



Konferans Bildirisi

Yüksek Uzamalı Dökme Demirin (EN-GSJ-400-18) Uygun Üretim Şartlarının Araştırılması

Zafer Ay ¹, Fatih Apaydın^{2*}

¹ Demişas Döküm Emaye Mamulleri San. A.Ş., Orcid ID: <https://orcid.org/0009-0004-2511-1863>, e-mail: ay.zafer@gmail.com

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Müh., Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-6905-7465>, e-mail: fatih.apaydin@bilecik.edu.tr

* Sorumlu Yazar: fatih.apaydin@bilecik.edu.tr; +905444155283

(First received October 12, 2023 and in final form December 19 2023)

3rd International Conference on Design, Research and Development
(RDCONF 2023)
December 13 - 15, 2023

Reference: Ay, Z., Apaydın, F. Yüksek Uzamalı Dökme Demirin (EN-GSJ-400-18) Uygun Üretim Şartlarının Araştırılması. Orclever Proceedings of Research and Development, 3(1), 158-170.

Özet

EN-GJS-400-18 küresel dökme demir malzemeler yüksek mukavemet, süneklik, tokluk özelliklerinin yanında düşük ergime noktası, iyi akışkanlık ve iyi işlenebilirlik özelliklerinden dolayı otomotiv, inşaat, madencilik, metalurji ve makine imalat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Seri üretim şartlarında her zaman aynı standartta üretim yapmanın çeşitli zorlukları vardır. Aynı saflıkta hammaddelerin bulunamaması bu zorlukların en önemlisidir. Bu çalışmada dökümhanelerde seri üretim pratiği açısından üretilmesi zor olan EN-GJS-400-18 sfero döküm malzemesinin seri şartlara uygun olarak üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ağırlıkça % Si ve karbür yapıcı elementlerden Cu ve Mo'nun ve döküm malzemesi çapının EN-GJS-400-18 küresel grafitli dökme demirin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda en fazla uzamanın %22,38 değeriyle içeriği %Si:3,10, %Mo:0,001, %Cu:0,03 olan 20 mm çaplı numune elde edildiği görülmüştür. Bu malzemedeki mikroyapıdaki minimum ferrit oranının %80 ve mm2deki nodül sayısının 600 adetlerde olmasının üstün mekanik özellikler ortaya koyacağı tespit edilmiştir.

Anahtar: Küresel grafitli dökme demir, KGDD, EN-GJS-400-18



Conference Article

Investigation of Suitable Production Conditions of High Extension Cast Iron (EN-GJS-400-18)

Abstract

EN-GJS-400-18 spherical cast iron materials are widely used in the automotive, construction, mining, metallurgy, and machinery manufacturing sectors due to their high strength, ductility, toughness, low melting point, good fluidity, and good machinability properties. There are various difficulties in always producing at the same standard under mass production conditions. The most important of these difficulties is the lack of availability of raw materials of the same purity. In this study, it is aimed to produce EN-GJS-400-18 ductile iron material, which is difficult to produce in terms of mass production practice in foundries, in accordance with serial conditions. For this purpose, the effects of Si, carbide-forming elements Cu and Mo, and casting material diameter on the microstructure and mechanical properties of EN-GJS-400-18 spherical graphite cast iron were examined. As a result of the experiments, it was seen that the 20 mm diameter sample with the content of %Si:3.10, %Mo:0.001, %Cu:0.03 was obtained with the highest elongation value of 22.38%. It has been determined that the minimum ferrite ratio in the microstructure of this material is 80% and the number of nodules per mm² is 600, which will reveal superior mechanical properties.

Keywords: Nodular graphite cast iron, GGG, EN-GJS-400-18



1. Giriş

Döküm içerisindeki grafitin dağılımına ve cinsine göre dökme demirler lamel grafitli, silindirik (vermiküler) grafitli, küresel (sfero) grafitli, beyaz ve gri temper dökme demir gibi gruplara ayrılır [1]. İlk olarak 1948 yılında British Cast Iron Research Association (BCIRA) ve International Nickel Company (INCO) tarafından birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiş olan küresel grafitli dökme demirler (KGDD) günümüzde dünyada toplam 98,6 milyon tonluk döküm üretiminin %26,5'ini oluşturmaktadır [2]. Çeliklerde olduğu gibi yüksek mukavemet, süneklik ve tokluk özelliklerinin yanında düşük ergime noktası, iyi akışkanlık ve iyi işlenebilirlik özelliklerine sahip olması bu malzemeyi 75 yılda bu kadar önemli bir malzeme grubu yapmıştır [1]. Sfero, nodüler ve sünek dökme demirler olarak da bilinen küresel grafitli dökme demirler otomotiv, mimari, madencilik, rüzgâr enerjisi tribünleri, metalurji ve makine imalat sektöründe yaygın olarak kullanılırlar [3].

