

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

**KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN
(GGG40, GGG50, GGG60,GGG70) ÜRETİM SÜRECİNİN VE
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Serhan KARAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: Yrd. Doç. Dr. Cem S. ÇETİNARSLAN

EDİRNE-2011

EDİRNE

T. C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

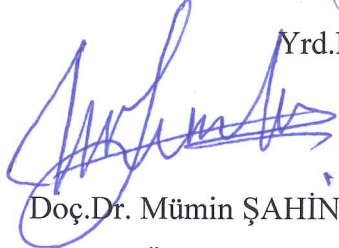
KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) ÜRETİM
SÜRECİNİN VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ


SERHAN KARAMAN


YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu Tez 23/08/2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.


Doç.Dr. Mümin ŞAHİN
(Üye)


Yrd.Doç.Dr. Cem S. ÇETİNARSLAN
(Danışman)


Yrd.Doç.Dr. Tolga SAKALLI
(Üye)

İÇİNDEKİLER

Özet	vi
Abstract	vii
Önsöz	viii
Şekil Listesi	ix
Çizelge Listesi	xiii
Sembol Listesi	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar	1
1.2. Tezin Önemi, Kapsamı ve Gerekçesi	4
2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER	6
2.1. Küresel Dökme Demirin Özellikleri	7
2.2. Mikro Yapı	9
2.3. Alaşım Elementleri	10
2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Isıl İşlemler	14
2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Sınıflandırılması	15
2.6. Küresel Grafitli Dökme Demirin Kullanım Alanları	16
2.7. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi	17
2.7.1. Potada küreselleştirici ekleme yöntemi	18
2.7.2 Daldırma (Plunger) yöntemi	22
2.7.3.Üfleme yöntemi	23

2.7.4. Kalıpta (Inmold) yöntemi	23
2.7.5. Özlü Tel yöntemi	24
2.8. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşılamanın Önemi	25
3.KUM KALIBA DÖKÜM	26
3.1. Yaş Kum Kalıba Döküm	26
3.2. Kuru Kum Kalıba Döküm	27
3.3. CO2 Yöntemi	28
4. KALIPLAMA MAKİNELERİ	29
4.1. Basma Tipi Kalıplama Makineleri	29
4.2. Sarsma Tipi Kalıplama Makineleri	30
4.3. Savurma Tipi Kalıplama Makineleri	30
4.4. Derecesiz Otomatik Kalıplama	31
4.4.1. DISAMATIC veya yüksek basınçlı derecesiz kalıplama	31
4.4.2. Üniversal otomatik derecesiz kalıplama	33
4.4.3. G.F kalıplama	33
4.5. Vakumlu Kalıplama Yöntemi	34
5. KALIP KUMU	35
5.1. Kalıp Kumundan Beklenen Özellikler	35
6. DENEY MALZEMELERİNİN ÜRETİM SÜRECİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
6.1. Deney Malzemelerinin Üretim Süreci	41
6.1.1. Döküm modeli	41

6.1.2. Kalıp kumunun nem ölçümü	43
6.1.3. Kalıp kumunun sıcaklık ölçümü	44
6.1.4. Kalıp Kumunun sıkıştırılabilirliğinin ölçülmesi	44
6.1.5. Gaz geçirgenliği ölçümü	44
6.1.6. Yaş basma ve çekme gerilmesi ölçümü	45
6.1.7. Islak çekme gerilmesi ölçümü	46
6.1.8. Döküm kalıbı	47
6.1.9. Döküm İşlemi	49
6.1.10. Nihai işlemler	52
6.2 Deneysel Çalışmalar	54
6.2.1. Kum testi numunesi	54
6.2.2. Çekme testi	56
6.2.3. Yorulma testi	60
6.2.4. Metalografik inceleme ve sertlik testi	61
6.2.4.1. Tavlama işlemi	64
6.2.5. Spektrum analizi	65
6.2.6. C-S analizi	67
7. DENEYSEL BULGULAR	69
7.1. Kum Testi Sonuçları	69
7.2. Döküm Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları	71
7.3. Spektrum Analizi Sonuçları	72
7.4. C-S Analizi Sonuçları	73

7.5. Çekme Deneyi Sonuçları	74
7.6. Yorulma Deneyi Sonuçları	76
7.7. Metalografik İnceleme Sonuçları	81
7.8. Sertlik Testi Sonuçları	85
8. SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	101

ÖZET

Bu tezde, üretim oranı gün geçtikçe artan ve birçok sektörde kullanım alanı bulan küresel grafitli (sfero, nodüler) dökme demirlerin öncelikle, üretim süreci incelenmiştir. Bu aşamalarda dikkat edilmesi gerekenler irdelenmiştir.

Sonrasında; küresel grafitli dökme demir olan GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerden soğumanın mekanik özelliklere etkisini incelemek amacıyla farklı çaplarda dökümler yapılmıştır. Döküm esnasında içyapıya ait analizler alınmıştır. Farklı çaplardan elde edilen döküm parçalarından; çekme, yorulma ve sertlik testi için numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin bir kısmına ısıtma işlemi uygulandıktan sonra, mekanik özelliklerin incelenmesi amacıyla tüm testler tatbik edilmiştir. Ayrıca içyapıdaki küreselleşme ısıtma işlemli ve ısıtma işlemlisiz olarak fotoğraflanmıştır.

Tezin sonunda, yapılan testler ve incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler ile verilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, GGG40, GGG50, GGG60, GGG70, Çekme gerilmesi, Yorulma dayanımı, Sertlik, Döküm, Kesit kalınlığı.

ABSTRACT

In this thesis, discussed ductile (nodular, spheroidal graphite) irons which has a significant place in many sectors and an increasing production rate with each passing day. Ductile iron's manufacturing process was examined firstly and in this stage the points to take in to consideration were scrutinesed. And after that GGG40, GGG50, GGG60, GGG70 were cast in moulds that has different diameters for examine of cooling down effects to mechanical properties. The analyses results of internal structure were taken in during cast. The test specimens were perepared from different cast diameter ductile iron for tensile, fatigue and hardness tests. Heat treatment were applicated to some of specimens, then all of tests were applied for examining of mechanical properties. Furthermore, spheroidal graphites in structure with heat treatment and without heat treatment were photographed.

End of the thesis, the results of test were given with graphics and table, then all of this results were interpreted.

Key words: Ductile Iron, GGG40, GGG50, GGG60, GGG70, Tensile strength, Fatigue, Hardness, Cast, Section thickness.

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tüm kademelerinde bilgisini ve desteğini esirgemeyen, her konuda bana yardımcı olan saygıdeğer hocam Sayın Yrd.Doç.Dr. Cem S. ÇETİNARSLAN' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca, çeşitli kademelerde tecrübe ve yardımlarıyla yanımda olan saygıdeğer hocam Sayın Doç.Dr. Mümin ŞAHİN ve Uzm. Kaan ÖZEL' e, bu tezin gerçekleşmesi sürecinde gerek malzeme temini gerekse teçhizat konusunda destek olan çok değerli TRAKYA DÖKÜM A.Ş. ailesine, bu zorlu süreçte her zaman yanımda olan canım aileme, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Mak.Müh. Mert A. GENÇ' e teşekkürü bir borç bilir ve emeği geçen tüm arkadaşlarıma şükranlarımı sunarım.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Küreselleştirici malzemeler pota dibinde	18
Şekil 2.2. Küreselleştirici gerecin, potadaki sıvı metalin üstüne atılması	19
Şekil 2.3. Küreselleştirici gerecin sıvı metalin üstüne atılması	19
Şekil 2.4. Sandviç yöntemi (klasik)	20
Şekil 2.5. İki parçalı pota yöntemi şematik görünümü	21
Şekil 2.6. Rafly pota yöntemi şematik görünümü	21
Şekil 2.7. Daldırma yöntemi şematik görünümü	22
Şekil 2.8. Üfleme yönteminin şeması	23
Şekil 2.9. Kalıpta küreselleştirici ekleme yöntemi	24
Şekil 5.1. Tane inceliğinin yaş mukavemete etkisi	36
Şekil 5.2. Değişik tane inceliğine göre yaş mukavemetteki değişimi	37
Şekil 5.3. Yaş mukavemet, bentonit, %nem ilişkisi	37
Şekil 5.4. Kum tane şekline göre yaş mukavemetteki değişim	38
Şekil 5.5. Geçirgenlik, %nem, Tane boyutu ilişkisi	38
Şekil 5.6. Geçirgenlik, %nem, Tane şekli ilişkisi	39
Şekil 5.7. Geçirgenlik, Bentonit, %nem ilişkisi	39
Şekil 5.8. Geçirgenlik, U.S. Elek No., Tane boyutu ilişkisi	40
Şekil 6.1. Kalıp modeli	42

Şekil 6.2. Nem ölçüm cihazı	43
Şekil 6.3. Gaz geçirgenliği ölçüm cihazı	45
Şekil 6.4. Yaş basma ve çekme gerilmesi ölçüm test cihazı	46
Şekil 6.5. Islak çekme gerilmesi ölçüm test cihazı	47
Şekil 6.6. Disamatik'te üretilen bir kalıp	48
Şekil 6.7. Döküm hattına ilerleyen kalıplar	48
Şekil 6.8. Sıvı metalin kalıba dökülmesi	49
Şekil 6.9. Dökümde sıcaklık ölçümü	50
Şekil 6.10. Spektrum analizi için alınan örnek	51
Şekil 6.11. C-S analizi için alınan örnek	51
Şekil 6.12. Dökümden hemen sonra hattın ilerleyişi	52
Şekil 6.13. Kalıptan çıkarılan ürünün sarsak ve tamburdan geçtikten sonraki hali	53
Şekil 6.14. Döküm hattından çıkan parçanın nihai görünüşü	54
Şekil 6.15. Tokmıklama işlemin yapıldığı cihaz	55
Şekil 6.16. Standart kum test numunesi	56
Şekil 6.17. Çekme Deneyi Numunesi(Çekme Çubuğu)	57
Şekil 6.18. Instron Test Cihazı	58
Şekil 6.19. Alt ve üst çene arasına yerleştirilmiş çekme çubuğu	59
Şekil 6.20. Bir çekme deneyi sonu numunenin görünüşü	59
Şekil 6.21. Bir yorulma deneyi sonucu numunenin görünüşü	60
Şekil 6.22. Yüzey işlemlerini bitmiş test numunesi	62

Şekil 6.23. Numune yerleştirilmiş sertlik cihazı görüntüsü	63
Şekil 6.24. Bir sertlik testi anında bilgisayar kontrolü	63
Şekil 6.25. Farklı çaplardaki sertlik test numunelerinin ölçüm yapılan bölgelerinin üstten şematik görünümü	64
Şekil 6.26. Isıl işlem görmüş numuneler	65
Şekil 6.27. Spektrum analiz cihazı	66
Şekil 6.28. Spektrum analiz cihazında işlem görmüş numune	66
Şekil 6.29. Kabuk şeklindeki numune görünüşü	67
Şekil 6.30. Seramik kap içinde dövülmüş numune parçacıkları	67
Şekil 6.31. C-S analiz cihazı	68
Şekil 7.1. GGG40 Malzemesinin çekme testi sonuçları	74
Şekil 7.2. GGG50 Malzemesinin çekme testi sonuçları	75
Şekil 7.3. GGG60 Malzemesinin çekme testi sonuçları	75
Şekil 7.4. GGG70 Malzemesinin çekme testi sonuçları	76
Şekil 7.5 GGG40 Malzemesinin üç farklı çapta yapılan yorulma deneyleri sonuçları	77
Şekil 7.6. GGG70 Malzemesinin üç farklı çapta yapılan yorulma deneyleri sonuçları	78
Şekil 7.7. GGG40 ve GGG70'in çap 20' de karşılaştırılması	79
Şekil 7.8. GGG40 Ve GGG70'in çap 25' te karşılaştırılması	80
Şekil 7.9. GGG40 Ve GGG70'in çap 30' da karşılaştırılması	81
Şekil 7.10. Küresel grafitli dökme demirlerin 100x büyütmede görüntüsü	83

Şekil 7.11. Isıl işlem görmüş küresel grafitli dökme demirlerin 100x büyütmede görüntüsü	84
Şekil 7.12. GGG40 Malzemesinin sertlik testi sonuçları	85
Şekil 7.13. GGG50 Malzemesinin sertlik testi sonuçları	86
Şekil 7.14. GGG60 Malzemesinin sertlik testi sonuçları	87
Şekil 7.15. GGG70 Malzemesinin sertlik testi sonuçları	88
Şekil 7.16. GGG40 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları	89
Şekil 7.17. GGG50 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları	90
Şekil 7.18. GGG60 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları	91
Şekil 7.19. GGG70 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları	92

ÇİZELGE LİSTESİ

Tablo 2.1 Küresel grafitli dökme demirlerin genel kimyasal içeriği	6
Tablo 2.2 Küresel grafitli dökme demirlerin mühendislik özelliklerinin demir esaslı döküm malzemelerle kıyaslanması	8
Tablo 2.3 İkincil elementlerin grafit yapısına etkileri	11
Tablo 2.4 TSE Standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması	15
Tablo 2.5 DIN Standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması	16
Tablo 6.1 Yüzey işleme durumu	61
Tablo 7.1 Kum test sonuçları	70
Tablo 7.2 Kum test sonuçlarının sağlaması istenen değerler	70
Tablo 7.3. Döküm sıcaklığı tablosu	71
Tablo 7.4. Spektrum analizi sonuçları	72
Tablo 7.5. C-S analizi sonuçları	73

SEMBOL LİSTESİ

AFS : Amerikan Dökümcüler Derneği

DDK : Dökme Demir Küresel

GGG : Küresel Grafitli Dökme Demir

HBN : Brinell Sertlik Numarası

σ_{max} : Maksimum Çekme Gerilmesi

G.F : Georg FİSCHER

1. GİRİŞ

1.1. Önceki Çalışmalar

Bu yüzyılın ilk yarısında, ikinci dünya savaşı sonlarında, Gri ve dövülebilir dökme demirde gelinen ileri noktaya rağmen, dökümcüler ideal dökme demir arayışlarını sürdürdüler ve 1943 yılında Amerikan Dökümcüler Derneği (AFS)'nde J.W. Bolton yaptığı konuşmada, gri dökme demirin grafit şeklinin değiştirilebilir mi sorusunu sormuş ve küreleşmiş grafitlerin olduğu gri dökme demirin hayal edilmesini istemiştir. Bundan birkaç hafta sonra Keith Dwihgt Millis, dökme demire Mg ekleyerek (Bakır-Magnezyum) elde ettiği küresel grafitlerle Bolton'ı haklı çıkarmıştır. Bu olay küresel grafitli dökme demirlerin doğuşu olarak kabul edilmektedir.

Bundan beş yıl sonra 1948'de Henton Morrogh'ta Gri Dökme Demire Seryum ekleyerek küresel grafitli dökme demir elde etmiş ve bunu duyurmuştur.

Bu sırada Millis'in yöntemini geliştiren Nickel Şirketi 1949 yılında bunun patentini almıştır.

Küresel grafitli dökme demirler bundan sonraki yıllarda dökme demirler ailesinin en ünlüsü olmuşlardır ve üzerlerinde gün geçtikçe yapılan araştırmalar halen devam etmektedir.

Brown JR, Küresel grafitli dökme demirlerin küreselleştirilmesi, bunu yaparken Mg vb. elementlerin etkisi, Küresel grafitli dökme demirlerin üretimlerine ele almış ve verilerini kıyaslamıştır.

Tayfun Uzunova; Küresel grafitli dökme demirlerde, küresel grafit oluşumunun hipotezlerinde kır dökme demirin soğuma eğrilerinin değişimi prensibini benimsemiştir.

Küresel grafitli dökme demirin nasıl iyi üretilceğinden ve mekanik özelliklerinin üstünlüklerinden söz etmiştir.

Küresel grafitli dökme demirlerde grafit kürelerinin şekillerinin ve boyutlarının dolayısıyla mikro yapılarının yorulma vb. özellikleri üzerindeki etkilerini belirlemek adına birçok çalışmalar yapılmıştır (Murakami Y.).

Kolukısa, Paslanmaz çelik ile Küresel grafitli dökme demiri difüzyon kaynağı ile farklı sıcaklıklarda birleştirme üzerine çalışmalar yapmış ve en iyi sonucun 1100°C elde etmiştir.

Bayrakçeken ve diğerleri Küresel grafitli dökme demirden yapılmış bir kam milinin kırılma analizi üzerine çalışmışlar ve yaptıkları analizler sonucunda en önemli faktörlerin döküm hatalarından kaynaklandığını öne sürmüşlerdir.

Grzesik, Ferritik ve Perlitik küresel grafitli dökme demirlerden kesme takımlarının (değişik kaplamalarla) sıcaklık, hız v.b. parametrelerin artışıyla işleme performansları üzerine çalışmıştır.

Verdu C. ve diğerleri küresel grafitli dökme demirlerde, çatlak ve çatlak gelişiminin erken evrelerini X-Ray tomografi kullanarak üç boyutlu olarak gözlemlemişlerdir.

Çetinel ve diğerleri küresel grafitli dökme demirde kaynak yapılmış bölgeleri incelemiş ve buna yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Berdin ve diğerleri, küresel grafitli dökme demirlerde bölgesel kırılma tokluğa ve h asar üzerine çalışmışlar ve bunları modellemişlerdir.

Çetin C. ve diğerleri, GGG40 ve GGG60 malzemelerinin kuru ve yağlanmış koşullarda aşınmaya karşı performanslarını incelemişler ve iyi aşınma direnci için perlitik yapının avantajlı olduğunu görmüşlerdir.

Kohout, gri ve küresel dökme demirlerde Hooke kanunu üzerine incelemeler ve karşılaştırmalarda bulunmuştur.

Küresel grafikli dökme demirlerin yüksek yorulma çevrimlerinde hasar mekanizmalarını, ultrasonik yorulma test sistemiyle (20kHz) kullanarak yüksek hız ve hassasiyetli kızıl ötesi görüntüleme sistemiyle görüntülemişler, bu incelemede deney esnasında belirli yüksek çevrimlerde yorulma numunesi üzerinde sıcaklık dağılımını gözlemlemişlerdir. Yorulma hasarı kızıl ötesiyle de görüntülenmiştir. Sıcaklık artışı 20 Hz'den sonra oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Fredriksson ve diğerleri, küresel grafitli dökme demirlerin katılaşmasını incelemiş, alaşım içindeki küçük değişimlerin (Mg, C, Ni, Si), katılaşma esnasında değişken grafit dağılımı sergilemişlerdir.

Özdemir ve diğerleri, küresel grafitli dökme demir ve gri dökme demire difüzyon kaynak uygulamış. Çalışmalarında grafitlerin şekillerinin ve yüzey alanlarının dökme demirlerin davranışı gereği difüzyon kaynağında etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Song Y. ve diğerleri; küresel grafitli dökme demir ve alüminyum dönüşüm-kaynağı (RFW) ile birleştirme çalışmaları yapmışlar ve bu çalışmaların sonucunda iyi bir kaynak ara bölgesi sağlayarak başarılı olmuşlardır

Wengon Liu ve diğerleri, beynitic küresel grafitli demirden öğütücü bilye üretme üzerine çalışmalar yapmış ve C-Si-Mn küresel grafitli dökme demirde beklediği yapısal özellikleri bularak, değişik işlemlerle bunu daha da geliştirmiş ve öğütücü bilyenin üretimine elverişli olduğunu söylemişlerdir.

Yıldızlı K. ve diğerleri; küresel grafitli ve gri dökme demirlerdeki erozif mekanizmasını (30°C - 60°C - 90°C'deki) incelemişlerdir. Buna göre tüm açılarda erozif aşınmaya karşı küresel grafitli dökme demir, gri dökme demirden daha dayanıklı olduğu ve her ikisinde de erozyon oranının darbe açısı 30°'de en yüksek, 90°'de en düşük değere ulaştığı görülmüştür.

Nadof ve diğerleri, küresel grafitli dökme demirlerde döküm hatalarının yorulma sınırına etkisini araştırmışlar ve yüzey hatalarının daha tehlikeli olduğu anlaşılmıştır.

Niimi ve diğerleri, küresel grafitli dökme demir boyutuna odaklanarak küresel grafitli dökme demirin yorulma dayanımı üzerine çalışmışlardır. Sonuçlarına bağlı

olarak, en küçük boyutlu küresel grafitli dökme demir, en yüksek yorulma dayanımına sahiptir.

Yano'ya göre, sıkıştırılmış küresel grafitli dökme demirlerin yoğunluğu artarken yorulma dayanımı da % 20 – 24 oranında artmaktadır.

Alabeedi ve diğerleri, küresel grafitli dökme demirlerde, yüzeyi lazerle bir miktar ergiterek yaptıkları işlemle erozyon dayanımını incelemişler ve bunun işlem yapılmamış halinden 110 kat daha dayanıklı olduğunu öne sürmüşlerdir.

Marquis ve diğerleri tarafından küresel grafitli dökme demirlerin çok eksenli uzun ömürlü yorulmaları incelenmiş ve küresel grafitli dökme demirlerin tek eksenli ve çift eksenli yorulma limitlerinin neredeyse aynı olduğu görülmüştür.

1.2. Tezin Önemi, Kapsamı ve Gerekçesi

Günümüzde halen sanayimizin büyük bir bölümünü demir esaslı malzemeler kaplamaktadır ve bunların içinde de özellikleri nedeniyle çelikler ön plana çıkmaktadırlar. Fakat son yıllarda çeliğe rakip olan ve bir çok alanda yerini alan demir esaslı bir başka malzeme olan küresel grafitli dökme demirler gündeme gelmiştir. Bunun en önemli sebebi küre geometrili grafitten kaynaklanan süreklilikleri ve mekanik özelliklerinin çelikle rekabet edebilir olması ve bununla beraber daha kolay üretilmeleri ve ucuz olmalarıdır. Bu da paranın ve zamanın önemli olduğu günümüz sanayisinde yeterince anlamlıdır. İşte bu durumda geniş bir yelpazeye yayılan küresel grafitli dökme demirlerden üretilen ürünlerin, çeşitli döküm kalınlıklarına sahip olmalarıyla istenilen özellikleri barındıracak yapıyı sağlayabilmesi, kesit kalınlığı düştükçe oldukça

karmaşıklaşmaktadır. Ki bu sebeple döküm kalınlığı 30 mm'nin altına indiğinde mekanik değerler açısından üretici firmalarda referans verilmekte, tüketiciyle karşılıklı görüşmelere bakılmaktadır. Bu olayın değişkenliğine ve karmaşıklığına ışık tutacak olan bu tezde en çok talep gören GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70'in 30 mm ve daha düşük çağlarda dökümü ve dökümüyle elde edilen numunelerin mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

2. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

Dökme demir ailesinde bulunan küresel grafitli dökme demirler, sfero, nodüler vb. olarak ta bilinir. Türk standartlarında adı “Küresel Grafitli Dökme Demir” olarak bilinir. Küresel grafitli dökme demir, adını bünyesinde bulunan grafitlerin küresel biçimde oluşundan alır. Bu durum sıvı kır dökme demire genellikle az miktarda magnezyum (veya seryum, kalsiyum, lityum) ilavesiyle elde edilir (Brown J.R.). Ekonomikliği sebebiyle Mg sanayide yaygın olarak kullanılır. Günümüzde birçok yerde; gri dökme demir, dökme çelik ve demir olmayan birçok alaşımların yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlevselliği çeliğin mekanik özelliklerine, dökme demirin fiziksel ve üretim özelliklerine sahip olmasıyla kazanmıştır

Küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi genel olarak aşağıdaki sınırlar içinde bulunur. (Tablo 2.1)

Tablo 2.1 Küresel grafitli dökme demirlerin genel kimyasal içeriği

Karbon (C)	Silisyum (Si)	Mangan (Mn)	Fosfor (P)	Kükürt (S)	Magnezyum (Mg)
3,00 – 4,00	2,00 – 3,00	0,1 – 0,9	0,10 (max)	0,02 (max)	0,030 – 0,080

2.1. Küresel Dökme Demirin Özellikleri

Çekme mukavemeti yapısına ve uygulanan işlemlere göre çeşitlilik göstererek 35 kg/mm^2 ile 100 kg/mm^2 arasında değişir. Akma noktaları oldukça yüksek olduğundan ağır yükleri kalıcı deformasyon olmadan taşıyabilirler. Küresel grafitli dökme demirlerin elastisite modülü de iyi derecededir.

Dayanma oranları (Yorulma mukavemeti / Çekme mukavemeti) dövme karbonlu çeliklerden yüksektir. Dirençleri de dökme demirlerin genel karakteristiğinde olduğu gibi oldukça yüksektir.

