



**T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE
AŞILAYICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLER
MİKROYAPI VE KÜKÜRT ÜZERİNE ETKİSİ**

Abdullah AYDOĞUŞ

YÜKSEK LİSANS

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim
Dalı**

**Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Abdullah AYDOĞUŞ tarafından hazırlanan “Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşıl原因ların Mekanik Özellikler Mikroyapı ve Kükürt Üzerine Etkisi adlı tez çalışması 29/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet YILDIRIM

Danışman

Prof. Dr. Mustafa ACARER

Üye

Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

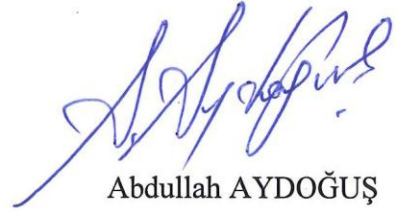
Prof. Dr.
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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



Abdullah AYDOĞUŞ

Tarih:29/08/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE AŞILAYICILARIN MEKANİK ÖZELLİKLER MİKROYAPI VE KÜKÜRT ÜZERİNE ETKİSİ

Abdullah AYDOĞUŞ

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ACARER

2019, 61 Sayfa

Jüri

**Prof. Dr. Mustafa ACARER
Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet YILDIRIM**

Çalışmada Baryum (Ba), Bizmut (Bi) ve Seryum (Ce) içerikli aşıl原因 mikro yapısal ve mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan aşıl原因lar arasında Baryum (Ba) esaslı aşıl原因 malzemenin Kükürt (S) elementi kimyasal analizine ve mikro yapıya olan etkisi incelenmiştir. Yüksek Baryum ihtiva eden aşıl原因 malzemelerin Kükürt (S) elementi üzerine %S seviyesini düşürdüğü gözlenmiştir. Aşıl原因 malzemedeki % Baryum (Ba) değeri yüksek olan aşıl原因 malzemenin %S değerini diğer aşıl原因 malzemeye göre daha düşük seviyelere indirdiği görülmüştür. Kullanılan Baryumlu aşıl原因lar, Bizmut(Bi) ve Seryum esaslı Aşıl原因lar sırasıyla %0,2 ve %0,3 ilave oranları ile kullanılmıştır. Baryum esaslı aşıl原因 malzemeler Küreselleştirici malzeme Ferro-Siliko-Magnezyum (FeSiMg) üzerine örtü aşıl原因 olarak uygulanmıştır. Bizmut ve Seryum esaslı aşıl原因lar geç aşıl原因 yöntemi ile sıvı metale ilave edilmiştir. 5 mm, 15mm, 25 mm, 35 mm ve 50 mm ölçülerinde basamak modeli yardımı ile kesit kalınlıklarına göre aşıl原因 malzemenin mikro yapı içerisinde oluşturduğu küreler incelenmiştir. Kesit kalınlığı 5mm'den 50 mm'ye doğru gidildikçe küre sayılarında azalma ve küre boyutlarında büyüme gözlenmiştir. Yine sertlik değerleri incelemelerinde mikro yapı ile paralel sonuçlara rastlanmıştır. 5 mm kesit kalınlığında en sert yapı elde edilmiştir. %0,2 ve %0,3 ilave oranı ile Bizmut ve Seryum esaslı aşıl原因larda %0,3 oranla kullanımda küre sayılarındaki artış sebebi ile sertlik değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, aşıl原因, EN-GJS 400-15, Baryum (Ba), Bizmut (Bi), Seryum (Ce), Kükürt (S), mikro yapı, mekanik test

ABSTRACT

MS THESIS

MECHANICAL PROPERTIES OF INOCULANTS IN SPHEROIDAL GRAPHITE CAST IRONS EFFECT ON MICROSTRUCTURE AND SULFUR

Abdullah AYDOĞUŞ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE /
IN METALURGICAL AND MATERIALS ENGINEERING
KONYA SELÇUK UNIVERSITY**

Advisor: Prof. Dr. Mustafa ACARER

2019,61 Pages

Jury

**Prof. Dr. Mustafa ACARER
Prof. Dr. Necmettin TARAKÇIOĞLU
Asst. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM**

The effects of inoculants with Barium (Ba), Bismuth (Bi) and Cerium (Ce) on microstructural and mechanic properties are investigated within the scope of this study. Among the used inoculants, the impact of inoculants containing Barium (Ba) on the chemical analysis of the element Sulfur (S) and microstructure is analyzed. It is observed that the inoculants with high content of barium reduce the level of %S of the element Sulfur (S). Inoculants with higher content of Barium (Ba) decrease %S value more than inoculants with lower content of Barium (Ba). Inoculants with Barium (Ba), inoculants with Bismuth (Bi) and Cerium (Ce) are used with the ratio of % 0,2 and % 0,3 respectively. Inoculants with Barium (Ba) are applied as coat inoculants over spheroidal material Ferro Silicon Magnesium (FeSiMg). Inoculants with Bismut and Cerium are added to liquid metal with the late inoculation method. The spheres, which are formed in microstructure by inoculants, are investigated according to section thickness with the help of step model of sizes 5 mm, 15 mm, 25 mm, 35 mm, and 50 mm. As section thickness shift from 5 mm to 50 mm, the reduction in the number of spheres and the growth of the sizes of spheres are found out. Similar results are shown with the microstructure through the investigation of hardness value. The hardest material is obtained in the section thickness of 5 mm. With the inoculants with Bismuth and Cerium, added in ratio of %0,2 and %0,3; a decrease in hardness value is observed in the use with the ratio of %0,3 due to the increase in the number of spheres.

Keywords: : Barium (Ba), Bismuth (Bi), Cerium (Ce), EN-GJS 400-15, Inoculant, Mechanic test, Microstructure, Spheroidal graphite cast iron, , Sulfur (S),

ÖNSÖZ

Bu çalışma sürecinde desteklerini eksik etmeyen değerli danışmanım hocam Prof. Dr. Mustafa ACARER'e en içten duygularıyla saygılarımı sunar teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı Alper Melih ATAÇ'a, Ek-Dök-San Dökümhane Müdürü Ant Vehbi ŞAHİN'e, Ek-Dök-San Üretim Mühendisi Utku Can KEKEÇ'e, Özgayd Metalurji Fabrika Müdürü Hasan AZTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı hem iş arkadaşım hem patronum olan Murat İLERİĞİDEN'e teşekkür ederim

Urban Model San. Hasan Hüseyin ILGIN'a, Salim KİRAZ'a tüm desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışma sürecinde de sürekli yanımda olan, en iyi arkadaşım, dostum olan kardeşim Osman AYDOĞUŞ'a, her ihtiyacımızda bizim yanımda olan sürekli elinden gelenin fazlasını yapmaya uğraşan canım annem Hacer AYDOĞUŞ'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Çalışmam için sürekli olarak beni teşvik eden, farklı alanlarda olmamıza rağmen sürekli yardımlarını eksik etmeyen sevgili eşim, hayat arkadaşım Merve AYDOĞUŞ' a yanımda ve hayatımda olduğu için teşekkür ederim.

Bizlere sürekli doğruyu öğreten, gösterdiği yolda dürüstçe ilerlememizi sağlayan, fikirleri ile şimdiye kadar ki hayatımızı aydınlattığı gibi bundan sonrada aydınlatacak olan babama, Mehmet AYDOĞUŞ'a özlem ve teşekkürlerimi sunarım.

Abdullah AYDOĞUŞ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. DÖKME DEMİRLER	2
2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler	3
2.1.1. Küresel Grafitin Oluşum Mekanizması	5
2.1.1.1. Vida Dislokasyon Modeline Göre Büyüme	7
2.1.1.2. Arayüz Bozulma Modeline Göre Büyüme	8
2.1.1.3.Çevresel Büyüme Modelleri	9
2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Katılaşması	10
2.2.1. Alt Ötektik Katılaşma	10
2.2.2. Üst Ötektik Katılaşma	10
2.3. Küreselleştirme işlemi	11
2.3.1. Açık Pota Yöntemi.....	12
2.3.2. Sandviç Yöntemi.....	12
2.3.3. Daldırma Yöntemi	13
2.3.4. Devirmeli Pota (Konvertör) Yöntemi	14
2.3.5. Tel Tretman.....	15
2.4.Küreselleştirme İşlemi	15
2.5. Kimyasal Bileşim.....	17
2.5.1. Karbon Etkisi	17
2.5.2. Silisyum Etkisi	18
2.5.3. Manganez	18
2.5.4. Kükürt	19
2.5.5. Fosfor	19
2.5.6. Bakır.....	19
2.6.Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşılama	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Ergitme ve Şarj Pratiği.....	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Mikro Yapı Sonuçları	27
4.2. Sertlik Değerleri Sonuçları	48
4.3.Kimyasal Analiz Sonuçları	50
4.4.Çekme Testi Sonuçları.....	51

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
5.1 Sonuçlar	57
5.2 Öneriler	58
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	61



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- Al: Alüminyum
- Ba: Baryum
- Bi: Bizmut
- °C: Celcius
- Ca: Kalsiyum
- Ce: Seryum
- C_{eş}: karbon eşdeğerliği
- FeSi: Ferro Silisyum
- Fe₃C: Sementit
- FeSiMg: Ferro-Siliko-Magnezyum
- İnoculant: Aşılavıcı
- Kg: Kilogram
- Mg: Magnezyum
- Mn: Mangan
- MPa: Megapaskal
- mm: milimetre
- P: Fosfor
- Pb: Kurşun
- S: kükürt
- Sb: Antimon
- Sc: Doymuşluk Derecesi
- Sn: Kalay
- Ti: Titanyum
- Tr: Nadir Toprak Elementleri

Kısaltmalar

- BMS: Bulut Makine Sanayi
- DDK: Dökme Demir Küresel
- DIN: Deutsches Institut Für Normung
- KGDD: Küresel grafitli Dökme Demirler
- LGDD: Lamel Grafitli Dökme Demirler
- TSE: Türk Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

Uzun yıllardır dökme demirin katılaşması sırasında küresel grafit oluşumunun altında yatan mekanizmaları incelemek dökme demir metalürjistlerinin amacı olmuştur. Dökme demirde küresel grafit oluşumunu inceleyen ve bu konuda ilk ortaya atılan teori Morrogh ve Williams tarafından ortaya atılmıştır. Bu teoriler zamanın şartlarına göre kristal büyüme mekanizmalarını anlamada yetersiz kaldığı için ilerleyen dönemde bu konuyu ele alan birçok çalışma yapılmıştır (Morrogh ve ark., 1947).

Dökme demir iki bileşenli Fe-C ya da Fe-C ve karbonca zengin ve katı kıvamda çok miktarda ötektik içeren bileşenli X elementi ile oluşan metal yapılarıdır. Dökme demirdeki yüksek karbon içeriği, hem sıvı hem de materyallerin özellikleri ve yapısı üzerinde önemli etkileri vardır. Dökme demirdeki katılaşma mekanizmalarının anlaşılabilmesi için, sıvı demir-karbon alaşımlarının yapısını, grafitin yapısını, dökme demirdeki çekirdeklenme ve büyümenin temellerini bilmek gereklidir. Bu sayede küresel grafitin oluşumunu da incelemek mümkündür.

Küresel grafitli dökme demir, küresel şeklinde grafitleri olan demir-karbon döküm malzemesi şeklinde tanımlanabilir. Sıvı dökme demir içerisine belirli elementlerin ilavesi ile katılaşma sırasında grafitler yaprak yerine küre şeklinde katılaşma sağlanır. Bu elementlerden en sık kullanılanları reaksiyon prensipleri yönüyle aynı olan Seryum (Ce) ve Magnezyumdur (Mg) (Brown, 2000).

Küresel grafitli dökme demir, yüksek çekme ve akma mukavemetli elastisite modüllü yüksek uzama ve kolay işlenebilme özelliğine sahip korozyona dayanıklı bir malzemedir. Birçok alanda kır dökme, temper dökme, dövme çelik ve demir olmayan alaşımların yerine tercih edilmeye başlamıştır (Uzunova).

Dökme demirler, çelikler gibi temelde Fe ve C' un alaşımıdır. Demir içindeki C oranı %2 değerinin üzerine çıktığında malzeme dökme demir, bu oranın altına düştüğünde çelik olarak isimlendirilir. Buna göre Fe-C denge diyagramına baktığımızda dökme demirlerin, %2' den % 6,67' ye C içerdiği görülür. Ancak yüksek C oranı malzemeyi aşırı kırılgan yapar. Bu sebeple pratikte bu dökme demirler %4' e kadar C, %3,5' e kadar Si içerirler (Handbook, 2008).

2. DÖKME DEMİRLER

Dökme demirler de çelikler gibi geniş bir demir alaşımı ailesini temsil eder. Benzer kimyasal bileşen ve özelliklerde aynı zamanda kendi üretim yöntemlerine göre ve kullanım alanları birbirinden farklı, birçok alaşımlandırılmış çeşidinin genel adı olarak adlandırılabilir. Ayrıca döküm endüstrisinin en yüksek tonaja sahip üyesidir. Dökme demirler üretim maliyetlerinin ve iyi bir mühendislik malzemesi olası sebebiyle tercih sebebidir (Handbook, 2008; Demirlek, 2013). Dökme demirler genel olarak kıyaslandığında çelik malzemelere göre %20-40' a yakın düşük üretim maliyetine, titreşim sönümleme ve katılaşma sonrasında düşük hacim daralması sağladığı üretim avantajları arasındadır (Bubenko ve ark., 2009).

Genel bilgi olarak dökme demirler % 4'e kadar karbon ve % 3,5'e kadar silisyum elementine kimyasal analizinde sahiptirler. Karbon ve Silisyum elementinden haricen manganez, krom, nikel, bakır, fosfor ve kükürt de bulunur (Baydoğan, 1996).

Çelikler ve dökme demirler, demir elementinin karbon içeriğine göre sınıflandırılırlar. Çelikler %2 karbon miktarının altı dökme demirler de % 2 karbon miktarının üstü miktarda karbon içerirler. Bileşenlerdeki %2 den sonraki karbon elementinin farklı grafit tiplerine sahip olması, dökme demirlerin farklı sınıflara ayrılmasına sebep olmaktadır (Handbook, 2008). Bu farklı sınıflar, dökme demirlerin geniş aralıklara sahip mekanik özelliklere sahip olmasına sebep olur. Yine bu durum endüstride dökme demirlerin sahip olduğu bu özellikler, bu malzemelerin geniş kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır (Demirlek, 2013).

Dökme demirler, çelikler gibi temelde Fe ve C' un alaşımıdır. Demir içindeki C oranı %2 değerinin üzerine çıktığında malzeme dökme demir, bu oranın altına düştüğünde çelik olarak isimlendirilir. Buna göre Fe-C denge diyagramına baktığımızda dökme demirlerin, %2' den % 6,67' ye C içerdiği görülür. Ancak yüksek C oranı malzemeyi aşırı kırılgan yapar. Bu sebeple pratikte bu dökme demirler %4' e kadar C, %3,5' e kadar Si içerirler (Yılmaz, 2003).

Dökme demirler, Lamel Grafitli Dökme Demir (LGDD), Fibresel (Coral), Silindirik (Vermicular), Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD), Beyaz Dökme Demir (White), Temper Dökme Demir (Malleable) dökme demirler olarak başlıca gruplara ayrılırlar.

2.1. Küresel Grafitli Dökme Demirler

Küresel grafitli dökme demirler 1948’ de Amerika’da P. Gagnebin ve arkadaşları, İngiltere’ de ise H. Morrogh ve W. J. Williams ile dökme demirler ailesinin yeni üyesi olmuştur. Sfero döküm, sünek döküm isimlerinden bazılarıdır. Küresel grafitli dökme demirler, ergimiş sıvı metalin küreselleştirme potalarında magnezyum ya da seryum elementleri belirli oranlarda ilave edilerek üretilirler (Berns ve Theisen, 2008).

Pratik uygulamada demir karbon denge diyagramı incelendiğinde en önemli noktayı 1150°C ’de ve % 4,3 karbon oranının çakıştığı ötektik nokta oluşturur. Ötektik karbon miktarının altındaki alaşımlar alt ötektik üstündekiler ise üst ötektik olarak adlandırılır. KGDD’lerde ötektik noktayı en çok etkileyen element Silisyum (Si) elementidir. Silisyum elementi ötektik analizi daha düşük karbon miktarı ile yakalamakta yardımcı olur. Karbon eş değerliğinin hesaplanmasında kullanılan formül $C_{eş} = \%C + (1/3\text{Si} + 1/3\%P)$ şeklindedir (Schumann ve Kristallgeometrie, 1974).

Farklı ülkelerde ise karbon eş değerliği yerine doymuşluk oranı tabiri kullanılmaktadır. Karbon eş değerliği ile doymuşluk derecesi arasındaki ilişki de bu basit formüldeki gibidir; $S_C = (\% C \text{ toplam}) / 4,3 - KE + \% C \text{ toplam}$.

Tam ötektik noktada katılaşma pratikte yapılamayacak bir durumdur. Gerekli hesaplamalar yapılırken alt ötektik ve üst ötektik alaşımlar hedeflenerek yapılmalıdır. Bu durumu soğuma hızı ve zamana bağlı değişimler tetiklemektedir. Klasik olarak Bentonit bağlayıcılı bir kum döküm esnasında, 50 mm kalınlığa sahip parçada katılaşma denge durumuna yakın olmasına rağmen, soğuk kalıp yüzünde parça derinliğine gidildiğinde 0,8-3,2 mm derinliğe ulaşıldığında katılaşma dege durumundan uzaklaşmaktadır. Bu veriler ışığında 12 mm’ye kadar olan KGDD’lerin katılaşmalarının tamamı denge durumu dışında olduğunu göstermektedir.

KGDD’ler, Türk standartlarına göre DDK (Dökme Demir Küresel) şeklinde gösterilir. DDK sonuna gelen rakamlar minimum çekme mukavemetini kg/mm^2 olarak temsil ederler (Çizelge 2.1) (Kuş, 2007).

Çizelge 2.1.: Küresel Grafitli Dökme Demirlerin TSE'ye göre sınıflandırılması (Demirlek, 2013).

Kısa Gösteriliş	Çekme Muk. min. kg/mm ²	Akma Muk. min. kg/mm ²	Uzama (%) min.	Sertlik (HBW)	Mikroyapı
DDK 40	42	28	12	140-201	Daha çok Ferritik
DDK50	50	35	7	170-241	Ferritik+Perlitik
DDK60	60	40	3	192-269	Ferritik+Perlitik
DDK70	70	45	2	229-302	Daha çok Perlitik
DDK80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK35.3	35	50	22	-	Ferritik
DDK40.3	40	22	18	-	Ferritik

EN 1563 Avrupa Standardı küresel grafitli dökme demirleri GJS olarak adlandırır, harfleri minimum çekme mukavemeti ile minimum % uzama değerleri izler (Çizelge 2.2)

Çizelge 2.2. : Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 standardına göre sınıflandırılması (ÇETİN, 2016)

Sınıf	Çekme Muk. min. (MPa)	Akma Muk. min. (MPa)	Uzama min. (%)	Sertlik (HBW)	Mikroyapı
EN-GJS-350-22	350	220	22	160'dan az	Ferrit
EN-GJS-400-18	400	250	18	130-175	Ferrit
EN-GJS-450-10	450	310	10	160-210	Ferrit
EN-GJS-500-7	500	320	7	170-230	Ferrit+Perlit
EN-GJS-600-3	600	370	3	190-270	Perlit+Ferrit
EN-GJS-700-2	700	420	2	225-305	Perlit

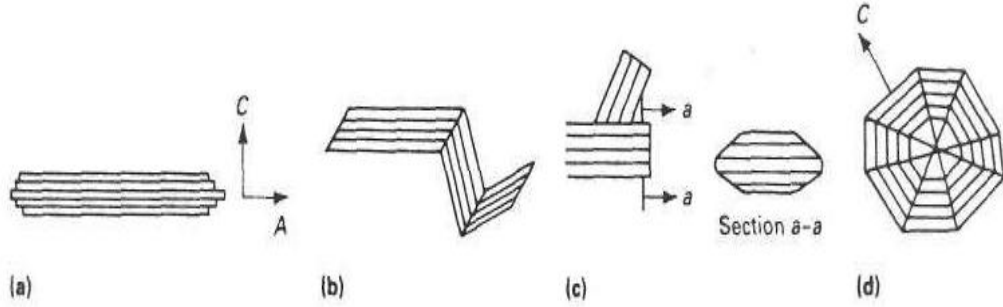
Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılmasında ise çekme mukavemeti, akma mukavemeti, % uzama ve Brinell cinsinden sertlik esas alınmıştır. Çizelge 3.4'te gösterilen bu sınıflandırmada küresel grafitli dökme demir kısaca GGG olarak belirtilmektedir (Çelik, 2001).

Çizelge 2.3. : Alman DIN 1693 standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin Sınıflandırılması (Çelik, 2001).

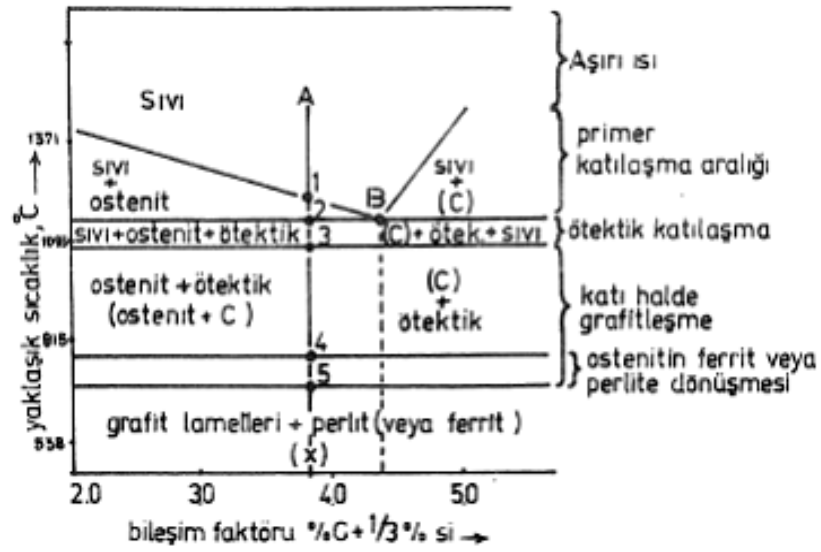
Sınıf	Çekme Muk. min.(MPa)	Akma Muk. min.(MPa)	Uzama min. (%)	Sertlik (HBW)	Mikroyapı
GGG 35-3	350	220	22	-	-
GGG 40-3	400	250	18	-	-
GGG 40	400	250	15	120	Ferrit
GGG 50	500	320	7	156	Ferrit+Perlit
GGG 60	600	380	3	170	Perlit+Ferrit
GGG 70	700	440	3	302	Perlit
GGG 80	800	500	2	210	Perlit

2.1.1. Küresel Grafitin Oluşum Mekanizması

Küresel grafitli dökme demirler Fe-C-Si alaşımlarıdır. Lamel Grafitli Dökme Demirlerde lamel şeklinde oluşan grafitlerin yerine küresel grafitli dökme demirde grafitler küre şeklini alırlar (Karsay, 1976). Alaşımlanan sıvı metalin karbon ve silisyum % değerine bağlı olarak, sıvı metalin saflık derecesi, küreselleştirici elementlerin ilavesi ve soğuma değişkenleri ile kontrol edilir. Küresel grafitli dökme demirlerin katılaşması, çekirdeklenme ve iki farklı fazın oluşumuyla gerçekleşir. Grafit kürelerinin büyümesi karbonun östenit hücresinden difüzyonu ile gerçekleşir (Pedersen ve ark., 2005). Grafit çekirdekleri büyüyerek östenit ile etrafı sarılırlar ve sadece östenit sıvı fazla temastadırlar. Östenitin ve grafitin bu şekilde bileşimi ötektik sıcaklıkta ve ötektik noktadaki kimyasal kompozisyona karşılık gelmektedir. Bu şekilde katılaşmaya neoötektik ismi verilmektedir. Her grafit küresi ve kürenin etrafını saran östenite ötektik hücre adı verilir. Küresel grafitlerin büyümesi için karbonun östenitten içeri doğru büyümesi gerekmektedir. Karbon ve aşırı doymuş östenit soğur ve fazla karbon grafitlere doğru difüze olur ve oraya çöker. Bu sebeple katılaşma yavaş olmakta ve neoötektik katılaşma aralığı yaklaşık 49 °C'ye kadar ulaşabilmektedir (Kökden, 1998; Mittal ve Nanda, 2010).

