



**VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE
KESİT HASSASİYETİNİN İÇYAPI ÖZELLİKLERİNE
OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oğuzhan GÜLER

Danışman

Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

MAYIS 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE KESİT
HASSASİYETİNİN İÇYAPI ÖZELLİKLERİNE OLAN
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Oğuzhan GÜLER

Danışman
Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

MAYIS 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Oğuzhan GÜLER tarafından hazırlanan “ Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerde Kesit Hassasiyetinin İçyapı Özelliklerine Olan Etkilerinin İncelenmesi ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 22/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR

Başkan : Prof.Dr.Yılmaz YALÇIN
A.K.Ü Teknoloji Fakültesi
Üye : Doç. Dr. M. Serhat BAŞPINAR
A.K.Ü Teknoloji Fakültesi
Üye : Dr.Öğr. Üyesi Fatih ÇOLAK
Uşak Üniversitesi Tek.Bil.MYO

İmza



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

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

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

23/07/2019


İmza
Oğuzhan GÜLER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

VERMİKÜLER GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE KESİT HASSASİYETİNİN İÇYAPI ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Oğuzhan GÜLER

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR

Vermiküler grafitli dökme demirler, demir esaslı alaşımlar ailesinin en son üyesidir. Son yıllarda sahip olduğu özellikler ve potansiyel kullanım alanları sebebiyle araştırmacılar ve başta otomotiv olmak üzere sanayi dünyasında büyük ilgi uyandırmıştır. Motorların güç ve dönme momentlerindeki artış talebi, motor bloğu ve silindir kafalarının duvarlarının güçlenmesine neden olmuştur. Motor blok ve silindir kapak üretimlerinde küresel grafitli dökme demir malzeme ısı transferi özellikleri uygun olmadığı için kullanılmamaktadır, yerine gri dökme demirden daha hafif olan vermiküler grafitli dökme demir malzeme kullanılabilir. Yapılan çalışmada, tandış potada işlem ve tel işlem metodları uygulanmış ve vermiküler yapı oluşum verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Yapılan tandış pota işleminde içyapının, tel işlem metoduyla elde edilen içyapıya göre grafit diziliminin daha düzgün olduğu gözlenmiştir. Vermiküler grafitli alaşımların metalurjik ve mekanik özellikleri ele alınarak parçanın kesitleri incelenmiş ve deneysel çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Bu sonuçlara göre soğuma hızının etken bir parametre olduğu, ince kesitlere gittikçe küresel yapının arttığı vermiküler yapının azaldığı ve kalın kesitlerde vermiküler yapı daha net gözlemlenmiştir.

2019, xi + 87 sayfa.

Anahtar Kelimeler: Dökme Demir, Vermiküler Grafitli Dökme Demir, İç Yapı, Kesit Hassasiyeti

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURAL SECTION SENSITIVITY OF VERMICULAR GRAPHITE CAST IRON

OGUZHAN GULER

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa Serhat BAŞPINAR

Vermicular graphite cast iron is the most recent member of the family of iron-based alloys. In recent years, vermicular has attracted a great deal of attention in the industry- especially in the automotive industry – and academia due to its features and potential areas of usage. Due to increasing demand for engine power and torque, the walls of engine blocks and cylinder heads are become strengthend. Since the deficiency of heat transferring properties of spheroidal cast iron, in engine block and cylinder head production, the lighter vermicular graphite iron than lamellar graphite iron may be used replace of it. In present paper, tundish crucible treatment and single treatment methods were applied and their efficiency was compared formation. In the tundish process, it was observed that the microstructure was more uniform than the microstructure obtained by the single treatment methods. Metallurgical and mechanical properties of the vermicular graphite alloy were investigated and it was evaluated as a parts of sections and the results of a trial run are presented. According to these results, cooling was an effective parameter, thinner sections of the spherical structure increased vermicular structure is reduced and vermicular structure was observed more clearly in thick sections.

2019, xi + 87 pages

Keywords: Ductile Iron, Vermicular Graphite Iron, Internal Structure, Section Precision

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doc. Dr. Mustafa Serhat BAŞPINAR, araştırma ve deneylerim süresince tüm imkanları sağlayan Sayın Yavuz ZEYTİNOĞLU'na, her konuda önerilerini, bilgilerini ve destekleriyle yardımını gördüğüm Sayın Serkan PEHLİVAN ve ENTİL A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Oğuzhan GÜLER
AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Dökme Demirler	4
2.2 Dökme Demirlerde Alaşımların Etkileri.....	5
2.2.1 Lamel Grafitli Dökme Demirler	6
2.2.2 Beyaz Dökme Demirler (WCI)	8
2.2.3 Temper Dökme Demirler.....	9
2.2.4 Küresel Grafitli Dökme Demirler	13
2.2.5 Vermiküler Grafitli Dökme Demirler (CGI)	16
2.2.5.1 Vermiküler Grafitli Dökme Demirler Nodularite Hesabı	20
3. MATERYAL ve METOT	24
3.1 Malzemeler ve Ekipmanlar	24
3.2 Tandış Pota Yöntemi ile Yapılan Dökümler.....	28
3.2.1 Tandış Pota 1.Deneme Döküm	28
3.2.2 Tandış Pota 2.Deneme Döküm	29
3.2.3 Tandış Pota 3.Deneme Döküm	30
3.3. Tel İşlem Deneme	31
3.3.1 Tel İşlem ile Deneme Döküm.....	31
4. BULGULAR	33
4.1 Metalografik Numune Hazırlama ve İçyapı Analizleri	33
4.1.1 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm İçyapı Analizi	35
4.1.2 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm İçyapı Analizi	40
4.1.3 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm İçyapı Analizi	45
4.1.4 Tel İşlem Deneme Döküm İçyapı Analizi	50

4.2 Mekanik Testler	54
4.2.1 Sertlik Testi	54
4.2.2 Çekme Testi.....	56
4.2.3 Mekanik Deney Sonuçları	56
4.2.3.1 Tandış Pota ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri.....	58
4.2.3.2 Tel İşlem ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri	61
4.3 Farklı Kesitlerde Nodülerite İncelemesi	62
4.3.1. Tandış Pota ile İşlem 1.Denemede Nodülerite	62
4.3.2 Tel Besleme Otomatik Tretman Denemelerinde Nodülerite	70
4.3.3 Kesit Kalınlıklarına ve İşlem Yöntemine Göre Nodülerite Karşılaştırma ..	78
5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	80
6. KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Fe	Demir
C	Karbon
Si	Silisyum
P	Fosfor
S	Kükürt
Mn	Manganez
Cr	Krom
Cu	Bakır
Mg	Magnezyum
Ti	Titanyum
Al	Alüminyum
Ni	Nikel
V	Vanadyum
Mo	Molibden
Ca	Kalsiyum
Sn	Kalay
SiC	Silisyum Karbür
N	Newton
Kg	Kilogram
Kgf	Kilogram kuvvet
MPa	Mega pascal
GPa	Giga pascal
µm	Mikrometre
mm ²	Milimetrekare
°C	Santigrat derece
MnS	Mangan sülfid
Fe-Si-Ba	Ferro silisyum baryum
Fe-Si-Mg	Ferro silisyum magnezyum
Fe-Si-Mg-Ce	Ferro silisyum magnezyum seryum

Kısaltmalar

ASTM	American society for testing and materials
C.E.	Karbon eşdeğeri
CGI	Vermiküler grafitli dökme demirler
DKP	Soğuk haddelenmiş sac
HB	Brinell sertlik birimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Fe-C Denge Diyagramı	4
Şekil 2. 2 DIN ISO 945-1 Standardına Göre Lamel Grafit Tipleri	7
Şekil 2. 3 Beyaz Dökme Demirin İçyapısı	9
Şekil 2. 4 Temper Dökme Demir Isıl İşlem Grafiği.....	10
Şekil 2. 5 Temper Dökme Demirin İçyapısı.....	13
Şekil 2. 6 Küresel Grafitli Dökme Demirin İçyapısı.....	15
Şekil 2. 7 ASTM A247 Standartı	15
Şekil 2. 8 Grafit Formları	17
Şekil 2. 9 Lamel, Vermiküler ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kıyaslanması	18
Şekil 2. 10 Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İçyapısı.....	18
Şekil 2. 11 Chunky Grafit İçyapısı.....	20
Şekil 2. 12 Nodülaritenin Yapısı	21
Şekil 2. 13 Yuvarlak Şekil Faktörü ile Kategorize Edilen Grafit Parçacıklarının Görsel Gösterimi	22
Şekil 3. 1 Tel İşlem Şematik Görünüm	24
Şekil 3. 2 Inductotherm İndüksiyon Ocağı, Tandış Pota İşlemi ve Teknik Resmi	25
Şekil 4. 1 Tandış Pota 1., 2. ve 3.Denemelerin % Vermikülerleşme Grafiği.....	49
Şekil 4. 2 Tandış Pota Denemelerinin Çekme Mukavemeti Değerleri	59
Şekil 4. 3 Tandış Pota Denemelerinin Akma Mukavemeti Değerleri.....	60
Şekil 4. 4 Tandış Pota Denemeleri Uzama Değerleri.....	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2. 1 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması.....	5
Çizelge 2. 2 Beyaz Dökme Demir Analizi	9
Çizelge 2. 3 Beyaz Temper Dökme Demir Çeşitleri.....	11
Çizelge 2. 4 Siyah Temper Dökme Demir Çeşitleri.....	12
Çizelge 2. 5 Sfero Döküm İçin Hammaddelerin Tipik Minör Element İçerikleri	14
Çizelge 2. 6 Sfero Döküm Bileşim Aralığı	14
Çizelge 2. 7 EN-1563 Standartında Gereken Minimum Dayanım ve Uzama Değerleri	16
Çizelge 2. 8 GJV 450’de Bulunan Grafit Oranına Göre Mekanik Özellikleri	19
Çizelge 3. 1 Pik İçeriği	25
Çizelge 3. 2 Dkp İçeriği	25
Çizelge 3. 3 FeSiMg İçeriği	25
Çizelge 3. 4 FeSiMgCe İçeriği.....	26
Çizelge 3. 5 FeSiBa İçeriği	26
Çizelge 3. 6 Deneysel Üretim Süreci Akım Şeması.....	27
Çizelge 3. 7 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm Analiz.....	28
Çizelge 3. 8 Tandış Pota ile 1.Deneme Pota Girdileri.....	28
Çizelge 3. 9 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm Analiz.....	29
Çizelge 3. 10 Tandış Pota ile 2.Deneme Pota Girdileri	29
Çizelge 3. 11 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm Analiz.....	30
Çizelge 3. 12 Tandış Pota ile 3.Deneme Pota Girdileri	30
Çizelge 3. 13 Tel İşlem ile Deneme Döküm Analiz.....	31
Çizelge 3. 14 Tel İşlem ile Deneme Pota Girdileri	32
Çizelge 4. 1 Alınan numunelerin kesit kalınlıkları.....	35
Çizelge 4. 2 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm İçyapı Analizi.....	35
Çizelge 4. 3 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm İçyapı Analizi.....	40
Çizelge 4. 4 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm İçyapı Analizi.....	45

Çizelge 4. 5 Tel İşlem Deneme Döküm İçyapı Analizi	50
Çizelge 4. 6 Tandış Pota 1., 2., 3.Dökümleri Analizleri	57
Çizelge 4. 7 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri	58
Çizelge 4. 8 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri	58
Çizelge 4. 9 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri	59
Çizelge 4. 10 Tel İşlem ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri	61
Çizelge 4. 11 Tandış Pota ve Tel İşlem Nodularite Oranlarının Karşılaştırma Grafiği	79



RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 4. 1	Numune Parlatma Cihazı ve Metalografik Mikroskop.....	33
Resim 4. 2	Dökümü Gerçekleştirilen Parça ve Numune Alınan Farklı Kesit Bölgeleri	34
Resim 4. 3	İçyapıya Bakılan Bölgeler – 2.....	34
Resim 4. 4	İçyapıya Bakılan Bölgeler – 3.....	34
Resim 4. 5	% Nodül Hesaplama	36
Resim 4. 6	Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm A, B, C Bölgeleri İçyapıları.....	37
Resim 4. 7	Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm D, E, F Bölgeleri İçyapıları	38
Resim 4. 8	Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm G, H, I Bölgeleri İçyapıları.....	39
Resim 4. 9	Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm J Bölgeleri İçyapıları	40
Resim 4. 10	Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm A, B Bölgeleri İçyapıları	41
Resim 4. 11	Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm C, D, E Bölgeleri İçyapıları.....	42
Resim 4. 12	Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm F, G, H Bölgeleri İçyapıları.....	43
Resim 4. 13	Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm I, J Bölgeleri İçyapıları	44
Resim 4. 14	Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm A, B, C Bölgeleri İçyapıları.....	46
Resim 4. 15	Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm D, E, F Bölgeleri İçyapıları	47
Resim 4. 16	Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm G, H, I Bölgeleri İçyapıları.....	48
Resim 4. 17	Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm J Bölgesi İçyapısı.....	49
Resim 4. 18	Tel Deneme A, B, C Bölgeleri İçyapıları	51
Resim 4. 19	Tel Deneme D, E, F Bölgeleri İçyapıları	52
Resim 4. 20	Tel Deneme G, H, I Bölgeleri İçyapıları.....	53
Resim 4. 21	Tel Deneme J Bölgesi İçyapısı	54
Resim 4. 22	Reichter BL3 Sertlik Cihazı.....	54
Resim 4. 23	MTS Criterion C45.105 Çekme Cihazı	55
Resim 4. 24	Çekme Çubukları ve Teknik Resmi.....	56
Resim 4. 25	Tandış Pota 1., 2., 3.Dökümleri İçyapı Dağılımı	57
Resim 4. 26	Tandış Pota ile Dökülen Parça.....	62

Resim 4. 27 Tel Besleme ile Dökülen Parça.....	62
Resim 4. 28 B:15,81 % Nodularite	63
Resim 4. 29 D : 8,72 % Nodularite	64
Resim 4. 30 E : 6,57 % Nodularite	64
Resim 4. 31 F : 8,24 % Nodularite.....	66
Resim 4. 32 G : 10,66 % Nodularite	67
Resim 4. 33 H : 8,92 % Nodularite	68
Resim 4. 34 I : 9,77 % Nodularite.....	69
Resim 4. 35 J : 8,74 % Nodularite	70
Resim 4. 36 B : 16,11 % Nodularite	71
Resim 4. 37 D : 15,33 % Nodularite	72
Resim 4. 38 E : 16,57 % Nodularite	72
Resim 4. 39 F : 18,12 % Nodularite.....	73
Resim 4. 40 G : 12,08 % Nodularite	74
Resim 4. 41 H : 18,9 % Nodularite	76
Resim 4. 42 I : 16,50 % Nodularite.....	76
Resim 4. 43 J : 20,44 % Nodularite	77

1. GİRİŞ

Gri dökme demirler, günümüz sanayi uygulamaların düşük maliyeti (çelikten %20-40 oranında daha az bir maliyet), mekanik özellikleri, dökülebilirlik ve mekanik işlenebilirlik gibi istenilen ve geliştirilebilir özelliklerinin olması sebebiyle oldukça fazla kullanım alanı bulunan yaygın bir alaşım grubudur.

Gri dökme demirlerin mekanik özellikleri ve fiziksel özelliklerinin büyük çoğunluğu matris içerisinde bulunan grafit fazının oranı, dağılımı ve şekli tarafından belirlenir. Dökme demirler, başlarda içerisindeki grafit fazının özelliklerine göre 2 gruba ayrılırdı. Vermiküler grafitli dökme demirlerin kullanımına başlanması ile son durumda gri dökme demir ailesi, grafit şekillerine dayandırılarak 3 ana grupta incelenmektedir; lamel grafitli dökme demirler, küresel grafitli dökme demirler ve vermiküler grafitli dökme demirler. Grafit şekillerinin dökme demirlere kazandırdığı farklı özelliklere göre her üç grup da mühendislik uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Vermiküler grafitli dökme demir, dökme demir üretimi sırasında bir hata sonucu olarak bulunmuş bir malzeme türüdür. Bunun yanı sıra, uzunca bir süre de vermiküler grafit yapısının, dökme demir üretimi sırasında ortaya çıkmış bir hatanın sonucu olarak değerlendirildiği bilinmektedir. Vermiküler grafitli dökme demir, demir esaslı alaşımlar ailesinin son üyesi olarak 60'lı yıllarda tanımlanmış, büyük ölçüde yapısında oluşan grafitin şeklinin malzemeye kazandırdığı benzersiz mekanik ve fiziksel özellikler taşımaktadır. Vermiküler grafitli dökme demirlerin grafit yapısı oldukça karmaşık bir dizilime sahiptir. Yapıda %20 oranında küresel grafit ve %80 oranında vermiküler grafit bulunur. Vermiküler grafitler lamel grafitlere göre daha kalındırlar ve lamel uçları daha yuvarlak yapıdadır. Bu alaşım üzerine yapılmış araştırmalar göstermiştir ki; vermiküler grafitli dökme demirlerin gösterdiği özellikler, gri dökme demirler ile küresel dökme demirlerin gösterdiği özelliklerin arasındaki değerlerde dalgalanmaktadır.

Vermiküler grafitli dökme demirlerin çok yaygın kullanıldığından bahsetmekte ve motor kapakları ile motor bloklarında oldukça fazla tercih edilen bir malzeme olduğunu söylemektedir. Mukavemet yönünden yüksek özellikleri olan bu malzeme, gri dökme demirle karşılaştırıldığında, yüksek basınçlı yanma odalarının imalatına daha elverişli

olup daha verimli yanma ve düşük emisyon değerleri elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Daha ince et kalınlığında parça üretmek, dolayısıyla daha hafif motor ve kapakların üretimi mümkündür. Melleras ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada da vermiküler yapıda dökme demirin, gri dökme demire göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir (Melleras *et al.* 2005).

Cooper ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, delme işlemlerinde vermiküler grafitli dökme demirin, aynı sertlik ve kompozisyona sahip küresel grafitli dökme demir ve gri dökme demire göre işlenebilirliğinin daha iyi olduğuna karar vermiştir. Ayrıca sertlik ve işlenebilirliği etkileyen en önemli değişkenin döküm kesit kalınlığı olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada tandış pota işlemi ve tel işlemin vermiküler grafitli yapı oluşumu yorumlanmış. İki teknikle de dökülen işletme şartları altında seçilen farklı kesitlere sahip motor kapağında grafit yapısının oluşumu ve bu değerlerin çekme mukavemeti, akma mukavemeti, uzama ve sertlik gibi mekanik değerlere etkileri incelenmiştir (Cooper *et al.* 1978).

E.Guzik ve arkadaşlarının çalışmasında, tel işlem yöntemiyle vermiküler yapıda silindir kafası dökümü gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre bu yöntemin döküm sektöründe vermikülize işlemlere göre tam olarak onaylandığı gözlemlenmiştir. Magnezyum geri kazanımı için bu yöntemin önemli bir proses şekli olduğu incelenmiştir. Yaptıkları dökümlerin metalografik sonuçlarına baktıklarında ince kesitlerde kalın kesitlere göre küre sayısı çok, nodülarite ise daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada silindir kafası döküm koşulunun metalik matrisi yaklaşık %90 ferrit ve %10 perlit olacak şekilde elde edilmiştir (Guzik *et al.* 2009).

Yaşar, G. çalışmasında farklı kesit kalınlıklarına sahip merdiven şeklinde blog kalıba vermiküler yapıda dökme demir dökümü yapmıştır. Merdiven şeklindeki bu parçanın her basamağı metalografik anlamda incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre kesit kalınlığı arttıkça grafitlerin küresel grafitten vermiküler grafitte geçiş evreleri gözlemlenmiştir. Ayrıca titanyumun küresel grafitten vermiküler grafitte geçişi kolaylaştırdığı görülmüştür (Yaşar 1996).

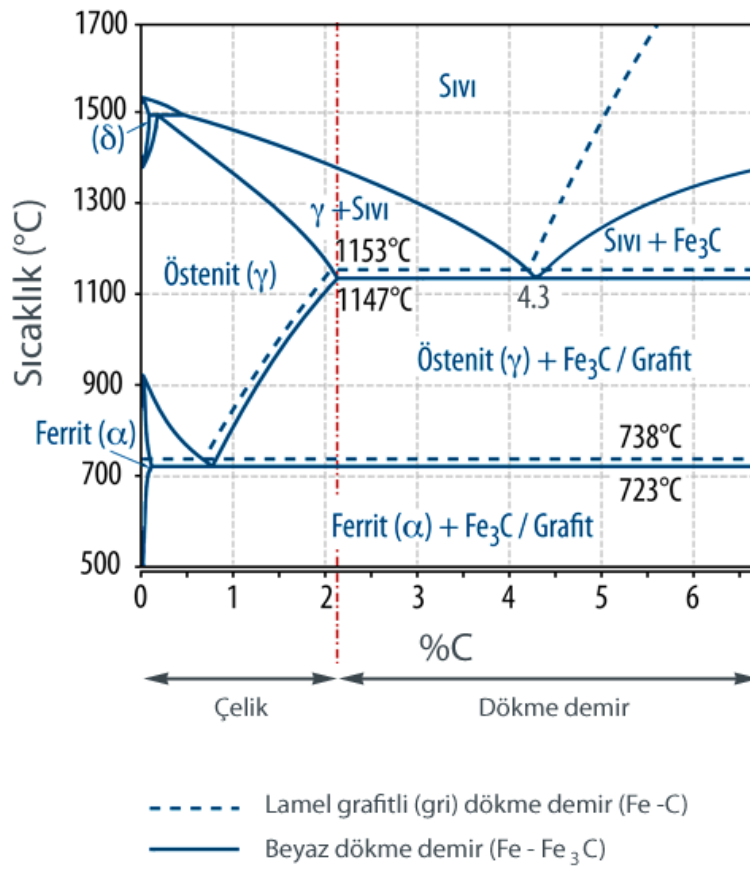
Kasap, T. çalışmasında, vermiküler grafitli dökme demir üretimi ve kesit farklılığının içyapıya olan etkisi incelenmiştir. Vermiküler grafitli dökme demir numuneleri kalıntı Mg %0,017 olacak şekilde üretilmiştir. Üretilen üç basamaklı standart merdiven blok numunesinin her basamağından içyapı analizi için numuneler alınmış, kesit farklılığının içyapıya olan etkisi incelenmiş ve içyapıdaki grafit yüzdeleri ve matris yapıdaki perlit oranları hesaplanarak yorumlanmıştır. Deneysel sonuçlara göre, vermiküler yapının elde edilebilmesi kalıntı magnezyum oranının %0,015-0,020 aralığında olması gerektiği gözlemlenmiştir. Kesit kalınlaştıkça soğuma hızı çok fazla etkilenmediğinden grafit oranlarındaki değişimin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Çok ince kesitlerde kalın kesitlere oranla bu değişim daha büyük sayısal değerlerde sonuçlanmıştır (Kasap 2004).

Bu çalışmanın amacı, farklı bir bakış açısı katmak için fabrika ortamında seçilen motor kapağı numunesi üzerinde tandış ve tel işlem yöntemleriyle parçanın bütünü üzerinde kesit hassasiyetinin iç yapıya olan etkisi araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Dökme Demirler

Dökme demir, Şekil 2.1’de gösterilen Fe-C denge diyagramında %2.11 ile % 6.67 arası karbon içeren demir karbon alaşımlarına verdiğimiz genel bir isimdir. Çelikler de demirin karbonla alaşımlanması sonucunda elde edilmiştir, dökme demirden farklı olarak çelikler çok daha az miktarda karbon içeriyorlar (%2.11’den daha az).



Şekil 2. 1 Fe-C Denge Diyagramı (İnt. Kyn. 1).

Dökme demirler karbona ek olarak yaklaşık %1 ile %3 arasında silisyum içermektedir. Karbon ve silisyumun yanında mangan ve az miktarda olsa kükürt ve fosforda dökme demirlerde sıklıkla bulunur.

Dökme demirleri çizelge 2.1’de belirtildiği gibi grafitin biçimsel özelliklerine ve eşitlik 2.1’de verilen (C.E.) karbon eşdeğerine göre sınıflandırma yapabiliriz.

$$C. E. = \%C + \% \frac{Si}{4} + \frac{P}{2} \quad (2.1)$$

Çizelge 2. 1 Dökme Demirlerin Sınıflandırılması (İnt. Kyn. 2).

Dökme Demirlerin Sınıflandırılması		
Karbon Eşdeğerine Göre		Grafit Şekline Göre
C.E.>4,3	Ötektik Üstü Dökme Demirler	Küresel Grafitli Dökme Demirler
C.E.<4,3	Ötektik Altı Dökme Demirler	Lamel Grafitli Dökme Demirler
C.E.=4,3	Ötektik Dökme Demirler	Vermiküler Dökme Demirler
	Alaşımlı Dökme Demirler	Temper Dökme Demirler
		Beyaz Dökme Demirler

2.2 Dökme Demirlerde Alaşımların Etkileri

Silisyum (Si) : Akışkanlığı arttırdığı gibi, karbon eşdeğeri üzerinde de etkisi vardır. Katılaşma süresini etkiler.

Kükürt (S) : Kuvvetli karbür yapıcı etkiye sahiptir. Lamel grafitli dökme demirlerde yaklaşık %0.06-%0.18 aralığında bulunabilen kükürt, daha yüksek olması durumunda aynı zamanda demirle birleşerek FeS bileşiğinin sert ve kırılgan bir yapıya sahip olan beyaz dökme demir oluşumunu tetikleyebiliyor. Düşük erime noktasına sahip olan bu bileşiğin, yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalarda çatlak oluşmasına yol açabilmesi nedeniyle, dökme demirin yapısında bulunması tercih edilmez.

Mangan (Mn) : Östenit yapıcı bir etkisi vardır. Kükürtün olumsuz etkilerini ortadan kaldırması için eklenir. Kükürtü dengeleyecek miktarın üzerinde mangan eklenmesi durumunda yapıdaki karbür miktarında artış gözlemlendiği görülebilir.

Fosfor (P) : Sıvı metalin akışkanlığını arttırırken, aynı zamanda ötektik katılaşma aralığını da genişletecek şekilde bir etki ortaya çıkartıyor. Fosfor yüksek olursa demirle

birleşerek demir fosfür bileşimini oluşturabilir. Oluşan bu bileşik, sementit ve östenitle üçlü bir ötektik oluşturup, kırılgan yapıya sahip bir fazın ortaya çıkmasına yol açabilir.

Nikel (Ni) : Hem perlit yapısını, hem de grafit yapısını inceltici bir etkiye sahip, ayrıca demir tokluğunu arttırdığı gibi, farklı kesitler arasındaki sertlik farklarını da ortadan kaldırıyor. Kuvvetli bir östenit yapıcıdır.

Krom (Cr) : Karbür yapıcı özelliği vardır. Grafit miktarını azaltıp, çil oluşumunu tetikleyecek bir etki yaratabilir.

Bakır (Cu) : Sıvı dökme demir içine ocakta ya da potada %0.5-%2.5 oranında eklenen bakır çili azalttığı gibi, grafit yapısını incelten ve sıvının akışkanlığını arttıran bir etki de bulunur.

Molibden (Mo) : Karbür yapıcı özelliği vardır. Hem grafit yapısını, hem de perlitik yapıyı inceltici bir etkiye sahiptir. Alaşımın sertliğini arttırmak için bakır, nikel ve krom ile birlikte kullanılıyor.

Vanadyum (V) : Dökme demirin sertliğini ve aşınma direncini arttırmak için %0.15-%0.5 oranında eklenebilir.

2.2.1 Lamel Grafitli Dökme Demirler

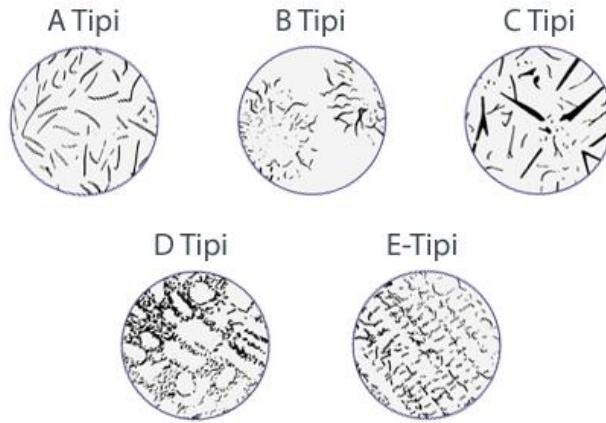
Gri dökme demir, dökme demir içersinde çok fazla karbon bulunmaktadır. Dökülen parça yavaş yavaş soğuyarak katılaşmaya bırakıldığında, karbonun grafit olarak ayrıştığını ve gri dökme demir yapısının ortaya çıkar. Ayrıca kullanım esnekliği, iyi döküm, düşük maliyet (% 20-40 çelikten daha az) ve geniş yelpazede ulaşılabilen mekanik özelliklerinden dolayı geleneksel olarak bir çok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Perlitik dökme demirlerin yapısı, döküm işlemi, aşılama ve soğutma koşullarından önce kimyasal bileşime bağlıdır (Xu *et al.* 2005), (Hemanth *et al.* 1999), (Bartocha *et al.* 2005).

Gri dökme demirlerin kimyasal bileşimi, üç temel yapısal gereksinimi, yani grafitin şekli ve dağılımını, karbürsüz yapıyı ve gerekli matrisi karşılayacak şekilde seçilmelidir.

Genellikle, yüksek elastiklik modülü, iyi aşınma direnci ve iyi bir son işlem yüzeyi gerektiğinde perlitik gri dökme demirler kullanılır. İyi işlenebilirlik, termal şok direnci, yüksek iç sönümlenme kapasitesi ve ince kesitlerde dökülme yeteneği gerekli ise, gri dökme demirde ferritik matris tercih edilir (Davis 1996).

Perlitik gri dökme demirin içyapısı, demirli matrisin içine dağılmış grafitli lamellerle karakterize edilir. Dökümhanelerde farklı uygulamalarla, grafit yongalarının çekirdeklenmesi ve büyümesi değiştirilebilir, böylece grafit boyut ve tipi istenen özelliklere göre geliştirilir. Grafit lamellerinin büyüklüğü, morfolojisi ve dağılımı, perlitik gri dökme demirin mekanik davranışını belirlemede kritik öneme sahiptir. Lameller grafit formdaki, belirli standartta oluşturulan yedi tip grafitten biridir.

Lamel grafitler Şekil 2.2’de belirtildiği gibi A’dan E’ye kadar olan harfler ile belirlenen 5 tipe bölünmüştür.



Şekil 2. 2 DIN ISO 945-1 Standardına Göre Lamel Grafit Tipleri (İnt. Kyn. 3).

A tipi lamellerde grafit rastgele yönelimi sunar ve çoğu uygulama için tercih edilir.

B tipi grafitler ferrit matriks içinde geliş güzel rozet grupları şeklindedir. Yüksek

mukavemet gerektiren durumlarda tercih edilmez.

C tipi grafitler ötektik üstünde oluşur, düşük mukavemet sağlar, termal şoka dayanıklıdır. İşleme sonrası pürüzlü bir yüzey eldesi sağlar. Büyük kalın tabaka yapısına sahiptir. Yüksek ısı iletimi isteyen uygulamalarda kullanılır.

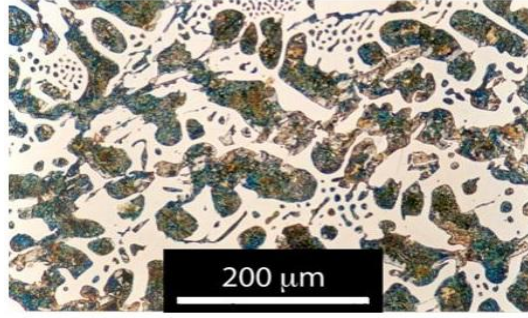
D ve E tipi grafitler yüksek silisyum içerenlerde ve hızlı soğumanın nispeten fazla olduğu durumlarda ortaya çıkar. D tipinde dendritler arası bölgede kümelenmiş grafit yaprakları rastgele yönelime sahiptir, E tipinde bu yönelim bir doğrultu şeklindedir.

2.2.2 Beyaz Dökme Demirler

Beyaz dökme demir, kalıp içine dökülen demirin hızlı soğuma sonucunda karbonun yapının içinde kalması halinde oluşur. Ana alaşım Si, Cr, Ni, C ve Cu içeren demir esaslı alaşımlardır (Wang. *et al.* 2011).

Hipo-hiperötektik kompozisyona sahiptirler ve sertleşebilir bir matriks içinde sert karbür fazından oluşurlar (P. La. *et al.* 2013). Soğuma hızı gri dökme demirde olduğu gibi karbonun grafit yaprakları şeklinde çökmesine izin vermez. Temel olarak $M_{23}C_6$, M_7C_3 ve M_3C tipi karbürler, yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin kimyasal bileşimine bağlı olarak Şekil 2.3’de görüldüğü gibi içyapıda gözlenmiştir (S.H. Mousavi Anijdan. *et al.* 2007), (S.M. Tomovic-Petrovic 2002). Bileşimlerinde genellikle %1,8-3,6 karbon ve %0,5-1,9 silisyum elementi bulunur.