Dinamik ve statik yükler altında gelişi güzel dağılmış gerilmeler oldukça mukavimdirler. Titreşim sönmülemde dökme demirlerden zayıf olsa da çeliğe göre oldukça iyidir (Uzunova T.). Bünyesinde bulundurduğu küresel grafitlerin çatlakların ilerlemesine karşı gösterdikleri tepki sayesinde küresel grafitli dökme demirler ani sıcaklık değişimlerinde oluşan termik şoklara karşı oldukça dayanıklı olurlar. Çelikten daha iyi korozyon direncine sahiptirler. Talaşlı işlemeye uygundur. Çeliğe uygulanan ısı işlemleri; küresel grafitli dökme demirlere de uygulanabilir. Bu sebepten de kendine geniş bir kullanım sahası bulur. Düşük yoğunluğu sayesinde, aynı boyutlarda çeliğe nazaran ağırlığı %10 daha azdır (Hughes I.C.H. ve Davis J.R.).

Düşük sürtünme katsayısı sayesinde dişli kutularında verimli olur. Dökülecek parçaların kesit bakımından sınırlanmasına gerek yoktur. Ayrıca küresel grafitli dökme demir, demir esaslı diğer döküm malzemeleriyle Tablo 2.2’de karşılaştırılmıştır..

Tablo 2.2 Küresel grafitli dökme demirlerin mühendislik özelliklerinin demir esaslı döküm malzemelerle kıyaslanması

Özellik	Küresel Grafitli Dökme Demir	Temper Dökme Demir	Gri Dökme Demir	Döküm Çelik	Beyaz Dökme Demir
Dökülebilirlik	■	■	■	□	■
Talaşlı İşlenebilirlik	■	■	■	■	□
Titreşim Sönümlenme	■	■	■	□	□
Yüzey Sertleştirilebilirlik	■	■	■	■	□
Elastisite Modülü	■	■	□	■	□
Darbe Dayanımı	■	□	□	■	□
Korozyon Dayanımı	■	■	■	□	■
Mukavemet/Ağırlık	■	□	□	■	□
Aşınma Direnci	■	□	■	□	■
Üretim Maliyeti	■	□	■	□	■

İYİ



KÖTÜ

2.2. Mikro Yapı

Küresel grafitli dökme demir eldesinde katılaşmada ilk görülen yapı östenittir. Bu sıradan metalik olmayan kalıntılar ve östenit içinde çözünebilen maksimum karbon miktarını aşan karbon grafit olarak ayrışır. Östenit içindeki maksimum karbon çözünürlüğü yaklaşık olarak; $\%C + 1/3 \%Si = 2$ 'dir. (Koç Ş.)

Sıcaklık düştükçe östenit içinde karbon çözünürlüğünün azalması nedeniyle östenitik yapıdan ayrılan karbon difüze olarak grafit halinde toplanır. Ayrıldığı bölgeyi karbonsuzlaştırarak ferrit oluşumunu sağlar. Ferritik yapıli küresel dökme demir üç farklı şekilde elde edilebilir;

- 1- Sıvı küresel dökme demirin katılaşmasını çok yavaş bir şekilde gerçekleşmesini sağlamak
- 2- Dökme demirin ağırlığına göre % 0,20 Magnezyum karbür alaşımı kullanmak
- 3- Perlitik küresel dökme demir tavlama.

Ferritik yapı yüksek uzama kabiliyetine sahiptir. Ferrit oluşumu, perlite nispeten yüksek sıcaklıklarda başlar ve perlit oluşumuyla devam ederek perlit oluşumu tamamlanmadan biter. Perlit oluşumu daha düşük sıcaklıklara kadar devam eder.

Küresel grafitli dökme demirlerde ferrit ve perlit miktarlarının birbirine göre oranları, malzemenin kimyasal bileşimi ile soğuma hızına bağlıdır ve malzemenin çekme, akma, uzama ve sertlik gibi mekanik özelliklerini doğrudan etkilerler.

Perlitik: Ferrit oluşumunun aksine, soğuma hızının artışıyla difüzyona fazla zaman kalmaz ve difüze olamayan (tane sınırı, alaşım elementlerinin inklüzyonlar vb. sebebiyle) karbon Fe_3C oluştururken hemen yanındaki bölgeyi karbonsuzlaştırarak

perlit yapısını oluşturan ferrit ve sementiti oluşturan bu yapıda alaşım serttir ve mekanik özellikleri iyidir.

Ostenitik: Grafitler bir miktar küreselliklerini yitirirler. Korozyona dayanıklıdırlar ve yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Ni ihtiva ederler.

İğneli Küresel: Su verme ve temperleme işlemleriyle, küresel grafitli dökme demirin yapısını değiştirerek elde edilebilirler. Yüksek mekanik mukavemeti ve sertliği vardır.

2.3. Alaşım Elementleri

Alaşım elementlerinden çil oluşumu ve matris yapısına etki edenler birincil alaşım elementi, grafit yapısı ve küreselleşmeye etki eden elementlerde ikincil alaşım elementi (Tablo 2.3) olarak adlandırılmaktadırlar (Akroy İ.).

Tablo 2.3 İkincil elementlerin grafit yapısına etkileri (Stefenescu D.M.).

Element Sınıfı	Element
Küreselleştirici	Magnezyum, Seryum, Kalsiyum, Nadir Toprak Metalleri, Lityum
Küreleşmeye Etkisiz	Demir, Karbon, Alaşım Elementleri
Küreleşmeyi Azaltıcı	Alüminyum, Titanyum, Arsenik, Bizmut, Kurşun, Kükürt, Antimon

Karbon: KGDD'lerde genellikle %36'dan daha az oranlarda bulunur. Karbon oranının artması küresel grafitlerin hacim oranının artmasıyla neden olurken mekanik özelliklerini olumsuz etkiler (Baydoğan M.). Sıvı metalin akışını etkiler. Aşırı karbon akışkanlığı azaltır.

Silisyum: Güçlü bir grafitleştirici katkı maddesidir. Karbonu östenitle çözdüren anahtar elementtir. Böylece bu eşsiz yapı oluşabilir (Özel A.). Küresel grafitlere yakın bölgede yüksek oranlarda görülür (Baydoğan M.). Demir karbür oluşum hızını azaltır (Hamid A.).

Manganez: Bu elementin miktarı yüksek süneklik değerini korumak için sınırlandırılır. Ferritik yapılarda %0,2 ve daha düşük değerlerde tutulur. Perlitik yapılar için %1'e kadar çıkarılır. Manganez istenmeyen mikrosegregasyonlar oluşturabilir. Bu özellikle büyük kesitlerde çok daha fazla görülür. Düşük tokluk ve sürekli perlite sebep olur (Hughes I.C.H.).

Magnezyum: Magnezyum elementi küresel grafit oluşumu için gereklidir. Genel olarak %0,04 ile %0,06 arasında bulunur. Eğer başlangıçta sülfür içeriği %0,015'in altındaysa düşük magnezyum miktarı (%0,035-%0,04) yeterli olabilir. Magnezyum miktarı oldukça düşük olursa kompakt grafitli dökme demir oluşabilir, magnezyum miktarı çok yüksek olduğunda cüruf kusurlarını arttırabilir (Hughes I.C.H.).

Fosfor: Bütün küresel grafitli dökme demirlerin sünekliğini düşürmesinden dolayı istenmez (Özel A., Hughes I.C.H.).

Kükürt: Küresel grafitli dökme demirlerde Mg eklemeyen önce miktarı %0,02'den olabildiğince düşük olmalıdır. Küresel grafitli dökme demirlerde genellikle %0,015 civarında bulunduğu görülür (Hughes I.C.H.).

Molibden: Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir. Sertleşebilirliği arttıran en etkili elementtir (Krishnaraj D.). Özellikle bakırla beraber etkisi güçlüdür. Fakat sertleşebilirliğe katkısı bakırdan on kat daha fazladır. Östemperleme süresini kısaltır. Bu mangan ile molibden arasındaki en önemli farktır. Özellikle kalın kesitli dökümlerde molibden karbürler oluşur. Mevcut bu molibden karbürlerin etkisi, küre sayısının arttırılması ile azaltılabilir (Özel A.). Hücreler arası bölgelerde, tıpkı mangan gibi güçlü segregasyon eğilimine sahiptir (Baydoğan M.). Mekanik özelliklere etkisi de manganın etkisi gibidir. Ancak, mangan'den farklı olarak, molibden östeniti değil ferriti kararlı yapana bir elementtir (Krishnaraj D. ve diğerleri). Yüksek molibden seviyelerinde güçlü segregasyon eğiliminden dolayı %0,3 ile sınırlandırılmalıdır. Molibden miktarı arttıkça kalıntı östenitin hacim oranı düşer (Mi Y.).

Bakır: Alaşım elementi olarak bakır kullanımının en önemli katkısı sertleşebilirliği arttırmasıdır. Beynitik dönüşümün II. aşamasını yavaşlatır. Dolayısıyla işlem aralığının

daha genişlemesine neden olur. Molibden ile birlikte kullanıldığında, sertleşebilirliğe etkisi ikisinin ayrı ayrı kullanılması durumundaki etkiden daha fazladır (Krishnaraj D. ve diğerleri) Alt bey nit yapısında karbür oluşumunu engellediği bildirilmiştir. Bu yüzden artan bakır miktarı ile kalıntı östenitin hacim oranı artar. Genellikle %1 dolayında kullanılır. Ferritte çözünürlüğün az olmasından dolayı, nadiren %1,5 oranında kullanılır (Baydoğan M. , Mi Y.).

Nikel: Özellikle I. kademedeki üzere bey nitik dönüşüm hızını yavaşlatır. Yüksek nikel oranının, segregasyon etkisine bağlı olarak yapının farklı yerlerinde farklı bey nitik dönüşüm hızına sebep olacağı bildirilmiştir. Bu nedenle, nikelin manganez gibi bir elementle birlikte kullanımının segregasyon eğilimini dengeleyeceği ve sonuç olarak homojen bir bey nitik dönüşüm elde edilebileceği belirtilmiştir (Krishnaraj D.). Östemperleme süresinin artırır. En önemlisi, tokluğu azaltmaksızın istenen nihai mikroyapı ve özellikleri elde etmek için östemperleme sıcaklığında daha uzun tutma süresine imkan vererek yüksek karbonlu östeniti kararlı kılar. Krom vanadyum gibi çeliklerde sertleşebilirliğe büyük katkıları olan elementler ise, karbür oluşturma eğilimlerinden dolayı dökme demirlerde kullanımı yaygın değildir (Baydoğan M.).

Kurşun, antimon, bizmut, titanyum elementleri eser miktarda bulunurlar ve küreselleşme karşıtı davranış gösterirler. Bir miktar seryum ekleyerek bunların istenmeyen etkileri giderilebilir.

Yine nikel, bakır, manganez, kalay, arsenik ve antimon perlit oranını arttırıcı etki yaparlar. Bu eser miktarda elementler hammaddeden geldiğinden ferritik yapılar elde edilmek istendiğinde yüksek saflıkta hammadde seçilir (Hughes I.C.H.).

2.4. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Isıl İşlemler

Küresel grafitli dökme demirler yapıları gereği ısıl işleme uygundur. Mühendislikte birçok alan için istenilen özelliklerin sağlanmasında çeliklere uygulanan ısıl işlemler küresel grafitli dökme demirlerde de kullanılabilir.

Gerilme Giderme: Dökümden sonra kalan iç gerilmeleri azaltmak veya gidermek için uygulanır (I.C.H. Hughes ve Davis J.R.).

Tavlama: Sertlięi azaltmak, karbürleri gidermek, süneklik ve tokluğu iyileştirmek için uygulanır (I.C.H. Hughes).

Normalizasyon: Bir miktar süneklikle beraber mukavemetini arttırmak için uygulanır (I.C.H. Hughes).

Sertleştirme ve Temperleme: Sertlięin, mukavemetin, yüksek gerilim dayanım oranını daha da arttırmak için uygulanır (I.C.H. Hughes).

Östemperleme: Yüksek mukavemet, az miktarda süneklik ve oldukça iyi aşınma direnci kazanmak için uygulanır (I.C.H. Hughes).

Yüzey Sertleştirme: İndüksiyon, alev ya da lazer ile aşınmaya dayanıklı ve sert bir yüzey elde etmek için uygulanırlar (I.C.H. Hughes).

2.5. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Sınıflandırılması

Küresel grafitli dökme demirler dünya üzerinde çeşitli normlara göre sınıflandırılmaktadır. Ülkemiz sanayisinde en çok kullanılan, TSE (Türk Standartları Enstitüsü) ve Alman (DIN) standardına göre dökme demirlerin sınıflandırılması Tablo 2.4 ve Tablo 2.5'te verilmektedir. Burada DDK ve GGG sembolleri dökme demir küresel grafit anlamına gelmektedir.

Tablo 2.4 TSE Standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Kısa Gösterilişi	Çekme Dayanımı, Kg/mm ²	Akma Dayanımı, Kg/mm ²	Kopma Uzaması, %	Sertlik HB	Mikro yapı
DDK 40	42	28	12	140-201	Daha çok Ferritik
DDK 50	50	35	7	170-241	Ferrit + Perlit
DDK 60	60	40	3	192-269	Perlit + Ferrit
DDK 70	70	45	2	229-302	Daha Çok Perlitik
DDK 80	80	50	2	248-352	Perlitik
DDK 35.3	35	22	22	-	Ferritik
DDK 40.3	40	25	18	-	Ferritik

(-) Darbeli çalışması öngörülen tiplerdir.

Tablo 2.5 DIN Standardına göre küresel grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Malzeme	Çekme Dayanımı, Kg/mm ²	Akma Dayanımı, Kg/mm ²	Kopma uzaması, %
GGG-40	40	25	15
GGG-50	50	32	7
GGG-60	60	38	3
GGG-70	70	44	4
GGG-80	80	50	2

2.6. Küresel Grafitli Dökme Demirin Kullanım Alanları

Küresel grafitli dökme demirler birçok malzemede kullanılabilirler, özellikle bunlar mukavemet ve sertlik gerektiren durumlarda. İyi dökülebilirlik ve düşük maliyetiyle beraber, madencilikten, metalürjiye, makine, ziraat, inşaat, kimya, ulaştırma v.b. birçok alanda kullanılmaktadır.

Bunlar içinde; kırıcı gövdeler, konveyör dirsekleri, pompa gövdeleri, alüminyum ve kurşun ergitme potaları, cüruf potaları, pres makineleri, kalıplama dereceleri, sıcak hadde merdaneleri, hidrolik presler, silindirler, krank presleri dişlileri, akslar, dişliler, diferansiyel dişli kutuları, traktör parçaları, transmisyon kutuları, pedallar, ön tekerlek çatalları, kreyn parçaları, beton karıştırıcı parçaları, yol inşaatı makineleri, kurutma

silindirler, uçak konstrüksiyonlarında, volanlar, tekerlek kalıpları, kompresör gövde ve kafaları, gaz türbini kompresör kutuları, brülör gövdeleri, fırın parçaları sayılabilir.

2.7. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Üretimi

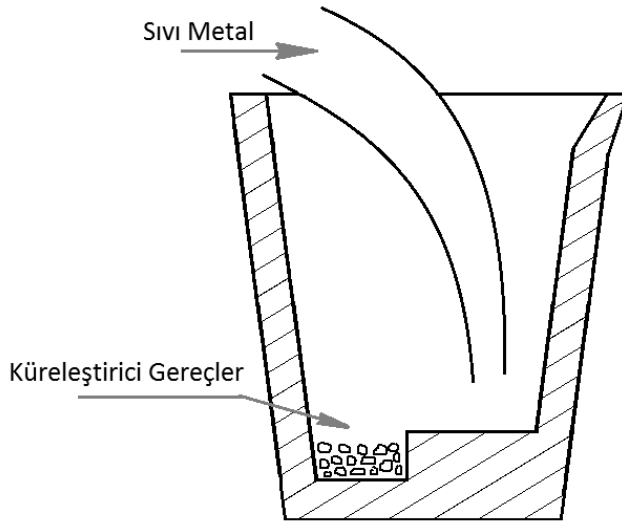
Küresel grafitli dökme demirlerde sanayide genellikle küresel yapının eldesi için küreselleştirici etkisi olan Mg kullanılır. Mg hem ergime sıcaklığının düşüklüğü sebebiyle hem de kükürtle birleşmesi sebebiyle ancak özel işlemler sayesinde küresel grafitli dökme demirlerin dökümünde kullanılabilir. Küreselleştirici özelliğinden faydalanmak istenilen Mg'un kükürtle birleşmesi istenmez. Bu sebeple sıvı dökme demirde kükürt miktarının % 0,02'den az olması gerekir. Bu durumda sıvı dökme demirde eğer kükürt miktarı bu aradan fazlaysa kükürt giderme işlemi yapmak gerekir. Bunlar;

- Soda ile kükürt giderme
- Kireçtaşı ile kükürt giderme
- Kalsiyum karbür ile kükürt gidermedir.

Uygun koşullar elde edildikten sonra küreselleştirme için Mg ilavesi işlemine geçilir. Mg 1 atmosfer basınç altında yaklaşık 650°C'de ergir ve 1120°C'de buharlaşır, alaşıma katılacağı sıcaklık aralığı ise yaklaşık 1350 - 1450°C arasındadır. Bu durumda çok az miktarının bile sıvı demir içerisine ilavesi oldukça zordur. Bunun için birbirinden farklı çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Brown J.R.).

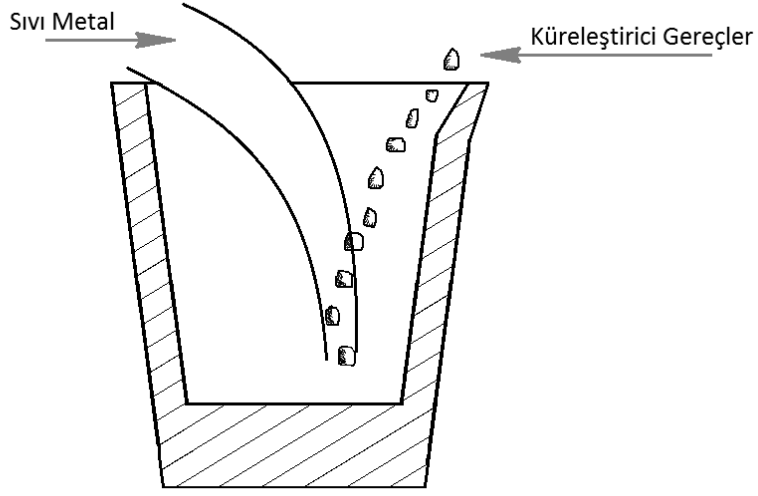
2.7.1. Potada küreselleştirici ekleme yöntemi

Küreselleştirici katkı malzemesinin pota dibine yerleştirilmesi esasına dayanır. Sıvı metal, direk olarak küreselleştirici gerecin üstüne gelmeyecek şekilde potanın içine hızla dökülür. Bu yöntemde iyi sonuç alınabilmesi için genellikle, dökme demire göre özgül ağırlığı daha fazla olan küreselleştirici gereçler (Ni-Mg, Fe-Ni-Mg) kullanılır.



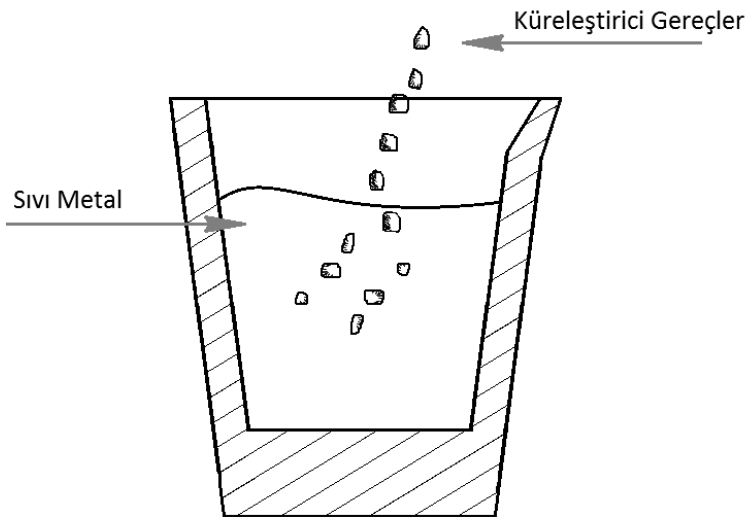
Şekil 2.1. Küreselleştirici malzemeler pota dibinde (M.E.B.)

Küreselleştirici Gerecin Sıvı Metale Verilmesi: Bu işlemde sıvı dökme demir, ocaktan potaya alınırken özgül ağırlığı daha fazla olan, Fe-Ni-Mg ve Ni-Mg gibi küreselleştiriciler el veya yardımcı donanım ile metale katılır.



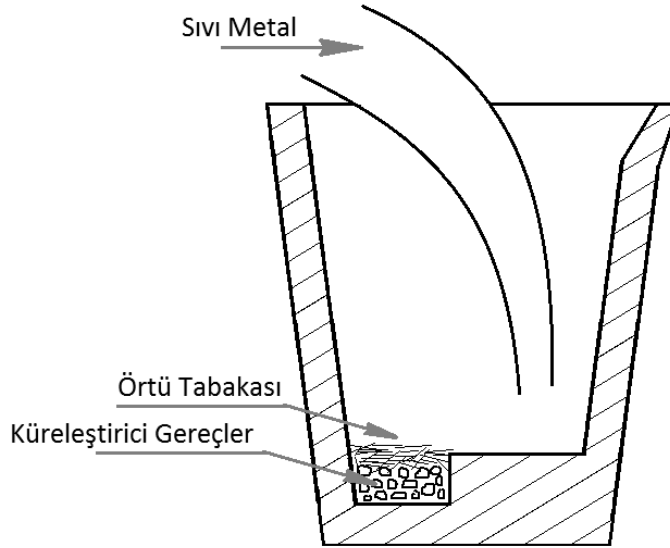
Şekil 2.2. Küreseltirici gerecin, potadaki sıvı metalin üstüne atılması (M.E.B.)

Küreseltirici gerecin sıvı metalin üstüne atılması: Bu yöntemde de özgül ağırlığı, dökme demirden fazla olan küreseltirici gereçler kullanılır. Potanın derin olması iyi sonuç alınmasını sağlar.



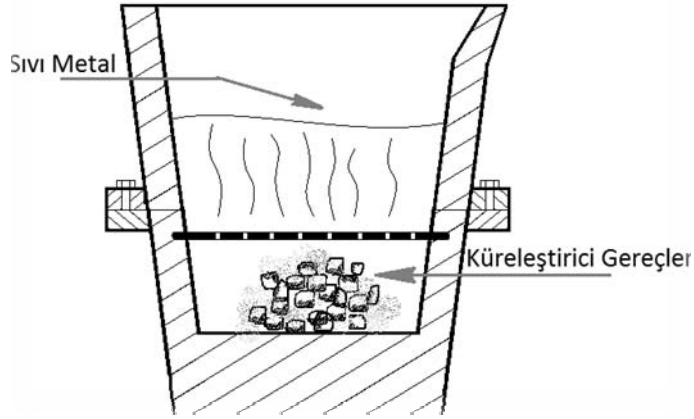
Şekil 2.3. Küreseltirici gerecin sıvı metalin üstüne atılması (M.E.B.)

Sandviç yöntemi: Bu yöntemde, küreselleştirici gereç, potanın dip kısmında özel olarak hazırlanan boşluğa (cep) yerleştirilir. Küreselleştirici gerecin üzeri çeşitli gereçlerle örtülür. Bu örtü gereçlerine göre de sandviç yöntemi çeşitli adlar almaktadır. Örtü tabakası olarak dökme demir, çelik veya küresel grafitli dökme demirin torna talaşı kullanılırsa buna klasik yöntem denir. Küreselleştirici gerecin üzeri 20–25 mm kalınlığında bir sac veya küresel grafitli dökme demirden yapılmış bir plaka ile örtülürse buna kapak yöntemi denir. Potaya doldurulan sıvı metal, bu örtü tabakasını eritinceye kadar, alaşımdaki magnezyum reaksiyona girmemektedir. Sıvı metal, potaya dolduktan sonra örtü gereci eritmekte ve reaksiyon başlamaktadır. Bu yöntemde küreselleştirici gerecin buharlaşması az olduğundan, işlem çok başarılı olmaktadır. Örtü gereci olarak kalsiyum karbürde (CaC_2) kullanılır. Sıvı metal kalsiyum karbür ile temas ettiği zaman sertleşerek bir tabaka oluşturmaktadır. Böylece pota sıvı metalle doluncaya kadar küreselleştirici gereç reaksiyona girmemektedir. Daha sonra örtü tabakası delinerek reaksiyonun başlaması sağlanmaktadır. Örtü gereci olarak kalsiyum karbür yerine ısı ile sertleşen reçineli maça kumu kullanılırsa buna reçineli kum yöntemi denilir.