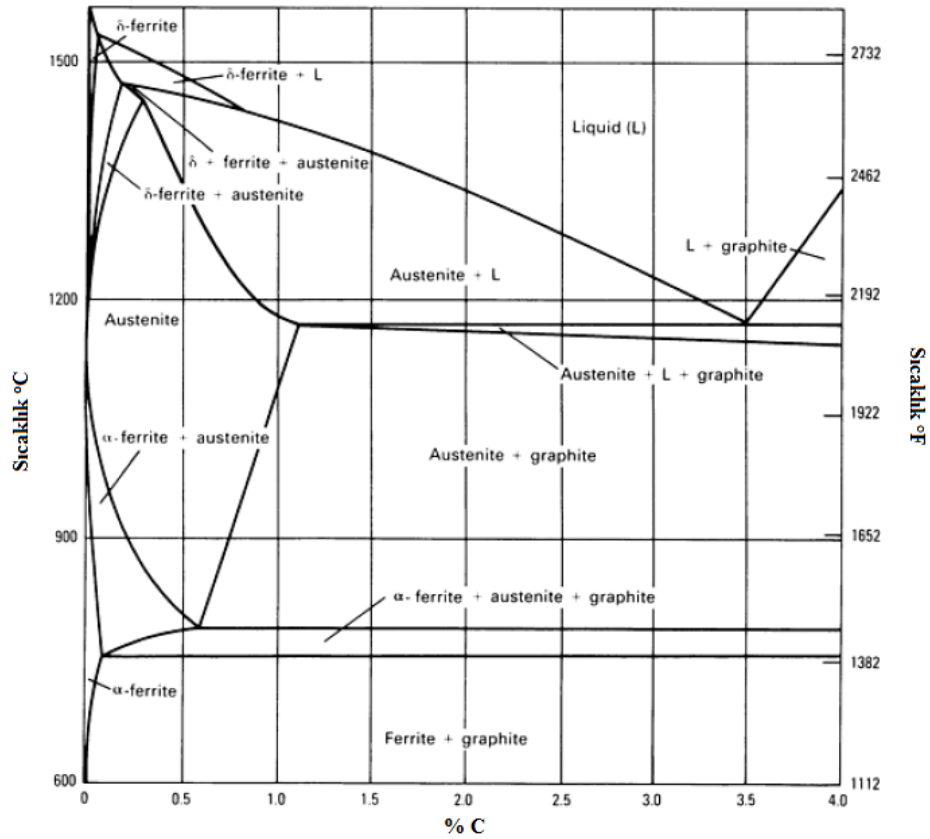


Şekil 2.1. Östenit-Grafit Ötektiğinde Oluşan Grafit Şekillerinin Şematik Gösterimi (a) Lamel Grafit (b) Kompakt/Vermiküler Grafit (c) Koral Grafit (d) Küresel Grafit (Henning ve Mercer, 1992)



Şekil 2.2. Dökme demirlerde katılaşmanın ve grafit oluşumu sıcaklık aralığının (Baydoğan, 1996)

Neoötektik başladıktan sonra, bunun dışında küresel grafit oluşumu gerçekleşmez, küre sayısı diğer bir deyişle katılaşma başlangıcında belirlenmiştir. Ötektoid sıcaklığa varana kadar mevcut kürelerin üzerine grafit çökmesi oluşur (Demirlek, 2013).



Şekil 2.3. Demir-Karbon Faz Diyagramı (Handbook, 2008).

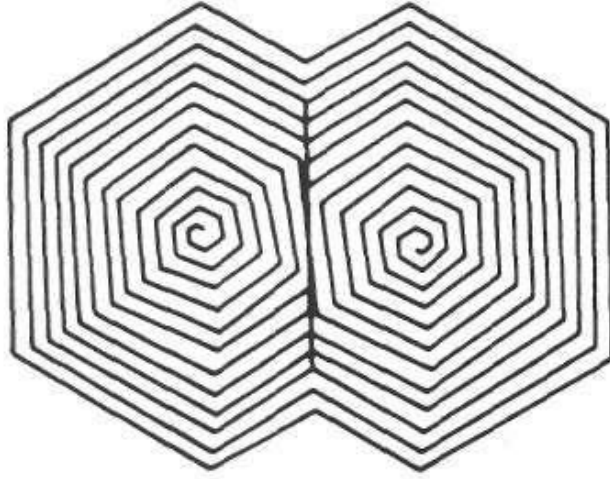
Şekil 2.3.'de Demir-Karbon Denge Diyagramında görüldüğü gibi östenit, katı hal dönüşümü ergimiş metalin kimyasal kompozisyonuna, sıcaklığa bağlı olarak grafit+ferrit ve grafit+ferrit+perlit'e dönüşebilir. Sementitin de grafit ve ferrite ayrışması görülebilir. Perlitik yapıyı artırıcı elementler dönüşüm sıcaklığını düşürür ve ferrit oluşum hızı azaldığı durumlarda, östenit, östenit sınırında ya da östenit, grafit ara yüzeyinde çekirdeklenebilir (Handbook, 2008).

KGDD üretimi sırasında, iki aşamalı temel işlem vardır. İlk aşamada Ferro Siliko Magnezyum (FeSiMg) ilavesi ile küreselleştirme işlemi, FeSiMg kimyasal bileşiminde kalsiyum (Ca), seryum (Ce), ve nadir toprak elementleri yardımı ile küreselleştirme işlemi sıvı metal üzerine uygulanır. Optimum şartlarda spektral analiz sonrasında işlemin başarı için % 0,035-0,055 değerleri arasında kimyasal analiz içerisinde Mg değeri gözlenmelidir. İşlemin devamını ise aşılama prosesi takip etmektedir. Aşılama işleminin mantığı, sıvı metal içerisinde katılaşma merkezleri oluşturacak çekirdekler yaratmaktır. Yine aşılama elementlerinin kimyasal bileşimlerinin temelini ferro-silisyum oluşturmaktadır. Ferro-silisyumun yanı sıra diğer elementler, Kalsiyum (Ca), Alüminyum (Al), Baryum (Ba), Seryum (Ce), Bizmut (Bi) gibi elementler ticari üreticiler tarafından aşılama malzemelerinin kimyasal bileşimleri içerisinde kullanılmakta aynı zamanda endüstride üreticiler tarafından tercih edilmektedir. Aşılama elementlerinin kristallerin uygun bir şekilde oluşabilmesi için katılaşma başlangıcına kadar erimeden kalabilmesi gereklidir. Bu işlem sonucu olarak küre sayısının artması ve dolayısıyla karbür oluşumunun azalması hedeflenir (Handbook, 1990; Baydoğan, 1996).

Küresel grafitin oluşum mekanizmasının ne olduğu ve bu mekanizmanın oluşum nedenine ilişkin bir görüş birliği yoktur. Küresel grafitin kristal büyümesi için bu modeller şu şekildedir.

2.1.1.1. Vida Dislokasyon Modeline Göre Büyüme

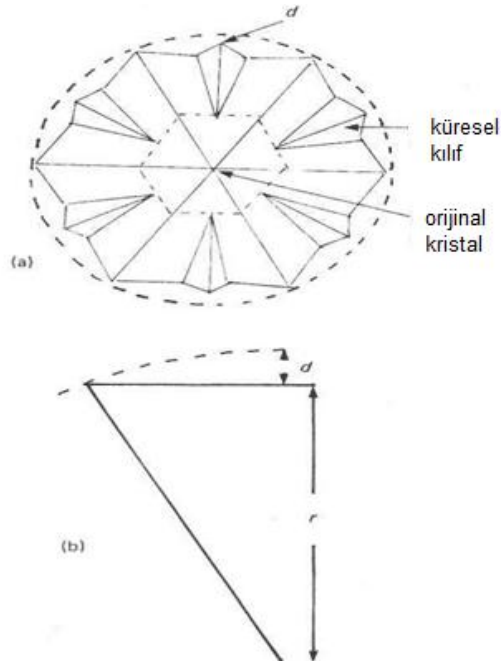
Hillert ve Lindblom'un önerdiği vida dislokasyon modeline göre, küresel grafitler vida dislokasyon mekanizmasıyla oluşur. Seryum ve magnezyum atomları, sıkı istifli düzlemde büyüyen kenardaki karbon atomlarına tutunur ve bu da yeni vida dislokasyonlarının oluşumu için gerekli düzensizliği oluşturur. Spiraller birbirini içerisinde büyür dallanır ve büyüme gerçekleşir (Henning ve Mercer, 1992).



Şekil 2.4. Vida Dislokasyonu ile Küresel Grafitin Büyümesi (Henning ve Mercer, 1992)

2.1.1.2. Arayüz Bozulma Modeline Göre Büyüme

Oldfield, Geering ve Tiller a göre küresel grafit oluşumu arayüzdeki bozulmaya dayanmaktadır. Bu süreç polihedral kristalin sabit bir arayüzle büyümesiyle başlar ve kritik boyut aşıldığında düzensiz hale gelir. Stabil olmayan kristalin herhangi bir yüzeyinde ortaya çıkabilecek olan çıkıntı köşeyle aynı hızda büyümeye devam eder ama mesafe açısından köşenin gerisinde kalır. Büyüme devam ettikçe grafit partikülü küresel şeklini almaya başlar (Henning ve Mercer, 1992).

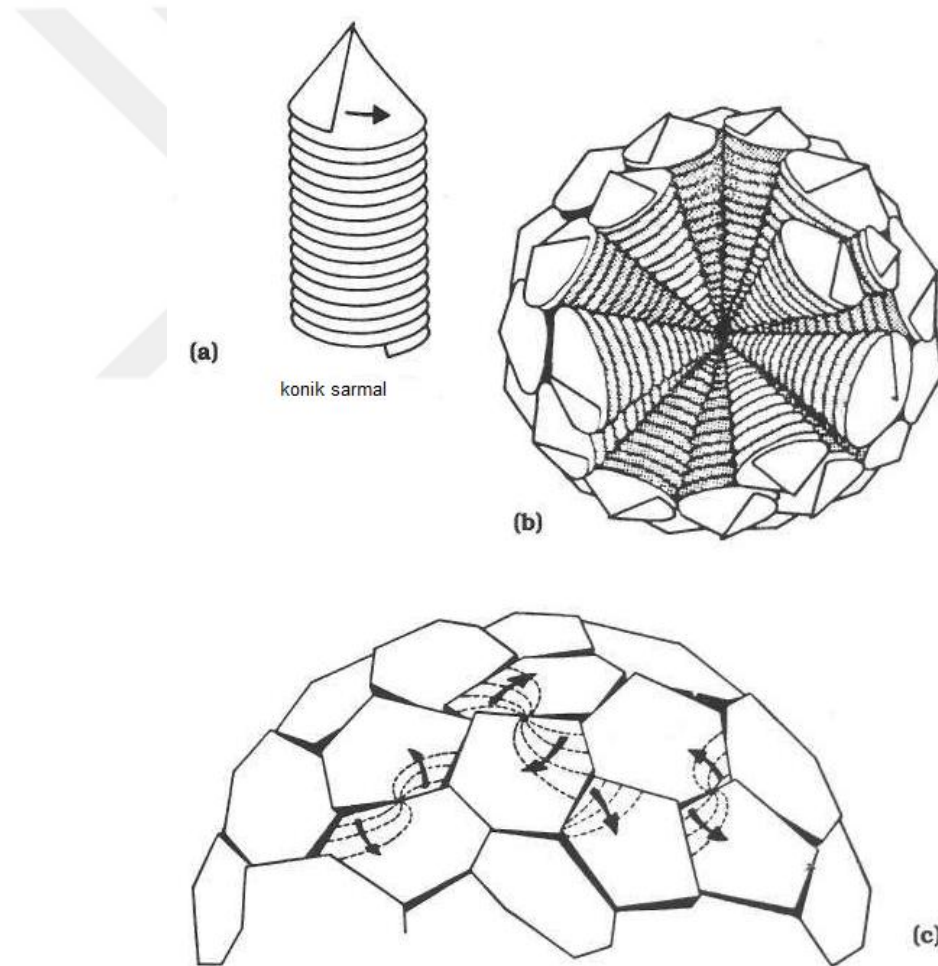


Şekil 2.5. Arayüz Bozulması İle Küresel Grafitin Büyümesi (a) Polihedral Kristalden Nodüllerin Büyümesi (b) Kristalit Büyümesinin Önündeki Küresel Kılıf Mesafesi (Henning ve Mercer, 1992)

2.1.1.3.Çevresel Büyüme Modelleri

Sıvı-Grafit sisteminin serbest enerjiyi minimuma indirme eğilimi büyüyen grafit kristalinde güç oluşumuna neden olur. Bu da sonuç olarak kavisli bir kristal büyümesine neden olur.

Sadocha ve Gruzleski küresel büyümenin başlangıçtan itibaren çevresel bir şekilde gerçekleştiğini savunan bir model önermiştir. Küresel yüzeyin çevresindeki hareketler, grafitin sıvıya maruz kalan düşük enerjili bazal yüzeyinden dairesel bir şekilde büyür. Bu büyüme adımları yüzeyde sınırlar oluşturarak birbiri ardına denk gelir. Bu sınırlardan yeni adımlar gelişir ve lahana yaprağı etkisi oluşturarak büyümeye devam eder (Henning ve Mercer, 1992).



Şekil 2.6. Konik Sarmal Grafitten Küresel Grafitin Büyümesi (a) Konik Sarmal (b) Çok Sayıda Konik Sarmaldan Ortak Merkeze Doğru Büyüme (c) Küresel Grafit Yüzeyindeki Ayrık Kristal Segmentlerin Burulma Sınırları (Henning ve Mercer, 1992)

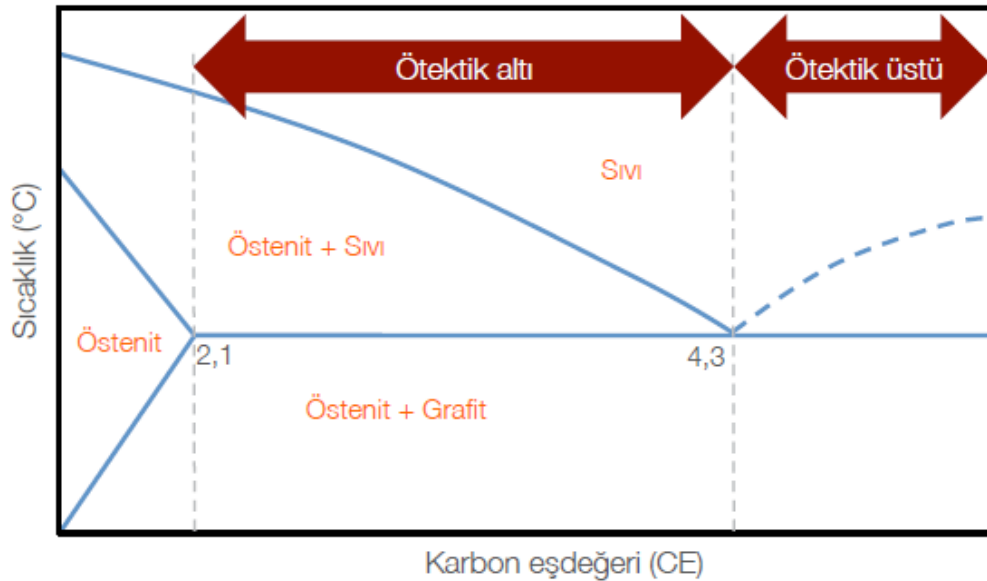
2.2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Katılaşması

2.2.1. Alt Ötektik Katılaşma

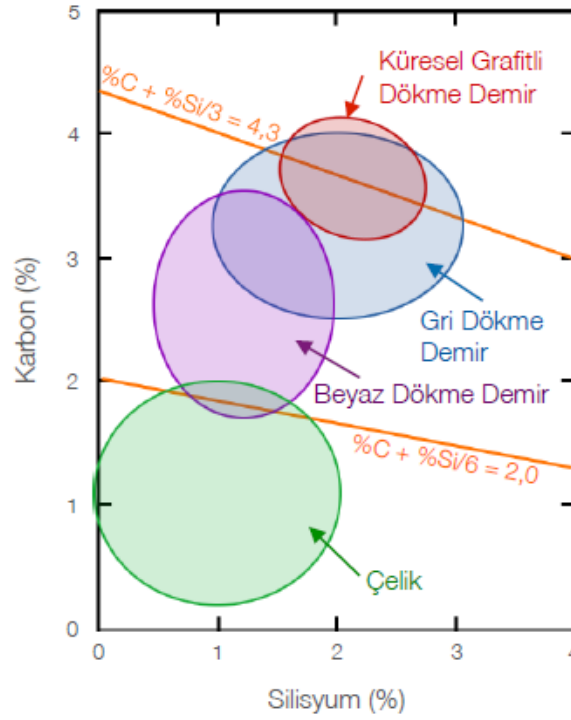
Küresel grafitli dökme demirlerin alt ötektik katılaşma sürecinin başlaması dentrit formundaki primer östenit aracılığıyla olur. Bunun ardından soğuma gerçekleşir ve artık eriyik ötektik sıcaklığa ulaşır. Bu noktada hem grafit hem östenit birlikte katılaşır. Rekalesens aracılığıyla sıcaklık ötektik sıcaklığa ulaşır. Ötektik katılaşırken kısmen östenit dentritleri sürekli büyür. Kısmen de östenit ve grafit birlikte kristalleşir ve östenit grafitin etrafını çevreler. Grafit östenit taneleri hem birbirleri ile hem de östenit dentritleri ile etkileşim halindedir. Bu grafit östenit kristalleri ergimiş metal ile ayrılmıştır ve ayrılan bu gruplar ötektik hücre nüve olarak adlandırılır. Katılaşmanın son fazlarında eriyik karbon azalır ve sınırlarda grafitsiz bir katılaşma gerçekleşir (İZGİZ, 1988).

2.2.2. Üst Ötektik Katılaşma

Üst ötektik katılaşmanın alt ötektik katılaşmadan tek farkı ilk katılaşma sürecinin küre formundaki grafitlerle olmasıdır. Eriyik sıcaklığı ötektik sıcaklığın altına ulaştığında östenit ve grafitin birlikte katılaşması (demir) gerçekleşir (İZGİZ, 1988).



Şekil 2.7. Ötektik Altı ve Ötektik Üstü Katılaşma Grafik Gösterimi (ÇETİN, 2016)



Şekil 2.8. Demir karbon alaşımlarının yaklaşık eş değerlik aralıkları (ÇETİN, 2016)

2.3. Küreselleştirme işlemi

Küreselleştirme işlemleri bilindiği gibi belirli elementler tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu noktada en yaygın ve ekonomik yöntemi Mg ile yapılan işlemler olduğudur. Bu elementlerden en yaygın kullanılanları Ca ve Ce elementleri olup endüstride Mg ile birlikte az miktarda kullanıma sahiptirler (İZGİZ, 1988).

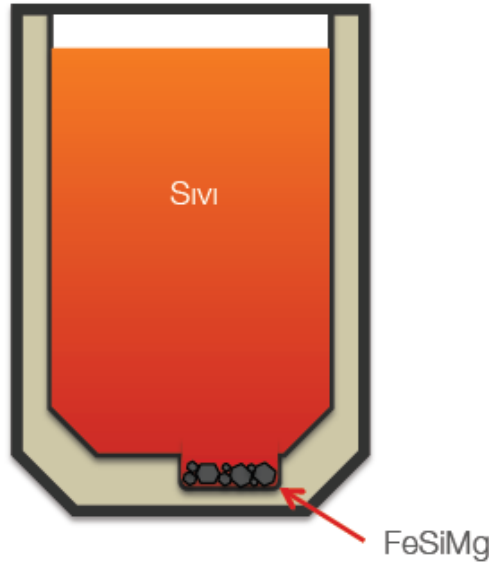
Grafitin küre formunu alabilmesi için ihtiyaç duyulan Mg miktarı % 0,010 den azdır. Fakat bu oran duruma bağlı olarak %0,02 den fazla hale gelebilir. Eğer Mg küreselleşme için tek element olarak tercih edildi ise kullanılan miktar %0,02 den az olmamalıdır. Ancak Ce ve Ca gibi elementlerle desteklendiği durumda minimum Mg miktarı %0,010' dur.

Kükürt miktarı fazla olan bir baz eriyik söz konusu olduğunda ise kükürt miktarına bağlı olarak ihtiyaç duyulan Mg miktarı fazlalaşacağından endüstride bu üst sınır %0,05 Mg olarak da tercih edilebilir.

Endüstride kullanılan belirli küreselleştirme işlemi yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler alt alta aşağıda sıralanmıştır (İZGİZ, 1988).

2.3.1. Açık Pota Yöntemi

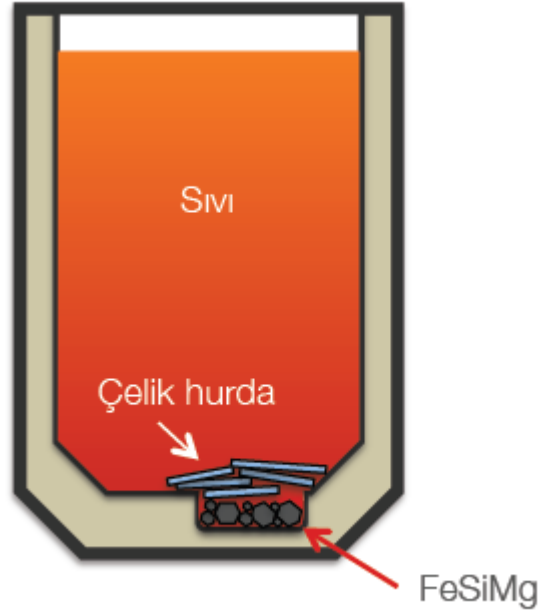
Magnezyum ile küreselleştirme işlemi farklı şekillerde yapılabilir. Bu yollara arasında en kolay olan yöntem; işlem potası dibine Magnezyum (Mg) alaşımı (FeSiMg) ilave edilerek uygulanır. Açık pota yönteminde, magnezyum yoğunluğu demire göre daha az olduğu için %20-30 arasında bir kayıp söz konusudur (Guzik, 2008).