Küresel grafitli dökme demirler, yaklaşık olarak %3,4-3,9 oranında karbon ve %1,8-3,1 oranında da silisyum içermektedir. Katılaşma sırasında grafitlerin küresel formda olmasını Mg ve Ce ilavesi sağlamaktadır [4]. Küresel grafitli dökme demirlerin ülkemizde sınıflandırılması genellikle TS EN 1563 ve TS EN 1564 standardına göre yapılmaktadır. İlk çıkan küresel grafitli dökme demirler genellikle birinci nesil olarak adlandırılmaktadır. Bu birinci nesil olarak ifade edilen KGDD'ler %2-3 arasında silisyum içermekte olup malzemenin sertlik, dayanım ve uzama gibi mekanik özelliklerini yapıda bulunan ferrit ve perlit oranları düzenlenmektedir. TS EN 1563'e küresel grafitli dökme demirler mikroyapı ve mekanik özelliklerine göre sınıflandırılır. Örneğin çalışmamızda kullandığımız EN-GJS-400-18 malzemedeki "GJS" malzemenin küresel dökme demir olduğunu, beklenen minimum çekme mukavemetinin 400 Mpa, minimum %uzamanın 18 olduğunu ifade eder. Birinci nesil küresel dökme demirlerde yapıdaki perlit miktarı sadece kimyasal kompozisyonundan değil aynı zamanda soğuma hızından da etkilenmektedir. Farklı kesit kalınlıklarına sahip bir döküm parçasının soğuma hızlarının eşit olmamasından dolayı matris yapıda homojen olmayan yapılar istenilen nihai mekanik özelliklerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için 20. yüzyılın sonlarında ikinci nesil olarak ifade edebileceğimiz katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demir (solid solution strengthened ferritic ductile iron, SSF) olarak adlandırılan yeni sfero türü, hem TS EN 1563 standardında, hem de östemperlenmiş sfero dökme demir (austempered ductile iron, ADI) TS EN 1564 standardında tanımlandı. Bu ikinci nesil küresel grafitli dökme demirde tamamen



ferritik olan yapı süneklik sağlarken katı çözelti sertleşmesi (solid solution strengthening) adını verdiğimiz mekanizma ise yüksek mukavemet değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. İkinci nesil dökme demirler içerdikleri yüksek silisyum nedeniyle, benzer seviyede uzama sergileyen birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla daha yüksek dayanım değerlerine sahip olabiliyorlar. Katı çözelti sertleşmesi, dökülen parçanın akma dayanımının da artmasına yol açıyor. Bu dökme demirlerde bulunan yüksek silisyum nedeniyle, karbür oluşma eğiliminin de önemli ölçüde azaldığını görüyoruz. Yüksek silisyum miktarının sağladığı bir diğer avantaj ise, ötektoid dönüşüm sıcaklığını yukarı çekmesidir. Bunun doğal sonucu olarak bu malzemeden üretilen parçaların yüksek sıcaklıkta çalışma performanslarında artış sağlanmaktadır [5].

KGDD malzemeler ile ilgili güncel araştırma konuları yeni alaşımların geliştirilmesi [6]–[9], döküm esnasında akışkanlık özelliklerinin iyileştirilmesi[10], zayıf olan korozyon direncinin iyileştirilmesi, işlenebilirlik[3], [11] ve küresel grafitli dökme demirlerin ısı işleme[1], [2], [4], [9], [12], [13] üzerinedir.

Bu çalışmada dökümhanelerde seri üretim pratiği açısından üretilmesi zor olan EN-GJS-400-18 sfero döküm malzemesinin seri şartlara uygun olarak üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ağırlıkça % Si ve karbür yapıcı elementlerden Cu ve Mo’nun ve döküm malzemesi çapının EN-GJS-400-18 küresel grafitli dökme demirin mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada değişik kesitlerde (Yuvarlak: Ø20-25-30 mm) deneme kalıpları ile çalışılmıştır. Ağırlıkça %Si ve karbür yapıcı elementlerden Cu ve Mo’nun EN-GJS-400-18 küresel dökme demirinin %uzama, çekme mukavemeti ve %ferrit oranına etkisi incelenmiştir.