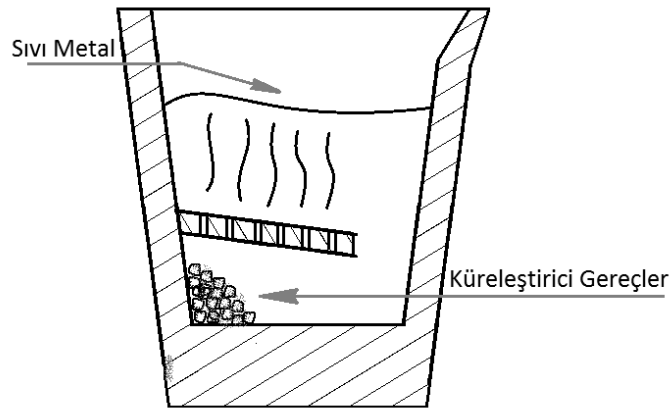
Şekil 2.4. Sandviç yöntemi (klasik yöntem) (M.E.B., Murakami Y.)

İki parçalı pota yönteminde: Bu yöntemde pota, alt ve üst kısımdan oluşmaktadır. Alt kısmına magnezyum emdirilmiş kok kömürü konarak, üzerine ısıya dayanıklı (refrakter) gereçten yapılan delikli bir plaka oturtturulur. Potanın alt kısmı, üst kısmına bağlandıktan sonra pota sıvı metal ile doldurulur.



Şekil 2.5. İki parçalı pota yöntemi şematik görünümü (M.E.B.)

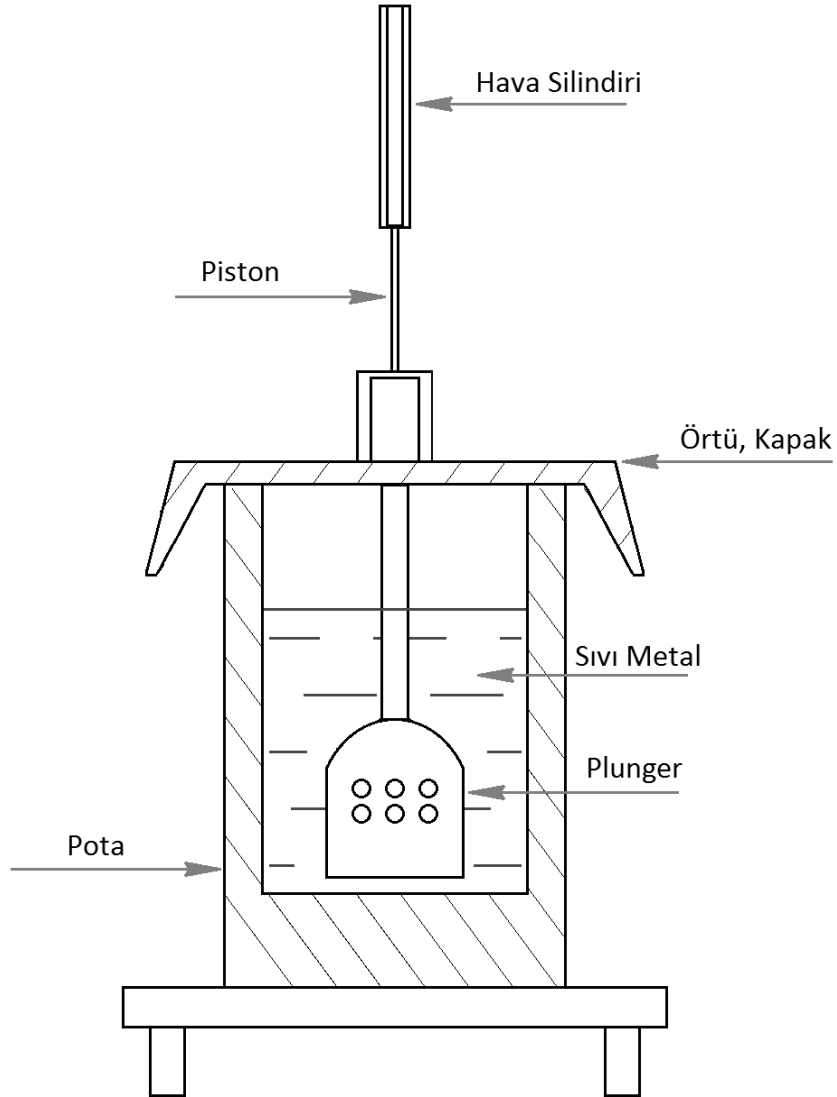
Raflı pota yöntemi: Bu yöntemde Potanın alt kısmında tabana doğru % 5 eğimli, ısıya dayanıklı (refrakter) gereçten delikli bir yerleştirilir. Ön tarafı açık olan bu rafın altına, magnezyum emdirilmiş kok kömürü konduktan sonra pota sıvı metal ile doldurulur.



Şekil 2.6. Raflı pota yöntemi şematik görünümü (M.E.B.)

2.7.2 Daldırma (Plunger) yöntemi

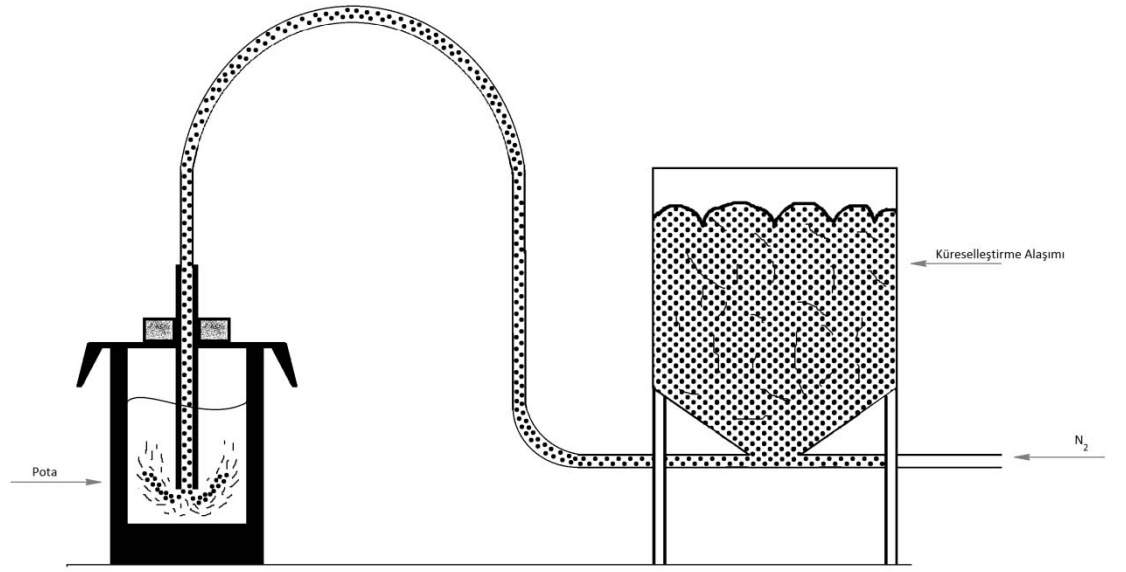
Küreselleştirici malzeme, ısıya dayanıklı gereçten veya grafitten yapılan bir bölme içine yerleştirilir. Daha sonra bu bölme sıvı metal içine daldırılır, fakat saf magnezyumla yapılan bu işlemde, magnezyumun buhar basıncı çok yüksek olduğundan dolayı potanın üzerine bir kapak ile kapatılmalı veya işlem basınçlı bir ortamda yapılmalıdır.



Şekil 2.7. Daldırma yöntemi şematik görünümü (M.E.B., Murakami Y.).

2.7.3.Üfleme yöntemi

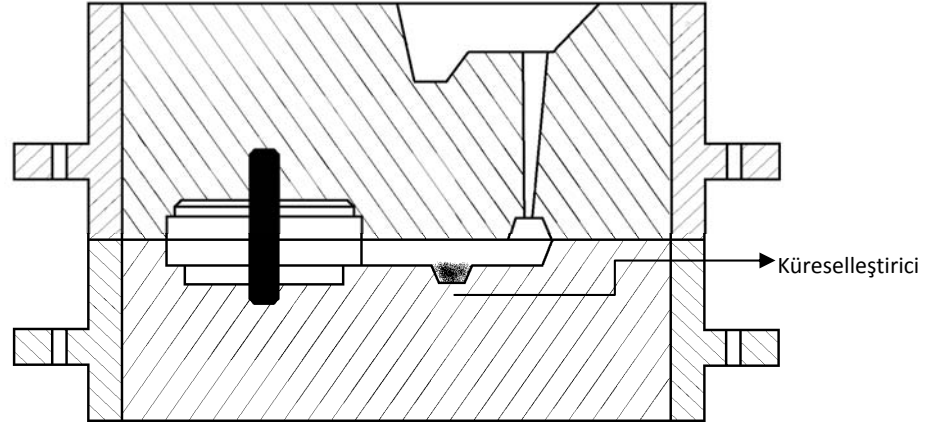
Bu yöntemde küreselleştirici özellikle gazlar pota içindeki sıvı metale pülverize olarak püskürtülür. Bu yöntemde, küreselleştirici gereç ile beraber sıvı metal içine gerekirse kükürt giderici gereçler de püskürtülebilir.



Şekil 2.8. Üfleme yönteminin şeması (M.E.B.)

2.7.4. Kalıpta (Inmold) yöntemi

Küreselleştirme işleminden sonra, sıvı metaldeki magnezyumun etkisini kaybettiği bir gerçektir. Bu kaybı önlemek için sıvı metalin bir an önce kalıplara dökülmesi gerekir. Bunun için küreselleştirme işleminin kalıpta içerisinde yapılması yoluna gidilmiştir.



Şekil 2.9. Kalıpta küreselleştirici ekleme yöntemi (M.E.B.)

2.7.5. Özlü Tel yöntemi

İçinde magnezyum bulunan çelik boru (özlü tel) sarılı olduğu bobinden besleyici makine vasıtasıyla sürekli olarak ergimiş metal içerisine gönderilir. Ne kadar tel gerektiği ham metalin kükürt içeriğine bağlıdır. Tel kalınlığı 4 mm.'den 13 mm.'ye kadar değişmektedir. Yaklaşık olarak 9 mm. kalınlığında tel dakikada 30 – 50 metrelik bir beslemeyle 2 dakikada 1500 kg metalin işlem görmesini sağlar (Murakami Y.).

2.8. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Aşılamanın Önemı

Küreselleşme için tüm işlemler yapıldıktan sonra sıvı metale aşılایıcı katılır. Burada amaç malzemenin düzensiz şekilde katılaşmasını önlemek, grafit kürelerinin fazla büyümesini önlemek ve karbür oluşumunu azaltmaktır. Böylece istenen düzgün şekilli küresel grafitler elde edilir. Aşılama bir nevi çekirdeklenme noktalarının sayısını arttıran işlemlerde denilebilir (Pearce J.). Küresel Grafitli Dökme Demirlerde hem aşının verimi hem de Magnezyumun küreselleşmeye etkisi zaman geçtikçe azalmaktadır. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde aş sönümü yaşamamak için döküm işlemi bir an önce tamamlanmalıdır.

Döküm fazla bekletilirse, aş sönümü gerçekleşmesiyle istenen sonuçları veremeyeceğinden üretilen ürünler hurdaya ayrılmak zorunda kalabilir. Bu sebepten çok dikkat edilmesi gereken işlemlerdir. Aşılama işlemi genellikle Ferro-Silisyum ile yapılmaktadır.

3.KUM KALIBA DÖKÜM

Kum kalıba döküm günümüzde hala en çok kullanılan yöntemdir. Çok farklı büyüklükteki parçalara uygulanabilmesi ve kalıplama maliyetinin az oluşu, tercih nedenlerinin başında gelmektedir. Kum kalıba döküm yöntemi kullanılan kalıbın cinsine göre değişik guruplara ayrılabilir, bunların başlıcaları: yaş kum kalıba döküm, kuru kum kalıba döküm, tamamen maçaların bir araya getirilmesiyle oluşturulan maça kalıba döküm, kabuk kalıba (shell mold) döküm, gaz sertleştirici silikat yöntemi olarak bilinen “CO₂” yöntemi ile hazırlanan kalıba döküm ve kum, organik bağlayıcı, katalizör karışımından oluşturulan ve sıvı reçinelerin polimerizasyonu ile havayla sertleşen (air set) kalıplara döküm yöntemleridir. Bunlardan en yaygın olanları; yaş kum kalıba döküm, kuru kum kalıba döküm ve CO₂ yöntemidir.

3.1. Yaş Kum Kalıba Döküm

Yaş kum ile hazırlanan kalıplarla gerçekleştirilir. Yaş kum: SiO₂ tanecikleri, kil, su ve diğer ilavelerin meydana getirdiği plastik bir karışımdır. “Yaş” terimi ihtiva ettiği nem yüzünden verilmiş olup kuru kum karışımından olan farkını belirtmektedir. Yaş kum kalıbın başlıca avantajları; büyük fleksibilitesi yanında kil, su ve diğer ilavelerin (pülverize kömür, dekstrin, odun talaşı vb.) tazelenmesi ile defalarca kullanılabilmesi ve oldukça ekonomik kalıplama yöntemi oluşudur. Yaş kum kalıba döküm

yöntemi, kalıbın daha yüksek mukavemet ve erozyon direncine sahip olması gerektiği durumlarda (ince, uzun girintili ve çıkıntılı parçalar, karışık şekilli ve iri dökümler vb.) ve daha yüksek boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesinin istendiği hallerde sınırlanır. Bu durumlarda diğer kalıp türleri tercih edebilir.

3.2. Kuru Kum Kalıba Döküm

Yaş kum ile hazırlanan kalıp, fırın içinde(150-350°C) sıcaklığa ısıtılmış hava ile kurutularak mukavemet kazanır. genellikle kalıp boşluğu yüzeyine püskürtülen sıvı karışım, kalıba kurutma sonrası daha yüksek sertlik, ve refrakterlik özelliği sağlar. Kurutmada kaybedilen zaman başlıca dezavantajı teşkil eder. Kalıp boşluk yüzeyinin 2-2,5 cm derinliğine kadar kurutulması ile hazırlanan (kabuk kurutulmuş) (skindried) kalıplar, kuru kum kalıp yönteminin bir başka türü olmaktadır. Kuru kum kalıplarda serbest nem buharı olmadığından kalıp havalandırması problemi çok azalmaktadır. Daha düşük geçirgenlikteki kumların kullanılabilmesi, bu yöntemle daha iyi döküm yüzeyi elde etmek imkânı sağlar. Yaş kum kalıp yöntemine nazaran, nem kontrolü daha az kritiktir. Ayrıca kalıbın dökümden önce bir müddet beklemesi, yaş kum kalıplarda olduğu gibi koruma ve yüzeyin gevrekleşmesi gibi sorunlara yol açmaz ama kısmen kurutulmuş kalıplarda tekrar nemlenmeye sebep olur bu yüzden vakit kaybetmeden döküme geçilmelidir. Kurutma işlemi 400°C' nin üstünde yapıldığında bağlanmış suyun kaybı, killerin mukavemet özellikleri üzerinde yıkıcı bir etki yapacaktır, dolayısıyla bu üst sınırın kesinlikle aşılmaması gerekir.

3.3. CO₂ Yöntemi

Yaş kum kalıplama ile kuru kum kalıplama arasında sınıflandırılabilir modern bir yöntemde (CO₂-sodyum silikat yöntemi) CO₂ ile kalıpların sertleştirilmesidir. Bu yöntemde kalıplar, kurutulmuş kalıbınkine eşit mukavemete, ısıtmaya gerek kalmadan ulaşabilmektedir. Furan reçineleri gibi kendi kendine sertleşen organik bağlayıcı kumlar da kalıplamada benzer şekilde kullanılabilir. CO₂ yönteminde; kum + %1.5-6 cam suyu (Na₂O.SiO₂) karışımı, model etrafına konur ve içinden CO₂ gazı geçirilir. Bu işlemle kalıp sertleştirilir veya sertleştirilen kısımlar bir araya getirilerek kalıp oluşturulur. CO₂ yöntemi ile kalıplamada sodyum silikat bağlayıcıları kullanılmaktadır. Cam suyu ve sodyum silikatın meydana getirdiği düşük mukavemetli kalıplardan CO₂ gazı geçirilerek 14 kg/cm² kadar yüksek bir kuru mukavemete kadar erişilebilir. Bu yöntem pişirilmeden sertleşen kalıp ve bilhassa maça yapımında kullanılır. Yöntem, bilinen bütün döküm alaşımları için uygundur ve özellikle çelik, gri dökme demir ve bakır esaslı alaşımlarının dökümünde kullanılır. Bu yöntem için hazırlanan kum karışımının bekleme süresi çok daha kısadır. Kalıp ve maça yapım tekniği yaş ve kuru kalıplamada olduğu gibidir.

4. KALIPLAMA MAKİNELERİ

Günümüzde seri üretimde kalıplama, makineler yardımıyla yapılmaktadır. Kalıplama makineleri; dereceli olarak (basma tipi, sarsma tipi, savurma tipi) üç ana gruba ayrılır. Bu makinelerde kalıp kumu dereceler içine doldurulur ve sıkıştırılarak kalıp boşluğu istenen şekilde elde edilir. Derecesiz olarak ise, disamatik ve üniversal olmak üzere iki ana grubu ayrılır.

4.1. Basma Tipi Kalıplama Makineleri

Bu tip makinelerde kalıplama işlemi basma yoluyla yapılır. Kum yüzeyine basınç pnömatik veya el ile bir basınç plakası vasıtasıyla iletilir. Kumdaki sıkışma derecesi, basınç plakasından içeriye doğru (model'e doğru) azaldığından derecelerin yüksekliği sınırlı olmakta ve 40-45 cm. kadar olabilmektedir. Daha çok küçük boyutlu dereceler için kullanılır.

4.2. Sarsma Tipi Kalıplama Makineleri

Kumla dolu kalıplamaya hazır derecenin, düşey yönde sarsılması yoluyla gerçekleştirilir. Sıkışma, düşme hareketinde kumun kinetik enerjisinin yaptığı iştir. Bu tip makinelerde, maksimum basınç model yüzeyine yakın bölgelerde oluşur ve dolayısıyla derecenin üst kısmının tamponlanarak sıkıştırılması gerekir. Sarsma makinesinde kapasite, kaldırılıp-indirilen toplam ağırlıkla orantılıdır. Daha çok küçük boyutlu dereceler için kullanılır.

Basma ve sarsma tipi makinelerdeki işlemlerin birleşmesinden oluşan “Sarsma-basma” tipi kalıplama makineleri de vardır. Sarsma sırasında ilk önce üst derece sıkışır. Bundan sonra alt derece sarsılır ve sonra her iki derece basma hareketine tabii tutulur.

4.3. Savurma Tipi Kalıplama Makineleri

Bu tip makinelerde, kum kalıp yüzeyine yüksek hızla savrulularak sıkıştırılmış olur. Başlangıçta savurma hızı (1200 dev/dk rotor hızı) düşük tutulur. Kum, model üzerine yayıldıkça hız artırılarak 1800 dev/dk'ya yükseltilebilir; bu durumda savrulan kumun hızı 3084 m/dk ya kadar ulaşabilir. Bu yöntemle kalıbın boyutlarına tabi olunmadan sıkıştırma yapılabilir, dolayısıyla büyük döküm parçaları da bu yöntemle kalıplanabilir.

4.4. Derecesiz Otomatik Kalıplama

Derecesiz otomatik kalıplama yönteminde esas itici güç yeni kum bağlayıcılarından gelmektedir. Ayrıca özellikle maliyet açısından dereceli kalıplama ile karşılaştırıldığında, gerek derece maliyeti ve gerekse boş derece depolama ve derece konveyörleri büyük oranla azalmakta veya ortadan kalmaktadır. Kalıplamadaki bütün işlemler (alt ve üst yarılarının teşkili, maça yerleştirme, derece kapama) bir ünite içinde yapılır. Bu derecesiz kalıplamanın önemli bir avantajıdır.

İlk yatırım masrafı biraz daha fazla olsa da bütün işlemler açısından mukayese edildiğinde derecesiz kalıplama yöntemleri derecelilere nazaran daha avantajlı olmaktadır.

4.4.1. DISAMATİK veya yüksek basınçlı derecesiz kalıplama

Disamatik sistemde bütün derecesiz otomatik kalıplama sistemleri gibi büyük bir üretim kapasitesi iyi döküm kalitesi ve düşük maliyet avantajlarını taşımaktadır. Disamatik sistemdeki işlemler kademeleri özet olarak aşağıda açıklanmaktadır:

- 1) Kompresör ve hidrolik sistem ile pistonu itilerek kalıp yapılacak bölgenin kum deposunu altına gelmesi sağlanır.
- 2) Basınçlı hava yardımıyla kum, kalıp kısmına doldurulur.
- 3) Pistonun yardımıyla kalıp basınç altında sıkıştırılır: (8-30) kg/cm²
- 4) Oluşturulan kum kalıp, piston yardımıyla destekleyen plaka vasıtasıyla kalıp hattına sürüklenir.
- 5) Bu işlemler ard arda tekrarlanarak kum kalıplar birbirlerine dayalı bir şekilde kalıp hattında döküme doğru ilerler.

Bu yöntemle saatte 300 kalıp üretilebilmektedir. Maça icap eden döküm şekillerinde, kalıp üretim kademeleri arasında bir kalıp yarısı hazırlandıktan sonra otomatik olarak maçalar yerlerine yerleştirilebilmektedir ve bu yaklaşık olarak 9 sn sürmektedir. Maçalar el ile de yerleştirilebilmektedir. Bu yöntemde kalıbın %60'ı etkin olarak kullanılabilir veya başka bir deyimle model hacmi tüm kalıbın hacminin %60'ı olabilir. Kalıp boyutları 95x 70 x 56 (max) cm olabilmektedir. Sistemde kullanılacak kum için öneriler; 60 – 80 AFS inceliğinde olması, % 2,5 – 3 nem ve yeterince bağlayıcı ihtiva etmesi ve standart basma mukavemetinin yaklaşık 1,7 kg/cm² olmasıdır. Disamatik yöntemine otomatik derecesiz kalıplama yöntemleri içinde düşey kalıplama yöntemi adı da verilir ve en yaygın olanıdır.

4.4.2. Ünlversal otomatik derecesiz kalıplama

Bu yöntem yatay olarak kalıplama yapan gruba girer. Bu sistemde kum, kalıba püskürtülerek değil, normal dökülerek dolar. Ünlversal yöntemin en büyük avantajı kalıpların birbirinden bağımsız olarak depolanabilmesi veya bir yerden diğerine gönderilebilmektedir. Mala yüzeyinin (alt ve üst derece arasındaki yüzey) %85'i model tarafından model tarafından kaplanabilmektedir. İki kalıp yarısı arasında %15 temas yüzeyi yeterli olmaktadır. Düşey sistemlerde kalıp mukavemeti açısında temas yüzeyi yüzdesini daha yüksek olması beklenir. Ünlversal yönteminde sıkıştırma basıncı 5-6 kg/cm² dir. Sistemindeki hareketli hava ile çalışıp, sıkıştırma hidrolik olarak yapılmaktadır. Sarf edilen hava 0,4-1,5 m³/dk civarındadır. Kumda nem yüzdesi 3,5 ila 4 arasındadır. Ve kum özellikleri sabit tutulmalıdır. Kalıp boyutları büyük makinelerde 508x610x205 mm alt yarım ve (x195 üst yarım) küçük makinelerde 356x483x130 mm (alt ve üst yarımlar) olabilmektedir.

4.4.3. G.F. kalıplama

Bu yöntemde döner tabloları kalıplama makinesinde üst ve alt dereceler paralel ve simültane olarak kalıplanırlar. Döner tablolar sayesinde maça yerleştirme ve kalıp kapama işlemleri kalıplamanın sürekliliğini aksatmaz. G.F. yöntemin de kalıp boyutları 60x50 cm ila 70x60 cm olabilmektedir. Kalıp yüksekliği 30-44 cm arasındadır.

Yaklaşık olarak 250-280 kalıp/saat üretilmektedir. Kalıp sıkıştırma basıncı 10 kg/cm² (Max) değerindedir. Kum ihtiyacı saatte 55-70 tondur.