Şekil 2.9. Açık Pota Yöntemi Şematik Gösterimi (ÇETİN, 2016)

2.3.2. Sandviç Yöntemi

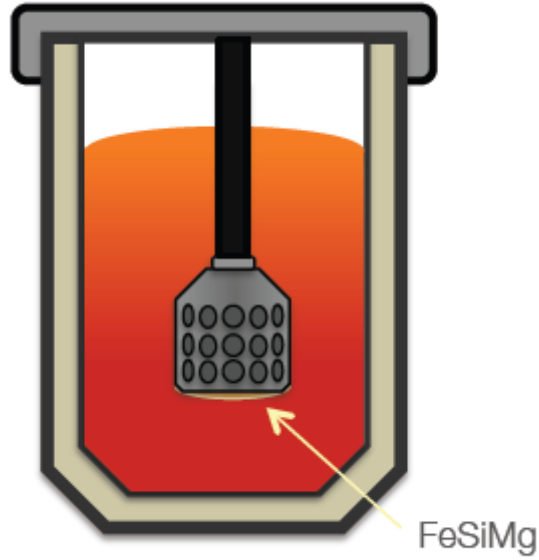
Sandviç yönteminde yüzmeden kaynaklanan magnezyum kaybını önlemek için FeSiMg ferro alyajının üzerine koruyucu görevi yapacak bir örtü kullanılarak işlem gerçekleştirilir. Bu yöntemde örtü görevi genellikle çelik hurda malzemeler tarafından sağlanır. Ferro Silisyum (FeSi) kullanımı da yöntem için uygundur. Bekleme süresini uzatılması amacı ile reçineli kum ya da kalsiyum karbürde örtü malzemesi olarak kullanılmaktadır. Küreleştirici ferro alyaj ve örtü malzemelerinin işlem potasına yerleştirilmesinden sonra sıvı demir pota içerisine ilave edilerek işlem başlatılır. Basitçe geliştirilen bu yöntem ile magnezyum verimliliği %40-45 aralığına kadar çıkmaktadır. Yöntemin dezavantajı olarak örtü malzemesinin fazla kullanımında sıvı metalin soğuyacağı belirtilmelidir (Guzik, 2008).



Şekil 2.10. Sandviç Yöntemi Şematik Gösterimi (ÇETİN, 2016)

2.3.3. Daldırma Yöntemi

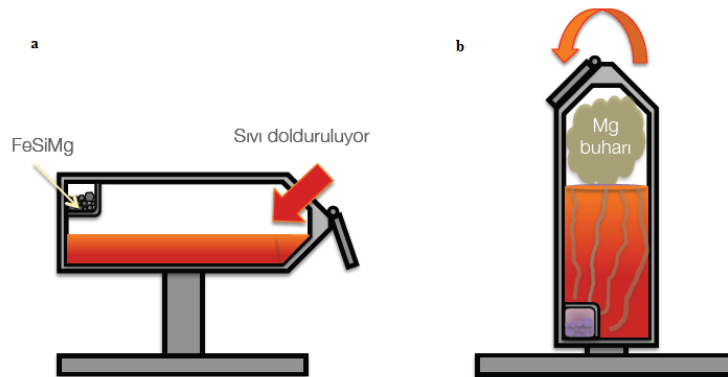
Temel prensip olarak FeSiMg'nin yüzmesini engellemek tüm yöntemlerin başlıca amacıdır. Bu sayede Mg verimliliği artmaktadır. Bu yöntemde FeSiMg ter bardak şeklinde bir aparat yardımı ile diğer yöntemlerden farklı olarak sıvı metalden sonra işlem potasına ilave edilmektedir. Yöntemin verimi oldukça yüksektir. %50'lere varan verimliliği ile sandviç yönteminden daha verimlidir. Yöntemin dezavantajı daldırma aparatının soğuk olmasından kaynaklı olarak sıvı metalin soğumasıdır (Guzik, 2008).



Şekil 2.11. Daldırma Yöntemi Şematik Gösterimi (ÇETİN, 2016)

2.3.4. Devirmeli Pota (Konvertör) Yöntemi

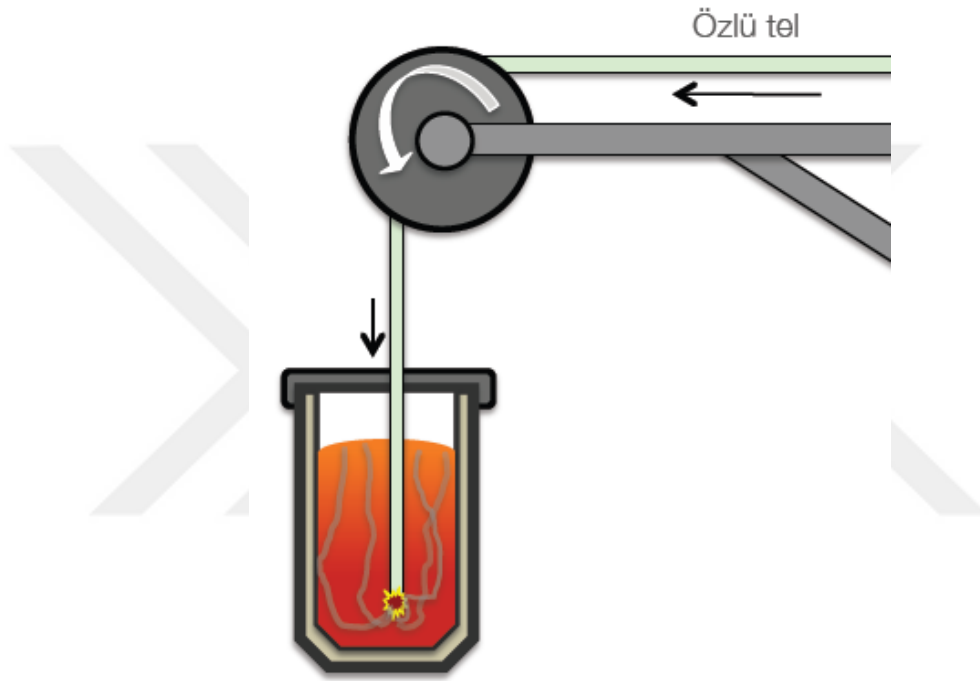
Bu yöntem diğer yöntemler ile kıyaslama durumunda, işlem potası, sıvı metal yatay vaziyet de iken işlem potası içerisine ilave olmaktadır. Devirmeli pota yönteminde cep şeklindeki bölmeye FeSiMg yerleştirilip işlem yapılır. Yatık vaziyette olan pota içerisine sıvı metal alındıktan sonra, potanın kapağı kapatılır ve pota dik konuma getirilir. Bu yöntemde zaman zaman saf magnezyum kullanımı da görülmektedir. Kapak sayesinde içeride kalan magnezyum buharı sayesinde işlemin verimi artmaktadır. Yaklaşık %50 civarında verim sağlanabilmektedir. Bu yönteminde efektif bir şekilde kullanımında, dez avantajı olan potanın soğukluğuna karşı önlem alınması gerekmektedir (Guzik, 2008).



Şekil 2.12. Devirmeli Pota Şematik Gösterimi (ÇETİN, 2016)

2.3.5. Tel Tretman

Tel Tretman yöntemi geçmişi incelendiğinde 1950’li yıllara dayandığı görülmektedir. Çelikhanelere dayanan bu geçmişte çeşitli özlü tel kullanımı ile kükürt giderici olarak sıvı metal içerisine verildiği görülür. Bu teknolojinin dökümhanelere uygulanabilirliği 1990 yıllarında yoğunluk göstermiştir (Guzik, 2008).



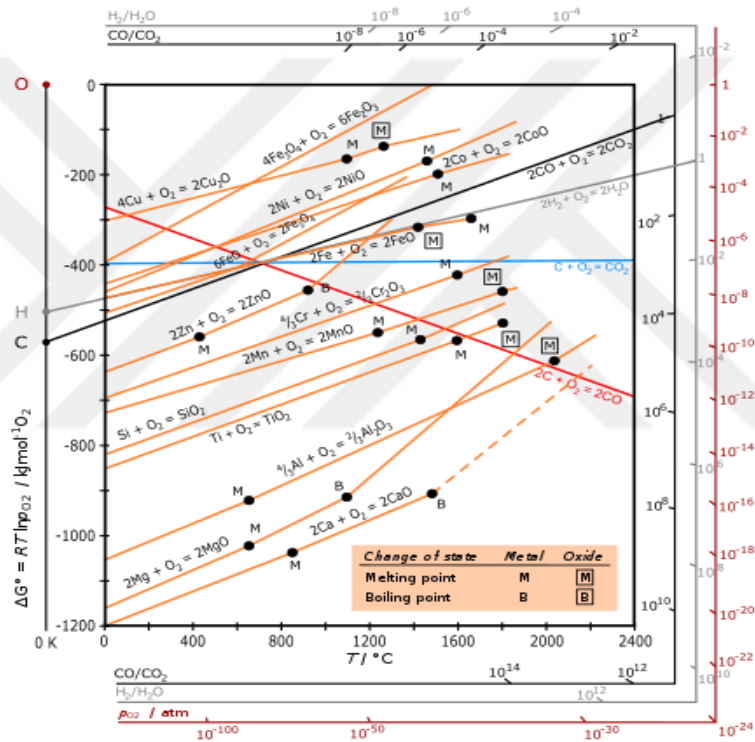
2.13. Tel Tretman Şematik Gösterimi (ÇETİN, 2016)

2.4. Küreselleştirme İşlemi

Dökme demirlerde küreleştirici alyaj malzeme ve sıvı metal oranı sürekli olarak aynı oranda ve miktarda kullanılsa da sürekli aynı sonuçları almak oldukça zordur. Bunun sebebi olarak Mg veriminin birçok değişkene bağlı olduğudur. Bu değişkenler, potaya alınan sıvı metal ağırlığı her zaman net ayarlanamıyor ve gözden kaçan bir parametredir. Bu durum küreleştirme yöntemlerinden hangisi olursa olsun dikkatle kontrole alınması gereken bir durumdur. Tartılarak ilave edilecek olan FeSiMg oranı

alınan sıvı metal azlığında ya da çokluğunda Mg verimliliğini direk olarak etkileyecektir (Henning ve Mercer, 1992).

Oksijen etkisi yine göz ardı edilmemesi gereken bir durumdur. Birçok dökümhane Mg hesaplamalarında ilk önce kükürt etkisi ve kükürt oranına göre ilave oranında değişiklik yaparlar. Oksijenin durumu göz ardı edilen bir parametre olarak kalmaktadır. Fakat oksijen kükürde kıyasla daha baskın etkiye sahip bir karakter gösterir. Nedeni Ellingham diyagramı incelendiğinde görüldüğü üzere oksitlerin oluşum enerjilerinin sülfidlerin oluşum enerjilerine göre daha düşük olmasıdır. Yani magnezyumun oksijen ile bileşik oluşturma eğilimi daha fazladır (HAMPL ve VÁLEK; Mampaey ve Beghyn, 2006).



Şekil 2.14. Ellingham Diyagramı

Diğer taraftan kükürt etkisi magnezyum etkinliğini direkte etkileyen etmenler arasında bulunmaktadır. Tıpkı oksijen gibi kükürt elementi de Mg ile bileşik oluşturma eğilimindedir. Bu noktada diğer bir değişle kükürt ve oksijen magnezyumu bağlayarak etkinliğini kaybetmesine yol açacaktır (GÜZEL ve ark.; ÇETİN, 2016).

2.5. Kimyasal Bileşim

Küresel Grafitli dökme demirlerin kimyasal kompozisyonunda %3.2-3.8 C, %2.4-2.8 Si, %0.5'den az Mn bulunur. Grafitlerin küre şekillerini almaları için ergimiş metal içerisine %0,5 Ce yada Magnezyum ile çekirdeklenmesini kolaylaştırmak için ferro-silisyum ilave edilmelidir. Magnezyum ticari kullanımda fiyat avantajı sağlamaktadır, aynı zamanda Kurşun (Pb), Bizmut (Bi), Antimon (Sb), Kalay (Sn), Titanyum (Ti) gibi elementler karşısında zayıftır. Kükürt hassasiyeti dolayısıyla da 0,020 max. Kükürt değeri verimliliği etkileyen diğer bir husustur. “Magnezyum, grafitin perlitik bir ana kütle içerisinde katılaşmasını sağlar (GÜZEL ve ark.).” (Cantekinler, 2008).

Sfero dökümlerde kimyasal bileşim içerisinde bulunduğu gibi karbon, silis, mangan, fosfor, kükürt, bakır, molibden, nikel gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Bu noktada karbon elementinin ve kükürdün etkisi çok önemlidir, dolayısıyla karbon eş değerli en önemli noktalardan biridir. Alaşım elementlerinin küresel grafitli dökme demirlerde mikro yapıya etkileri oldukça fazladır, bu etki sonucu olarak mekanik özellikleri de yakından etkilemektedir.

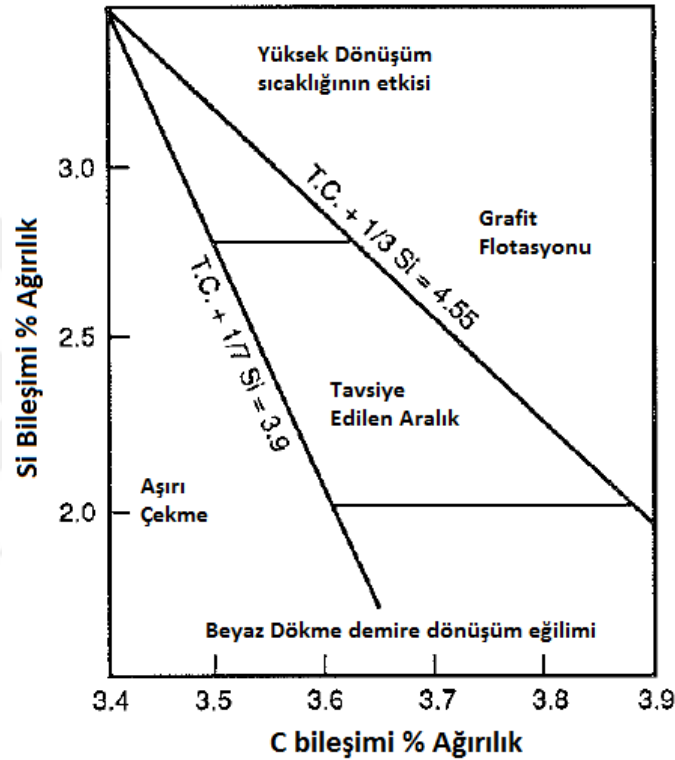
2.5.1. Karbon Etkisi

Genel bir yargı olarak KGDD'lerde karbon aranışı geniş bir aralık olan %3-4 sınırları içerisinde. Pratik uygulamalarda bu değer aralıkları daha dar sınırlar içerisinde. Küre sayısı karbon % değeri arttıkça artış göstermektedir. Bu karbon artışında sıvı metalin akışkanlığı artmakla birlikte bu sayede döküle bilirlilik yeteneği gelişmektedir. Karbonun miktarındaki artışın grafit küresinin artışına sebebiyet vermesinden dolayı üretilen döküm parçalarda çekinti sorunu da aynı zamanda azalmaktadır.

- Eş Değerliğin % 4,3'ün üzerinde olması grafit kürelerinin oluşumunu ve büyümesi artış gösterir.
- Eş Değerliğin % 4,6'nın üzerinde olması kalın kesitlerde grafit yüzmesi ve karbon segregasyonuna sebep olur (Cantekinler, 2008).

2.5.2. Silisyum Etkisi

Silisyum elementi küresel grafitli dökme demirler de ana alaşım elementlerinden biridir. Silisyum elementinin Karbon eş değerline etkisi olmakla birlikte mukavemet, süneklik, karbonun grafitleşmesi ve karbon segregasyonu üzerine etkisi bulunmaktadır. Silisyum perlitik yapı yerine ferritik yapıyı teşvik etmektedir. Ferro-Silisyum master alaşımı olarak kullanılan silisyum ferritik yapıyı kırılğanlaştırıcı ve sertleştirici etkiye sahiptir (GÜZEL ve ark.; Cantekinler, 2008).



Şekil 2.15. Dökme Demirlerin Üretimi için Karbon-Silisyum Oranı

2.5.3. Manganez

Ciddi bir karbür yapıcı elementtir. Bu sebeple özellikle ince kesitli parçalarda mangan oranına dikkat edilmelidir. Parça kesit kalınlığı 25 mm olan ince kesitli dökümlerde karbür oluşturuıcı etkisi olmasından dolayı % Si ve kesit aralığına bağlı olan maksimum bir değerde sınırlanır. Manganezin karbür yapısını teşvik edici etkisi parça kesit kalınlığı inceldikçe artış gösterir (GÜZEL ve ark.).

2.5.4. Kükürt

Sfero dökümlerde magnezyum ilavesinden önce kimyasal analizdeki kükürt % değeri 0,02 ‘den düşük tutulmalıdır. Reaksiyon sonrası kimyasal bileşimde 0,015 % değer olması görülür (Karaman, 2011).

2.5.5. Fosfor

Dökme demirlerde Steadit fazı oluşturup bilinen kırılkan bileşiğin oluşmasına sebep olur. Süneklik ve tokluğu olumsuz yönde etkiler.

2.5.6. Bakır

Perlitik yapıyı teşvik edici bir elementtir. Döküm parçadaki perlit miktarı 0,1-1,0 % değerlerinde ilave edilebilir bakır miktarına göre değişkenlik gösterir (Stefanescu, 1990; David ve Irons, 1996).

2.6. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşılama

Dökme demirlerde aşılama istenilen kalitedeki parça kalitesi için gerekli bir uygulamadır. Lamel ve Küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri işlenebilirlikleri ve mikro yapı özellikleri aşılama ile direkt alakalıdır.

“Dökme demirlerin aşılama sıvı metale çekirdek ilave edilerek, katılaşma mekanizmasını ve mikro yapısını istenilen özellikleri elde edebilmek için etkilemek anlamına gelmektedir.”

Mevcut aşılama teorileri arasında en çok kabul gören teori oksit çekirdeklenme teorisidir (Maschke ve Jonuleit, 2010)

Bu teoriye göre SiO_2 çekirdekleri çökler, çökelen bu çekirdekler üzerinde grafit oluşumu ve grafit büyümesi gerçekleşir. SiO_2 çekirdeklerinin oluşabilmesi için sıvı metalde diğer yabancı çekirdeklerinde bulunması gereklidir. Bu yabancı çekirdekler oksijen elementi ile bağ kurabilen elementler tarafından oluşurlar.

Aşılama, grafit çökmesini, katılaşma, katılaşmayı yönlendirmesi ve ledeburit fazına dönüşmeyi engellemek için önemlidir

Doğru aşılama ile parça bütününde homojen mekanik özellikler, ve et kalınlığı değişimlerinde eşit sertlik değerlerine ulaşmayı sağlar. Aşılama ile oluşan grafitler sayesinde parça sızdırmazlığı ve besleme özelliklerini olumlu yönde etkiler.

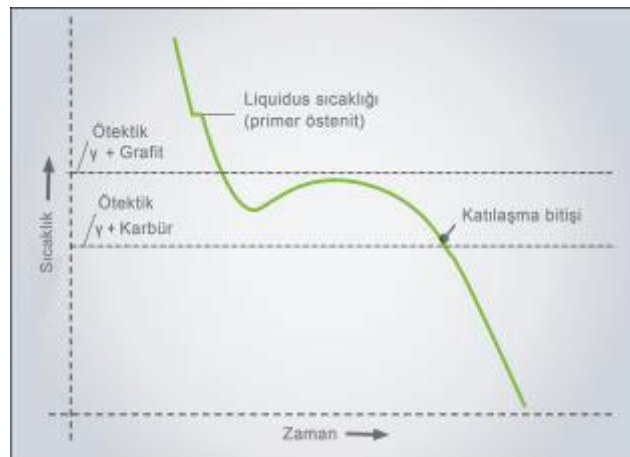
Aşılamanın etkileri, aşılacak olan sıvı metalin metalürjik özellikleri, kimyasal kompozisyonu ve bekleme süresine bağlı olarak değişim gösterir.

En etkin aşılama en geç aşılama değildir denilebilir. Aşılama için mümkün olduğunca geç yapılması gereklidir denilebilir. Aşılama birçok farklı yerde yapılabilir. Ergitme ocağında, kalıp içerisinde, ocaktan potaya sıvı metal alımında ve döküm esnasında yapılabilir.

“Alaşımız veya düşük alaşımlı dökme demirlerde, %1,5 ila % 3 silis ve % 2 ila % 4 karbon bulunur. Yavaş ve dengeli bir soğuma şartlarında, sıvı, belli bir süre sonra ötektik kompozisyonuna erişir (% 4,3 karbon eşdeğeri) ve böylece ötektik katılaşma başlamış olur (W. Maschke, 2014).

Ötektik katılaşma sırasında ortaya çıkan karbon tamamen grafit dönüşür. Ancak dökümhane şartlarında yavaş ve dengeli soğuma şartları gerçekleşmez. Bunun sebepleri, kimyasal kompozisyonundaki farklılıklar, et kalınlığı veya soğuma hızı ve döküm sıcaklıklarıdır. Laboratuvar şartları ve gerçek uygulama arasındaki bu farklılıklar sonucu, sıvı metal, ötektik reaksiyon başlamadan önce Östenit-Grafit denge sıcaklığının altındaki sıcaklıklara kadar soğur.

Aşılamadaki amaç Sementit (Fe_3C) oluşumunu ötektik katılaşma başlangıcında yeterli miktarda grafitin kristalleşmesi için yeteri miktarda çekirdek oluşturmaktır. Aşılama Östenit-Grafit denge sıcaklığında bir alt soğuma yapabilecek miktarda olmalıdır. Bu sayede lamel grafitli dökme demirlerde A tipi grafitler, küresel grafitli dökme demirlerde tam yuvarlak küreler gözlenir (W. Maschke, 2014).



Şekil 2.16. Alt Soğuma Grafiği

Aşılایıcılar genellikle ferro-silisyum alaşımlarından oluşmaktadırlar. Ferro-silisyumun yanına oksijene ilgi duyan diğer elementler ve nadir toprak elementleri,

aşıl原因 kimyasal kompozisyonunda bulunmaktadır. Bu elementlerden bazıları Kalsiyum, Baryum, Alüminyum, Zirkon, Stronsiyumdur. Bu elementlerin yanı sıra Bizmut, Titanyum, Mangan, Kükürt ve oksijen gibi elementlerde aşıl原因larının kimyasal analizleri içerisinde bulunurlar.

Aşıl原因 etkiisi sıcaklık ve zamana bağılıdır. Aşıl原因larının zamanla etkilerinin kaybolması sıcaklıktan daha büyük bir etkidir. Aşıl原因larının sönümlenme süreleri aşılamanın başlangıcından ötektik katıl原因ma sıcaklığında parçanın katıl原因masına kadar geçen süredir. Dolayısıyla aşıl原因ıcı malzemenin katıl原因ma sonuna kadar etkin olması gereklidir. Katıl原因ma süresi parça kesit kalınlıklarına göre değıışkenlik gösterir.

Kesit kalınlığı fazla olan parçalarda katıl原因ma süresi uzadığı için aşıl原因ıcı malzeme etkinliği azalması sebebiyle daha az sayıda ve daha büyük küreler oluşur.