2.1.Şarjın Hazırlanması

Tablo 2.1’de belirtilen standart TS-EN-GJS-400-18 alaşımı oluşturmak için ağırlıkça %50 Brezilya Piki (Tablo 2.2) ve %50 çelik hurdası (Tablo 2.3) kullanılmıştır. Her bir şarja Tablo 2.4’te özellikleri belirtilen ağırlıkça %0,2 VP216 aşılایıcı katılmıştır. Küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine ve mikroyapısına Si, Mo ve Cu’nun etkisini incelemek amacıyla ağırlıkça %Si (2,90-2,95-3,00-3,05,3,10), % Mo (0,001-0,002-0,003-0,004-0,005) ve %Cu (0,03-0,06-0,09) miktarının her seferinde bir elementin miktarı değiştirilerek 75 farklı şarj hazırlanmıştır. Her bir şarj 6000 kg olarak hazırlanmıştır.



Tablo 2.1: TS-EN-GJS-400-18 alaşımının kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ti	Mo	Mg	Al	Ce	Ni	V
350-3,60	Min. 2,60	0,15 max.	0,02 max.	Min 0,04 0,007 max	0,035 max	0,06 max	0,001 max	0,003 max	0,38	0,015	0,002	0,003	0,004 max

Tablo 2. 2. Brezilya Piki kimyasal analizi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ti	Mo	Sn	Mg	Al	Ni	W	Pb
4,370	0,550	0,058	0,048	0,023	0,011	0,010	0,010	0,001	0,001	0,010	0,001	0,027	0,002	0,001

Tablo 2. 3. Sfero lama elik hurdası kimyasal analizi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ti	Mo	Sn
0,074	0,014	0,211	0,011	0,013	0,036	0,059	0,009	0,004	0,006
Al	Ce	Ni	Zn	Zr	B	W	Pb	Sb	
0,047	0,160	0,037	0,013	0,010	0,000	0,005	0,006	0,066	

Tablo 2. 4 Aşılayıcı kimyasal analizi

Aşı Adı	% Silikon	% Alüminyum	% Kalsiyum
VP216	70	3,4	0,8

2.2.Döküm Kumu ve Kalıbının Hazırlanması

Otomatik kum hazırlama mikseri ile Tablo 2.5'te belirtilen oranlara göre kömür tozu, bentonit, silis kumu ve su katılarak döküm kumu hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan döküm kumunun fiziksel ve kimyasal özellikleri test edilmiş olup bu sonuçlar Tablo 2.6'da belirtilmiştir.

Tablo 2.5. Döküm kumu karışım oranları

Malzeme	Miktar (kg)
Eski kum	2.000
Yeni kum	30
Kömür tozu	6
Bentonit	30
Su	Karışımın kompaktibilitesine bakılarak otomatik olarak veriliyor.



Tablo 2.6. Döküm kumundan elde edilen özellikler

Kompaktibilite	%38
Yaş Basma Mukavemeti	1950 gr/cm ²
Yaş Çekme Mukavemeti	0,35 psi
Tane Boyutu	69 AFS
Nem	%2,80
Geçirgenlik	%90
Aktif Bentonit	%8,5
Aktif Kil	%15
Yanma Kaybı	%6
Kil	%1
Elek	3-4

Çapı 20-25-30 mm yüksekliği 100 mm olan döküm modelleri hazırlamıştır. Sonrasında bu modellere göre hazırlanan kum kalıplara döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.3.Ergitme ve Döküm

Hazırlanan şarjlar 6 ton kapasiteli orta frekanslı indüksiyon ocaklarında 60 dk da ergitilmiştir. 1500-1520 °C sıcaklıktaki ergimiş metal sonrasında 1 tonluk tretman potasında Mg ile küreselleştirme işlemine tabi tutulmuş ve dökülen tüm şarjlar sabit 1410°C’de kalıplara dökülmüştür. Dökülen ürünler oda sıcaklığında soğutulmuştur.