4.5. Vakumlu Kalıplama Yöntemi

1972 de Japonlar tarafından geliştirilen bu yöntemde geleneksel kalıp kumu karışımlarından yalnız kum bulunmaktadır. Herhangi bir bağlayıcının ve nemin bulunmadığı ve yalnız ince taneli kumun kullanıldığı bu yöntemde kalıp şekli vakum etkisiyle sağlanmaktadır. Vakumlu kalıplama yönteminde kum kitlesi bir plastik filmle şekillendirilip çerçevelenir; kalıp içi basıncın azaltılmasıyla kum kitlesi sıkıştırılır ve kalıp oluşturulur. Ergimiş metalin boşaltılması ve katılaşmasından sonra kalıp normal basınca getirilir ve döküm parçaları kendiliğinden dağılan kalıptan herhangi bir işlem gerektirmeden hemen ayrılırlar. Bilinen bütün dökme demir, çelikler, özel alaşımlı çelikler ve demir dışı metal ve alaşımlarının döküm yöntemi ile şekillendirilmesinde kullanılabilir.

5. KALIP KUMU

Kum genel olarak 0.05-2 mm boyutlarındaki mineral tanesi şeklinde tarif edilebilir.

Döküm kumları genellikle SiO₂ bileşimindedir. Silis kumunun dökümhanelerde kalıp malzemesi olarak tercih edilmesinin başlıca nedenleri: kolay bulunuşu, ucuz oluşu ve sıvı metalin etkilerine karşı koyabilecek yüksek refrakter özelliğindedir.

5.1. Kalıp Kumundan Beklenen Özellikler

Kalıp kumlarının- kalıp üretim yöntemine göre değişebilmekle beraber beklenen bazı özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bu özelliklerin döküm kalitesi açısından istenmeyen bir durumla karşılaşılması için her döküm öncesinde sürekli kontrol edilmesi gerekir. Bunlar genellikle;

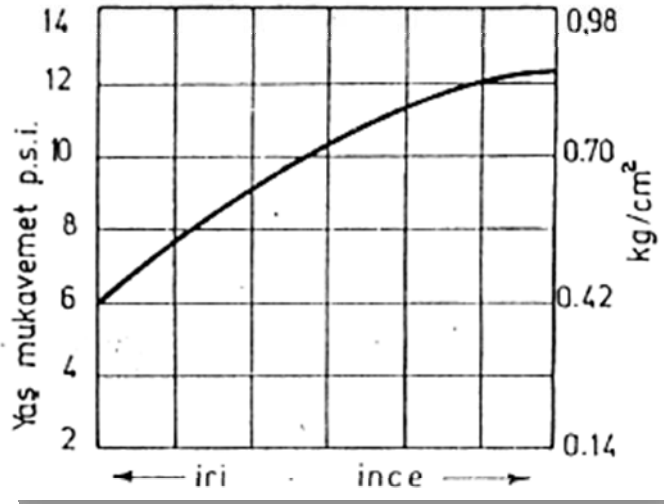
- a) Yaş mukavemet
- b) Gaz geçirgenliği
- c) Kuru mukavemet
- d) Nem miktarı
- e) Kil miktarı
- f) Tane inceliği ve dağılım
- g) Sıcaklık
- h) Sıkılaştırılabilirlik

1) Islak kopma mukavemeti vb.

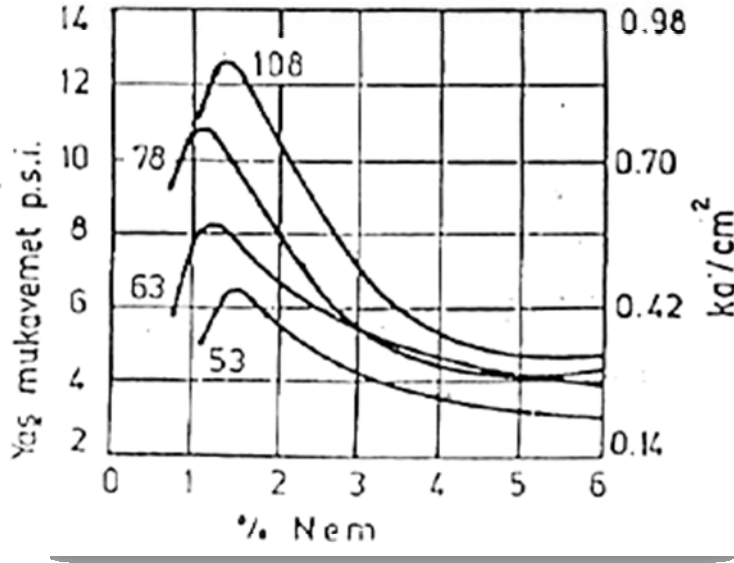
Ayrıca bütün bunları etkileyen ve bu faktörlerden istenen özellikleri sağlamada dengelenmesi gereken bazı unsurlar vardır. Bunların en önemlileri;

- a) Kum tane büyüklüğü
- b) Kum tane şekli
- c) Kuma katılan bağlayıcı cinsi ve miktarı
- d) Nem miktarı
- e) Kum sıcaklığıdır.
- f) Yeni- eski kum oranı
- g) İlaveler ve oranlarıdır (odun talaşı, kömür tozu vs.).

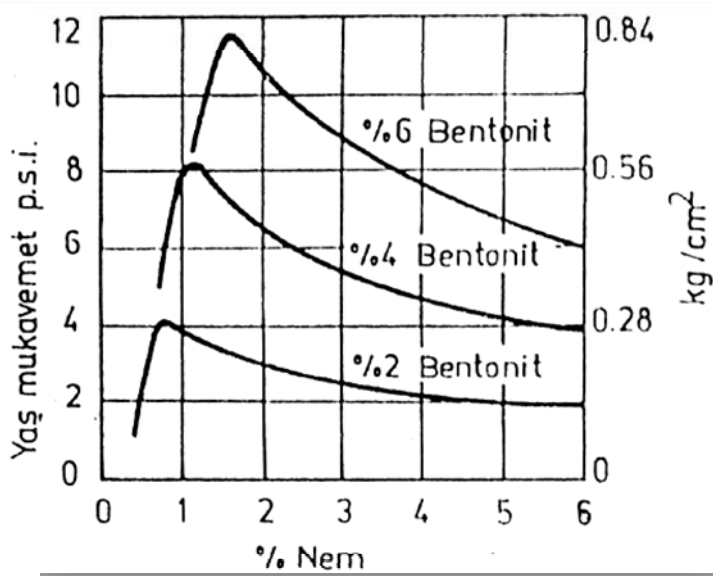
Tüm bu parametrelerin birleriyle ilişkileri istenen özelliklere göre ayarlanarak kalıp kumu hazırlanır. Bu parametrelerin bazılarının birbirleriyle ilişkileri şekil 5.1 – 5.8’de gösterilmiştir.



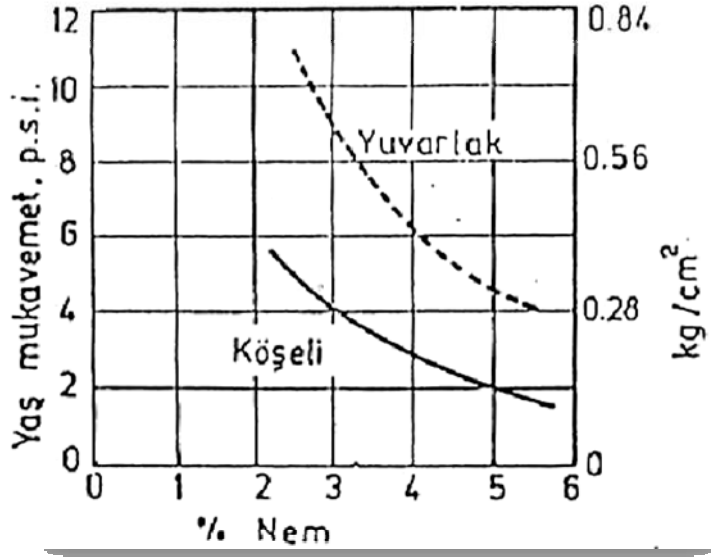
Şekil 5.1. Tane inceliğinin yaş mukavemete etkisi (Zeren M.).



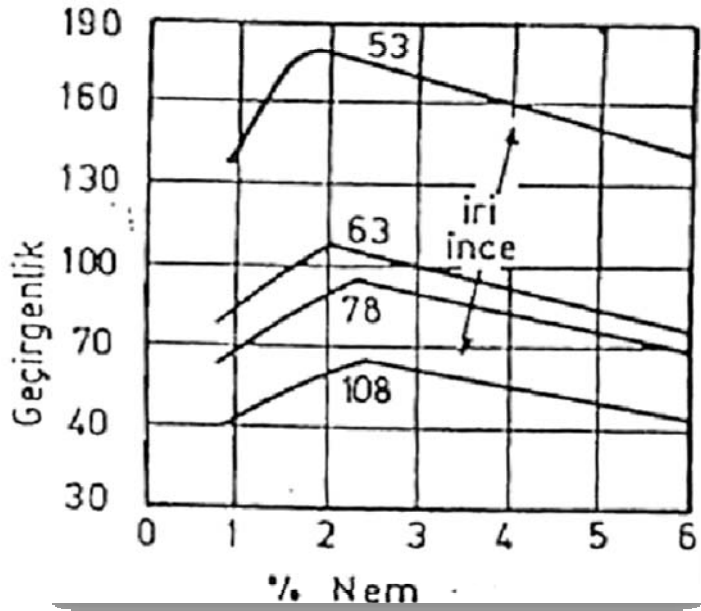
Şekil 5.2. Değişik tane inceliğine göre yaş mukavemetteki değişimi (Zeren M.).



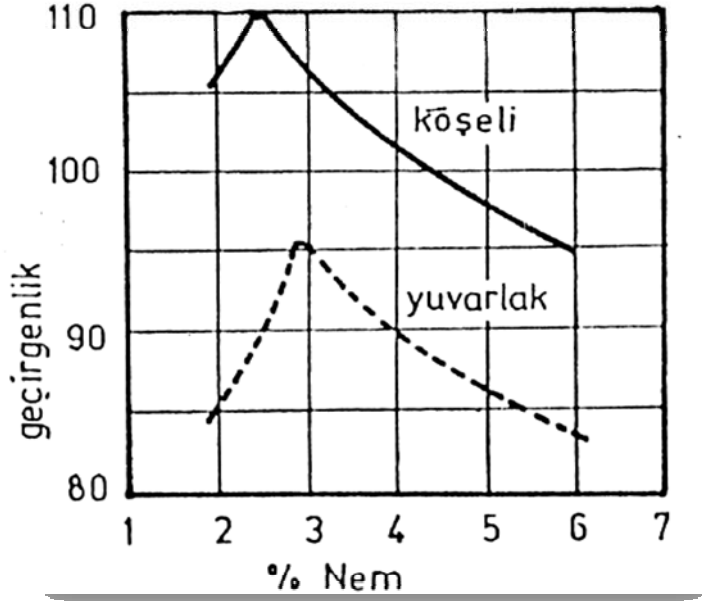
Şekil 5.3. Yaş mukavemet, bentonit, %nem ilişkisi (Zeren M.).



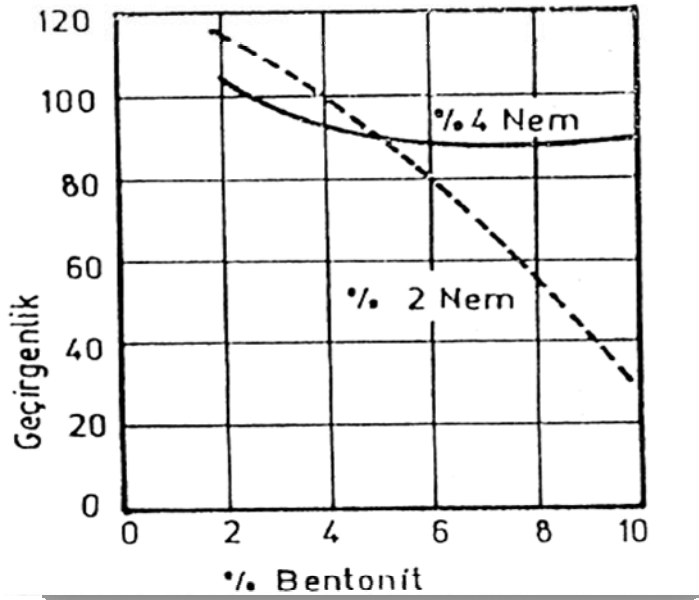
Şekil 5.4. Kum tane şekline göre yaş mukavemetteki değişim (Zeren M.).



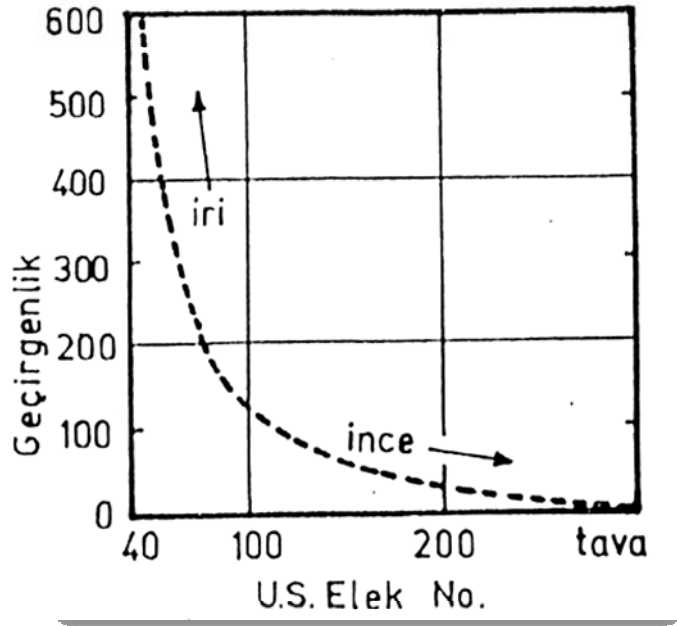
Şekil 5.5. Geçirgenlik, %nem, Tane boyutu ilişkisi (Zeren M.).



Şekil 5.6. Geçirgenlik, % Nem, Tane şekli ilişkisi (Zeren M.).



Şekil 5.7. Geçirgenlik, Bentonit, % Nem ilişkisi (Zeren M.).



Şekil 5.8. Geçirgenlik, U.S. Elek No., Tane boyutu ilişkisi (Zeren M.).

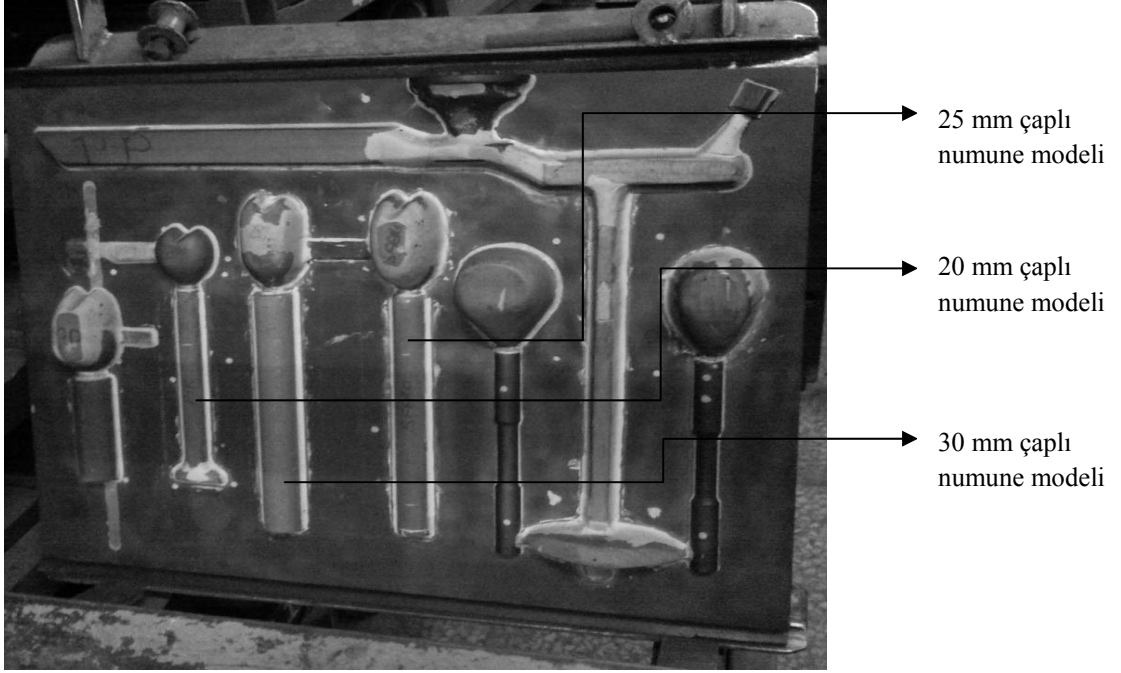
6. DENEY MALZEMELERİNİN ÜRETİM SÜRECİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deney Malzemelerinin Üretim Süreci

Deney malzemelerinin tümünün üretimi Trakya Döküm A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir. Burada dökümü gerçekleştirilen malzemelerin (GGG40-GGG50-GGG60-GGG70) her birinde aynı prosedür uygulanmış olup sırasıyla; döküm modeli, döküm kalıbı hazırlanması, kalıp kumunun kontrolleri, dökümün sıcaklık ve içeriği kontrolleri ve nihai işlemlerden geçerek döküm süreci tamamlanmıştır.

6.1.1. Döküm modeli

Döküm kalıbı oluşturulmak için Şekil 6.1. de görülen kalıp modeli kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Kalıp modeli

Döküm kalıpları hazırlamadan önce, kalıpların hazırlanacağı döküm kalıp kumunun bu işlem için istenilen kalitede olup olmadığının kontrolünün yapılması gerekmektedir. Burada kalıp kumunun; sıcaklığı ölçümü, nem ölçümü, gaz geçirgenliği, sıkıştırılabilirliği, ıslak çekme gerilmesi ile yaş basma ve çekme gerilmesi işlemleri yapılmıştır.

6.1.2. Kalıp kumunun nem ölçümü

Hazırlanan kalıp kumundan bir miktar (50 gr) alınarak, Şekil 6.2.' de görülen nem ölçme cihazının hassas terazi kısmına konularak, % nem oranı belirlendi.



Şekil 6.2. Nem ölçüm cihazı

6.1.3. Kalıp kumunun sıcaklık ölçümü

Hazırlanan kalıp kumundan bir miktar alınarak, olabildiğince hızlı bir şekilde sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

6.1.4. Kalıp Kumunun sıkıştırılabilirliğinin ölçülmesi

Bu değerin belirlenmesinde ölçüleri standart olan, içi boş, silindirik hazne sıkıştırılmadan tamamen kalıp kumuyla doldurulduktan sonra standart üç tokmak vuruşu yapıldı ve % sıkıştırılabilirlik oranı belirlenmiştir.

6.1.5. Gaz geçirgenliği ölçümü

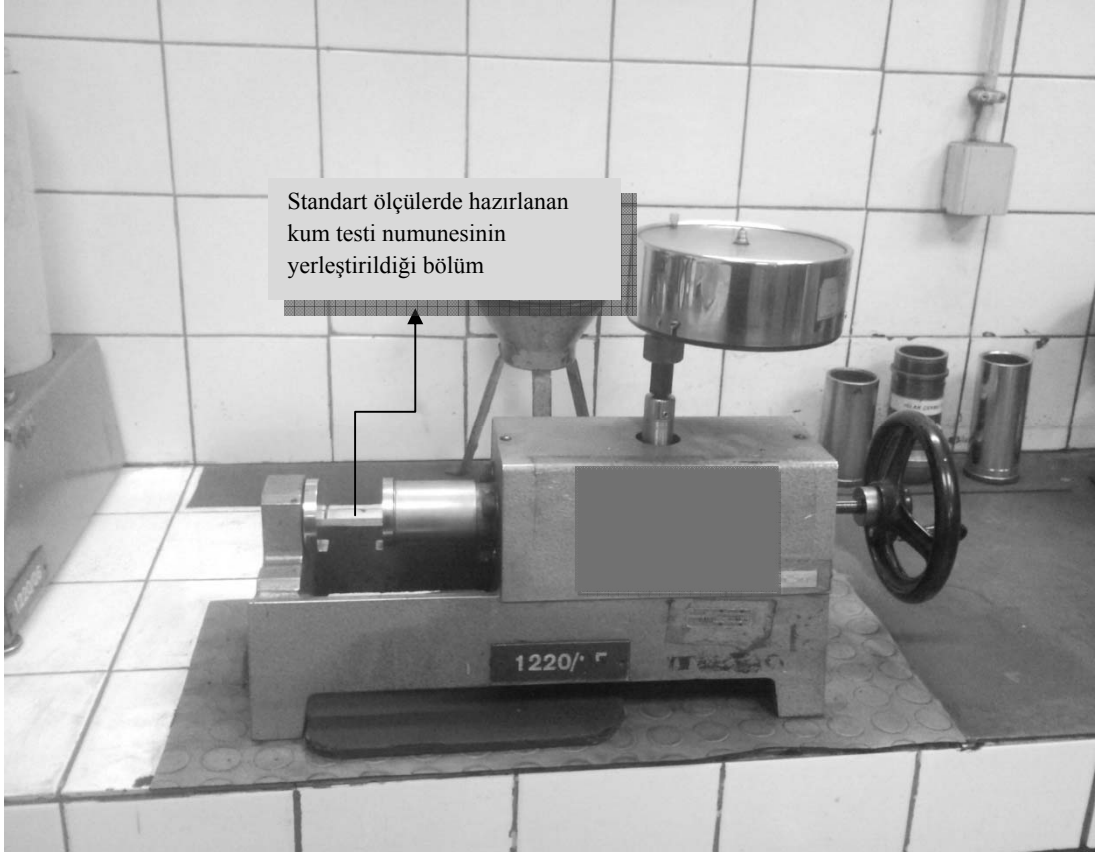
Hazırlanan standart test numunesi, Şekil 6.3.'te görülen gaz geçirgenliği ölçüm cihazına yerleştirildikten sonra % gaz geçirgenlik oranı belirlenmiştir.



Şekil 6.3. Gaz geçirgenliği ölçüm cihazı

6.1.6. Yaş basma ve çekme gerilmesi ölçümü

İki test için de Şekil 6.4.'te görülen test cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan standart test numunesi, yaş basma gerilmesi ölçümü için cihaz tutucularına silindir dikey eksenine paralel olarak, yaş çekme gerilmesi içinse silindir tutucularına dikey eksenine dik gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Her bir test için standart test numunesine, üzerinde çatlak oluşuncaya kadar kuvvet uygulandıktan sonra, cihaz üzerinden gerilme değerleri okunarak belirlenmiştir.



Şekil 6.4. Yaş basma ve çekme gerilmesi ölçüm test cihazı

6.1.7. Islak çekme gerilmesi ölçümü

Sıvı metal kalıba dolduğunda, metalden kuma ısı transferi oluşur, bu esnada kum kalıba metalle temas eden ve sıcak tabaka olarak adlandırılan kısımdan nem daha soğuk tabakaya doğru geçerek dışarı çıkmaya çalışır. Böylece o bölgede sıcak tabakanın arkasında ıslak tabaka olarak adlandırılan ıslak ve zayıf bir tabaka oluşur ve oluşan bu tabakanın dayanıklılığının da bir değer aralığında bulunması istendiğinden bu test gerçekleştirilir. Hazırlanan standart test numunesi ıslak çekme gerilmesinin ölçüleceği Şekil 5.'te görülen cihaza yerleştirildikten sonra ölçüm sonucu alınır.



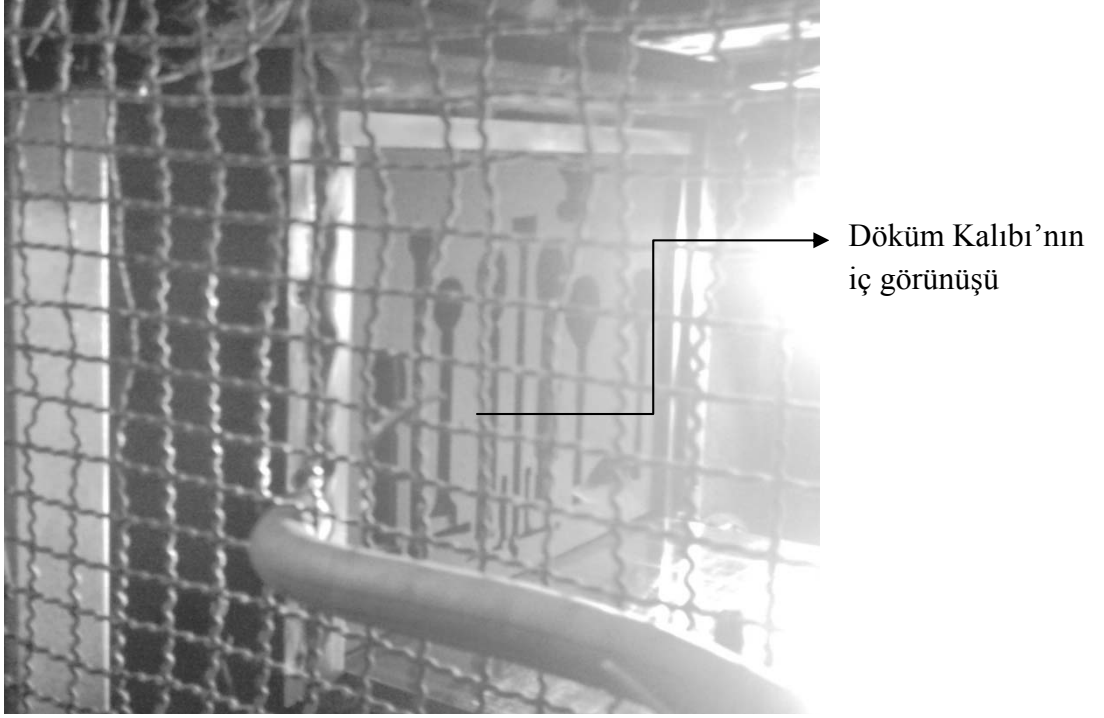
Şekil 6.5. Islak çekme gerilmesi ölçüm test cihazı

Tüm bu işlemlerin sonuçları istenilen değer aralığında çıktığı takdirde kalıp kumumuzdan kalıp eldesine ve döküm işlemine geçilebilir.