Ancak çelik üretiminde demir içinde bulunan karbon miktarı çok düşük olduğu için bu karbon katılaşma sırasında yapıdan ayrılmamaktadır ve çözünmüş olarak kalmaktadır. Beyaz dökme demirlerde de benzer bir durum gözlenmektedir. Fakat dökme demirlerin içerdiği karbon miktarı çeliklere kıyasla çok daha yüksek olduğu için sıvı fazda çözünmüş olarak bulunan karbonun çökmesine fırsat vermeden malzemeyi katılaştırmak gerekmektedir. Beyaz dökme demirler, madencilik, öğütme, mineral taşıma, çamur pompaları ve çimento endüstrileri gibi yüksek aşınma direncinin gerekli olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Mohammadnezhad *et al.* 2016).



Şekil 2. 3 Beyaz Dökme Demirin İçyapısı (İnt. Kyn. 4).

Beyaz dökme demir Şekil 2.3’de görüldüğü gibi çeliğe benzer bir yapı sergilemektedir. Oluşan demir karbon (Fe_3C -sementit), sert ve kırılgandır. Dökme demir çoğunlukla bu sementit parçacıklarından kırılır. Kırık yüzeye bakıldığında açık yada ak renkli görülür, bu nedenle bunlara beyaz dökme demir denir.

2.2.3 Temper Dökme Demirler

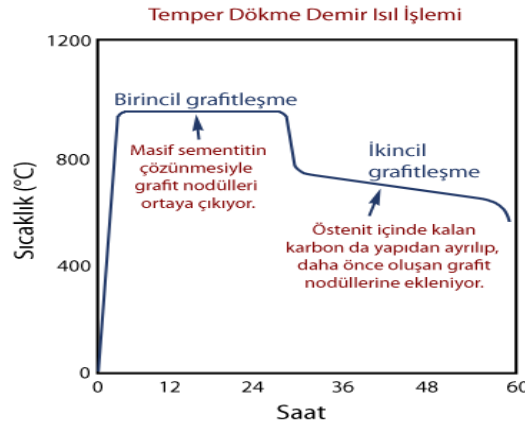
Beyaz dökme demir yapısına benzer şekilde elde edilirler. Katılaşma sonrasında ısıtım işlemi yardımıyla temper yapı elde edilmektedir. Beyaz dökme demir yapısı için, yapı içinde karbonun ayrışması oluşmadan Çizelge 2.2’de belirtilen beyaz dökme demir analiziyle dökülen parçanın hızlı bir soğumayla ya da grafitin üzerinde çekirdeklenebileceği yüzeylerin sıvıdan uzak tutulmasıyla oluşmaktadır (Zhukov A. *et al.* 1983).

Çizelge 2. 2 Beyaz Dökme Demir Analizi (İnt. Kyn. 5).

Element Adı	% Miktarı
Karbon (C)	2,00-3,00
Silisyum (Si)	1,00-1,80
Manganez (Mn)	0,20-0,50
Fosfor (P)	0,01-0,10
Kükürt (S)	0,02-0,17

Bir parçayı beyaz dökme demir yapısına uygun olarak katılaştığı varsayılınsın. Öncelikle parçayı 900 °C – 970 °C aralığına ısıtarak başlanır. Bu sıcaklık aralığına vardığında bekletilir. Bu işlemin ana sebebi, oda koşullarındaki perlit fazının östenite dönüşmesi sağlanır. Grafit çözünmeye başladığında yapıdaki sementitin uzaklaşmaya başladığı görülür. Sıcaklık ne kadar yüksekse ayrışmada o kadar hızlı gerçekleşir. Bu işlemin yüksek sıcaklıkta yapılması parçada yapısal çarpılmaların oluşma ihtimalini artırır. Önemli olan sıcaklık aralığının üstüne çıkmamaktır. Bu işlemin süresi parça büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir. Grafitleşme olayının ilk adımı olgunlaştığında, östenit yapının üzerinde düzensiz bozuk bir yapı şeklinde rozet grafitler şeklinde oluşmasıdır (ASTM A197M 2015).

Parçanın ısıtıl işleminde 2.adım olarak, sıcaklık hızlı bir şekilde yaklaşık 760 °C çekilir. Daha sonra soğuma hızı yavaşlatılarak parça yapısının ötektoid kısımdan geçmesi sağlanır. Daha sonrasında östenitten ayrılan karbon, temper grafit yapısına eklenir. Oda sıcaklığına kadar soğuma yavaş bir şekilde devam eder. Temper dökme demir eldesi için uygulanan örnek ısıt işlem Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 Temper Dökme Demir Isıl İşlem Grafiği (İnt. Kyn. 6).

Yukarıda bahsedilen soğutma sonucunda Ferritik Temper Dökme Demir elde edilir. Eğer Perlitik yapıda Temper Dökme Demir yapmak için 760°C dolaylarında karbonun ötektoid ayrışmaya izin vermeden soğutmaya devam edilirse ortaya Perlitik yapı çıktığı gözlemlenir. 760°C ötektoid geçiş çok hızlı olursa östenit kırılğan ve çok sert martensite yapıya dönüşebilir (Walton C.F et al. 1981).

Yapıda şayet kalın perlitler mevcut ise; 650°C – 700°C sıcaklık aralığında tavlانarak, ufak grafit nodüllerinin küreselleştiğı gözlemlenebilir.

Çizelge 2. 3 Beyaz Temper Dökme Demir Çeşitleri (İnt. Kyn. 7).

TS 519	Çekme Dayanımı kgf/mm²	Akma Sınırı kgf/mm²	Kopma Uzaması %	Sertlik HB	Doku Özellikleri
DDTB-35	35	-	4	220	“Ferritik iç düzey+temper karbon”
DDTB-40	40	22	5	220	Çekirdek dokusu “lamelli perlit+temper karbon”
DDTB-45	45	26	7	200	Çekirdek dokusu “taneli perlit+temper karbon”
DDTB-55	55	36	5	240	Çekirdek dokusu “ince taneli perlit+temper karbon”
DDTB-65	65	43	3	270	“Karbonsuzlaştırma derinliğı az ve ısı işlemi uygulanan bir yapı + temper karbon”
DDTB- K38	38	20	12	200	“Karbonsuzlaştırma derinliğı çok ve kaynak yapıldıktan sonra ısı işlemi gerektirmeyen bir yapı+temper karbon”
Deney parçasının çapı 12 mm’dir.					

Beyaz temper dökme demir çeşitlerinin mekanik özellikleri Çizelge 2.3 belirtilmiştir.

Çizelge 2. 4 Siyah Temper Dökme Demir Çeşitleri (İnt. Kyn. 8).

TS 519	Çekme Dayanımı kgf/mm²	Akma Sınırı kgf/mm²	Kopma Uzaması %	Sertlik HB	Doku Özellikleri
DDTS-35	35	20	12	...-150	“Ferrit+temper karbon”
DDTS-45	45	30	7	160-200	“Perlit (lamelliden taneliye kadar değişebilen) + ferrit + temper karbon”
DDTS-55	55	36	5	180-220	“Perlit (lamelliden taneliye kadar değişebilen) + temper karbon” ferrit de bulunabilir.
DDTS-65	65	43	3	210-250	Perlit (lamelliden taneliye kadar değişebilen)+ temper karbon”
DDTS-70	70	55	2	240-270	“ Isı işlemleri uygulanabilen bir yapı + temper karbon”
Deney Parçasının çapı 12 mm’dir.					

Aynı şekilde siyah dökme demirin mekanik özellikleri Çizelge 2.4’de belirtilmiştir.



Şekil 2. 5 Temper Dökme Demirin İçyapısı (İnt. Kyn. 9).

Isıl işlem sonucunda elde edilecek örnek içyapı Şekil 2.5’de gösterilmiştir. Temper dökme demirin kullanım alanları, pulluk, traktör, tırmık, balya makineleri, pompa, motor ve jeneratör parçaları, zincir, çapa, sürgü, kanca, torna, vargel, planya, freze, matkap tezgah parçaları, dikiş makinesi, buzdolabı, çamaşır makinesi, ütü, elektrik süpürgesi, motor transmisyon elemanları, mil, direksiyon dişlileri, motor blokları, fittings, musluk, valf, cıvata, somun, diferansiyel kutusu, kam mili, krank mili gibi otomotiv parçaları yanında, çekiç, ingiliz anahtarı ve mengene gibi ufak el aletlerinde de tercih edildiğini görülmektedir (John V. B.1992).

2.2.4 Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demirler, 1940’lı yılların sonundan beri bilinmektedir. Grafitin metalik matriks içindeki küresel olarak mevcut olduğu dökme demirdir. Bu döküm; nodüler demir, küresel grafitli demir ve sferulitik demir olarak bilinir. Bu tip dökme demir, benzer bir gri dökme demir ile karşılaştırıldığında daha fazla mukavemet ve sünekliğe sahiptir.

Düşük kükürtlü sıvı dökme demirleri magnezyum içeren bir katkı maddesi (veya bazen seryum) ile işleyerek yapılır ve genellikle silikon içeren bir alaşımla (aşılacağı) dökümden hemen önce veya sonra aşıl原因arak elde edilir. Sünek demiri karakterize eden grafitin küresel şekli genellikle yaklaşık % 0,04 ile % 0,06’lık bir magnezyum içeriği tarafından üretilir. Magnezyum, erimiş demir sıcaklıklarında, oksijen ve kükürt ile kolayca reaksiyona giren, yüksek derecede reaktif bir elementtir. Magnezyum

ekonomisi ve metal temizliği için, işlenecek demirin kükürt içeriği düşük olmalıdır (tercihen <0,02); bu sünük demir geri dönüşümü ile birlikte, sünük demir üretimi için Çizelge 2.5’de gösterildiği değerlerde tedarik edilen çelik hurdası ya da özel kaliteli pik demir bazlı malzemeleri eriterek kolayca elde edilir.

Çizelge 2. 5 Sfero Döküm İçin Hammaddelerin Tipik Minör Element İçerikleri (İnt. Kyn. 10).

Ham Maddeler	Minör Elementler %								
	Mn	S	P	Ni	Cr	Cu	Mo	Al	Sn
Yüksek – saflıkta pik demir	0,04	0,015	0,013	0,06	0,01	0,02	0,01	<0,005	<0,01
DKP (hurda)	0,26	0,015	0,016	0,01	0,01	0,02	0,01	<0,005	<0,01

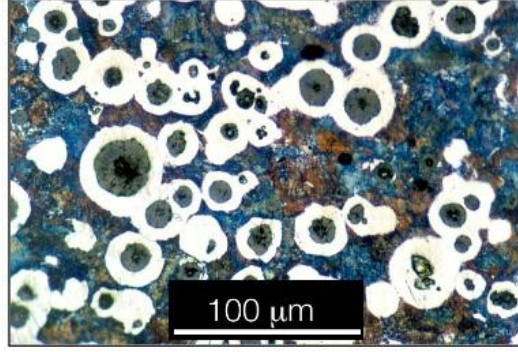
Fakat yüksek kükürt içerikli erimiş metalin kükürtsüzleştirme ile muameleden önce kükürttten arındırılmalıdır. Önce kükürttten arındırmadan magnezyum ile muamele edilmesi tavsiye edilmez, çünkü demir fazla magnezyum tüketir ve aşırı magnezyum sülfür cürufu üretir, bu da iyice uzaklaştırılması zordur, dökümlerde sert kusurlara yol açabilir (L. Zhenhua *et al.* 2005).

Çizelge 2. 6 Sfero Döküm Bileşim Aralığı (İnt. Kyn. 11).

GGG 40-90	Kompozisyon				
	C	Si	Mn	P	S
	3.5-4.6	<3.0	<0.1	<0.08	0.03 max

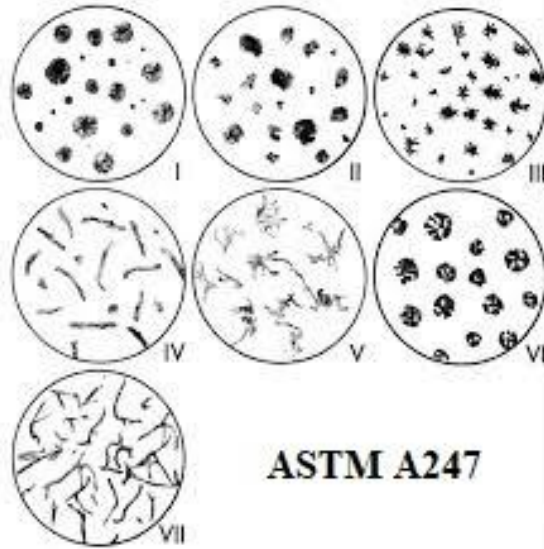
Tüm şartlar sağlandıktan sonra magnezyumun tenörüne göre hesaplama yapılır. Çizelge 2.6’da verilen GGG40-90(DIN) arasında mekanik değerlerine hangi malzeme isteniliyorsa bakır kalay dengesi bozulmayacak şekilde potaya ilave edilir veya ocağa girilir. Metal hazır olduktan sonra uygun ocak sıcaklığı da sağlandıysa, işlem yapılır. 6-7 dakikalık operasyon süresiyle döküm gerçekleştirilir. Kalıcı magnezyum dışında elde

edilen döküm bileşim aralığı Çizelge 2.6’de verilmiştir. Döküm sonrasında incelenen içyapı Şekil 2.6’da görüldüğü gibi küresel şekilli, koyu bölgeler perlitik ve açık bölgeler ferritik yapıyı temsil etmektedir. Ergimiş metale bakır kalay girdisine göre dökülen malzeme perlitik ve ferritik yapıda olabilir.



Şekil 2. 6 Küresel Grafitli Dökme Demirin İçyapısı (İnt. Kyn. 12).

İçyapıda görülen grafitlerin formları Şekil 2.7’de verildiği gibi ASTM A247 standardına göre belirlenmektedir.



Şekil 2. 7 ASTM A247 standartı (İnt. Kyn. 13).

Çizelge 2. 7 EN-1563 Standartında Gereken Minimum Dayanım ve Uzama Değerleri (İnt. Kyn. 14).

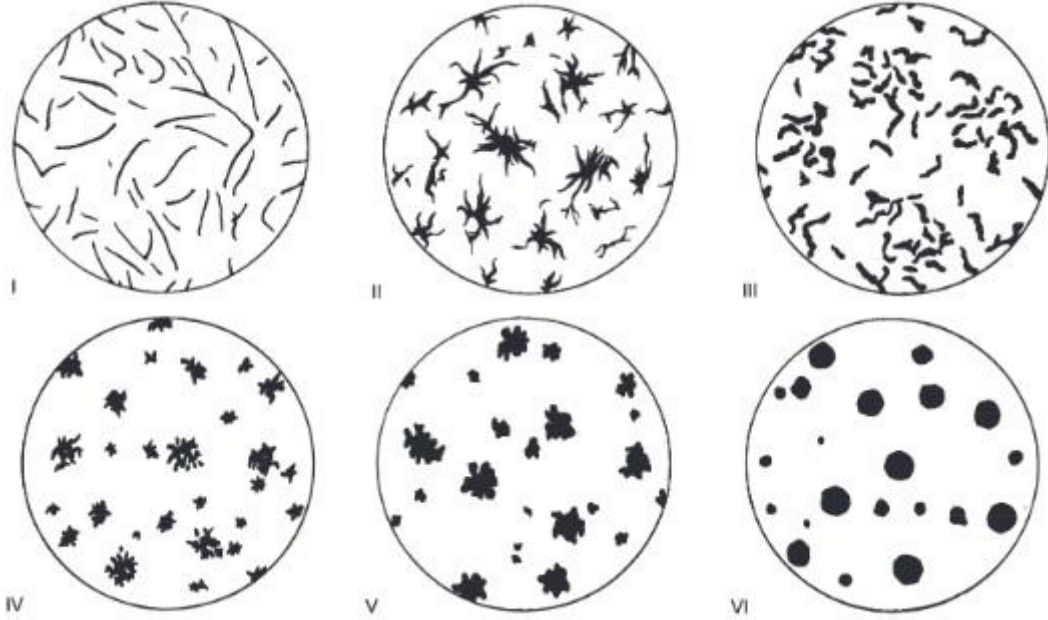
Gösterim	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-350-22-LT	350	220	22
EN-GJS-350-22-RT	350	220	22
EN-GJS-350-22	350	220	22
EN-GJS-400-18-LT	400	240	18
EN-GJS-400-18-LT	400	250	18
EN-GJS-400-18	400	250	18
EN-GJS-400-15	400	250	15
EN-GJS-450-10	400	310	10
EN-GJS-500-7	500	320	7
EN-GJS-600-3	600	370	3
EN-GJS-700-2	700	420	2
EN-GJS-800-2	800	480	2
EN-GJS-900-2	900	600	2

Teknolojik özelliklerinin yanı sıra nipten düşük fiyat ile mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve mekanik özellikler EN-1563 standardına göre Çizelge 2.7’de belirtilmiştir. Bu avantajlarından dolayı birçok otomotiv parçasında özellikle kullanışlıdır. Diğer başlıca endüstriyel uygulamalar arasında dizel kamyonlar, sınıf 8 kamyonlar, tarım traktörleri, petrol kuyusu pompaları, büyük deniz dizel motorları için tam işlenmiş piston, konik tekerlek, ağır vasıtalar için dizel motordaki hidrolik kolektör ve elektrik iletim hatlarındaki ek parçalar.

2.2.5 Vermiküler Grafitli Dökme Demirler

Elektronik ölçme ve döküm süreç kontrol teknolojilerindeki güncel gelişmeler ile vermiküler grafitli dökme demir, uygun bir üretim malzemesi haline gelmiştir. Vermiküler grafitli dökme demir, gri dökme demirden daha yüksek mukavemet ve

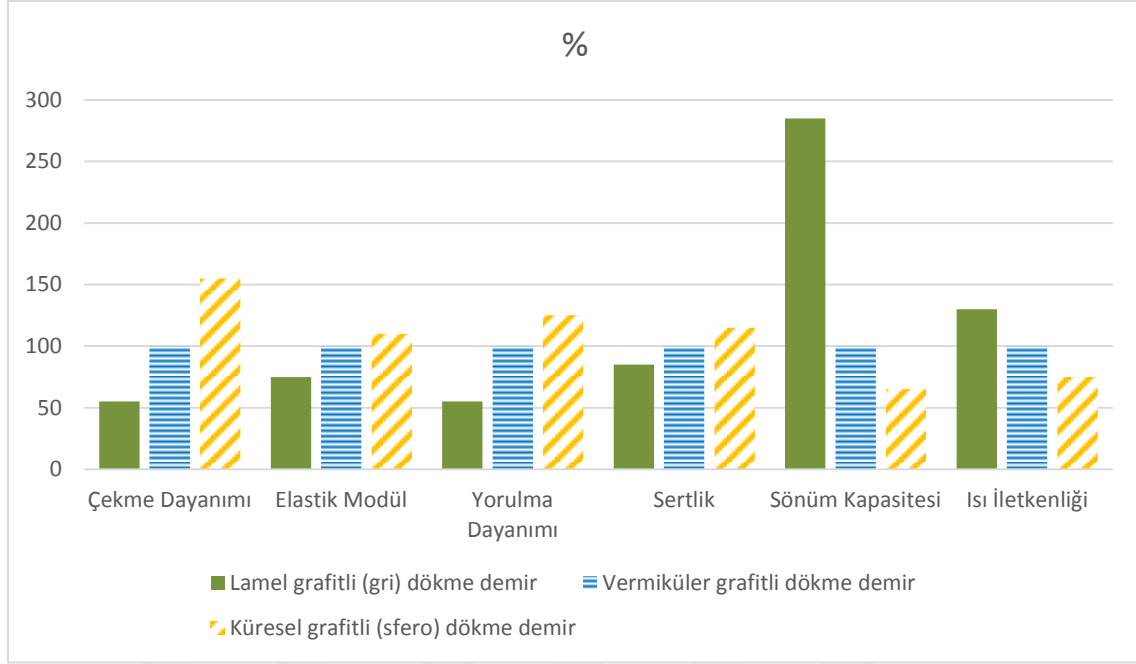
sertlik ile küresel grafitli dökme demirden daha iyi döküle bilirlilik, işlene bilirlilik ve ısı iletkenlik özelliği sebebiyle motor bloğu ve silindir kapağı gibi eş zamanlı mekanik ve ısı ılı yüklemeye maruz kalan bileşenler için oldukça uygun bir seçimdir (Dawson S. 2000).



Şekil 2. 8 Grafit Formları (İnt. Kyn. 15).

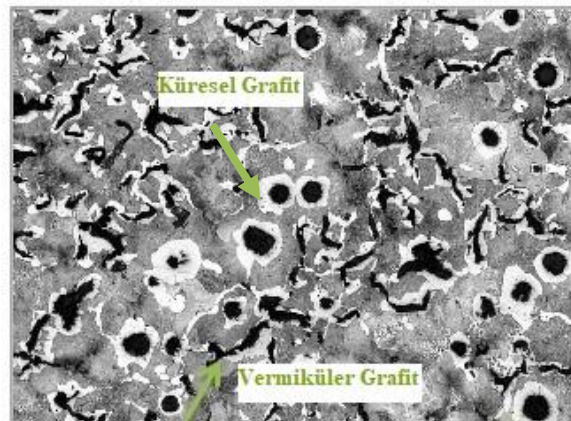
Dökme demirler grafit şekillerine göre Şekil 2.8'deki gibi ayırt edilebilirler. Gri dökme demirler rastlantısal olarak yönlenmiş lamel grafitlerle karakterize edilirken, küresel grafitli dökme demirlerde grafitler küre şeklinde görülür. Vermiküler grafitli dökme demirler içindeki grafitler, gri dökme demirlerdeki gibi rastlantısal olarak yönlenmiş, ancak daha kısa ince ve yuvarlak kenarlıdır.

Vermiküler grafitli dökme demirin grafit morfolojisi, rastlantısal olarak yönlenmiş, uzamış ve gri dökme demirdeki gibi ötektik hücrelerle birbirine bağlanmış, ancak kısa ve kalın, keskin olmayan köşelere sahip ve yuvarlak uçlar içeren matrisle kaba geçişli ara yüzeyler içeren ve genellikle lamel ve küre formu arasında geçiş şeklindedir (Sun X.J., 2007).



Şekil 2. 9 Lamel, Vermiküler ve Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Kıyaslanması (İnt. Kyn. 16).

Böylece Şekil 2.9’da görüldüğü gibi özellikle son yıllarda dikkate değer bir ilgi gören, dayanım, süneklik ve termal özelliklerin optimum kombinasyonunu gösteren vermiküler grafitli dökme demirler, gri dökme demirlere göre yüksek dayanım ve süneklik, küresel grafitli dökme demirlere göre ise daha iyi ısı iletkenlik ve darbe sönümleme özelliği gösterirler.



Şekil 2. 10 Vermiküler Grafitli Dökme Demirin İçyapısı (İnt. Kyn. 17).

Vermiküler grafitli dökme demir en az %70 daha yüksek çekme dayanımı ve %35 daha

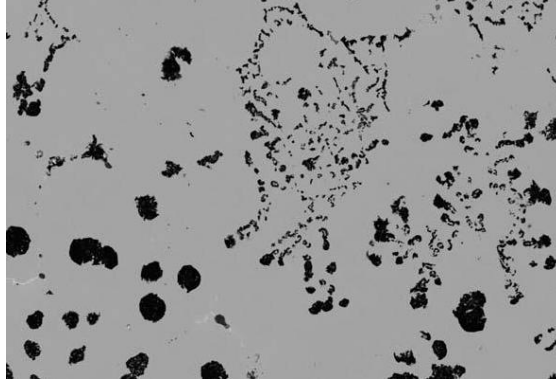
yüksek elastiklik modülü değeri ile gri dökme demirden yaklaşık olarak iki kat fazla yorulma dayanımı değerine sahiptir. Şekil 2.10'da görüldüğü gibi kabul edilebilir vermiküler grafitli bir dökme demirin içerisinde hiç lamel grafit yer almaz ve küresel grafit oranı ise %20 den azdır, en az %80 'i ise vermiküler grafitlidir. Bakır, kalay ve molibden gibi alaşım elementleri, ham döküm matrisin ferritik ve perlitik yapıya dönüşümü için kullanılır (Kim S. *et al.* 2009).

Çizelge 2. 8 GJV 450'de Bulunan Grafit Oranına Göre Mekanik Özellikleri (İnt. Kyn.18).

	Küresel Grafit Oranı (%)				
	10	30	50	70	90
Çekme Dayanımı (Mpa)	465	520	590	640	700
Akma Dayanımı (MPa)	350	370	390	420	470
Uzama (%)	1-2	1-3	2-4	2-5	3-6
Elastik Modül (GPa)	145	150	155	155	160

Grafit yapılarını değiştiren (küreselleştiren) elementler magnezyum ve nadir toprak metalleri (Seryum, lantanyum vs.). Bu küreselleştirme sonucu oluşan grafit oranına göre Çizelge 2.8'de belirtildiği gibi mekanik değerler değişmektedir. Ayrıca titanyum, grafitin vermiküler şeklini veren magnezyumun çalışma alanını genişletir, ancak matristeki perlit oluşumunu sınırlar. Vermiküler grafitlerin düzenlenmesini etkileyen diğer faktörler ise aşılmalı ilavesinden önce sıvı metalin bekleme süresi, katılma sırasındaki soğuma hızı, döküm süresi ve döküm sıcaklığıdır. Bu faktörler birbirleri ile de etkileşerek sonuç matris yapısını belirlerler (Kim S. *et al.* 2009).

İlk magnezyum işleminden sonra, modifikasyon hızlı ve yüksek bir oranda gerçekleşir. Ardından, ürün özelliklerini sağlamak için, kalıba döküm işleminden önce, gerekli görülürse, bazı iyileştirici işlemler de yapılabilir (Sunn X.J. *et al.* 2008). Küresel grafitlerin bozulması sonucunda bazı istenmeyen grafit şekilleri oluşabilir.



Şekil 2. 11 Chunky Grafit İçyapısı (İnt. Kyn. 19).

Chunky grafit biçimi, Şekil 2.11’de görüldüğü gibi küresel grafitlerin yüksek oranda dallanması sonunda görülür (Stefanescu D.M. *et al.* 2016).

Vermiküler grafitli dökme demir sadece içyapı özellikleri bakımından değil aynı zamanda mekanik özellikleri bakımından da lamel grafitli dökme demir ve küresel grafitli dökme demir arasında özelliklere sahiptir. Küresel grafitli dökme demirlerde olduğu gibi bu özellikler önemli derecede matristeki ferritin perlite olan oranına bağlıdır (Vasko A. 2016), (Pina J.C. *et al.* 2016), (Dawson S. *et al.* 2009).

2.2.5.1 Vermiküler Grafitli Dökme Demirler Nodülarite Hesabı

Vermiküler grafitli dökme demirin grafit nodülerliği, genelde sferoidal veya nodüler şekilli grafit alan-yüzdesi olarak ifade edilir (ISO/TR 945-2 2011).

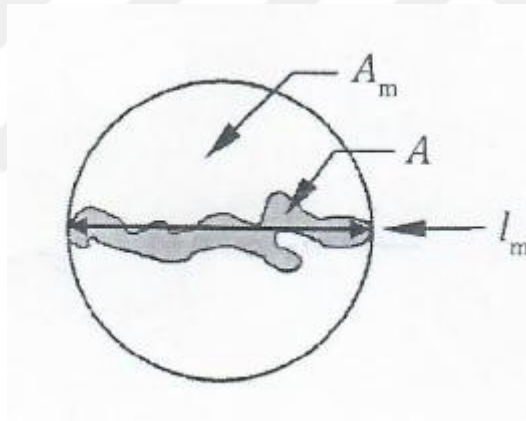
Nodülerlik düzeyi sadece dökme demirin nasıl hazırlandığına (temel dökme demir, kalıcı magnezyum içeriği, aşılama seviyesi vb.) değil, aynı zamanda söz konusu bölümün soğutma hızına da bağlıdır. Dahası, kalıp ile temas halinde olan grafitin bazı dejenerasyonu genellikle gözlemlenir, bu da dökümün yüzey bölgesinde bir miktar pul (lamellar) grafit ile sonuçlanır (ASTM A842-11 2018).

Küreselliğin yüzdesi genellikle, numunenin parlatılmış kesim bölümünde x100 büyütmede belirlenir. Doğru analiz, numunenin cilalı yüzeyinin, grafit parçacıklarının gerçek boyut ve şeklini değerlendirmek için yeterli kalitede olmasını gerektirir.

Küreselleşme, grafik karşılaştırma teknikleri, yarı otomatik görüntü analizi veya otomatik görüntü analizi ile ölçülebilir (EN 16079 2012).

Görüntü analizi ile doğru ölçüm sağlamak için, aydınlatma üniform yoğunluğa sahip olmalıdır. Gri ölçek eşik değeri, tüm grafit parçacıklarının (ön plan) açıkça tanımlanacağı şekilde ayarlanmalıdır. Minimum görüş alanı 4 mm²'dir. Analiz edilecek görüntüdeki piksel büyüklüğü 1 µm az olmalıdır. Görüntü çözünürlüğüne, grafit kalınlığına ve karbon eşdeğerine bağlı olarak birden fazla ölçüm alanı gerekebilir (JIS G 5505 2013).

Görüntü analizi ile nodülerite ölçümünün temeli olarak yuvarlaklık şekli faktörü önerilmektedir. Yuvarlaklık, aşağıdaki eşitlik 2.2 ve eşlik eden Şekil 2.12'de tanımlanmıştır.



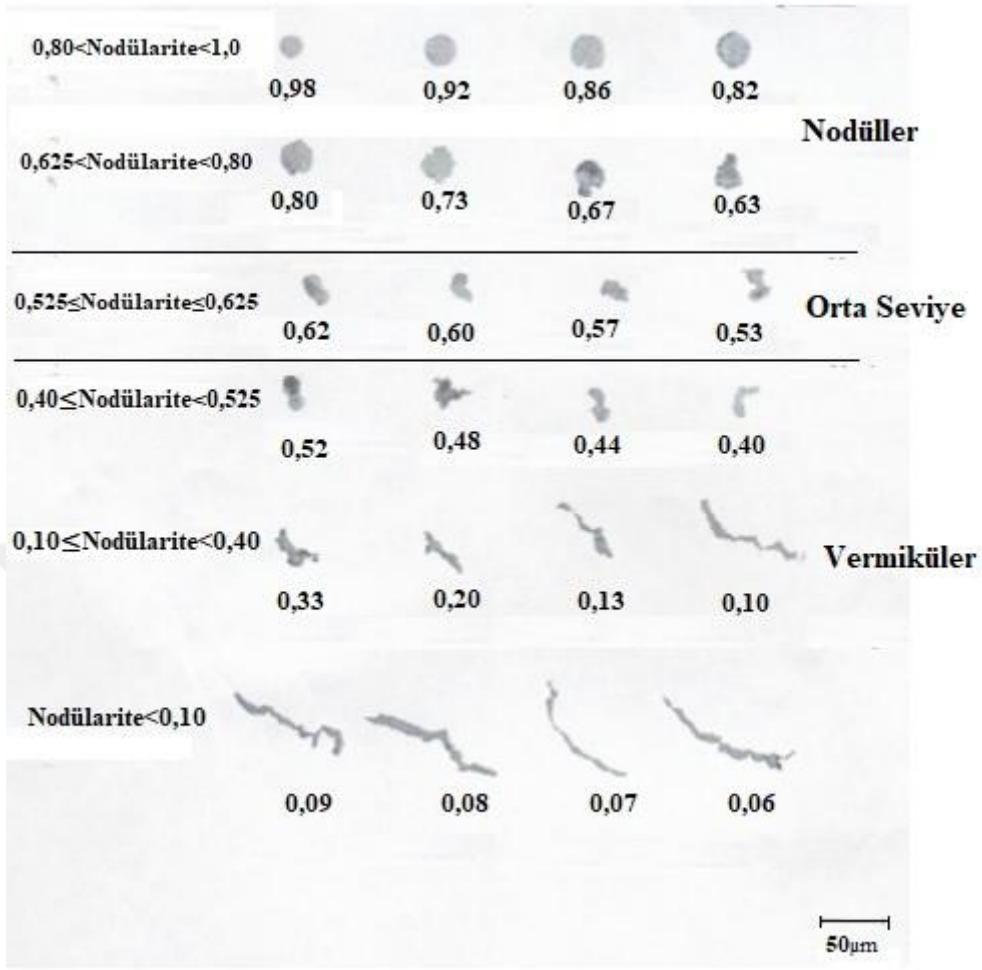
Şekil 2. 12 Nodüleritenin Yapısı (JIS G 5505 2013).

$$\text{Yuvarlaklık} = \frac{A}{A_m} = \frac{4 \times A}{\pi \times l_m^2} \quad (2.2)$$

A_m – Çap l_m nin alanı

A – Söz konusu grafit parçacığının alanı

l_m – Söz konusu grafit parçacığının maksimum eksen uzunluğu = grafit parçacık çevresi üzerindeki iki nokta arasındaki maksimum mesafe



Şekil 2. 13 Yuvarlak Şekil Faktörü ile Kategorize Edilen Grafit Parçacıklarının Görsel Gösterimi (GTB/T 26655 2011).