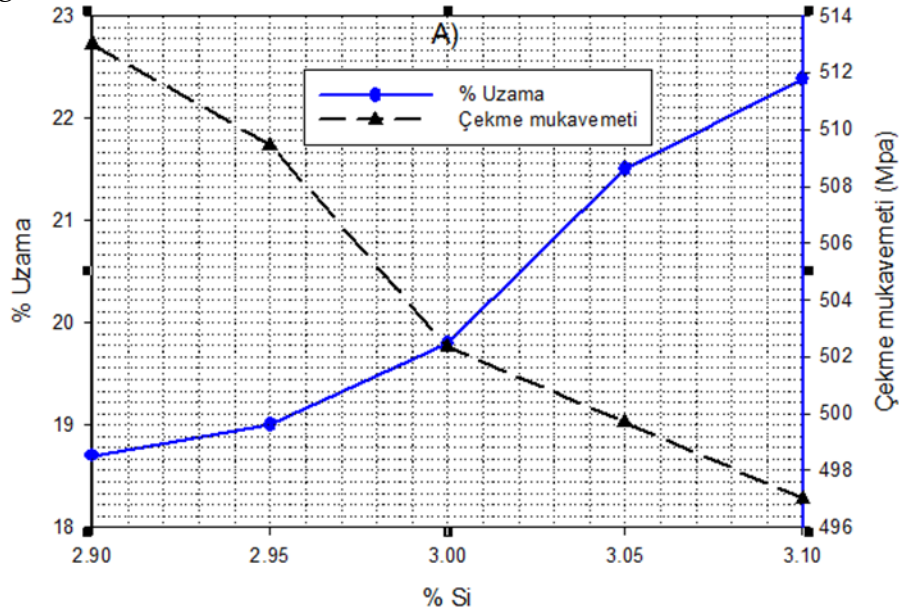
2.4.Test ve Ölçümler

Elde edilen döküm ürünlerinin kimyasal analizleri OBLF marka optik emisyon spektrometre ile ölçülmüştür. Metalografik numune parlatma sonrasında numunelerin mikroyapıları ilk olarak dağlamasız olarak Nikon marka optik mikroskop ile incelemiştir. Bu görüntüleme ile küresel grafit oranı ve küresellik dereceleri saptanmıştır. Daha sonra %2 nital ile dağlanmış bu numunelerin ferrit/perlit oranları Clemex Captiva Görüntü Analiz Yazılımı ile ölçülmüştür. Çekme mukavemeti ölçümünden önce tüm numunelerin boşluk kontrolü Yxlon marka X-Ray cihazı ile kontrol edilmiştir. Numunelerin % uzama ve çekme mukavemeti değerleri Zwick marka çekme cihazı ile DIN EN 10002-1 standardına göre gerçekleştirilmiştir.

3. Sonuçlar

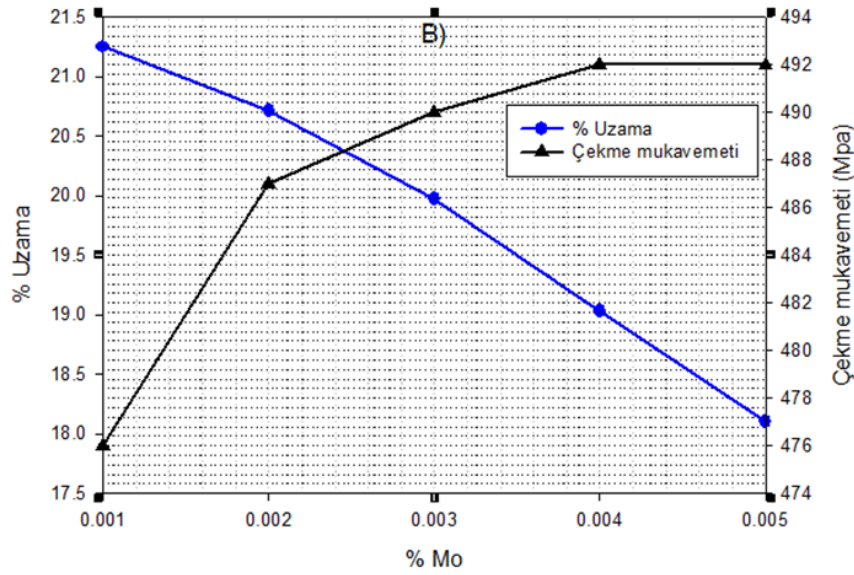
3.1. Alaşım Elementlerinin KGDD'in Mekanik Özelliklerine Etkisi

Si'nin küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Mo miktarı %0,001 ve Cu miktarı %0,06 sabit alınmış olup Si miktarı ise %2,90 ile %3,10 arasında değiştirilmiştir. Döküm sonrasında numunelerin iç yapısında boşluk olup olmadığı X-ray cihazı ile kontrol edilmiş olup tamamen boşluksuz numunelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Si miktarının %2,90'dan %3,10'a artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin % uzamasını %18,7'den %22,38'e çıkardığı çekme mukavemetini ise 513 MPa'dan 497 MPa'ya düşürdüğü gözlemlenmiştir.