6.1.8. Döküm kalıbı

Kalıp modeli, kalıpları oluşturacak olan döküm makinesine (Disamatik) yerleştirilmiştir. Döküm kalıplarının yerleştirildiği fabrikada bulunan DISAMATİK yaş

kum kalıpları üretilerek (Şekil 6.6.) seri bir şekilde döküm hattına doğru ilerler (Şekil 6.7.).



Şekil 6.6. Disamatik'te üretilen bir kalıp



Şekil 6.7. Döküm hattına ilerleyen kalıplar

6.1.9. Döküm İşlemi

Döküm hattında ilerleyen kum kalıplara Şekil 6.8.'de görüldüğü gibi, otomatik kontroller sayesinde sıvı metal dökülerek işlem gerçekleştirilir.



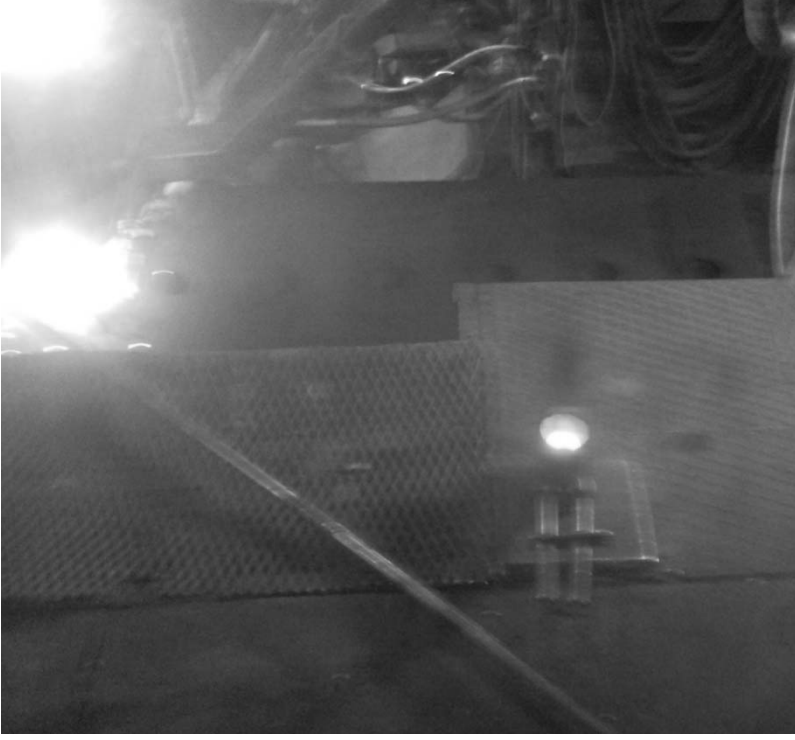
Şekil 6.8. Sıvı metalin kalıba dökülmesi

Döküm işlemi gerçekleştirilirken, dökümün sıcaklığı ve içeriği kontrol edilir. Bu işlem ne kadar erken ve çabuk yapılırsa o kadar iyidir. Çünkü istenmeyen problemler daha da büyümeden en başından engellenebilir. Döküm sıcaklığı Şekil 6.9 'da görüldüğü üzere uzun ve dijital termometrelerle döküm anında ölçülür.



Şekil 6.9. Dökümde sıcaklık ölçümü

Yine bu sırada döküm malzemesinin içeriğinin analizi için, dökümden uygun bir şekilde numune alınarak (Şekil 6.10. ve 6.11.), spektrum analiz cihazına ve C-S cihazına gönderilir. Bu işlemler dökümün ilk anında hızlıca gerçekleştirilir ki, istenmeyen bir durum ortaya çıkması halinde döküme müdahalede geç kalınmaması sağlanır.



Şekil 6.10. Spektrum analizi için alınan örnek



Şekil 6.11. C-S analizi için alınan örnek

Mg ilavesiyle küreselleştirilen ve Ferrosilisyum ile aşıl原因 küresel grafitli dökme demirimiz, döküm hattında otomatik olarak, sıralı kalıplara dökülerek, döküm hattında havada soğuyarak ilerlemeye devam eder (Şekil 6.12.).



Şekil 6.12. Dökümden hemen sonra hattın ilerleyişi

6.1.10. Nihai işlemler

Döküm hattında, kum kalıplar içinde ilerleyen metal malzemeler, çevrelerindeki kum malzemeden kurtulmak üzere önce sarsak ve sonra tamburdan geçerek büyük oranda temizlenir ve Şekil 6.13.'teki görünüme ulaşırlar.



Şekil 6.13. Kalıptan çıkarılan ürünün sarsak ve tamburdan geçtikten sonraki hali

Son olarak, çelik bilyeler püskürtme işlemine alınan döküm parçalarımız, döküm kumlarından tamamen temizlenerek, Şekil 6.14.'daki görünümüne ulaşırlar. Bu işlem sonunda döküm hattı süreci de bitmiş olur.



Şekil 6.14. Döküm hattından çıkan parçanın nihai görünüşü

6.2 Deneysel Çalışmalar

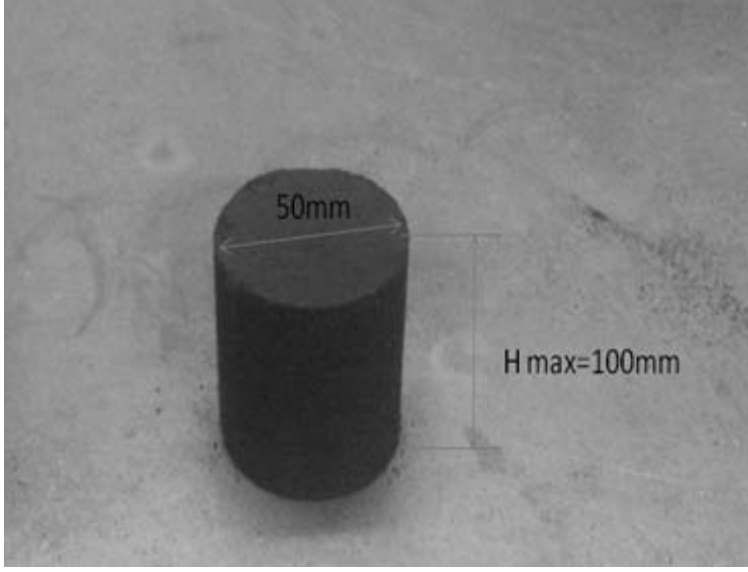
6.2.1. Kum testi numunesi

Yaş basma, yaş çekme, ıslak çekme gerilmesi, sıkıştırılabilirlik testlerinin hepsinde aynı standart numune hazırlama kalıbı kullanılır. Bu kalıp içi boş ve numune hazırlama kalıbı kullanılır. Bu kalıp içi boş ve standart ölçülerde olan bir silindirdir. Bu

silindir, testi yapılacak kum örneğiyle doldurularak, buna özel Şekil 6.15.'de görülen cihazına yerleştirilerek, standart üç tokmak vuruşu yapılarak, standart kum test numunesi elde edilmiş olur (Şekil 6.16).



Şekil 6.15. Tokmaktama işlemin yapıldığı cihaz



Şekil 6.16. Standart kum test numunesi

Tüm kum testlerinde standart numune olarak bahsedilen şekil 6.18.'de görülen numune hazırlanır.

6.2.2. Çekme testi

GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerden dökümleri yapılan, çapları 20/25/30, boyları 225 mm olan çubuklardan, tornada talaşlı işleme ile DIN50 125 standartlarına uygun Şekil 6.17.'de görülen çekme testi numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 6.17. Çekme Deneyi Numunesi (Çekme Çubuğu)

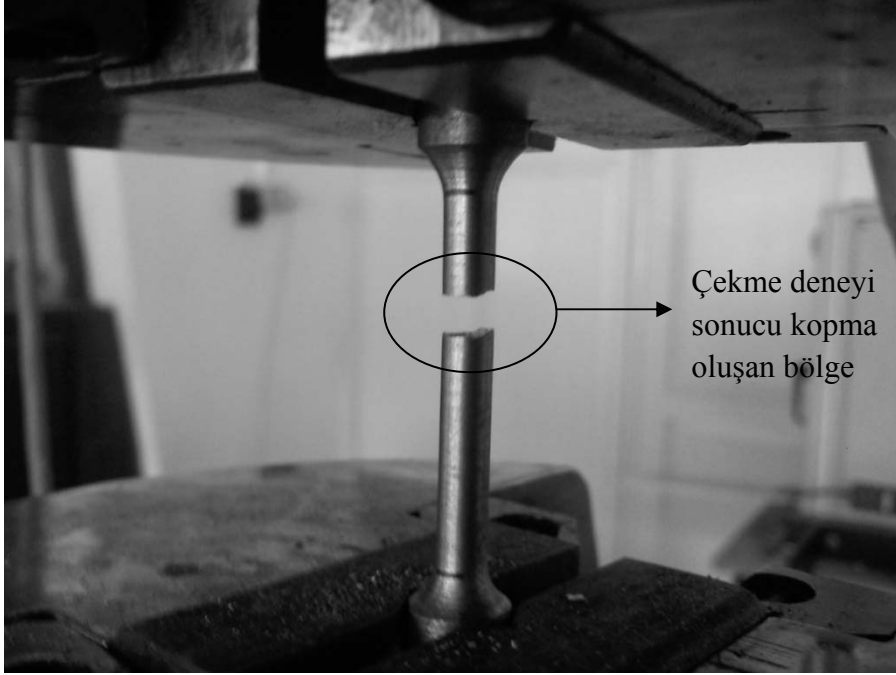
Çekme deneylerinin tümü, Şekil 6.18.'de görülen Instron cihazına Şekil 6.19.'da görüldüğü gibi alt ve üst çeneler vasıtasıyla yerleştirilerek, bilgisayar kontrolünde gerçekleştirilmiştir. Deneylerden bir tanesinin kopma sonucu görünüşü Şekil 6.20'de gösterilmektedir.



Şekil 6.18. Instron Test Cihazı



Şekil 6.19. Alt ve üst çene arasına yerleştirilmiş çekme çubuğu



Şekil 6.20. Bir çekme deneyi sonu numunenin görünüşü

6.2.3. Yorulma testi

GGG40 ve GGG70 malzemelerinden dökümleri yapılan ve çapları 20/25/30 mm, boyları 225 mm olan çubuklardan, çekme testi numunelerinden daha hassas bir şekilde tornada işlenerek yorulma testi numuneleri elde edildi. Elde edilen numuneler değişik ortalama genliklerde ve ± 32 MPa eklenerek Instron cihazında yorulma deneyine tabii tutulmuşlardır. Şekil 6.21’de yorulma sonucu deney numunesinde oluşan çatlak görülmektedir.



Şekil 6.21. Bir yorulma deneyi sonucu numunenin görünüşü

6.2.4. Metalografik inceleme ve sertlik testi

GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemedan dökümleri yapılan çapları 20/25/30 mm ve boyları 225 mm olan çubuklardan, keserek boyları 20 mm ve çapları yine 20/25/30 da kalmak suretiyle küçük silindir şeklinde iki grup olmak üzere sertlik testi numuneleri elde edilmiştir. Bu gruplardan biri ısıtıl işlem görmüştür. Her iki grupta sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemlerine (Tablo 6.1) tabi tutulmuşlardır. Şekil 6.22’te bu işlemleri bitmiş numune görülmektedir. Bu işlemlerin sonunda numunelere metalografik incelemeler ve sertlik testi yapılmıştır.

Tablo 6.1. Yüzey işleme durumu

İşlem sırası	1.	2.	3.	4.
Zımpara numarası	180	320	600	1000
Elmas süspansiyonu	6 mikron	1 mikron		



Şekil 6.22. Yüzey işlemlerini bitmiş test numunesi

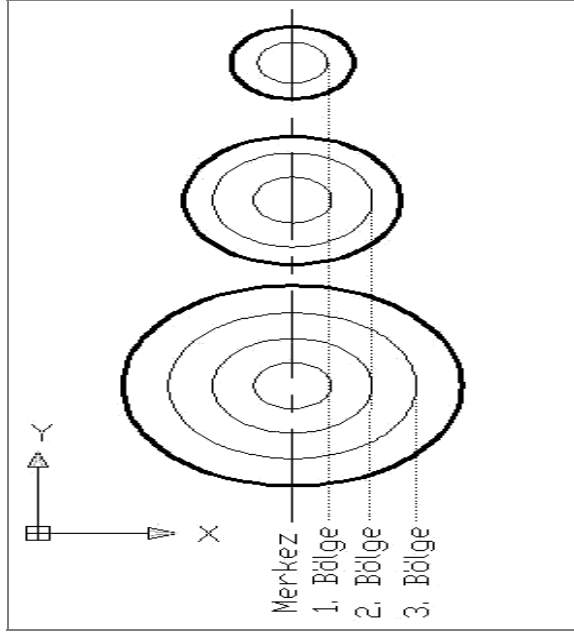
Sertlik testi için Brinell testi seçilmiştir (Basaj, L. Wahlberg, A. Hardness, AB). Yüzeyi zımparalanmış ve parlatılmış sertlik testi numuneleri, sertlik testinin yapılacağı cihaza, plaka yüzeyine paralel ve esnemeye imkan vermeyecek bir şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 6.23). Deney izlerinin birbirinden ve parçanın kenarından yeterli uzaklıkta olması test cihazının optik kontrolü ile sağlanmıştır (Şekil 6.24). Sertlik test cihazında, deney numunesi üzerine batırılacak uca 5mm çapında Tungsten karbür bilye takılarak, deney numunesi üzerine 750 kgf deney yükü uygulanmıştır. Bu şekilde üç farklı çapta dökülen çubuklardan elde edilen numunelerin her birinden, Şekil 6.25'te görüldüğü üzere merkezden ve diğer belirlenen bölgelerden sertlik testi sonuçları alınmıştır.



Şekil 6.23. Numune yerleştirilmiş sertlik cihazı görüntüsü



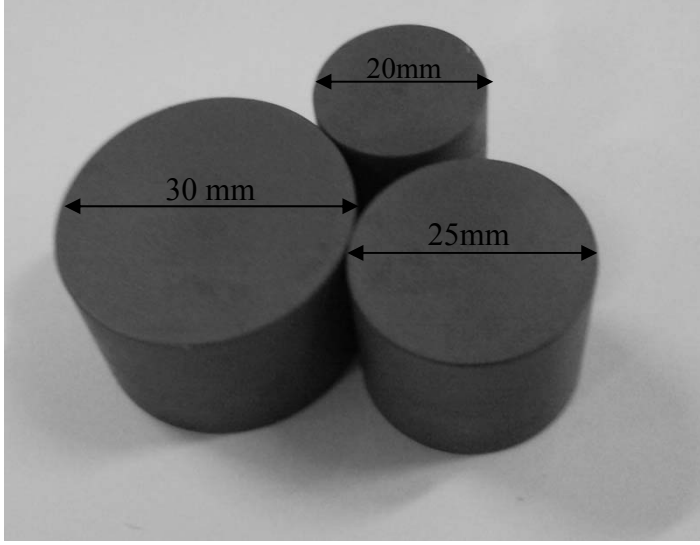
Şekil 6.24. Bir sertlik testi anında bilgisayar kontrolü



Şekil 6.25. Farklı çaplardaki sertlik test numunelerinin ölçüm yapılan bölgelerinin üstten şematik görünümü

6.2.4.1. Tavlama işlemi

Burada 4 ayrı malzemeden elde edilen deney numunelerinin tümünün yapısının tamamen ferritik olması amaçlanarak yaklaşık 35 saat kadar fırında ısıl işlem görmüşlerdir (Yaklaşık 9 saatlik bir ön ısıtmayla 900°C yakınlarına getirilerek burada 7 saat kadar bekletildikten sonra sıcaklık artırımına giderek 7 saat kadar da 950°C civarlarında tutulmuş olup, bundan sonra hızlı bir soğumayla iki saat içinde 750°C yakınlarına inilmiş ve yavaş yavaş 4 saati bulan bir soğumayla 700°C civarında fırından çıkarılarak havada soğumaya bırakılmıştır). Daha sonra ısıl işlem görmüş numunelere (Şekil 6.26) de yüzey iyileştirme için Tablo 6.1'deki sırayla zımpara ve parlatmaya tabi tutularak önce metalografik inceleme sonrasında da sertlik ölçümleri yapılmıştır.



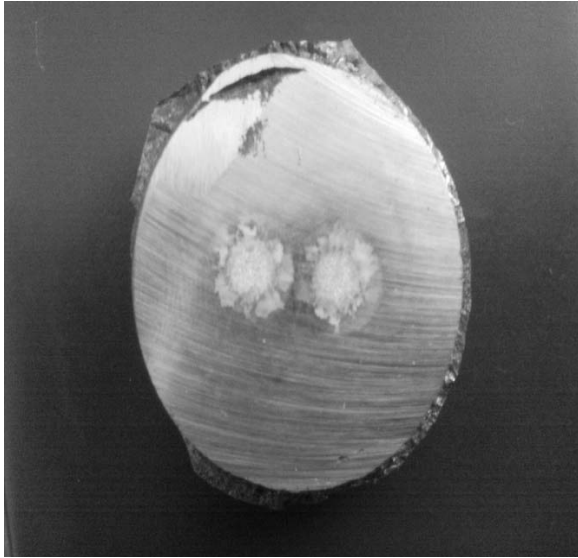
Şekil 6.26. Isıl işlem görmüş numuneler

6.2.5. Spektrum analizi

Döküm sırasında uygun bir aparatla bir miktar döküm metalinden alındıktan sonra, bu para şeklindeki numune soğuyup aparattan ayrıldıktan sonra taşlanarak, spektrum analiz cihazına yerleştirildi (Şekil 6.27). Spektrum analiz cihazında iki farklı noktadan (Şekil 6.28) malzeme yakılarak bu noktalardan alınan verilerin ortalaması sonuç çıktısı olarak alındı.



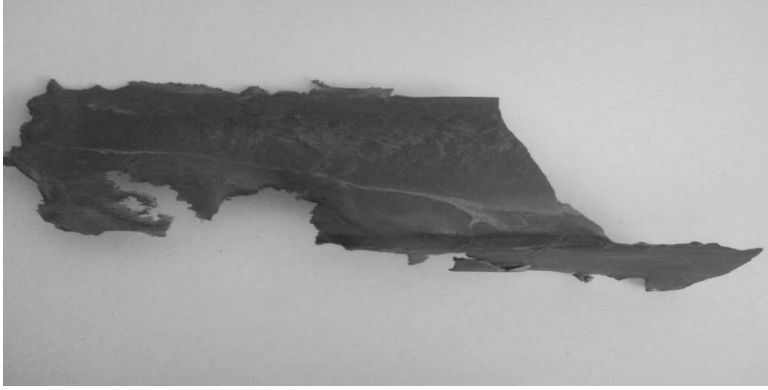
Şekil 6.27. Spektrum analiz cihazı



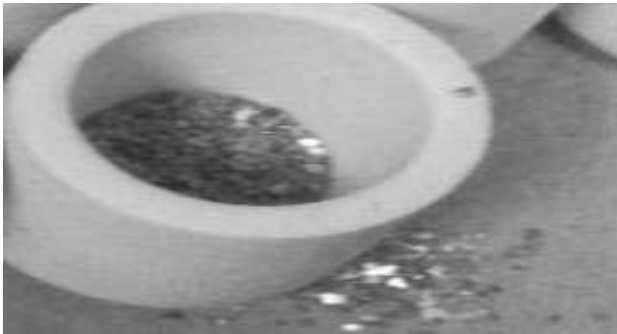
Şekil 6.28. Spektrum analiz cihazında işlem görmüş numune

6.2.6. C-S (Karbon-Kükürt) analizi

Döküm esnasında uygun bir aparatla döküm metalinden ince kabuk şeklinde bir miktar numune alınmıştır (Şekil 6.29). Bu numune soğuduktan sonra tokmakla dövülerek Şekil 6.30'deki gibi küçük parçalar elde edildi. Bu küçük parçalardan 35 gr kadarı seramik bir kap içerisinde Şekil 6.31'te görülen C-S analiz cihazına konduktan sonra seramik kap içerisindeki malzemenin yakılması suretiyle elde edilen veriler alındı.



Şekil 6.29. Kabuk şeklindeki numune görünüşü



Şekil 6.30. Seramik kap içinde dövülmüş numune parçacıkları



Şekil 6.31. C-S analiz cihazı

7. DENEYSEL BULGULAR

7.1. Kum Testleri Sonuçlar

Küresel grafitli dökme demirlerin disamatik vasıtasıyla döküm kalıplarını oluşturacak olan sistem kumunun istenen özelliklere sahip olup olmadığının kontrolü için yapılan testlerin sonuçları Tablo 7.1’de görölmektedir. Ayrıca istenen değer aralıklarında Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.1’deki değerler Tablo 7.2’deki değerlerle karşılaştırıldığında GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerinin üretiminde kullanılan kalıp kumunun % nem, sıcaklık, gaz geçirgenliği, sıkıştırılabilirlik oranı, ıslak çekme mukavemeti, yaş çekme ve basma mukavemeti değerlerinin tümünün istenilen değer aralığında olduğu görölmektedir.

Tablo 7.1. Kum test sonuçları

Malzeme	%Nem	Sıcaklık	Gaz Geçirgenliği	Sıkıştırılabilirlik Oranı	Islak Çekme Gerilmesi	Yaş Çekme Gerilmesi	Yaş Basma Gerilmesi
GGG40	%3.75	33°C	%91	%38	0.22 N/cm ²	2.535 N/cm ²	21.3 N/cm ²
GGG50	%4.0	33°C	%64	%41	0.24 N/cm ²	1.625 N/cm ²	20.9 N/cm ²
GGG60	%3.8	38°C	%78	%40	0.23 N/cm ²	2.632 N/cm ²	21.4 N/cm ²
GGG70	%3.72	38°C	%90	%41	0.22 N/cm ²	2.427N/cm ²	21.9 N/cm ²

Tablo 7.2. Kum test sonuçlarının sağlanması istenen değerler

İstenen Değerler	%Nem	Sıcaklık	Gaz Geçirgenliği	Sıkıştırılabilirlik Oranı	Islak Çekme Gerilmesi	Yaş Çekme Gerilmesi	Yaş Basma Gerilmesi
	%2.5 - % 4.0	45°C Max.	%50 Min.	%36 ----- %42	0.20N/cm ² Min.	1.5N/cm ² Min.	20.0 - 24.5 N/cm ²

7.2. Döküm Sıcaklığı Ölçüm Sonuçları

Dökümü yapılan GGG40,GGG50,GGG60 ve GGG70 malzemelerin her birinin döküm anında ölçülen sıcaklık sonuçları Tablo 7.3' te verilmiştir. Burada her bir malzeme için ölçülen değerlerin 1390-1410°C aralığında olması beklenmektedir.

Tablo 7.3. Döküm sıcaklığı tablosu

Malzeme	Döküm Sıcaklığı
GGG40	1401°C
GGG50	1397°C
GGG60	1410°C
GGG70	1410°C

Tablo 7.3'te görüldüğü üzere tüm sıcaklık ölçüm değerlerinin sonuçları, istenen değer aralığını sağlamaktadır.

7.3. Spektrum Analizi Sonuçları

GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerinin üretimi sırasında alınan numunelere yapılan spektrum analizleri sonuçları Tablo 7.4'te verildiği gibidir.