Kalın kesitli parçalarda geç aşıl原因 ve düşük döküm sıcaklığı sayesinde küre sayıları artırılabilir. Geç aşıl原因 metal akışında ya da kalıp içinde yapılmalıdır. Potaya metal akışında aşıl原因 yapmak geç aşıl原因 değıildir. Sönümlenme aşıl原因larının kimyasal kompozisyonlarına da bağılıdır. En güçlü aşıl原因ların sönümlenmeleri en hızlı olanıdır. Fakat baryum ve seryum içeren aşıl原因ıcıların etki süreleri daha uzundur (Doepp ve ark., 2005; Maschke ve Jonuleit, 2010).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada farklı boyutlarda ki farklı aşılایıcıların aynı döküm ortamında kullanılması ile elde edilen küresel grafitli dökme demirlerde aşılamanın küreselleşme, mekanik özelliklere etkisi ve Kükürt (S) elementi üzerine etkisi incelenmiştir.

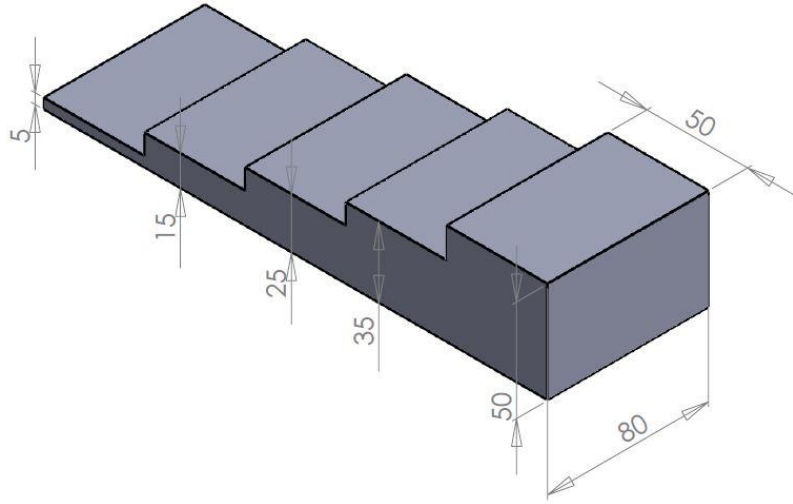
Küresel grafitli dökme demir üretiminde istenilen özelliklere ulaşmada küreleştirici kadar kullanılan aşılایıcılar da büyük önem taşır. Kullanılan aşılایıcının tane boyutu ve dağılımı, içerdіği elementler ve ilave miktarı nihai sonucu doğrudan etkilemektedir.

Bu dökümlerden alınan numuneler üzerinde mikro yapı incelemesi ve sertlik testi uygulanmıştır. Buradan elde edilen bulgular ışığında en uygun aşılایıcı belirlenmeye çalışılmıştır.

Aşılایın kullanımları dökümhaneler için derin bir önem arz etmektedir. Bu sayede üretilen parçanın kalitesi direk olarak etkilendiği için, küreleştirici malzeme olan FeSiMg master alaşımı kalitesi kullanım oranları ve kimyasal bileşimi her ne kadar önemli ise aşılایıcı kalitesi de bir o kadar önem arz etmektedir.

Literatür çalışmasında yola çıkıldığında bilindiği üzere dökme demirlerde katılaşma esnasında grafit oluşumu bu grafitlerin şekli ve bu grafitlerin sayısı zaman, sıcaklık kesit kalınlığı katılaşma süresi gibi değişkenler tarafında etkilenmektedir. Bu sebeplerden dolayı çalışmada farklı kesit kalınlıklarında farklı aşılایın çapraz kullanımları ile birlikte deneme çalışmaları yapılmıştır. 5 mm-15 mm-25 mm-35 mm-50 mm kesit kalınlıklarından numuneler alınıp bu numunelerin mikro yapıları ve sertlik değerleri incelenmiştir.

4 farklı aşılایıcı kullanılarak yapılan dökümlerde Şekil 1.1’de gösterilen döküm modeli kullanılmıştır. Model boyutları 80x50 mm, model kalınlıkları 5 mm, 15mm, 25 mm, 35 mm ve 50 mm’dir.



Şekil 3.1. Deneysel Numune Modeli

3.1. Ergitme ve Şarj Pratiği

Ergitme işlemleri 2 tonluk inductotherm marka devirmeli indüksiyon ocağında gerçekleştirilmiştir. EN-GJS 400-15 kalite malzeme için şarj hazırlanmıştır.

EN-GJS400-15 için şarj hesabı:

- 125 kg Sfero Piki
- 55 kg Çelik Hurda
- 85 kg Döngü Malzemesi
- 2,60 kg Karbon

Ocakta ergitilen sfero piki ve hurda malzemesinin kimyasal bileşimleri Tablo 3.1.de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan Pikin Kimyasal Analizi

%C	%Si	%Mn	%S	%P
4,13	0,78	0,04	0,032	0,05

Çizelge 3.2. Kullanılan Çelik Hurda Kimyasal Kompozisyonu

%C	%Si	%Mn	%S	%P
0,12	0,015	0,23	0,017	0,013

Çizelge 3.3. Küreselleştirme Öncesi Sıvı Metal Kimyasal Kompozisyonu

%C	%Si	%Mn	%S	%P
3,90	1,63	0,11	0,025	0,040

Çizelge 3.4. Kullanılan FeSiMg küreleştirici kimyasal bileşimi

FeSiMg – 1-12 mm	%Si	%Ca	%Mg	%Al	%Tr
	47,70	1,23	6,65	0,50	1,15

Deneylerde Baryum elementinin örtü aşısı olarak kullanımı ile Kükürt üzerine etkisi kimyasal analiz değerleri ile incelenmiştir. Diğer iki aşılama malzeme ise geç aşılama için döküm potasına ilave edilmiştir.

Çizelge 3.5. Birinci Grup Aşılama

Aşılama	%Si	%Al	%Ca	%Ba	%Ce
Inoculant I - 0,7- 3 mm	65,8	1,22	1,31	2,39	
Inoculant II - 0,2-0,7 mm	74,3	0,96	1,05		1,77

Çizelge 3.6. İkinci Grup Aşılama

Aşılama	%Si	%Al	%Ca	%Ba	%Bi
Inoculant III - 0,5-2 mm	65,8	1,03	1,14	9,39	
Inoculant IV - 0,2-0,5 mm	72,18	0,77	1,26		0,87

Metaloğrafik inceleme için döküm parçalarından numuneler kesilmiştir. Numune kesme işleminde döküm yüzeyinden uzaklaşıp eş aksel bölgeden numuneler kesilerek incelenmiştir. Kesilen parçaların şematik görüntüsü Şekil 3.2.'de verilmiştir.

**Şekil 3.2.** Metalografi Numuneleri Şematik Gösterimi



Şekil 3.3. Metalografi Numune Parlatma Cihazı

Sertlik testi uygulaması numunelerin sertliklerinin ölçümünde BMS OBPC marka sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır. Numunelere 10 mm çelik uçlu bilye ile 3000 kg yükte Brinell Sertlik testi uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Brinell Sertlik Cihazı

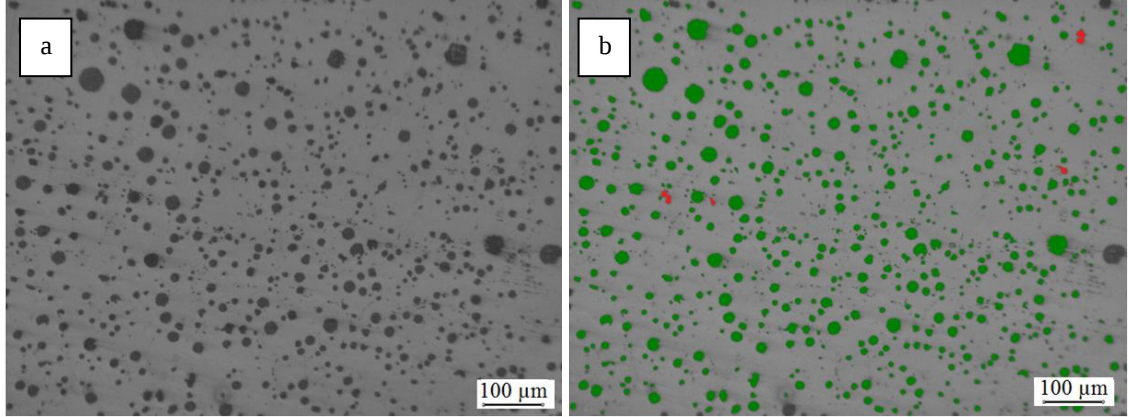
Çekme testleri ALŞA Laboratuvar cihazları San. Tic. LTD. ŞTİ.'nin üretimi çekme cihazında yapılmıştır.



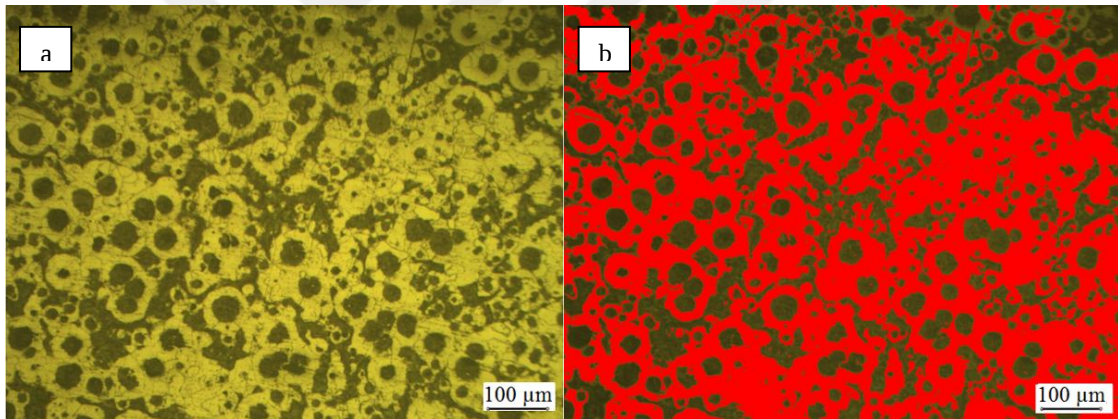
Şekil 3.5. Çekme Cihazı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Mikro Yapı Sonuçları



Şekil 4.1. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

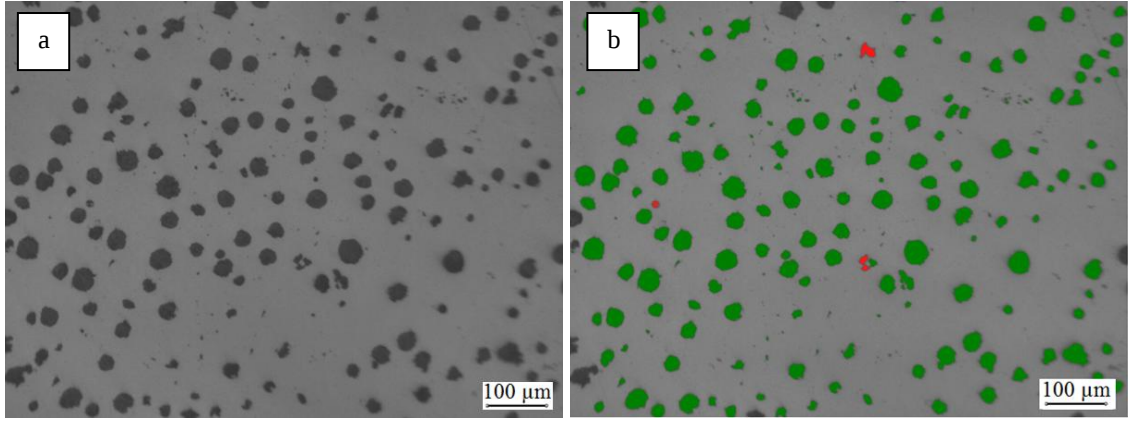


Şekil 4.2. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

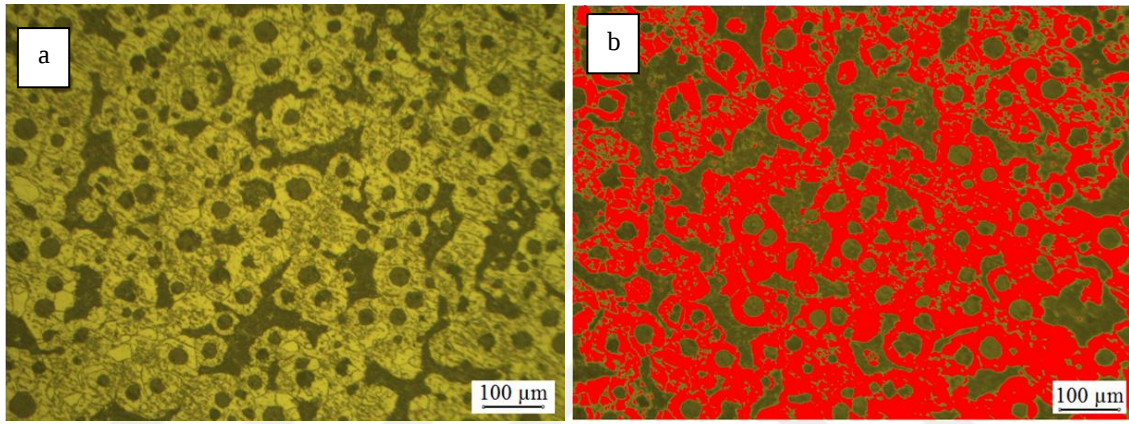
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 5 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 5 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	528
% Grafit Oranı	10,35
% Küreselleşme Oranı	99,51
% Ferrit Oranı	57,17
% Perlit Oranı	32,48



Şekil 4.3. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

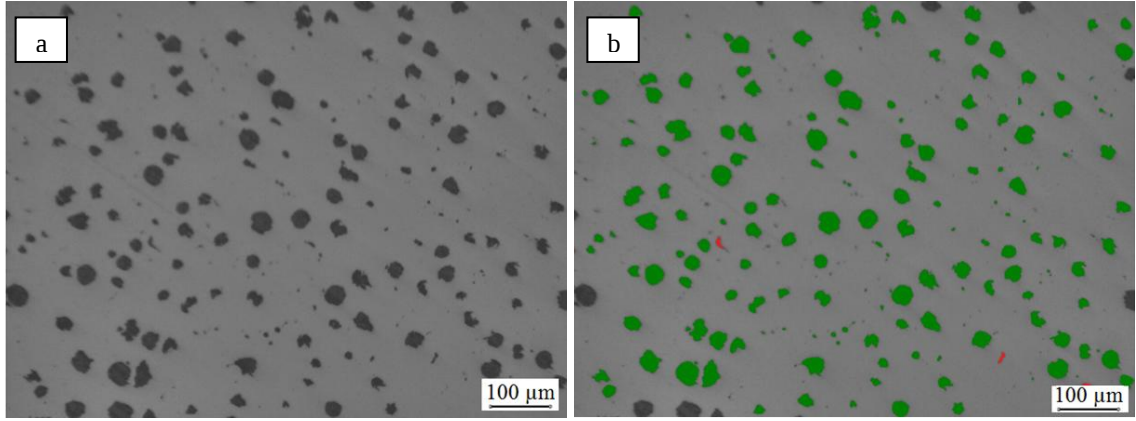


Şekil 4.4. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

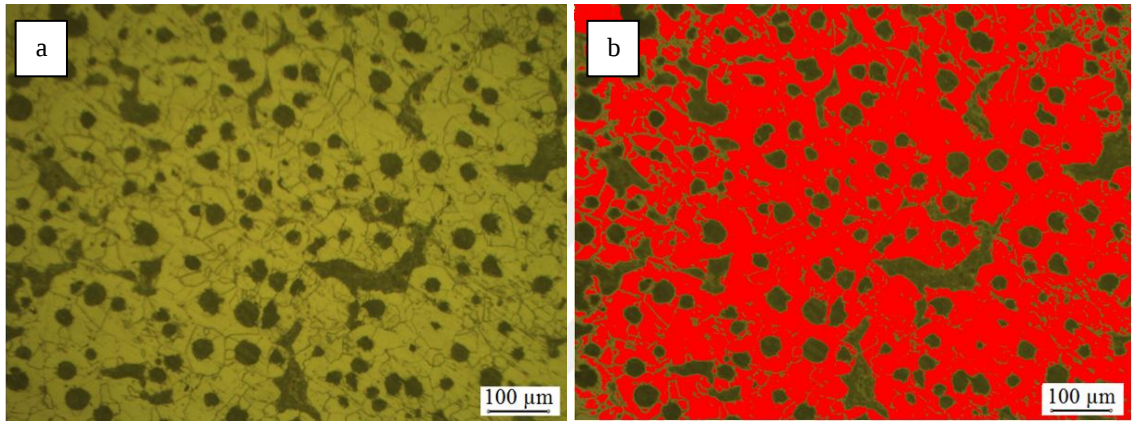
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 15 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 15 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	232
% Grafit Oranı	12,41
% Küreselleşme Oranı	99,14
% Ferrit Oranı	59,15
% Perlit Oranı	28,44



Şekil 4.5. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

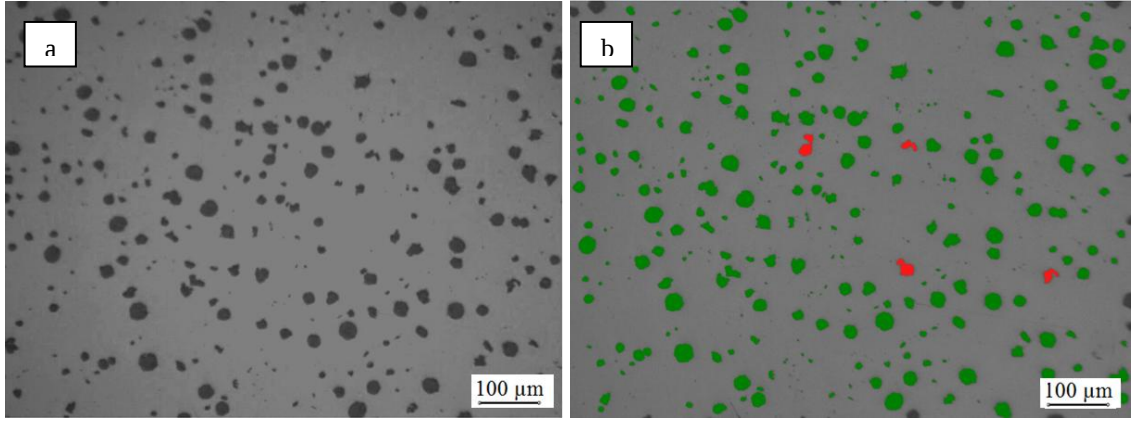


Şekil 4.6. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

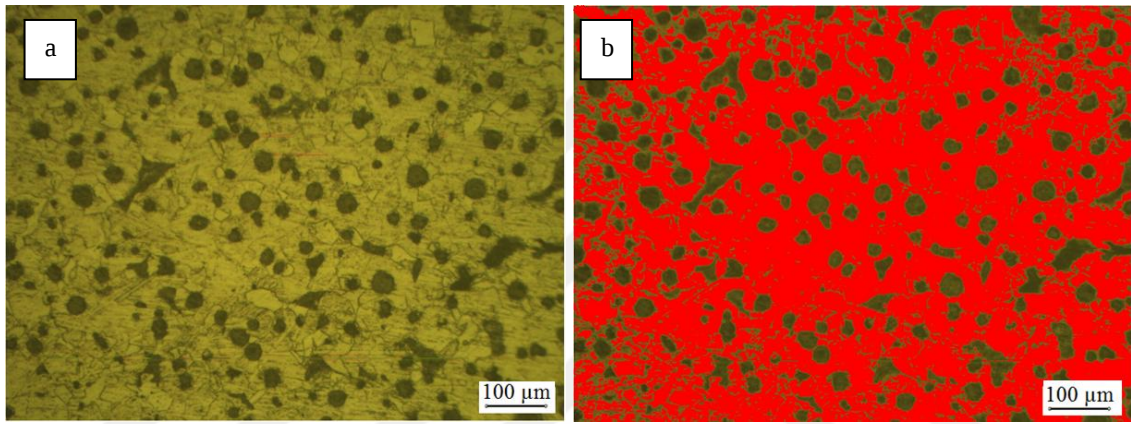
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 25 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 25 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	183
% Grafit Oranı	8,56
% Küreselleşme Oranı	98,36
% Ferrit Oranı	64,37
% Perlit Oranı	27,07



Şekil 4.7. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

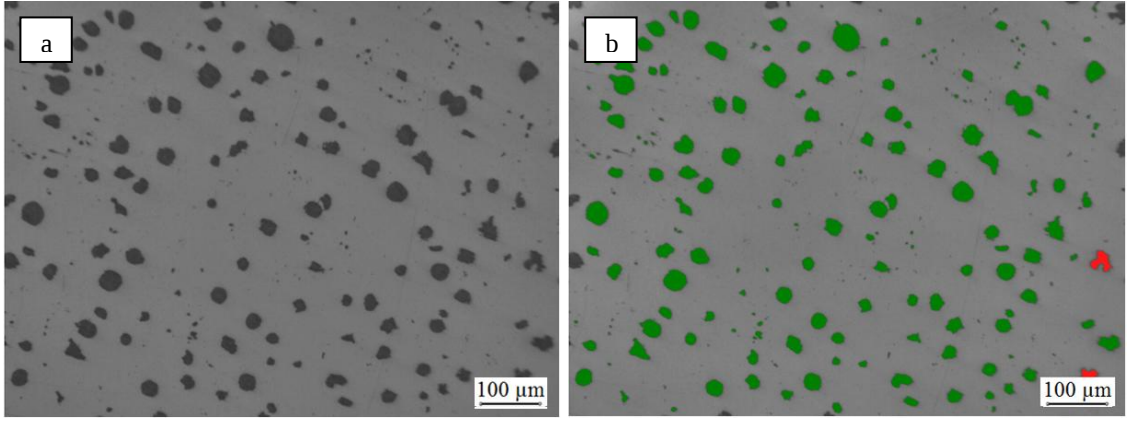


Şekil 4.8. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

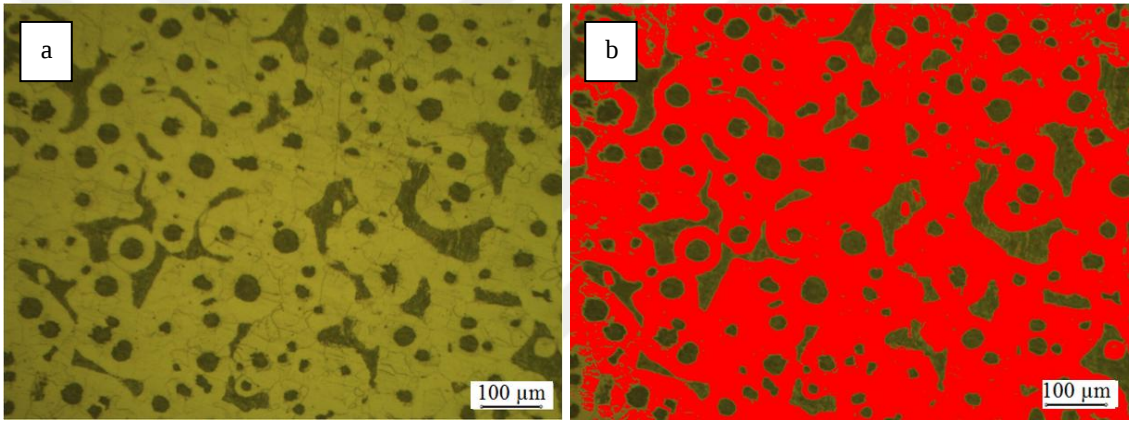
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 50 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 35 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	164
% Grafit Oranı	7,24
% Küreselleşme Oranı	98,43
% Ferrit Oranı	72,08
% Perlit Oranı	20,68