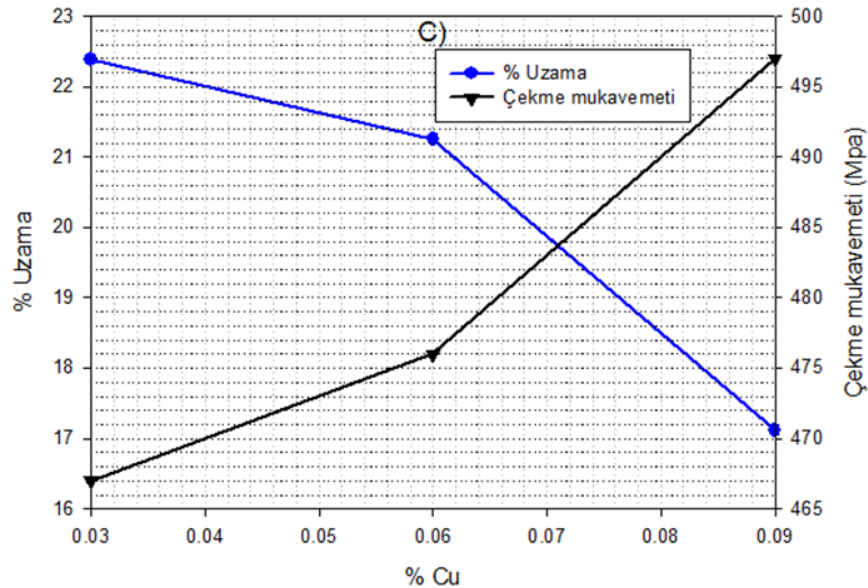
Şekil 3.1. Si'nin küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi

Mo'nun küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Si miktarı %3,10 ve Cu miktarı %0,06 sabit alınmış olup Mo miktarı ise %0,001 ile %0,005 arasında değiştirilmiştir. Döküm sonrasında numunelerin iç yapısında boşluk olup olmadığı X-ray cihazı ile kontrol edilmiş olup tamamen boşluksuz numunelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mo miktarının %0,001'den %0,005'e artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin % uzamasını %21,25'ten %18,10'a düşürdüğü çekme mukavemetini ise 476 MPa'dan 492 MPa'ya artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.2. Mo'nun küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi

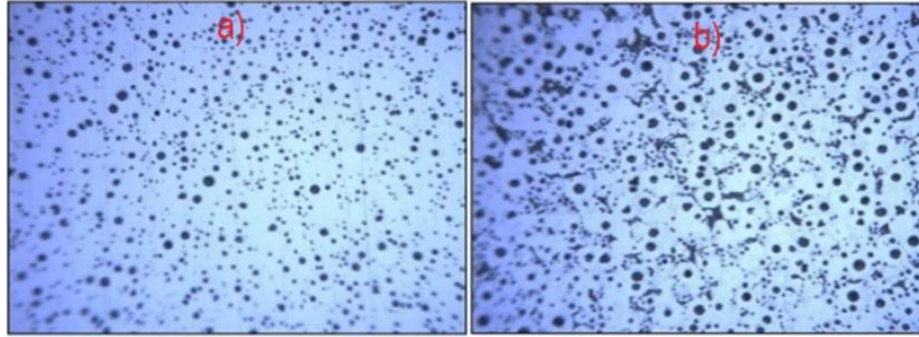
Cu'nun küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Si miktarı %3,10 ve Mo miktarı %0,001 sabit alınmış olup Cu miktarı ise %0,03 ile %0,09 arasında değiştirilmiştir. Döküm sonrasında numunelerin iç yapısında boşluk olup olmadığı X-ray cihazı ile kontrol edilmiş olup tamamen boşluksuz numunelerin ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Cu miktarının %0,03'den %0,09'a artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin % uzamasını %22,38'den %17,12'a düşürdüğü çekme mukavemetini ise 467 MPa'dan 497 MPa'ya artırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3. Cu'nun küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi

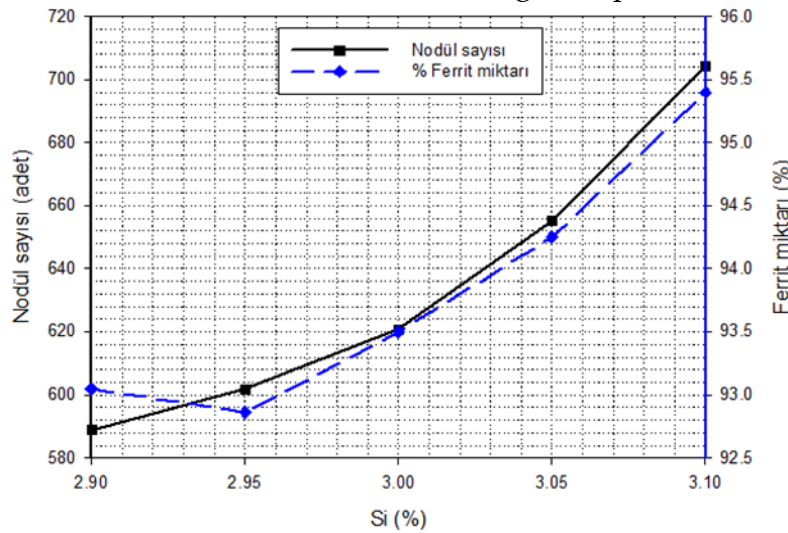
3.2. Alaşım Elementlerinin Küresel Grafitli Dökme Demirin Mikroyapısına Etkisi

Elde edilen döküm numunelerin mikroyapıları metalografik numune hazırlama sonrasında dağlamalı ve dağlamasız olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Dağlamasız görüntüleme ile nodül sayısı saptanırken, %2 nital ile dağlanmış numunelerin ise ferrit oranları Clemex Captiva Görüntü Analiz Yazılımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.4). Alaşım elementlerinden Si, Mo ve Cu'nun TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin nodül sayısı ve % ferrit miktarına etkisi Şekil 3.5- Şekil 3.7 'de gösterilmiştir.



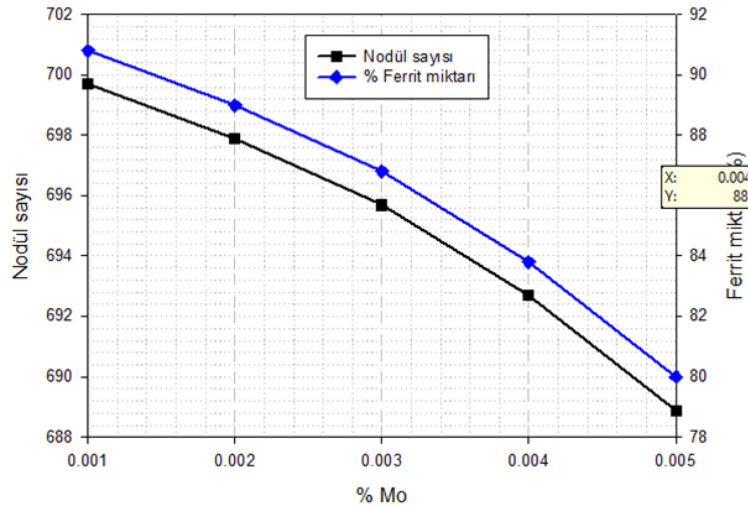
Şekil 3.4. Nodül sayısı ve % ferrit miktarının hesaplanmasında kullanılan temsili mikroyapı (a: dağlamasız nodül sayısı 612, b: %2 nital ile dağlanmış ferrit oranı %84,90)

Si'nin küresel grafitli dökme demirin mikroyapısına etkisi Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Mo miktarı %0,001 ve Cu miktarı %0,06 sabit alınmış olup Si miktarı ise %2,90 ile %3,10 arasında değiştirilmiştir. Si miktarının %2,90'dan %3,10'a artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin nodül sayısının 588,88'den 704,29'a çıktığı, ferrit miktarının ise %93,05'ten %95,10'a arttığı hesap edilmiştir.



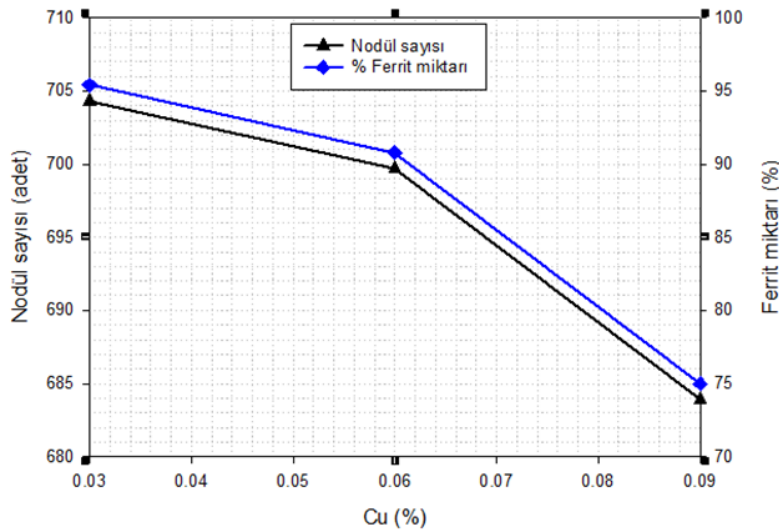
Şekil 3.5. Si'nin küresel grafitli dökme demirin mikroyapısal özelliklerine etkisi