Tablo 7.4. Spektrum analizi sonuçları

ELEMENTLER	MALZEMELER			
	GGG40	GGG50	GGG60	GGG70
%C	3.18	3.33	3.31	3.40
%Si	2.59	2.75	2.53	2.52
%Mn	0.19	0.16	0.27	0.21
%P	0.031	0.031	0.032	0.027
%S	0.004	0.0057	0.0020	0.0023
%Cr	0.023	0.022	0.025	0.024
%Cu	0.023	0.023	0.024	0.38
%Sn	0.031	0.008	0.050	0.049
%Mg	0.029	0.028	0.031	0.033
%Mo	0.0005	0.00011	0.0011	0.0012
%Ni	0.015	0.016	0.017	0.010
%V	0.0036	0.003	0.0044	0.0043
%Ti	0.014	0.012	0.019	0.011
%Al	0.014	0.013	0.019	0.016
%B	0.00019	0.00012	0.00002	0.00013
%Bi	0.00053	0.001	0.0022	0.0026
%La	0.004	0.004	0.004	0.004
%Ce	0.003	0.003	0.003	0.003
%Fe	93.8	93.5	93.6	93.2

Burada görüldüğü üzere en büyük miktarda bulunan Fe'den sonra sırasıyla büyük önem taşıyan Karbon ve özellikle karbon tutmada kullanılan Silisyum gelmekte, diğer tüm elementler pek az miktarlarda bulunmaktadır. Yapıda bulunması pek istenmeyen kükürdün oldukça düşük değerlerde tutulmuş olduğu görülmektedir. Ayrıca küreselleştirici olarak kullanılan ve küresel grafitler için önem teşkil eden Magnezyum elementinin oldukça küçük miktarlarda yapı içerisinde tutulabildiği lakin bu miktarların küresel grafitin teşekkülü için yeterli olduğu görülmektedir.

7.4. C-S Analizi Sonuçları

Tablo 7.5'te C-S analizi değerleri görülmektedir. Daha önce yapılan spektrum analizi sonuçlarında bulunan karbon ve kükürt değerleri yerine bu değerler geçerli olacaktır zira karbon ve kükürt için bu yöntem daha doğru yanıt vermektedir.

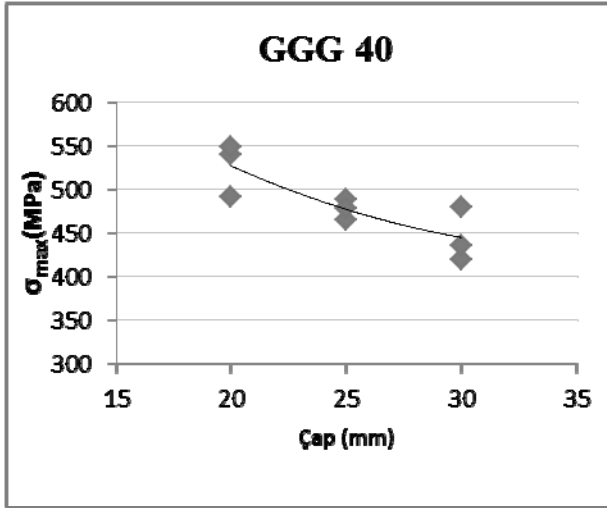
Tablo 7.5. C-S analizi sonuçları

ELEMENTLER	MALZEMELER			
	GGG40	GGG50	GGG60	GGG70
%C	3.62	3.64	3.52	3.63
%S	0.0033	0.0043	0.0021	0.0024

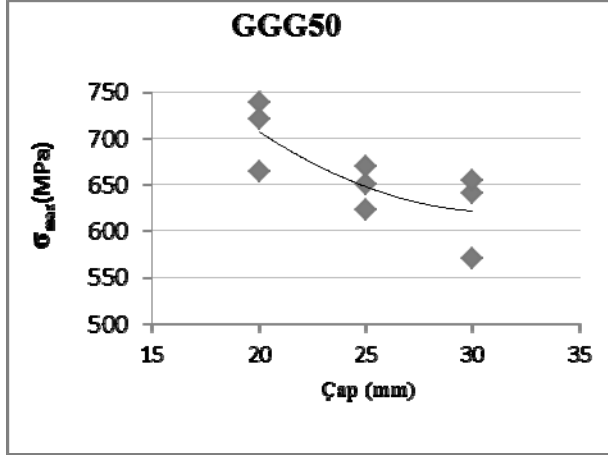
Ayrıca buradan elde edilen Karbon değerlerinin spektrum analizi sonuçlarından önemli sayılabilecek düzeyde farklı olduğu görülmektedir.

7.5. Çekme Deneyi Sonuçları

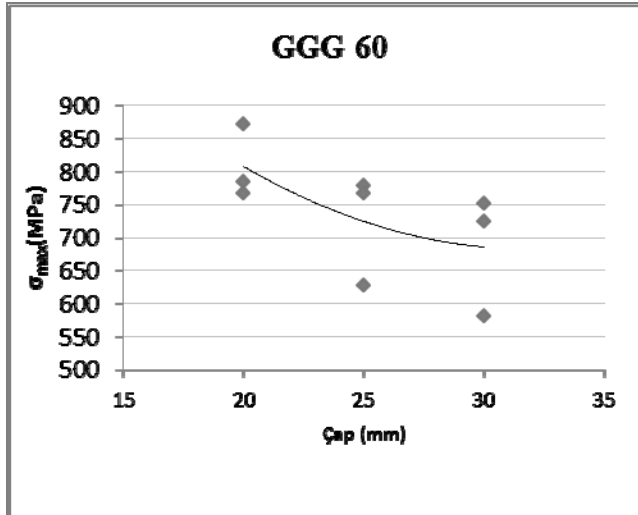
GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemelerinden üç farklı çaptaki kalıplara dökülerek oluşturulan ürünlerden elde edilen çekme deneyi numuneleriyle gerçekleştirilen çekme deneyleri sonuçları Şekil 7.1, 7.2, 7.3 ve 7.4'te görüldüğü gibidir. Grafiğin yatay ekseninde dökümü yapılan farklı çap değerleri, düşey ekseninde ise bu değerlere karşılık gelen maksimum çekme gerilmesi değerleri verilmiştir. Tüm malzemelerde döküm çap kalınlığı düştükçe, numunelerin σ_{max} değerlerinin arttığı görülmektedir. Beklendiği üzere en yüksek σ_{max} değerleri GGG70'te daha sonra sırasıyla GGG60, GGG50 ve GGG40 malzemelerde elde edilmiştir.



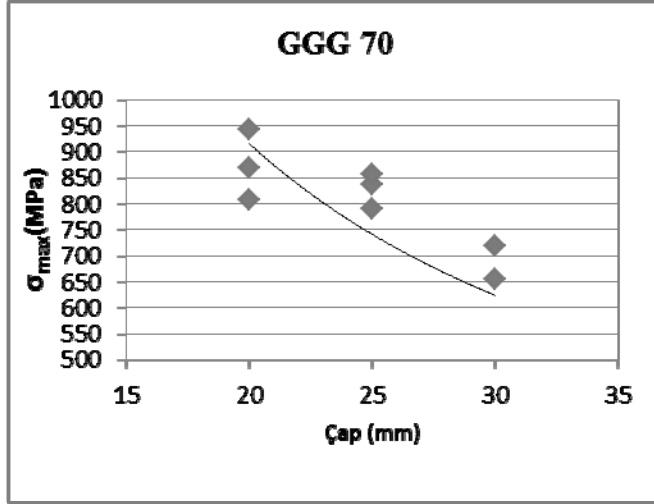
Şekil 7.1. GGG40 Malzemesinin çekme testi sonuçları



Şekil 7.2. GGG50 Malzemesinin çekme testi sonuçları



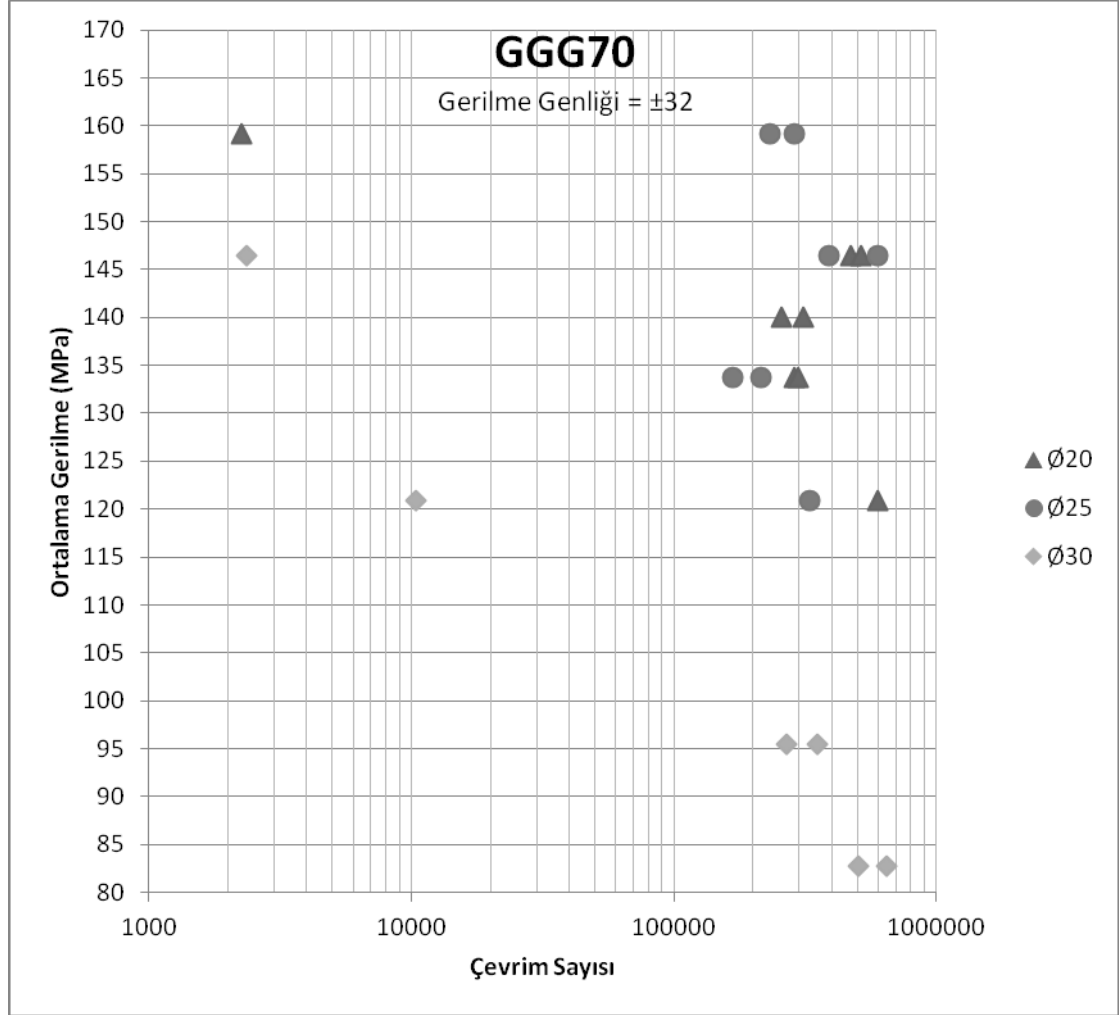
Şekil 7.3. GGG60 Malzemesinin çekme testi sonuçları



Şekil 7.4. GGG70 Malzemesinin çekme testi sonuçları

7.6. Yorulma Deneyi Sonuçları

GGG40 malzemedan farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemelerden elde edilen deney numunelerine uygulanan yorulma deneyleri sonuçları Şekil 7.5'te görüldüğü gibidir. GGG40 malzemeye uygulanan yorulma deneyi sonuçlarına göre; Ø20 ve Ø25'ten elde edilen numunelerin deney sonuçları kendi içinde birbirine yakın fakat Ø30 da onlara göre kendi içinde bir birbirinden uzak değerler ortaya çıkmıştır. Ø30 yorulma ömrü bakımından diğerlerine göre daha belirsizdir. Ayrıca grafikten görüldüğü üzere GGG40 malzemede en yüksek gerilme genliği değerinde en fazla ömre sahip olan, en düşük çapa (Ø20) sahip olan deney numuneleridir. Ayrıca beklenen olmamış, çaplar arasındaki büyüklük değişimiyle yorulma ömürleri aynı sırayla sıralanmamıştır. Şöyle ki; üç farklı çap aynı gerilme genliğinde kıyaslandığında yorulma ömürleri Ø20 > Ø30 > Ø25 şeklinde bir sıralama takip etmiştir.

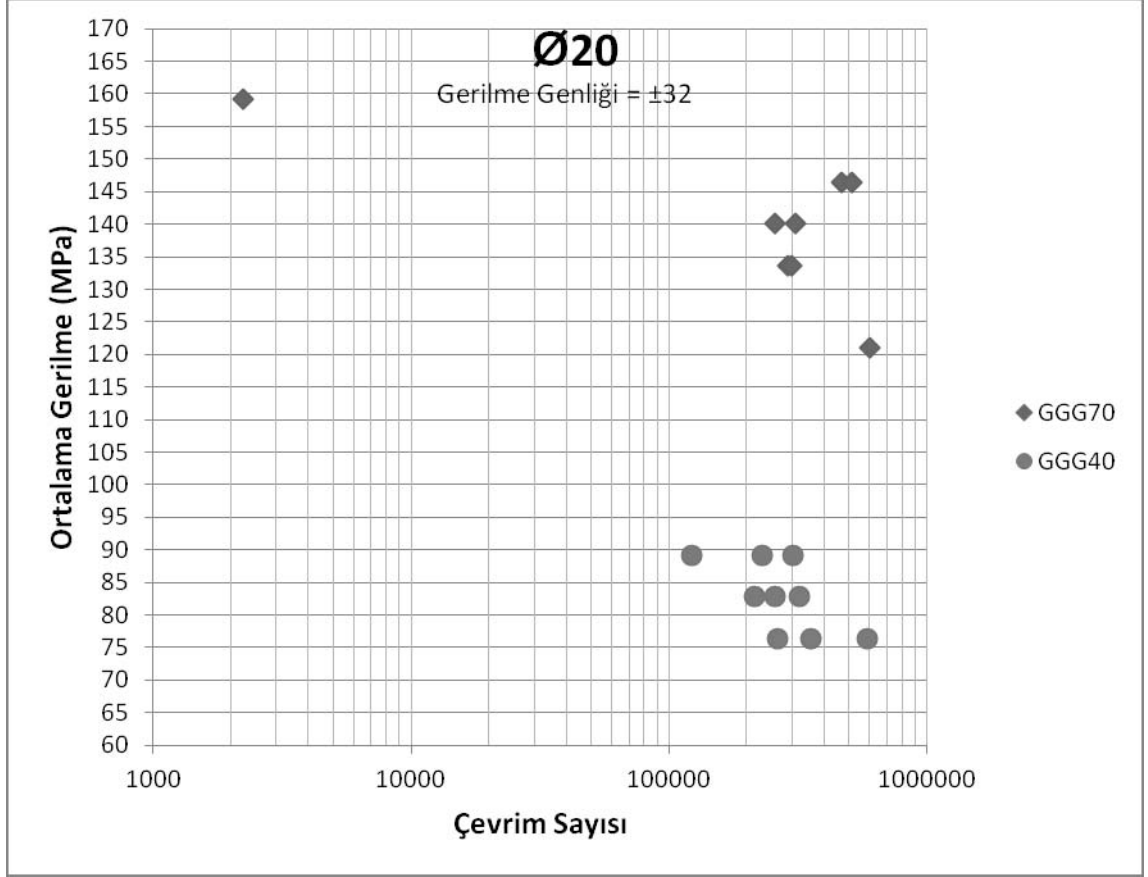


Şekil 7.6. GGG70 Malzemesinin üç farklı çapta yapılan yorulma deneyleri sonuçları

GGG40 ve GGG70 malzemelerinin aynı çaptaki ($\text{Ø}20$) kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemedan elde edilen deney numunelerine uygulanan yorulma deneyi sonuçları Şekil 7.7’de görüldüğü gibidir.

Burada görüldüğü üzere, aynı kesit dökümde yaklaşık çevrim sayıları eldesi, GGG40 için GGG70’den oldukça düşük gerilme genlikleri sonucunda ortaya çıkmıştır.

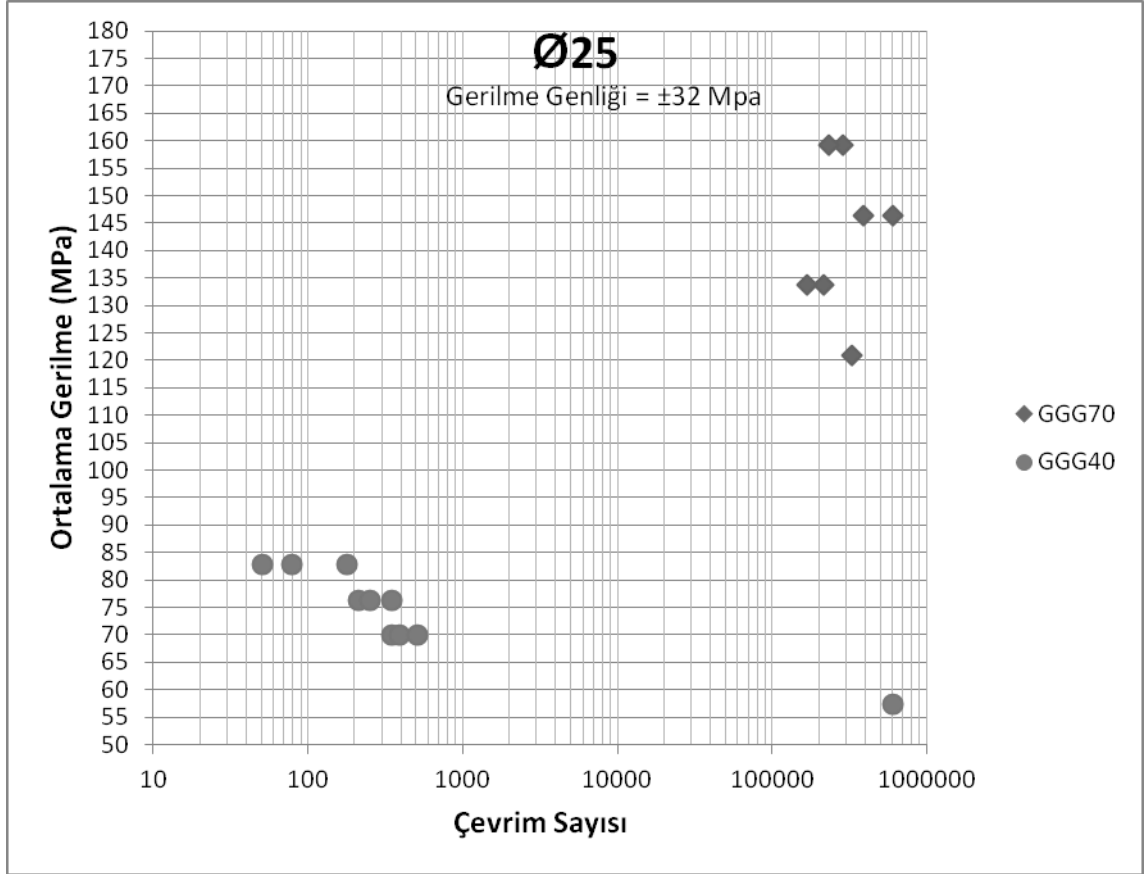
Ayrıca her iki malzemede de gerilme genliği düştükçe çevrim sayısının giderek artması beklenirken önce bir azalma ile ardından artış göstermiştir.



Şekil 7.7. GGG40 ve GGG70'in çap 20' de karşılaştırılması

GGG40 ve GGG70 malzemelerinin aynı çaptaki ($\text{Ø}25$) kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemedan elde edilen deney numunelerine uygulanan yorulma deneyi sonuçları Şekil 7.8'de görüldüğü gibidir.

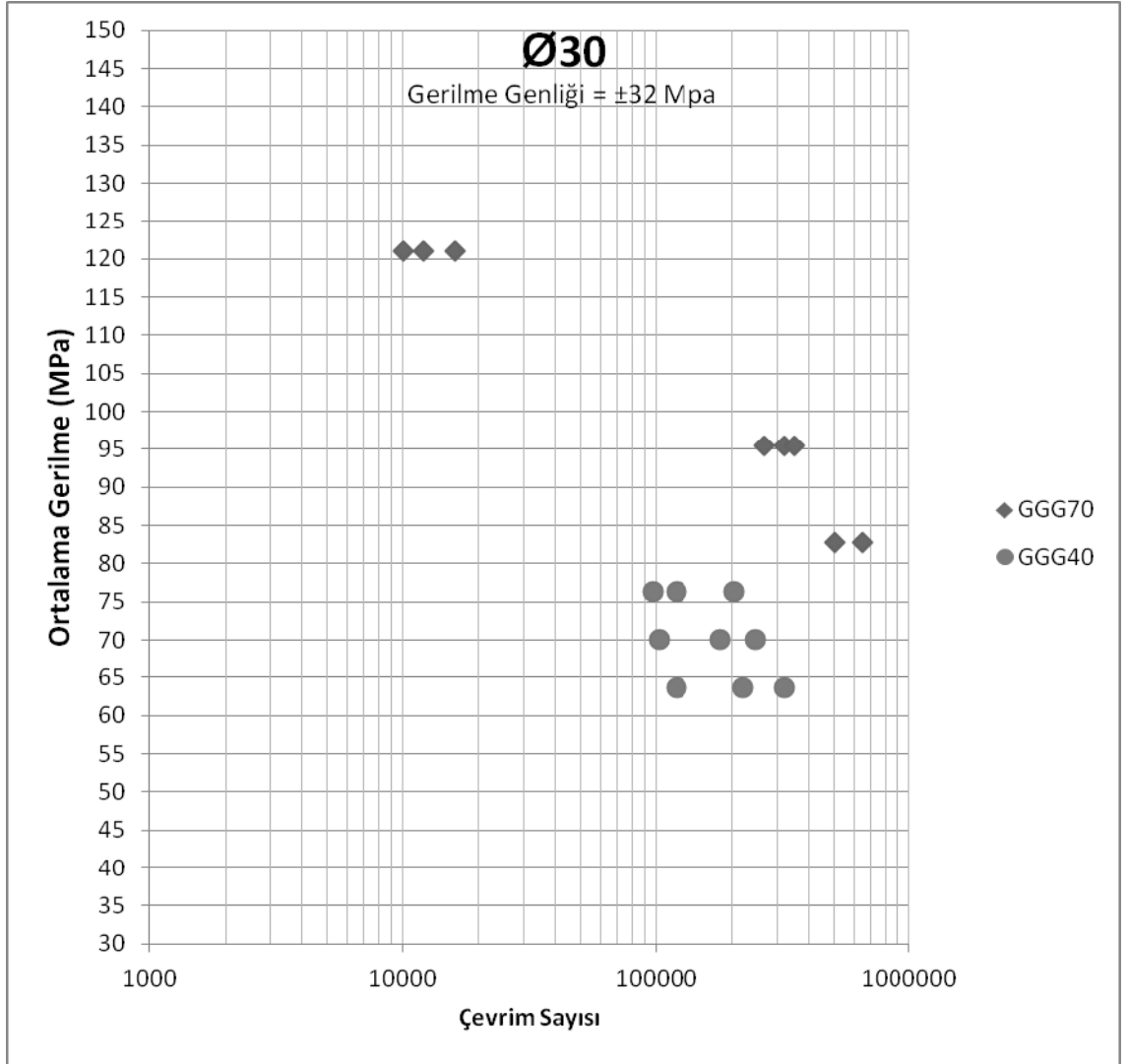
Burada görüldüğü üzere, aynı kesit dökümde GGG70'de yüksek gerilme genlik değerlerinde yüksek çevrim sayıları elde edilmiş, GGG40'ta ise GGG70'e göre düşük gerilme genlik değerlerinde, yine GGG70'e göre daha düşük çevrim sayıları elde edilmiştir.



Şekil 7.8. GGG40 Ve GGG70'in çap 25' te karşılaştırılması

GGG40 ve GGG70 malzemelerinin aynı çaptaki ($\text{Ø}30$) kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemeden elde edilen deney numunelerine uygulanan yorulma deneyi sonuçları Şekil 7.9'da görüldüğü gibidir.

Burada görüldüğü üzere, aynı kesit dökümde GGG70'de yüksek gerilme genlik değerlerinde yüksek çevrim sayıları elde edilmiş, GGG40'ta ise GGG70'e göre düşük gerilme genlik değerlerinde, yine GGG70'e göre daha düşük çevrim sayıları elde edilmiştir.



