük ölçüde kaybeder.

Tek başına Mn grafitleşmeye direnç gösteren bir elementtir, dolayısıyla kükürt ile reaksiyon için yeterli miktardan fazla Manganez perlitik mikroyapının devamlılığına neden olur. Bahis konusu ilişkiyi ifade etmek için aşağıdaki kaideler ileri sürülmüştür.

$\% S * 1.7 = \% Mn$ olduğunda, MnS oluşumu için kimyasal açıdan yeterli Mn ve vardır. (3.4)

$\% S * 1.7 + 0.15 = \% Mn$, olduğunda maksimum ferrit ve minimum perlit oluşacaktır. (3.5)

$\% S * 3 + 0.35 = \% Mn$, olduğunda perlitik bir mikroyapı oluşacaktır. (3.6)

Kükürdün demirde bulunması ile kötü tesirler yaratan bir element olmasına karşın tamamen perlitik mikroyapının oluşumuna neden olduğu görülmüştür. Örneğin % 3,49 C ve % 2,01 Si içeren bir alaşım yaklaşık tamamı ferrit olan bir matrise sahip iken sadece % 0,018 S ilavesi bu manganezin lamel grafitli dökme demirdeki pozitif tesiri ise kükürt problemini bir dereceye kadar indirgemesidir. Manganez, sülfüre karşı afinitesinin fazla olması nedeniyle MnS şeklinde bağlanır. MnS oluşturacak miktarda manganez mevcut olduğunda sülfürün etkisini giderek bileşik oranını azaltmış olur. MnS çökmeye erken başlamakta ve tüm katılma prosesi boyunca çökelmeye devam etmektedir. Yüzey geriliminin yüksekliği sebebiyle oldukça küreseldir ve genellikle rastgele dağılmış durumdadır.

Fe-C-Si alaşımı olarak tanımlanan dökme demirlerde manganez ilavesi, mevcut olan perlit miktarı açısından pek etkili olmamaktadır. Örnek vermek gerekirse %3,0 C, % 1,91 Si' li kükürt içermeyen alaşımda % 1,22 Mn ilave edilmesinde serbest ferrit görülebilmektedir. Bu nedenle, kükürt ile reaksiyona girebilecek miktarda fazla manganez perlitik mikro yapının devamlılığına neden olacaktır. Dökme demirlerdeki manganez miktarıyla malzemenin yapısı arasındaki ilişki, yukarıdaki 3.4, 3.5, 3.6 bağıntılarında gösterilmiştir.

● Alüminyum (Al)

%0,03'e kadar dökme demirde etkisi;

➤ İnce kesitlerde %0,005 Al üzeri hidrojen bazlı karınca boşlukları

- Azotu bağlar
- Yaklaşık %0,08 üzeri Al küresel grafitte zararlıdır.
- Seryum tarafından bağlanabilir
- Güçlü grafit sabitleştirici etkisi vardır.

● **Baryum (Ba)**

%0,003 'e kadar dökme demire etkisi;

- Çilleşme eğilimini düşürürken grafit oluşturur.
- Beslemeyi azaltır.

● **Kalsiyum (Ca)**

%0,01'e kadar dökme demirde etkisi;

- Grafit çekirdeklenmesini artırır
- Çil eğilimini azaltır
- Grafit oluşumunu destekler

● **Krom (Cr)**

%0,3'e kadar dökme demirde etkisi;

- Çil ve perlit oluşturur
- Mukavemeti artırır
- Sfero dökümde %0,05'in üzerinde karbür oluşturur.

● **Bakır (Cu)**

%0,5'e kadar dökme demirde etkisi;

- Perlit oluşumunu destekler
- Mukavemeti artırır
- Zararlı etkisi yoktur
- Sfero dökümde ferritik yapıyı bozar.

● **Hidrojen (H)**

Dökme demirde etkisi;

- Yüzey altında karınca boşluklarına neden olur
- Zayıf bir çil etkisi vardır
- Kükürdü bağlayacak yeterli mangan bulunmadığı zaman iç sementit oluşturur.

● **Nikel (Ni)**

%0,5'e kadar dökme demir etkisi;

- Düşük seviyelerde önemli etkisi yoktur
- Daha yüksek seviyelerde grafitleştirici etkisi görülür

- **Azot (N)**

%0,015' e kadar dökme demirde etkisi;

- Grafit taneciklerini bir araya getirir
- Perlit oluşturur
- Mukavemeti artırır
- Eğer yüksek miktarlarda olursa kalın kesitlerde çatlak meydana getirir

- **Fosfor (P)**

%0,1' e kadar dökme demirde etkisi;

- Akışkanlığı yükseltir

- **Kalay (Sn)**

%0,15'e kadar dökme demirde etkisi;

- Güçlü bir şekilde perlit oluşumunu destekler
- Mukavemeti artırır

- **Titanyum (Ti)**

%0,10' a kadar dökme demirde etkisi;

- Pik dökümde azotu bağlar
- Pik dökümde aşırı soğumuş grafit oluşturur

3.4. Dökme Demirlerde Aşılama

Aşılama belirli etkilerinden faydalanmak için sıvı metale, bileşimde önemli değişim meydana getirmeyecek şekilde yapılan ilâvedir. Sıvı dökme demirin aşılama ile grafit tipinde önemli değişim sağlanabilir, örneğin ferrosilisyum veya başka grafitleştirici, % 0.05 ile % 0,25 gibi düşük % lerde ilâve edilirse (A) tipi grafitlerin oluşumuna yol açar. Aşırı soğuma aşılama ile önlenmektedir. Bu, özellikle aşırı ısınmış dökme demire aşılama ilâve edildiğinde belli olur. Ergitme ve aşılama uygun yapıldığında istenen cinsten (boyutta) A tipi grafitlerin elde edilmesi mümkün olup istenmeyen beyaz katılaşmanın da önüne geçilmiş olur. Çizelge 3.1'de bazı ticari aşılama ilâvelerinin bileşimi gösterilmiştir. Aşılama, grafit yapısını değiştirdiği gibi Çil derinliğini de kontrol eder. [3,7]

Çizelge 3.1. Ticari Aşılایıcıların Kimyasal Kompozisyonu

Aşılایıcı	% Si	%Ca	% Ba	%Sr	%Zr	%Ce	%Mn	%Al	%Ti	%Cr	%C
Superseed 50(Ferrosilisyum)	46-50	0.1 max		0.6-1				0.5 max			
Superseed 75 (Ferrosilisyum)	73-78	0.1 max		0.6-1				0.5 max			
Superseed 85(Ferrosilisyum)	83-87	0.5-0.8						1.1- 1.4			
Ultraseed Ferrosilisyum	70-76	0.75- 1.25				1.5-2		0.75- 1.25			
Kalsiyum Silisyum	61-64	29-31						0.5- 0.75			
V- 5 Alaşımı	16-20						7-9			40	
Graphidax	48-52	5-7							8-11		
Inoculay 63	59-62	1.8-2.4	4-6.5				9-12.8	0.8- 1.5			
SMZ	62-69	0.6-1.9	0,3-0,7								
Grafit	-										97-99
Ferrokrom	11									58-61	
Baryum Aşılایıcı	72-78	1-2	2-3					1.5 max			
Zirkonyum Aşılایıcı	73-78	2-2,5			1,3- 1,8						
Alüminyum Aşılایıcı	70-75	0,5-1,5						3,5- 4,5			

3.5. Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi

Lamel grafitli dökme demir üretiminde kalitesi, grafitin boyutu, sayısı ve dağılımı gibi faktörlerin yanı sıra çekirdeklenme ve büyüme prensiplerine bağlı olarak gelişir. Çekirdeklenme hızı düşük olduğunda geliş güzel yönlendirilmiş iri lameller meydana gelir; bu durumda yayınma için bol vakit olduğundan grafitleşme kolayca oluşur. Yayınma ve grafitleşme için yeterli süre olacak şekildeki bir aşırı soğuma nedeniyle oluşan hızlı çekirdeklenme küçük lamellere sebep olur. Daha fazla bir aşırı

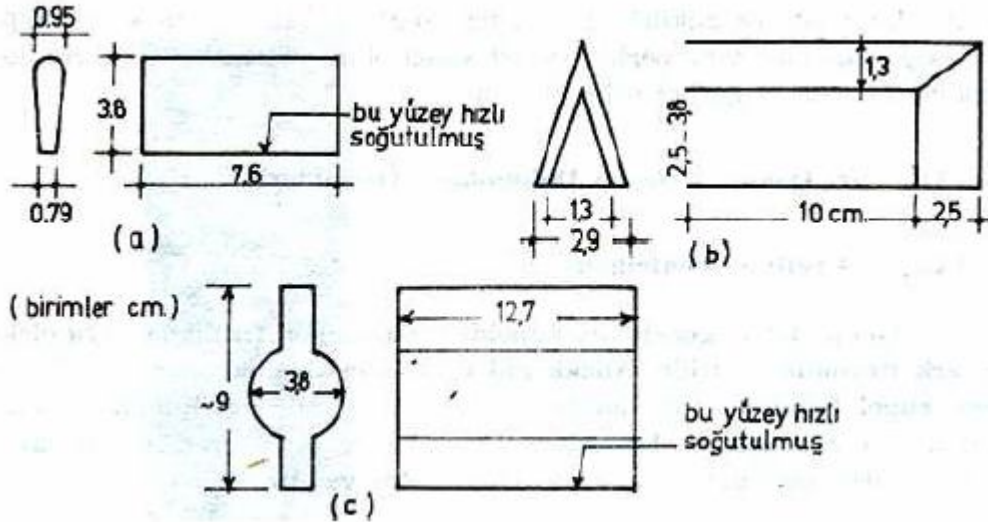
soğuma ise çekirdeklenme ve grafitleşmeyi önleyebilir ve bu durumda beyaz dökme demir oluşur. Dolayısıyla bütün mikroyapılar ve grafit tipleri herhangi bir gri dökme demirde oluşabilir; bu dökme demirin katılaşma esnasındaki soğuma hızına ve/veya sonradan gördüğü işlemlere bağlıdır. [3,7]

3.5.1. Aşırı Isınma

Gri dökme demir için aşırı ısınma: sıvı metalin 1510°C 'ın üstündeki sıcaklıklara ısıtılması demektir. Aşırı ısınmanın oluşu katılaşma süresinde aşırı soğumanın oluşma şansını da artırır. Grafit lamel boyutları küçülür ve aşırı ısıtma sonucu D ve E tipi grafitler oluşur. Uygun şekilde aşılmadıkları takdirde aşırı soğumayı önlemiş olup ince kesitlerde beyaz ve benekli dökme demir yapısı görülebilmektedir.

3.5.2. Çil Kontrolü

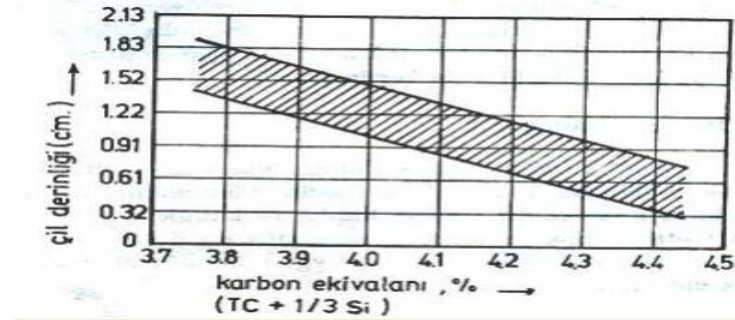
Gri dökme demirde grafitleşme kontrolü özellikle ergitme safhasında önde gelen bir problemdir. Çil testi, dökme demirde grafitleşme meyllini bir dereceye kadar belirleyen bir yöntemdir. Test örneği kupol ağzından veya potadan alınan sıvı metalin maça kumundan bir kalıba dökülmesiyle elde edilir. Örneğin şeklinden dolayı bazı kısımlar daha çabuk soğur. Bu tür örnekler Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10. Üç Tip Çil Derinliği Kontrol Örneği

Örneklere karbür olarak katılaşmış kısmın derinliği ölçülerek çil derinliği tespit edilebilir. Çil derinliği bileşimle çok etkilenir, düşük C veya Si % leri daha derin bir çil oluşumuna yol açar. Çil derinliği ile karbon ekvivalenti arasındaki ilişki Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Dökme demirlerde çil derinliği büyük ölçüde pota ilâveleri ve

aşılabilir. Şekil 3.11’de görüldüğü üzere karbon eşdeğerinin ötektik kompozisyona yaklaştıkça beyaz katılaşmanın azaldığı, çil derinliğinin düştüğü görülmektedir. [6]



Şekil 3.11. Çil derinliği ile Karbon ekivalant arasındaki ilişki

3.6. Gri Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri

Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri malzemenin yapısına ve de dolayısıyla kimyasal bileşim ve soğuma hızına bağlıdır.