Mo'nun küresel grafitli dökme demirin mikroyapısına etkisi Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Si miktarı %3,1 ve Cu miktarı %0,06 sabit alınmış olup Mo miktarı ise %0,001 ile %0,005 arasında değiştirilmiştir. Mo miktarının %0,001'den %0,005'e artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin nodül sayısının 699,69'dan 688,89'a düştüğü ferrit miktarının ise %90,8'den %80'e düştüğü hesap edilmiştir.



Şekil 3.6. Mo'nun küresel grafitli dökme demirin mikroyapısal özelliklerine etkisi

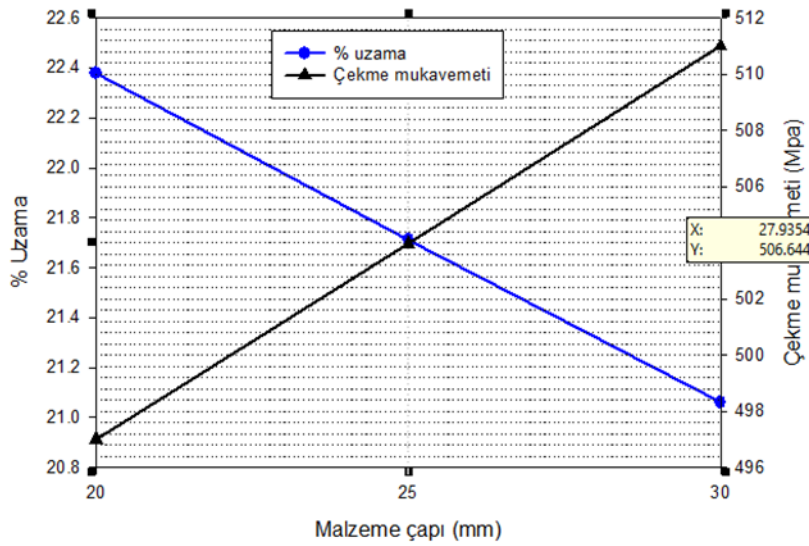
Cu'nun küresel grafitli dökme demirin mikroyapısına etkisi Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu grafikte döküm kalıp çapı 20 mm, Si miktarı %3,1 ve Mo miktarı %0,001 sabit alınmış olup Cu miktarı ise %0,03 ile %0,09 arasında değiştirilmiştir. Cu miktarının %0,03'ten %0,09'a artmasının TS-EN-GJS-400-18 malzemesinin nodül sayısının 704,29'dan 683,89'a düştüğü ferrit miktarının ise %95,4'ten %75'e düştüğü hesap edilmiştir.



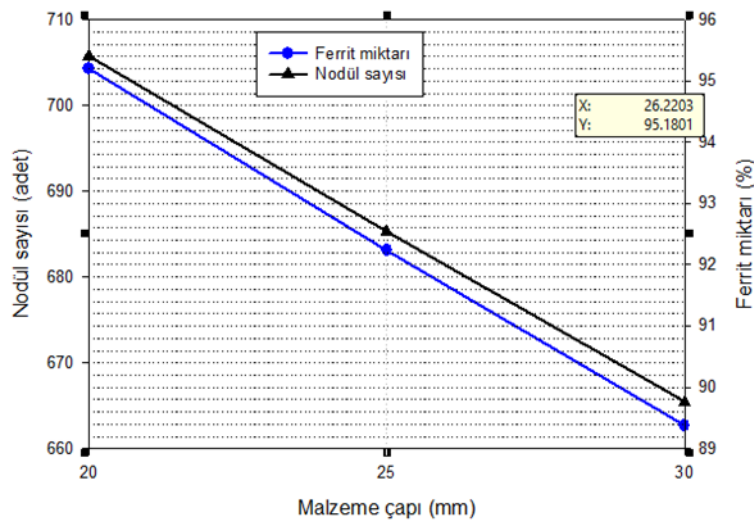
Şekil 3.7. Cu'nun küresel grafitli dökme demirin mikroyapısal özelliklerine etkisi

3.3. Malzeme Çapının KGDD'in mekanik ve mikroyapısal özelliklerine etkisi

Çapı 20-25-30 mm olan kalıplara dökülmüş %3,10 Si, %0,001 Mo ve %0,06 Cu içeriğine sahip numunelerin mekanik özellikleri Şekil 3.8, mikroyapısal özellikleri de Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Malzeme çapının 20 mm'den 30 mm'ye doğru artmasıyla % uzama 22,38'den 21,06'ya düşerken çekme mukavemeti 497 Mpa'dan 511 Mpa'ya artmıştır. Aynı şekilde malzeme çapının artmasıyla modül sayısı 704,29'dan 662,67'ye düşerken % ferrit miktarı 95,40'dan 89,76'ya düşmüştür.