Şekil 7.9. GGG40 Ve GGG70'in çap 30' da karşılaştırılması

7.7. Metalografik İnceleme Sonuçları

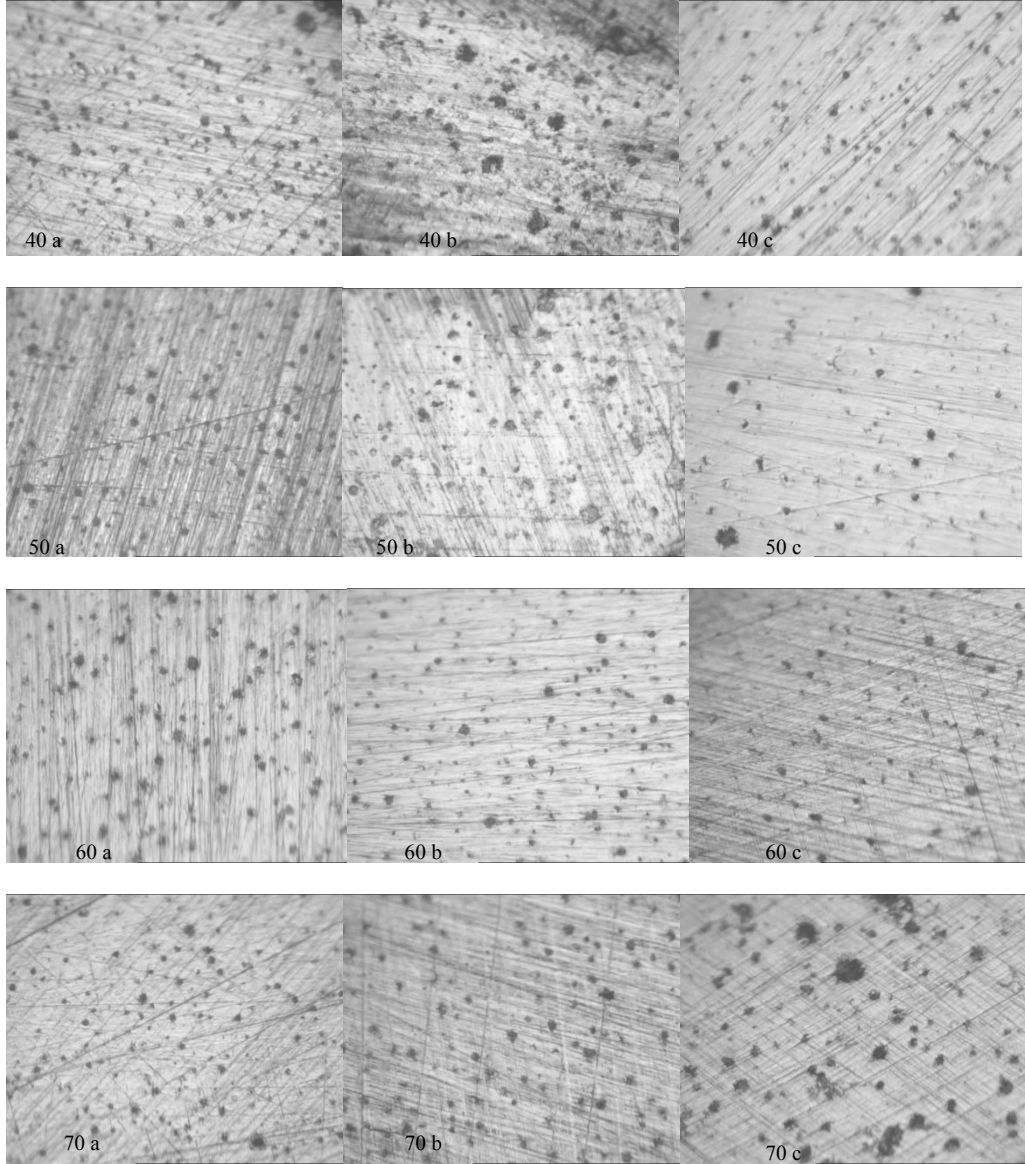
GGG70, GGG60, GGG50 ve GGG40 malzemenen farklı çaplardaki kalıplara dökülerek elde edilmiş ürünlerden elde edilen deney numunelerinin ısıtılmış parçalarının içyapıdaki küreselleşme durumları metal mikroskopuyla incelenerek

fotoğraflanmış halleri Şekil 7.10'da görüldüğü gibidir. Burada GGG40 malzemesinin Ø20 ve Ø25'teki küresel grafitlerin yoğunluğu ve büyüklüğü birbirine benzemekte fakat Ø30'dan biraz farklı ve yaygın olarak daha küçüktürler.

GGG50 malzemesinde küresel grafitler Ø20 ve Ø25'te Ø30'a oranla daha sık ve fazla oranda olup, Ø30'da oldukça aralıklı ve seyrek görülmektedir. Ayrıca Ø30'da diğerlerine nazaran biraz daha büyük küresel grafitler de görülmektedir.

GGG60 malzemesinde küresel grafitler Ø20'de diğerlerine oranla çok az farkla daha büyük görünmekle beraber diğer malzemelere nazaran üç çapta da birbirine yakın sıklık ve miktarda görülmektedirler.

GGG70 malzemesinde ise küresel grafitler Ø20 ve Ø25'te büyüklük ve sıklıkta birbirlerine oldukça benzemekle beraber Ø30'dan oldukça farklıdır. Ø30'da ise diğerlerine nazaran daha büyük küresel grafitler de görülmektedir.



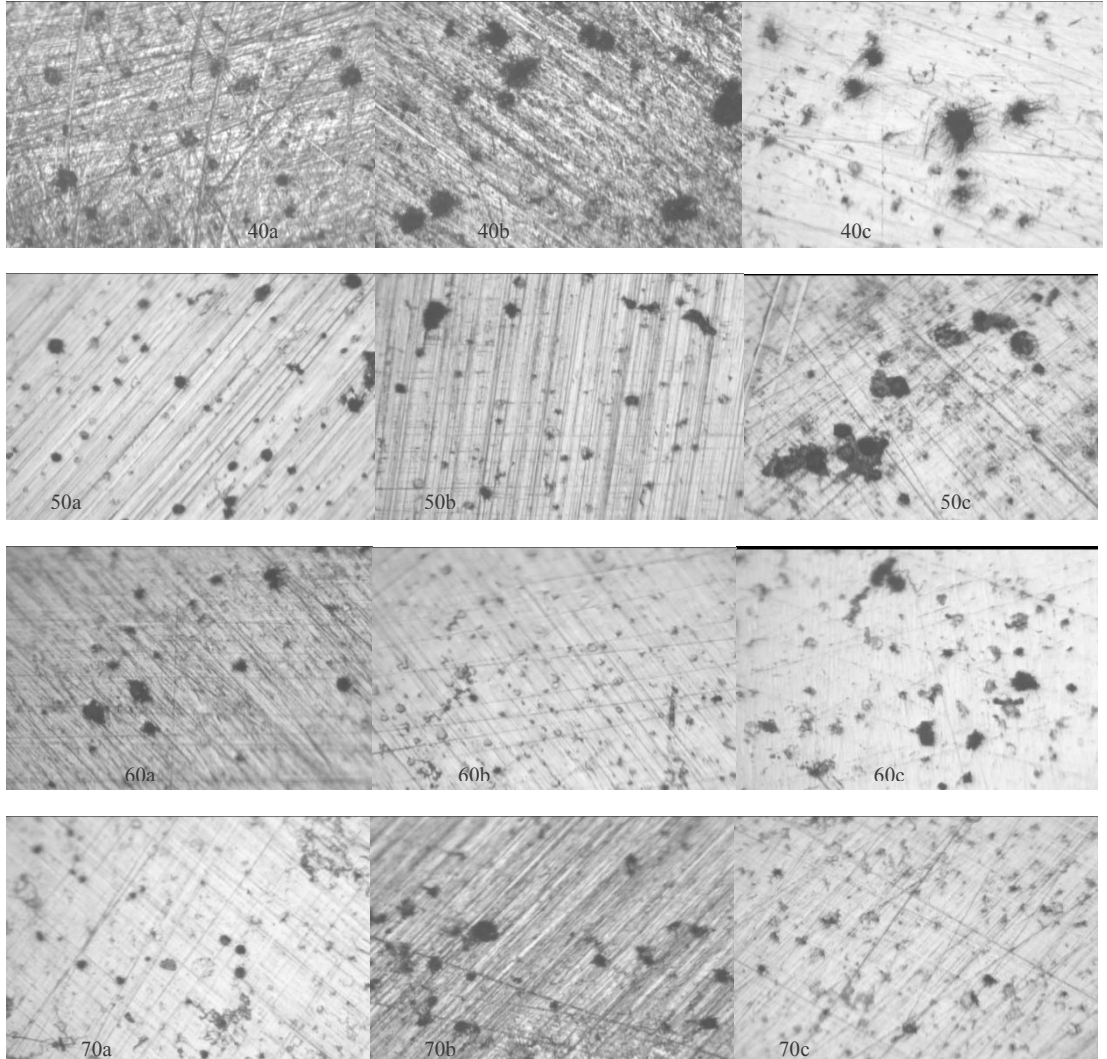
Şekil 7.10. Küresel grafitli dökme demirlerin 100x büyütmede görüntüsü

(GGG40 çap 20= 40a, GGG40 çap 25= 40b, GGG40 çap 30= 40c, GGG50 çap 20= 50a, GGG50 çap 25= 50b, GGG50 çap 30= 50c, GGG60 çap 20= 60a, GGG60 çap 25= 60b, GGG60 çap 30= 60c, GGG70 çap 20= 70a, GGG70 çap 25= 70b, GGG70 çap 30= 70c.)

GGG70, GGG60, GGG50 ve GGG40 malzemenen farklı çaplardaki kalıplara dökülerek elde edilmiş ürünlerden elde edilen deney numunelerinin ısıl işlem görmüş

parçalarının içyapıdaki küreselleşme durumları metal mikroskopuyla incelenerek fotoğraflanmış halleri Şekil 7.11’de görüldüğü gibidir.

Burada görüldüğü üzere genel olarak ısııl işlemin etkilerini daha büyük küresel grafitler üzerinde görülebilir, bu küresel grafitler etrafa sıçramış şekilde bir yapı göstermektedir.

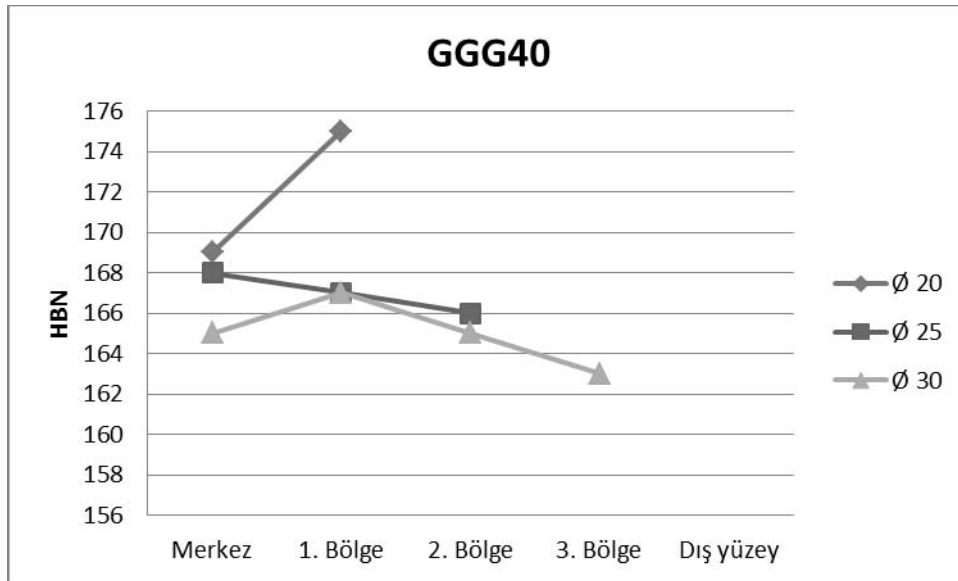


Şekil 7.11. Isıl işlem görmüş küresel grafitli dökme demirlerin 100x büyütmede görüntüsü

(GGG40 çap 20= 40a, GGG40 çap 25= 40b, GGG40 çap 30= 40c, GGG50 çap 20= 50a, GGG50 çap 25= 50b, GGG50 çap 30= 50c, GGG60 çap 20= 60a, GGG60 çap 25= 60b, GGG60 çap 30= 60c, GGG70 çap 20= 70a, GGG70 çap 25= 70b, GGG70 çap 30= 70c.)

7.8. Sertlik Testi Sonuçları

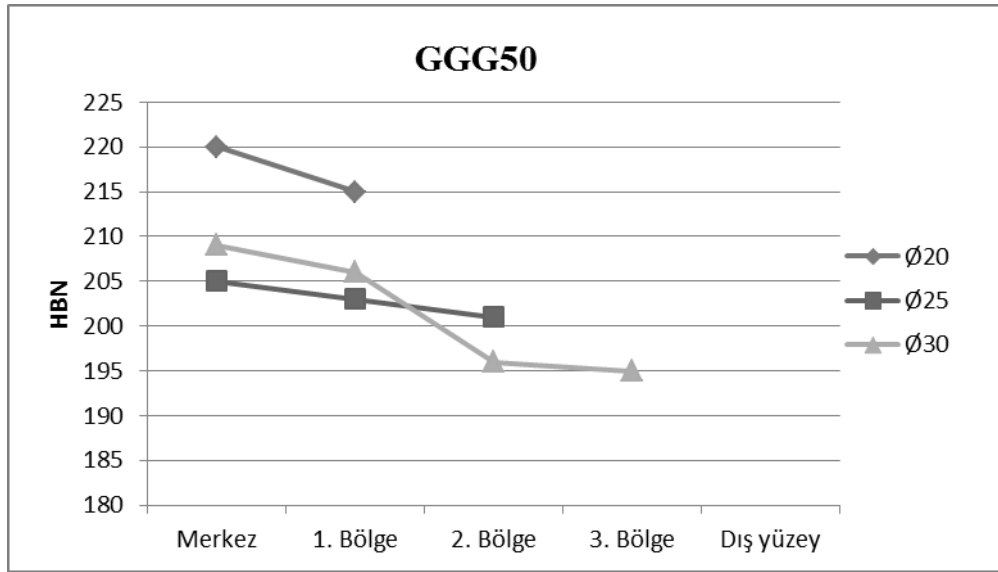
GGG40 malzemenen farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemenen, merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonucu aşağıda Şekil 7.12’de görüldüğü gibidir. Buna göre; genel olarak sertlik değerleri merkez bölgede dış cepheye yakın bölgelere göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca yapılan ölçümler sonucu grafikten görüleceği üzere birim mesafedeki en yüksek sertlik değışimi en düşük kesitle ($\emptyset 20$) oluşmuştur.



Şekil 7.12. GGG40 Malzemesinin sertlik testi sonuçları

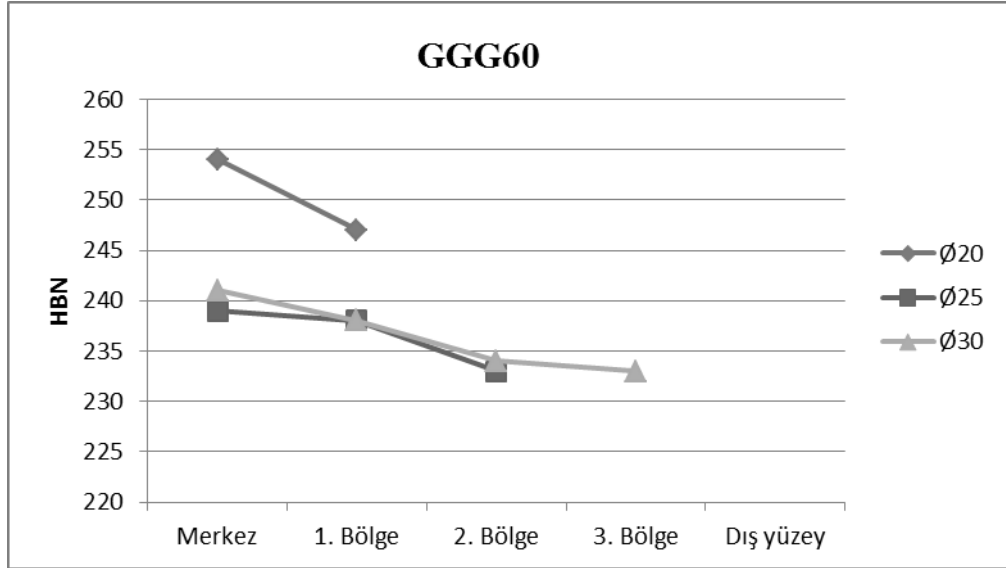
GGG50 malzemenen farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemenen, merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonucu aşağıda Şekil 7.13’te görüldüğü gibidir. Buna göre GGG50’de de sertlik değerleri merkez bölgede dış cepheye yakın bölgeye göre daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla sertlik

değerlerinin merkezden uzaklaştıkça düştüğü görülmektedir. Ölçüm sonuçlarına dayanarak grafitken görüleceği üzere birim mesafedeki en yüksek sertlik değeri değişimi en düşük kesitte ($\emptyset 20$) olmasına rağmen, kendi içinde en yüksek sertlik değeri değişimi en büyük çapta olduğu görülmektedir.



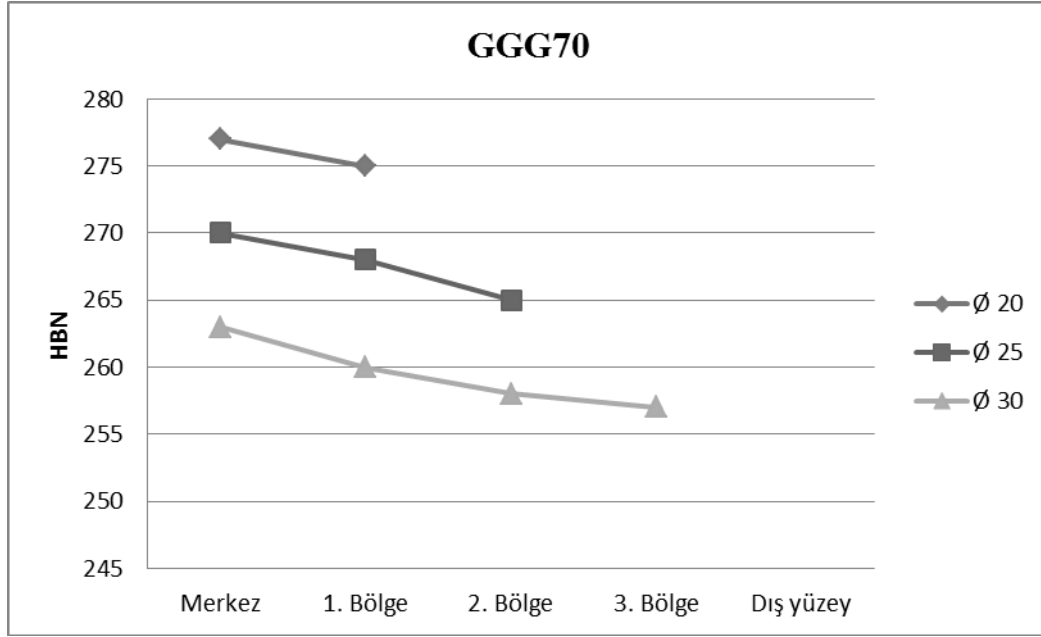
Şekil 7.13. GGG50 Malzemesinin sertlik testi sonuçları

GGG60 malzemeden farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemeden, merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonucu aşağıda Şekil 7.14'te görüldüğü gibidir. Buna göre GGG60'ta sertlik değerleri merkez bölgede dış cepheye yakın bölgelere göre daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla sertlik değerlerinin merkezden uzaklaştıkça düştüğü görülmektedir. Ölçüm sonuçlarına dayanarak grafitken görüleceği üzere birim mesafedeki en yüksek sertlik değeri değişimi en düşük kesitte ($\emptyset 20$) olmasına rağmen, kendi içinde en yüksek sertlik değeri değişimi en büyük çapta olduğu görülmektedir.



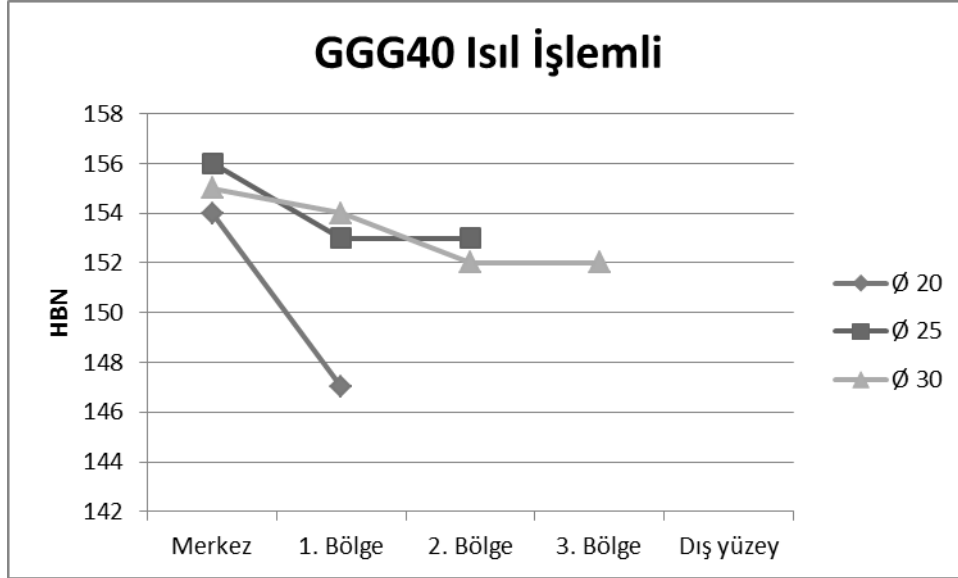
Şekil 7.14. GGG60 Malzemesinin sertlik testi sonuçları

GGG70 malzemedan farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemedan, merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonucu aşağıda Şekil 7.15'te görüldüğü gibidir. Buna göre GGG70'te sertlik değerleri merkez bölgede dış cepheye yakın bölgelere göre daha yüksek çıkmıştır. Dolayısıyla sertlik değerlerinin merkezden uzaklaştıkça düştüğü görülmektedir. Burada bu sertlik değerlerindeki düşüş her bir çapın kendi içinde ve birbirlerine göre durumu diğer malzemelerin (GGG40, GGG50, GGG60) sertlik değerlerindeki değişime göre çok daha lineer gözükmektedir. Ölçüm sonuçlarına dayanarak grafikten görüleceği üzere GGG70'te birim mesafedeki sertlik değişimi üç çapta da birbirine çok yakındır, fakat toplam değişime bakılırsa yine en büyük çapta olduğu görülecektir.



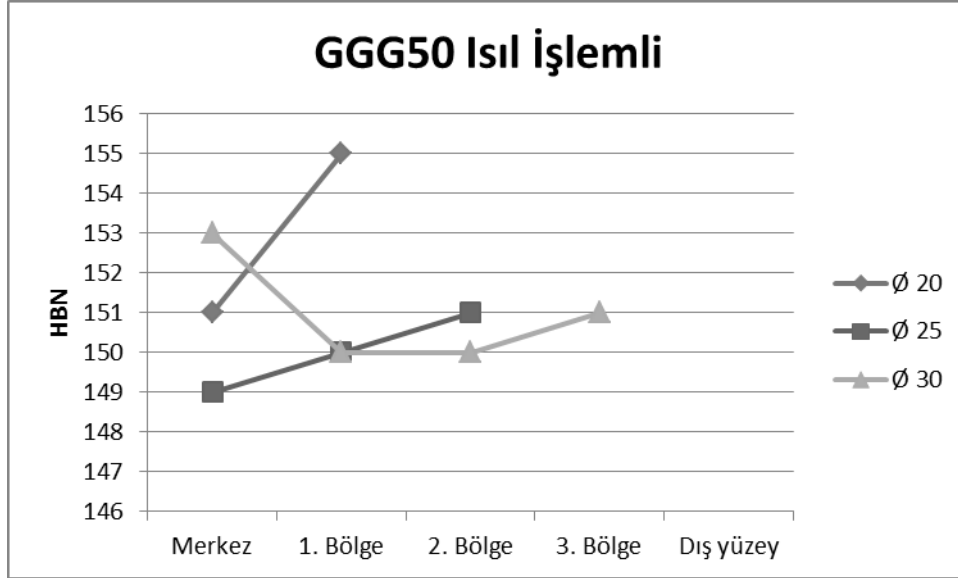
Şekil 7.15. GGG70 Malzemesinin sertlik testi sonuçları

GGG40 malzemedan farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemelerin, ısıtıl işlem gördükten sonra merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonuçları Şekil 7.16'da görüldüğü gibidir. Buna göre, genel olarak sertlik değerleri merkez bölgede dış cepheye yakın bölgelere göre daha yüksek ve hem birim mesafedeki en yüksek sertlik değişimi hem de kendi içindeki en yüksek sertlik değişimi en küçük çap olan Ø20'de görülmektedir. Ayrıca ısıtıl işlem görmüş GGG40 malzeme sertlik sonuçlarıyla ısıtıl işlem görmemiş GGG40 malzeme sertlik sonuçlarını kıyaslayacak olursak, ısıtıl işlem görmemiş GGG40'ta diğer çaplara nazaran Ø20 en yüksek sertlik değerleri görülürken, ısıtıl işlem görmüş GGG40'ta tam tersi olmuş ve Ø20'de en düşük sertlik değerleri görülmüştür. Ayrıca tüm çaplarda ölçülen sertlik değerleri, ısıtıl işlem görmüş GGG40'ta ısıtıl işlem görmemiş GGG40'a göre düşüş halindedir.