Şekil 4.9. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

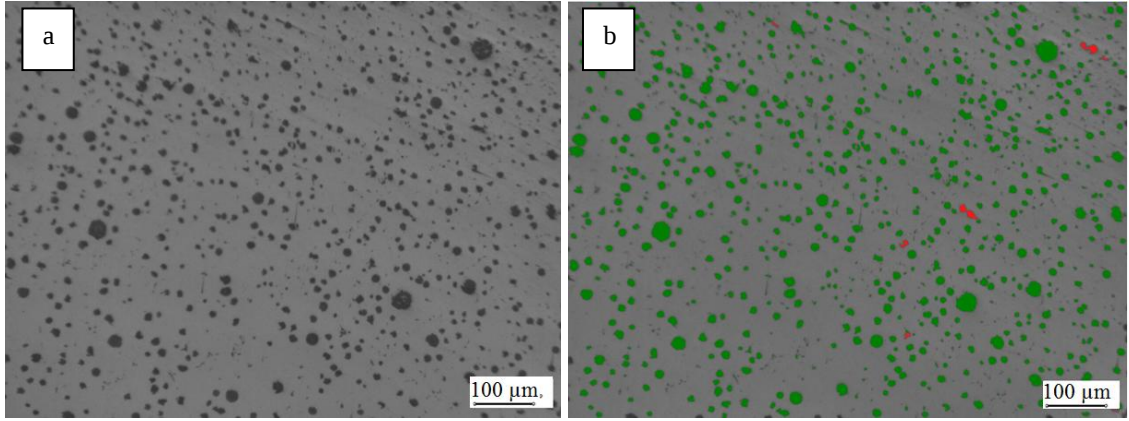


Şekil 4.10. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

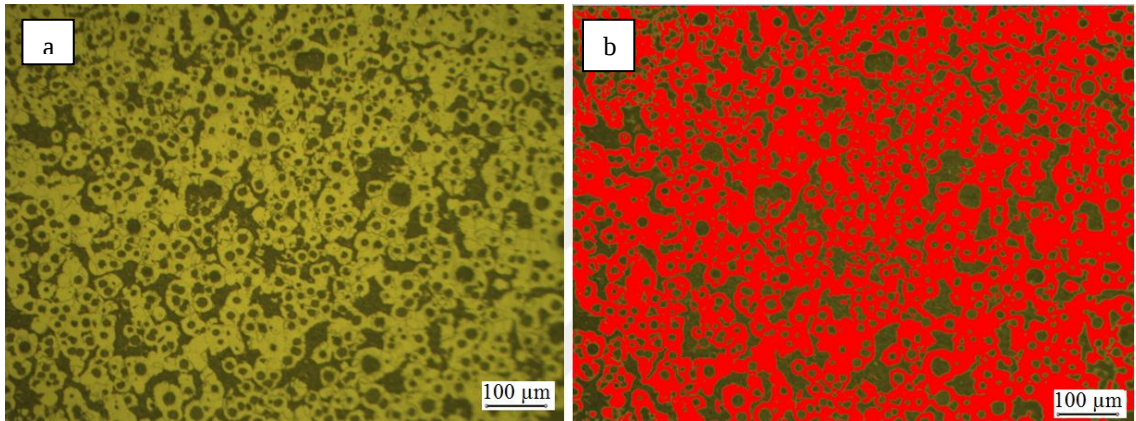
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 35 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.4. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 50 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	127
% Grafit Oranı	7,83
% Küreselleşme Oranı	8,83
% Ferrit Oranı	62,92
% Perlit Oranı	28,25



Şekil 4.11. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

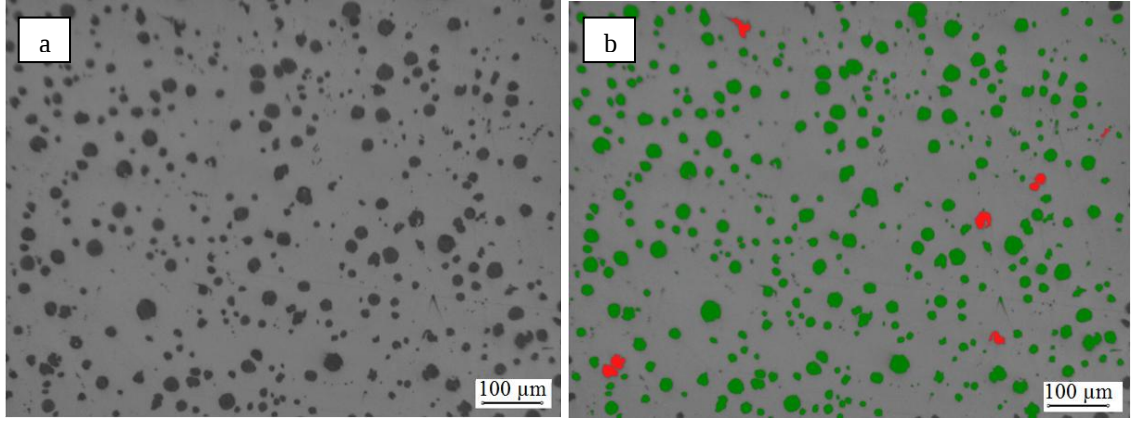


Şekil 4.12. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

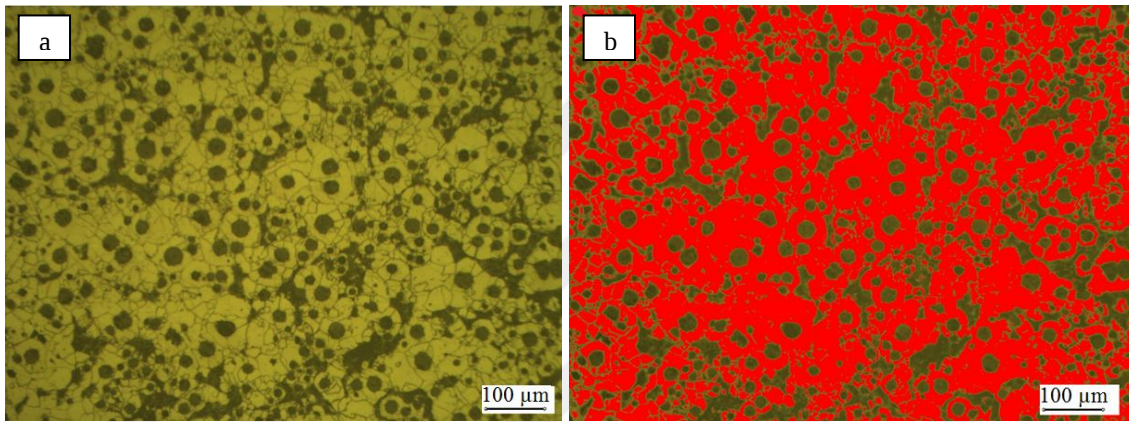
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 5 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.6. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 5 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	724
% Grafit Oranı	14,62
% Küreselleşme Oranı	99,86
% Ferrit Oranı	54,37
% Perlit Oranı	31,01



Şekil 4.13. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

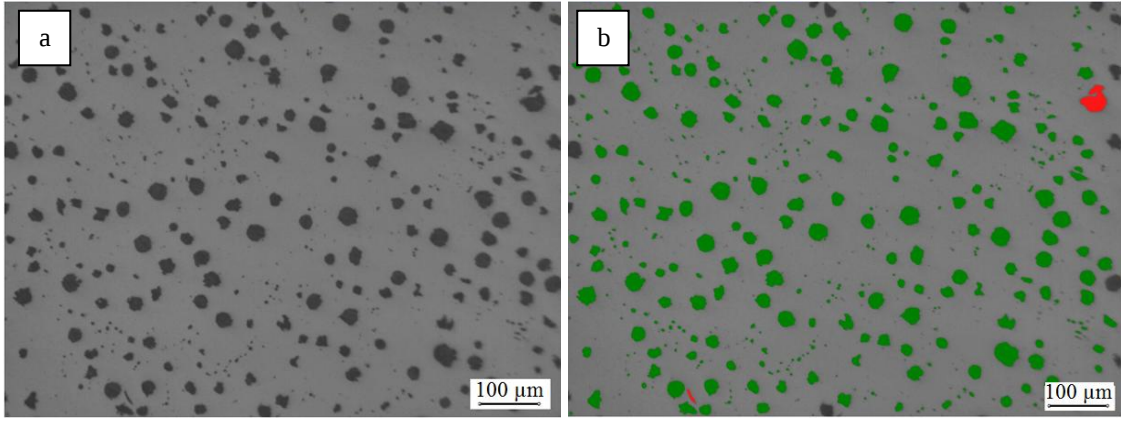


Şekil 4.14. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

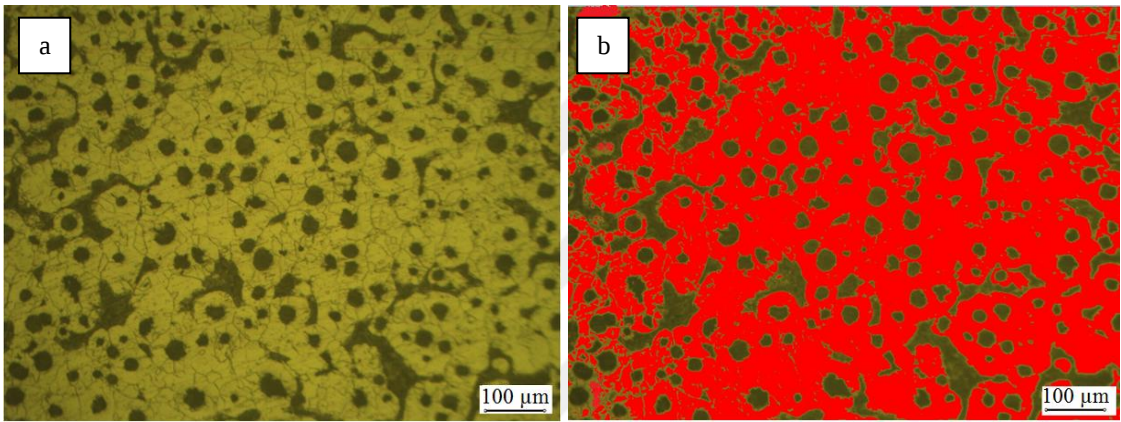
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 15 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 15 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	532
% Grafit Oranı	13,83
% Küreselleşme Oranı	98,02
% Ferrit Oranı	59,70
% Perlit Oranı	26,47



Şekil 4.15. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

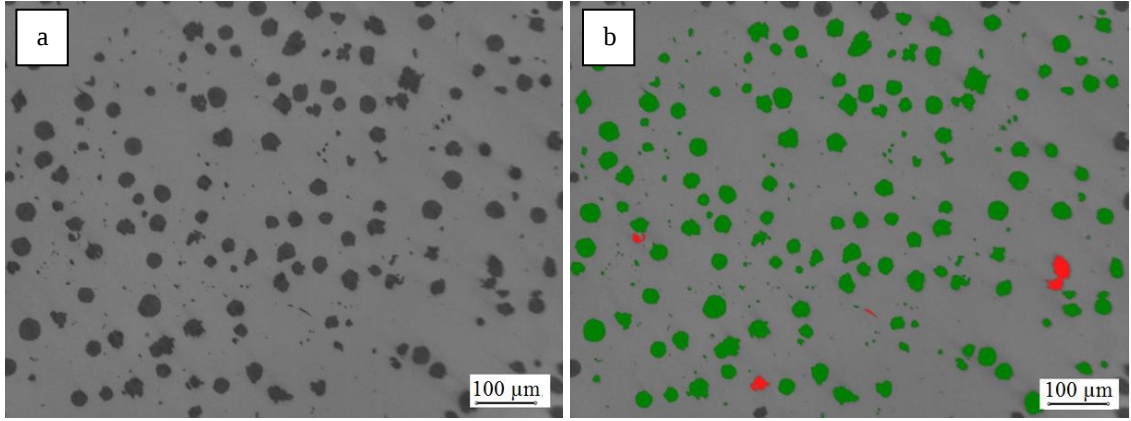


Şekil 4.16. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

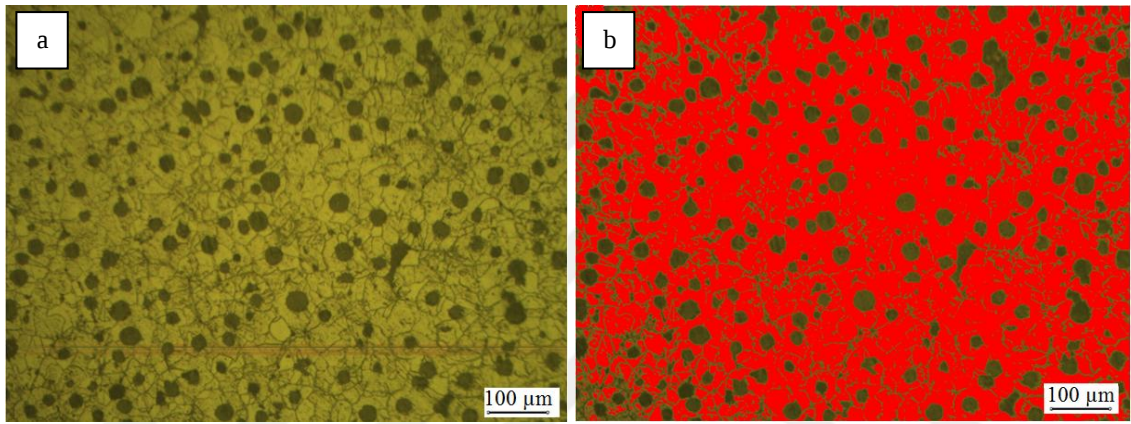
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 25 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 25 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	412
% Grafit Oranı	10,28
% Küreselleşme Oranı	99,58
% Ferrit Oranı	65,50
% Perlit Oranı	24,22



Şekil 4.17. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

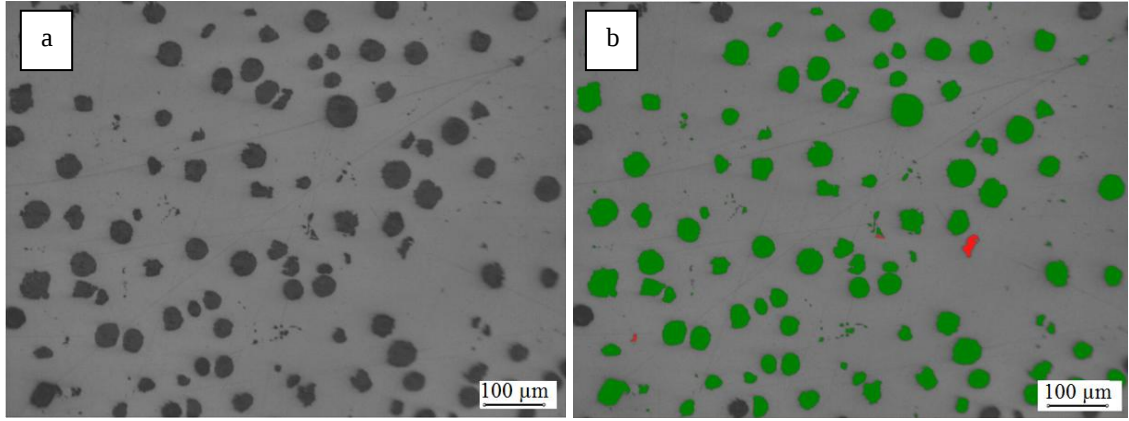


Şekil 4.18. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

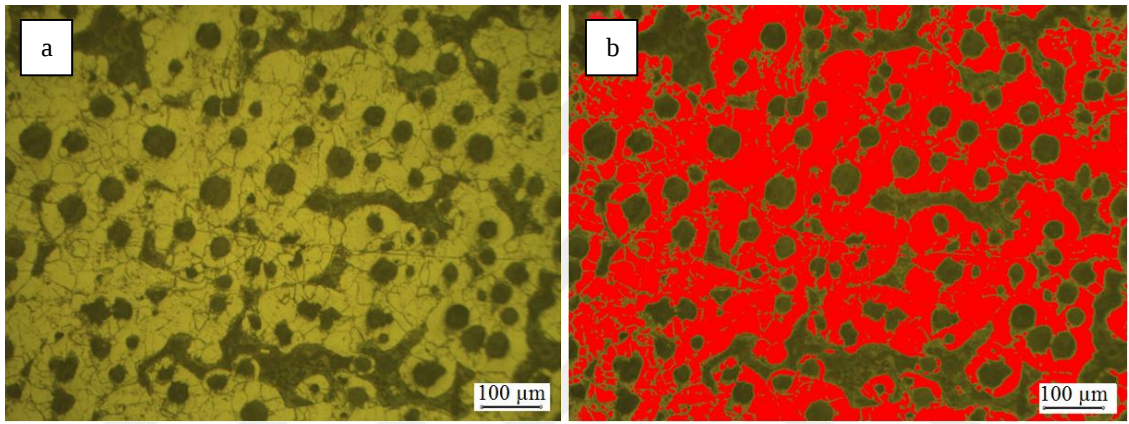
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 35 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 35 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	182
% Grafit Oranı	11,60
% Küreselleşme Oranı	98,35
% Ferrit Oranı	73,22
% Perlit Oranı	15,18



Şekil 4.19. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

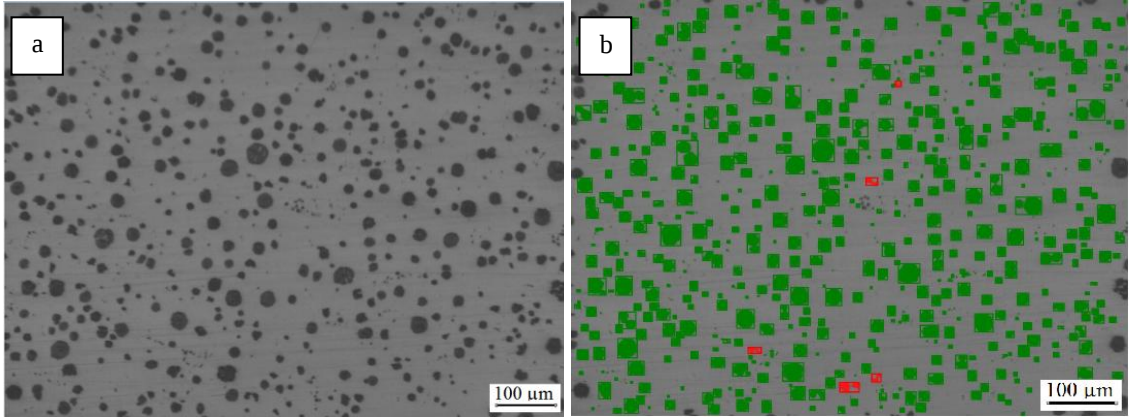


Şekil 4.20. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

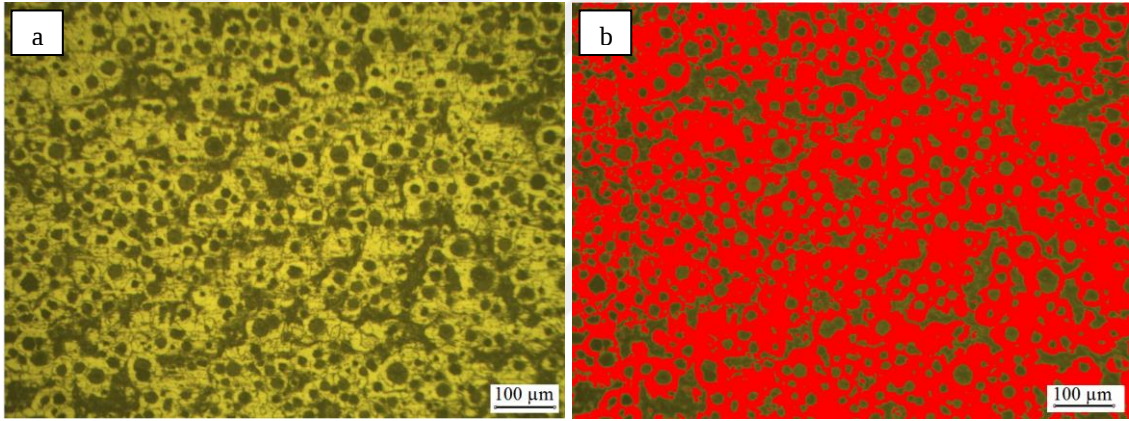
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,2 ilave oranı ile kullanımında 50 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 50 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	156
% Grafit Oranı	13,54
% Küreselleşme Oranı	98,31
% Ferrit Oranı	64,38
% Perlit Oranı	32,08



Şekil 4.21. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

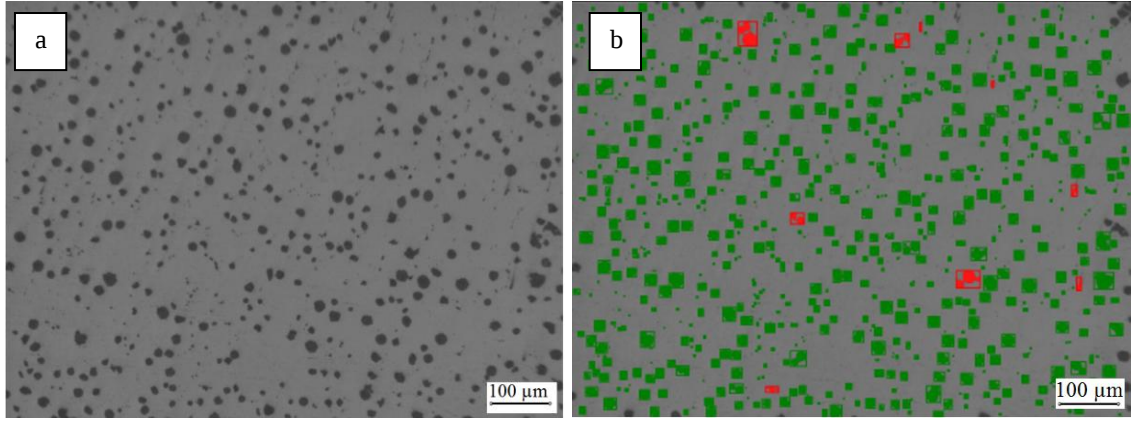


Şekil 4.22. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

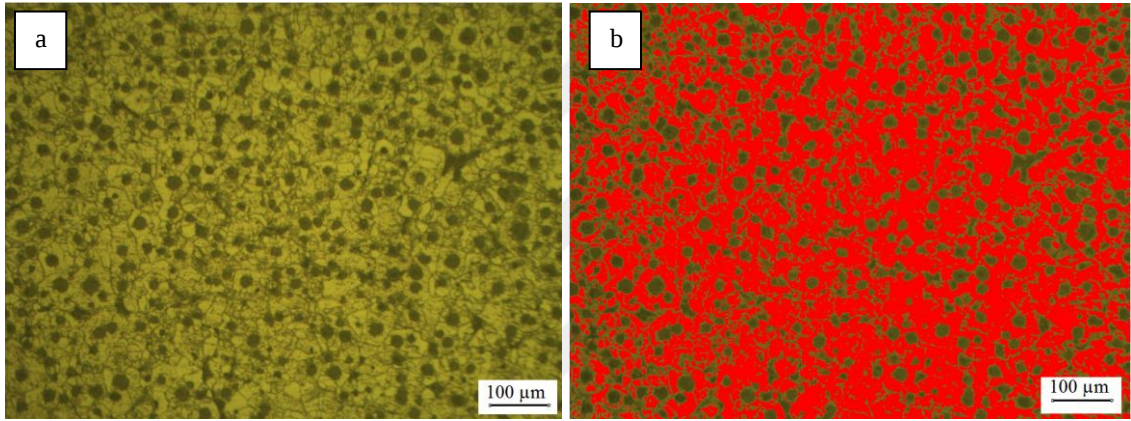
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 5 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 5 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	616
% Grafit Oranı	16,50
% Küreselleşme Oranı	99,05
% Ferrit Oranı	53,75
% Perlit Oranı	29,75