Şekil 3.8. Malzeme çapının küresel grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine etkisi



Şekil 3.9. Malzeme çapının küresel grafitli dökme demirin mikroyapısal özelliklerine etkisi

4. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.



- Kimyasal kompozisyonda Si değerinin %3,10 değerini aşmayacak şekilde kontrol altında tutulması gerektiği,
- Karbür yapıcılardan tespit edilen etken elementlerden; Cu: %0,006, Mo: %0,001–0,005 azami aralığında mümkün olan en düşük değerlerinde de kontrol altında tutulması gerektiği,
- Mikroyapıdaki % ferrit oranının minimum %80 olması gerektiği görülmektedir.
- 400-18 mekanik özelliklerinde üretim için; mm²'deki nodül sayısının da min. 600'lerde olmasının daha iyi olacağı grafiklerden görülmektedir.

5. Teşekkür

Deneylerin gerçekleştirilmesinde verdikleri desteklerden dolayı 1Demişas Döküm Emaye Mamulleri Sanayi A.Ş'ye teşekkür ederiz.

Referanslar

- [1] E. Sevgi, "Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Isıl İşlem Şartlarının Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi," 2019.
- [2] B. Ateş, "Katı Çözelti Sertleşmesinin Küresel Grafitli Dökme Demirin Dönel Eğme Yorulma Davranışına Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
- [3] M. Çelikbilek, "EN-JS1020 Küresel Grafitli Dökme Demirin Delme İşleminde Yüzey Pürüzlülüğünün İstatistiksel Değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2015.
- [4] E. Öztürk, "Östemperleme Sıcaklığının Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi," Yüksek Lisans, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya, 2019.
- [5] A. Çetin, Katı Çözeltiyle Güçlendirilmiş Ferritik Sfero Dökme Demirler, 3rd ed. 2016.
- [6] E. Karadeniz, M. Çolak, and F. Barutçu, "GGG-60 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR ÜRETİMİNDE AŞILAYICI TÜRÜ VE MİKTARININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ," 2017.
- [7] K. A. Jafar and A. A. Behnam, "Influence of Mold Preheating and Silicon Content on Microstructure and Casting Properties of Ductile Iron in Permanent Mold," Journal of Iron and Steel Research International, vol. 18, no. 3, pp. 34–39, 2011, doi: 10.1016/S1006-706X(11)60034-4.
- [8] İ. Karaca, "Küresel grafitli dökme demirlerin üretiminde metalurjik silisyum karbür ve ferro silis katkılarının malzeme üzerindeki etkilerinin araştırılması," Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>



- [9] M. A. Yalçın, "Optimization of Alloying and Heat Treatment Process Parameters of Austempered Ductile Iron (ADI) Casting," Degree of Master of Science, Atılım University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 2019.
- [10] M. Çoşar, "Küresel grafitli dökme demir dökümünde dolum hızı, döküm sıcaklığı ve metalurji kalitesinin farklı kesit kalıkları üzerinde akıcılık özelliklerine etkisinin incelenmesi," Gümüşhane Üniversitesi, 2022. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>
- [11] M. Pascual, J. Cembrero, F. Salas, and M. Pascual Martínez, "Analysis of the weldability of ductile iron," 2007, doi: 10.1016/j.matlet.2007.08.070.
- [12] C. Hartung, R. Logan, A. Plowman, D. Wilkinson, E. G. Hoel, and E. Ott, "Research on Solution Strengthened Ferritic Ductile Iron (SSFDI) Structure and Properties Using Different Treatment and Inoculation Materials," International Journal of Metalcasting, vol. 14, no. 4, pp. 1195–1209, 2020, doi: 10.1007/s40962-020-00469-4.
- [13] F. İlçin, "Molibden ve nikel içeren küresel grafitli dökme demirlerde östemperleme ısıtma işlemi ile mekanik özelliklerindeki değişimin araştırılması," Konya Teknik Üniversitesi, 2022.