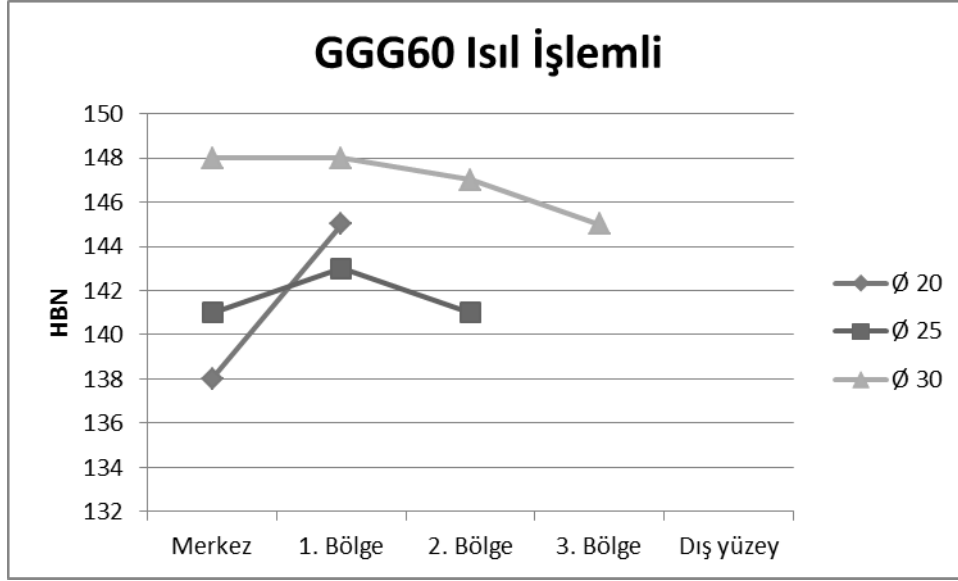
Şekil 7.16. GGG40 Malzemesinin ısıı işlemlı sertlık testi sonuçları

GGG50 malzemededen farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemelerin, ısıı işlem gördükten sonra merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlık ölçümleri sonuçları Şekil 7.17’de görüldüğü gibidir. Buna göre, genel olarak ölçülen sertlık değerleri merkez bölgeden dış cepheye gidildikçe yükselme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum ısıı işlem görmemiş GGG50’nin ölçülen sertlık değerlerinin gösterdiği eğilimin tersidir. Isıı işlem görmüş GGG50’de de yine ısıı işlem görmemiş GGG50’de olduğu gibi hem birim mesafedeki en yüksek sertlık değişimi hem de kendi içindeki en yüksek sertlık değişimi en küçük çap olan Ø20’de görülmektedir. Ayrıca tüm çaplarda ölçülen sertlık değerleri ısıı işlem görmüş GGG50’de, ısıı işlem görmemiş GGG50’de ölçülen sertlık değerlerine nazaran daha düşük sertlık değerleri aralığında yer almıştır. GGG50’de GGG40’a nazaran ısıı işlem sonucunda daha büyük ölçüde sertlık düşüşü yaşanmıştır.



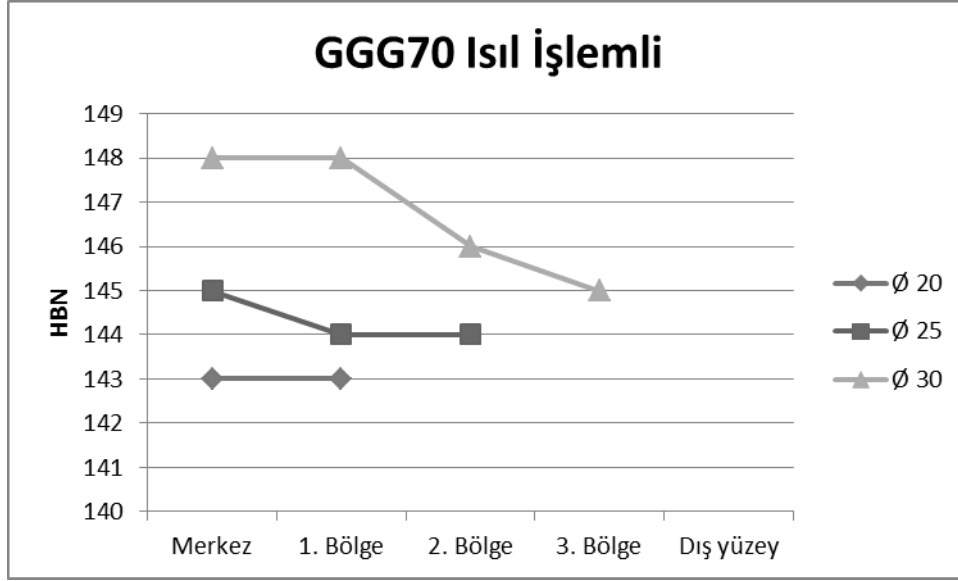
Şekil 7.17. GGG50 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları

GGG60 malzemeden farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemelerin, ısıl işlem gördükten sonra merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonuçları Şekil 7.18’de görüldüğü gibidir. Buna göre genel olarak sertlik değerleri merkez bölgede, dış cepheye yakın bölgelere göre daha yüksek ve hem birim mesafedeki en yüksek sertlik değişimi hem de kendi içindeki en yüksek sertlik değişimi en küçük çap olan Ø20’de görülmektedir. Ayrıca ısıl işlem görmüş GGG60 malzeme sertlik sonuçlarıyla, ısıl işlem görmemiş GGG60 malzeme sertlik sonuçlarını kıyaslayacak olursak; ısıl işlem görmemiş GGG60’ta diğer çaplara nazaran Ø20’de en yüksek sertlik değerleri görülürken, ısıl işlem görmüş GGG60’ta tam tersi olmuş ve Ø20’de en düşük sertlik değerleri görülmüştür. Ayrıca tüm çaplarda ölçülen sertlik değerleri, ısıl işlem görmüş GGG60’ta ısıl işlem görmemiş GGG60’ta ölçülen sertlik değerlerine nazaran daha düşük sertlik değerleri aralığında yer almıştır. GGG60’ta GGG50 ve GGG40’a nazaran daha büyük ölçüde sertlik düşüşü yaşanmıştır.



Şekil 7.18. GGG60 Malzemesinin ısıl işlemlili sertlik testi sonuçları

GGG70 malzemedan farklı çaptaki kalıplara dökülerek elde edilmiş malzemelerin, ısıl işlem gördükten sonra merkezden dış cepheye doğru yapılan sertlik ölçümleri sonuçları Şekil 7.19'da görüldüğü gibidir. Buna göre genel olarak ölçülen sertlik değerlerinin merkez bölgede dış cepheye yakın bölgelere oranla daha yüksek kaldığı görülmüştür. Isıl işlem görmüş GGG70 malzeme sertlik sonuçlarıyla ısıl işlem görmemiş GGG70 malzeme sertlik sonuçlarını kıyaslayacak olursak, ısıl işlem görmemiş GGG70'te diğer çaplara nazaran Ø20'de en yüksek sertlik değerleri görülürken, ısıl işlem görmüş GGG70'te tam tersi olmuş ve Ø20'de en düşük sertlik değerleri görülmüştür. Yine ısıl işlem görmüş GGG70'teki farklı çaplardan kendi içlerindeki ölçülen sertlik değerleri değişimi, ısıl işlem görmemiş haline oranla oldukça azdır. Ayrıca tüm çaplarda ölçülen sertlik değerleri ısıl işlem görmüş GGG70'te, ısıl işlem görmemiş GGG70'te ölçülen sertlik değerlerine göre daha düşük sertlik değerleri aralığında yer almıştır. Isıl işlem sonucunda GGG70'te GGG60, GGG50 ve GGG40 malzemelerinin hepsinden daha fazla sertlik değeri düşüşü yaşanmıştır.



Şekil 7.19. GGG70 Malzemesinin ısıl işlemlı sertlik testi sonuçları

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada; küresel grafitli dökme demirlerden GGG40, GGG50, GGG60 ve GGG70 malzemeleri ele alınmış olup, bu malzemelerin, soğumanın etkisini incelemek amacıyla seçilmiş üç farklı çap olan Ø30, Ø25 ve Ø20'ye dökümü ve bu süreçte gerçekleşen işlemlere, sonrasında ise uygulanan yorulma ve çekme deneyleriyle ısıtılı işlemler ve ısıtılı işlemsiz sertlik testi ile metalografik incelemelere yer verilmiştir.

Bu uygulamalardan elde edilen sonuçlar neticesinde şu çıkarımları yapmak mümkündür;

Küresel grafitli dökme demirlerde (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Ø30 ve daha küçük kesitlerde yüksek miktarda çekme mukavemeti artışı gözlenmiş ve bu artış oranının Ø30 üzerindeki kesit kalınlıklarındaki artış oranından oldukça fazla olduğu görülmüştür. Bu hem, küresel grafitli dökme demirlerin mühendislik anlamında ne kadar fonksiyonel olduğunu bir kez daha göstermiş, hem de istenilen mekanik özelliklerinin eldesinde, küresel dökme demirlerde ne kadar kontrollü ve özenli davranılması gerektiğini göstermiştir.

GGG40, GGG60 ve GGG70 ile kıyaslandığında, GGG50 malzeme yapılan spektrum analizi sonuçlarına dayanarak Tablo 7.4'te görülen kimyasal yapısına bakıldığında daha az Mg ve ona oranla daha fazla S bulundurması sebebiyle GGG50 malzemesinde daha büyük çap olan Ø30'da Ø20 ve Ø25'e oranla soğumanın daha yavaş olması ve hem difüzyona hem de diğer elementlerin hareketlerine daha fazla süre kalmasından mütevellit, özellikle Kükürt elementinin Magnezyuma ilgisiyle ortada bulunan Magnezyumu daha da azaltması sonucunda Ø30'da; Ø25 ve Ø20 ile aynı malzeme, aynı koşullar ve aynı anda dökümü gerçekleştirilmesine karşın, Ø20 ve Ø25'e oranla daha seyrek ve daha az miktarda küresel grafit oluştuğu Şekil 7.10'da görülmüştür.

Bu durumda daha büyük kesti kalınlıklarında elementlerin birbirine etkileri için daha da fazla süre kalacağından bilhassa Kükürt oranının ve onunla birlikte Magnezyumun kalın kesitli dökümlerde daha da özenli belirlenmesi gerekmektedir.

Ayrıca farklı kesitleri barındıran bir parçanın yekpare olarak dökümünde oldukça değişken mekanik özelliklere sahip olacağından bilinçli değerlendirmelerle büyük avantajlar kazanabileceği gibi, yanlış değerlendirmelerle çok büyük güvenlik ve kalite zafiyetlerine sebep olunabilir.

Küresel grafitli dökme demirlerden GGG40 ve GGG70'e üç ayrı çap ($\emptyset 30$, $\emptyset 25$, $\emptyset 20$) üzerinde uygulanan yorulma deneyleri sonucunda GGG70 malzemesinde GGG40 malzemesine göre daha yüksek gerilme genliklerinde daha yüksek çevrim sayılarına ulaşılmış, lakin karakteri gereği daha sünek bir yapı sergileyen GGG40 malzemesinin çekme mukavemetine oranla düşünülen yorulma ömrüne uzak olduğu görülmüştür. Bu durum oldukça küçük çaplarda çalışılmasından mütevellit ($\leq \emptyset 30$) hızlı soğumanın etkisiyle GGG40 malzemenin yapısı gereği bünyesinin ağırlıklı fazını oluşturan ferritik yapıdan uzaklaştığı ve ağırlıklı olarak perlitik yapıya büründüğü görüldüğünden, daha sert bir yapıya dönüşmesi ve dolayısıyla büyük kesit kalınlıkları için oluşturulan ortalama standartlara göre daha düşük sünekliğe sahip olacağından, yorulmayla doğrudan etkili bu özellik neticesinde, GGG70'e kıyasla beklenen değerden düşük çıkışı açıklayabilmekteyiz.

GGG40 malzemesinin yorulma deneyi sonuçlarında (Şekil 7.5) $\emptyset 20$, $\emptyset 25$ ve $\emptyset 30$ 'un genel dağılım beklendiği üzere birbirlerine göre belirli bölgelerde sıralanmış oldukları görülmekte, lakin aynı ortalama gerilme genliğinde elde edilecek çevrim sayısının büyükten küçüğe $\emptyset 20$, $\emptyset 25$, $\emptyset 30$ kesit kalınlığını takip etmesi gerekirken genel olarak sırasıyla $\emptyset 20$, $\emptyset 30$, $\emptyset 25$ kesit kalınlık dizilimini takip ettiği, ayrıca ortalama gerilme genliğinin 75-80 MPa olduğu kısımda bu olayın net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Sertlik sonuçları ve çekme deneyi sonuçlarıyla

ilişkilendirilemeyen bu durum yorulma karakteristiği gereği içyapıya bakarak açıklanabilecektir. Şekil 7.10'daki metalografik incelemelerine dayanılarak, küresel grafitli dökme demirin anlamı olan küresel grafitlerin büyüklük, sıklık ve dağılımına baktığımızda Ø20 ve Ø30'da görülen küresel grafitlerin birbirlerine sıklık, büyüklük ve dağılım olarak çok benzediği, Ø25'ten yeterince farklı olduğu görülmektedir. Ayrıca buna benzer bir durumda GGG70 malzemesinde görülmüştür. Şöyle ki; GGG70 malzemesinden aynı koşullarda dökümü gerçekleştirilmiş Ø30, Ø25 ve Ø20'den elde edilen deney numunelerinin yorulma ömürleri kıyaslandığında (Şekil 7.6'da) normalde birbirinden Ø30'da olduğu gibi bir miktar farklı bölgelerde yer almaları beklenirken, Ø20 ve Ø25 sonuçları birbirleriyle oldukça yakın sonuçlar göstermiştir. Bu durumun açıklaması olarak yine Şekil 7.10'daki metalografik incelemelere bakıldığında GGG70 malzemenin Ø20 ve Ø25'teki küresel grafitlerinin sıklık, büyüklük ve dağılım olarak birbirlerine çok benzer ve Ø30'dan yeterince farklı olduğu görülmektedir. Küresel grafitlerin yorulma ömrü için, malzeme içinde istenen yapılar olmasından dolayı, diğer mekanik özellik sonuçlarından daha etkin olması normaldir.

Bu verilerden yola çıkarak, aynı kimyasal yapıdaki küresel grafitli dökme demirlerde soğumanın etkisinin görüldüğü kesit farklılıklarında yorulma ömrü açısından mukayesesinde, küresel grafitlerin sıklık, büyüklük ve dağılım özelliklerinin, çekme mukavemeti, sertlik vb. mekanik özelliklerden çok daha belirleyici olduğu görülmektedir. Bu durumun göz ardı edildiği tasarımlarda kritik noktada tehlikeli durumlar oluşabilir.

Sertlik testleri sonucunda görülen yüksek sertlik değerlerinin malzemelerdeki döküm kesit kalınlığının Ø30 ve bundan küçük oluşu nedeniyle yüksek perlit oranlarından kaynaklandığı yapılan mikroskobik incelemelerde görülmüştür. Ayrıca sertlik testi sonuç grafiklerinde seyreden, çapların birbirlerine göre durumu, ısıl işlem görmüş sertlik numunelerinin sonuçlarında genel olarak tam tersine dönmüş başta en yüksek sertlik değeri en küçük çap olan Ø20'den başlayarak sıralanırken, ısıl işlem görmüş numunelerde bu durum Ø30'dan geriye doğru olmuştur.

Tüm bunlara istinaden, küresel grafitli dökme demirlerin gerek kimyasal yapısındaki eser miktarda değişimlerin, gerek ısıl işlem niteliklerinin ve çeşitliliğinin zengin mekanik sonuç farklılıklarına yol açması ve bunlarla kontrollü olarak ayarlamalar yapılabilmesi bize küresel grafitli dökme demirlerin tam bir mühendislik malzemesi olduğunu göstermekte ve bu yolda daha çok, gerek birbirine bağımlı, gerekse bağımsız değişkenlere müdahale edilerek daha çok özellikler ortaya çıkarılabileceğini göstermekte, kullanım alanı olarak daha da yaygınlaşacağını sinyali vermektedir.

Özellikle sanayide genellikle benimsenen sertlik ve çekme testlerinin küresel grafitli dökme demirlerin davranışını belirlemede yetersiz kaldığı net bir şekilde görülmektedir. Bu sebepten tüm testlerin ve analizlerin bir bütün olarak ele alınması gerekliliği bu çalışmayla bir kez daha gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- Akay İ., 2007, “Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Yüzey İşlemlerinin Aşınma Direncine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- Alabeedi K.F., Abboud J.H., Benyounis K.Y., 2009, “Microstructure and Erosion Resistance Enhancement of Nodular Cast Iron by Laser Melting”, *Wear*, 266, 925-933
- Basaj, L. J., Dorn, T. A., Headington, F. C., Rothwell, M. D., Johnson, B. D., & Heine, R. W. 1999, “Tensile Properties Continuum With Brinell Hardness of As-Cast Ductile Iron”, *AFS Transactions*, , 107, 671-677.
- Baydoğan M., 1996, “GGG60 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirde Östemperleme Isıl İşleminin Çekme, Yorulma Ve Aşınma Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Bayrakçeken H., Uzun I., Taşgetiren S., 2006, “Fracture Analysis of A Camshaft Made From Nodular Cast Iron”, *Engineering Failure Analysis*, 13, 1240-1245
- Berdin C., Dong M.J., Prioul C., 2001, Local Approach Of Damage and Fracture Toughness for Nodular Cast Iron, *Engineering Fracture Mechanics*, 68, 1107-1117
- Brown J.R., 2000, “Foseco Ferrous Foundryman's Handbook”, Butterworth-Heinemann, ISBN: 075064284X
- Can A. Ç., Özmen Y., Topçu M., 2000, “Formation of Tangential Pre-Stress As A Residual Stress and Its Influence On The Tribological Performance of Nodular Cast Irons”, *Tribology International*, 33, 531-535
- Çetinel H., Aksoy T., 2008, “The Effect of Undermatching on Crack Tip Constraint In Welded Structure of Nodular Irons”, *Materials Processing Technology*, 198, 183-190
- Çetinel H., Uyulgan B., Aksoy T., 2004, “The Effect of Yield Strength Mismatch on The Fracture Behavior of Welded Nodular Cast Iron”, *Materials Science and Engineering*, A387-389, 357-360

- Fredriksson H., Stjerndahl O., Tinoco S., 2005, "On The Solidification of Nodular Cast Iron and Its Relation to The Expansion and Contraction", *Materials Science and Engineering A*, 413-414, 363-372
- Grzesik W., Rech J., Żak K., Claudin C., 2009, "Machining Performance of Pearlitic-Ferritic Nodular Cast Iron With Coated Carbide and Silicon Nitride Ceramic Tools", *Machine Tools & Manufacture*, 49, 125-153
- Hamid Ali A.S., Uzlov K.I., Darwish N., Elliott R., 1994, "Austempering of Low Manganese Ductile Irons, Part 4 Relationships Between Mechanical Properties and Microstructure", *Materials Science and Technology*, Vol.10
- Hardness, AB et al. ,2010, "Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials 1." *Annual Book of ASTM Standards i.C* , , 1-32.
- Hughes I.C.H., Davis J.R., *Ductile Iron. Cast Irons*, 1996, "ASM International Handbook Comitee"
- Koç Ş., "Küresel Grafitli Dökme Demirde GGG50 Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlem İle Sağlanması" *Çimsataş*, Mersin
- Kohout J., 2001, A Simple Relation for Deviation of Grey and Nodular Cast Irons from Hooke's Law, *Materials Science and Engineering A*, 313, 16-23
- Kolukisa S., 2007, "The Effect of Welding Temperature on The Weldability in Diffusion Welding of Martensitic (AIS1420) Stainless Steel With Ductile (Spheroidal Graphite-Nodular) Cast Iron", *Materials Processing Technology*, 186, 33-36
- Krishnaraj D., Narasimhan H.N.L., Seshan S., 1992, "Structure and Properties of ADI As Affected by Low Alloy Aditions", *Afs Transactions*, vol.100
- Liu W., Qu J.X., Lin F., 1997, "A Study of Bainitic Nodular Cast Iron for Grinding Balls", *Wear*, 205, 97-100
- Marquis G.B., Raikonen P.K., 2003, "Long Life Multiaxial Fatigue of A Nodular Graphite Cast Iron", *European Structural Integrity Society*, 31, 105-122a

- Mi Y., 1994, "Effect of Cu, Mo, Si, On The Content of Retained Austenite of Austempered Ductile Iron", Scripta Metallurgica Et Materilia, Vol.32
- Murakami Y., 2002, "Metal Fatigue: Effects of Small Defects and Nonmetalik Inclusions." ,Elsevier. 11, 205-217
- Nadot Y., Mendez J., Ranganathon N., 2004, "Influence of Casting Defects on The Fatigue Limit of Nodular Cast Iron", International Journal of Fatigue, 26, 311-319
- Niimi I., Okashi M., Komatsu Y., Hibino Y., 1971, "Influence of Graphite Nodules on The Fatigue Strength of S.G. Cast Iron", IMONO (J.Cast. Inst. Jpn.), 43(2), 101-107
- Özdemir N., Aksoy M., Orhan N., 2003, "Effect of Graphite Shape in Vacuum-Free Diffusion Bonding of Nodular Cast Iron With Gray Cast Iron", Materials Processing Technology, 141, 228-233
- Özel A., 1994, "GGG40-80 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Östemperleme Isıl İşleminin Darbe Direnci Ve Geçiş Sıcaklığına Darbe Etkisinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Pearce J., 2007, "Dökme Demirlerin Aşılınması: Uygulama ve Gelişmeler", Metal Casting Technologies
- Song Y., Liu Y., Zhu X., Yu S., Zhang Y., 2008, "Strength Distribution at Interface of Rotary-Friction-Welded Aluminum to Nodular Cast Iron", Transactions of Nonferrous Metals Society of China , 18, 14-18
- Uzunova T., 1967, "Küresel Grafitli Dökme Demir", Madencilik, 240
- Verdu C., Adrien J., Baffiere S.Y., 2008, "Three-Dimensional Shape of The Early Stages of Fatigue Cracks Nucleated in Nodular Cast Iron", Metarials Science and Engineering, A483-484, 402-405
- Wahlberg, A. ,1901, "Brinell's Method of Determining Hardness and Other Properties of Iron And Steel." Journal of The Iron and Steel Institute , 59, , 243-298.
- Yano M., 1985, "Effects of Elasticity and Compactness of Graphite on Fatigue Strength of Mallable Iron", Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. A, 51(461), 132-135

-Yano M., 1986, "Effects of Elasticity and Compactness of Graphite on The Fatigue Strength of Spheroidal Graphite Cast Iron" Trans. Jpn. Soc. Mech. Eng. A, 52(481), 2150-2154

-Yue H.Q., Bayraktar E., Bathias C., 2008, "Damage Mechanism of A Nodular Cast Iron Under The Very High Cycle Fatigue Regime", Materials Processing Technology, 202, 216-223

-Yıldızlı K., Karamış M.B., Nair F., 2006, "Erosion Mechanisms of Nodular and Gray Cast Irons at Different Impact Angles", Wear, 261, 622-633

-Zeren M., 2009, "Döküm Kunları", Ders notları.

-[www.megep.meb.gov.tr]

-[www.piksandokum.com]

ÖZGEÇMİŞ

Serhan KARAMAN, 1984 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve ortaöğretimini İstanbul'da tamamladı. 2008 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Lisans derecesiyle mezun oldu. 2008 yılında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Trakya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu göreve devam etmektedir.