Şekil 4.23. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

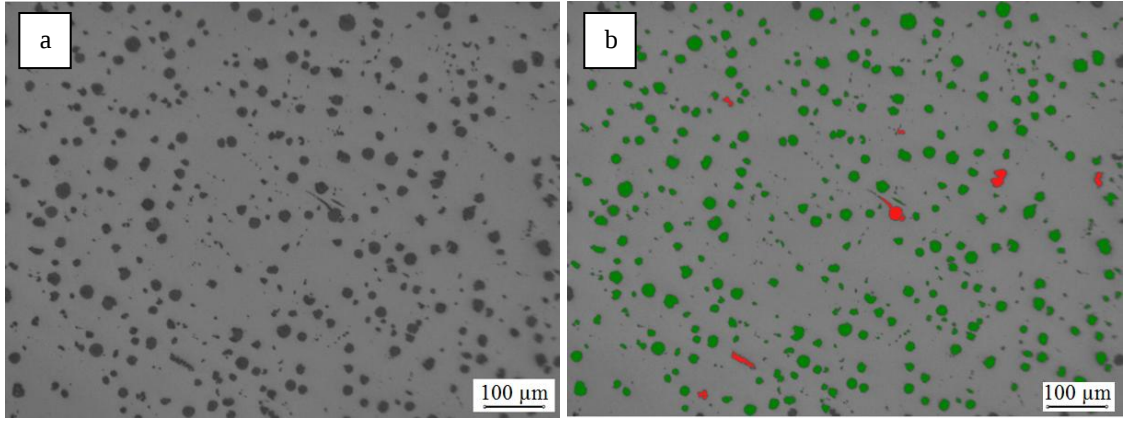


Şekil 4.24. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

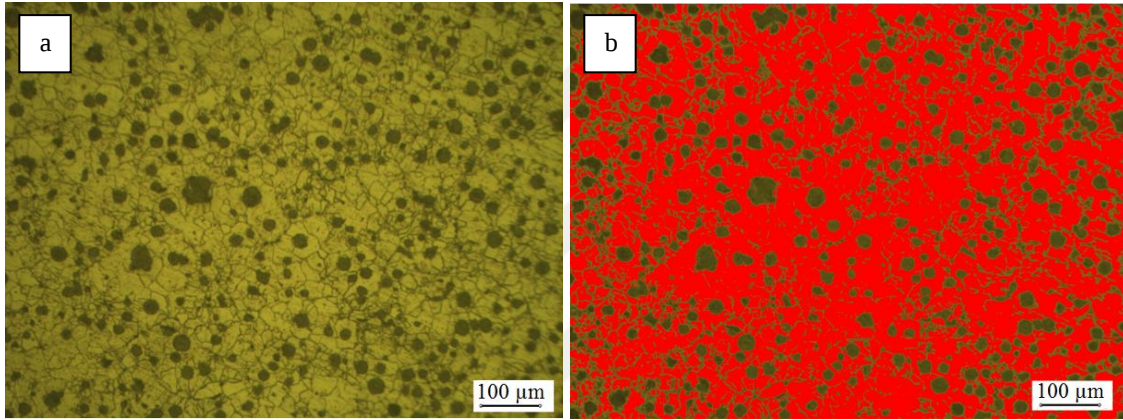
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 15 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 15 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	507
% Grafit Oranı	11,50
% Küreselleşme Oranı	98,22
% Ferrit Oranı	59,45
% Perlit Oranı	29,10



Şekil 4.25. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

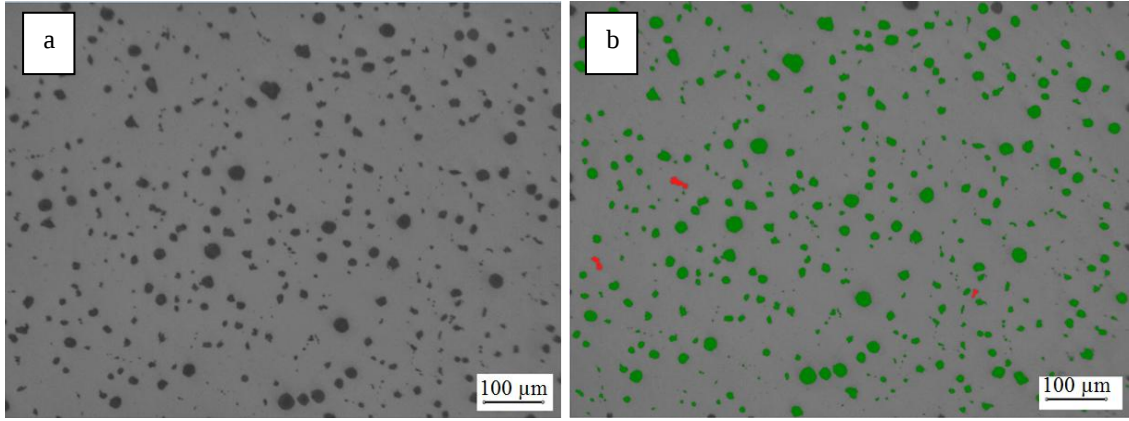


Şekil 4.26. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

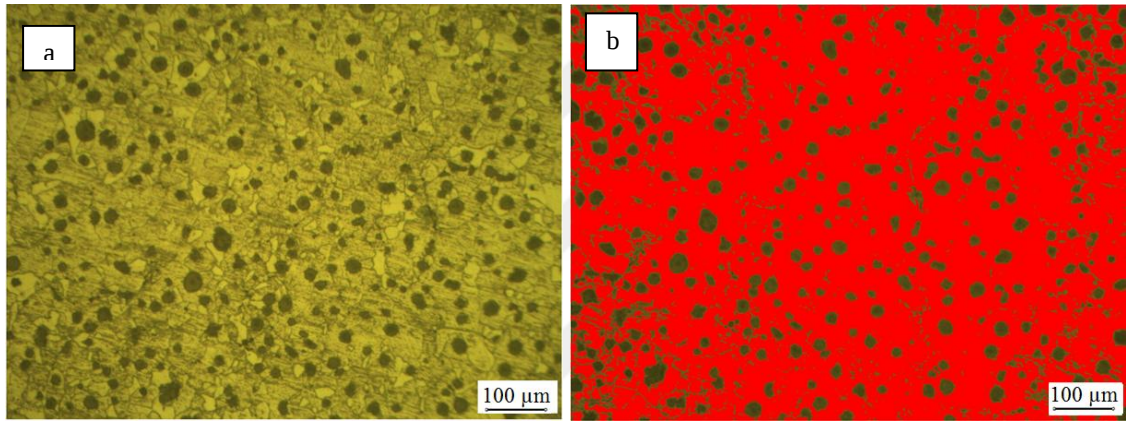
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 25 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 25 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	357
% Grafit Oranı	7,65
% Küreselleşme Oranı	98,89
% Ferrit Oranı	65,98
% Perlit Oranı	26,37



Şekil 4.27. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

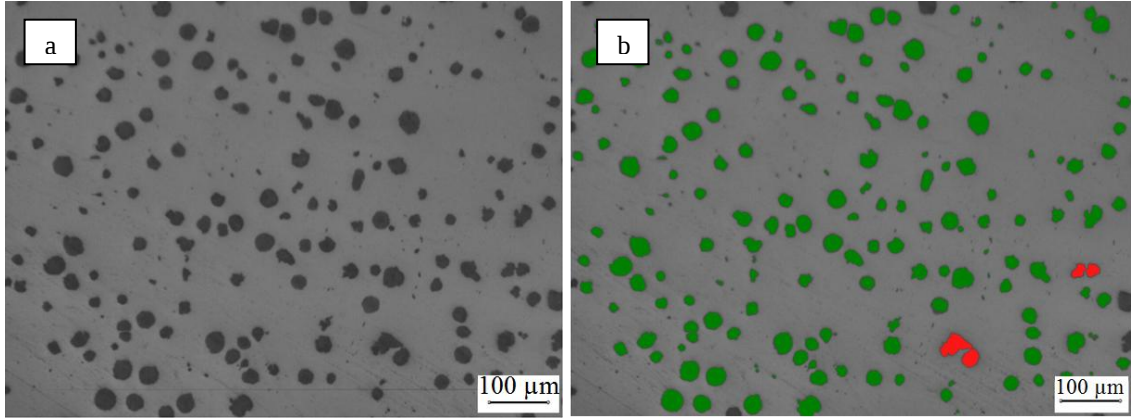


Şekil 4.28. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

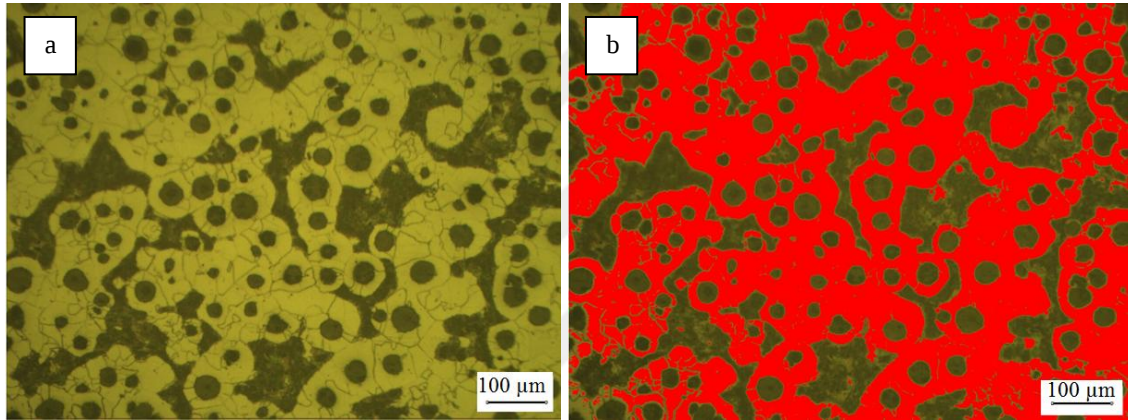
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 35 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.14. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 35 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	298
% Grafit Oranı	6,11
% Küreselleşme Oranı	98,32
% Ferrit Oranı	79,31
% Perlit Oranı	14,58



Şekil 4.29. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

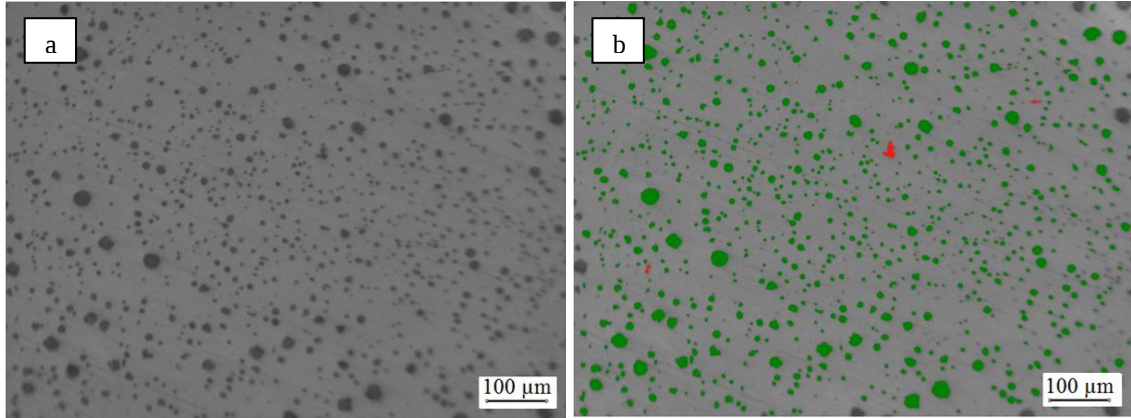


Şekil 4.30. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

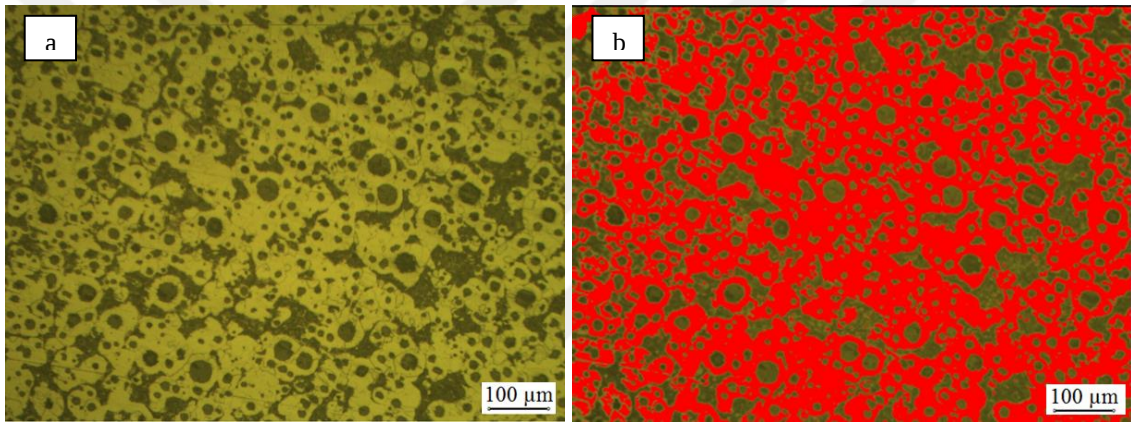
Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 50 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.15. %0,3 Inoculant I ve Inoculant II ilavesi ile elde edilen 50 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	185
% Grafit Oranı	11,49
% Küreselleşme Oranı	97,30
% Ferrit Oranı	59,27
% Perlit Oranı	29,24



Şekil 4.31. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

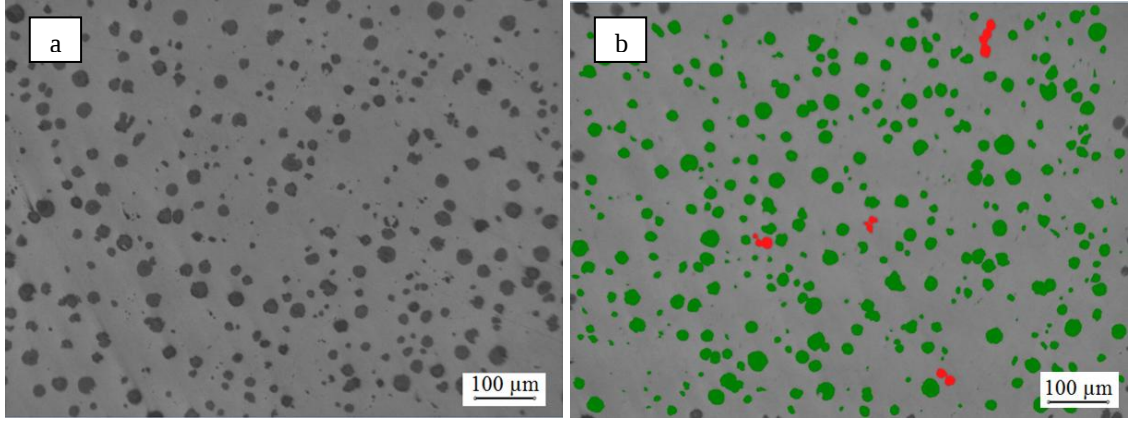


Şekil 4.32. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 5 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

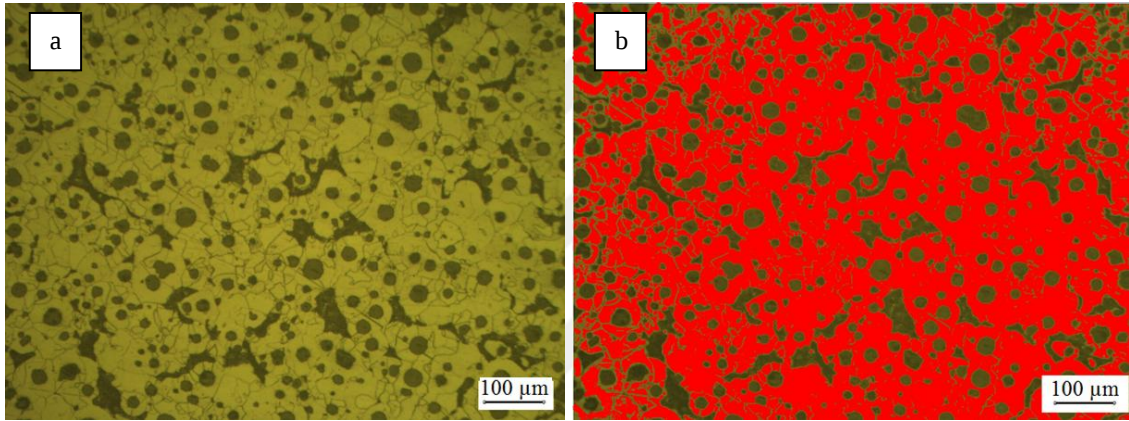
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 5 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.16. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 5 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	896
% Grafit Oranı	9,45
% Küreselleşme Oranı	99,33
% Ferrit Oranı	56,91
% Perlit Oranı	33,64



Şekil 4.33. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

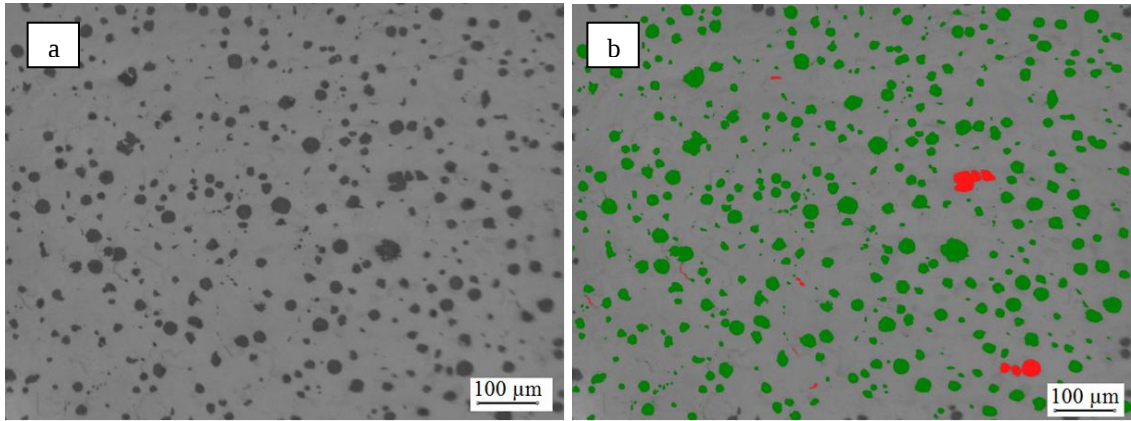


Şekil 4.34. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 15 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

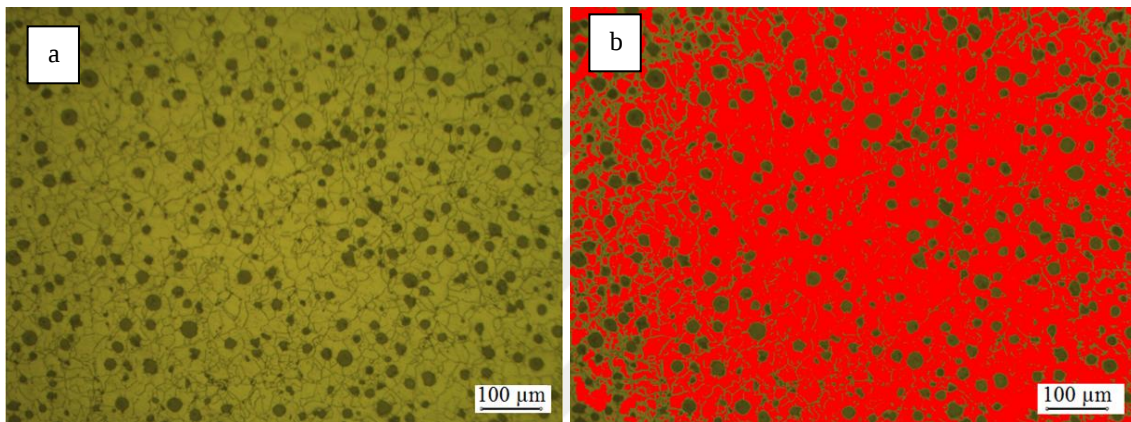
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 15 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.17. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 15 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	548
% Grafit Oranı	16,60
% Küreselleşme Oranı	99,45
% Ferrit Oranı	63,96
% Perlit Oranı	19,44



Şekil 4.35. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

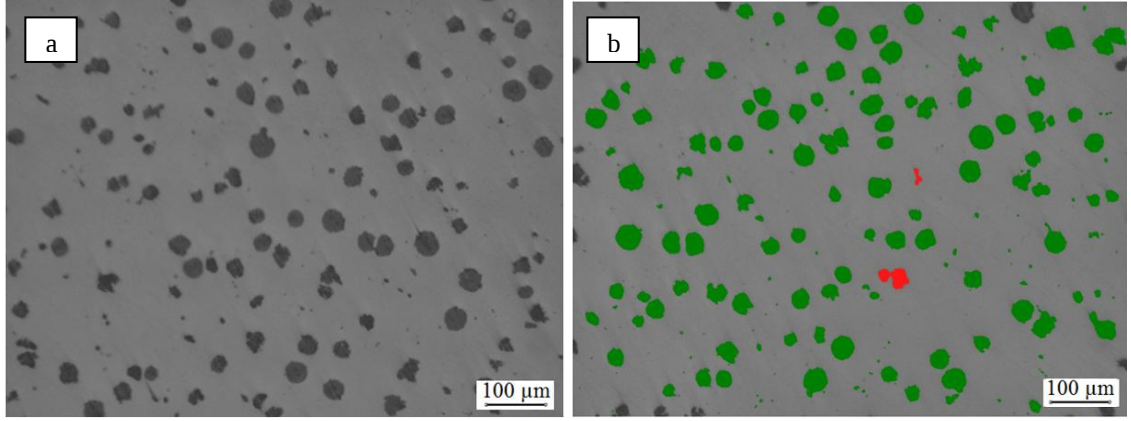


Şekil 4.36. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 25 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