Çizelge 3.2. Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri [8]

Norm Doku	GG-10	GG-15	GG-20	GG-25	GG-30	GG-35 Perlitik	GG-40
Çekme Dayanımı kg/mm ²	10	15	20	25	30	35	40
Bükme Dayanım kg/mm ²	20-31	23-37	29-43	35-49	41-55	47-61	53-67
Basma Dayanımı kg/mm ²	50-60	55-70	60-83	70-100	82-120	95-140	111-140
Sertlik HB	100-150	140-190	170-210	180-240	200-260	210-280	230-300
E- Modülü 10 ³ /mm ²	75-100	80-105	90-115	105-210	110-140	125-145	125-155

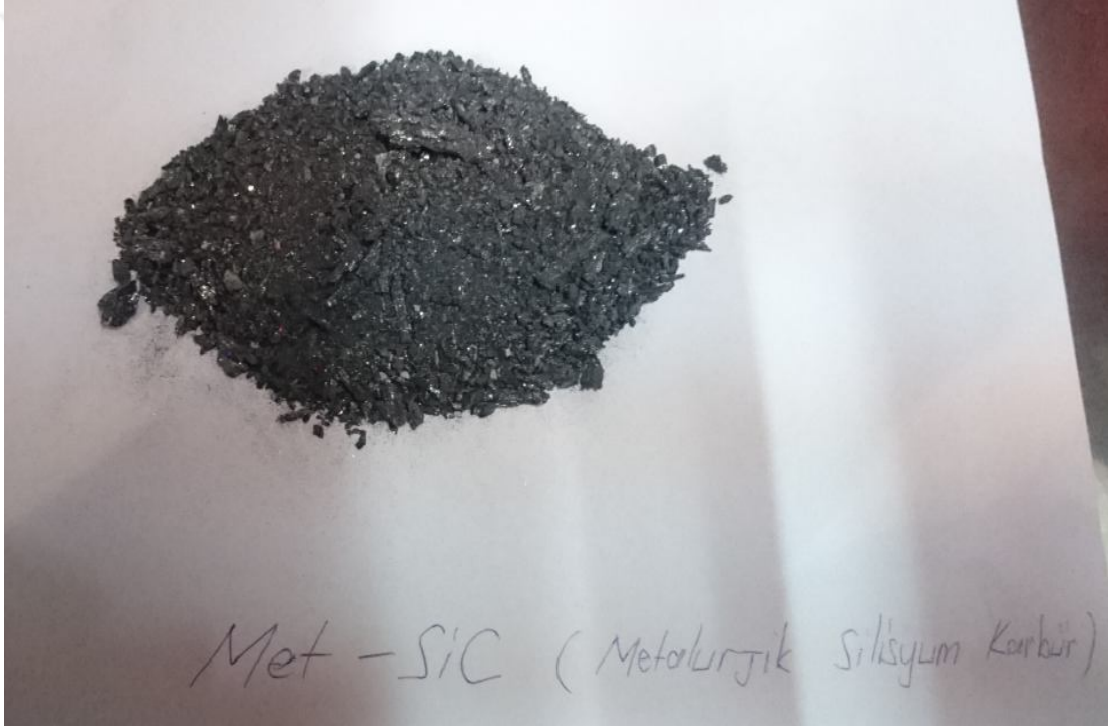
Çizelge 3.3. Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri [9]

Norm Doku	GG-10	GG-15	GG-20	GG-25	GG-30	GG-30 GG-40
Isı İletkenliği	7,2	7,2	7,2	7,2	7,35	7,35
Elektrikli Direnç Ohm.mm ² /m	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0
Özgül Isı J/g°C	0,46-0,59	0,46-0,59	0,46-0,59	0,46-0,59	0,46-0,59	0,46-0,59
Manyetik Koersif Kuvvet	2,5	2,5	2,5	2,5	9,0	9,0

3.7. MetSiC ve Üretimi

Edward Goodrich Acheson, kil ve karbonun reaksiyonu ile daha sert bir malzeme elde edebileceği düşüncesiyle yaptığı deneyler esnasında 1891 yılında silisyum karbürü bulmuş ve bu ürüne Carborundum adını vermiştir. Kendisi de bir elektrod olarak vazife görmüş olan demir bir kase içine koyduğu kil ve kok karışımı arasına yerleştirdiği karbon elektroduna çok yüksek akım vermek suretiyle bu buluşunu gerçekleştirmiştir.

Acheson bulduğu kristalin değerli bir buluş olduğunun farkındaydı. Nitekim bu buluşu analiz ederek, SiC olarak formüle etmiş ve daha sonra Carborundum adıyla Eylül 1891’de firmasını kurmuş, 10 Mayıs 1892’de de buluşunun patentini almıştır.[14]

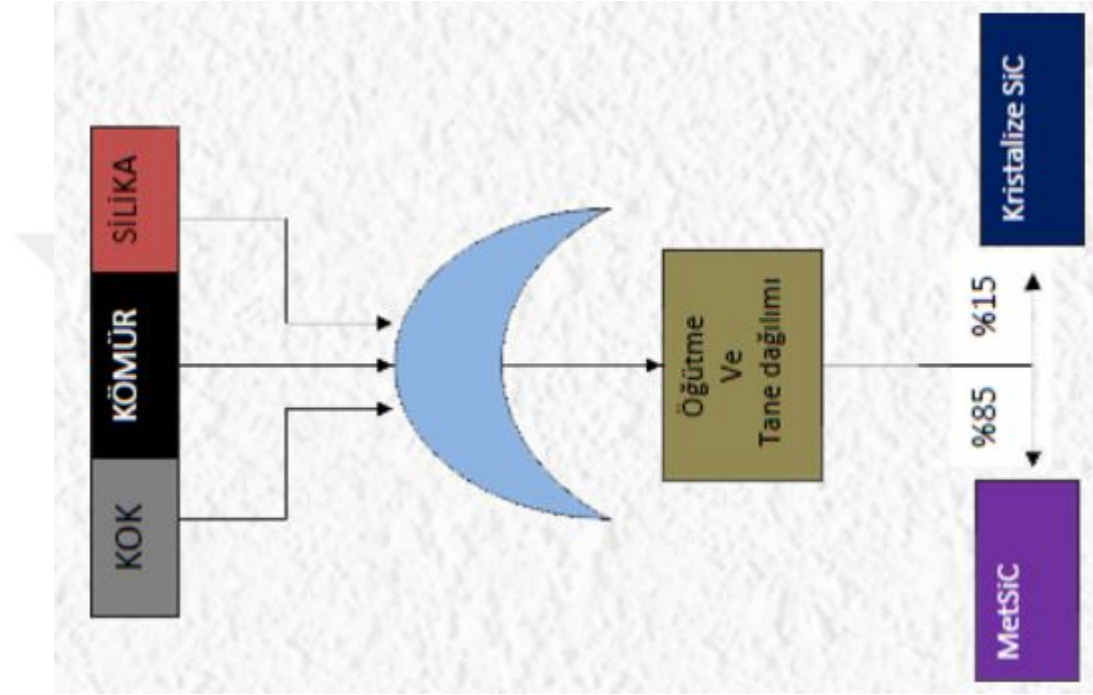


Şekil 3.12. Metalurjik Silisyum Karbür

Silisyum Karbür halen 1891’de bulunduğu koşullara çok benzer yöntemlerle üretilmektedir. Nitekim, yüksek saflıkta kuvarz, yüksek kalite kok veya antrazit ile karıştırılarak Acheson ocağı adı verilen yüksek ısı ocaklarında 2000 °C’ yi geçen sıcaklıkta aşağıda yer alan formüle göre reaksiyona girerek üretilmektedir.



Silisyum karbür üretimi ileri teknoloji ve yüksek enerji sarfiyatını gerektirmektedir. 1 ton ürün elde edebilmek için gereken endotermik reaksiyonu sağlamak saatte 8000-10000 kW enerji sarfiyatını gerektirmektedir. Acheson ocağında üretilen SiC soğumaya bırakılır. Ürün soğuma sonrası farklı tane boyutlarına ve kalite gereksinimlerine uygun olarak ayrıştırılır. Düşük kalite olduğu tespit edilen ürünler yeniden üretim prosesine geri döner.



Şekil 3.13. Metalurjik Silisyum Karbür Üretim Proses Şeması

3.7.1. MetSiC'ün Kimyasal Yapısı ve Özellikleri

Silisyum karbür' ün kristal yapısı MetSiC (%90) 2400 °C' den yüksek sıcaklıklarda üretilen sentetik bir ürün olarak döküm sanayinde karbon ve silis miktarını artırmak olarak kullanılmaktadır. MetSiC, granül veya briket olarak döküm endüstrisinde kullanılmaktadır.

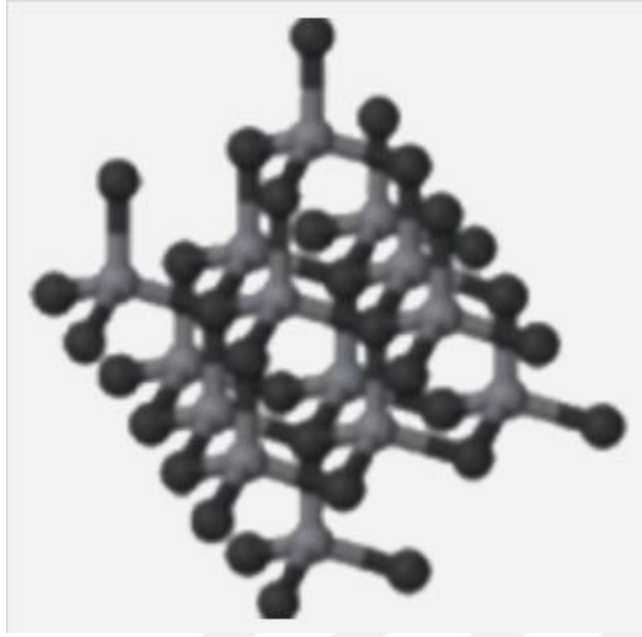
Çizelge 3.4. MetSiC'ün kimyasal ve fiziksel yapısı [14]

SiC	%90
Al ₂ O ₃	%0,7- 1,2
Fe ₂ O ₃	%0,6 -1,1
SiO ₂	%0,02
P ₂ O ₅	%0,07
SO ₃	%0,3
Serbest Karbon	%3,9-5,3
Toplam Karbon	%22-66
Silisyum	%61-66
Sülfür	%0,01 maksimum
Nitrojen	%0,005 maksimum
Rengi	Siyah
Şekli	İri granül ve milimetrik taneler

3.7.2. Metalurjik SiC Uygulamaları

- SiC döküm sanayinde özellikle Karbonlu çelik üretiminde Silis ve karbon kaynağı olarak ferro silisyumun (FeSi) yerine ikame olarak kullanılan ve FeSi a göre maliyeti daha düşük bir üründür.
- Gri dökme demirde aşılaiıcı olarak, sfero dökümde ise ön aşılaiıcı olarak kullanılır.
- Çelik üretiminde ve çelik dökümhanelerinde ise oksit giderme işlevi için kullanılmaktadır.
- SiC konvertörlerde yakıt olarak kullanılmakta olup, yüksek ısı dayanımından ötürü konvertörlerde daha fazla hurda kullanılmasına imkan tanımaktadır.
- SiC aynı zamanda yüzeydeki ısı derecesini arttırmak ve eriyikteki Si ve C oranını ayarlamak için de kullanılır.
- SiC çok güçlü bir indirgeme malzemesi olup, cürufta oksit halinde bulunan Mo, W ve Mn gibi kıymetli metalleri yeniden eritebilir. [9]

Metalurjik uygulamalarda MetSiC (SUPERSICA) kullanımı, FeSi vb. yardımcı malzemelere kıyasla gereken katkı ürün miktarı ve enerji tüketimini önemli oranda azaltarak demir ve çelik üretiminde maliyetlere olumlu etki sağlar. MetSiC mükemmel bir C ve Si kaynağıdır.



Şekil 3.14. SiC 'ün Kristal Yapısı

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmamda traktör parçalarının ön gövde unsurlarından olan ön aks mesnedinin kum kalıba döküm yöntemleri ile birlikte farklı ergitme ocaklarında hazırlanan Fe-Si ve Met-SiC'lü alaşımlı dökme demirlerin göstermiş olduğu mekanik, metalürjik özellikler ve bu iki farklı şekilde oluşturulan ocak şarjında karşımıza çıkan maliyet konusunun karşılaştırılması yapılmıştır.

Dökümhane şartlarında yapılan bu çalışmamda döküm proses yöntemleri ayrıntılı bir biçimde ele alınıp irdelenmiştir. 1 no'lu ergitme ocaklarında ergitme metod kartlarına göre, Fe-Si şarjıyla hazırlanan sıvı metal (Fe-Si) aşağıda döküme hazır derecelere ve çekme, darbe ve mikroyapı numunesi için hazırlanmış kalıplara dökülmüştür. Aynı şekilde 2 no'lu ergitme ocağında da aynı işlemler yapılmıştır. Ancak bu ocaktaki sıvı metal Met-SiC şarjı ile hazırlanmıştır. 1ve 2 no'lu ergitme ocaklarından potalara alınan sıvı metal içerisine %0.3 lük Ca esaslı aşı ilavesi yapılmıştır.

Otomatik kalıplama hattında basılan derecelere istenilen sıcaklıklarda (1290 °C-1330 °C) sıvı metalin dökülmesi ile kum kalıp içerisindeki malzeme soğumaya bırakılır. Fe-Si ile hazırlanan sıvı metal dökümü ile Met-SiC ile hazırlanan sıvı metal dökümün farklı soğutma tünellerine yönlendirilerek numuneleri karışmasına engel olunmuştur. Soğutma hattından çıkan malzemeler sarsak robotu ile paletlere dizilir. Palet içerisinden daha önceden işaretlenmiş numune seçilerek kuşlama makinesine gönderilir. Döküm kumundan çelik granül bombardımanı sonucu arındırılan numune yüzeyi sertlik ölçümü için zımparalanır ve sertlik sonucu parça numune üzerinden farklı noktalardan alınan ölçüm sonucu belirlenmiştir.