10 μm 'den ($l_m \geq 10 \mu m$) daha büyük veya buna eşit olan grafit parçacıkları, Şekil 2.13'de gösterildiği gibi yuvarlaklık şekli faktörü tarafından nodüler, ara veya sıkıştırılmış (vermiküler) grafit olarak sınıflandırılır.

Maksimum eksen uzunluğu 10 μm 'den az olan parçacıklar ve görüntü sınırlarına dokunan parçacıklar analize dahil edilmez. Analizde lamel grafit ve diğer çok değiştirilmemiş yapılar da dikkate alınmaz, çünkü grafitli demir yapısında lamel grafitine izin verilmez. Lamel grafit görsel olarak gözlemlenirse, bu örnekle temsil edilen dökümler reddedilmelidir. Bu gibi durumlarda, nodülerliğin hesaplanması uygun değildir ve yapılmamalıdır (GB/T 26655 2011).

Vermiküler grafitli dökme demirlerde ara grafit parçacıklarının sokulması, iki boyutlu düzlem üzerinde düzensiz şekilli grafit parçacıklarının, sıkıştırılmış grafit kümesinin bölümlendiği yerin sonucudur. Parlatılmış yüzeyde gözlemlenen grafit şekli sadece grafitin şekline değil, aynı zamanda grafit kümesinin nasıl bölümlendiğine de bağlıdır. Farklı kesişme çizgileri, Şekil 2.8de belirtilen ISO 945-1'e göre VI, form V veya form IV grafitine benzer şekilde, düzgün biçimlendirilmiş bir sıkıştırılmış grafit kümesinin düzensiz bir nodül olarak görünmesine yol açabilir (SAE J1887, 2013.). Yüzde nodülerlik eşitlik 2.3'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Yüzde Nodülerlik} = \frac{\sum A_{\text{nodüller}} + 0,5 \times \sum A_{\text{orta dereceliler}}}{\sum A_{\text{tüm parçacıklar}}} \times 100 \quad (2.3)$$

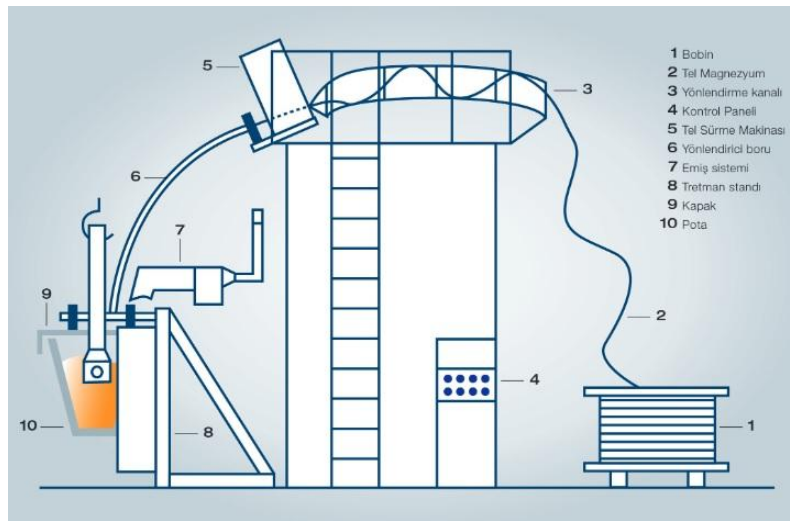
Tüm parçacıklar dediği kısım $l_m \geq 10 \mu m$ alandır.

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışma işletme şartları altında seçilen ve dökülen, vermiküler grafitli dökme demirin üretimi, tandiş ve tel işlemlerle elde edilen deneme parçalarının farklı kesit boyutlarında, iç yapı, mekanik ve nodülerite özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dökümlerin kimyasal bileşimi optik emisyon spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Döküm numunelerinde mekanik testler yapılmış ve bu numunelerin çekme mukavemeti, sertlik değerleri belirlenmiştir. Farklı kesit büyüklüklerine sahip her bir numunenin optik mikroskop ve mikro fotoğrafları kullanılarak metalografik inceleme yapılmıştır. Ayrıca, grafit ve matris alanı yüzdeleri ve vermiküler grafit boyutları, görüntü analizi tekniği ile belirlenmiştir.

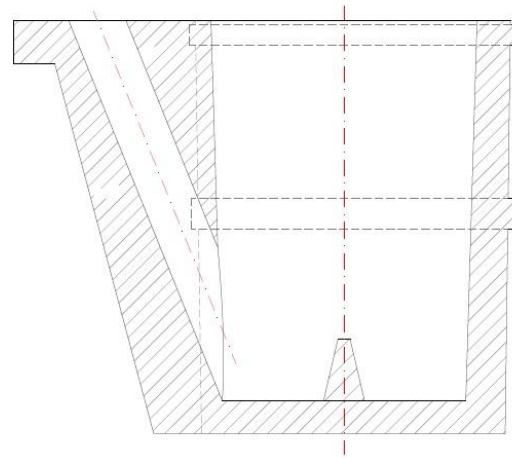
3.1 Malzemeler ve Ekipmanlar

Vermiküler grafitli döküm üretimi, Şekil 3.1'de gösterilen, Inductotherm indüksiyon ocağı olarak adlandırılan 6500 kg kapasiteli, orta frekanslı indüksiyon ocağıyla yapılmıştır. Ocak yükleme malzemeleri olarak pik ve dkp hurda kullanıldı. Erimiş metali alaşımlamak için, Cu, Fe-Mn ve Fe-Si kullanıldı. Denemelerde grafit yapısını vermikülere dönüştürmek için 2 farklı yöntem uygulanmıştır. Tandiş pota ile işlem ve tel işlem yöntemleri kullanılmıştır.



Şekil 3. 1 Tel İşlem Şematik Görünüm (İnt.Kyn. 20).

Tandiş pota içerisinde 2 bölme bulunmaktadır. 1.bölmeye Fe-Si-Mg ve üzerine yanmayı geç başlatmak için örtü silisi konulmuştur, işlem sırasında Fe-Si-Mg geç yanması için ocaktan alınan metal 2.bölmeye gelecek şekilde pota doldurulmuştur. Amaç işlem sırasında 1.bölümün üstünü direk ergimiş metalle kapatıp verimli şekilde Fe-Si-Mg kullanılması sağlanmıştır. Fe-Si-Mg alaşımı, Şekil 3.2'de gösterilen Tandış pota ile işlem sonucu CGI oluşması için potaya saf kükürt ilavesi yapılmıştır. 2.proses olarak tel işlem yöntemiyle Fe-Si-Mg-Ce cinsi Mg tel ve aşısı cinsi olarak Fe-Si-Ba denenmiştir.



Şekil 3. 2 Inductotherm İndüksiyon Ocağı, Tandış Pota İşlemi ve Teknik Resmi.

Çizelge 3. 1 Pik İçeriği.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ti	Cu	Al
4,105	0,541	0,048	0,036	0,012	0,0030	0,012	0,010	0,013	0,001

Çizelge 3. 2 Dkp İçeriği.

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Sn	Al
0,028	0,009	0,1387	0,0235	0,0241	0,0030	0,0115	0,0112	0,0013	0,081

Ocak şarjı için seçilen pik ve dkp analizleri Çizelge 3.1 ve 3.2'deki gibi kullanılmıştır.

Çizelge 3. 3 FeSiMg İçeriği (Elkem).

	Si %	Mg %	RE %	Ca %	Al %
Min	44,0	5,80	0,40	1,20	-
Max	48,0	6,30	0,60	1,60	1,00

Çizelge 3. 4 FeSiMgCe İçeriği (ASK Chemicals).

1 Rulo Toplam (m)	Si (g/m)	Mg (g/m)	Ce (g/m)
441	72	30	21

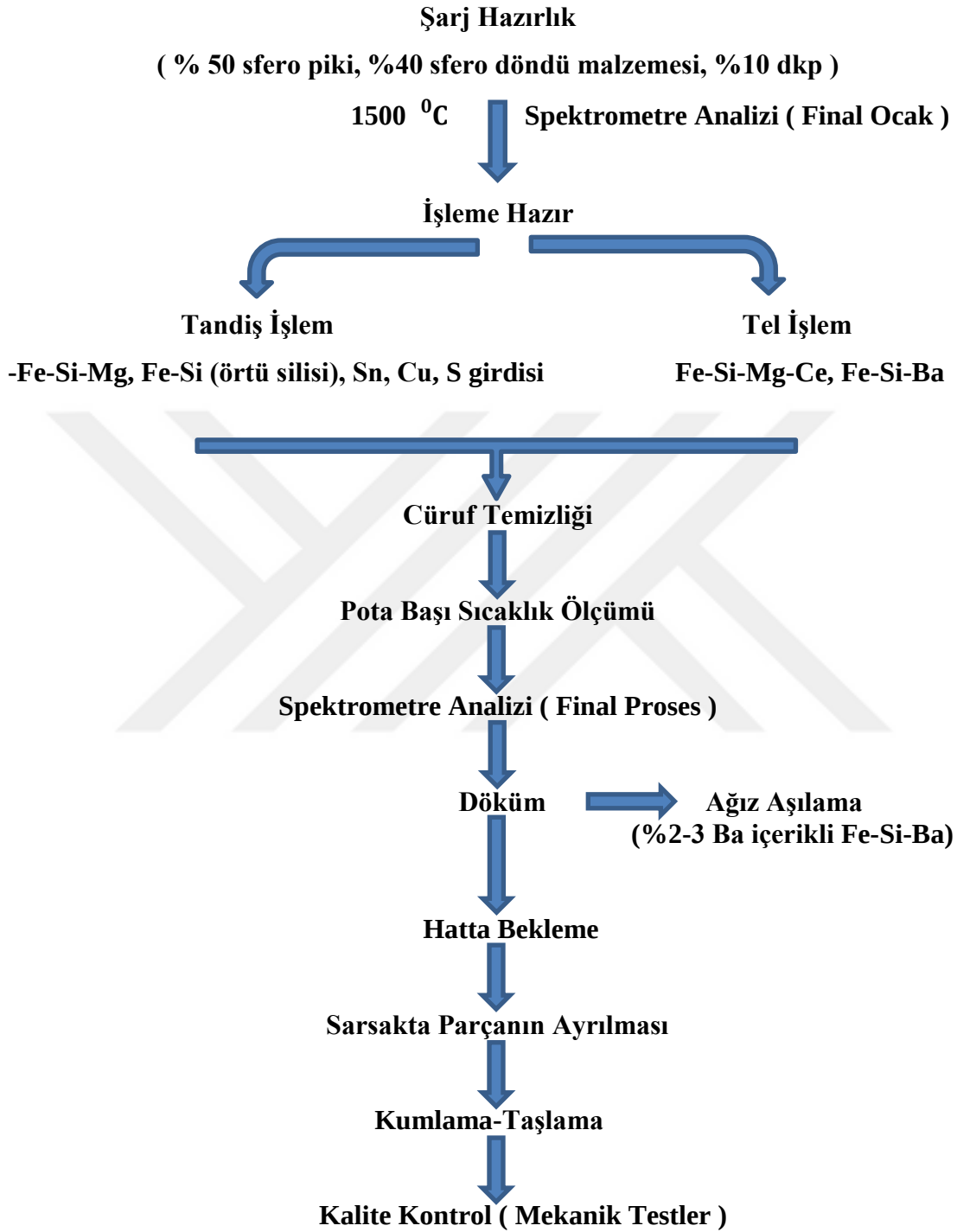
Tandış pota ve tel işlem ile yapılan denemelerde kullanılan küreselleştiriciler Çizelge 3.3 ve 3.4’de belirtilen oranlarda kullanılmıştır.

Çizelge 3. 5 FeSiBa İçeriği (Elkem).

	Si %	Ca %	Ba %	Al %
Min	64,0	1,00	2,00	0,80
Max	70,0	2,00	3,00	1,50

Çizelge 3.5’de içeriği verilen FeSiBa (Elkem, Barinoc) aşılایıcı genel amaçlı kullanılan bir aşılایıcı olup düşük kükürt içeriğine sahip gri dökümlerde ve pota aşısı olarak sfero dökümlerde geniş bir uygulama alanına sahip olmuştur.

Çizelge 3. 6 Deneysel Üretim Süreci Akım Şeması.



Fabrikada yapılan denemelerin üretim süreci Çizelge 3.6'daki sıraya göre yapılmıştır.

3.2 Tandış Pota Yöntemi ile Yapılan Dökümler

Tandış pota ile yapılan denemelerde Sn 0,02-0,03 aralığında çalışılmıştır. 1.denemede mangan ve bakır arttırılmış, 2.denemede sadece bakır arttırılmış, 3.denemede mangan, bakır sabit tutulmuştur.

% 50 sfero piki, % 40 sfero döndü malzemesi ve % 10 dkp malzemeleri indüksiyon ocağına yüklenmiştir ve 1500 °C 'de ergitilmiştir. 1500 °C 'ye gelen ocaktan bakır kaba numune alınmıştır ve spektrometrede analize bakılmıştır. İstenilen aralıklar sağlandığında işleme hazır hale getirilmiştir. Proses de final analize göre potanın gözüne % 0,4-0,6 Fe-Si-Mg konulmuştur, magnezyum kaybını yavaşlatmak adına örtü silisiyle kapatılmıştır. Mekanik değerlerin sağlanması için potaya bakır, kalay ve mangan ilavesi yapılmıştır. Küresel yapıyı bozmak amaçlı işlem öncesinde potaya 40-50 gr aralığında kükürt konulmuştur.

İşlem sonrası magnezyum kaybını takip etmek için pota başı, pota sonu analiz ve döküm sıcaklık değerleri alınmıştır ve maksimum 5 dakikada döküm tamamlanmıştır.

3.2.1 Tandış Pota 1.Deneme Döküm

Çizelge 3. 7 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm Analiz.

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	°C
Ocak	3,76	1,27	0,12	0,02	0,01	0,01	0,003	0,02	0,001	0,071	1460
Döküm Öncesi	3,53	2,37	0,65	0,02	0,01	0,01	0,024	0,52	0,025	0,073	1400
Döküm Sonrası	ALINAMADI										1370

Çizelge 3. 8 Tandış Pota ile 1.Deneme Pota Girdileri.

İşlem Ağırlığı	Fe-Si-Mg	Fe-Si-Ba	Fe-Si	S	Cu	Sn	Mn
300 Kg	1900 gr	1500 gr	1400 gr	50 gr	1750 gr	70 gr	2500 gr

Tandiş pota ile 1.deneme dökümün ocak analizi Çizelge 3.7' de belirtildiği gibi %3,70-3,80 C ile %1,20-1,30 Si şarjı ayarlanmıştır. Diğer elementlerin hepsi döndü, pik ve dkp den geldiği gibidir. İşletme şartları altında seçilen farklı kesitlere sahip motor kapağının ISO 16112/JV/450 uluslararası standartlarda mekanik değerlerin tutturulabilmesi için işlem sırasında 300 kg sıvı metal bulunan tandiş potaya Çizelge 3.8'de belirtilen miktarlarda Cu, Sn ve Mn atılmıştır. Atılan bu alaşımlarla perlitik yapı sağlanması amaçlanmıştır. İşlem için % 0,4-0,6 Fe-Si-Mg kullanılmıştır. Potanın içerisinde Fe-Si-Mg geç tepkimeye girmesi için üzeri Fe-Si ile kapatılmıştır. İşlem sırasında oluşan küresel yapıyı bozmak ve vermiküler grafitlerin oluşmasını sağlamak için Çizelge 3.8'de belirtilen miktarda S tandiş potanın içerisine atılmıştır. İşlem sonrasında potanın cürufu perlit ile temizlemiştir. Döküm öncesi ve sonrasında magnezyumun ne kadar yandığını takip etmek amacıyla spektrometre numuneleri alınmıştır. Fe-Si-Mg verimliliği, düzgün grafit yapısı ve parçanın kesitlerine göre istenilen sıcaklık aralıklarının takip edilebilmesi için Çizelge 3.7'de belirtildiği gibi pota başı ve pota sonu sıcaklığa bakılmıştır. Döküm sırasında % 0,5 Fe-Si-Ba aşılایıcı kullanılmıştır. Perlitik yapı sağlanması amaçlanmıştır.

3.2.2 Tandış Pota 2.Deneme Döküm

Çizelge 3. 9 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm Analiz.

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	°C
Ocak	3,8	1,78	0,14	0,01	0,018	0,01	0,003	0,02	0,001	0,094	1480
Döküm Öncesi	3,5	2,37	0,13	0,02	0,018	0,01	0,022	0,49	0,031	0,094	1360
Döküm Sonrası	3,5	2,35	0,13	0,02	0,017	0,01	0,023	0,49	0,024	0,094	1335

Çizelge 3. 10 Tandış Pota ile 2.Deneme Pota Girdileri.

İşlem Ağırlığı	Fe-Si-Mg	Fe-Si-Ba	Fe-Si	S	Cu	Sn
300 Kg	1900 gr	1500 gr	-	40 gr	1650 gr	70 gr

Tandiş pota ile 2.deneme dökümün ocak analizi Çizelge 3.9'da belirtildiği gibi %3,70-3,80 C ile %1,70-1,80 Si şarjı ayarlanmıştır. Diğer elementlerin hepsi döndü, pik ve dkp

den geldiği gibidir. İstenilen mekanik değerler için işlem sırasında 300 kg sıvı metal bulunan tandış potaya Çizelge 3.10'da belirtilen miktarlarda Cu ve Sn atılmıştır. İşlem için % 0,4-0,6 Fe-Si-Mg kullanılmıştır. Ocakta Si değeri yüksek tutularak Fe-Si-Mg üzerine Fe-Si kapatılmamıştır. İşlem sırasında oluşan küresel yapıyı bozmak ve vermiküler grafitlerin oluşmasını sağlamak için Çizelge 3.10 belirtilen miktarda S tandış potanın içerisine atılmıştır. Kükürt miktarı 1. ve 2.denemeyle aynı tutulmuştur. İşlem sonrasında potanın cürufu perlit ile temizlemiştir. Döküm öncesi ve sonrasında magnezyumun ne kadar yandığını takip etmek amacıyla spektrometre numuneleri alınmıştır. Fe-Si-Mg verimliliği, düzgün grafit yapısı ve parçanın kesitlerine göre istenilen sıcaklık aralıklarının takip edilebilmesi için Çizelge 3.9'da belirtildiği gibi pota başı ve pota sonu sıcaklığa bakılmıştır. Döküm sırasında % 0,5 Fe-Si-Ba aşılایıcı kullanılmıştır. Bu denemede Sn, Cu 1.deneme ile sabit tutulmuştur. Mn atılmayarak yapıda %50 ferrit ve %50 perlit sağlanması amaçlanmıştır.

3.2.3 Tandış Pota 3.Deneme Döküm

Çizelge 3. 11 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm Analiz.

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	°C
Ocak	3,76	1,49	0,14	0,02	0,015	0,01	0,005	0,02	0,001	0,056	1480
Döküm Öncesi	3,42	2,40	0,30	0,02	0,018	0,01	0,02	0,16	0,027	0,076	1360
Döküm Sonrası	3,41	2,42	0,30	0,02	0,018	0,01	0,02	0,16	0,022	0,076	1335

Çizelge 3. 12 Tandış Pota ile 3.Deneme Pota Girdileri.

İşlem Ağırlığı	Fe-Si-Mg	Fe-Si-Ba	Fe-Si	S	Cu	Sn
300 Kg	1700 gr	1500 gr	1500 gr	50 gr	50 gr	350 gr

Tandış pota ile 3.deneme dökümün ocak analizi Çizelge 3.11'de belirtildiği gibi %3,70-3,80 C ile %1,40-1,60 Si şarjı ayarlanmıştır. Diğer elementlerin hepsi döndü, pik ve dkp den geldiği gibidir. İstenilen mekanik değerler için işlem sırasında 300 kg sıvı metal bulunan tandış potaya Çizelge 3.10'da belirtilen miktarlarda Cu ve Sn atılmıştır. İşlem için %0,4-0,6 Fe-Si-Mg kullanılmıştır. Potanın içerisinde Fe-Si-Mg geç tepkimeye

girmesi için üzeri Fe-Si ile kapatılmıştır. İşlem sırasında oluşan küresel yapıyı bozmak ve vermiküler grafitlerin oluşmasını sağlamak için Çizelge 3.12’de belirtilen miktarda S tandış potanın içerisine atılmıştır. Kükürt miktarı 1.denemeyle aynı tutulmuştur. İşlem sonrasında potanın cürufu perlit ile temizlemiştir. Döküm öncesi ve sonrasında magnezyumun ne kadar yandığını takip etmek amacıyla spektrometre numuneleri alınmıştır. Fe-Si-Mg verimliliği, düzgün grafit yapısı ve parçanın kesitlerine göre istenilen sıcaklık aralıklarının takip edilebilmesi için Çizelge 3.11’de belirtildiği gibi pota başı ve pota sonu sıcaklığa bakılmıştır. Döküm sırasında % 0,5 Fe-Si-Ba aşılایıcı kullanılmıştır. Bu denemede Sn, Mn 2.deneme ile sabit tutulmuştur. Cu atılmayarak yapının ferritik olması amaçlanmıştır.

3.3 Tel İşlem Deneme

% 50 sfero piki, % 40 sfero döndü malzemesi, % 10 dkp ve istenilen mekanik değerlere göre bakır, kalay malzemeleri indüksiyon ocağına yüklenmiştir ve 1500 °C ’de ergitilmiştir. 1500 °C ’ye gelen ocaktan bakır kaba numune alınmıştır ve spektrometrede analize bakılmıştır. İstenilen aralıklar sağlandığında tel işleme hazır hale getirilmiştir. Prosesimizde final analize göre potamıza küreselleştirici olarak Fe-Si-Mg-Ce ve aşılایıcı olarak Fe-Si-Ba teller kullanılmıştır, bu sistem hızlı ve hassas bir işlem yöntemidir. İşlem sonrası pota başı, pota sonu analiz ve sıcaklık değerleri alınmıştır. Bu işlemler yapıldıktan sonra bekleme süresi 4 dk tamamlandıktan sonra döküm yapılmıştır, maksimum 3 dakikada döküm tamamlanmıştır.

3.3.1 Tel İşlem ile Deneme Döküm

Çizelge 3. 13 Tel İşlem ile Deneme Döküm Analiz.

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	°C
Ocak	3,84	2,20	0,30	0,018	0,01	0,103	0,89	0,002	0,022	0,002	1490
Döküm Öncesi	3,37	2,40	0,30	0,012	0,01	0,10	0,89	0,022	0,023	0,012	1408
Döküm Sonrası	3,35	2,42	0,30	0,012	0,01	0,09	0,89	0,010	0,023	0,014	1396

Çizelge 3. 14 Tel İşlem ile Deneme Pota Girdileri.

İşlem Ağırlığı	Kullanılan Mg Tel Uzunluğu (m)	Kullanılan Aşı Tel Uzunluğu (m)
800 Kg	Fe-Si-Mg-Ce 9 (4,6 kg)	Fe-Si-Ba 4,5 (2 kg)

İşletme şartları altında seçilen parçada GJV 450 standartlarının sağlanabilmesi için tandiş pota denemeleri örnek alınarak Çizelge 3.13’ de görüldüğü gibi daha yüksek miktarda ocakta Mn, Sn ve Cu atılmıştır. Tel işlem sırasında 800 kg sıvı metale Çizelge 3.14’ de belirtildiği gibi 13 mm kalınlığında 9 metre Fe-Si-Mg-Ce ve aşısı olarak 13 mm kalınlığında 4,5 metre Fe-Si-Ba teller kullanılmıştır. Fe-Si-Mg-Ce telin içindeki seryum küreselleşmeyi sağlanmaktadır. Döküm öncesi 4 dk beklenerek vermiküler yapı hedeflenmiştir. Aşısı olarak Fe-Si-Ba tel kullanılmasının tek amacı Mg’nin yanma süresini uzatmaktır. Tel işlemde kullanılacak Fe-Si-Mg-Ce ve Fe-Si-Ba miktarları Ask Chemicals firması tarafından belirlenmiştir.

4. BULGULAR

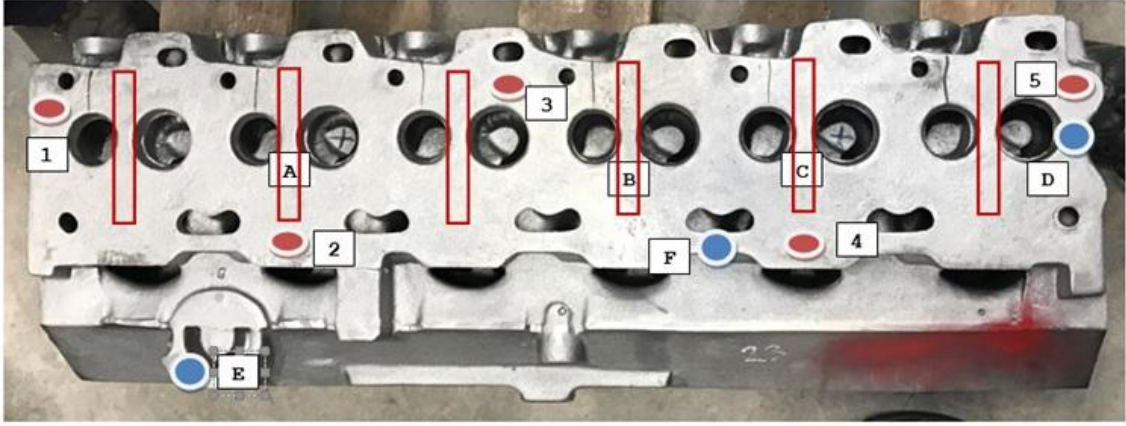
Yapılan denemeler sonucunda içyapı durumu için numunelere bakılmıştır. Parçanın geometrik şekli incelendiğinde Resim 4.2, 4.3 ve 4.4’de gösterilen bölgelerin birbirlerinden farklı soğuma hızlarına sahip oldukları görülmüştür. Parçanın kalıp duvarlarına yakın olan bölgeleri, kütlenin yoğun olduğu parçanın orta bölgesine göre daha hızlı soğumuştur. Hızlı soğuyan kesitte küre sayısının yüksek olduğu Çizegel 4.3, 4.4 ve 4.5 de verilen metalografik verilerle ispatlanmıştır. Vermiküler yapının kesit kalınlıklarındaki dağılımını incelemek amaçlı denemelerin içyapılarına bakılmıştır. Bunun sonucunda ferrit, perlit grafit formu yüzdeleri, grafit boyu ve küre sayısı hesaplanmıştır.

4.1 Metalografik Numune Hazırlama ve İçyapı Analizleri

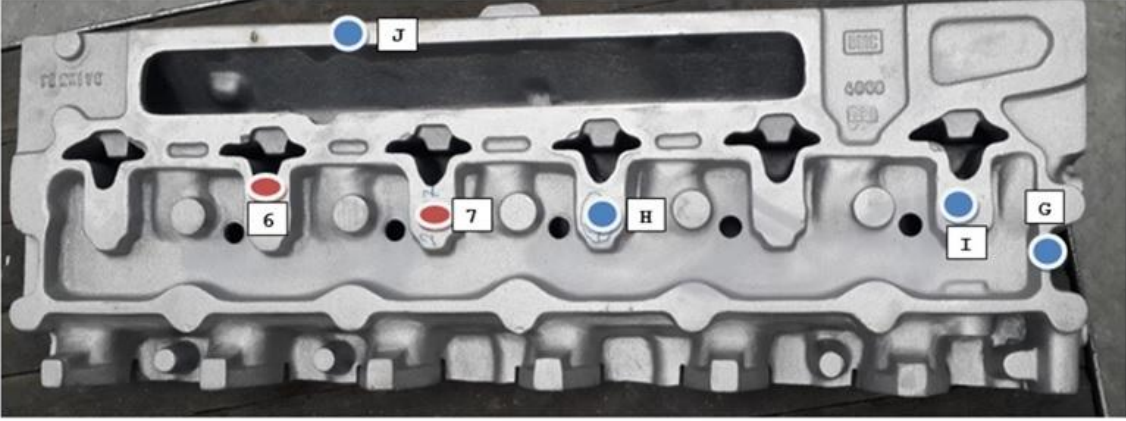
Ana parçadan metalografik numune parçaları testere ile keserek çıkarılmıştır. İçyapı analizi için numune hazırlama işleminde, Resim 4.1’ deki numune parlatma cihazıyla sırasıyla 500-800-1200-2500 mesh’lik SiC zımparayla zımparalama, 1 μ m elmas pasta ile parlatma ve %2 Nital ile dağlama yapılmıştır. Daha sonra numuneler 100X büyütmede Resim 4.1’deki Nikon marka metalografik mikroskop ile incelenmiştir.



Resim 4. 1 Numune Parlatma Cihazı ve Metalografik Mikroskop.



Resim 4. 2 Dökümü Gerçekleştirilen Parça ve Numune Alınan Farklı Kesit Bölgeleri.



Resim 4. 3 İçyapıya Bakılan Bölgeler – 2.



Resim 4. 4 İçyapıya Bakılan Bölgeler – 3.

Deneme dökümlerinde kullanılan işletme şartları altında seçilen farklı kesitlere sahip motor kapağının Resim 4.2 ve 4.3’de harf ile belirtilen bölgelerden testere ile metalografik numuneler ve rakam ile gösterilen bölgelerden sertlik değerleri ölçülmüştür. Resim 4.2’de dikdörtgen kutucuk bölümlerinden çekme çubukları çıkarılmıştır.

Harf ile gösterilen bölgelerin kesit kalınlıkları Çizelge 4.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 4. 1 Alınan numunelerin kesit kalınlıkları.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Kesit Kalınlığı (mm)	19,1	19,1	19,1	26,5	10,8	16,5	8,2	42,7	42,6	20,3

4.1.1 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm İçyapı Analizi

Kesitlerden alınan içyapılar ISO 945-1 standart formlarına göre sınıflandırılmıştır. Çizelge 4.2’de verilen yüzde grafit formunda sayı ile belirtilen kısım yüzdeyi, roma rakamı ise grafit formunu göstermektedir. 1.sayı kısmı nodülariteyi, 2.sayı kısmı küreselliği belirtmektedir.

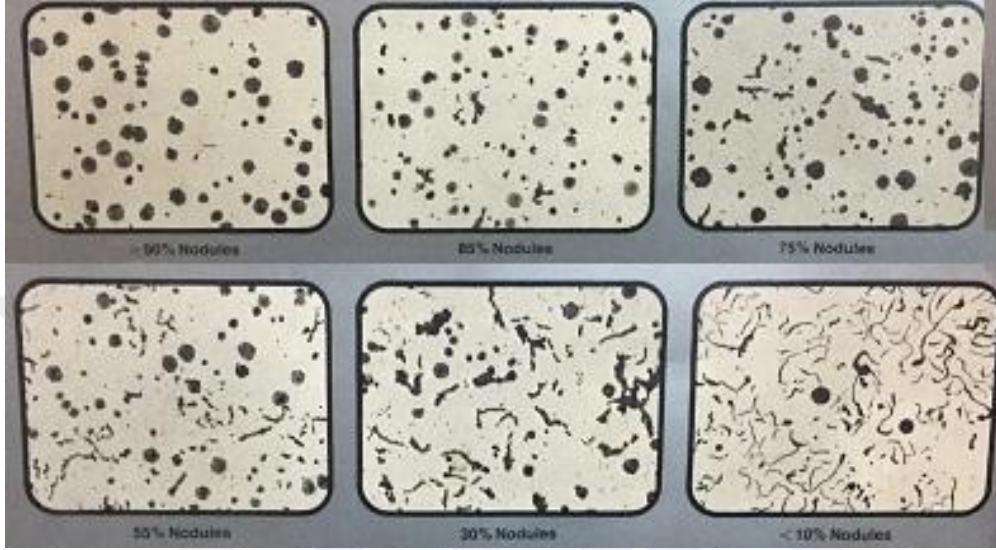
Çizelge 4. 2 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm İçyapı Analizi.