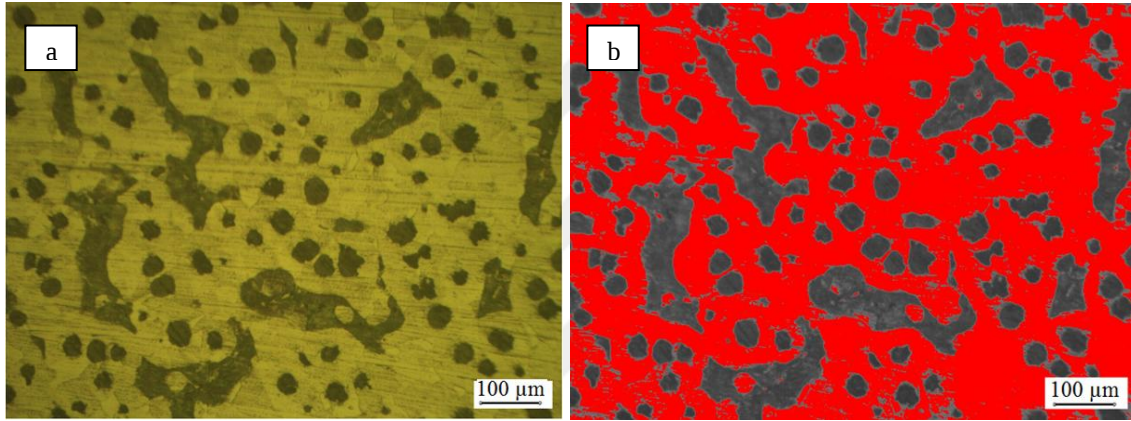
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 25 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.18. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 25 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	542
% Grafit Oranı	12,64
% Küreselleşme Oranı	99,09
% Ferrit Oranı	78,95
% Perlit Oranı	8,41



Şekil 4.37. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

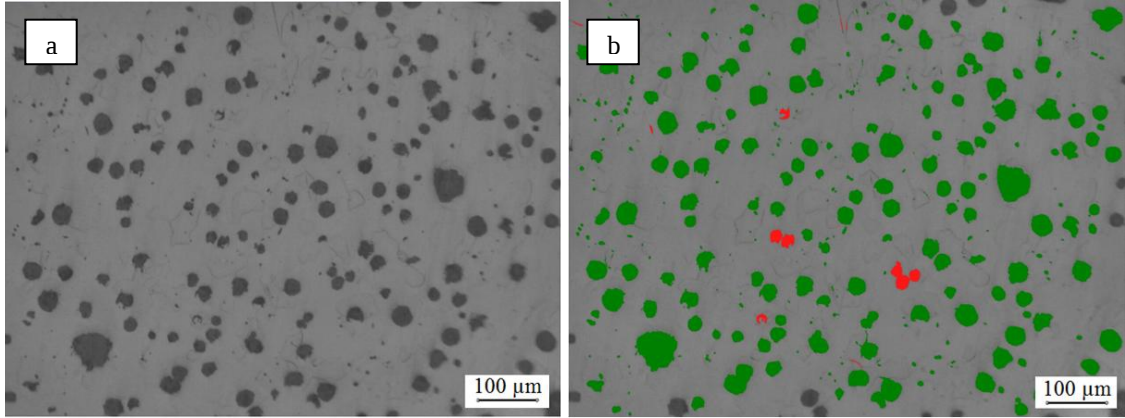


Şekil 4.38. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 35 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

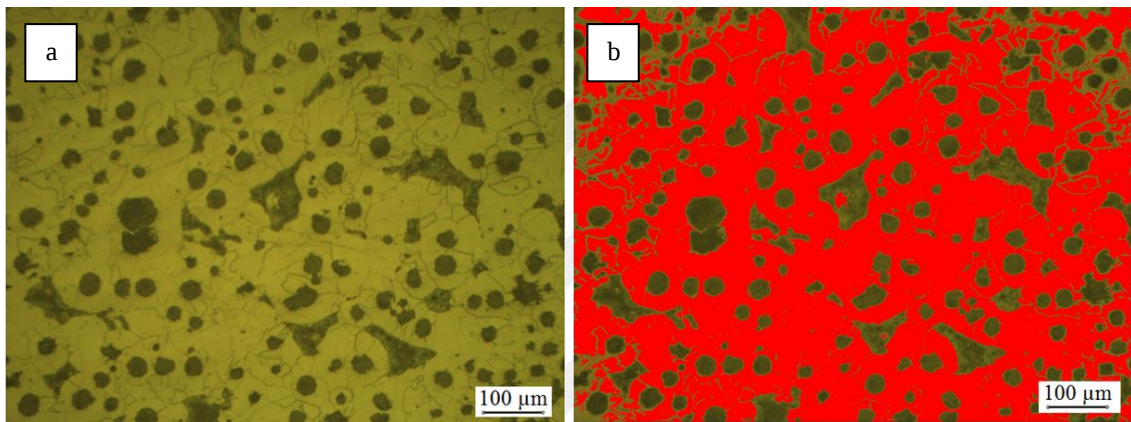
Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 35 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.19. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 35 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	303
% Grafit Oranı	11,72
% Küreselleşme Oranı	98,08
% Ferrit Oranı	61,77
% Perlit Oranı	26,51



Şekil 4.39. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapı fotoğrafları a) mikro yapı görseli b) küre sayımı yapılmış mikro yapı görseli

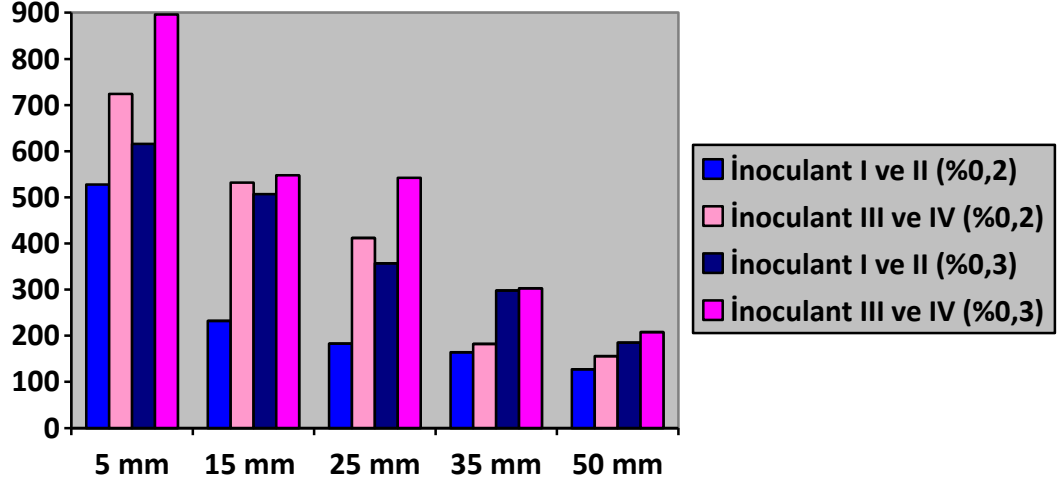


Şekil 4.40. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile 50 mm kesit kalınlığında elde edilen mikroyapılar a) % 5 Nital ile dağlanmış mikroyapı görseli b) faz analizi sonucu Ferrit Perlit dağılımı (kırmızı bölgeler ferrit)

Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak % 0,3 ilave oranı ile kullanımında 50 mm kesit kalınlığında yapılan mikroyapı analizlerinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

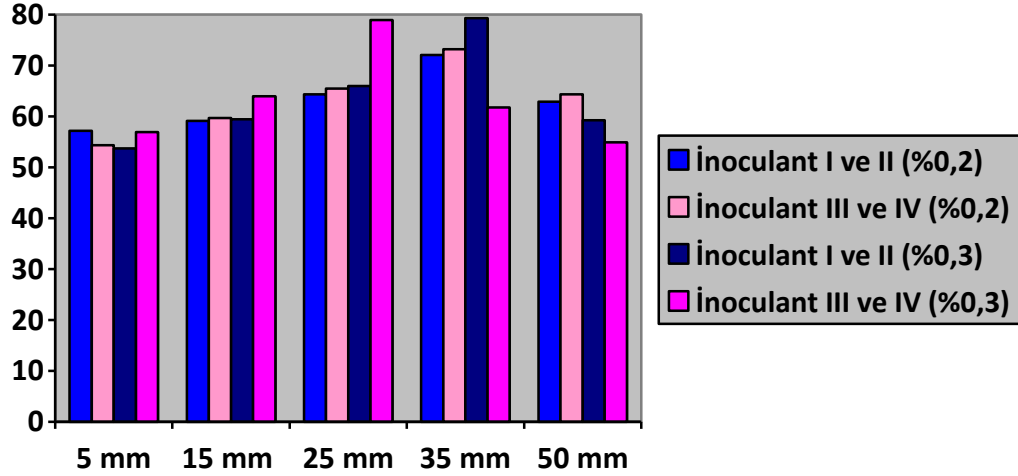
Çizelge 4.20. %0,3 Inoculant III ve Inoculant IV ilavesi ile elde edilen 50 mm kesit kalınlığında mikroyapı analiz sonuçları

Küre Sayısı	208
% Grafit Oranı	14,95
% Küreselleşme Oranı	96,13
% Ferrit Oranı	54,94
% Perlit Oranı	30,11



Şekil 4.41. Mikroyapı analizi neticesinde elde edilen küre sayıları

Şekil 4.41 incelendiğinde kesit kalınlıklarının artmasıyla birlikte küre sayılarında düşüşün meydana geldiği net bir şekilde görülmektedir. İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.3 ilavesinde 5 mm de en fazla 896 küre elde edilirken, aynı kesit kalınlığında en az İnoculant I ve II aşılایıcılarının %0.2 ilavesiyle 528 küre tespit edilmiştir. Yine 5 mm kesit kalınlığı incelendiğinde İnoculant I ve II aşılایıcılarının %0.3 ilavesiyle elde edilen küre sayısının İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.2 oranında ilavesiyle oluşan küre sayısında daha az olması aşılایıcı seçiminin küre oluşumunda önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Ancak İnoculant I ve II aşılایıcıları kendi aralarında ve İnoculant III ve IV aşılایıcıları kendi aralarında kıyaslandıklarında tüm kesit kalınlıklarında aşılایıcı miktarının artması küre sayılarında artış meydana getirmiştir. Bu noktada aşılایıcı seçimi ve aşılama miktarının küre oluşumunda ve oluşan küre sayısında önemli bir etken olduğu görülmektedir. İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.2 oranında ilavesiyle elde edilen küre sayısının 25 mm kesit kalınlığına kadar İnoculant I ve II aşılایıcılarının %0.3 ilavesiyle elde edilen küre sayısından daha fazla olduğu gözlemlenirken, 35 ve 50 mm kesit kalınlıklarında İnoculant I ve II aşılایıcılarının %0.3 oranında ilave edilmesiyle daha fazla küre oluşumu gözlenmiştir. Bu durumda 35 mm ve 50 mm kesit kalınlıklarında aşılایıcı seçiminden daha çok aşılama miktarının küre oluşumunda etkin rol oynadığı düşünülmektedir.



Şekil 4.42. Mikroyapı analizi neticesinde elde edilen ferrit oranları

Şekil 4.42 görüldüğü üzere en az ferrit faz oranı 5 mm kesit kalınlığında elde edilirken, en yüksek ferrit faz oranıysa 35 mm kesit kalınlığında tespit edilmiştir. Genel itibarıyla incelenen tüm mikroyapılar da ferritik fazın hâkim olduğu görülmektedir. Ferritik fazda 35 mm kesit kalınlığına kadar tüm aşılama çeşitlerinde artış gözlenmiştir. 35 mm kesit kalınlığında İnoculant III ve IV aşılama çeşitlerinin %0.3 oranında ilave edildiği numunelerin ferrit fazında düşüş tespit edilirken diğer aşılama çeşitlerinde bu kesit kalınlığında ferrit fazında artış devam etmektedir. 50 mm kesit kalınlığında ise tüm aşılama çeşitlerinde ferritik fazda azalma meydana gelmiştir. Kesit kalınlığının yükselmesiyle birlikte daha uzun katılma süresi gerekmektedir. Daha uzun katılma süresinin aşılama etkinliğini düşürdüğü Şekil 4.41’de görülmektedir. Düşen aşılama etkinliği küre sayısında meydana gelen azalmaya, dolayısıyla kürelerin etrafında oluşan ferrit fazının da azalmasına ve yapı içerisindeki toplam ferrit oranının düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu noktada İnoculant III ve IV aşılama çeşitlerinin %0.3 oranında ilavesinde 25 mm kesit kalınlığında maksimum ferrit oranı elde edilirken 35 mm kesit kalınlığında Şekil 4.41’de görüldüğü üzere küre sayılarındaki ani azalma sonucunda ferrit faz oranının da ani düşmesine neden olduğu ve benzer şekilde İnoculant I ve II aşılama çeşitlerinin %0.3 ilavesinde de 35 mm kesit kalınlığında maksimum ferrit fazı elde edilirken 50 mm kesit kalınlığında küre sayılarında ani azalma ve bu sebeple ferrit fazında da ani düşüşün meydana geldiği düşünülmektedir. İnoculant III ve IV aşılama çeşitlerinin %0.3 oranında ilavesinde ferrit faz oranındaki düşüşün 35 mm gözlenmesinin nedeninin kimyasal analizinde ihtiva ettiği diğer kimyasal analizlere kıyasla en yüksek Mangan ve en düşük Silisyum oranı sebebiyle perlit oluşturma kabiliyetinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

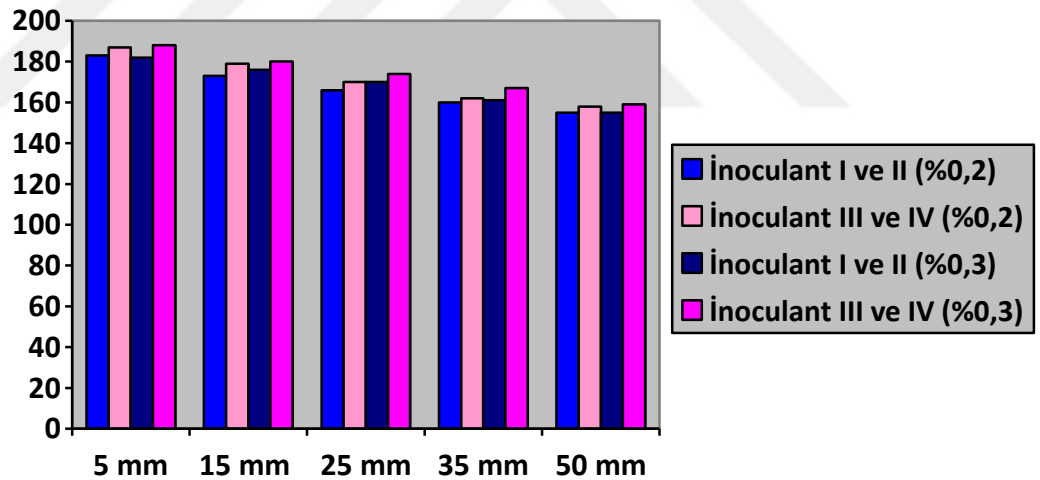
4.2. Sertlik Değerleri Sonuçları

Çizelge 4.1. %0,2 İlave Oranı ile Aşılama İle Üretilen Numune Sertlik Değerleri

	5 mm	15 mm	25 mm	35 mm	50 mm
Inoculant I Inoculant II	183 HB	173 HB	166 HB	160 HB	155 HB
Inoculant III Inoculant IV	187 HB	179 HB	170 HB	162 HB	158 HB

Çizelge 4.2. %0,3 İlave Oranı ile Aşılama İle Üretilen Numune Sertlik Değerleri

	5 mm	15 mm	25 mm	35 mm	50 mm
Inoculant I Inoculant II	182 HB	176 HB	170 HB	161 HB	155 HB
Inoculant III Inoculant IV	188 HB	180 HB	174 HB	167 HB	159 HB



Şekil 4.43. Üretilen numunelere ait sertlik değerleri

Şekil 4.43. de yapılan deneyler sonucunda elde edilen sertlik değerleri birbirleriyle kıyaslanmaktadır. Sertlik değerlerinde kesit kalınlıklarının artmasıyla birlikte azalma meydana geldiği net bir şekilde görülmektedir. En yüksek sertlik değeri İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.3 oranında ilave edildiği en ince kesit olan 5 mm’de elde edilirken en düşük sertlik değeri ise 50 mm kesit kalınlığında %0,2 oranında her iki tip aşılایıcının ilavesiyle de 155 HB olarak elde edilmiştir.

4.3. Kimyasal Analiz Sonuçları

Çizelge 4.3. %0,2 Inoculant I ve Inoculant II ile Aşılama Sonrası Kimyasal Analiz Sonuçları

Inoculant I + Inoculant II	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Mg
	3,63	2,75	0,127	0,050	0,019	0,012	0,041

Çizelge 4.4. %0,2 Inoculant III ve Inoculant IV ile Aşılama Sonrası Kimyasal Analiz Sonuçları

Inoculant III + Inoculant IV	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Mg
	3,61	2,64	0,128	0,052	0,016	0,008	0,049

Çizelge 4.5. %0,3 Aşılama ile Elde Edilen Kimyasal Analiz Sonuçları

Inoculant I + Inoculant II	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Mg
	3,64	2,63	0,127	0,049	0,017	0,009	0,048

Çizelge 4.6. %0,3 Aşılama ile Elde Edilen Kimyasal Analiz Sonuçları

Inoculant III + Inoculant IV	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Al	%Mg
	3,68	2,60	0,135	0,046	0,012	0,009	0,058

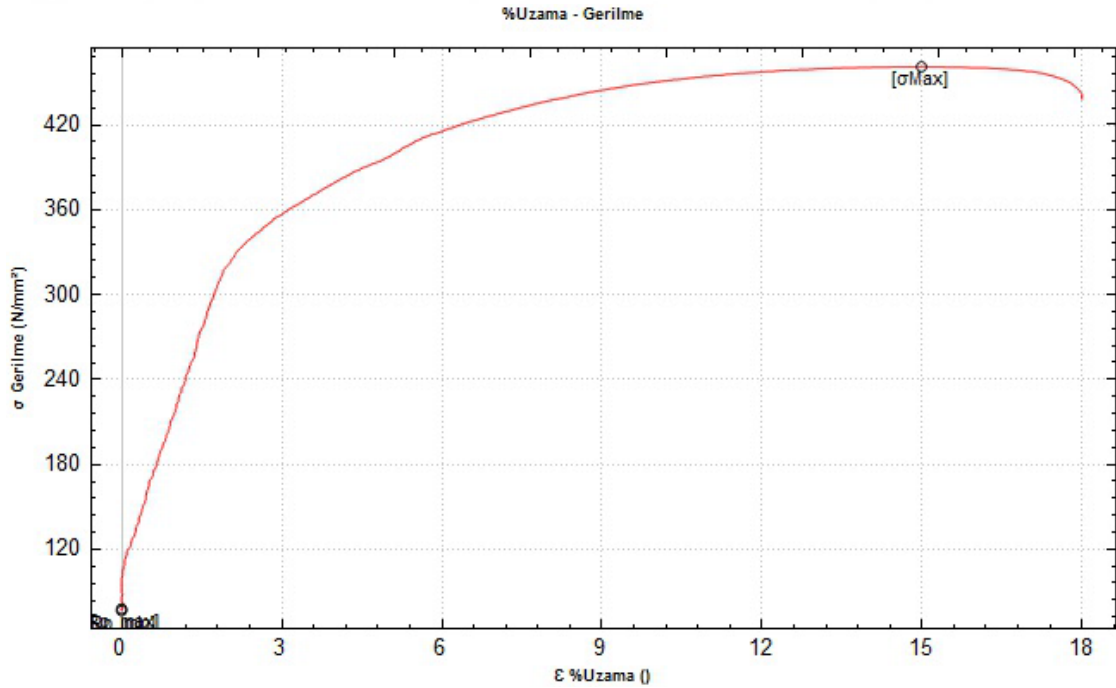
Sonuçlar birbiri ile kıyaslamaya alındığında yüksek Baryum ihtiva eden Inoculant III aşılama malzemesi ile yapılan aşılama ile alınan sonuçlarda, %0,3 kullanım oranında kükürt değerinin % 0,025’den % 0,012 değerine en fazla düşüş olduğu kimyasal analiz sonuçlarında görülmüştür. Kükürt oranındaki en az düşüş ise % 0,2 kullanım oranı ile 0,025 değerinden %0,019 değerine inen Inoculant I aşılama malzemesi kullanımında gözlenmiştir.

Çalışmada kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde kalıcı magnezyum değerleri de dikkati çekmektedir. Kükürt ile Magnezyum elementinin ilgisinden kaynaklı, kükürt oranındaki düşme ile kalıcı magnezyum değerlerinde de artış gözlenmiştir. Inoculant III aşılama malzemesi ile aşılama yapılan sıvı metallerden

alınan kimyasal analiz sonuçları %0,03 kullanımda Mg değeri %0,058 iken %0,02 kullanım oranında kalıcı Mg değeri %0,049 değerindedir. Inoculant I aşıl原因ıcı ile aşıl原因 yapılan sıvı metallerde bu durum %0,03 kullanım oranında Mg değeri 0,048 iken %0,2 kullanım oranında %0,041 değerindedir.

Bu bilgiler ışığında yüksek Kükürt içeren ham madde ile üretim esnasında, kullanılan örtü aşıl原因ıcı malzeme içerisindeki Baryum elementi ihtivası attığında, Kükürt değerinin düştüğü, aynı zamanda kalıcı Magnezyum oranının yükseldiği gözlenmiştir.