Çekme, darbe ve mikroyapı numuneleri için hazırlanan kalıplara pota başı sıcaklığında (1290-1330 °C) sıvı metalin dökülmesi ile deney numuneleri hazır hale getirilirken bu işlemler Fe-Si ve Met-SiC için ayrı ayrı yapıp değerlendirilmiştir.

4.1. Döküm Kumunun Hazırlanması

Kum hazırlama ünitesinde, döküm malzemenin kalıplanabilmesi için kumun daha önceden yapılan test sonuçlarına göre karışımının hazırlanması işlemi gerçekleştirilir. Bu karışım döküm hazırlama ünitesinde bulunan 2250 kg kapasiteli EİRİCH marka kum mikseri ile hazırlanır.



Şekil 4.1. Kum mikseri

Mikser sistemden içerisine otomatik olarak kömür tozu, bentonit, silis kumu ve bir miktar su alarak hazırlanan karışımı preslenmek üzere kalıplama hattına gönderir.

Çizelge 4.1. Mikser değerleri

Malzemeler	Miktar (kg - °C)
Eski Kum	1700
Yeni Kum	45
Kömür Tozu	15
Bentonit	20
Su Miktarı	25,5

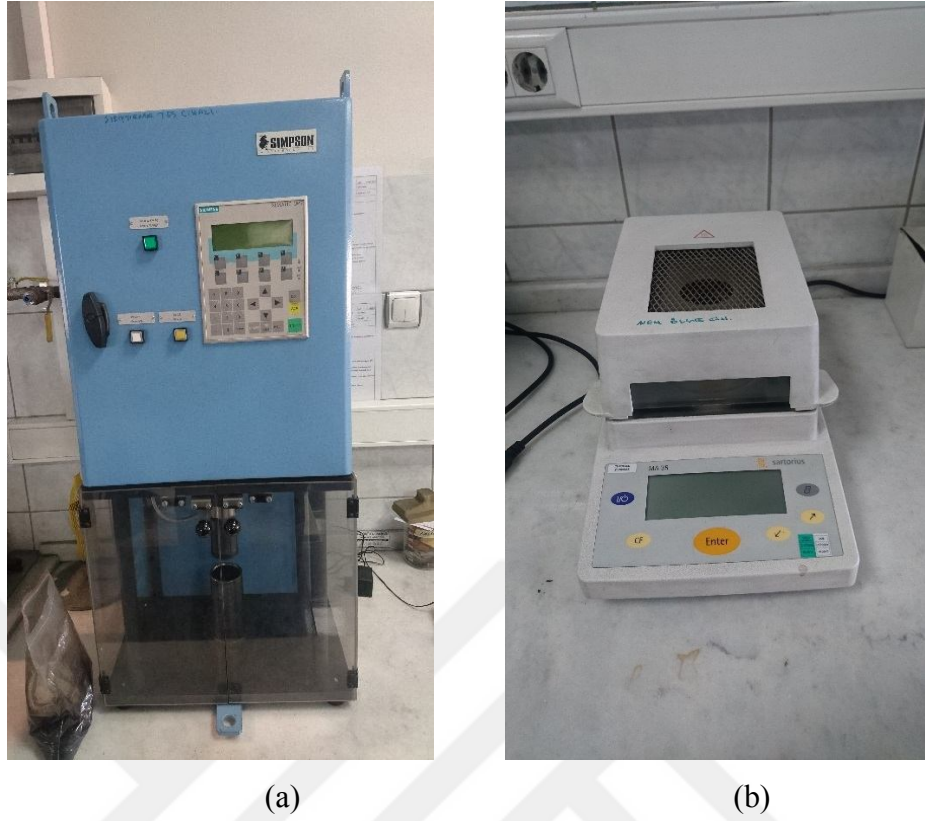
Yukarıdaki tabloda belirtilen malzemelerin dışında mikserde eski kum ilavesi de yapılmaktadır. Eski kum sıcaklığı yaklaşık olarak 10-11,5 °C civarında olmalıdır. Kalıplama hattına gelen yaş kumun compactability, ezme mukavemeti, kesme mukavemeti, yaş basma mukavemeti gibi mekanik özellikleri 50×50 mm 142,5 gr test numunesi hazırlanarak ölçülür. Yaş kumun mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Yaş kumun mekanik özellikleri (İLAVE ISLAK ÇEKME)

Compactability	% 43,2
Yaş Basma Mukavemeti	21 N/cm ²
Ezme Mukavemeti	4,6 N/cm ²
Kesme Mukavemeti	6,8 N/cm ²

Analizi yapılacak sistem kumunun kompaktibilite tayini şu şekilde yapılmıştır. Cihaz açıldıktan sonra analiz kabı 3 mm'lik elek altına yerleştirilir. Analizi yapılacak kum numunesi nemini kaybetmeden, hızlı bir şekilde 3mm'lik elekten elenerek analiz kabı içerisine serbest düşme yöntemi ile elenir ve hazne en üst seviyesine kadar doldurulur. Daha sonra analiz kabı yüzeyindeki kumlar bir sıyırıcı vasıtası ile düzlenir. Üzeri düzlenmiş analiz kabı cihazın piston kısmına yerleştirilir ve cihaz çalıştırılır. Yaklaşık 7 saniye sonunda ekranda analiz sonucu % değer olarak görülür. Şekil 4.2. (a)'de SIMPSON kompaktibility ölçüm cihazı gösterilmiştir.

Sistem kumundan 15-25 gr arası alınıp nem oranının ölçülmesi için hazneye koyulur. Cihaz çalıştırılır ve kapağı kapatılır. Cihaz otomatik olarak 115 °C' de numunenin hapsedmiş olduğu nemden kurtuluncaya kadar analize devam eder. Cihaz analiz bittiğinde sesli uyarı verir ve analiz sonucunu ekranda % olarak gösterir. Şekil 4.2. (b)'de SARTORIUS marka nem ölçme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. (a) Sıkıştırma test cihazı, (b) Nem ölçme cihazı

Sistem kumunun ıslak çekme mukavemetinin belirlenmesi için Şekil 4.3. (a)'de görülen SIMPSON marka ıslak çekme test cihazından yararlanır. İlk etapta cihazın açılarak rezistans sıcaklığının 300 °C'ye ulaşması beklenir. Hassas terazide 142-147 gr aralığında tartılan kum numunesi ıslak çekme mukavemet cihazının kabına konur ve 50×50 mm standart test numunesi hazırlanmak üzere prese yerleştirilir. Hazırlanan 50×50 mm standart test numunesi kabından çıkarılmadan ıslak çekme mukavemet cihazının kızağına sürülür. Cihaz 300 °C 'de 25 saniye boyunca numune yüzeyine ısı uygular ve 25 saniye sonunda bilezik kısmından koparır. Sonuç değeri cihaz üzerinde Newton cinsinden görülmektedir.

Sistem kumunun gaz geçirgenliği değerinin belirlenmesi için ise Şekil 4.3. (b)'de görülen SIMPSON gaz geçirgenliği test cihazından yararlanır. İlk olarak ayar kolu A pozisyonuna getirilerek basınç piston kolu yukarı çekilip (2000-1000) aralığında bir yerde tutulurken cihaz ayar kolu E pozisyonuna getirilerek sabitlenir. Daha önceden hazırlanmış olan 50×50 mm standart test numunesi borusundan çıkarılmadan, uzun boşluk kısmı aşağı gelecek şekilde cihaz haznesine yerleştirilir. Analize başlamak için

cihaz ayar kolu B pozisyonuna getirilir. Cihaz analizi bitirdiğinde göstergede değer sabitlenir ve cm^2 den geçen gaz miktarı olarak ekranda görünür.



(a)



(b)

Şekil 4.3. (a) Islak çekme test cihazı, (b) Gaz geçirgenliği ölçme test cihazı

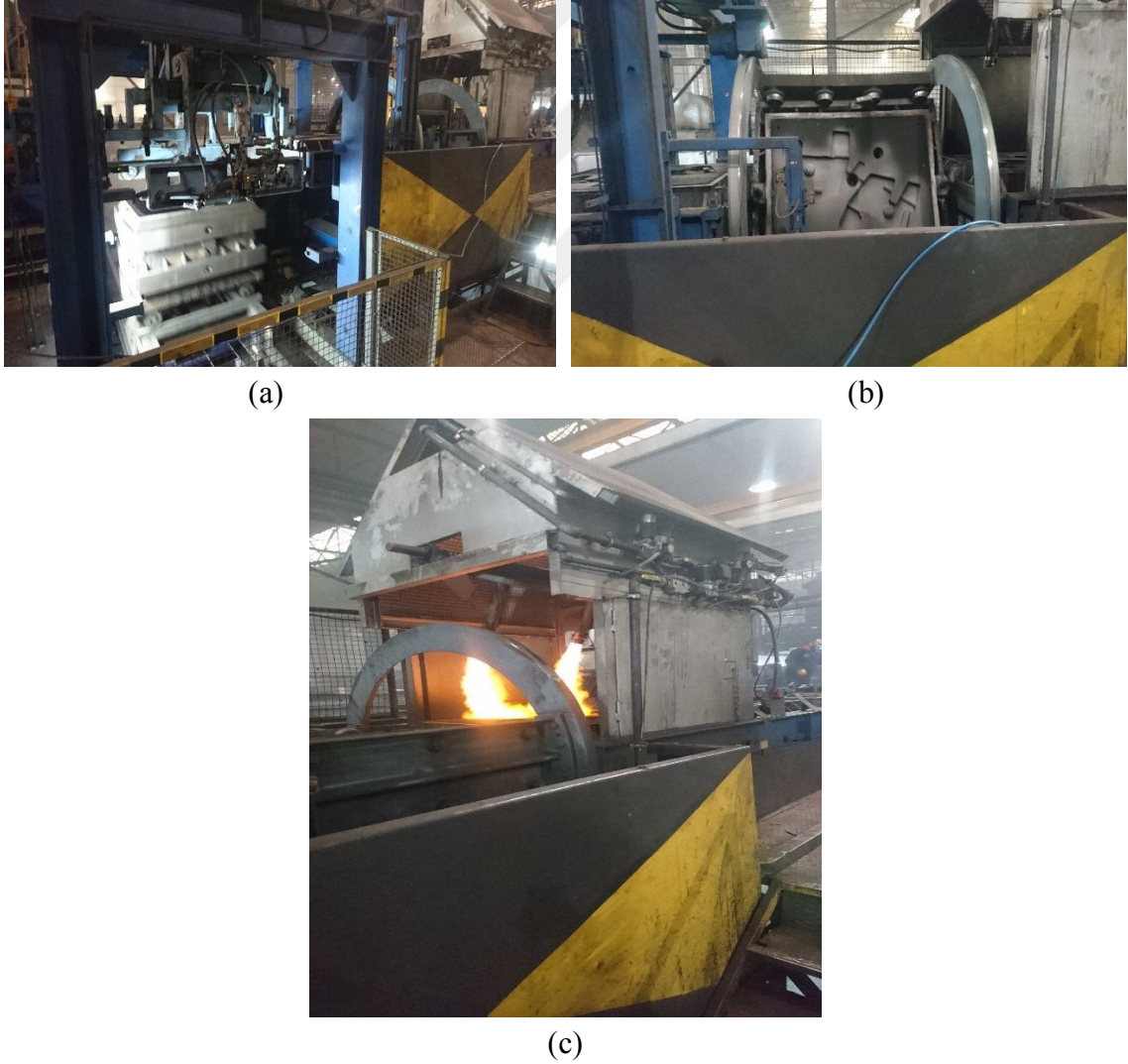


Şekil 4.4. Tümosan döküm fabrikası kum laboratuvarı

4.2. Otomatik Kalıplama Hattında Modelin Preslenmesi

Kum mikserinden gönderilen yaş kum konveyör bant sistemi ile HWS (Henric Wagner Sinto) 1000*600*800 kalıplama hattının 2,5 tonluk kum silosuna düşmektedir. Bu kısımda biriken yaş kum alt derece ve üst dereceye 250 şer kg olarak boşaltılır ve 70 bar'lık bir basınç ile kum preslenir.

Alt ve üst derece preslendikten sonra yatay kalıplama hattında dereceler glikoz ve grafit karışımı boya ile boyanır. Derecelerin boyanmasındaki amaç döküm yüzeyinin temiz şekilde çıkmasını sağlamaktır. Boyanan dereceler brülör ile ısıtılarak nemden arındırılır. Şekil 4.5. resimde görüleceği üzere alt ve üst derecenin birleşiminin sağlanması için üst derece 180° döndürülerek alt derecenin üzerine pimler sayesinde oturtulur ve kitlenir. Döküm hattında ilerleyen dereceler dökülecek sayı yakalandığı zaman sıvı metal pota ile hatta taşınır.



Şekil 4.5. (a) Alt ve üst derecenin birleşmesi, (b) Üst derecenin 180° dönmesi, (c) brülör yardımı ile derecelerin ısıtılması

Ergitme ocaklarından forklift ile alınan sıvı metal kalıplama hattına ait 7,5 tonluk vinç yardımı ile derecelere boşaltılır. 69 saniyede 1 derece preslenmektedir. 1 derecenin döküm süresi yaklaşık olarak 22 sn, döküm ağırlığı ise 205 kg dır. 1250 kg sıvı metali taşıyan pota ile 6 derece dökülebilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6 (a) Kalıplama hattı, (b)Döküme hazırlık (c) Döküm anı

Ergitme ocaklarında sıvı metal sıcaklığı 1370-1385 °C iken döküm sıcaklığı ise 1310-1330 °C dir. Sıvı metal sıcaklığında soğuk havalarda ergitme ocaklarından döküm hattına getirilene kadar 50-60 °C aralığında düşüş yaşanır. Sıcaklık ölçer ile ölçülen sıvı metal istenilen sıcaklığa geldiği anda derecelere dökülmeye başlanır.

Dökülen dereceler soğuması için soğutma tünellerine gönderilir. Soğutma tünellerinde belirli bir süre bekleyen dereceler derece bozma ünitesinde bozularak parçanın sarsağa düşmesi sağlanır. Sarsakta temizlenen döküm malzemesi NİRVANA marka Unrobot kol ucundaki magnet sayesinde paletlere dizilir ve havada soğutmaya bırakılır. Parçalar soğuduktan sonra kumlama ünitesine alınır. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken husus derecelerin soğutma tüneline erken çıkarılmaması olacaktır. Erken bozulan derecelerde malzemelerin hızlı soğumadan dolayı sert düşme tehlikesi vardır. Bu duruma dikkat etmek gerekir.



Şekil 4.7. (a) Unrobot , (b) Havada soğumaya bırakılmış malzemeler

4.3. Ergitme Ocaklarında Sıvı Metalin Hazırlanması

Sıvı metalin hazırlanması işlemi ergitme ünitesinde bulunan EGES marka 3 ton 3000 kw lık 1 ve 2 no'lu indüksiyon ocaklarında gerçekleştirilmiştir. Aynı gün içerisinde 1 no'lu ergitme ocağında Met-SiC, 2 no'lu ergitme ocağında ise Fe-Si denemesi yapılmıştır. Bu ocaklardan yapılacak deneyler için ayrı ayrı döküm alınmıştır.

4.3.1. Met- SiC ile Sıvı Metalin Hazırlanışı



Şekil 4.8. Metalurjik Silisyum Karbür (Met-SiC)

Dökülecek olan malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.3'de, ergitme ocağına şarj edilecek pikin kimyasal kompozisyonu ise Çizelge 4.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Tümosan Dt Ön Aks Mesnedi Kimyasal Kompozisyonu

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P	Al	V	Mg	Co	Fe
%	3,40 3,55	1,60-1,75	0,50-0,80	0,07- 0,10	0,1- 0,2	0,15	0,03	0,004	0,005	<0,001	0,01	93,83

Met- SiC % 90'lik saflıktadır. Saf SiC İçerisinde %70,50 Si, %29.50 C bulunmaktadır. Met-SiC içerisinde kullanılabilen;

$$\text{Si miktarı} \longrightarrow 90 \times 0,705 = \%63,5 \text{ Si}$$

$$\text{C miktarı} \longrightarrow 90 \times 29,5 = \% 26,5 \text{ C dur.}$$

Çizelge 4.4. Pik Analizi

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	P
%	3,85	0,73	0,20	0,01	0,02	0,05

Çizelge 4.3'de belirtmiş olduğum kimyasal kompozisyona göre ergitme ocağına şarj edeceğimiz malzemelerin hesaplamalarını yapabiliriz.

Çizelge 4.5. Şarj miktarları ve içerdikleri oranlar

Şarj edilen malzemeler	Kg	%C	%Si
Pik	1500	3,85	0,73
Hurda Çelik	1500	0	0
Döngü Malzeme	300	3,50	1,75

C hesabı:

$$\frac{[(1500 \times 3,85) + (300 \times 3,5)]}{3300} = 2,06$$

Si Hesabı

$$\frac{[(1500 \times 0,73) + (300 \times 1,75)]}{3300} = 0,49$$

SiC Hesabı

$$\frac{[(1,7-0,49) \times 3300]}{63,5} = 62,88 \text{ Kg SiC } (\% 26,5 \text{ C var}) \longrightarrow = 16,66 \text{ Kg C}$$

Şarj edilecek C miktarı

$$\frac{[(3,45 - 2,06) \times 3300]}{90} = 51 \text{ Kg C} \longrightarrow 51 - 16,66 = 34,34 \text{ Kg C}$$

ilavesi yapılacaktır.

Yukarıdaki hesaplamalardan sonra Met- SiC ile hazırlanacak olan sıvı metal için ergitme ocağına 1500 kg pik, 1500 kg hurda çelik sac, 300 kg döngü hurda, 62,88 kg SiC, 33,34 kg C şarjı yapılarak sıvı metalin istenilen kimyasal analizi yakalanmaya çalışılmıştır. Cürufu alınan sıvı metal ergitme ocağından 1250 kg'lık döküm potasına aktarılır. Aktarma esnasında pota sıvı metal miktarının % 0,3'ü kadar Ca esaslı aşılایıcı malzeme pota içerisinde homojen bir şekilde eritilir. Sıvı metal daha sonra derecelere boşaltılır.



Şekil 4.9. Ergitme ocağına malzeme şarjı

Met-SiC ile hazırlanacak ergitme ocağı için **62,88 Kg SiC + 34,34 Kg C** kullanılacaktır.

4.3.2. Fe-Si ile Sıvı Metalin Hazırlanışı

Çizelge 4.3'de gösterilen kimyasal kompozisyonun yakalanabilmesi için Fe-Si ile hazırlanan ergitme ocağının kimyasal hesaplanması aşağıdaki gibidir. Şekil 4.10'da Fe-Si görüntüsü verilmiştir.

C hesabı:

$$\frac{[(1500 \times 3,85) + (300 \times 3,5)]}{3300} = 2,06$$

3300

Şarj edilecek Fe-Si Miktarı

$$\frac{(1,70 - 0,49) \times 3300}{65} = 61,40 \text{ kg Fe-Si}$$

65

Si Hesabı

$$\frac{[(1500 \times 0,73) + (300 \times 1,75)]}{3300} = 0,49$$

3300

Şarj edilecek C miktarı

$$\frac{(3,45 - 2,06) \times 3300}{90} = 51 \text{ kg C}$$

90

Fe-Si ile hazırlanacak ocak için ise **61,40 kg Fe-Si + 51 Kg C** kullanılacaktır.



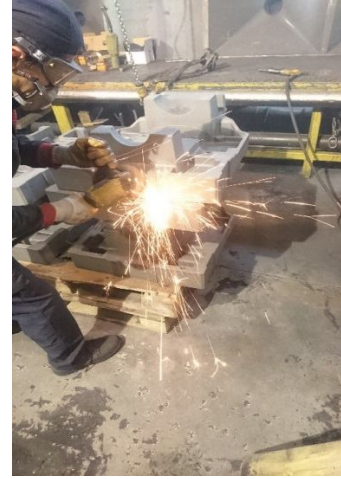
Şekil 4.10. Ferro Silisyum (Fe-Si)

4.3.3. Kumlama, Taşlama ve Boyama İşlemi

Döküldükten sonra soğutma hattında belirli bir süre bekletilen malzemeler derece bozma işleminin ardından, yüzeylerindeki kumdan arındırılmak üzere DMS marka 6 türbinli S-460 çelik granül bombardımanı yapabilen kumlamam makinasına sevk edilir.(Şekil 4.11.a). Bu bölümde malzemeler yüzey kalitesinin daha iyi olabilmesi için her askıda 3 malzeme olacak şekilde asılarak 8 dk lık bir granül bombardımanına tutulur. Kumdan arındırılan malzemeler meme girişleri ve diğer yüzey çapakları alınmak üzere taşlama bölümüne sevk edilir.(Şekil 4.11.b). Taşlama bölümünde yan yüzeylerdeki çapaklar ve yüzeyde kalan kum sinteri flex ve havalı tabanca ile temizlenerek boyama işlemine sevk edilir (Şekil 4.11.c). Anti korozif astar boya, spreyle malzemenin bütün yüzeyine nüfuz ettirilir. Boyama işleminin ardından malzemenin çıkışı yapılarak montaj hattına sevki gerçekleştirilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.11. (a) Kumlama İşlemi, (b) Taşlama işlemi, (c) Boyanan Malzeme

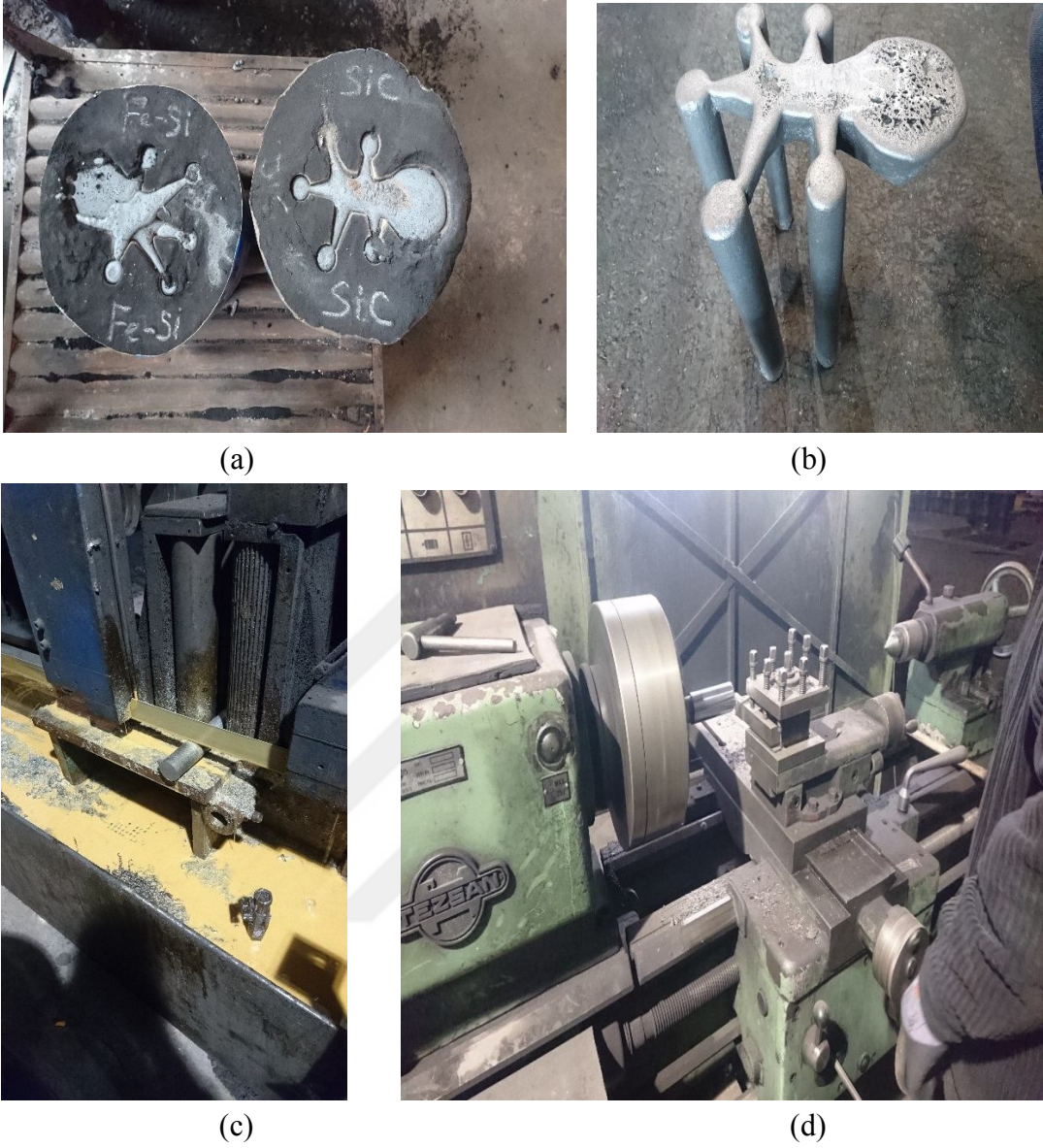
4.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney numunelerinin hazırlanması işlemi TŪMOSAN DŌKŪM A.Ş. 'de gerçekleřtirilmiřtir. Deneyler için 5'li bir kum kalıp oluřturulmuřtur. Met-SiC ve Fe-Si için ayrı ayrı oluřturulan kum kalıplardan 5'er adet çekme numunesi çubuęu, 5'er adet darbe numunesi çubuęu ve 5'er adet mikroyapı numunesi hazırlanmıřtır. Numuneler istenilen ASTM standartlarına uygun Őlulerde oluřturulmuřtur. 32x250 mm Őlulerinde silindirik bir boru model olarak kullanılmıřtır. Model kalıbı oluřturulduktan sonra dŌkŪm iřlemi gerçekleřtirilmiřtir. DŌkŪlen 32x250 mm Őlulerinde 5 adet numunenin her birinden darbe deneyi için 32x60 mm, çekme deneyi için 32x130 mm, mikroyapı kontrolŪ için 32x40 mm Őlulerinde numuneler řerit testere yardımı ile kesilerek kontrole hazır hale getirilmiřtir. Numune kalıbının hazırlanıřı dŌkŪmŪ ve bozuluruřu Őekil 4.12'de gŌsterilmiřtir.



Şekil 4.12. Deney numunelerinin kalıbının hazırlanışı

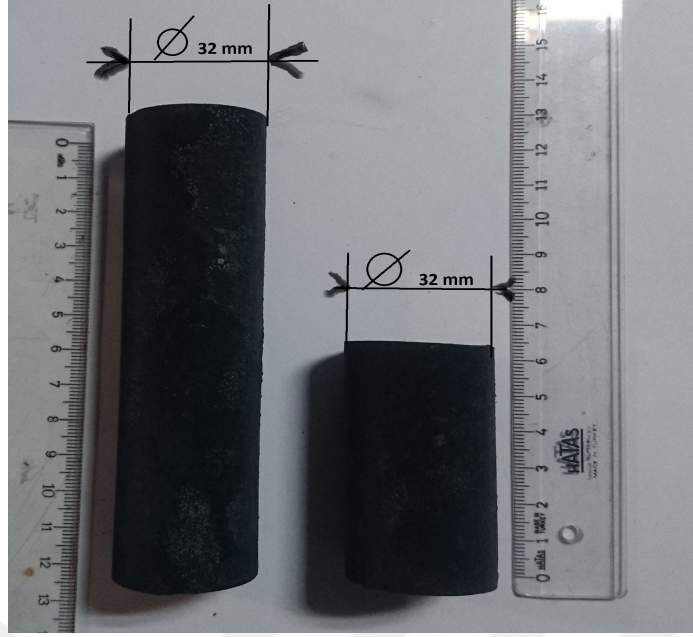
Döküm numune kalıpları Fe-Si ve Met-SiC için ayrı ayrı kalıplanmıştır. İki kalıba da sıvı metal giriş sıcaklığı 1310-1325 °C aralığında ölçülmüştür. Dökülen numuneler kum kalıp içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Bundan sonraki aşama bozulan kalıbın içerisinde çıkan döküm numunelerinin taşlanması ve yolluklarının kesilmesi işlemidir. Yolluk kısımlarından ayrılan döküm numuneleri mikroyapı, çekme ve darbe numunelerinin hazırlanması için şerit testere ile istenilen ölçülere kesilir. Şekil 4.13'te her iki kalıba ait döküm şekli, kumlama ve kesme işlemleri gösterilmiştir.



Şekil 4.13. (a) Numune kalıpları, (b) Kumlanmış numune, (c) Kesme işlemi, (d) Tornalama

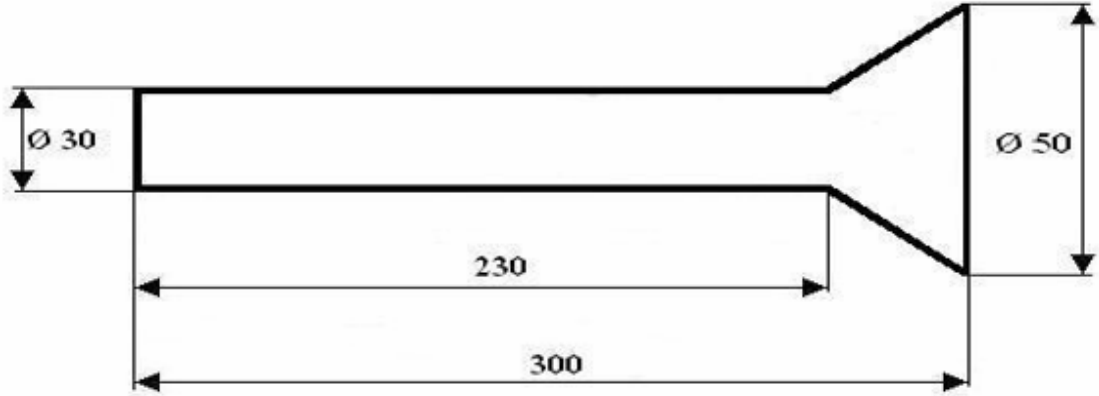
4.4.1. Çekme Testi Numunelerinin Hazırlanması

Çekme testi için hazırlanacak numune esas numuneyi temsil etmektedir. Testi yapılacak olan numunenin boyutsal ölçüleri TSE EN ISO 6892-1 standartlarına göre hazırlanmıştır. Şekil 4.14'de istenilen ölçülere göre kesilmiş çekme ve darbe numuneleri yer almaktadır.

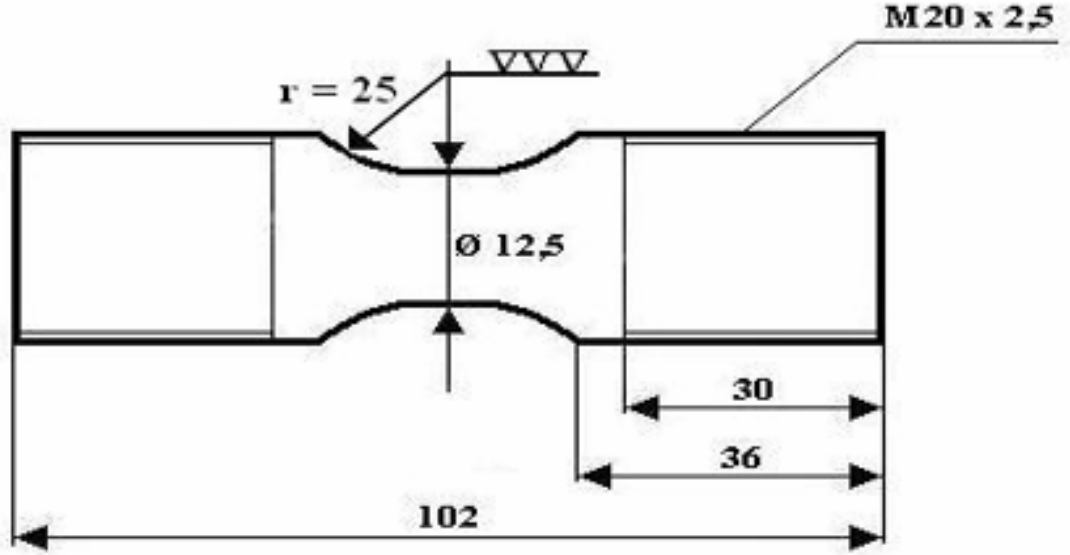


Şekil 4.14. Döküm çekme ve darbe numune ölçüleri

Lamel grafitli dökme demirler için TSE'nin belirlemiş olduğu çekme numunesi kalıp ve numunenin işleneceği ölçüler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Çekme numunesi kalıp ölçüleri



Şekil 4.16. TSE EN ISO 6892-1 çekme numunesi ölçüleri

Çekme çubuğu numuneleri BAYKAR OTOMOTİV SANAYİ VE TİC. LTD. ŞTİ.'nde Şekil 4.17'de görüldüğü gibi torna tezgahında işlenmiştir.



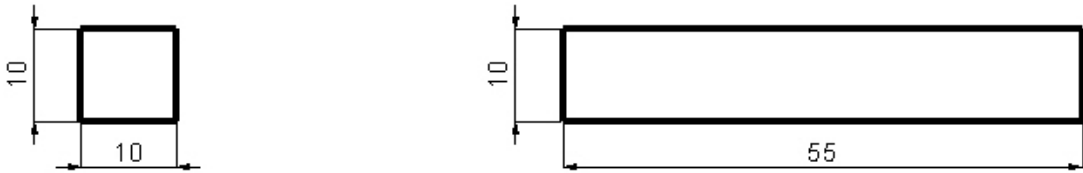
Şekil 4.17. Çekme testi numunesinin torna tezgahında işlenmesi

4.4.2. Darbe Testi Numunelerinin Hazırlanması

Şekil 4.14'te 32x60 mm ölçülerinde kesilen silindirik numune TSE EN ISO 148-1 standartlarına uygun olarak 10x10x55 mm ölçülerinde BAYKAR OTOMOTİV SANAYİ VE TİC.LTD.ŞTİ.'nde Şekil 4.18'de görüldüğü gibi torna tezgahında işlenmiştir. Şekil 4.19'da ise standartlara uygun numunenin işleneceği ölçüler verilmiştir. Darbe testi SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ METALURJİ VE MALZEME LABARATUVARINDA bulunan ALŞA marka darbe test cihazı ile yapılmıştır. Şekil 4.20'de darbe test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Darbe testi numunesinin CNC tezgahında işlenmesi



Şekil 4.19. TSE EN ISO 148-1 darbe numunesi ölçüleri



Şekil 4.20. Darbe Test Cihazı

4.4.3. Mikroyapı Numunelerinin Hazırlanması

Deney numuneleri Tümosan Döküm A.Ş. laboratuvarında hazırlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri ise SELÇUK ÜNİVERSİTESİ malzeme laboratuvarında 50X,100X,200X büyütmelemlerde bakılarak görüntüler kayıt altına alınmıştır. Met-SiC ve Fe-Si'e ait 5 er numuneden ayrı ayrı 2 numune oluşturulmuştur. Toplamda 20 adet numunenin 10 tanesi dağlamalı, 10 tanesi normal olarak hazırlanmıştır. Numuneler kesme cihazında kesildikten sonra zımparalama ve parlatma işlemi yapılmıştır. Zımparalama işlemi 4 farklı mesh boyutlu aşındırıcı kullanılarak yapılmıştır. Zımparalama işlemi ile yüzeyde homojen derinlikler elde edildikten sonra parlatma işlemine geçilmiştir.

Parlatma işlemi WOOL 39-095-300 Ø300 mm, %100 yün çuha, 6-3 mikron elmas süspansiyon ile yapılmıştır. Parlatma işlemi ile ayna yüzey elde edilmiştir. Numunelerden Met-SiC ve Fe-Si 'a ait 5 er numune toplamda 10 numuneye dağlama işlemi uygulanmıştır.

Dağlama işlemi %2'lik Nital ($2\text{ml HNO}_3 + 98\text{ml CH}_3\text{OH}$) ile yapılarak numuneler mikroyapı kontrolü için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.21'de metalografik incelemede METKON firmasına ait cihazlar kullanılmıştır.



(a)



(b)



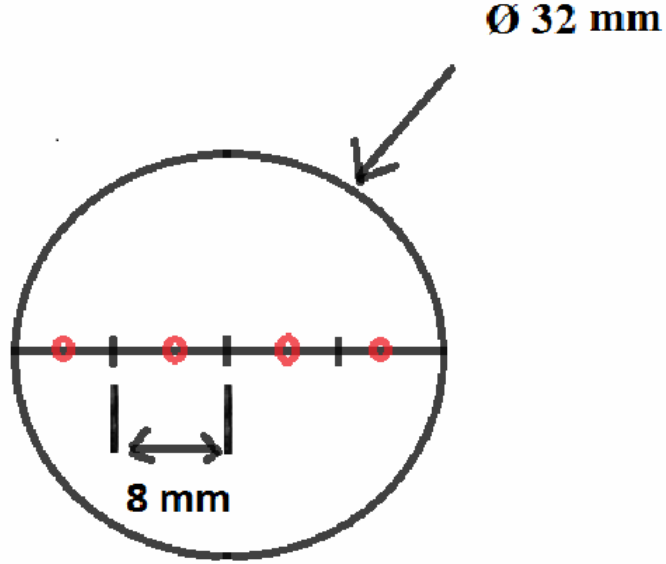
(c)

Şekil 4.21. (a) Kesme cihazı, (b) Zımpara ve Parlatma Cihazı, (c) Metal Mikroskobu

4.4.4. Brinell Sertlik Deneyi

Sertlik ölçümü 32×250 mm ölçülerinde dökülen numuneden, darbe deneyi için 32×60 mm ölçülerinde kesilmiş numune üzerinden yapılmıştır. 10 adet sertlik ölçümü Tümosan Döküm A.Ş laboratuvarına ait WOLPERT-WERKE marka Brinell sertlik

cihazı ile yapılmıştır. Sertlik ölçümü numune üzerinden 8'er mm aralıklar ile 4 noktadan kontrol edilmiştir. Şekil 4.22' de sertlik ölçüm noktaları gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Sertlik ölçüm noktalar

4.4.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemesi

Çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında BRUGER marka SEM cihazı ile farklı büyütme oranlarında kontrol edilmiştir.

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Kimyasal Analiz İncelenmesi

Ferro silisyum (Fe-Si) ile şarj edilen ocağın kimyasal analizi Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Fe-Si ile şarj edilmiş ocağın kimyasal analizi

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P
%	3,46	1,70	0,62	0,08	0,11	0,15	0,02

Sıvı metal ergitme ocağından potaya aktarıldığı esnada potanın içerisine %0,3'lük Ca esaslı aşırı takviyesi yapılır. 1 tonluk potaya girilen 3kg'lık aşırı Si oranını %1,90- 2,00 seviyelerine çekmektedir. Bu aşırı takviyesinin amacı; sıvı metalin akışkanlığının artırılmasının yanında bu sıvı metalden alınacak numunenin mikro yapısında homojenliği sağlamaktır.

Yani homojenlikten kasıt mikroyapı içerisindeki lamellerin dağılımının homojenliğidir ki bu özellikte malzemenin mekanik özelliklerine büyük fayda sağlamaktadır.

Çizelge 5.2'de Metalurjik silisyum karbür (Met- SiC) ile şarj edilmiş ocağa ait kimyasal analiz gösterilmiştir.

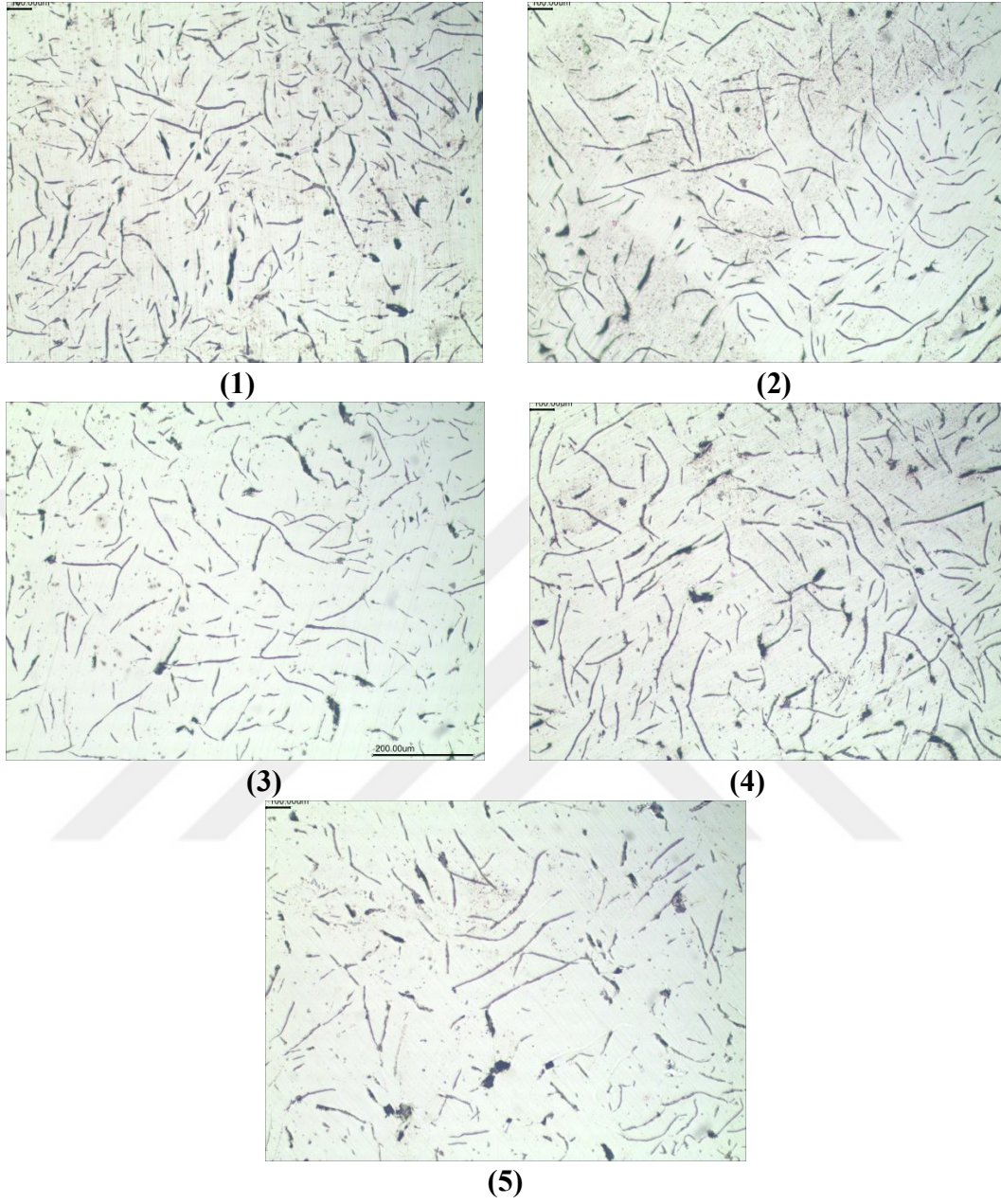
Çizelge 5.2. Met- SiC ile şarj edilen ocağın kimyasal analizi

Kimyasal element	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	P
%	3,44	1,71	0,61	0,07	0,13	0,15	0,03

Aynı şekilde ergitme ocağından potaya sıvı metal aktarımı esnasında 1 tonluk potaya %0,3 lük Ca esaslı aşırı girilmiştir. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken husus aşırının pota içerisinde iyi bir şekilde erimesinin sağlanmasıdır aksi takdirde istenilmeyen hatalarla karşılaşabiliriz.

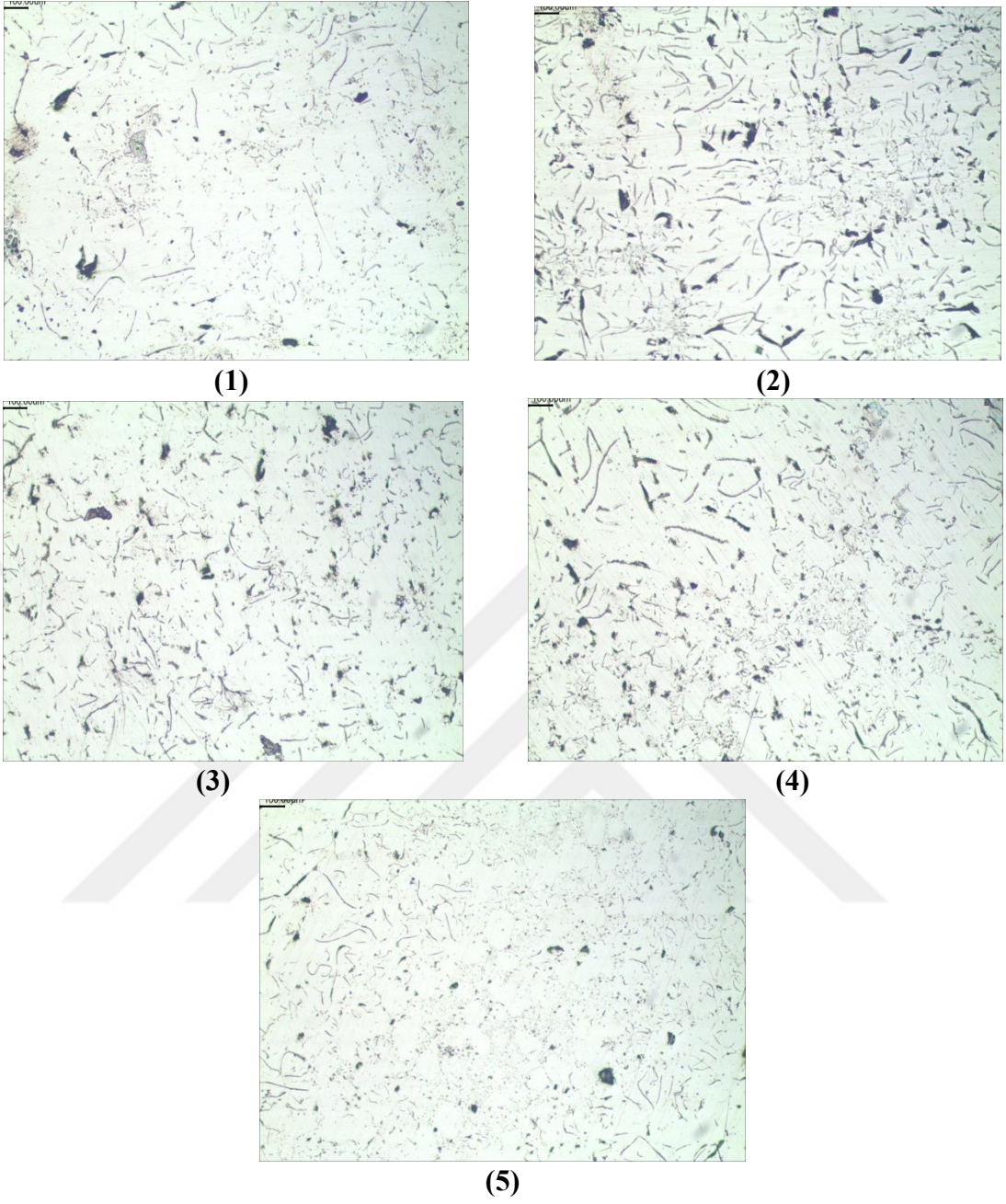
5.2. Mikroyapıların Değerlendirilmesi

Fe- Si ile hazırlanan numunelere ait mikroyapı görüntülerine Şekil 5.1 'de yer verilmiştir.Şekillerde de görüldüğü üzere lameller oldukça homojen dağılarak istenilen A tipi grafitler elde edilmiştir.



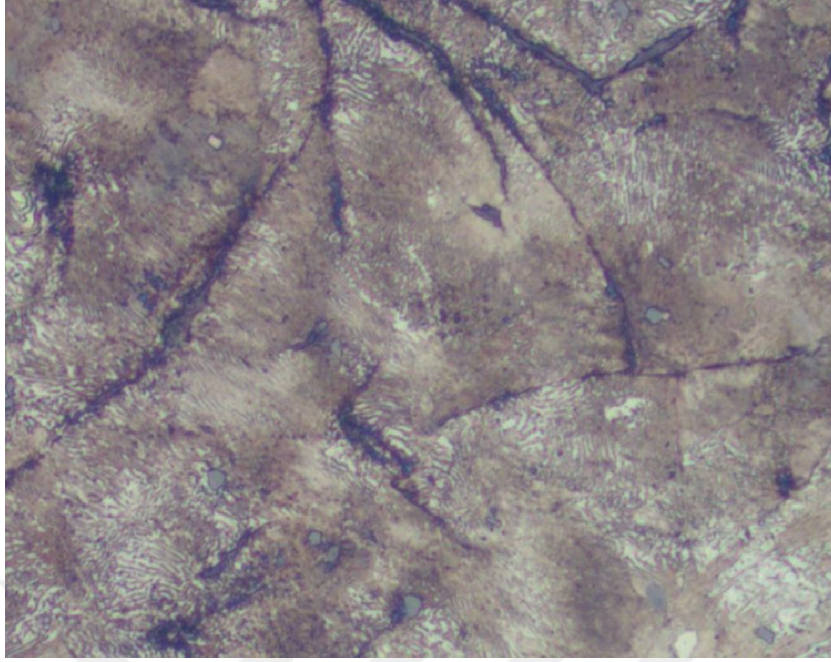
Şekil 5.1. Fe-Si numunlerine ait 100X büyütme mikroyapı görüntüleri

Şekil 5.2’de ise Metalurjik silisyum karbür (Met-SiC) ile hazırlanmış numunelere ait mikroyapı resimlerine yer verilmiştir.



Şekil 5.2. Met- SiC numunelerine ait 100X büyütme mikroyapı görüntüleri

Yukarıdaki mikroyapı görüntülerinde homojenlikten kesinlikle söz edilememektedir. Dağınık bir lamel grafit şekli söz konusudur. Bu görüntünün sebebi yüksek sıcaklıklara çıkılarak eritilen Met- SiC' ün ergitme ocağı içerisinde 1500 °C lere çıkılmasına rağmen erimemesidir.



Şekil 5.3. 1 nolu Fe-Si numunesine ait dağlanmış mikroyapı görüntüsü



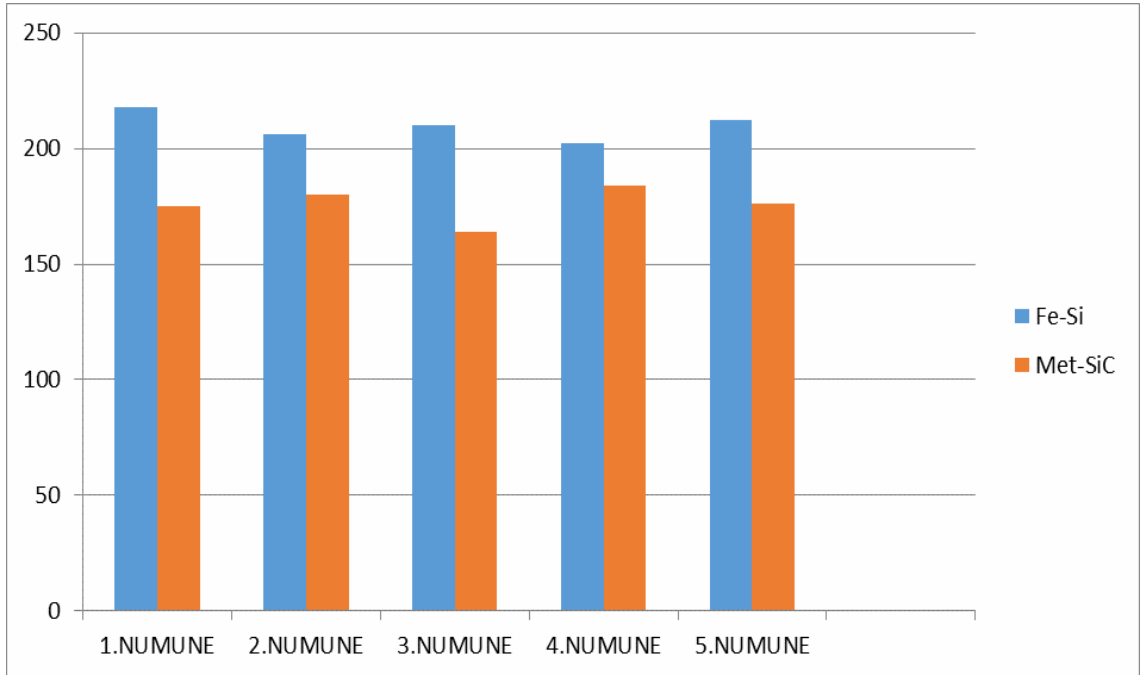
Şekil 5.4. 1 nolu Fe-Si numunesine ait dağlanmış 200X görüntüsü



Şekil 5.5. 1 nolu Met-SiC numunesine ait dağlanmış 200X görüntüsü

Fe-Si numuneleri Met-SiC numunelerine göre daha perlitik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

5.3. Sertlik Sonuçları

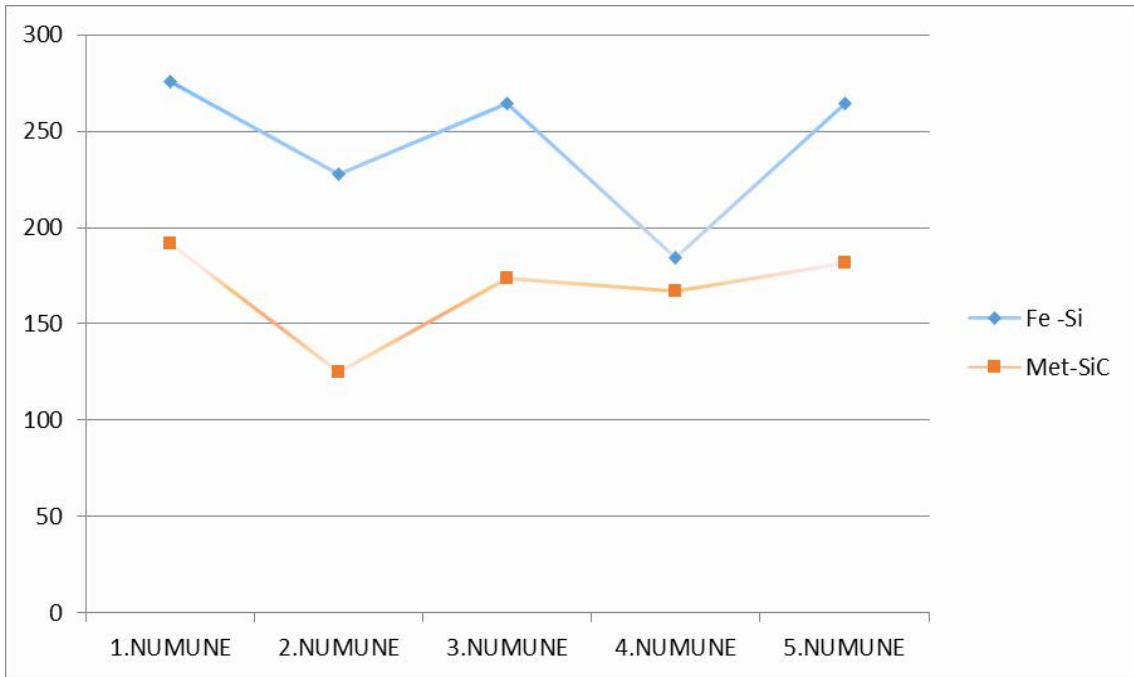


Şekil 5.6. Brinell sertlik sonuçları

Bilindiği üzere, dökme demirlerin mekanik özellikleri, grafit morfolojisine, (şekil, dağılım, miktar ve boyuta) ve matris yapılarına (ferrit, perlit) bağlıdır. Araştırmalar sonucu matris yapısındaki perlit oranının artışı ve grafit morfolojisindeki düzenli dağılımın sertlik değerini arttırdığını göstermektedir.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4' teki resimlerde görülen perlitik yapı malzemenin mekanik özelliklerinden olan sertliği önemli oranda etkilemektedir. Mikroyapıdaki perlitik yapı ne kadar fazla olursa malzemenin sertliği bir o kadar artmaktadır. Mikroyapıdaki ferritik perlitik oran göz önünde bulundurulduğunda Fe-Si' ye ait numunenin sertliğinin daha fazla olması kaçınılmazdır.

5.4. Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 5.7. Çekme deneyi sonrası σ_{max} değerleri

Şekil 5.7'de ki grafikten yola çıkarak Fe-Si numunelerinin Met-SiC numunelerine göre daha mukavemetli bir tavır sergilemiş olduğunu görmekteyiz. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2. deki mikroyapılar incelendiğinde Şekil 5.1 e ait mikroyapılardaki lamel grafitlerin düzenliliği malzemenin çekme dayanımını artırırken Met-SiC'e ait Şekil 5.2 deki mikroyapılardaki düzensizliğin ise çekme dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.3. Numunelere ait σ_{\max} ve ϵ değerleri

Numune No.	Fe-Si		Met- SiC	
	σ_{\max} (N/mm ²)	ϵ	σ_{\max} (N/mm ²)	ϵ
1	276,0	0,11	191,5	0,12
2	227,4	0,11	124,8	0,09
3	264,5	0,11	173,4	0,08
4	184,2	0,09	166,8	0,10
5	264,6	0,12	181,9	0,08

- Fe-Si ye ait σ_{\max} değerlerinin standart sapma hesabı;

$$S.S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad A.O = 243,34$$

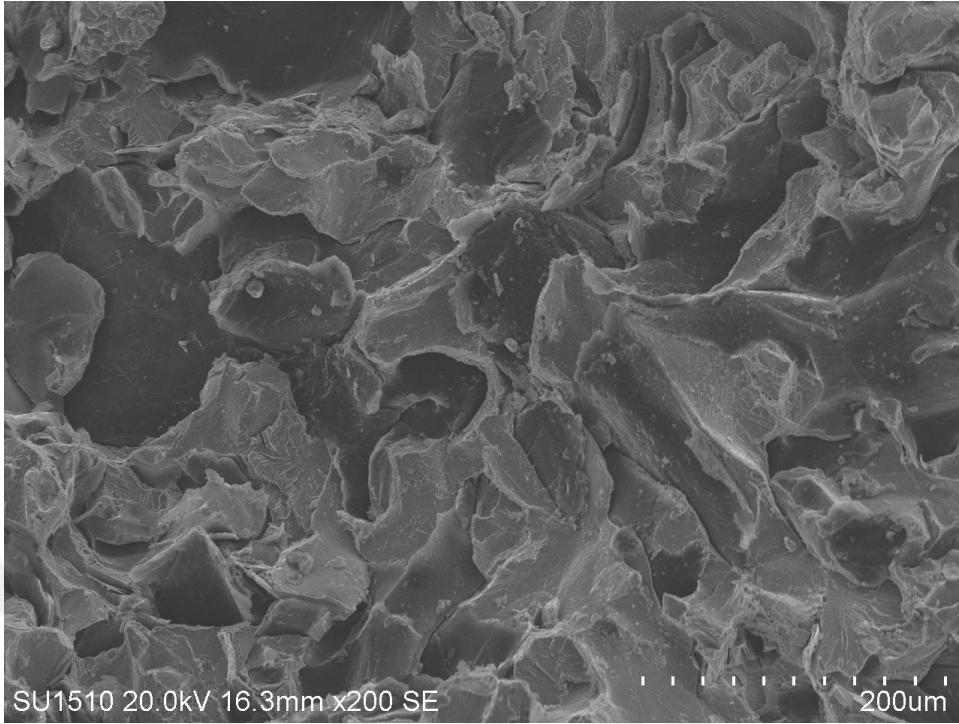
$$S.S = 55,04$$

- Met-SiC' e ait σ_{\max} değerlerinin standart sapma hesabı;

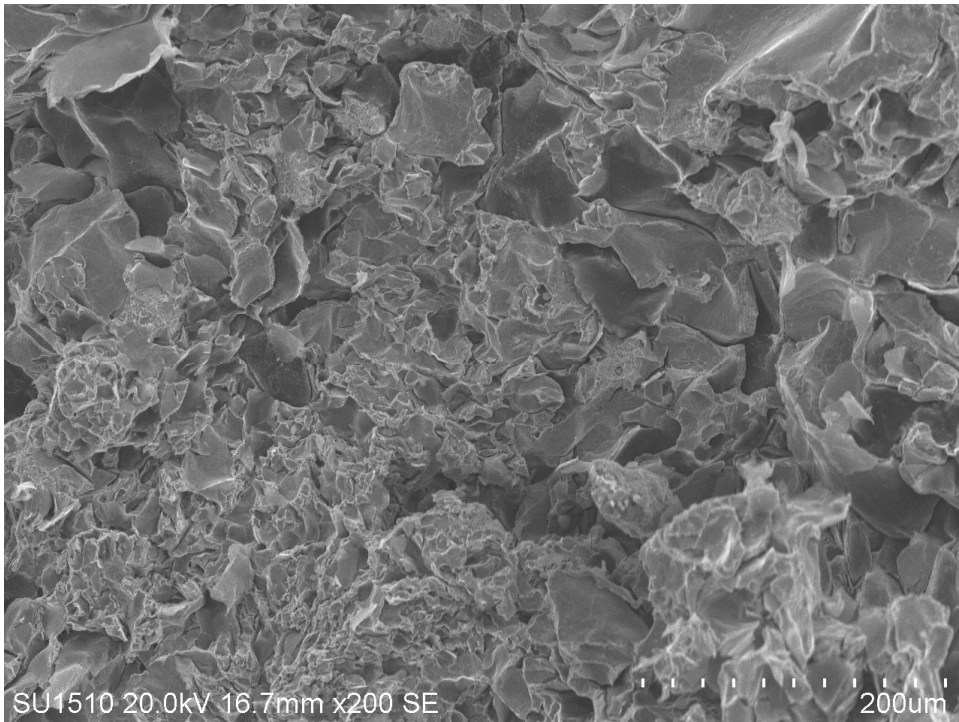
$$S.S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad A.O = 167,68$$

$$S.S = 25,69$$

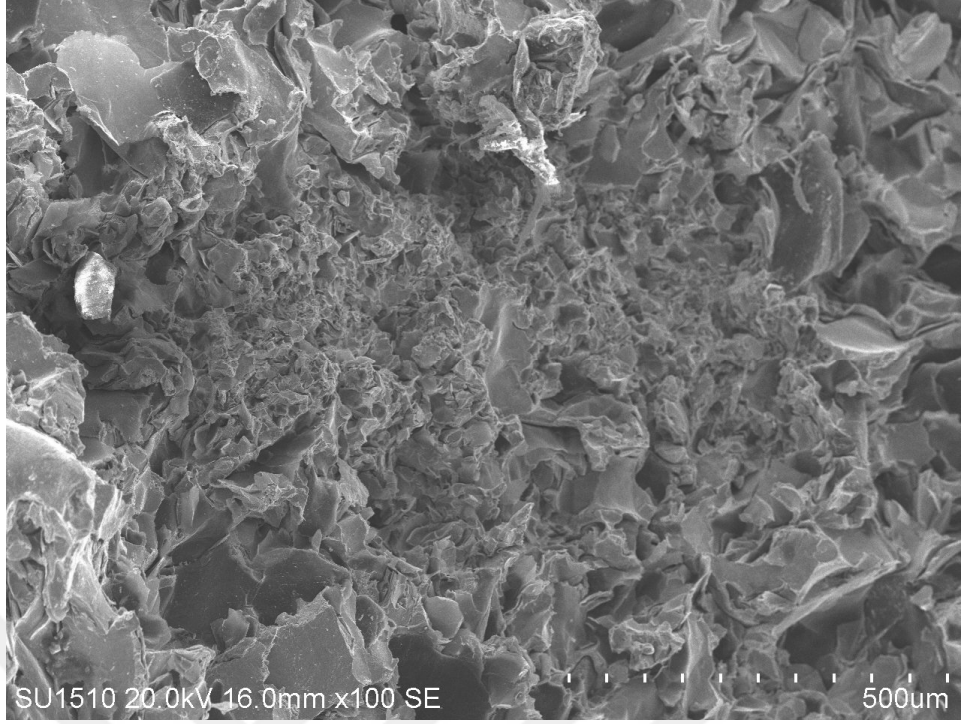
5.4.1. Kırılma Yüzeyi SEM Görüntülerinin Yorumlanması



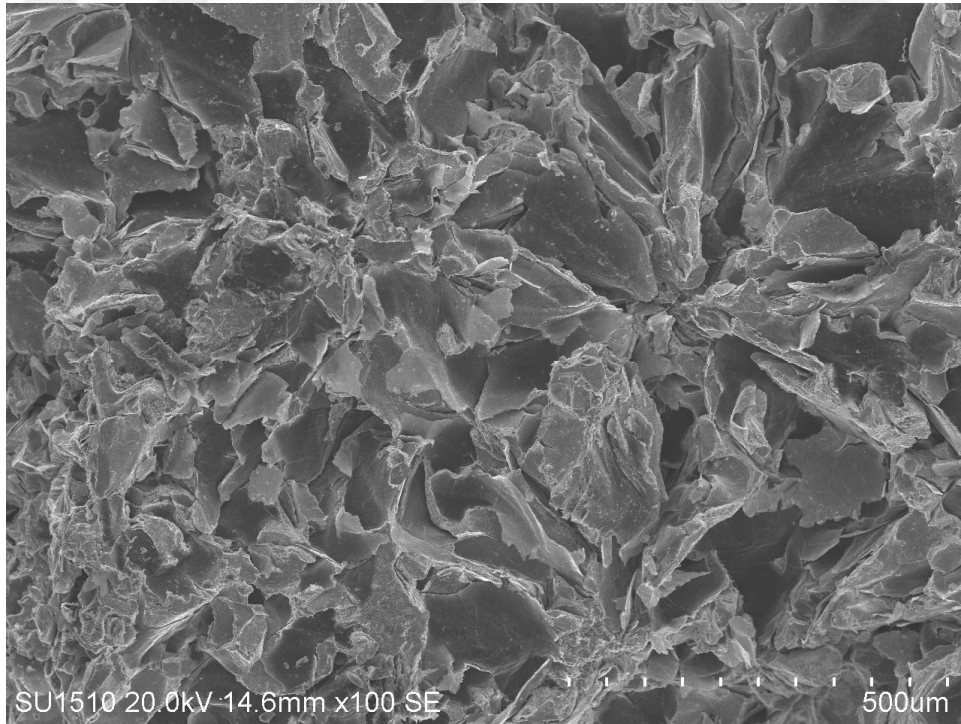
Şekil 5.8. Fe-Si numunesine ait 200x SEM görüntüsü



Şekil 5.9. Met-SiC numunesine ait 200x SEM görüntüsü



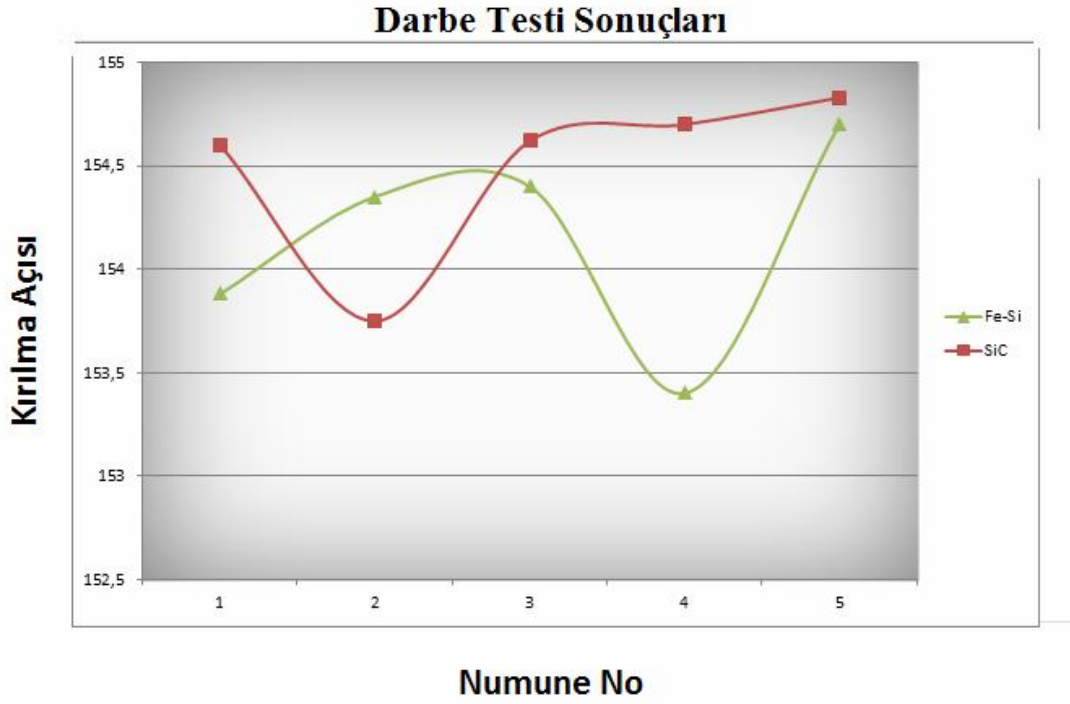
Şekil 5.10. Met-SiC numunesine ait 100X SEM görüntüsü



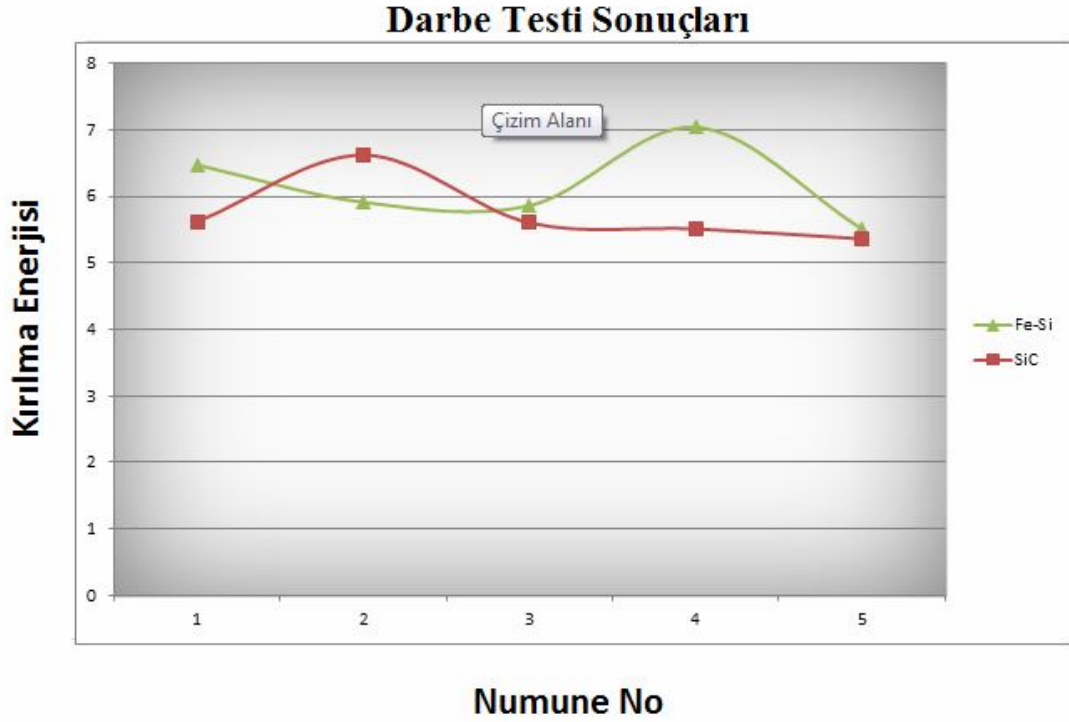
Şekil 5.11. Fe-Si numunesine ait 100X SEM görüntüsü

Fe-Si ve Met-SiC numunelerine ait SEM görüntüleri incelenmiştir. Fe-Si numunelerinin genel kopma tavrı sünek iken Met-SiC numunelerine ait SEM görüntülerinin genel kopma tavrı ise gevrek'tir. Lamel yapılarıdaki düzensizlik Met-SiC 'e ait 100X ve 200X büyütmelemlerde de görüldüğü gibi çentik etkisi yaparak bölgesel kopma tavrının gevrek olmasına neden olmuştur.

5.5. Darbe Deneyi Sonuçları



Şekil 5.12. Kırılma Açısı Sonuçları



Şekil 5.13. Kırılma Enerjisi Sonuçları

Darbe dayanımı sertlik ile ters orantılıdır. Ayrıca gri dökme demir içerisinde bulunan perlit dokusu ferrit dokusuna nazaran malzemeye süneklilik değil de sertlik verdiği için darbe dayanımları artan sertlik değeri ile azalmıştır. Met-SiC ve Fe-Si numunelerine ait kırılma enerjileri birbirine yakın değerlerdedir.

5.6. Maliyet Analizi

Metalurjik Silisyum Karbür (Met-SiC) ve Ferro Silisyum (Fe-Si) ile şarj edilen ocaklara ait veriler aşağıdaki gibidir.

Kullanılan malzemeler;

62,88 Kg SiC + 34,34 Kg C (Met-SiC)

61,40 kg Fe-Si + 51 Kg C (Fe-Si)

Değişken sadece iki parametre olduğu için ocağa şarj edilen diğer malzemeler yazılmamıştır.

Çizelge 5.4. Şarj malzemelerinin fiyat tablosu

Malzeme Adı	\$ / Ton	TL/Kg
FeSi	1700	8,29
M-SiC	870	4,24
C	1200	5,85

$$62,88 \text{ Kg SiC} + 34,34 \text{ Kg C (Met-SiC)} \rightarrow 266,61 + 200,88 = 467,49 \text{ TL}$$

$$61,40 \text{ kg Fe-Si} + 51 \text{ Kg C (Fe-Si)} \rightarrow 521,9 + 298,35 = 820,25 \text{ TL}$$

Aynı kimyasal bileşime sahip aynı şarj miktarına sahip iki farklı ergitme yönteminde daha karlı olan parametre Met-SiC' dür. Dolar kur fiyatı 4,8 usd/tl'den hesaplanmıştır.

$$820,25 - 467,49 = 352,76 \text{ TL (Bir ocakta ki kazanç)}$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Yapılan mekanik deneyler sonucunda Fe-Si' ye ait numunelerin Met-SiC numunelerine göre daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir. Sertlik ölçümlerinde Fe-Si' ye ait numunelerde ortalama sertlik değeri 214 HB iken Met-SiC' e ait numunelerde ortalama değer 172 HB olarak ölçülmüştür. Görüldüğü gibi % 25 lik bir sertlik artışı mevcuttur. Çekme deney sonuçlarına göre aritmetik ortalamalar hesaplanmış Fe-Si için $A.O=243,34 \text{ N/mm}^2$, Met-SiC için $A.O= 167,68 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir. Fe-Si numunelerinin çekme dayanımı daha yüksektir. Darbe dayanımı ölçüm sonucunda kırılma açısı ve enerjisi değerleri birbirine yakın değerler görülmüştür. Metalurjik kontrol sonucunda mikroyapı görüntülerinden yola çıkarak Fe-Si' ye ait numunelerin mikroyapısındaki lamel grafitlerin dağılımının daha homojen ve istenilen boyutta olduğu görülmüştür. Met-SiC' e ait mikroyapı görüntülerinde dağınık dağılımın yanı sıra kararsız bir yapı hakimdir. Bu durum mekanik özellikleri etkileyen en önemli unsurdur. Met-SiC ekonomik anlamda Fe-Si' a göre daha avantajlıdır. Ancak malzemelerin mekanik davranışlarına baktığımız zaman Fe-Si'a ait numunelerin daha kararlı olduğunu görmekteyiz. Met-SiC ekonomik anlamda daha avantajlı Fe-Si 'ye göre ancak Met-SiC'ü eritebilmek için çok yüksek güçlere çıkmak gerekmektedir. Yüksek güçlere çıkmak demek elektrik maliyetinin artması demektir. Bunun yanında yüksek güçlere çıkıldığı zaman ocak içerisindeki sıvı metal sıcaklığı 1600 °C leri bulacaktır. Yüksek sıcaklıklar zamanla ocak içerisindeki refrakteri yıpratarak refrakter ömrünü kısaltacaktır bu durum hem tehlikeli hem de ekonomik anlamda firmayı zarar uğratabilecek bir husustur. Yapılan hesaplamalar sonucunda Met-SiC kullanılması sonucu bir ocaktaki kazanç 352,76 tl'dir. Gün içerisinde 10 ocak alan bir işletmedeki günlük kar miktarı 3500 tl aylık kazanç ise 75000 tl ye yakın rakamlardır.

6.2 Öneriler

Met-SiC hassas olmayan parçaların üretiminde kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılmadan da dökülebilen malzemeler için Met-SiC bire birdir. Ancak hassas parçalarda Fe-Si kullanılmalıdır. Çünkü bu parçaların işlenebilme kabiliyeti, sertliği, çekme mukavemeti, darbe dayanımı oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- [1] YILMAZ, F., İçme-Atık su ve gaz dağıtım şebekelerinde dökme demirler ve düktil demir uygulamaları, İski Yayını, İstanbul, 2003.
- [2] AKKURT, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992), 112, 134.
- [3] KUMRUOĞLU L.C. Lamel Grafitli ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Karbon Eşdeğerinin Mekanik Özellikler ve Mikroyapıya Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2003
- [4] ALBAYRAK Ö, Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Porozite Oluşumunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2001
- [5] ASA Elkem, Graphite Structures in Cast Iron, Norway (2004)
- [6] ÖZTÜRK Ş. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2004
- [7] AYTAÇOĞLU L.C. Dökme Demirlerde Termal Analiz ve Matematiksel Yaklaşım, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ocak 2012
- [8] AKKURT, M., Takım Tezgahları Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1985), 122, 126.
- [9] Hoper, D.A., "Cutting Fluids – Peton Pest", Tribology International, (1977), 23-27.
- [10] ÇAVUŞOĞLU, N., Döküm Teknolojisi 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, 1981.
- [11] BAŞTÜRK E. Silisyum Karbür İnce Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2010
- [12] CHISAMERA M., RIPOSAN I., STAN S., ALBU C.B., BREZEANU C., Comparison of Oxy-sulfide Alloy Tablets and Ca-bearing FeSi₇₅ for Late Inoculation of Low Sulfur Grey Irons, American Foundry Society, 2007
- [13] <http://www.belgeler.com/blg/lid9/17-gri-lamel-grafitli-dokme-demir>, erişim tarihi: Şubat 2010
- [14] www.expert.com.tr
- [15] Kleeman, F.S.; "Improving the Machinability of Gray Iron Casting", American Foundry, (1952).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : NURETTİN BURAK ŞEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : FATİH / 16.09.1987
Telefon : 05056805040
Faks : -
e-mail : metalografburak@gmail.com

EĞİTİM

Derece

Lise : MERAM KONYA LİSESİ /FEN BİLİMLERİ
 KONYA-MERAM / 2005
 KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ MÜH.FAK.
Üniversite : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
 KOCAELİ-İZMİT / 2012
Yüksek Lisans : NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN
 BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MAKİNE MÜH. A.B.D.
 KONYA-MERAM / 2018

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-2013	KONEKS PİSTON A.Ş.	Dökümhane Müh.
2014-2018	TÜMOSAN DÖKÜM A.Ş.	Dökümhane Müh.

UZMANLIK ALANI

PİK SFERO VE ÇELİK DÖKÜM YÖNTEMLERİ
 SOLİDWORKS
 SOLİDCAM
 MODEL TASARIMI
 SOLİD CAST DÖKÜM SİMİLASYON PROGRAMI

YABANCI DİLLER

İNGİLİZCE – ORTA SEVİYE

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

BAĞLAMA ÇALMAK, MÜZİK DİNLEMELİK, TİYATRO VE SİNEMA İLGİ ALANLARIM ARASINDA.