İçyapı Özellikleri						
Kesit Kalınlığı	Bölge	Ferrit (%)	Perlit (%)	Grafit Formu (%)	Grafit Boyu	Küre Sayısı (Küre Sayısı/mm ²)
19,13	A	10	90	90 III – 10 VI	5-6	10-15
19,13	B	10	90	90-85 III – 10-15 VI	5-6	15
19,13	C	15-20	85-80	90 III- 10 VI	5-6	10
26,51	D	15-20	85-80	90 III – 10 VI	5-6	10
10,89	E	30-35	70-65	85-80 III – 15-20 VI	5-6	15-20
16,51	F	20	80	85-80 III – 15-20 VI	5-6	15
8,20	G	30	70	80 III – 20 VI	6-7	20
42,72	H	15-20	85-80	85 III – 15 VI	6-7	20
42,63	I	15	85	85 III – 15 VI	6-7	20
20,33	J	15-20	85-80	85-80 III – 15-20 VI	6-7	20

Tandış pota ile 1.deneme dökümde Sn, Cu ve Mn miktarları arttırılarak Perlitik bir yapı oluşturulmuştur. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi kesit kalınlığı arttıkça soğumanın yavaş olduğu bölgelerde nodülarite artmış, küresellik azalmıştır. Kesit kalınlığı azaldıkça soğuma hızlandığı için nodülarite azalmış, küresellik artmıştır. H-I-J bölgeleri diğerlerine göre kalın kesitli olmasına rağmen küresellik 15-20, nodülarite 80-85 çıkmıştır, bu noktalara kalıbın en son sıvı metal ulaştığı bölgeler olduğu için diğer

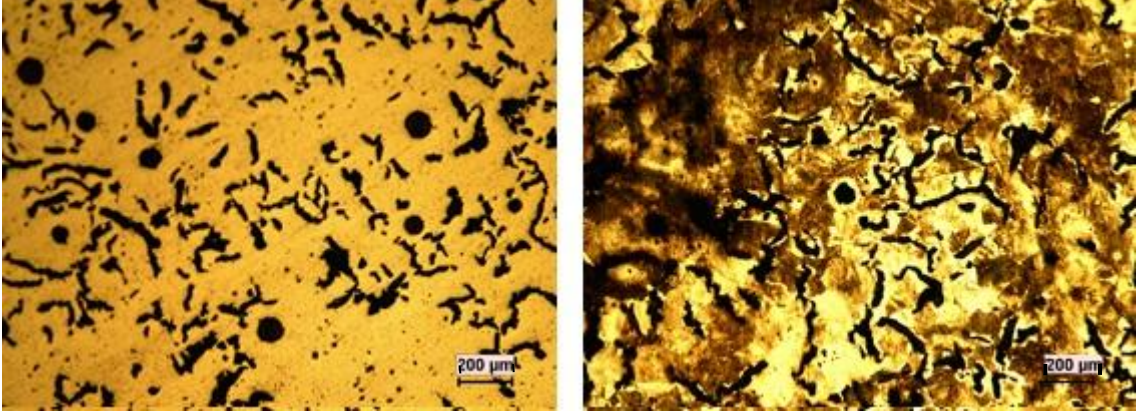
bölgelere göre daha soğuk sıvı metal ulaştığı ve soğuma hızlı gerçekleştiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.2’de hesaplanan nodül sayıları Resim 4.5 baz alınarak bulunmuştur.

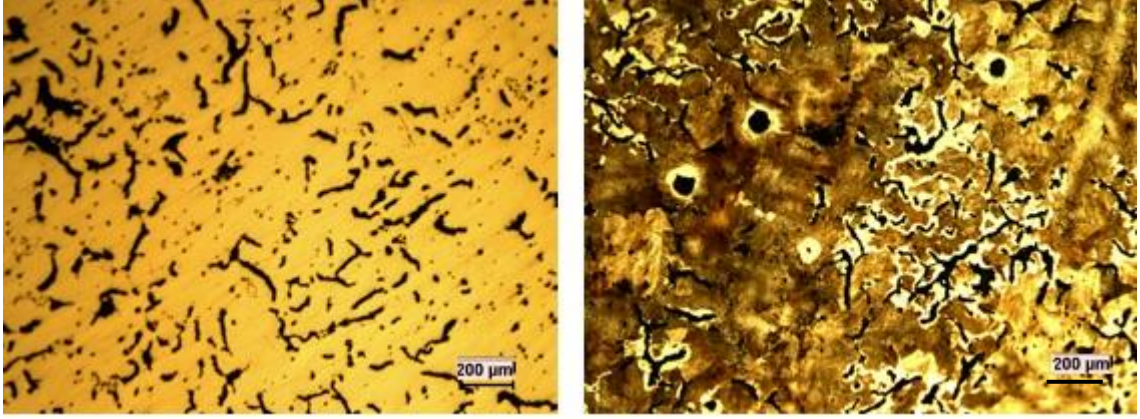


Resim 4. 5 ASTM A 247 % Nodül Hesaplama.

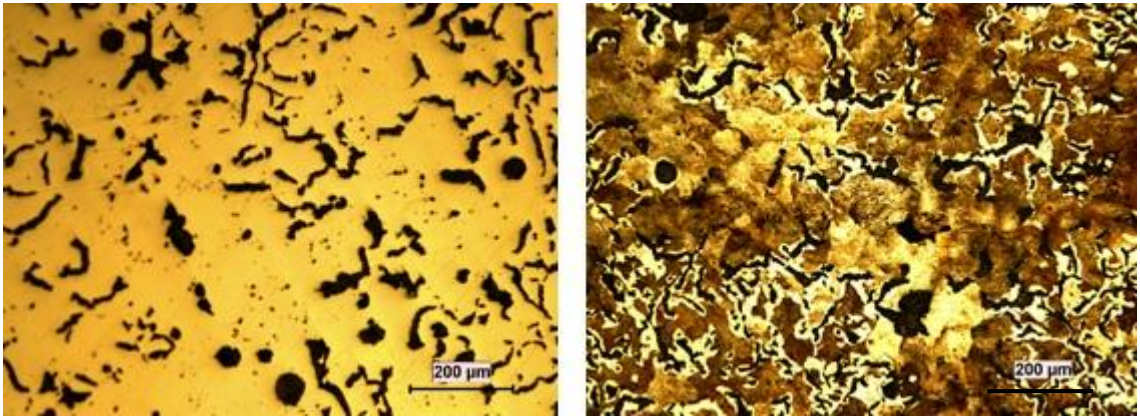
A BÖLGESİ



B BÖLGESİ



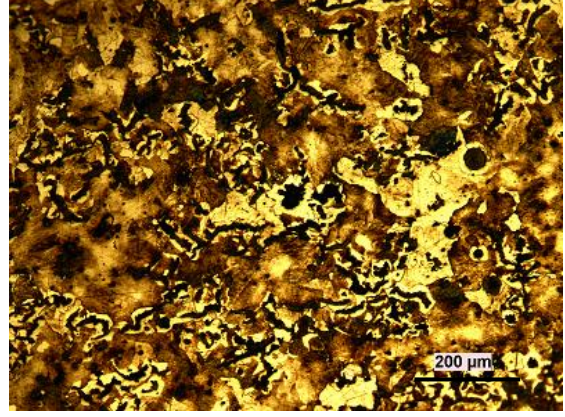
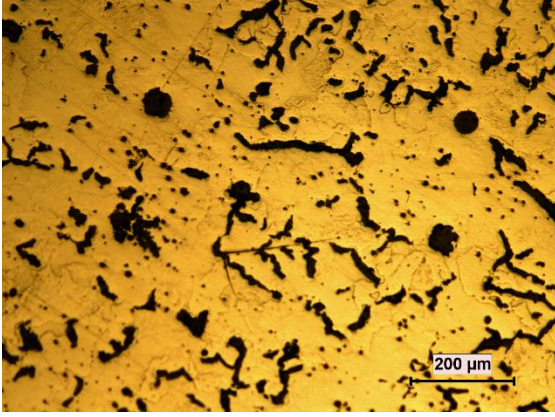
C BÖLGESİ



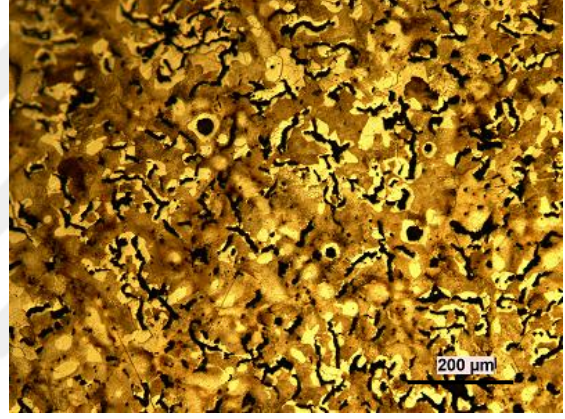
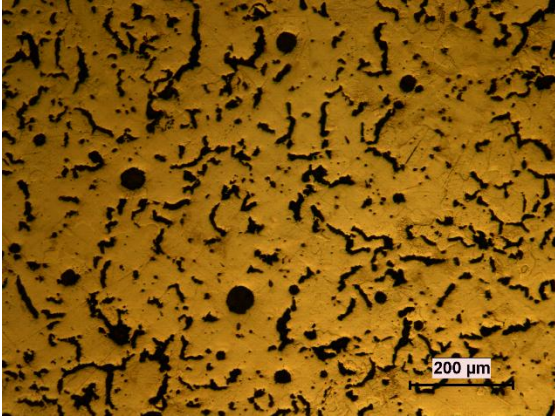
Resim 4. 6 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm A, B, C Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.6 da görölen A, B ve C kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 10-15 gözlenmiştir. % 85-90 perlitik % 15-10 ferritik yapı oluşmuştur.

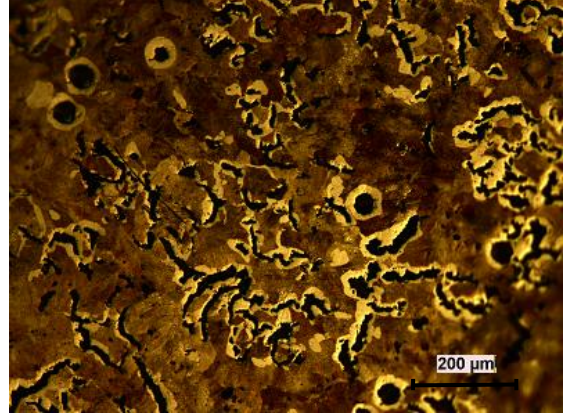
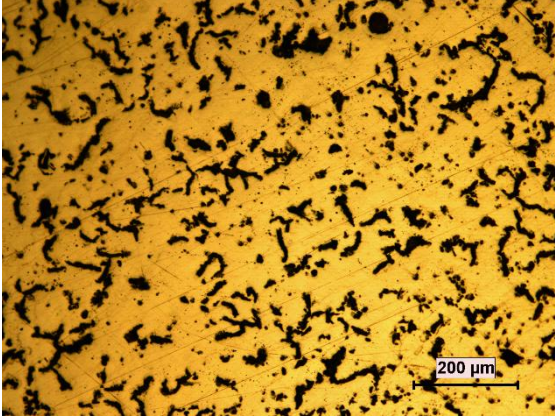
D BÖLGESİ



E BÖLGESİ



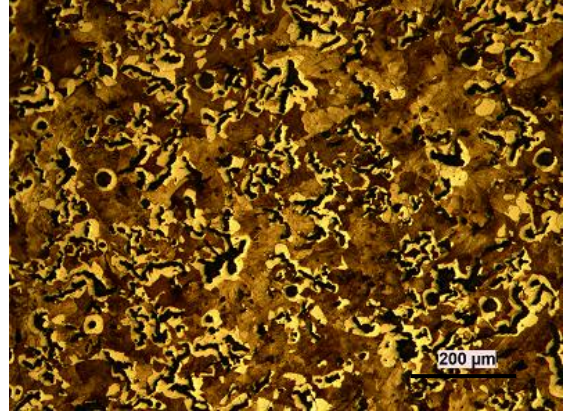
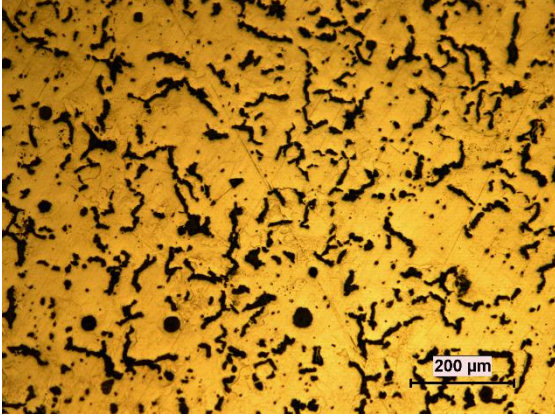
F BÖLGESİ



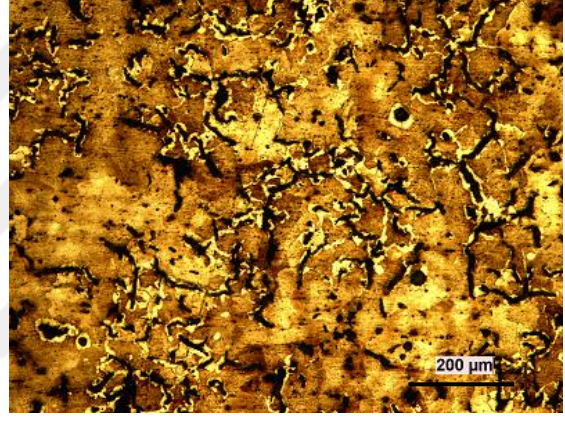
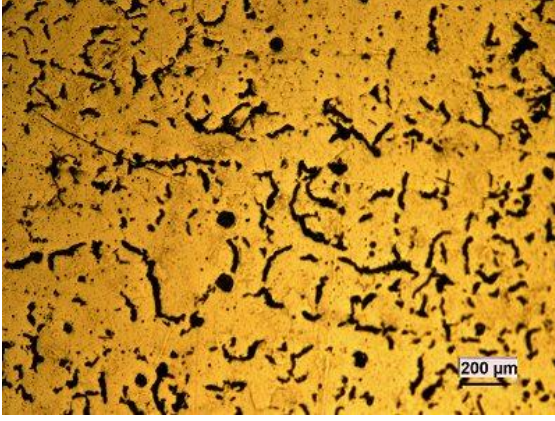
Resim 4. 7 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm D, E, F Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.7 de görölen D, E ve F kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 10-20 gözlenmiştir. % 65-80 perlitik % 15-35 ferritik yapı oluşmuştur.

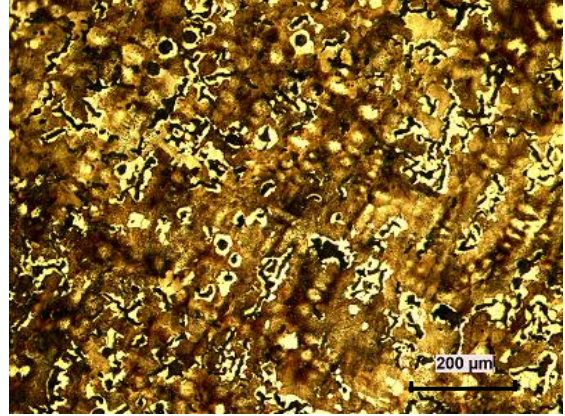
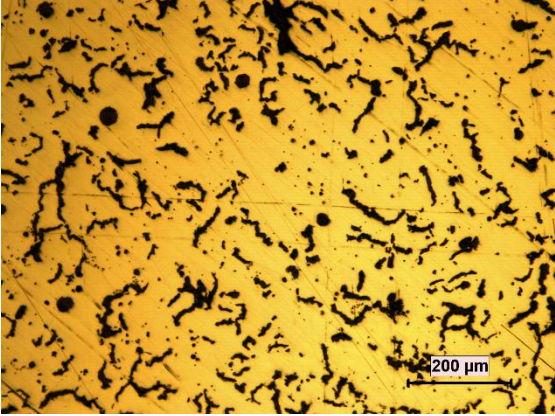
G BÖLGESİ



H BÖLGESİ



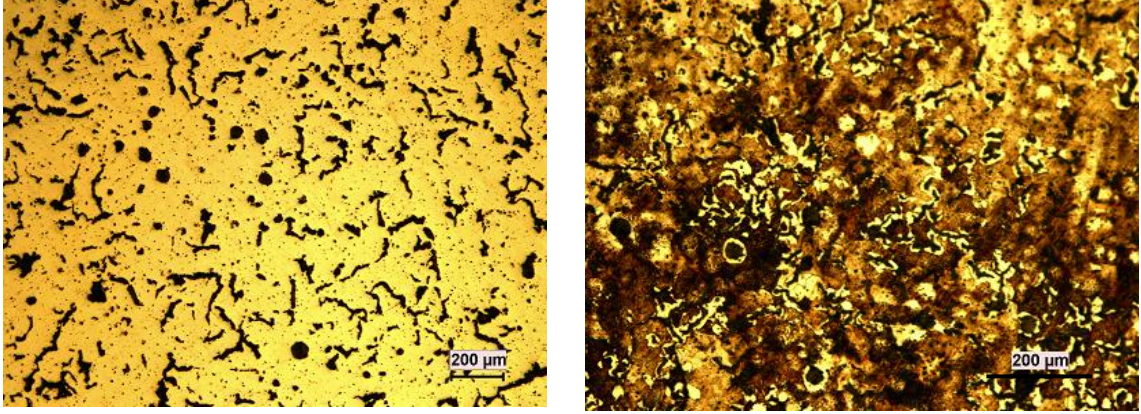
I BÖLGESİ



Resim 4. 8 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm G, H, I Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.8 de görülen G, H ve I kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 6-7, küre sayısı 20 gözlenmiştir. % 70-85 perlitik % 15-30 ferritik yapı oluşmuştur.

J BÖLGESİ



Resim 4. 9 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm J Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.9 da görülen J kesitinden alınan içyapıya bakıldığında grafit boyu 6-7, küre sayısı 20 gözlenmiştir. % 80-85 perlitik % 15-20 ferritik yapı oluşmuştur.

4.1.2 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm İçyapı Analizi

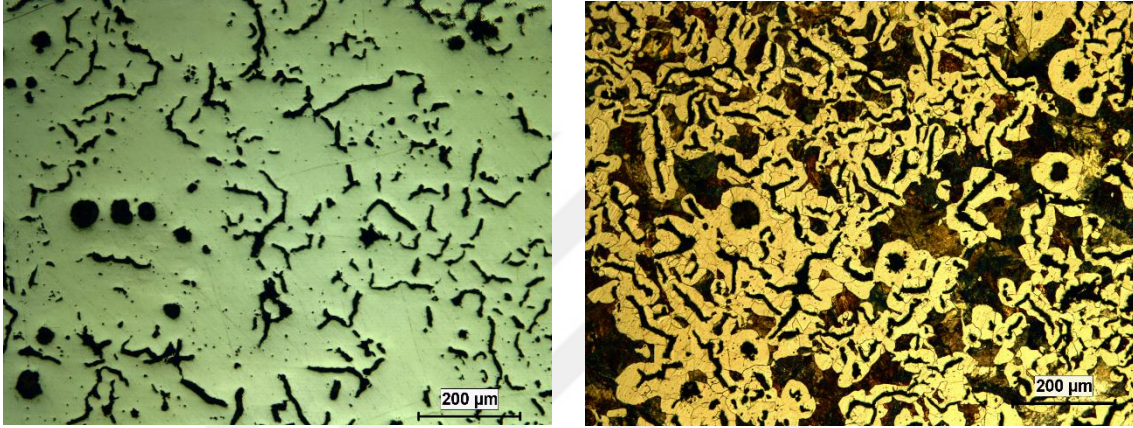
Çizelge 4. 3 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm İçyapı Analizi.

İçyapı Özellikleri						
Kesit Kalınlığı	Bölge	Ferrit (%)	Perlit (%)	Grafit Formu (%)	Grafit Boyu	Küre Sayısı
19,13	A	45	55	75 III – 25 VI	5-6	30
19,13	B	30	70	75 III – 25 VI	5-6	30
19,13	C	40-35	60-65	20-30 VI – 75-70 III	5-6	25
26,51	D	40-35	60-65	70 III – 30 VI	5-6	30
10,89	E	50-60	50-40	65 III – 35 VI	5-6	35-40
16,51	F	45	55	75-70 III – 25-30 VI	6-7	25
8,20	G	45	55	80 III – 20 VI	6-7	20-25
42,72	H	35	65	75 III – 25 VI	6-7	30
42,63	I	30-35	65-70	75 III – 25 VI	5-6	25
20,33	J	45-40	55-60	80-75 III – 20-25 VI	5-6	25

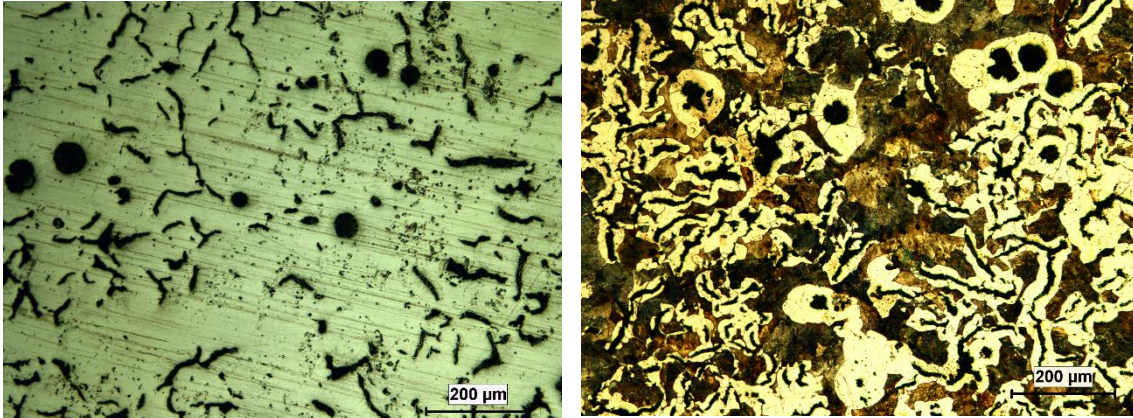
Çizelge 4.3'deki A,B,C bölgelerinin kesit kalınlıkları ve parça üzerindeki konumları birbirine yakın olduğu için küre sayıları da soğuma hızlarından dolayı yakın gözlenmiştir. D,F bölgeleri dökümün alt kısmında olup meme girişlerine yakın olduğu

için soğuma hızları daha düşük kalmıştır. Bu nedenle küre sayıları yüksektir. E bölgesi ise alt derecede olmasına rağmen nispeten kalıp duvarına yakın kaldığı için daha hızlı soğumuş ve küre sayısı nispeten daha yüksektir. Paramız alttan üstte dolduğu için G, H, I, J bölgeleri parçada üst derecede en son dolan ve katılaşımanın en hızlı başladığı bölgelerdir. Bundan dolayı küre sayıları birbirine yakın ve yüksek sayıda olduğu gözlemlenmiştir.

A BÖLGESİ



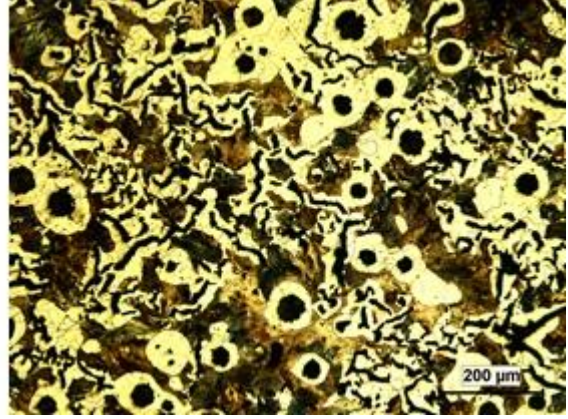
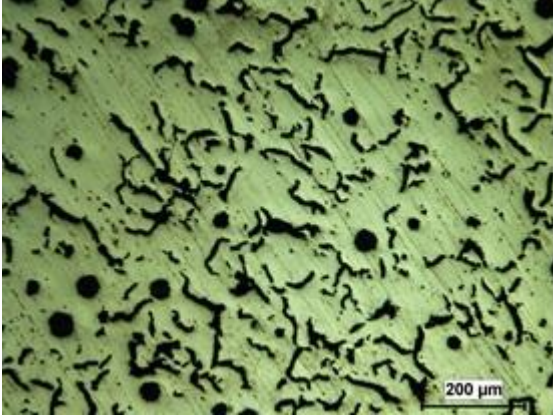
B BÖLGESİ



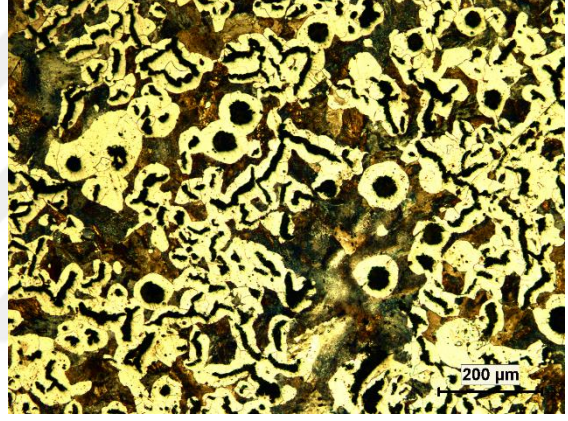
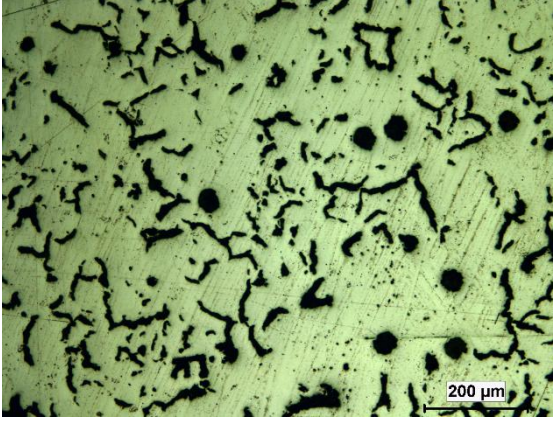
Resim 4. 10 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm A, B Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.10 da görülen A ve B kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 30 gözlenmiştir. % 55-70 perlitik % 30-45 ferritik yapı oluşmuştur.

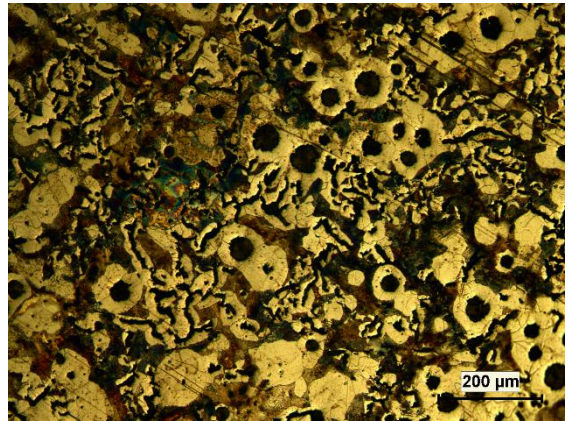
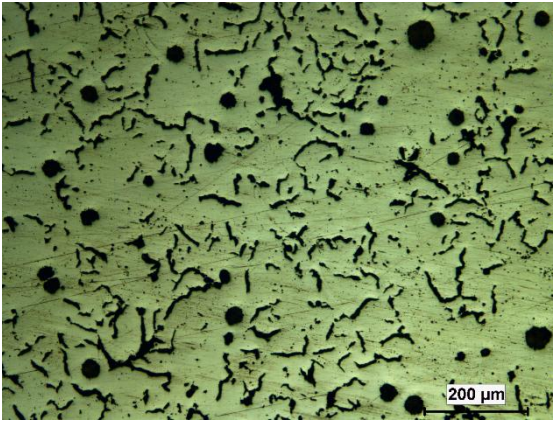
C BÖLGESİ



D BÖLGESİ



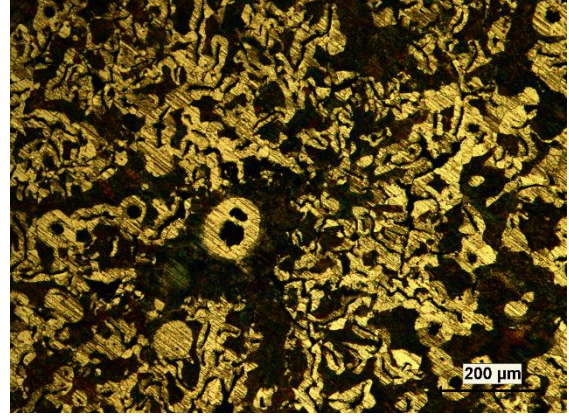
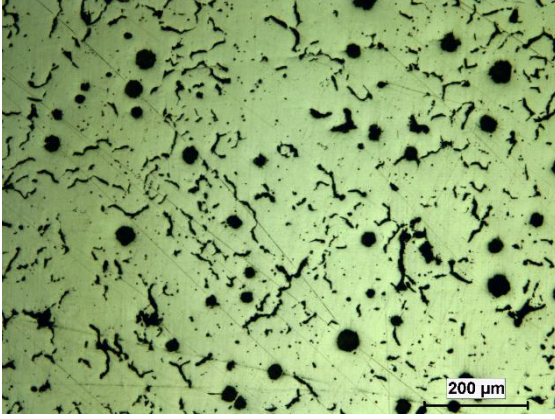
E BÖLGESİ



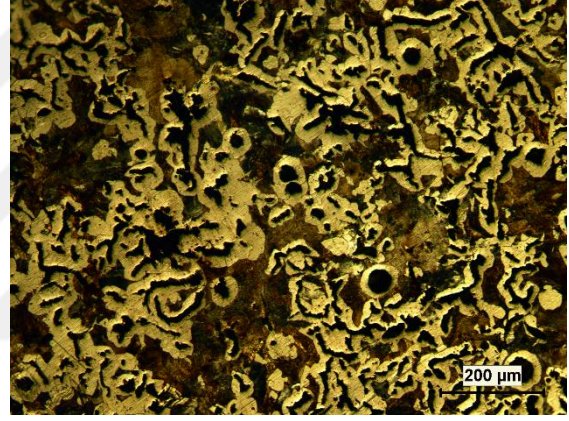
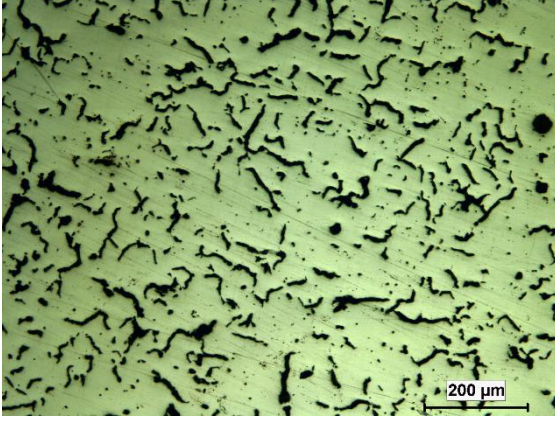
Resim 4. 11 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm C, D, E Bölgeleri İıyapıları.

Resim 4.11 de görülen C, D ve E kesitlerindeki ııyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 25-40 gözlenmiştir. % 40-65 perlitik % 35-60 ferritik yapı oluşmuştur.

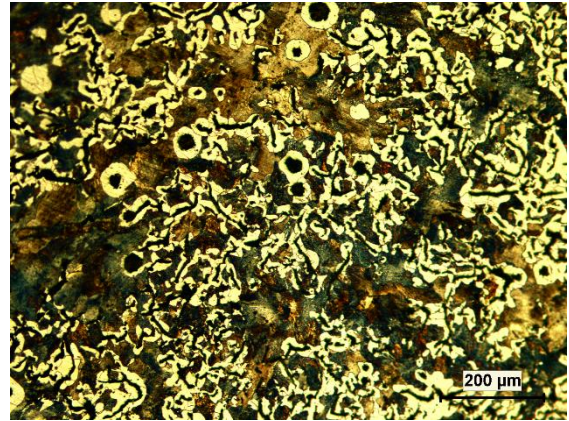
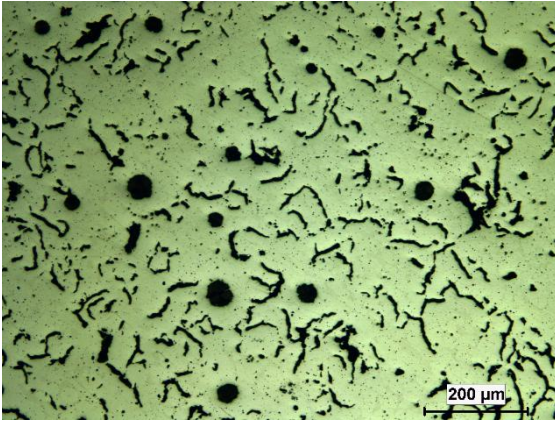
F BÖLGESİ



G BÖLGESİ



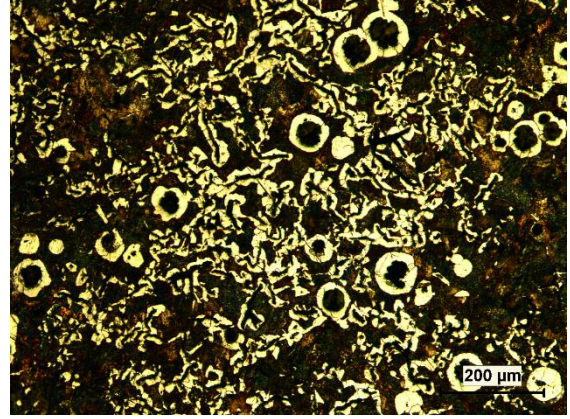
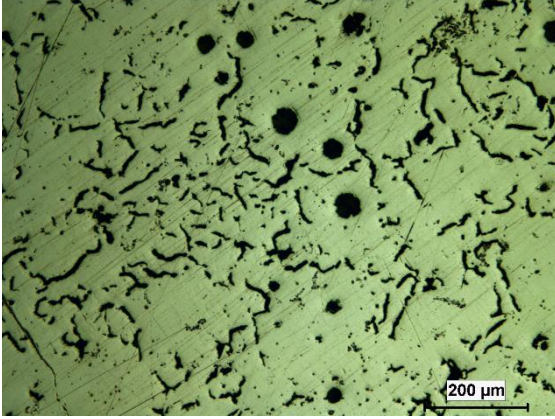
H BÖLGESİ



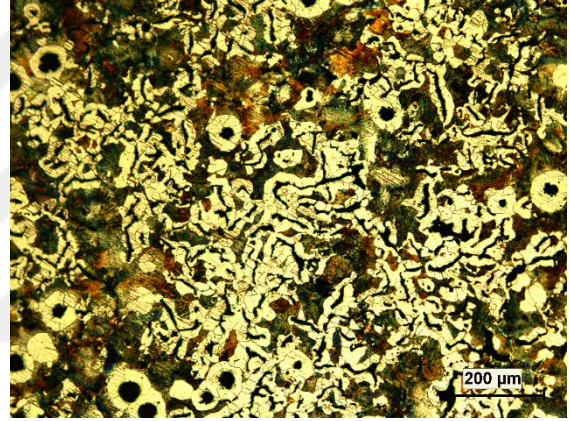
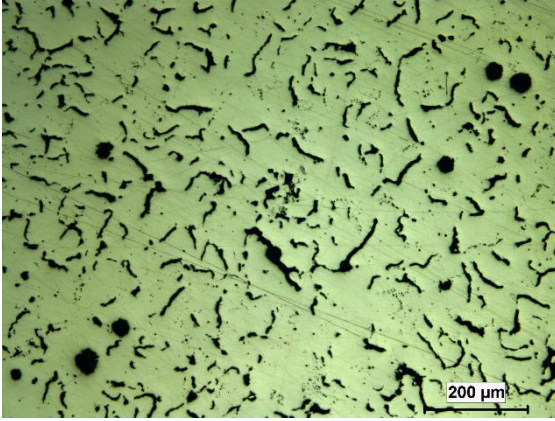
Resim 4. 12 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm F, G, H Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.12 de görülen F, G ve H kesitlerindeki içyapılara bakıldığında grafit boyu 6-7, küre sayısı 20-30 gözlenmiştir. % 55-65 perlitik % 35-45 ferritik yapı oluşmuştur.

I BÖLGESİ



J BÖLGESİ



Resim 4. 13 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm I, J Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.13 de görölen I ve J kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 25 gözlenmiştir. % 55-70 perlitik % 30-45 ferritik yapı oluşmuştur.

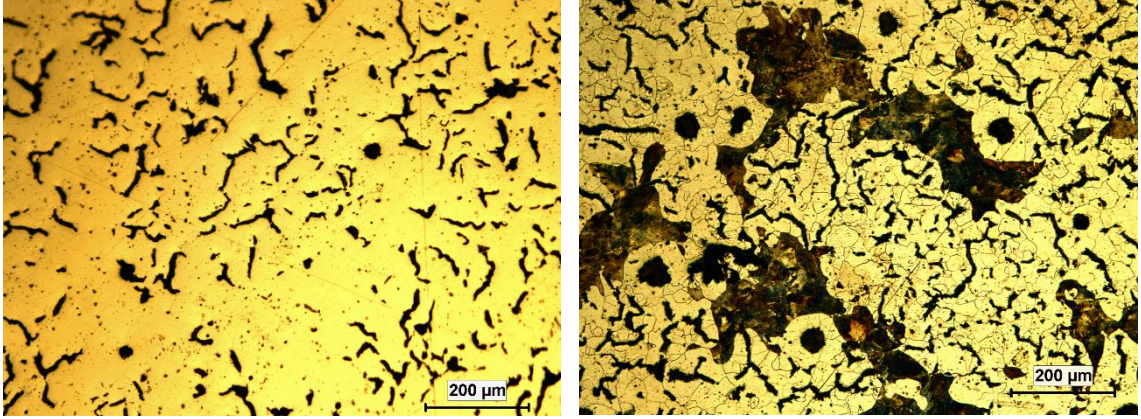
4.1.3 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm İçyapı Analizi

Çizelge 4. 4 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm İyapı Analizi.

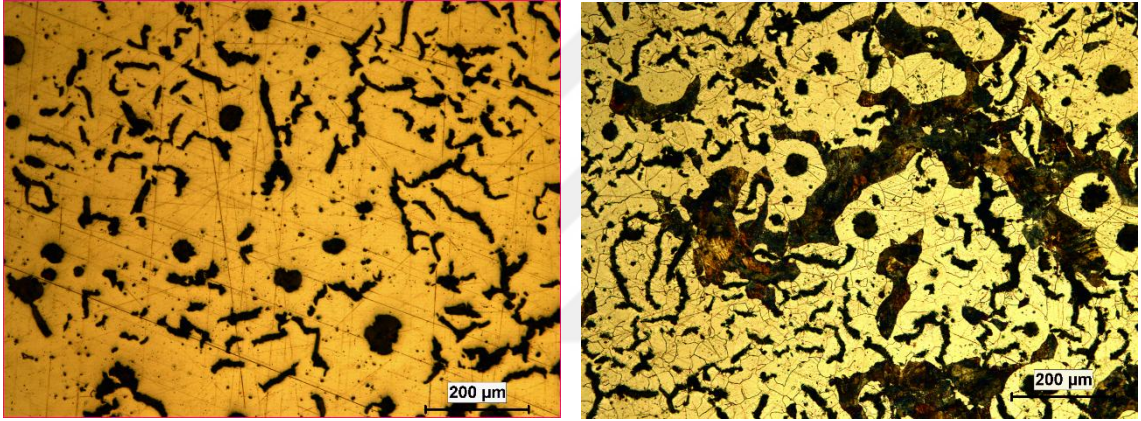
İyapı Özellikleri						
Kesit Kalınlığı	Bölge	Ferrit (%)	Perlit (%)	Grafit Formu (%)	Grafit Boyu	Küre Sayısı
19,13	A	60	40	90 III – 10 VI	5-6	10
19,13	B	50	50	90 III – 10 VI	5-6	10
19,13	C	60	40	90 III – 10 VI	5-6	10
26,51	D	40	60	90 III – 10 VI	5-6	10
10,89	E	90-85	10-15	70 III – 30 VI	6-7	50
16,51	F	70	30	80 III – 20 VI	5-6	30
8,20	G	65	35	70 III – 30 VI	6-7	50-75
42,72	H	60	40	90 III – 10 VI	5-6	20
42,63	I	55	45	80 III – 20 VI	5-6	30
20,33	J	85	15	60 III – 40 VI	5-6	50

Tandış pota ile yapılan 3.deneme dökümde izelge 4.4’ de verilen metalografik yapılar herhangi bir perlit yapıcı element verilmeden elde edilen yapılardır. Bu denemede ferritik yapıda en hızlı soğuyan bölgelerdeki küre sayısı en yavaş soğuyan bölgelere göre çok daha fazla bir fark oluşturmıştır.

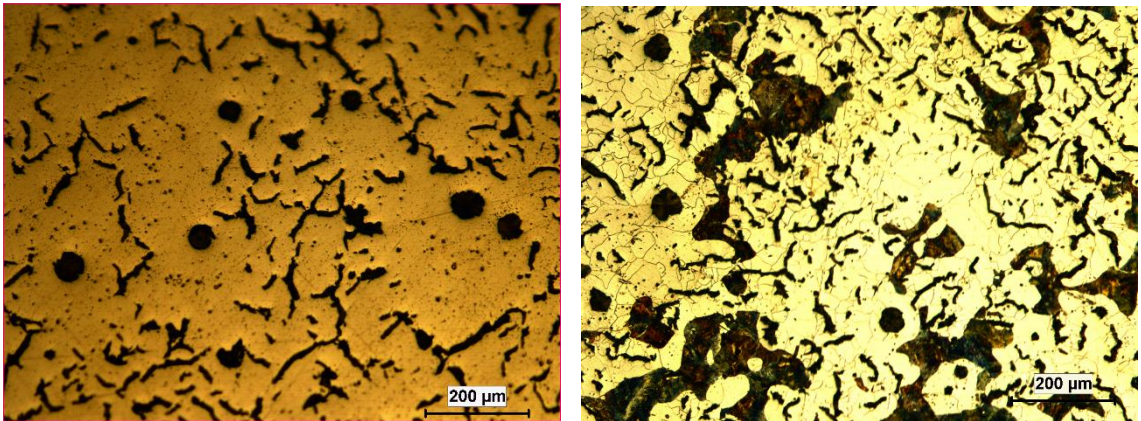
A BÖLGESİ



B BÖLGESİ



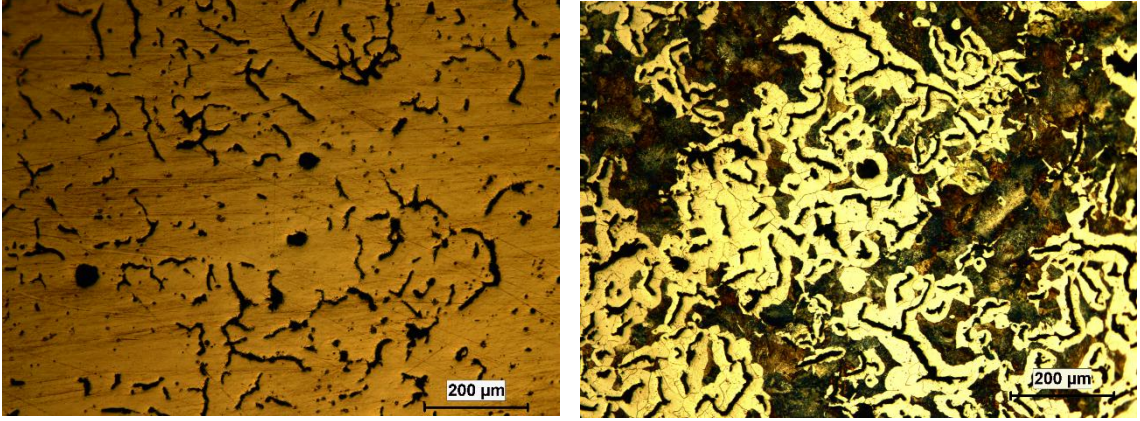
C BÖLGESİ



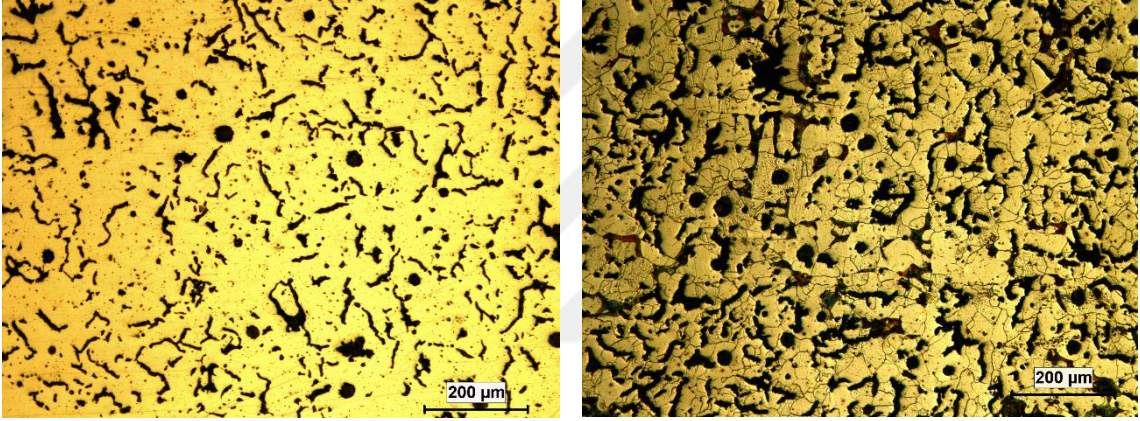
Resim 4. 14 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm A, B, C Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.14 de görölen A, B ve C kesitlerindeki içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 10 gözlenmiştir. % 40-50 perlitik % 50-60 ferritik yapı oluşmuştur.

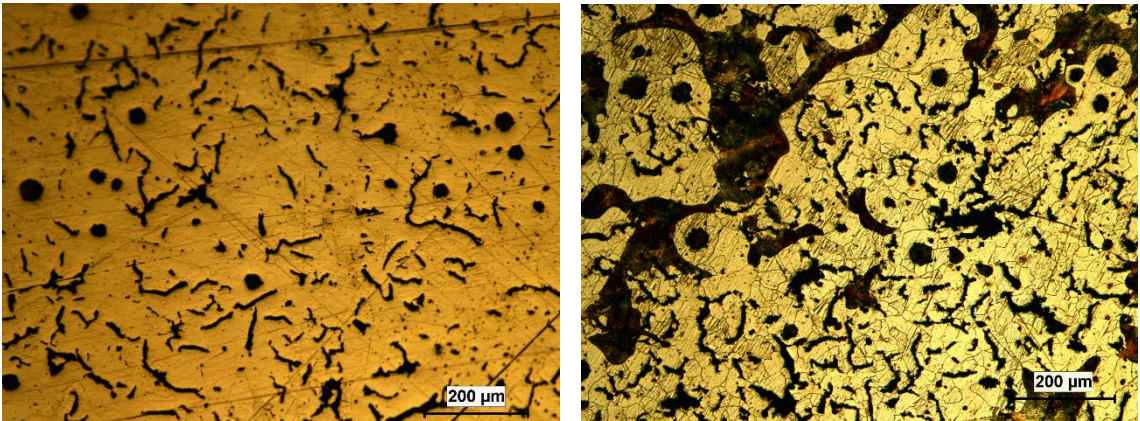
D BÖLGESİ



E BÖLGESİ



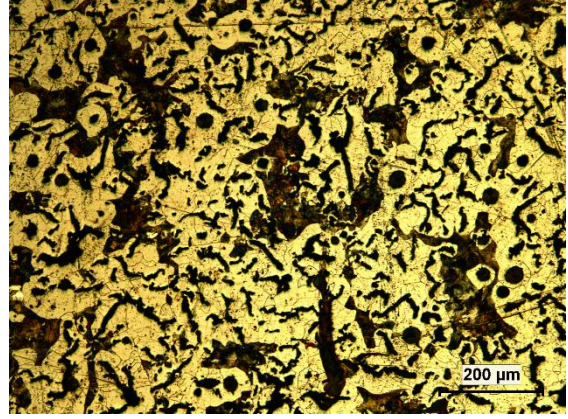
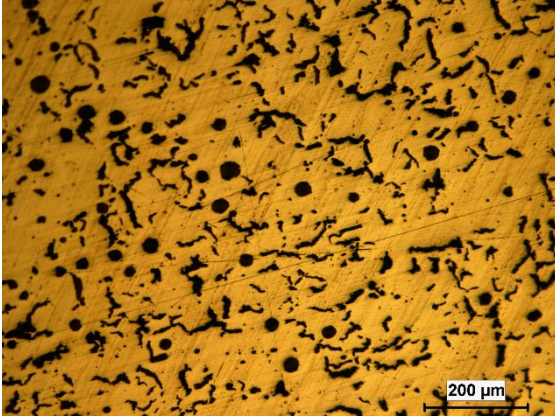
F BÖLGESİ



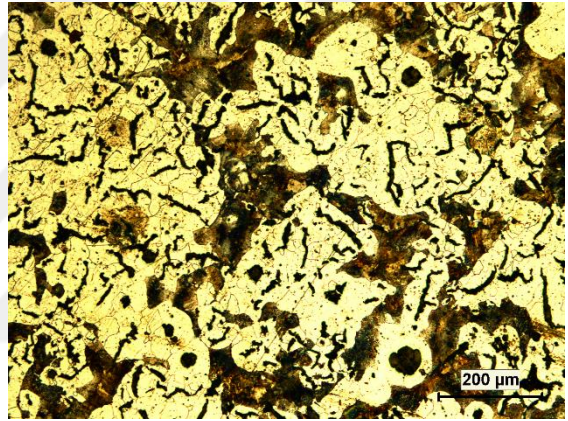
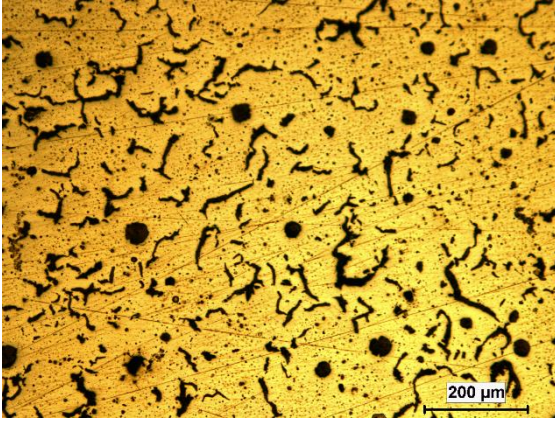
Resim 4. 15 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm D, E, F Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.15 de görölen D, E ve F kesitlerindeki içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-7 ve küre sayısı 10-50 gözlenmiştir. % 10-60 perlitik % 40-90 ferritik yapı oluşmuştur.

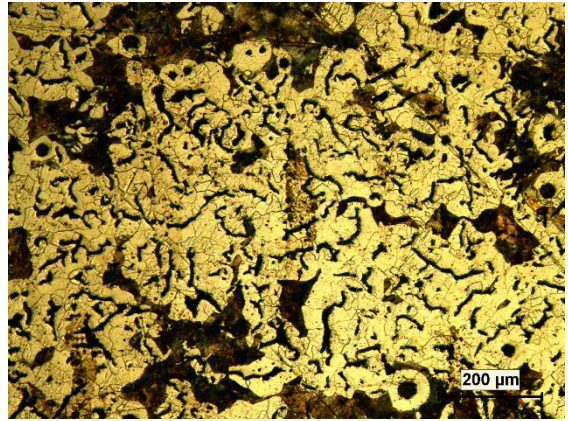
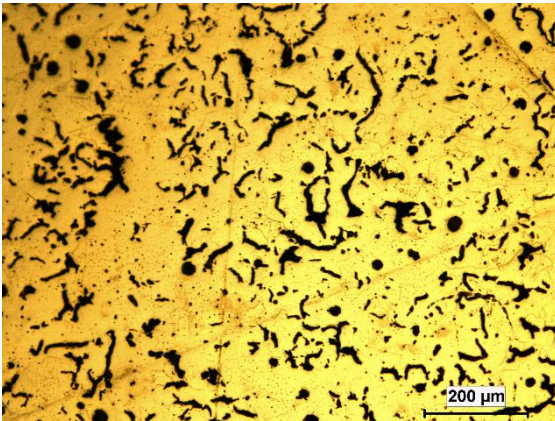
G BÖLGESİ



H BÖLGESİ



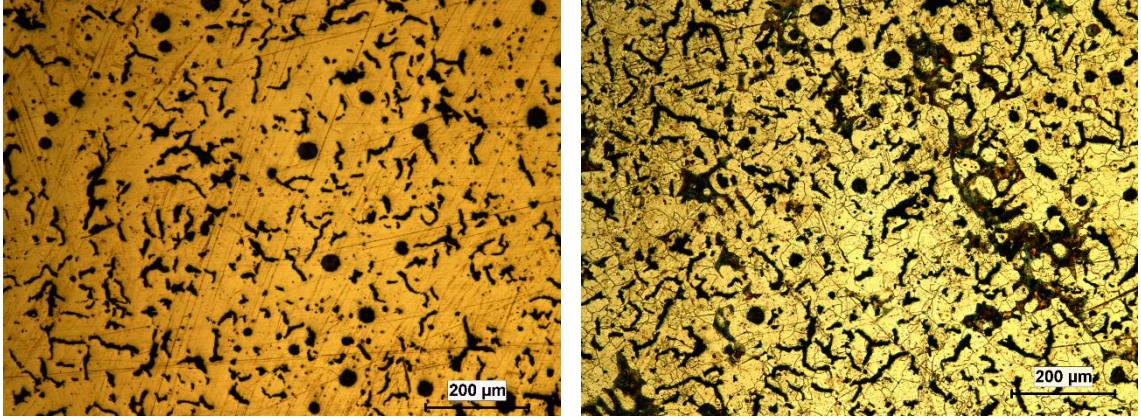
I BÖLGESİ



Resim 4. 16 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm G, H, I Bölgeleri İyapıları.

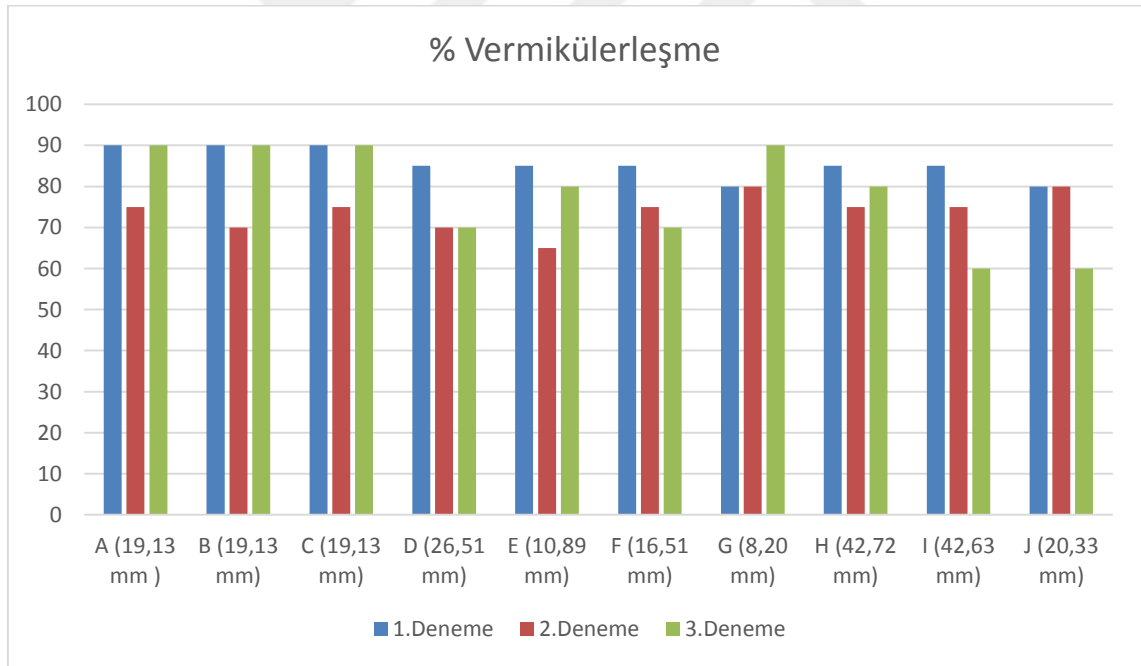
Resim 4.16 da görölen G, H ve I kesitlerindeki içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-7 ve küre sayısı 20-75 gözlenmiştir. % 35-45 perlitik % 55-65 ferritik yapı oluşmuştur.

J BÖLGESİ



Resim 4. 17 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm J Bölgesi İçyapısı.

Resim 4.17 de görülen J kesitinden alınan içyapıya bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 50 gözlenmiştir. % 15 perlitik % 85 ferritik yapı oluşmuştur.



Şekil 4. 1 Tandış Pota 1., 2. ve 3.Denemelerin % Vermikülerleşme Grafiği.

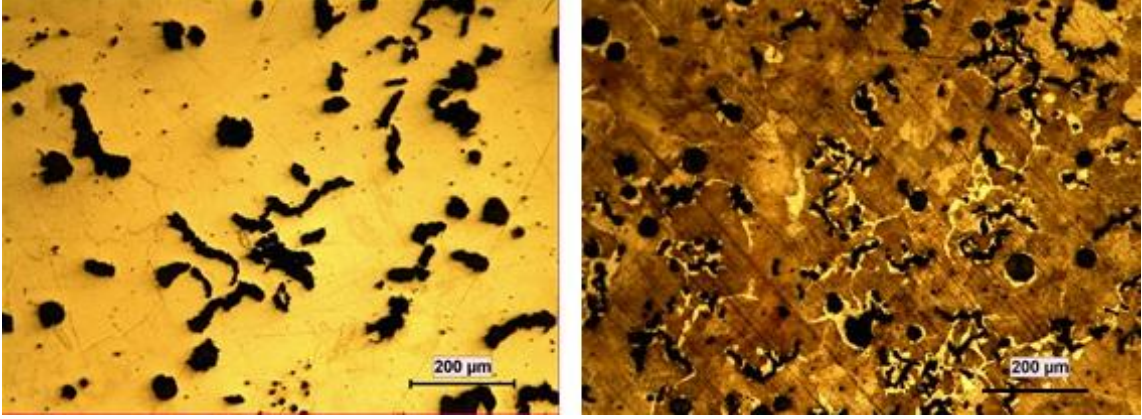
4.1.4 Tel İşlem Deneme Döküm İçyapı Analizi

Çizelge 4. 5 Tel İşlem Deneme Döküm İçyapı Analizi.

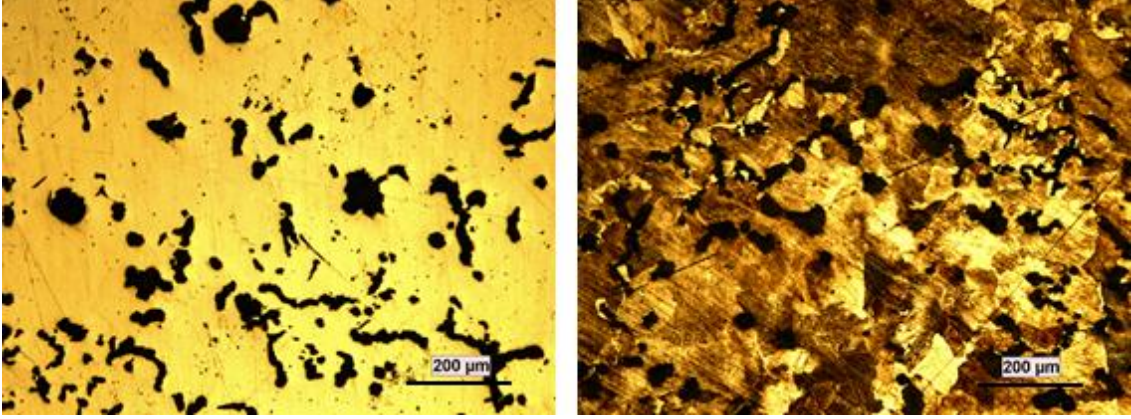
İçyapı Özellikleri						
Kesit Kalınlığı	Bölge	Ferrit (%)	Perlit (%)	Grafit Formu (%)	Grafit Boyu	Küre Sayısı
19,13	A	10	90	10-15 (V-VI) 90-85 III	5-6	20
19,13	B	10-5	90-95	20 (V-VI)-80 III	5-6	25
19,13	C	10-5	90-95	20 (V-VI)-80 III	5-6	20
26,51	D	10	90	25-30 VI - 75-70 III	5-6	25
10,89	E	10	90	25 VI - 75 III	6-7	25
16,51	F	10-15	90-85	30 VI - 70 III	6-7	>25
8,20	G	10	90	30 VI - 70 III	6-7	>25
42,72	H	10	90	25 VI - 75 III	6-7	25
42,63	I	10	90	25 VI - 75 III	6-7	25
20,33	J	10-15	90-85	30-35 VI – 70-65 III	6-7	25

Tel işlem ile yapılan deneme dökümde Çizelge 4.5’de verilen metalografik yapılar Cu, Sn ve Mn bir perlit yapıcı elementler verilerek elde edilen yapılardır. Bu denemede perlitik yapıda en hızlı soğuyan bölgelerdeki küre sayısı en yavaş soğuyan bölgelerdeki küre sayısı ile aynı çıkmıştır, tel salınarak sabit yapılan aşılama küre sayılarını etkilemiştir.

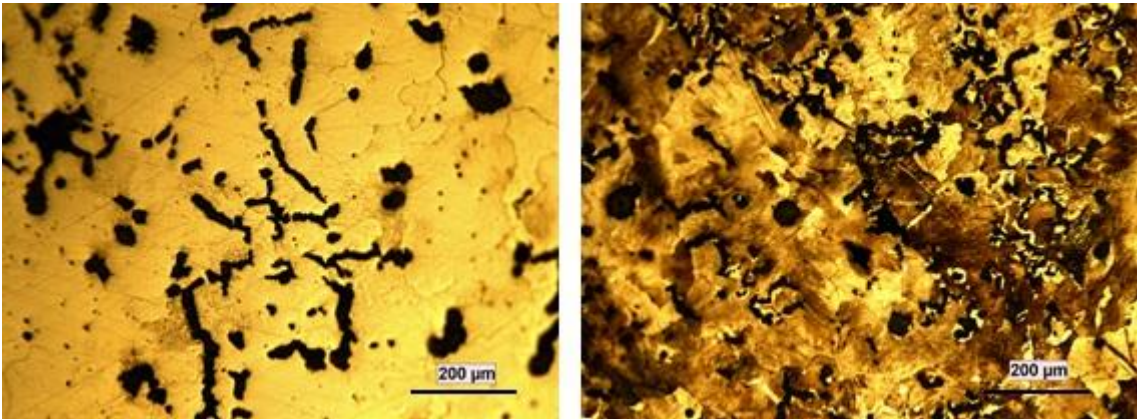
A BÖLGESİ



B BÖLGESİ



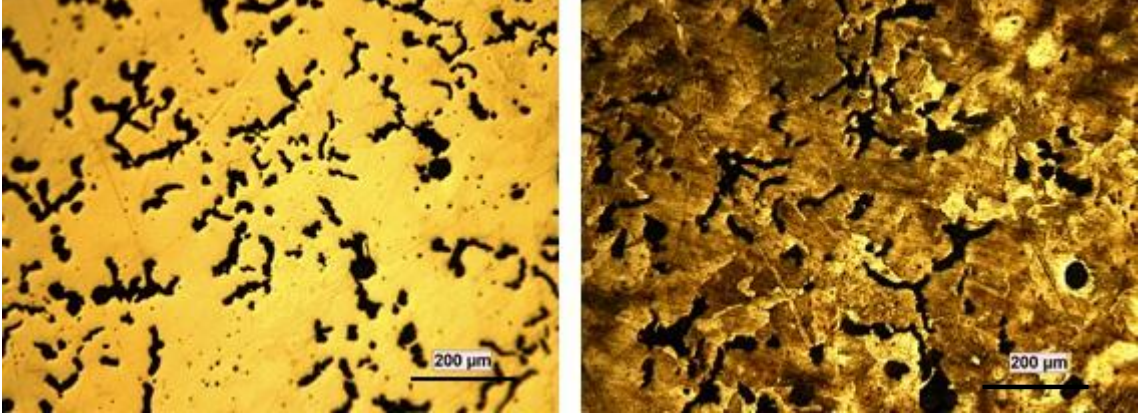
C BÖLGESİ



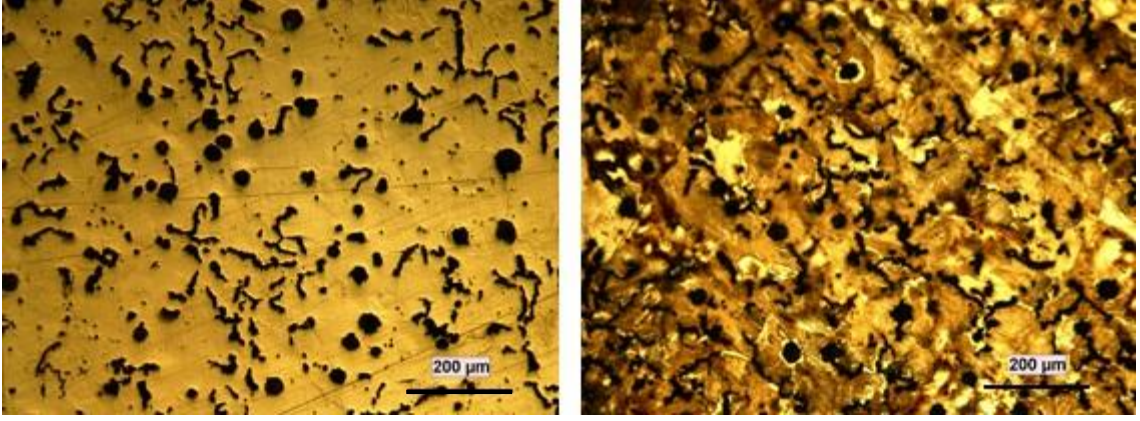
Resim 4. 18 Tel Deneme A, B, C Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.18 de görülen A, B ve C kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-6, küre sayısı 25 gözlenmiştir. % 90-95 perlitik % 5-10 ferritik yapı oluşmuştur.

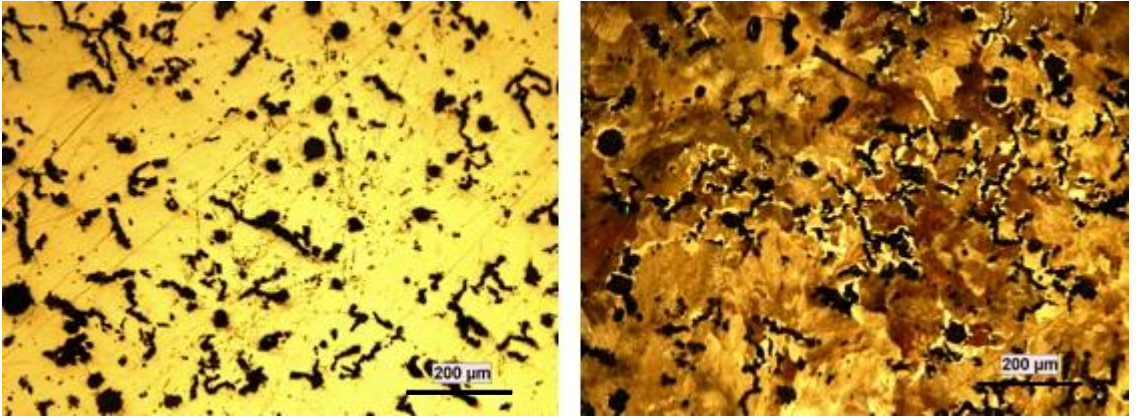
D BÖLGESİ



E BÖLGESİ



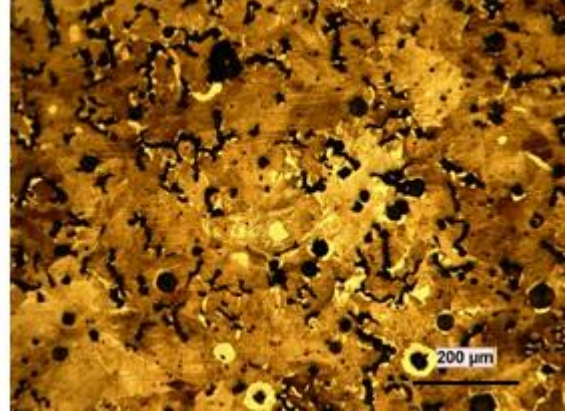
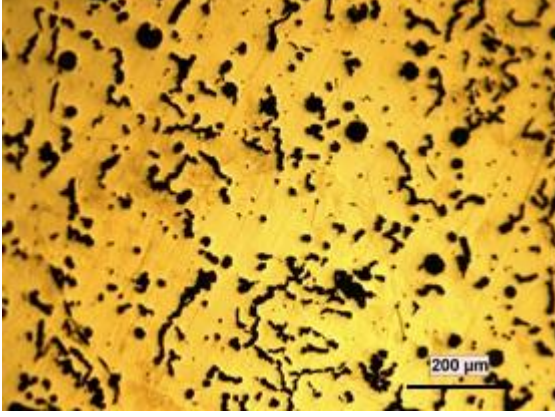
F BÖLGESİ



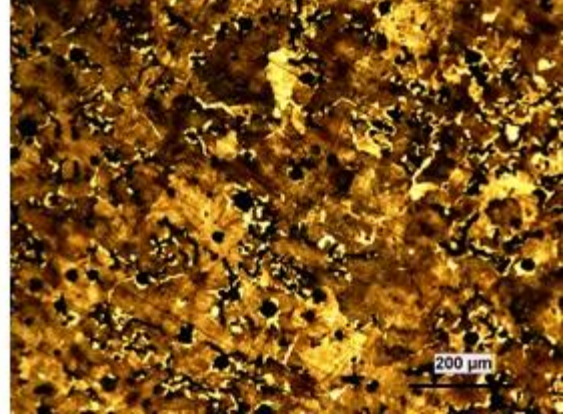
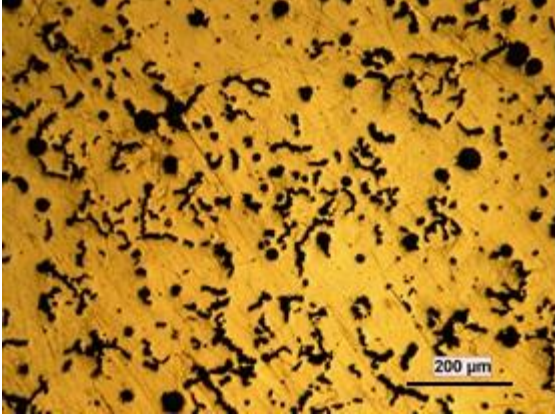
Resim 4. 19 Tel Deneme D, E, F Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.19 da görülen D, E ve F kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 5-7, küre sayısı 25 gözlenmiştir. % 85-90 perlitik % 10-15 ferritik yapı oluşmuştur.

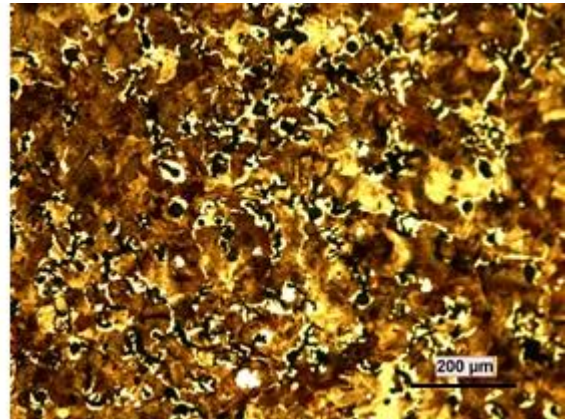
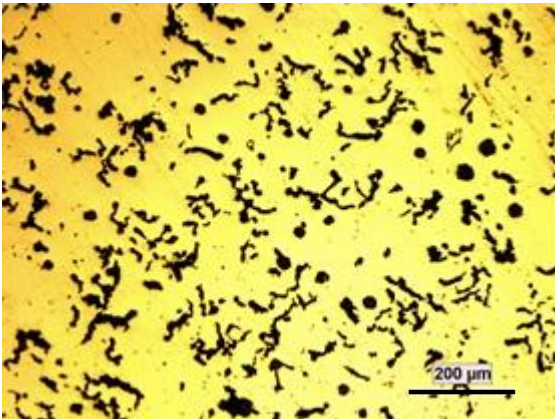
G BÖLGESİ



H BÖLGESİ



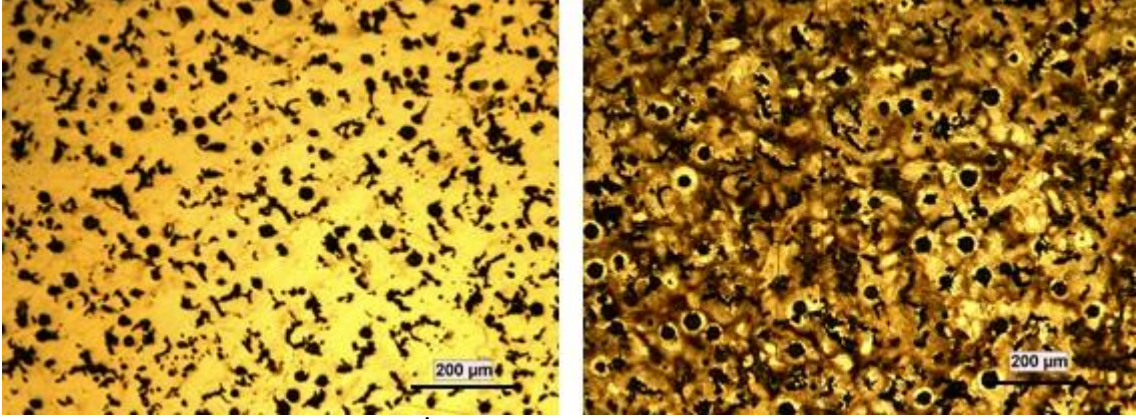
I BÖLGESİ



Resim 4. 20 Tel Deneme G, H, I Bölgeleri İçyapıları.

Resim 4.20 de görülen G, H ve I kesitlerinden alınan içyapılara bakıldığında grafit boyu 6-7, küre sayısı 25 gözlenmiştir. % 90 perlitik % 10 ferritik yapı oluşmuştur.

J BÖLGESİ



Resim 4. 21 Tel Deneme J Bölgesi İçyapısı.

Resim 4.21 de görülen J kesitinden alınan içyapıya bakıldığında grafit boyu 6-7, küre sayısı 25 gözlenmiştir. % 90-95 perlitik % 10-15 ferritik yapı oluşmuştur.

4.2 Mekanik Testler

4.2.1 Sertlik Testi



Resim 4. 22 Reichert BL3 Sertlik Cihazı.

Parçaların sertlik testleri Resim 4.22’de görünen Reichter BL3 cihazıyla 10 mm bilya ve 3 ton yük kullanılarak yapılmıştır. Ölçüm yapılacak olan numunelerin yüzeyi ölçüm ucunun tam dik basmasını sağlayacak kadar paralel ve ölçümden sonra iz çapını tam okuyacak şekilde pürüzsüz olarak 1 mm taşlanmıştır. Minimum parça kalınlığı, ölçüm yüzeyindeki bilya iz derinliğinin en az 8 katı kalınlıkta olmalıdır. Uygulanacak yük seçilirken malzemenin özelliğine bağlı olarak test edilen ölçüm yüzeyindeki iz çapı (d) 0,24D ile 0,6D arasında olacak şekilde seçilmiştir.

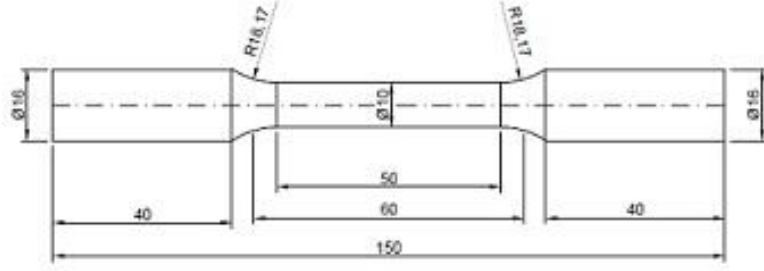
Oda sıcaklığında ölçüm yapılacak yüzeyi bilyalı ucun altına temas edecek şekilde yerleştirilir. Tam yükü ölçüm yapılacak yüzeye dik 10-15 saniye yavaş yavaş uygulanır. Ölçüm yüzeyindeki bir iz çapı için birbirine dik iki okuma yapılır. Bu iki okumanın ortalamasına karşılık gelen sertlik değeri çevrim tablosundan bulunmuştur.

4.2.2 Çekme Testi



Resim 4. 23 MTS Criterion C45.105 Çekme Cihazı.

Çekme numuneleri döküm parçalardan tel erozyon ile kesilerek çıkarılmıştır. Numuneler Resim 4.24’deki ölçülere göre işlenip, Resim 4.23’de görüldüğü gibi teste hazır hale getirilmiştir. Çekme numuneleri MTS Criterion C45.105 cihazı ile 10 ton kadar çekme yükü uygulanmıştır.



Resim 4. 24 Çekme Çubukları ve Teknik Resmi.

Vermiküler çekme çubukları (R.E-EN1563:2011-REP023-01)'e göre hazırlanmıştır. Test edilecek malzemenin cinsine göre (gri/küresel/vermiküler) uygun çene takılmıştır. Çubuk alt-üst limit çizgilerine dayanacak şekilde bağlanmıştır, mengene ile sabitlenmiştir. Alt çeneler ayarlandıktan sonra, mengene ile çubuk sabitlenmeden önce, bilgisayar ekranında yük sıfır sinyal seçilerek yük ve arkasından çapraz kafanın da sıfır sinyali seçilerek sıfırlanmıştır. Bundan sonra alt çeneyi mengene ile sıkarak sabitlenmiştir. Ekstansiyometreyi test çubuğu üzerine alt üst çeneye temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Test başlatılmıştır.

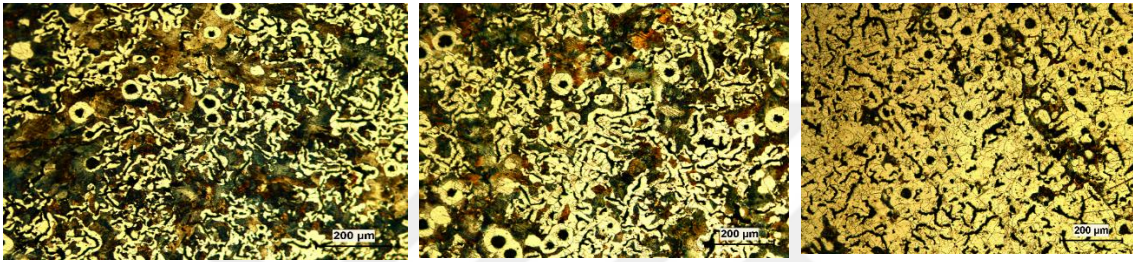
4.2.3 Mekanik Deney Sonuçları

Tandış pota ile yapılan denemelerde Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi Sn 0,02-0,03 aralığında çalışılmıştır. 1.denemede mangan ve bakır arttırılmış, 2.denemede sadece bakır arttırılmış, 3.denemede mangan, bakır sabit tutulmuştur.

Çizelge 4. 6 Tandış Pota 1., 2., 3.Dökümleri Analizleri.

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	⁰ C
1.Deneme	3,53	2,37	0,05	0,02	0,01	0,01	0,024	0,52	0,021	0,073	1370
2.Deneme	3,5	2,35	0,13	0,02	0,017	0,01	0,023	0,49	0,024	0,094	1335
3.Deneme	3,41	2,42	0,30	0,02	0,018	0,01	0,02	0,16	0,022	0,076	1335

Resim 4.25'deki içyapılara bakıldığında, 1.deneme perlitik, 2.deneme perlitik-ferritik, 3.deneme ferritik yapıda gözlenmiştir.



Resim 4. 25 Tandış Pota 1., 2., 3.Dökümleri İçyapı Dağılımı.

Sertlik değerleri de $I > II > III$ ve uzama değerleri $III > II > I$ şeklinde içyapıyı doğrulamıştır. İşletme şartlarında seçilen vermiküler grafitli dökme demirlerden ISO 16112/JV/450 elde etmek için, 1.denemeye kükürtün olumsuzlukları engelleyecek, istenilen mekanik özellikleri sağlamak için Sn, Mn ve Cu modifikasyonu yapılmıştır. Bu modifikasyon mekanik değerleri etkilemiştir. İstenilen ISO 16112/JV/450 malzemesinin elde edilmesi sağlanmıştır.

4.2.3.1 Tandış Pota ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri

Çizelge 4. 7 Tandış Pota ile 1.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri.

Mekanik Özellikler						
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	326	467,5	472,9	473,4	445	473,7
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	301,51	346,15	319,11	311,06	317,59	339,25
% Uzama	0,43	2,56	2,35	2,47	2,36	2,24
	Alt Derece			Üst Derece		
Sertlik (HB)	229		231	229		241

Çizelge 4.7’de tandır pota ile yapılan 1.denemeye sağlanan perlitik yapının mekanik özellikleri verilmiştir. Diğer denemelere göre perlit yapıcı alaşımların oranı yüksek olduğundan dolayı çekme mukavemeti yüksek, uzama değerleri düşük, sertlikler üst limitlerde sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu durumu sağlayan kalay, bakır ve mangan olmuştur.

Çizelge 4. 8 Tandış Pota ile 2.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri.

Mekanik Özellikler						
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	410,9	379,9	385,7	380,7	385,7	386,5
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	294,2	280,8	277,18	273,66	333,34	283,55
% Uzama	2,94	1,73	1,27	2,82	1,74	1,95
	Alt Derece			Üst Derece		
Sertlik (HB)	177		180	179		182

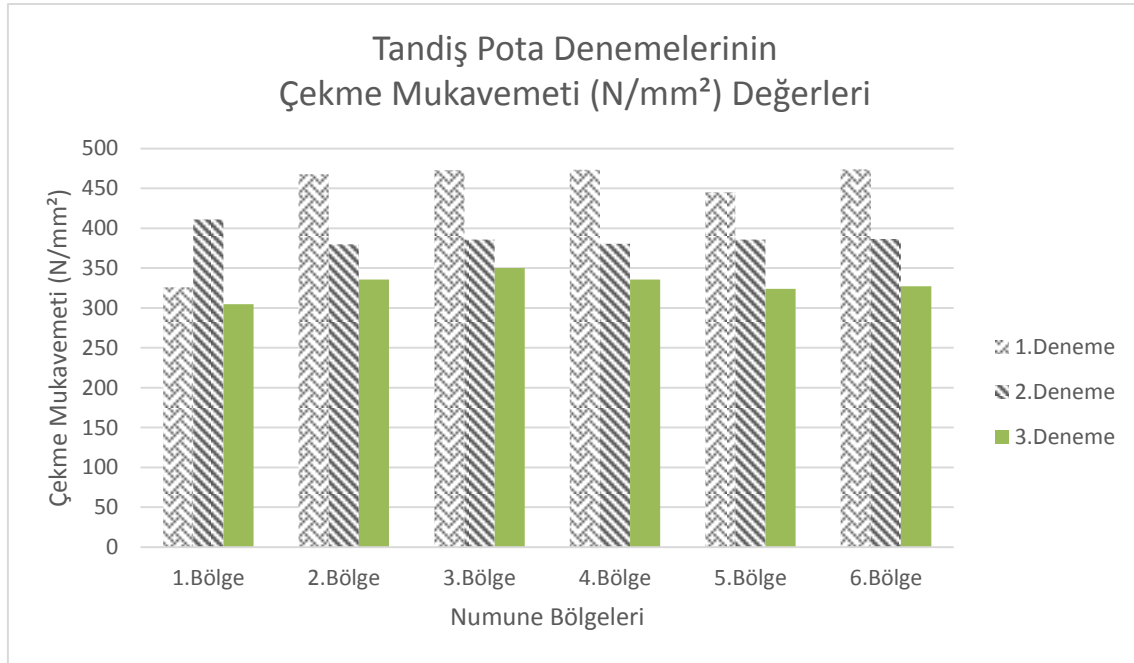
Çizelge 4.8’de ferritik-perlitik yapının mekanik değerleri verilmiştir. Burada verilen değerler görüldüğü üzere ferritik-perlitik yapı mekanik değerlerinin ortalaması şeklinde

hesaplanmıştır. Bu durumu sağlayan kalay bakır olmuştur.

Çizelge 4. 9 Tandış Pota ile 3.Deneme Döküm Mekanik Özellikleri.

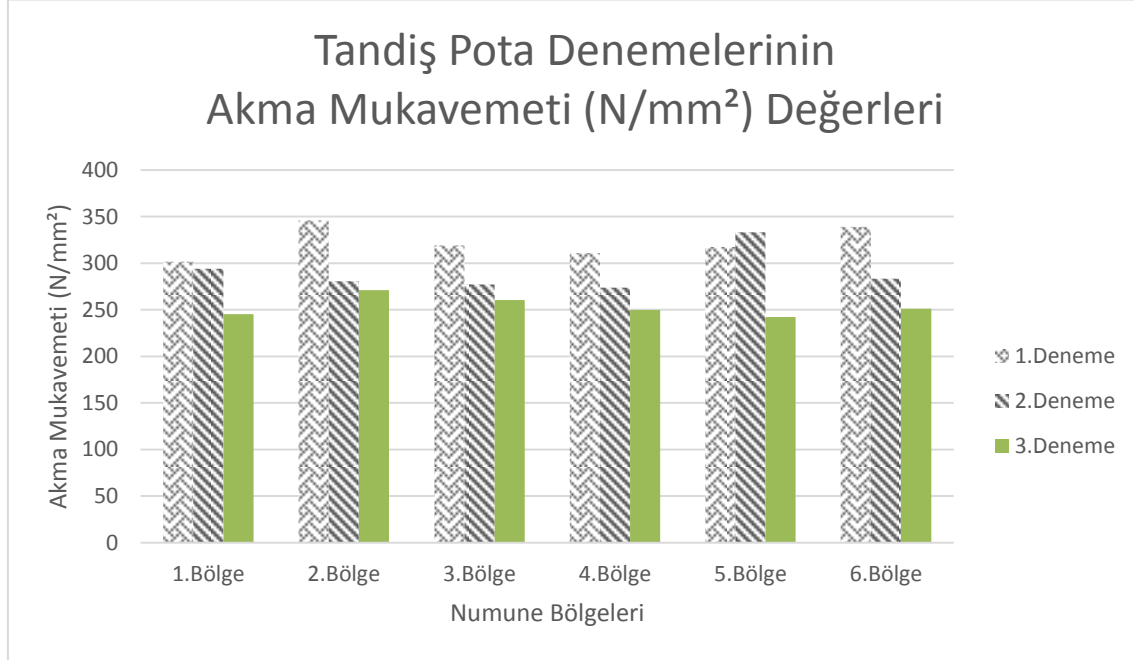
Mekanik Özellikler						
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	304,8	335,5	350	335,5	323,8	327
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	245,4	271,19	260,5	249,6	242,2	251,3
% Uzama	1,84	3,36	2,9	3,92	4,11	3,88
Alt Derece			Üst Derece			
Sertlik (HB)	156		163	170		170

Çizelge 4.9'da ferritik yapı gözlemlenmiştir. Çekme mukavemetleri 304-327 N/mm² değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler elde edilen perlitik yapı değerlerine göre düşük gelmiştir. Bunun sebebi yapının ferritik olmasından kaynaklanmıştır. Ferritik yapı aynı zamanda %uzama değerlerinde bir artışa sebep olmaktadır.



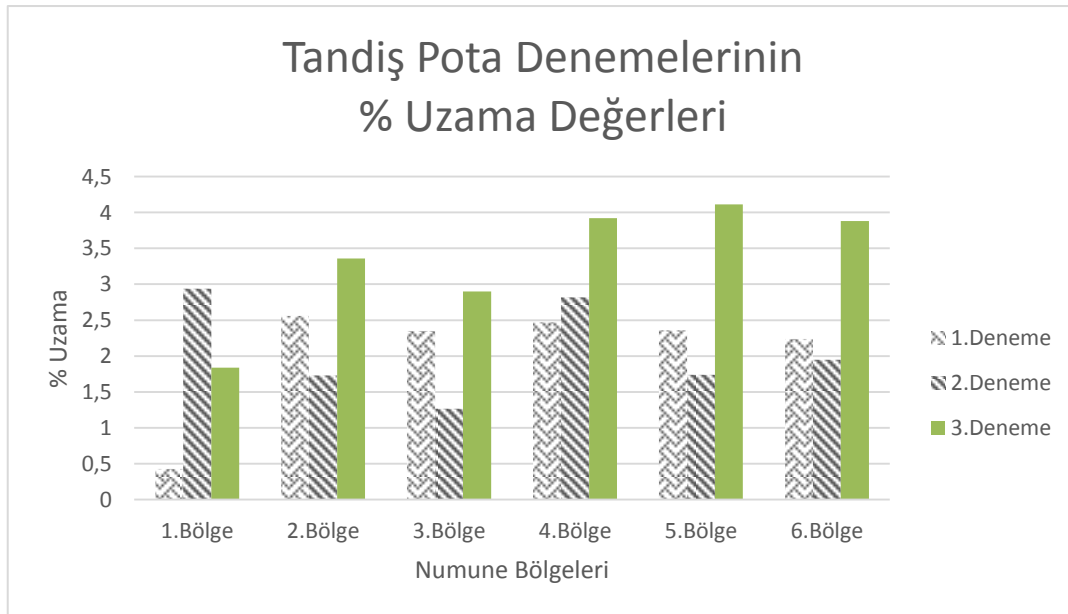
Şekil 4. 2 Tandış Pota Denemelerinin Çekme Mukavemeti Değerleri.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi 1.denemedeki kalay, bakır ve mangan girdileri yüksek olduğu için çekme mukavemetleri diğer denemelere göre daha yüksektir.



Şekil 4. 3 Tandış Pota Denemelerinin Akma Mukavemeti Değerleri.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi 1.denemedeki kalay, bakır ve mangan girdileri diğer denemelere göre akma mukavemetinin yüksek olmasını sağlamıştır.



Şekil 4. 4 Tandış Pota Denemeleri Uzama Değerleri.

Şekil 4.4’de ferritik yapıdaki 3. denemenin % uzama değerleri diğer denemelere yüksek ölçülmüştür. Bu denemede perlit yapıcı alaşım ilavesi yapılmamıştır.

Metalografik görüntü analizlerinde gözlemlenen yapılara bakıldığında yukarıdaki karşılaştırma grafikleri sonucu doğrulamaktadır. Perlitik yapıdaki 1. Tandış pota denemesi, ferritik yapıdaki 3. Tandış pota denemesine göre çekme ve akma mukavemetleri daha yüksek, %uzama değerleri ise ferritik yapıdaki 3. Denemede daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

4.2.3.2 Tel İşlem ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri

Çizelge 4. 10 Tel İşlem ile Deneme Döküm Mekanik Özellikleri.

	Mekanik Özellikler					
	1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	561,8	548	530	560,8	531,8	529,7
Akma Mukavemeti (N/mm ²)	422,97	410,8	385,25	412,56	390,31	386,97
% Uzama	1,92	1,49	2,21	2,21	1,92	2,12
Sertlik (HB)	Alt Derece			Üst Derece		
	241		242	237		241

Çizelge 4.10’daki değerlere bakıldığında Cu, Sn ve Mn modifikasyonu perlitik yapı oluşumunu sağlamıştır. Çekme mukavemetleri 529-561 N/mm² değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler elde edilen tandış potayla yapılan denemelerin değerlerine göre daha yüksek gelmiştir. Bunun sebebi yapının perlitik ve daha çok perlit yapıcı alaşımın eklenmesinden kaynaklanmıştır. Perlitik yapı aynı zamanda %uzama değerlerinde bir düşüşe sebep olmaktadır.

4.3 Farklı Kesitlerde Nodularite İncelemesi



Resim 4. 26 Tandiş Pota ile Dökülen Parça.

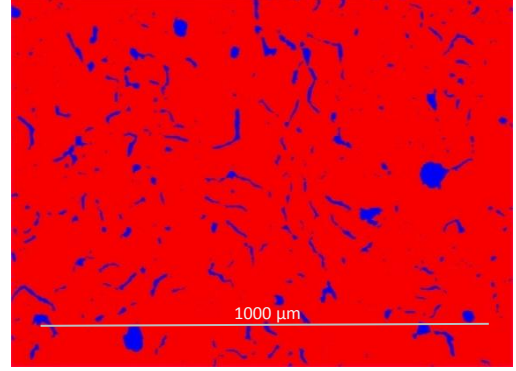
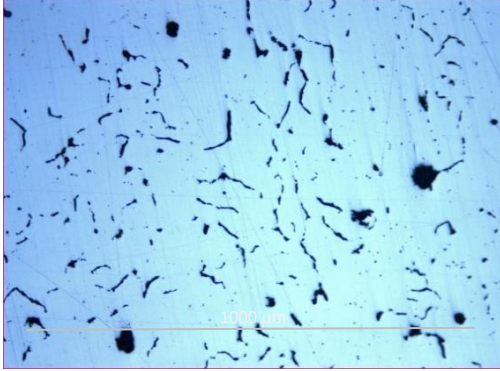


Resim 4. 27 Tel Besleme ile Dökülen Parça.

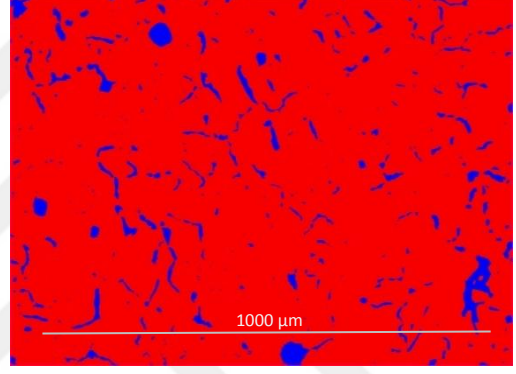
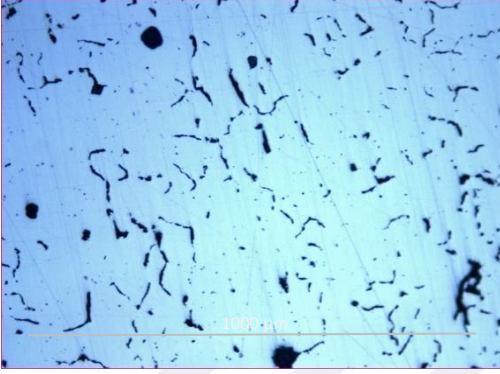
Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde tandiş pota ve tel besleme uygulanarak iki yöntem uygulanmıştır. İki yöntemle dökülen parçaların Resim 4.26 ve 4.27 belirtilen numunelerde her biri için 3 farklı bölgedeki nodulariteye bakılıp ortalaması alınmıştır

4.3.1 Tandış Pota ile İşlem 1.Denemede Nodularite

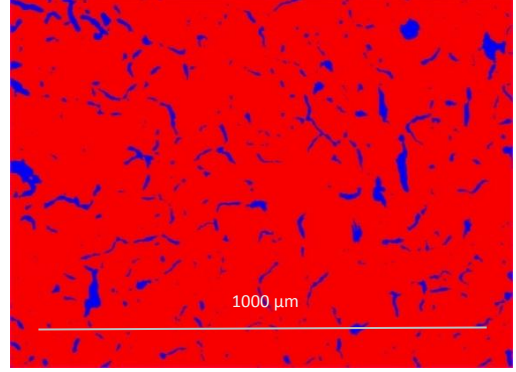
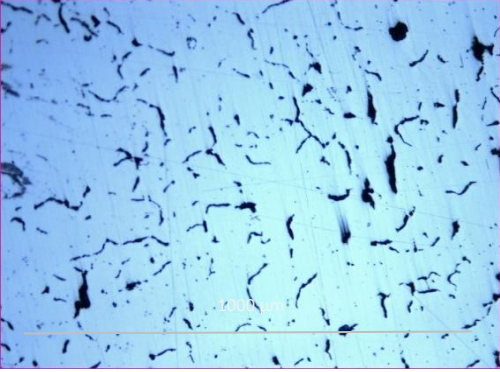
23,17 %



18,71 %

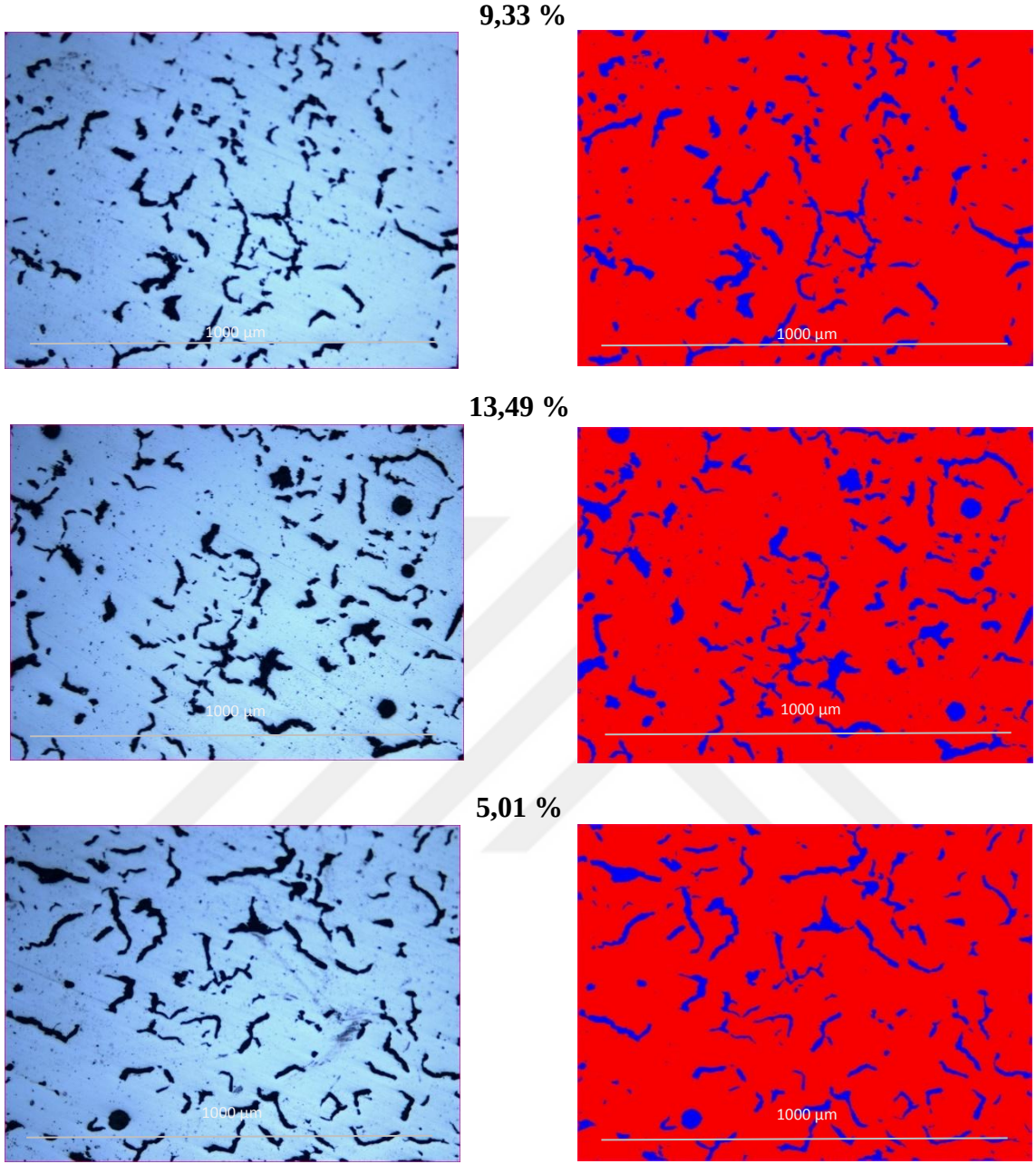


8,38 %



Resim 4. 28 B:16,75 % Nodularite.

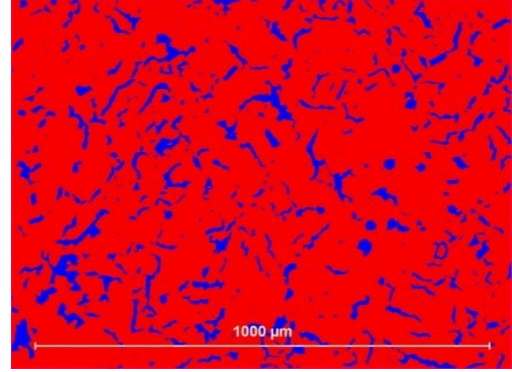
Resim 4.28 de verilen B kesitinin (19,13mm) nodularite değeri 16,75% olarak hesaplanmıştır. Parçanın orta bölgesinde et payı kalın ve soğuma hızı yavaş bir bölge olduğundan hesaplanan nodularitenin diğer bölgelere göre fazla olduğu gözlenmiştir.



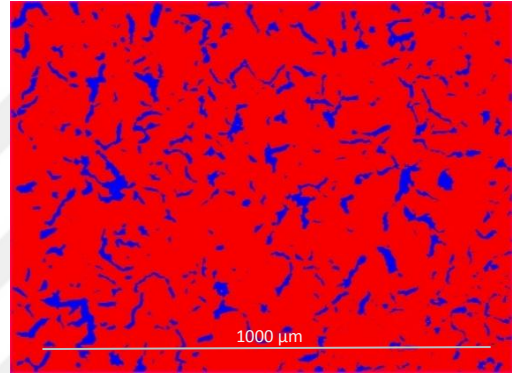
Resim 4. 29 D : 9,27 % Nodularite.

Resim 4.29'da verilen D kesitinin (26,51mm) nodularite değeri 9,27% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın ve soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan hesaplanan nodularitede küresellikler gözlenmiştir.

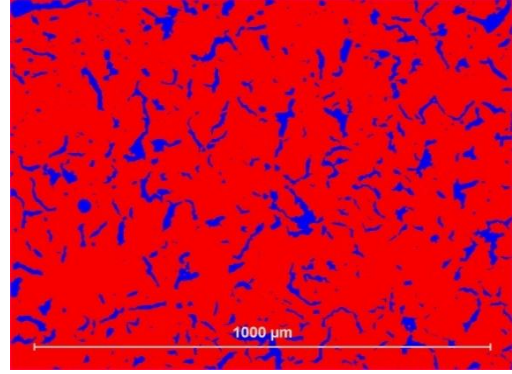
7,20 %



6,14 %

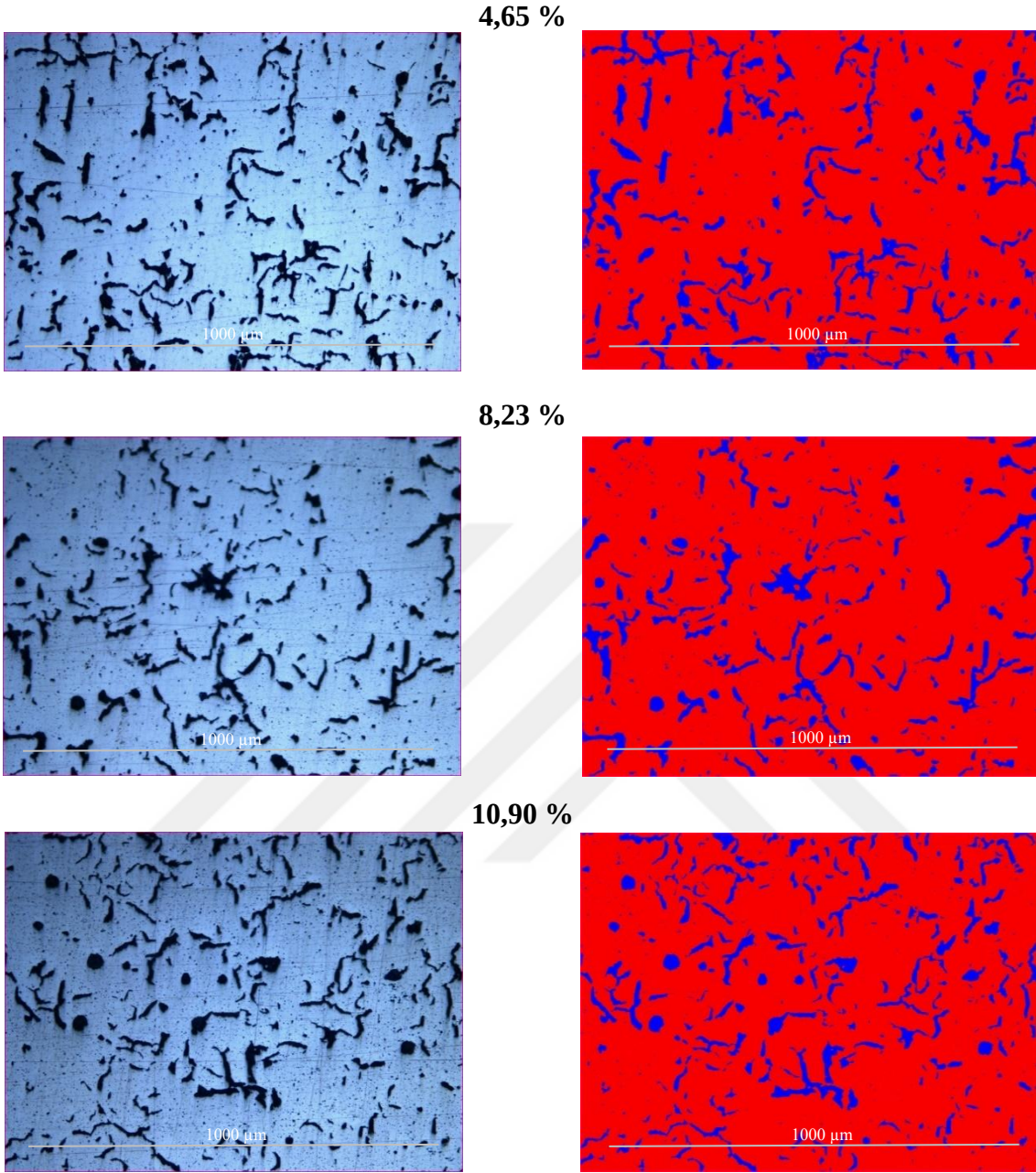


6,37 %



Resim 4. 30 E : 6,57 % Nodularite.

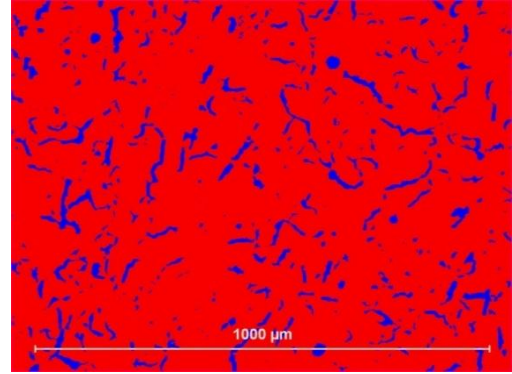
Resim 4.30'da verilen E kesitinin (10,89mm) nodularite değeri 6,57% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı ince ve soğuma hızı çok hızlı bir bölge olduğundan hesaplanan nodularite de diğer bölgelere göre çok sayıda küresellikler gözlenmiştir.



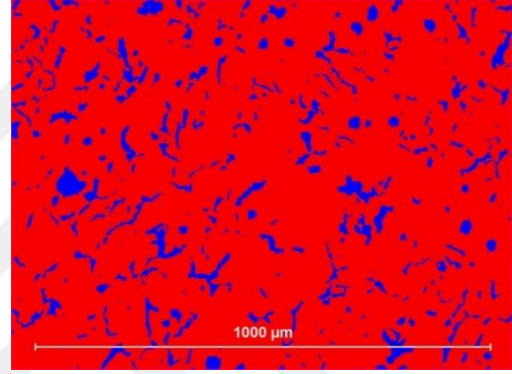
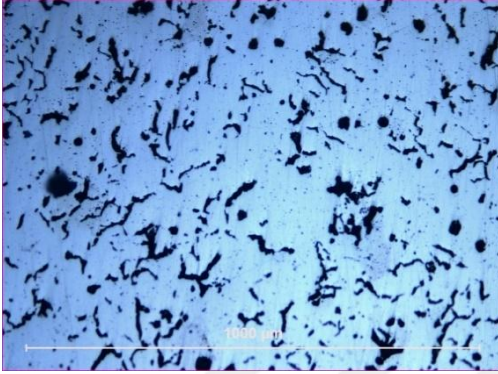
Resim 4. 31 F : 7,92 % Nodularite.

Resim 4.31’de verilen F kesitinin (16,51mm) nodularite değeri 7,92% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın ve soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan hesaplanan nodularite diğer kalın bölgelere göre daha düşüktür.

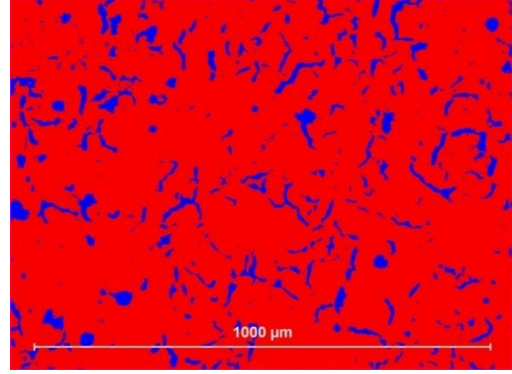
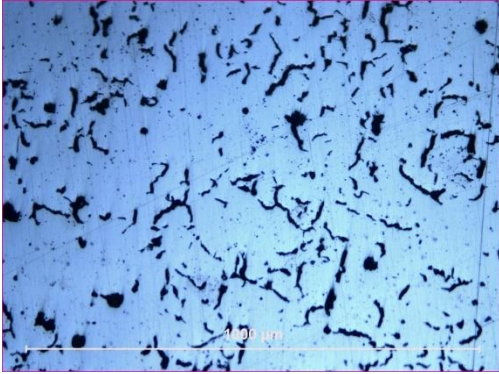
7,55 %



16,15 %



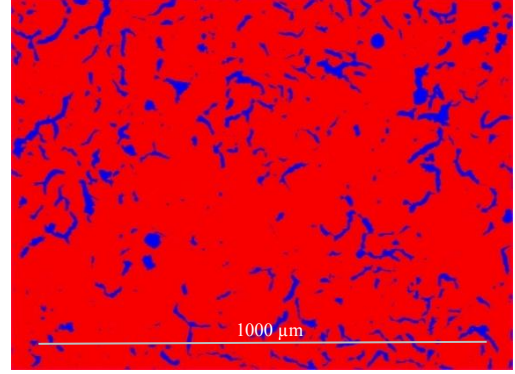
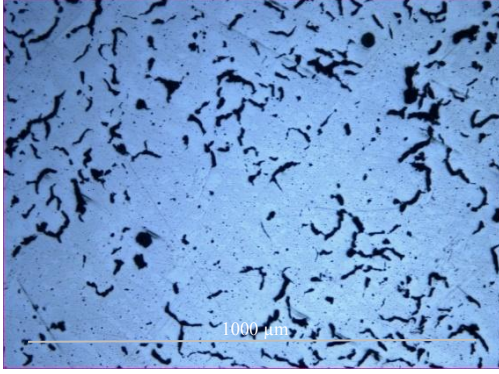
11,76 %



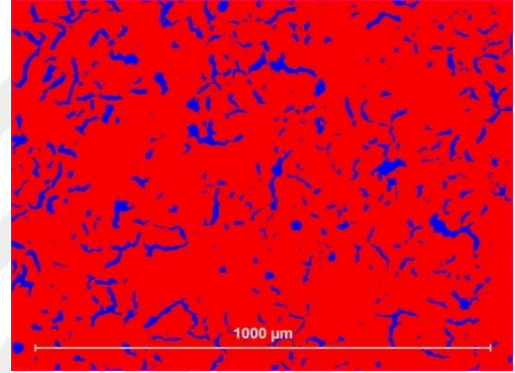
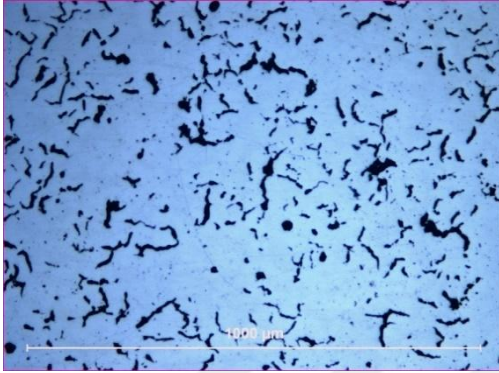
Resim 4. 32 G : 11,82 % Nodularite.

Resim 4.32’de verilen G kesitinin (8,20mm) nodularite değeri 11,82% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın, soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan nodularite değeri ince kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır.

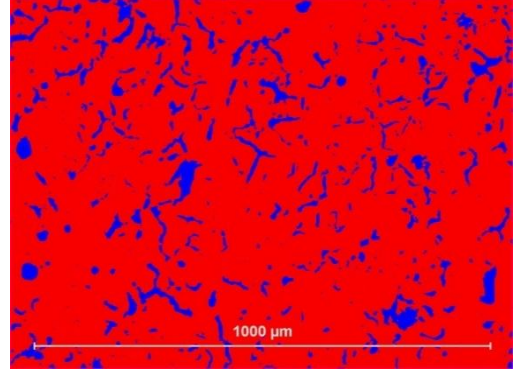
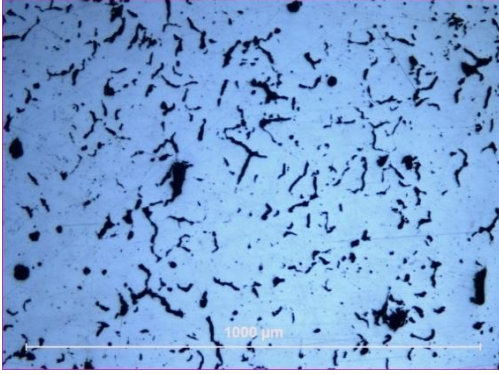
6,28 %



7,45 %



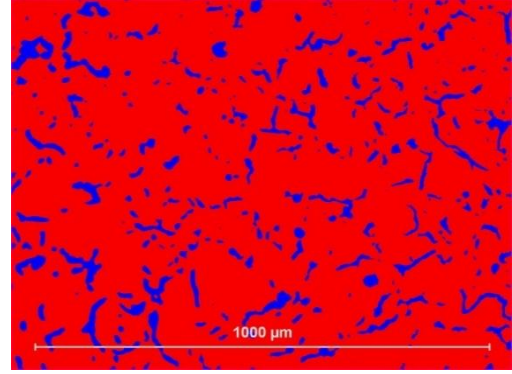
14,04 %



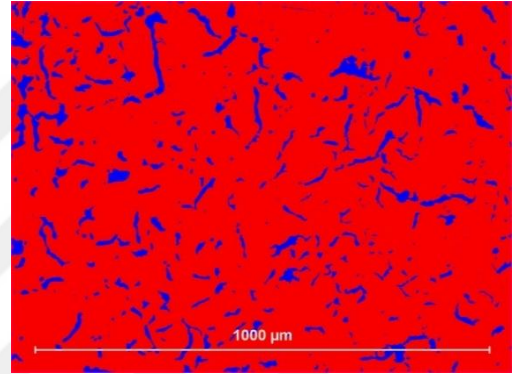
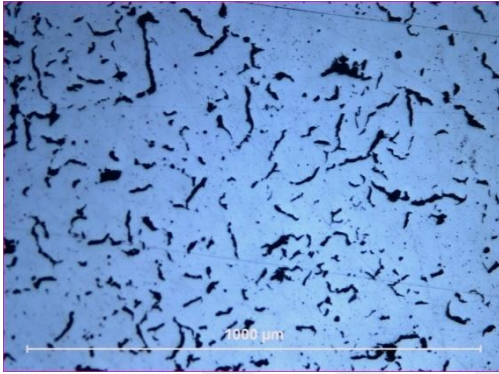
Resim 4. 33 H : 9,25 % Nodularite.

Resim 4.33'de verilen H kesitinin (42,72mm) nodularite değeri 9,25% olarak hesaplanmıştır. Kesit kalıbın üst bölgesinde parçanın yan duvarına yakın et payı kalın, ilk önce katılaştıran bir bölge olduğundan soğuma hızı hızlı olduğu gözlenmiştir ve nodularite değeri ince kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır.

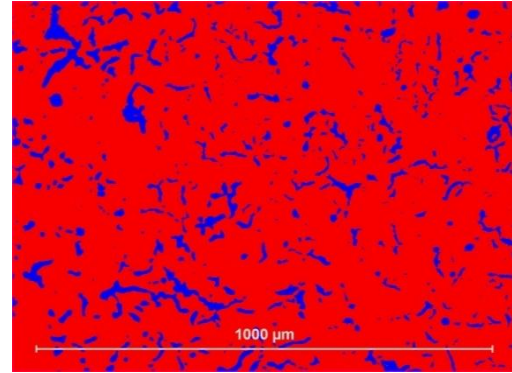
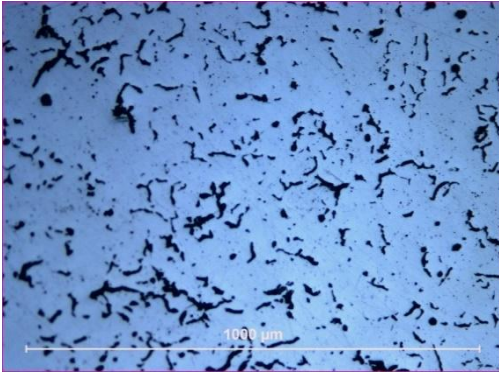
11,17 %



6,45 %



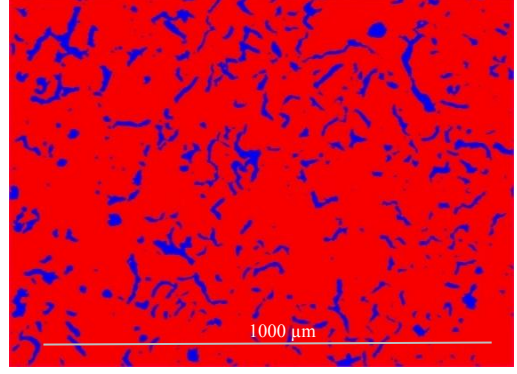
11,71 %



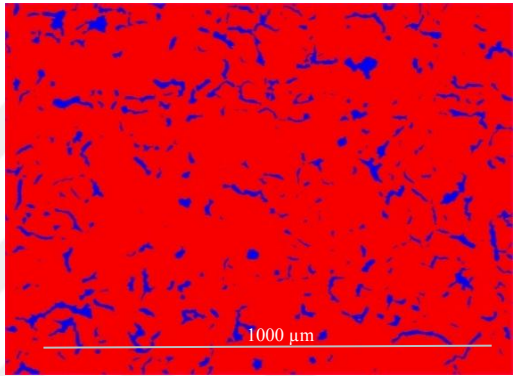
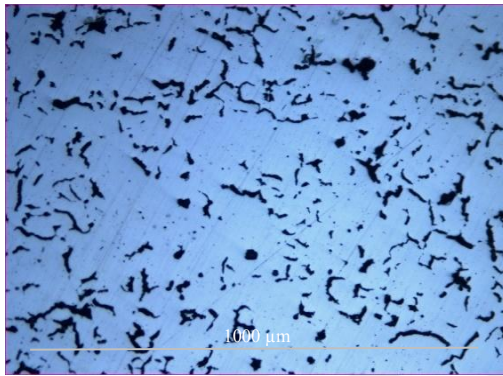
Resim 4. 34 I : 9,77 % Nodularite.

Resim 4.34'de verilen I kesitinin (42,63mm) nodularite değeri 9,77% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın, soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan ve H kesitiyle aynı bölgede bulunduğundan yakın değerler hesaplanmıştır.

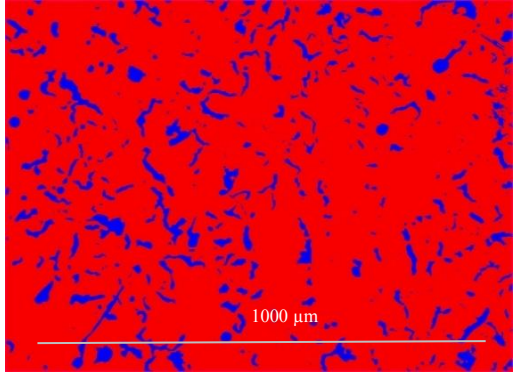
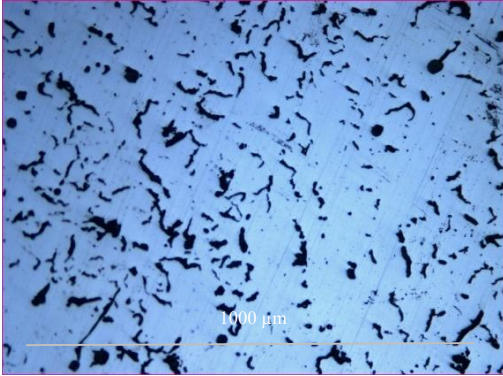
9,65 %



4,76 %



11,30 %

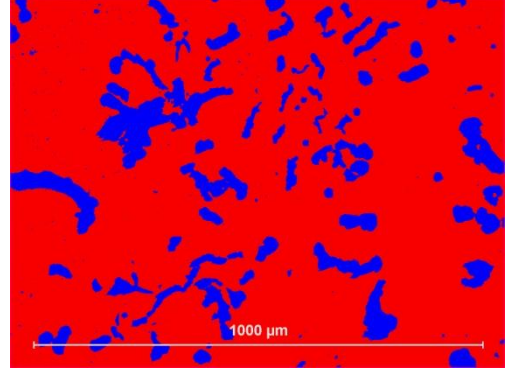


Resim 4. 35 J : 8,74 % Nodularite.

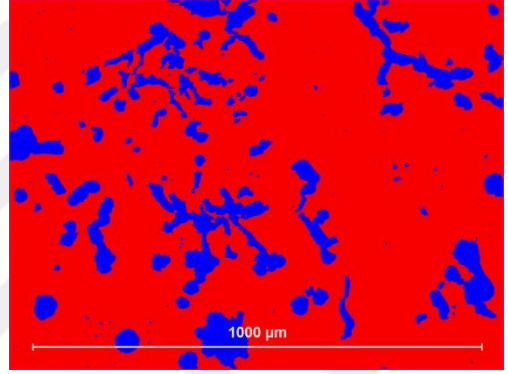
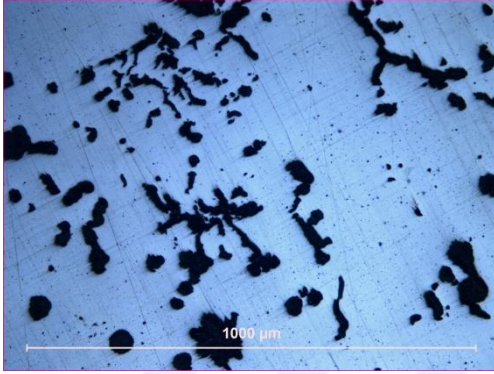
Resim 4.35’de verilen J kesitinin (20,33mm) nodularite değeri 8,74% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın, soğuma hızı çok hızlı bir bölge olduğundan nodularite değeri ince kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır.

4.3.2 Tel Besleme Otomatik İşlem Denemelerinde Nodularite

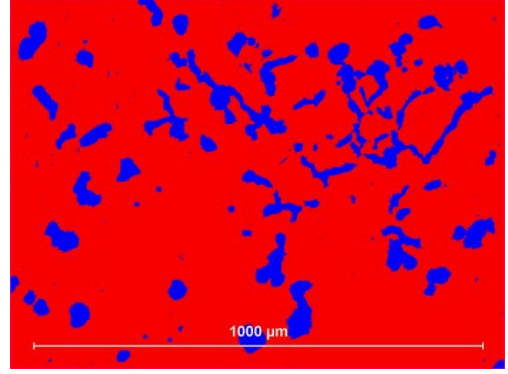
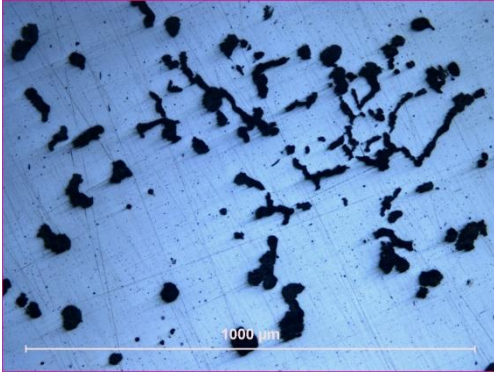
8,32 %



22,37 %



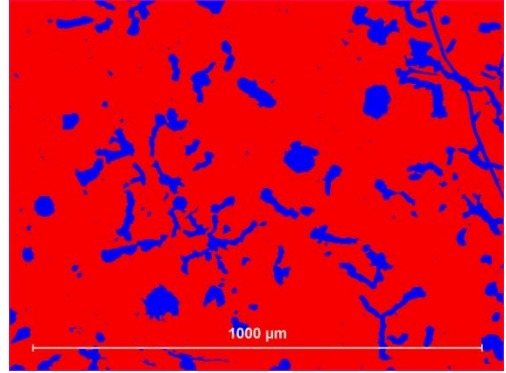
18,94 %



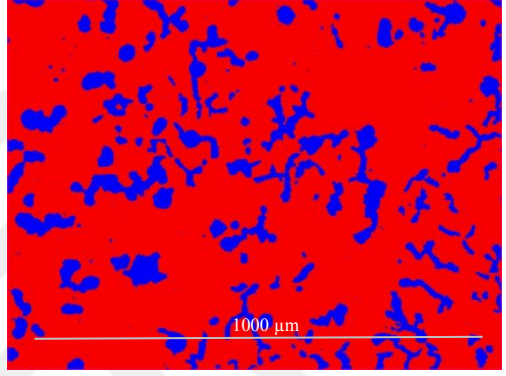
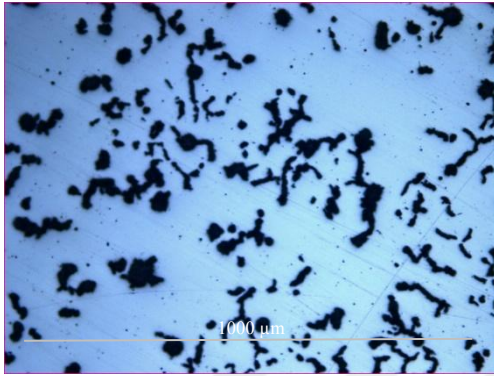
Resim 4. 36 B : 16,54 % Nodularite.

Resim 4.36 da verilen B kesitinin (19,13mm) nodularite değeri 16,54% olarak hesaplanmıştır. Parçanın orta bölgesinde et payı kalın ve soğuma hızı yavaş bir bölge olduğundan hesaplanan nodularitenin diğer bölgelere göre fazla olduğu gözlenmiştir.

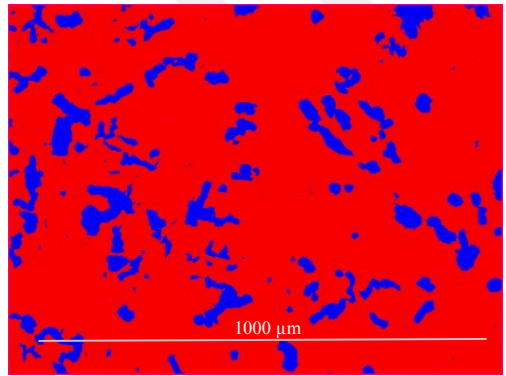
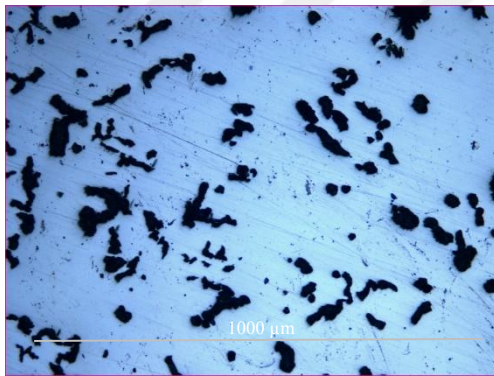
17,91 %



17,11 %



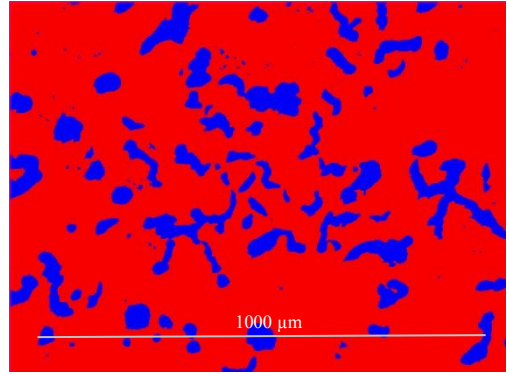
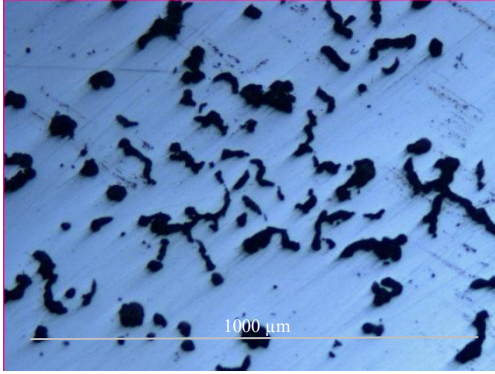
13,97 %



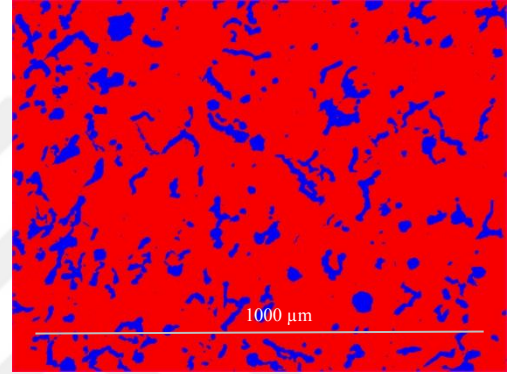
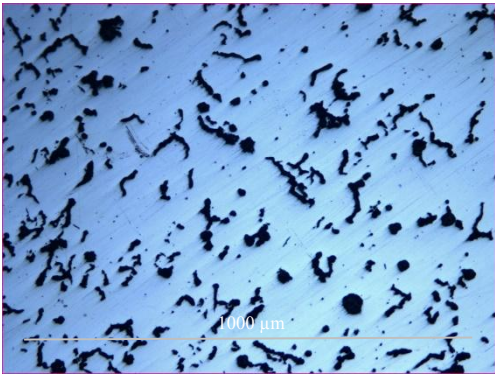
Resim 4. 37 D : 15,33 % Nodularite.

Resim 4.37’de verilen D kesitinin (26,51mm) nodularite değeri 15,33% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın ve soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan hesaplanan nodularitede küresellikler gözlenmiştir.

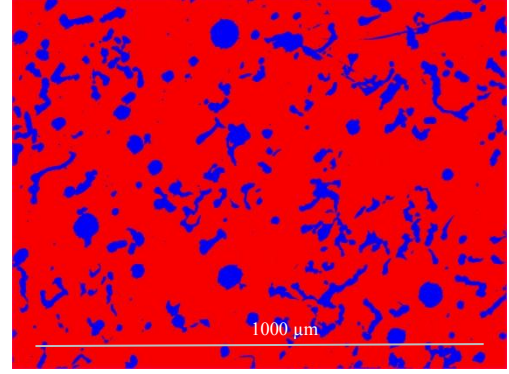
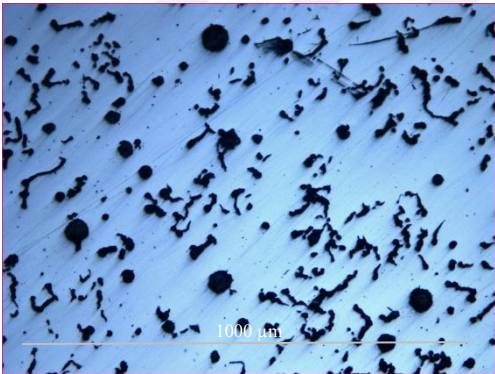
18,17 %



14,08 %



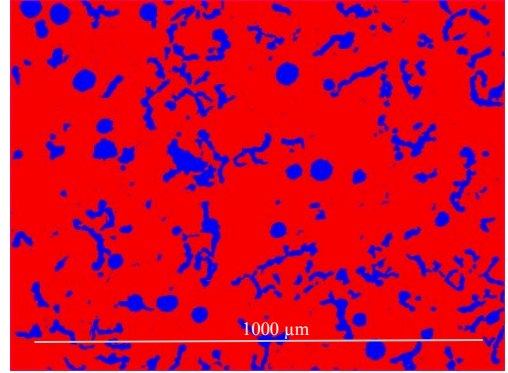
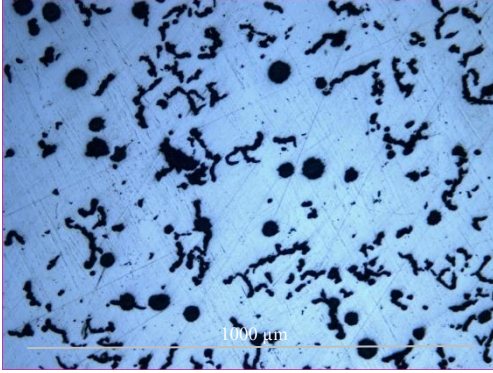
19,88 %



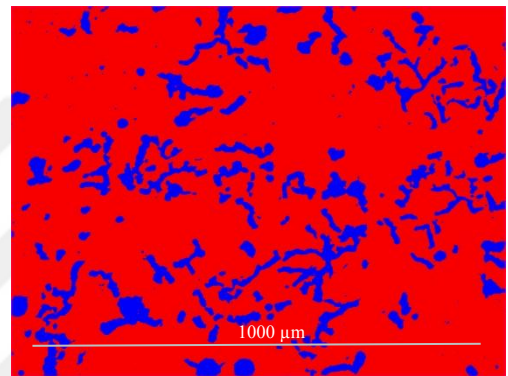
Resim 4. 38 E : 17,37 % Nodularite.

Resim 4.38’de verilen E kesitinin (10,89 mm) nodularite değeri 17,37% olarak hesaplanmıştır. Kesit alınan bölge ince kesitli ve hızlı soğuyan bir bölge olduğu için çok sayıda küresellikler gözlenmiştir.

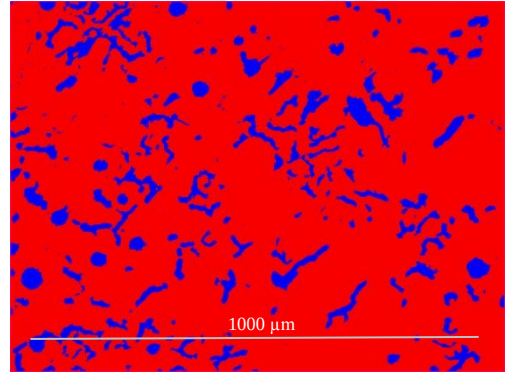
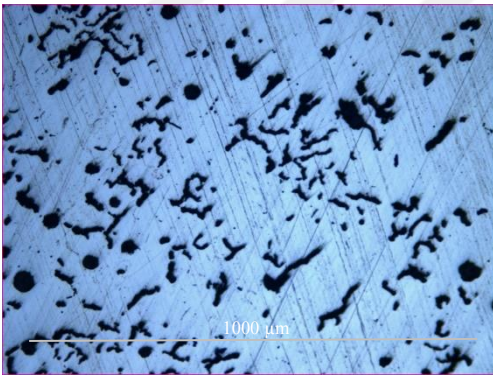
24,56 %



11,90 %



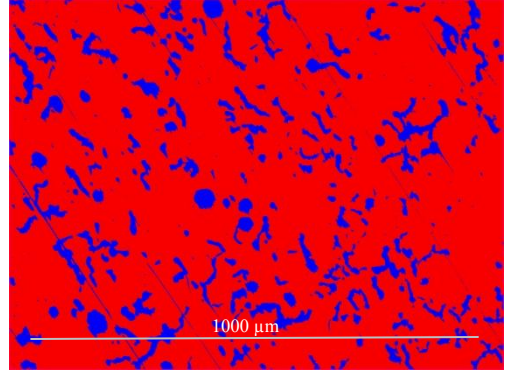
15,76 %



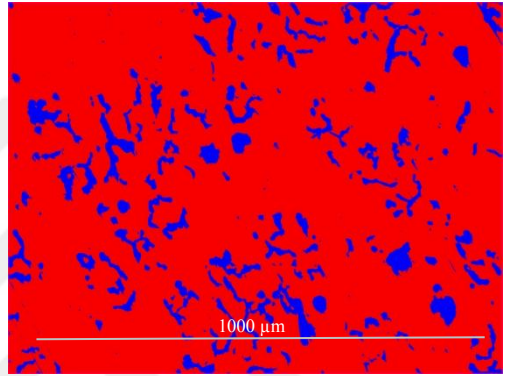
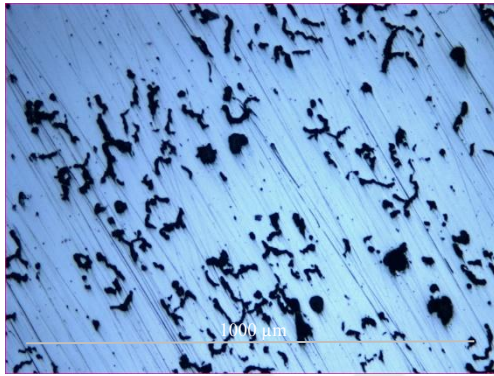
Resim 4. 39 F : 17,40 % Nodularite.

Resim 4.39'da verilen F kesitinin (16,51mm) nodularite değeri 17,40% olarak hesaplanmıştır. Parçanın bu kesitinde soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan hesaplanan nodularite diğer kalın bölgelere göre daha düşüktür.

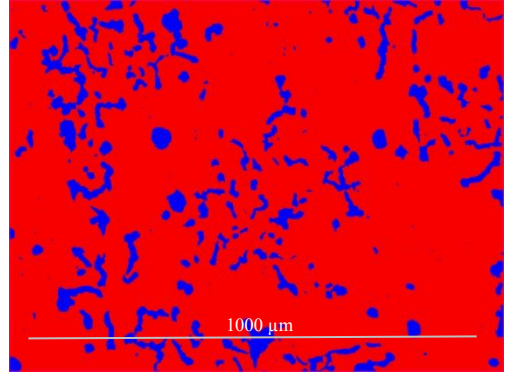
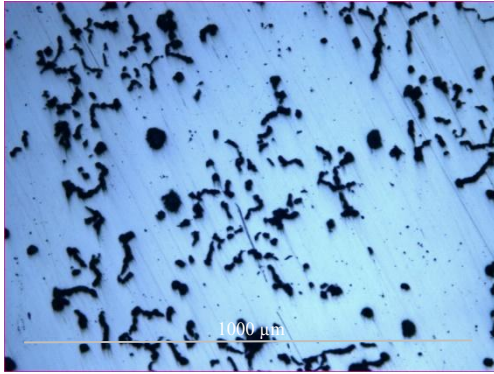
9,02 %



10,58 %



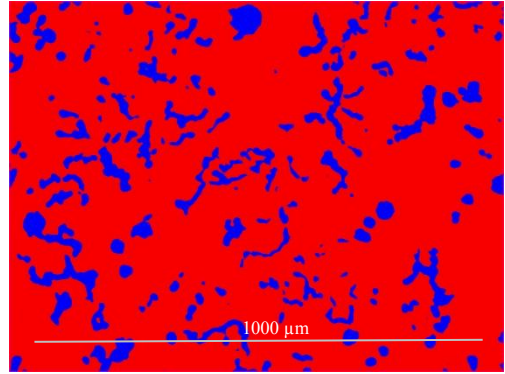
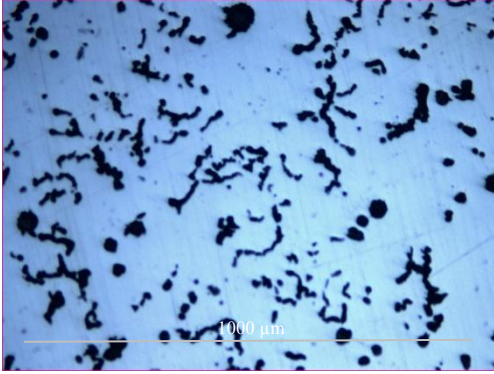
15,82 %



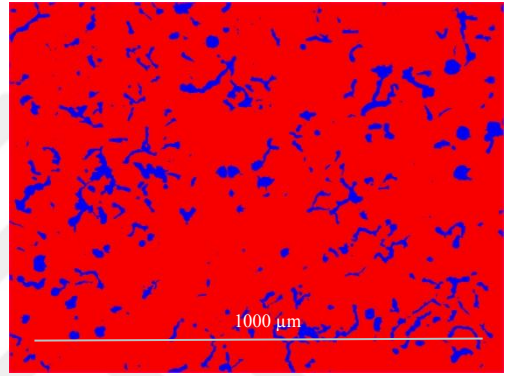
Resim 4. 40 G : 11,80 % Nodularite.

Resim 4.40'da verilen G kesitinin (8,20mm) nodularite değeri 11,80% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın, soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan nodularite değeri ince kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır. Nodularite değeri tandış pota denemesiyle aynı olduğu gözlenmiştir.

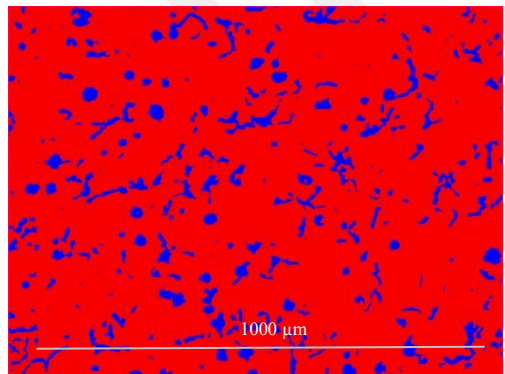
16,66 %



13,25 %



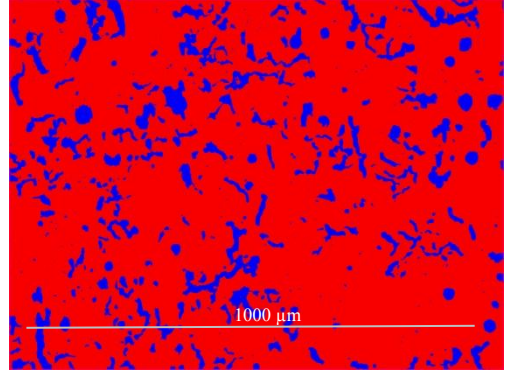
25,41 %



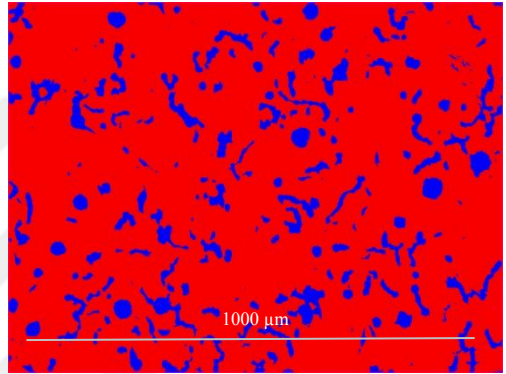
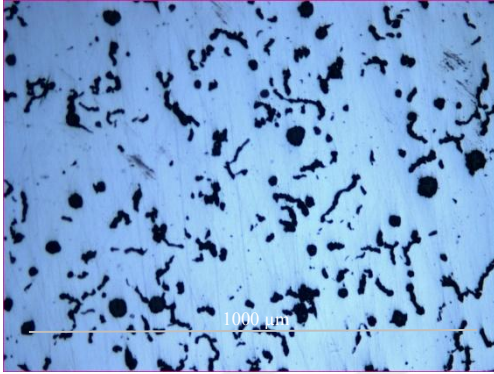
Resim 4. 41 H : 18,44 % Nodularite.

Resim 4.41'de verilen H kesitinin (42,72mm) nodularite değeri 18,44% olarak hesaplanmıştır. Kesit kalıbın üst bölgesinde parçanın yan duvarına yakın et payı kalın, ilk önce katılaştıran bir bölge olmasına rağmen nodularite değeri kalın kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır.

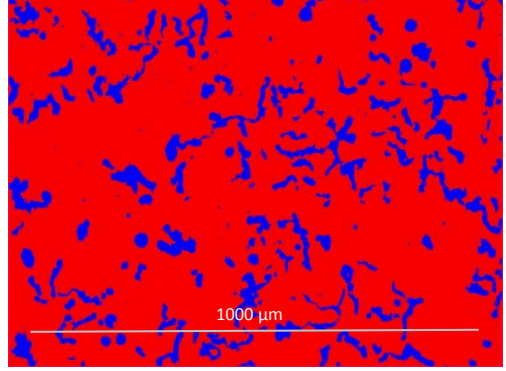
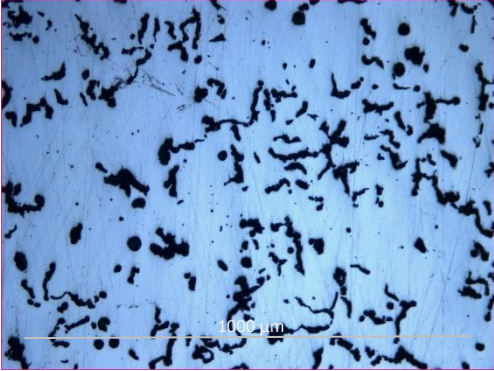
14,08 %



23,32 %



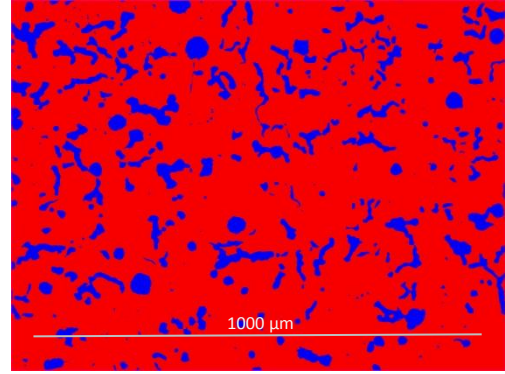
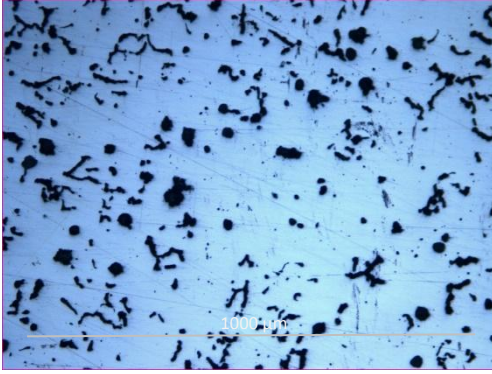
11,95 %



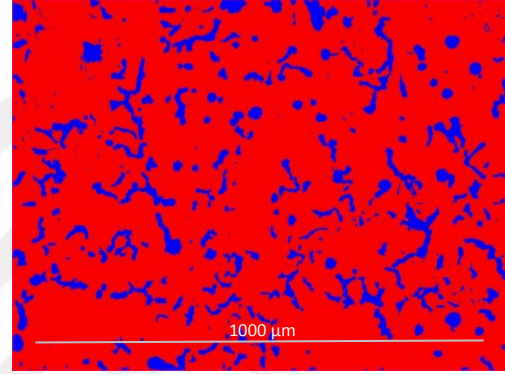
Resim 4. 42 I : 16,45 % Nodularite.

Resim 4.42’de verilen I kesitinin (42,63mm) nodularite değeri 16,45% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına yakın bölgede et payı kalın, soğuma hızı hızlı bir bölge olduğundan ve H kesitiyle aynı bölgede bulunduğundan yakın değerler hesaplanmıştır.

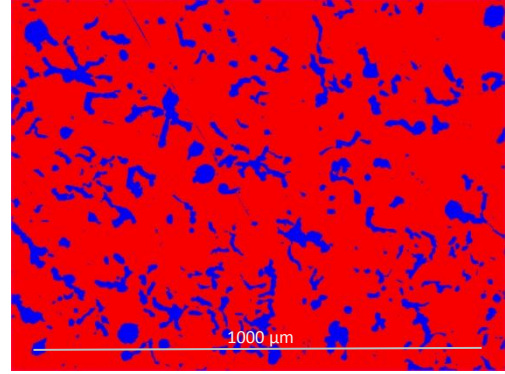
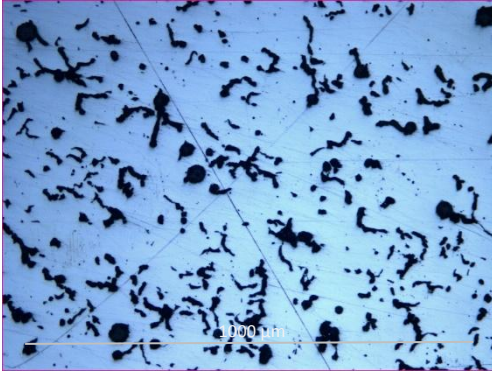
26,17 %



15,12 %



19,37 %

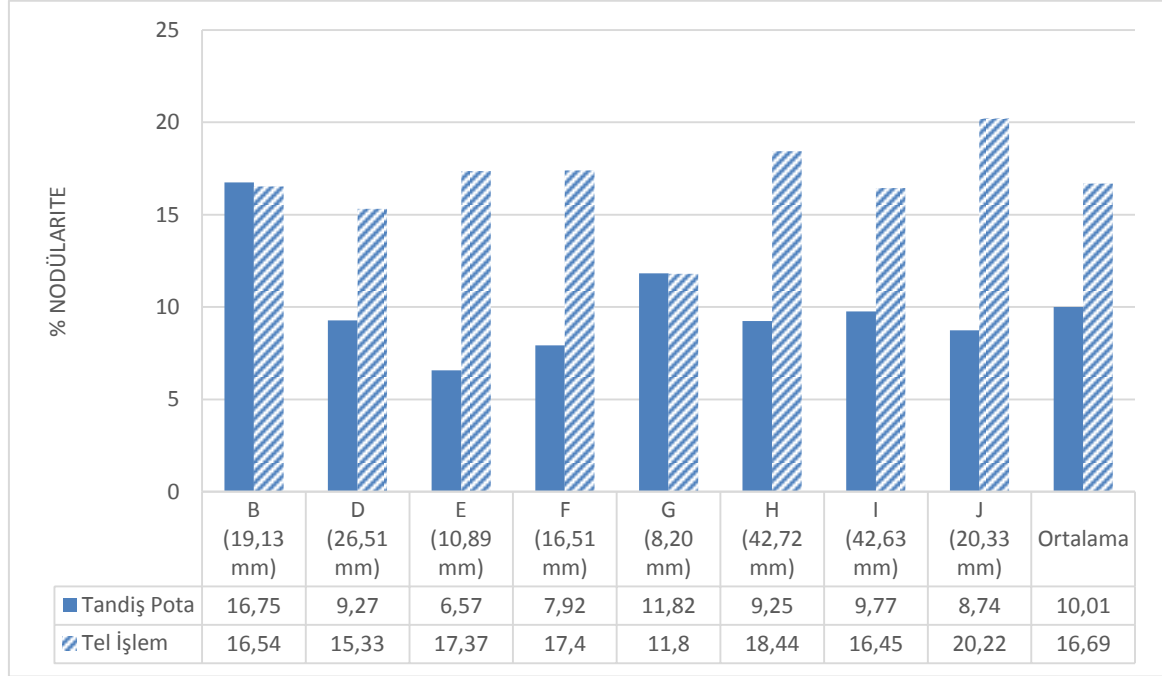


Resim 4. 43 J : 20,22 % Nodularite.

Resim 4.43’de verilen J kesitinin (20,33mm) nodularite değeri 20,22% olarak hesaplanmıştır. Parçanın yan duvarına fakat yavaş soğuma gerçekleştiği düşünülerek nodularite değeri kalın kesitlere yakın değerde hesaplanmıştır.

4.3.3 Kesit Kalınlıklarına ve İşlem Yöntemine Göre Nodularite Karşılaştırma

Çizelge 4. 11 Tandış Pota ile Tel İşlem Nodularite Oranlarının Karşılaştırma Grafiği.



Motor kapağı üstünde yapılan denemelerde tandış pota ile yapılan işlemin tel işleme göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Çizelge 4.11’de görüldüğü gibi nodularite hesabı ile kesitler incelenmiş, ince kesitli bölgelerde küresellik vermiküler yapıya göre yüksek görünmektedir. Kalın kesite doğru gidildikçe küresellik azalmakta, vermiküler yapı artmaktadır. Bunun sebebi kesit kalınlaştıkça, soğuma hızının düşmesi, vermiküler yapının uygun olan soğuma süresinde oluşmasıdır. İnce kesite doğru gittikçe soğuma hızının artmasından kaynaklı küresel yapı vermiküler yapıya geçmeden katılaşmıştır, yapılan içyapı analizlerinde bu sonuçlar net şekilde gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki farklı prosesle elde edilen vermiküler grafitli dökme demirde kesit hassasiyetinin içyapı özelliklerine olan etkileri incelenmiştir.

1-) E.Guzik ve S.Dzik (2009), döküm sektöründe tel işlem yönteminin kullanıldığı WSK Rzeszow dökümhanesinde yapılan silindir kafası döküm çalışmasına göre hedeflenen Mg değeri %0,015-0,018 aralığında belirlenmiştir. Tel işlem yöntemiyle bu belirlenen aralık kolay oluşturulmuş ve sabit bir şekilde sonraki dökümlere devam edilmiştir. Bu zamana kadar yazılan vermiküler yapı deneme makalelerinde kalıcı Mg oranı %0,015-0,020 aralığında uygun olduğu görülmüştür. Yapılan denemelerde bu aralıklara yakın çalışılmıştır.

Fabrika şartlarında seçilen motor kapağı numunesinin tandış pota ile yapılan çalışmanın;

2-) En ince kesitleri ve kalıp duvarlarına en yakın uç noktalar olan E kesiti (10,89 mm), G kesiti (8,20 mm) alınan numunenin içyapı incelemesi sonucunda ortalama nodülarite 6-11 aralığında hesaplanmıştır.

3-) En kalın kesiti ve kalıbın orta bölgesinden alınan B (19,13 mm) numunesinin nodülaritesi 15,81 belirlenmiştir. Uç noktalara gidildikçe soğuma hızlı olduğundan vermiküler yapı azalmakta, orta kalın noktalara gidildikçe soğuma hızı azaldığı için vermiküler yapı artmakta sonucuna ulaşılmıştır.

Tel işlem ile yapılan çalışmanın;

4-) En ince kesitleri ve kalıp duvarlarına en yakın uç noktalar olan E kesiti (10,89 mm), G kesiti (8,20 mm) alınan numunenin içyapı incelemesi sonucunda ortalama nodülarite 12-17 aralığında ölçülmüştür.

5-) En kalın kesiti ve kalıbın orta bölgesinden alınan B (19,13 mm) numunesinin

nodularitesi 16,11 belirlenmiştir. Tel işlem ile yapılan denemede son aşılama sonrası bekleme süresi konulmasıyla elde edilen vermiküler grafitli dökme demirin özelliklerine göre daha önce yapılan çalışmalarda görülen benzer mikroyapı ve mekanik değer sonuçlarına ulaşılmıştır, bu sonuçta bizim bulgularımızı doğrulamıştır. (Haraççı *et al.* 1998).

6-) Yapılan çalışmada istenilen malzemenin içyapı analizi numunelerinin çekilen içyapı fotoğraflarından da görüldüğü gibi kalın kesitlerde vermiküler grafit oluşumunun arttığı, küresel grafit sayısının da azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni soğuma hızıyla ilgili olduğu belirlenmiştir.

7-) Denemeler sonucunda fabrika bünyesinde belirlenen parçanın istenen mekanik değerleri sağlanmıştır. Bu değerler uluslararası standartlar ile kıyaslanmış, elde edilen sonuçlara göre ISO 16112/JV/450 malzemesi elde edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- ASTM A197M (2015). Standard specification for cupola malleable iron, 2: 124.
- ASTM A842-11 (2018). Standard specification for compacted graphite iron castings, 1: 82.
- Bartocha D., Janerka K., Suchon J. (2005). Carburization process rate in production of synthetic cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*, **162-163**: 465-470.
- Cooper K.P., Loper C.R. (1978). A critical evaluation of the production of compacted graphite cast iron. *American Foundry Society*, **86**: 267.
- Davis J.R. (1996). Stainless steels. American society of materials specialty handbook, **3**: 654-658.
- Dawson S. (2009). Compacted graphite iron – A material solution for modern diesel engine cylinder blocks and heads. Keith Millis symposium on ductile iron. American, Las Vegas and Republished in China Foundry, **3**: 241-246.
- Dawson S., Schroeder T. (2000). Compacted graphite iron: A viable alternative, based on a paper published in engineered casting solutions. *American Foundry Society*, **1**: 1-10.
- EN 16079, (2012). Specifies the grades and the corresponding requirements for compacted (vermicular) graphite cast irons. Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), **3**: 10-32.
- GB/T26655, (2011). Compacted (vermicular) graphite cast irons. *SAI Global in China Foundry*, **9**: 27-29.
- Guzik E., Dzik S. (2009). Structure and mechanical properties of vermicular cast iron in cylinder head castings. *Archives of Foundry Engineering*, **38**: 175-180.
- Haraççı F. (1998). The production of compacted graphite cast iron and effects of different section sizes, time and postinoculation on the microstructural and mechanical properties M. Sc. Thesis. METU, **1**: 87-93.
- Hemanth J., Rao K.V.S. (1999). Effect of cooling rate on eutectic count, grain size,

- microstructure and ultimate tensile strength of hypoeutectic cast iron. *Journal of Materials Engineering and Performance*, **8**: 417-423.
- ISO/TR 945-2. (2011). Graphite classification by image analysis. *International Organization for Standardization*, **2**: 1-22.
- John V.B. (1992). Introduction to engineering materials, third edition. *Macmillian Press Ltd.* London, **3**: 28-38.
- Kasap T. (2004). Vermiküler grafitli dökme demir üretimi ve kesit farklılığının mikroyapıya etkisinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi. OGÜ, **1**: 29-42.
- Kim S., Cockcroft S.L., Omran A.M. (2009). Optimization of the process parameters affecting the microstructures and properties of compacted graphite iron. *Journal of Alloys and Compounds*, **233**: 476-732.
- La P., Wei F., Hu S., Li C., Wei Y., (2013). White cast iron with a nano-eutectic microstructure and high tensile strength and considerable ductility prepared by an aluminothermic reaction casting. *Materials Science and Engineering*, **561**: 317-320.
- Melleras E., Guesser W., Masiero I., Cabezas C.S. (2005). Thermal conductivity of gray iron and compacted graphite iron used for cylinder head. *Revista Materia*, **10**: 265-272.
- Mohammadnezhad M., Bahrami M., Javaheri V. (2016). Wear behavior and mechanical properties of the TiC ceramic particulate locally reinforced Ni-Hard white cast iron matrix. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, **8**: 1571-1578.
- Mousavi Anijdan S.H., Bahrami A., Varahram N., Davami P., (2007). Effects of tungsten on erosion-corrosion behavior of high chromium white cast iron. *Materials Science and Engineering*, **39**: 454-455, 623-628.
- Pina J.C., Shafqat S., Kouznetsova V.G., Hoefnagels J.P.M., Geers M.G.D. (2016). Microstructural study of the mechanical response of compacted graphite iron an experimental and numerical approach. *Material Science and Engineering*, **658**: 439-449.
- SAE J1887, (2013). Automotive compacted graphite iron castings, American society of

materials specialty handbook, **6**: 1,10.

Stefanescu D.M., Alonso G., Larra-nagga P., De la Fuente E., Suarez R. (2016). On the crystallization of graphite from liquid iron-carbon-silicon melts. *Acta Materialia*, **107**: 102-106.

Sun X.J., Li Y.X., Chen X. (2007). Controlling melt quality of compacted graphite iron. *Material Science and Engineering*, **466**: 1-8.

Sun X.J., Chen X. (2008). Identification and evaluation of level for compacted graphite cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*, **200**: 471-480.

Tomovic-Petrovic S.M., Markovic S.V., Zec S., (2002). The effect of boron on the amount and type of carbides in chromium white irons. *Journal of Serbian Chemical Society*, **68**: 697-707.

Vasko A. (2016). Evaluation of shape of graphite particles in cast irons by a shape factor. *Materials Today*, **3**: 1199-1204.

Walton C.F., Opar T.J. (1981). Iron casting handbook covering data on grey, malleable and ductile iron. *Iron Casting Society Incorporated New York*, **6**: 2-5.

Wang Y.P., Li D.Y., Parent L., Tian H., (2011). Improving the wear resistance of white cast iron using a new concept-high entropy microstructure. *Wear* 273, **21**: 1623-1628.

Xu W., Ferry M., Wang Y. (2005). Influence of alloying elements on as-cast microstructure and strength of gray iron. *Material Science and Engineering*, **390**: 326-333.

Yaşar G. (1996). Compacted/vermicular graphite production techniques and the section sensitivity of compacted/vermicular graphite, M.Sc thesis. METU, **1**: 28-42.

Zhenhua L., Yanxiang L. (2005). Evaluation of melt quality and graphite degeneration prediction in heavy-section ductile iron. *Metallurgical and Materials Transactions*, **36**: 2455-2460.

Zhukov A.A., Davydov S.V. (1983). Malleable cast iron with short mode graphitizing annealing. *Steel in Translation*, **6**: 100-103.

İnternet Kaynakları

1. <http://manufacturingapp.blogspot.com/2016/>, 21.12.2017
2. <http://www.dökümhane.net>, 21.12.2017
3. <https://hakanyasar.wordpress.com/category/dokumhane/>, 21.12.2017
4. https://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48936/37061/dökme_demirler_4_beyaz.pdf , 21.12.2017
5. <https://slideplayer.biz.tr/slide/10293422/> 21.12.2017
6. <http://www.dökümhane.net> 21.12.2017
7. <https://docplayer.biz.tr/18682232-Temper-dokme-demirler-malleable-cast-iron.html>, 21.12.2017
8. <https://docplayer.biz.tr/18682232-Temper-dokme-demirler-malleable-cast-iron.html> 11.01.2018
9. <https://de.wikipedia.org/wiki/Temperguss>, 11.01.2018
10. <http://www.dökümhane.net>, 11.01.2018
11. <http://www.dökümhane.net>, 11.01.2018
12. <https://muhendishane.org/wp-content/uploads/2018/09/El-Kitabi-02.pdf>, 22.03.2018
13. <http://ethesis.nitrkl.ac.in/5714/1/212MM2456-9.pdf>, 22.03.2018
14. <http://www.fumbarri.com/nomenclature-of-casting-parts-mechanical-characteristics/>, 22.03.2018
15. <http://malayasteel.blogspot.com/2011/04/classification-of-cast-iron.html>, 22.03.2018
16. <http://docplayer.biz.tr/23996787-El-kitabi-vermikuler-grafitli-dokme-demir-yillik-tarihin-gelecekle-bulusma-noktasi.html>, 30.03.2019
17. <http://www.theinfolist.com/php/SummaryGet.php?FindGo=Jaguar%20AJD-V6%20engine>, 30.03.2019
18. <http://akademi.tudoksad.org.tr>, 30.03.2019
19. <https://www.elkem.com/foundry/tech-advice/casting-weight-and-thickness/>, 30.03.2019
20. <http://akademi.tudoksad.org.tr>, 30.03.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Oğuzhan GÜLER
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir / 08.01.1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 05373454017 / oguzhangler@yahoo.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eskişehir Atatürk Lisesi, (2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, (2010-2014)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl :

ENTİL Endüstri Yatırımları ve Tic.A.Ş. , ESKİŞEHİR

2017 Kasım - Devam Ediyor - Dökümhane Üretim Mühendisi

Ata Döküm, ESKİŞEHİR

2015 Temmuz- 2017 Kasım - Dökümhane Üretim Mühendisi

Emek Makine, ESKİŞEHİR

2014 Aralık- 2015 Mayıs - Üretim Mühendisi

Nurol Holding'e Suikasta Dayanıklı Vagon Üretimi (Askeri Proje)

Eskişehir Jant Sanayii, ESKİŞEHİR

2014 Ağustos - Üretim Stajı (Traktör ve Forklift Jantı Üretimi)

TEL, ESKİŞEHİR

2013 Temmuz

- Üretim Stajı

Özel Prosesler (Lazer ile Kesim, EDM- Electrical Discharge Machining Sermetal kaplama, Nikel-Krom Kaplama, Blue Etch Anodizing-Anodik Dağlama, Braze Kaynağı, Kimyasal aşındırma Termal Sprey-Plazma, Shot Peen, NDT Tahratsız Muayene- Ultra Sonic, Eddy Current, MPI, FPI, XRAY)

Ata Döküm, ESKİŞEHİR

2012 Temmuz

- Üretim Stajı

Yayınları (SCI ve diğer) : Savurma Döküm Yöntemiyle Üretilen Döküm Parçalarda Aşınma Dayanımının Deneysel Olarak Araştırılması – **ENTİL Endüstri Yatırımları ve Tic. A.Ş., ESKİŞEHİR / Arge Projesi**

Wear Resistance Properties of Mill Rolls Produced By Centrifugal Casting Technique.
– 10th International Foundry Congress by Tudoksad Academy, 25 – 27 October 2018, Tüyap Fair, Convention & Congress Center, İstanbul