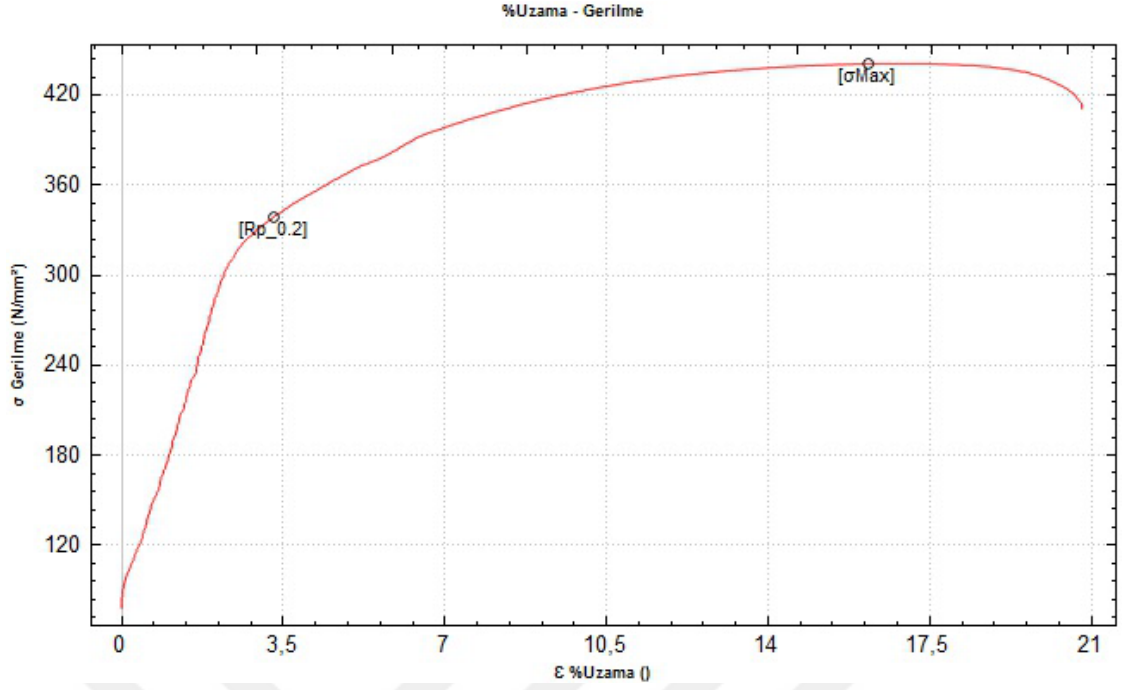
4.4. Çekme Testi Sonuçları



Şekil 4.44. %0,2 İlave Oranı ile Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu Çekme Testi Grafiği

Çizelge 4.7. %0,2 İlave Oranı ile Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu/Çekme Testi Sonucu

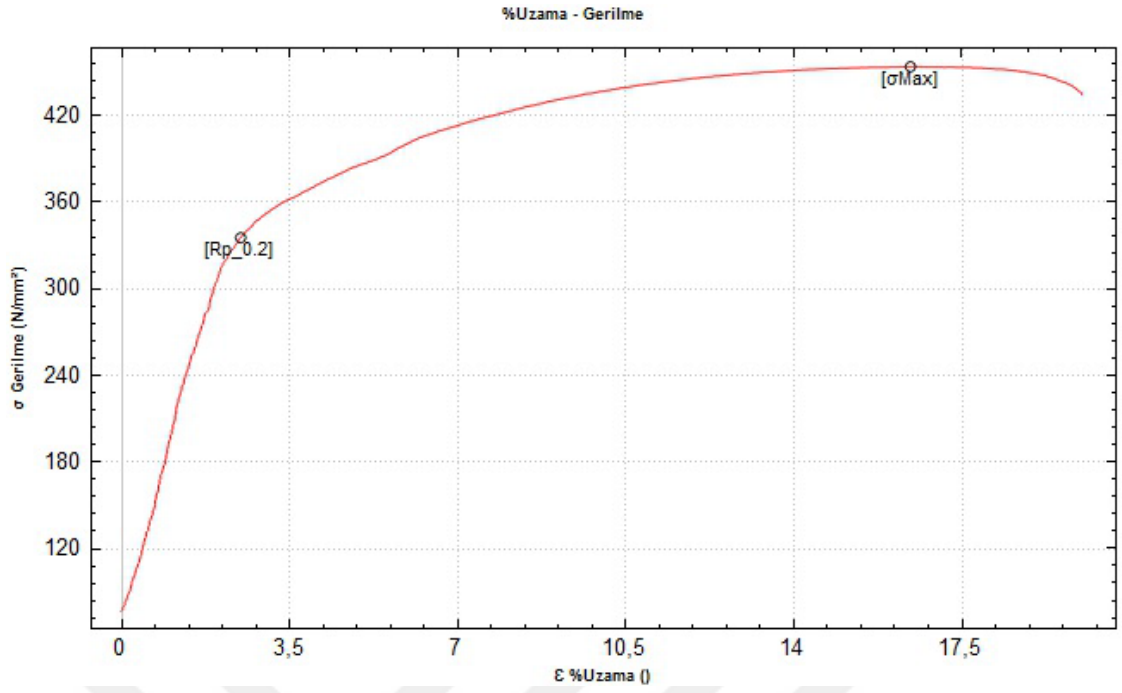
Çekme	461,05 N/mm ²
Uzama %	% 18,0
Akma Dayanımı	338,52 N/mm ²
Test Hızı	4 mm/dk



Şekil 4.45. %0,2 İlave Oranı ile Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu Çekme Testi Grafiği

Çizelge 4.7. %0,2 İlave Oranı ile Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu/Çekme Testi Sonucu

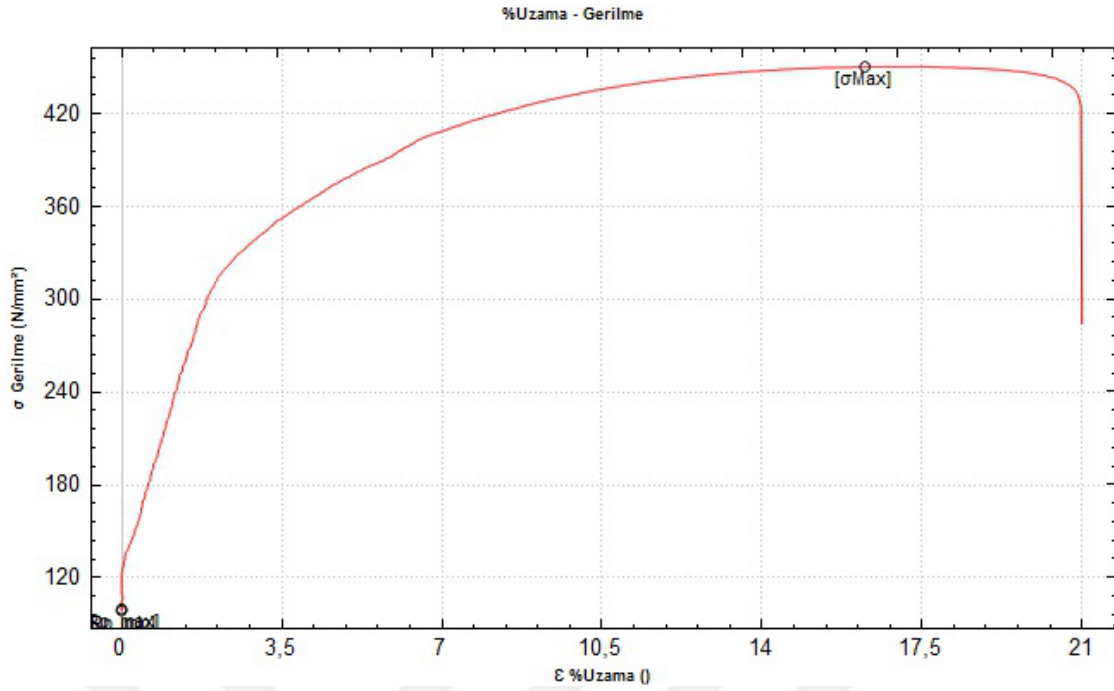
Çekme	440,78 N/mm ²
Uzama %	% 20.8
Akma Dayanımı	338,52 N/mm ²
Test Hızı	4 mm/dk



Şekil 4.46. %0,3 İlave Oranı ile Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu Çekme Testi Grafiği

Çizelge 4.7. %0,3 İlave Oranı ile Inoculant I ve Inoculant II kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu/Çekme Testi Sonucu

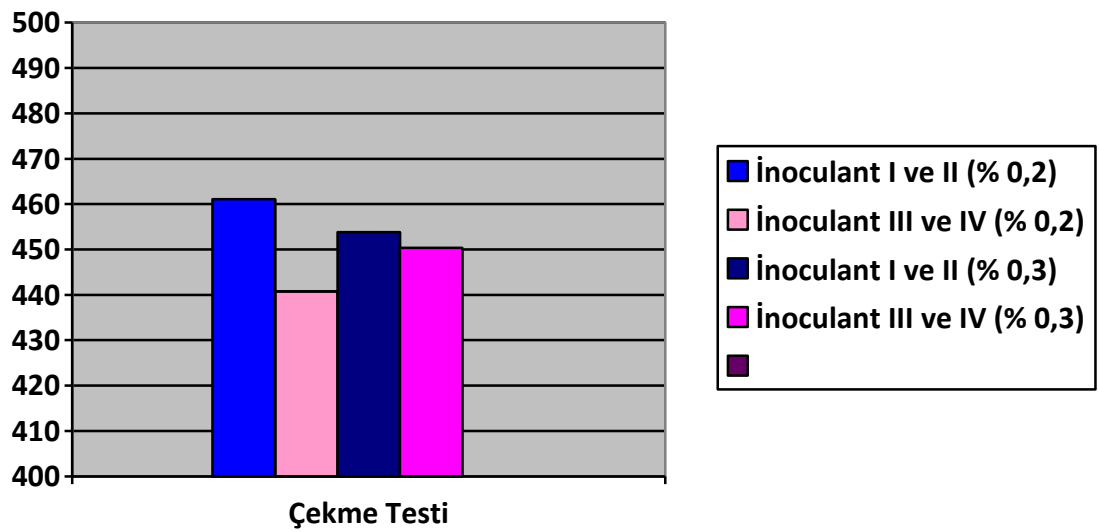
Çekme	453.81N/mm ²
Uzama %	%20.0
Akma Dayanımı	335.31N/mm ²
Test Hızı	4mm/dk



Şekil 4.47. %0,2 İlave Oranı ile Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu Çekme Testi Grafiği

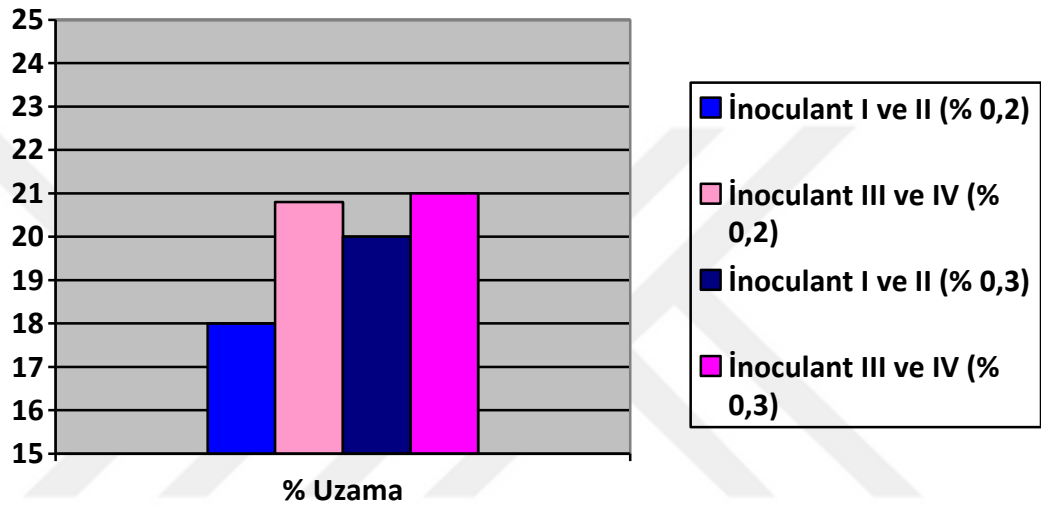
Çizelge 4.7. %0,3 İlave Oranı ile Inoculant III ve Inoculant IV kullanılarak Üretilen Çekme Çubuğu/Çekme Testi Sonucu

Çekme	450,38 N/mm ²
Uzama %	% 21,0
Akma Dayanımı	336,47 N/mm ²
Test Hızı	4 mm/dk



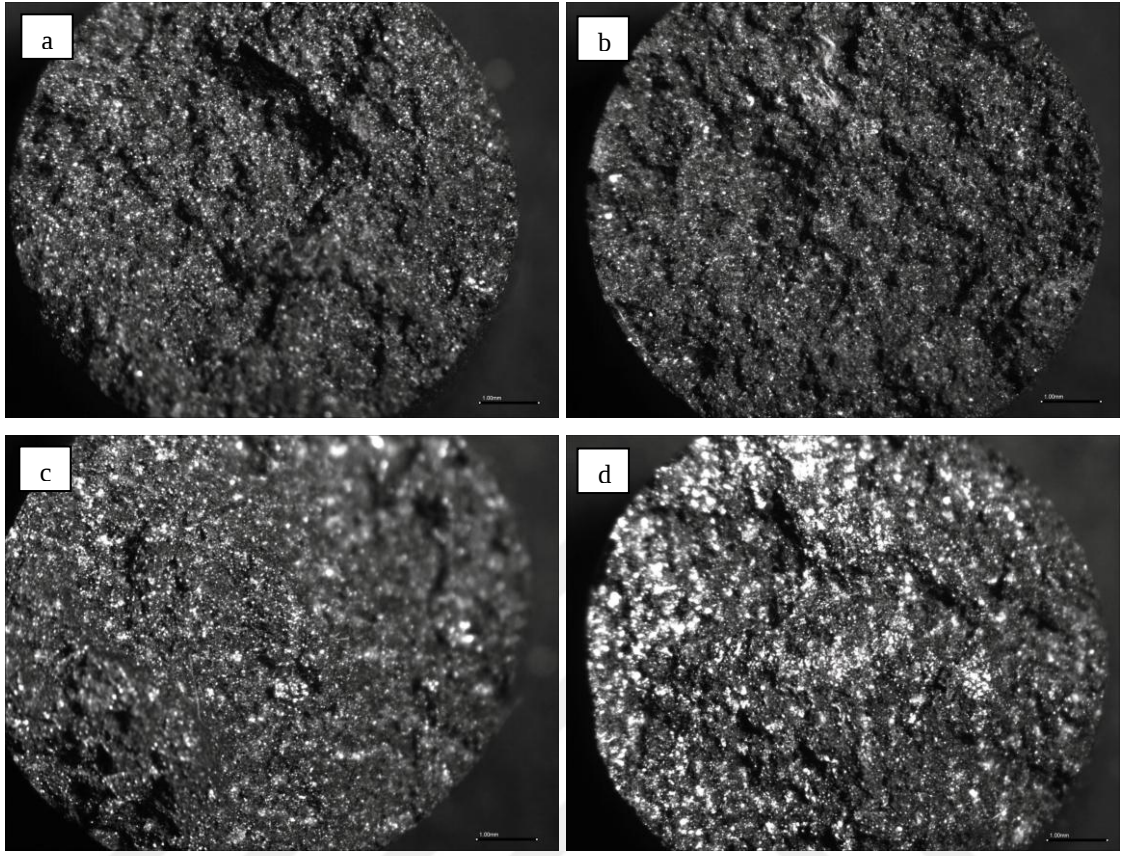
Şekil 4.48. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen çekme deneyi sonuçları

Şekil 4.48 incelendiğinde en yüksek çekme dayanımının İnoculant I ve II aşılایıcılarının alaşım içerisine %0.2 ilavesi sonucunda 461 MPa olarak elde edildiği ikinci sırada da yine İnoculant I ve II aşılایıcılarının %0.3 ilave edilmesiyle 453 MPa sonuçları tespit edilirken İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.3 ilavesiyle üçüncü en yüksek çekme dayanımı olarak 450 MPa ve en düşük çekme dayanımı İnoculant III ve IV aşılایıcılarının %0.2 ilavesinde 440 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.49. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen yüzde uzama deneyi sonuçları

4.5. Çekme Çubuğu Kırılma Yüzeyleri



Şekil 4.50. Çekme çubuğu kırılma yüzeyleri a) Inoculant I-II %0,2 b) Inoculant III-IV %0,2 c) Inoculant I-II %0,3 d) Inoculant III-IV %0,3

Çekme çubuğu kırılma yüzeyleri incelemelerinde Şekil 4.50 incelendiğinde kırılma yüzeylerinin birbiri ile benzer olduğu görüldü. Çekme testi sonuçları incelemeleri dikkate alındığında kırılma yüzeyi sonuçlarının benzer özelliklere sahip olması çekme testleri ile aynı doğrultuda olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Sertlik sonuçları değerlendirildiğinde en ince kesit kalınlığı olan 5 mm kesit kalınlığında tüm aşılama gruplarında en yüksek sertlik değerleri alınmıştır. Literatür araştırmasında da görüldüğü üzere küresel grafitli dökme demirlerin katılaşması sırasında, dar cidarlı dökümlerde tane sayılarının fazla olduğu bilinmektedir. Fazla tane sayısı ile tane sınırlarındaki artış ile birlikte mekanik mukavemet değerleri olarak ele aldığımız sertlik değerinde artış görülmektedir. Kalın kesitlere doğru yöneldiğimizde bu sertlik değerleri düşüş eğilimindedir.

Mikro yapı sonuçları incelemeleri ile birlikte değerlendirildiğinde, kalın kesitlere gidildiğinde sertlik değerlerindeki azalma küre sayılarındaki azalmalar ile sonuçlar birbirini desteklemektedir.

Küresel grafitli dökme demirlerde aşılama malzemenin mekanik değerler üzerine etkisini aynı zamanda kükürt değerleri üzerine etkisini incelediğimiz bu çalışmada, aşılama malzemelerin direkt olarak etkilerini deneysel çalışmalarda görmüş bulunmaktayız. Tercih edilen aşılama malzemesinin özelliklerinin, üretimi yapılacak olan döküm malzemenin istenilen özelliklere sahip olmasında en büyük rollerden birine sahip olduğu görülmüştür.

- Yapılan deneyler sonucunda en yüksek çekme mukavemetine Inoculant I ve II aşılama malzemelerinin %0,2 oranında kullanımı ile ulaşılmıştır.
- Inoculant III ve IV aşılama malzemelerinin kullanımı ile % 21,0 en yüksek uzama değeri elde edilmiştir.
- En yüksek sertlik değerine 188 HB Inoculant III ve IV aşılama malzemeleri ile %0,3 kullanım oranı ile 5 mm kesit kalınlığında ulaşılmıştır.
- En yüksek küre sayısına Inoculant 3 ve 4 aşılama malzemeleri kullanımı ile 5 mm kesit kalınlığında %0,3 takviye oranında mm^2 de 896 küre sayısına ulaşıldığı gözlenmiştir.
- Kükürt oranının yüksek baryumlu aşılama malzemesi olan Inoculant III de % 0,3 kullanım oranında en yüksek düşüşü %0,025 değerinden %0,012 değerine düştüğü sonucu alınmıştır.

- Kükürt oranı Inoculant 1 aşılama oranı ile %0,3 kullanım oranında % 0,025 oranından 0,017 değerine kadar düşürebilmiştir.
- Baryumlu aşılama örtü malzemesi olarak kullanımında Kükürt elementi değerlerinin düşmesinde olumlu yönde etki ettiği sonucuna varılmıştır.
- Yüksek Baryum elementi ihtiva eden aşılama oranları, kalıcı Magnezyum değerine olumlu yönde etki ettiği gözlenmiştir.
- Küre sayısındaki artış ile birlikte % uzama değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.
- Küre sayısındaki artış ile birlikte Inoculant III ve Inoculant IV aşılama malzemelerinde Çekme değerleri ve Uzama değerlerinde de artışlar gözlenmiştir.

5.2 Öneriler

- Daha yüksek aşılama kullanım oranı ve farklı kesit kalınlıklarında denemeler yapılabilir.
- İçerisinde farklı etkin element taşıyan aşılama oranları ile deneyler yapılabilir.
- Daha yüksek kükürt oranları ve farklı şarj malzeme girdileri ile çalışmalar farklı tane boyutlarına sahip aşılama oranları ile deneysel çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Baydoğan, M., 1996, " GGG 60 sınıfı küresel grafitli dökme demirde östemperleme ısıtılmasının çekme, yorulma ve aşınma özelliklerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Berns, H. ve Theisen, W., 2008, Ferrous materials: steel and cast iron, Springer Science & Business Media, p.
- Brown, J., 2000, Foseco ferrous foundryman's handbook, Butterworth-Heinemann, p.
- Bubenko, L., Konečná, R. ve Nicoletto, G. J. M. E., 2009, Observation of fatigue crack paths in nodular cast iron and ADI microstructures, 16 (3), 13.
- Cantekinler, A., 2008, Ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kaynak gücünün mekanik özelliklere etkilerinin araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Çelik, Ö., 2001, Küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışları, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- ÇETİN, A., 2016, Küresel Grafitli Dökme Demir, *El Kitabı*, 2.
- David, J. ve Irons, C. J. M. P., OH, 1996, ASM Specialty Handbook, ASM Inter.
- Demirlek, M., 2013, Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüksek Çevrimli Yorulma Davranışına Silisyum Oranının Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Doepp, R., Schwenkel, S. J. M. S. ve A, E., 2005, Contribution to the influence of chemical composition and cooling conditions on the eutectic solidification range of Fe–C–X-melts, 413, 334-338.
- Guzik, E. J. A. o. F. E., 2008, Analysis of quality and cost of Fe Si Mg treatment master alloy vs. cored wire in production of ductile cast iron, 8 (2), 45-48.
- GÜZEL, E., DALI, M. V. M. M. A. ve EKERİM, D. A., RÜZGAR TÜRBİNİ DÖKÜMLERİNDE HASSAS METALÜRJİK DEĞİŞKENLERİN OPTİMİZASYONU.
- HAMPL, J. ve VÁLEK, T., METALLURGICAL PROCESSING OF CAST IRONS AND OXYGEN ACTIVITY.
- Handbook, A., 2008, ASM Handbook, Vol. 15 Casting., ASM International, The Materials International Company, p.
- Handbook, A. M., 1990, Properties and selection: irons, steels and high performance alloys, Vol.1, Tenth Edition, ASM International., p.
- Henning, W. A. ve Mercer, J., 1992, Ductile Iron Handbook, Ed. AFS, Des Plaines, USA.
- İZGİZ, S., 1988, Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimi, Yolluk Besleyici Tasarımı Isıl İşlem ve Özellikleri, p.
- Karaman, S., 2011, Küresel grafitli dökme demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) üretim sürecinin ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Karsay, S. I., 1976, Ductile Iron: I. Production, Quebec Iron and Titanium Corporation, p.
- Kökden, M. U., 1998, Ggg 50 Ve Ggg 80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Abrasiv Aşınma Davranışına Östemperleme İşleminin Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Kuş, H., 2007, Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin aşınma davranışı, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Mampaey, F. ve Beghyn, K. J. T.-A. F. S., 2006, Oxygen activity in cast iron measured in induction furnace at variable temperature, 114, 637.

- Maschke, W. ve Jonuleit, M. J. T. R. A., ASK Chemicals LP, Dublin, Ohio, USA, 2010, Inoculation of Cast Iron.
- Mittal, R. ve Nanda, S., 2010, Property enhancement of spheroidal graphite cast iron by heat treatment.
- Morrogh, H. J. N.-C., Iron, C.-C. A. J. ve Inst, S., 1947, WJ'Williams: Graphite Formation in Cast Irons and in, 155, 322-369.
- Pedersen, K. M., Tiedje, N. J. M. S. ve A, E., 2005, Nucleation and solidification of thin walled ductile iron—Experiments and numerical simulation, 413, 358-362.
- Schumann, H. M. ve Kristallgeometrie, V., 1974, Deutscher Verlag fuer Grundstoffindustrie: Leipzig, Germany.
- Stefanescu, D. M. J. A. I., Metals Handbook. Tenth Edition., 1990, Classification and basic metallurgy of cast iron, 1, 3-11.
- Uzunova, T. J. B. M. D., KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR, 6 (4), 240-245.
- W. Maschke, M. J., 2014, Dipl.-Ing. W. Maschke, Application Technology and Dr. M. Jonuleit, Head of Application Technology - ASK Chemicals Metallurgy GmbH, Unterneukirchen, Almanya.
- Yılmaz, F., 2003, İçme-atık su ve gaz dağıtım şebekelerinde dökme demirler ve düktil demir uygulamaları, İSKİ, p.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah AYDOĞUŞ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar
Telefon : 0.505.557 5163
Faks :
e-mail : a_aydogus@windowslive.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Afyon Lisesi / Merkez / AFYONKARAHİSAR	2004
Üniversite	: Gazi Üniversitesi / Beşevler / ANKARA	2012
Yüksek Lisans :		
Doktora :		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-	MRT DÖKÜM MALZEMELERİ	Satış Müdürü
2012-2014	KONYA METALURJİ	Üretim Müdürü
2011-2012	Özdemirler Çelik Döküm	Üretim Şefi

UZMANLIK ALANI

Dökme Demirler, Çelik Döküm , Demir-Çelik Döküm Ham Maddeleri/Üretim Yöntemleri

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR