

**FİTTİNGS ÜRETİMİNDE KULLANILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME
DEMİRLERDE SOĞUMA HIZININ ETKİSİYLE KESİT KALINLIĞINA BAĞLI
MİKROYAPI VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ**

Burak ÖZTÜRK

**Bartın Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

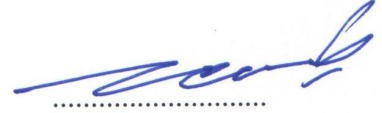
BARTIN

2013

KABUL:

Burak ÖZTÜRK tarafından hazırlanan "FİTTİNGS ÜRETİMİNDE KULLANILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE SOĞUMA HIZININ ETKİSİYLE KESİT KALINLIĞINA BAĞLI MİKROYAPI VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir . 28/06/2013

Başkan: Prof. Dr. Galip SAİD



Üye: Yrd. Doç. Dr. Halil ÇALIŞKAN

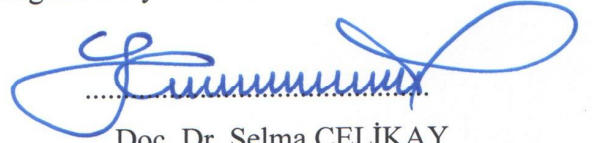


Üye: Yrd. Doç. Dr. A.Cahit KARAOĞLANLI



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./...../.....



Doç. Dr. Selma ÇELİKAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim”

Burak ÖZTÜRK



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FİTTİNGS ÜRETİMİNDE KULLANILAN KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERDE SOĞUMA HIZININ ETKİSİYLE KESİT KALINLIĞINA BAĞLI MİKROYAPI VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Burak ÖZTÜRK

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Galip SAİD

Haziran 2013, 80 sayfa

Fittings boru bağlantı elemanı olarak sıhhi tesisat alanında kullanılmaktadır. Fittings ürünlerinin cidar kalınlıkları ince olduğundan soğuma hızlı gerçekleşmektedir. Soğuma hızından dolayı ürünlerde sementit oluşmaktadır. Mikro yapıdaki bu sementit 340 HB sertlik oluşturmaktadır. Bu sertlik kılavuzların zamana bağlı yıpranmasına ve kılavuzların kırılmasına sebep olmaktadır. Kılavuzlar; özel üretim olduğundan maliyetleri yüksektir. Tesisatın döşenmesi sırasında ve döşendikten sonra malzeme sert olduğundan, oluşan kuvvetlerin etkisi ile kırılmakta ve su basması gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Malzeme bu problemlerden dolayı fırında öztemperleme işlemi uygulanarak yumuşatılmaktadır. Fırın 6 saat boyunca 250 kW elektrik tüketmekte ve 6 saat 800°C sıcaklıkta bekletilmektedir. Öztemperleme işleminden sonra %100 ferritik yapı oluşturulmaktadır. Sertlik 160 HB'ye düşürülmektedir. Bu işlem maliyetleri artırmaktadır. Bu tez çalışmasında; malzemelerin cidar kalınlığına bağlı sertlik ve mikro yapı değişimleri belirlenerek Fittings malzemelerinde en uygun soğuma hızı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Küresel Grafitli Dökme Demir, Fittings, Soğuma Hızı, Mikro yapı, Sertlik, Küreselleşme, Cidar Kalınlığı.

Bilim Kodu: 625.02.07

ABSTRACT

M.Sc THESIS

INVESTIGATION OF THE CHANGES IN MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF NODULAR CAST IRONS USED IN FITTING MANUFACTURING DEPENDING ON WALL THICKNESS WITH THE EFFECT OF COOLING RATE

Burak ÖZTÜRK

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Prof.Dr.Galip SAİD

June 2013, 80 pages

Fittings are used as pipe connector in sanitation system. Cooling becomes quickly in fittings products because their wall thickness is thin. Because of the high cooling rate, cementite forms in products. This cementite in microstructure causes the increase in hardness up to 340 HB. This hardness causes some damage tapping tools in time and also causes breaking in these tools. As tapping tools are special fabrication, their cost are too high. While and after the fittings are mounted, they are easily broken due to their high hardness, which causes problems such as inundation. Due to these problems in these parts, they are softened by austempering in furnace. The furnace produces electricity of 250 kW during 6 hours and the fittings are held in it for 6 hours at 800°C. After the processes of austempering, 100% ferritic structure is obtained and the hardness is decreased to 160 HB. However, this process increases the costs. In this thesis study, microstructure and hardness change in the fittings materials are investigated depending on wall thickness, and the optimum cooling rate was determined.

Key Words: Nodular Cast Iron, Fittings, Cooling Rate, Microstructure, Hardness, Nodulation, Wall Thickness.

Science Code: 625.02.07

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamda değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen danıőman hocam Prof. Dr. Galip SAİD başta olmak üzere; deneyimlerini benimle paylaőarak ıőık tutan Fehmi KONAATAő, Fatih KONAATAő ve Hasan KONAATAő'A çalıőmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Konak Rakor ve Alfa Döküm fabrikası çalıőanlarına teőekkürü bir borç bilirim.

Tez alıőmaları süresince desteklerini hiç eksik etmeyen annem, babam, eőim ve oğlum başta olmak üzere tüm aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 FİTTİNGS ÜRETİM PROSESLERİ.....	6
2.1 DÖKÜM PROSESLERİ.....	6
2.2 İMALAT PROSESLERİ	9
BÖLÜM 3 KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER.....	11
3.1 KGDD GENEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ	11
3.2 KGDD'İN MİKROYAPISI	13
3.3 KGDD'İN YAPISAL ELEMENTLERİ.....	15
3.3.1 Temel Elementler Ve Özellikleri.....	15
3.3.1.1 Karbon	15
3.3.1.2 Silisyum.....	16
3.3.1.3 Kükürt.....	18
3.3.1.4 Fosfor.....	18
3.3.1.5 Manganez.....	18
3.3.1.6 Diğer Elementler	20
3.3.2 Elementlerin Ferrit Ve Perlit Oluşturmaya Etkileri.....	21

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.4. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE KÜRESELLEŞME	22
3.4.1 Küreselleşme İşlemi.....	22
3.4.2 Magnezyum İle Küreselleşme	27
3.4.2.1 Metalik Magnezyum.....	28
3.4.2.2 Nikel Esaslı Alaşımlar	28
3.4.2.3 Ferro Silisyum Esaslı Alaşımlar	28
3.4.2.4 Magnezyum Emdirilmiş Kok.....	29
3.4.2.5 Mekanik Olarak Bağlanmış Küreselleştiriciler.....	29
3.4.2.6 Magnezyum İçermeyen Küreselleştiriciler.....	30
BÖLÜM 4 AŞILAMA.....	31
BÖLÜM 5 KGDD'DE ISIL İŞLEMLER.....	34
5.1 GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEMİ.....	35
5.2 YUMUŞATMA ISIL İŞLEMİ	35
5.3 SERTLEŞTİRME ISIL İŞLEMİ.....	36
5.3.1 Normalleştirme:	36
5.3.2 Su Verme ve Temperleme:.....	36
5.4 ÖZTEMPERLEME ISIL İŞLEMİ.....	39
BÖLÜM 6 KATILAŞMA	44
6.1 ÇEKİRDEKLENME.....	44
6.1.1 Homojen Çekirdeklenme	45
6.1.2 Heterojen Çekirdeklenme.....	46
6.1.3 İkincil Çekirdeklenme.....	47
6.2 SIVI METALDE KRİSTALİN BÜYÜMESİ VE TANE YAPISININ OLUŞUMU.....	48
6.3 DÜZLEMSEL CEPHEDE BÜYÜME	48
6.4 DENDİRİTİK BÜYÜME	48

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7 MATERYAL VE YÖNTEM	50
7.1 MODEL ÖLÇÜLERİNİN BELİRLENMESİ	50
7.1.1 Et Kalınlığı 3-5 mm Olan Ürünler	50
7.1.2 Et Kalınlığı 5-10 mm Olan Ürünler	51
7.1.3 Et Kalınlığı 10-15 mm Olan Ürünler	53
7.1.4 Et Kalınlığı 15-20 mm Olan Ürünler	54
7.2 MODELLERİN İŞLENMESİ	55
BÖLÜM 8 DENEYİN YAPILMASI	57
8.1 MODELLERİN DERECEYE KALIPLANMASI	57
8.2 DÖKÜMÜN YAPILMASI	58
8.3 SOĞUMA HIZLARININ ÖLÇÜMÜ	59
BÖLÜM 9 SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	63
9.1 SPEKTRAL ANALİZ SONUÇLARI	63
9.2 MİKROYAPI VE SERTLİK SONUÇLARI	66
BÖLÜM 10 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Konak rakor fittings ürünleri.....	1
1.2 1" te.....	2
1.3 Fittings malzemelerinde meydana gelen deformasyonlar a)diş dibinden kırılmış te b)darbelere karşı kırılmayıp esneyen yumuşak dirsek	2
1.4 Aşınmış kılavuz örneği.....	3
1.5 Ocak ve pota.....	3
1.6 Döküm fırını.....	4
1.7 Fırınlanmış ürünler.....	5
2.1 Dökümde eritilen ürünler a)pik b)hurdalar.....	6
2.2 Dökümde eritilen ürünler a)yolluklar b)hatalı döküm ürünleri.....	6
2.3 Ocaktaki madenin potaya aktarımı.....	7
2.4 Döküm maçaları.....	8
2.5 Döküm derece elemanları.....	8
2.6 Fırının sıcaklık ve zaman ayar panosu.....	9
2.7 Kumlama makinesi ve kumlanmış ürünler.....	9
2.8 Fittings kılavuzlama tezgâhı.....	10
3.1 Kgdd'in mikroyapı fotoğrafları a) perlit + ferrit b)tamamen ferrit.....	14
3.2 Kgdd'de en uygun karbon ve silisyum oranları.....	16
3.3 Manganez-silisyum oranı ve maksimum cidar kalınlığına göre önerilen manganez oranları.....	19
3.4 Şematik olarak yapı içinde manganez dağılımı.....	20
3.5 Farklı kürselleşme şekilleri.....	22
3.6 Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar.....	24
3.7 Grafit şekli üzerinde değişik etkileri olan silisyum ve kalay arasındaki dengedurumu.....	25
3.8 Küresel şekilli grafit oluşumunda titanyum ve magnezyum oranları.....	26
3.9 Küre şekilli grafit elde etmek için ilave edilmesi gereken magnezyum miktar.....	27
4.1 Aşılama üzerine sıcaklığın etkisi.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Silisyum oranına bağlı olarak ferit-ostenit dönüşüm sıcaklığının değişimi.....	35
5.2 Alaşım-sız küresel grafitli dökme demir için t.t.t. eğrisi.....	37
5.3 Düşük ve yüksek si %'sinin t.t.t. eğrisine etkileri.....	37
5.4 Düşük ve yüksek mn %'sinin t.t.t. eğrisine etkileri	38
5.5 Ni-mo alaşımlı küresel grafitli dökme demir için t.t.t. eğrisi.....	38
5.6 Sertliğin temperleme sıcaklığı ile değişimi.....	39
5.9 Alt (a) ve üst (b) beynitin oluşum mekanizması	43
6.2 Kritik çekirdek boyutunun doygunluk oranı ile değişimi.....	46
6.3 Farklı mekanizmaları içeren çekirdeklenme diyagramı.....	47
7.1 ½" tapa imalat ölçüleri	51
7.2 2" dirsek imalat ölçüleri	52
7.3 1 ¼" – 3/4" redüksiyon imalat ölçüleri	53
7.4 3" - 2" redüksiyon imalat ölçüleri.....	54
7.5 Modellerin yapıldığı tezgâh.	55
7.6 Et kalınlığı 3-5 mm ürünler için işlenmiş 5*5*100 mm'lik model.....	56
7.7 Et kalınlığı 5-10 mm ürünler için işlenmiş 10*10*100 mm'lik model.....	56
7.8 Et kalınlığı 10-15 mm ürünler için işlenmiş 15*15*100 mm'lik model.....	56
7.9 Et kalınlığı 15-20 mm ürünler için işlenmiş 20*20*100 mm'lik model.....	56
8.1 Derecenin yolluk girişlerinin verilmesi.....	57
8.2 Ocağın potaya boşaltılması.....	58
8.3 Poşementin dereceye dökümü.....	59
8.4 Kızılötesi termometre yardımıyla sıcaklık ölçümü.....	60
8.5 Kızılötesi termometre	61
9.1 Faundry master spektra makinesi.....	63
9.2 Mikro yapı ve sertlik ölçümü için parlatılan döküm malzemeleri	66
9.3 5*5 kalınlığındaki model'in dağlanmamış içyapısı.....	67
9.4 10*10 kalınlığındaki model'in dağlanmamış içyapısı.....	67
9.5 15*15 kalınlığındaki model'in dağlanmamış içyapısı.....	68
9.6 20*20 kalınlığındaki model'in dağlanmamış içyapısı.....	68
9.7 5*5 kalınlığındaki model'in dağlanmamış içyapısı.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
9.8 10*10 kalınlığındaki model'in dağlanmış ıçyapısı.	69
9.9 15*15 kalınlığındaki model'in dağlanmış ıçyapısı.	70
9.10 20*20 kalınlığındaki model'in dağlanmış ıçyapısı.	70
9.11 Zamana bağlı sıcaklık grafiği.	72
9.12 Soğuma hızlarına bağlı sertlik değişimi grafiği.....	73

TABLolar DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 1960-2000 yılları arası üretilen türkiye'de döküm tonajları.....	11
3.2 Dökme demir malzemelerin karşılaştırılması.	12
3.3 Küresel grafitli dökme demirlerin özellikleri.....	13
3.4 K.g.d.d çeşitlerinin kimyasal bileşimleri.	15
3.5 Cidar kalınlıklarına bağlı silisyum ve karbon miktarları.	17
3.6 K.g.d.d'de küreselleşmeyi etkileyen faktörler.	23
3.7 Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler.	29
3.8 Mg-fe-si alaşımlarının kimyasal bileşimi.	30
4.1 Bazı aşılama alaşımların nominal kimyasal bileşimleri.....	31
4.2 Bazı karışık aşılama alaşımların kimyasal bileşimleri.....	32
5.1 Ökğdd için astm a 897m-90 (metrik) standardı.....	40
8.1 Extech 42570 kızılötesi sıcaklık ölçerin özellikleri.....	61
8.2 Zamana bağlı sıcaklık ölçüm sonuçları.....	62
9.1 Deney madenin ocaktaki spektral analiz sonuçları.....	64
9.2 Deney madenin potadaki spektral analiz sonuçları.	65
9.3 1100-150 °c soğuma hızları.	71
9.4 1100-800°c soğuma hızları.	71
9.5 Sıcaklık aralıklarına bağlı soğuma hızları.....	71
10.1 Deney sonuçları.	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al: Alüminyum

As: Arsenik

Be: Berilyum

Bi: Bizmut

C: Karbon

Ca: Kalsiyum

Ce: Seryum

Cd: Kadmiyum

Cu: Bakır

Fe: Demir

K: Potasyum

Li: Lityum

Mg: Magnezyum

Mn: Mangan

Mo: Molibden

Na: Sodyum

Ni: Nikel

P: Fosfor

Pb: Kurşun

Sb: Antimon

Sc: Skandiyum

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Sn: Kalay
Sr: Stronsiyum
Si: Silisyum
Te: Tellür
Ti: Titanyum
V: Vanadyum
Y: İtiryum
Zn: Çinko
Zr: Zirkonyum

KISALTMALAR

cm: Santimetre
dk: Dakika
gr: Gram
HB: Brinell sertlik
kg: Kilogram
°C: Santigrat derece
KGDD: Küreselgrafitli dökme demir
kW: Kilowatt
mm: Milimetre
Mpa: Megapaskal
sn: Saniye

BÖLÜM 1

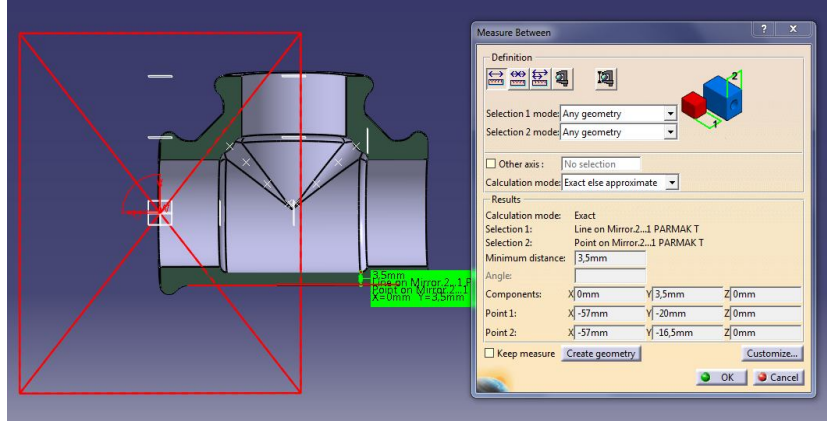
GİRİŞ

Konak Rakor Fabrikası Nipel, Dirsek, Kuyruklu Dirsek, Manşon, Te, Tapa, Konik Rakor, Oransal Dirsek vb. Fittings ürünlerini (Şekil 1.1) 1977 yılından itibaren üretmektedir. Fabrika 5000 m² kapalı alanı, toplam 45 kişilik çalışanı ve yılda 350 ton üretim kapasitesiyle birlikte Türkiye'nin Fittings üretiminin %35'lik kısmını karşılamaktadır. Adet olarak çoğunlukla kesit kalınlığı ince olan ½ ", ¾ ", 1" ve 2" serisi Fittings üretilmektedir.



Şekil 1.1 Konak rakor fittings ürünleri

Dökümün katılma hızı cidar kalınlığına bağılı olarak değişmektedir. 1600°C sıcaklıktan 800°C sıcaklığa soğuma hızı fazla olan Fittings malzemelerde sertleşme ve sementit oluşumu gözlenmektedir. Şekil 1.2'de 1" Te'nin 3,5 mm olan et kalınlığı Catia programında gösterilmiştir.



Şekil 1.2 1" Te.

Döküm malzemeleri sertliğe bağılı olarak tesisat döşenirken Fittingslerin anahtar yardımı ile sıkılması esnasında kırılmalar ve çatlamalar oluşmaktadır (Şekil 1.3a). Su kaçakları bu yüzden meydana gelmektedir. Ayrıca soğuk havalarda sert malzemenin genişlemesinden dolayı da çatlamalar ve kırılmalar meydana gelmektedir. Bu yüzden yumuşak malzeme oluşan kuvvetlere karşı sıhhi tesisatçılıkta daha güvenilirdir (Şekil 1.3b).



a.

b.

Şekil 1.3 Fittings malzemelerinde meydana gelen deformasyonlar a)Diş dibinden kırılmış Te b)Darbelere karşı kırılmayıp esneyen yumuşak Dirsek.

Fittings malzemelerinin tesisat döşenirken boru dişi ile birbirine bağlanması gerekir. Fabrikada her bir ürün için farklı tasarımlarda üretilmiş boru diş çeken tezgâhlar mevcuttur. Tezgâhlara bağlanan kendi üretimi özel kılavuzlarla bu işlem gerçekleştirilir. Üretimdeki en büyük problem sertliğin kılavuz çekme işlemini zorlaştırmasıdır. Kılavuzlar zamana ve sertliğe bağlı olarak aşınmakta ve kırılmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4 Aşınmış kılavuz örneği.

Fabrikada yılda 360 ton Küresel Grafitli Dökme Demir dökülüp fırınlanmaktadır. Döküm için 250 kW 360 kg'lık ocak ve 120 kg'lık potalar kullanılmaktadır (Şekil 1.5). Preslerde kalıplama dışında üretim tamamen insan eliyle sağlanmaktadır.



Şekil 1.5 Ocak ve pota.

Kılavuzların kırılmaması için dökümün; ısıtma işlemi fırınında fırınlanması gerekmektedir (Şekil 1.6). Fırınlanma işlemi için 200 kW enerji harcanmaktadır. Yıllık 230-280 Bin TL elektrik ödenmekte ve bunun %25 oranında elektrik gideri fırınlama işleminde oluşmaktadır.



Şekil 1.6 Döküm fırını.

Öztemperleme işlemi malzemeyi yumuşatmak için uygulanır. Bu nedenle zaman, enerji ve maddi kayıplar oluşmaktadır. Şekil 1.7'de fırından çıkan ürünler yer almaktadır. Üretimin aksaması, zaman ve enerji kayıpları, montaj ve montaj sonrası ürünün çalışması sırasında oluşan plastik deformasyonlar gibi problemlerin iyileştirilebilmesi için Fittings malzemelerinde gerekli soğuma hızının ve mikro yapının tespiti gereklidir. Fittings için belirlenen bu soğuma hızlarının uygulanmasıyla gerekli sertlikte ürünler elde edilebilir.



Şekil 1.7 Fırınlanmış ürünler.

BÖLÜM 2

FİTTİNGS ÜRETİM PROSESLERİ

2.1 DÖKÜM PROSESLERİ

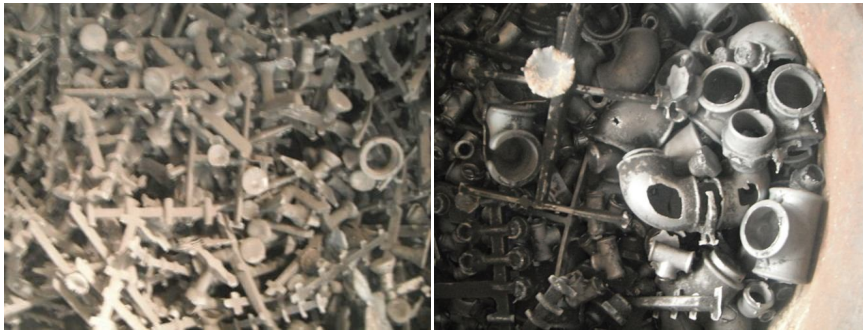
Ocağın içine pik (Şekil 2.1a) ve diğer fabrikalardan alınan hurdalar (Şekil 2.1b) dökümden önce fırında eritilir. Yolluklar (Şekil 2.2a) ve dökümü hatalı olanlar ürünlerde (Şekil 2.2b) hurda malzeme olarak eklenir.



a.

b.

Şekil 2.1 Dökümde eritilen ürünler a)Pik b)Hurdalar.



a.

b.

Şekil 2.2 Dökümde eritilen ürünler a)Yolluklar b)Hatalı döküm ürünleri.

1600°C sıcaklıkta bu malzemeler eriyerek döküme hazırlanırlar. Potanın tüm şarj malzemeleri ağırlıklarıyla birlikte aşağıda yer almaktadır;

- 120 kg pik
- 80 kg hurda
- 160 kg yolluk
- 2.2 kg takoz silis
- 1.5 kg silis
- 3.5 kg karbon
- 8.5 kg magnezyum

Hazırlanan maden küreselleştirme işlemi için potalara aktarılır. Şekil 2.3'de ocaktaki madenin potaya aktarımının resimleri görünmektedir. Potalara küreselleşmenin gerçekleşmesi için Magnezyum atılır. Magnezyumun patlamasının etkilerini azaltmak için potanın üst kısmı kapatılır. Potalardan dökümünün kolay olması için 12-40 kg'lık poşementlere maden alınır. Poşementler yardımıyla maden derecelere dökülür.



Şekil 2.3 Ocaktaki madenin potaya aktarımı.

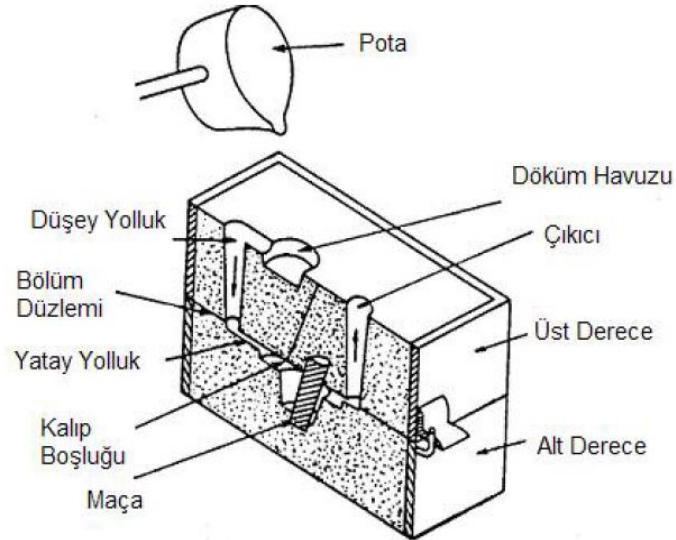
Kum; pres, kalıplama hattı vb. yöntemlerle modellerin şekillendirilmesi ile derecelere sıkıştırılır. Dereceler alt ve üst olarak iki şekilde kalıplanır. İç kısımların boş çıkması için

Şekil 2.4'de yer alan maçalar; derece kapatılmadan maça başlarına maçalı işlerde yerleştirilebilir.



Şekil 2.4 Döküm maçaları.

Şekil 2.5'de döküm elemanları ayrıntılı bir şekilde yer almaktadır. Döküm madeni yolluk girişinden dökülür ve yolluklar yardımıyla derece boşluklarını doldurarak, madenin soğumasıyla birlikte; malzemelerin üretilmesi sağlanır. Dereceler soğuduktan sonra meydana bozulur ve ürünler yolluklarından kırılarak ayrılır.



Şekil 2.5 Döküm derece elemanları (Aran 2007).

2.2 İMALAT PROSESLERİ

Fabrikada ürünler yolluktan ayrılması için kırılma meydanına getirilir. Yolluklar ve hatalı ürünler yeniden eritmek için ayrılır. Fittings malzemelerinin sementit yapısını feritleştirmek için öztemperleme işlemi yapmak gerekir. Bu yüzden fırına alınır. 800-850°C sıcaklıkta yaklaşık 6 saat bekletildikten sonra fırında hava ile soğumaya bırakılır. Fırında bulunan zaman ve sıcaklık röleleri yardımıyla bu işlem gerçekleştirilir (Şekil 2.6).



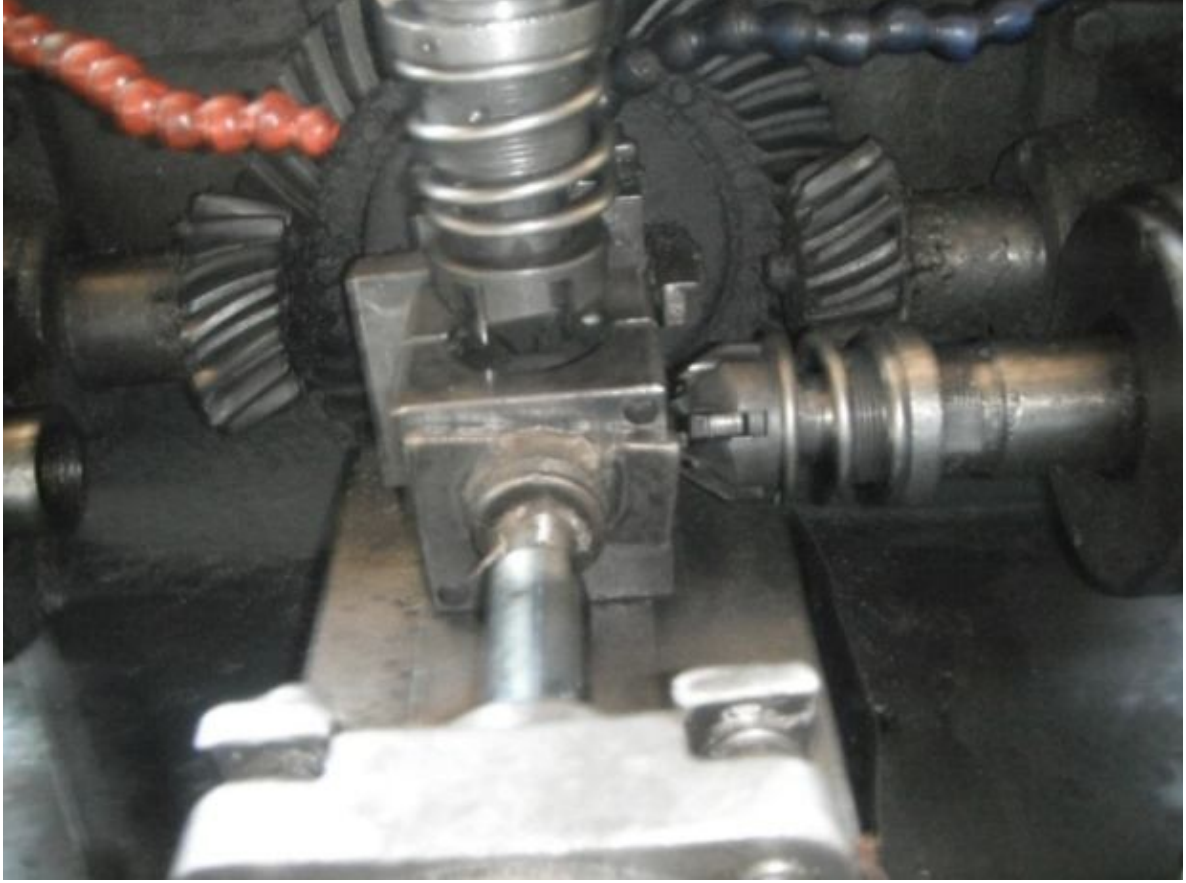
Şekil 2.6 Fırının sıcaklık ve zaman ayar panosu.

Malzemeler 300-350 HB sertlikten 150-180 HB sertlik aralığına düşürülmektedir. Ürün fırından boşaltılır. Malzemelerin ince çapakların alınması ve yüzey temizliği için kumlama makinesine atılır ve temizlenir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kumlama makinesi ve kumlanmış ürünler.

Kumlama boşaltılıp iş ayırma meydanına götürülerek ürünler kovalara ayrılır. Kovalar makine parkına sevk edilerek Şekil 2.8'de bulunan özel tezgâhlarda kılavuzlarla işlenir. CNC torna tezgâhları da üretimde kullanılmaktadır. İmalat prosesleri biten ürünler depoya sevk edilir.



Şekil 2.8 Fittings kılavuzlama tezgâhı.

BÖLÜM 3

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLER

3.1 KGDD GENEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Küresel grafitli dökme demir 1948’li yılların başlarında resmi olarak Amerika Dökümcüler Birliği’nde döküm sektörüne tanıtılmıştır (Hasırcı 2000). 1951 yılından itibaren KGDD ticari olarak üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. 1960-2000 yılları arası Türkiye’de üretilen döküm tonajları yıllara göre sürekli artmaktadır (Tablo 3.1). Sfero üretimi tonajı diğer döküm çeşitlerine göre hızlı bir şekilde artmaktadır.

Tablo 3.1 1960-2000 yılları arası üretilen Türkiye’de döküm tonajları (Aran 2007).

YIL	KIR DD	SFERO	TEMPER	ÇELİK	DEMİR DİŞİ.	TOPLAM
1960	150,000		1,000	10,000		161,000
1970	200,000		2,000	15,000		217,000
1985	385,000	18,000	9,000	58,000		470,000
1990	415,000	60,200	10,500	58,000		543,000
1995	606,000	79,700	12,960	65,690	20,000	764,350
2000	690,000	130,000	7,000	98,000	40,000	965,000

Mühendislik malzemesi olarak piyasaya girişinden bu yana geçen zamanda çok önemli gelişmeler gösteren Küresel Grafitli Dökme Demir endüstride kazandığı önemi büyük ölçüde sahip olduğu yüksek mukavemet özelliklerine borçludur. Bu özellikleriyle birinci derecede önemli mühendislik malzemeleri arasında yer alan KGDD islenebilirlik, iyi mukavemet / ağırlık oranı gibi diğer önemli özellikleriyle rekabet gücünü arttırmaktadır (Hasırcı 2000). Aynı zamanda nodüller, sfero, sünek demir gibi isimlerle de anılan dökme demirde

karbon, grafit küreler halindedir. Karbonun lamelden küre haline geçişini sağlamak için ergimiş demir, döküm öncesinde aşılama işlemine tabi tutulur. Küreler katılma sırasında oluştuğu için temper dökümden farklıdır. Ayrıca grafit şeklinin lamel yerine küre oluşu da, dökme demire süneklilik ve mukavemet kazandırmaktadır (Kuş 2007). KGDD; üretim yönteminin diğer dökme demir sınıfı malzemeler ve çelik üretiminin yapıldığı ünitelerde yapılabilmesi ve üstün mekanik özellikleri ile üretimi çok hızlı bir şekilde artmıştır. (Kuş 2007). Tablo 3.2'de genel döküm malzemelerinin özelliklerinin karşılaştırılması yer almaktadır.

Tablo 3.2 Dökme demir malzemelerin karşılaştırılması (Eliot 1988).

Özellikler	GDD	BDD	TDD	KGDD	ÇD
Dökülebilirlik	5	3	4	5	2
İşlenebilirlik	5	-	4	4	3
Güvenilirlik	1	2	3	5	4
Titreşim Söndürme Kabiliyeti	5	2	4	4	2
Yüzey Sertleşebilirliği	5	-	5	5	3
Elastisite Modülü	3	-	4	5	5
Darbe Direnci	1	-	3	4	5
Aşınma Direnci	3	5	2	4	1
Krozyon Direnci	5	4	4	5	2
Mukavemet\Ağırlık Oranı	1	-	2	5	3
Üretim Maliyeti	5	5	3	4	2

GDD:(Gri Dökme Demir), **BDD:**(Beyaz Dökme Demir), **TDD:**(Temper Dökme Demir), **KGDD:**(Küresel Grafitli Dökme Demir), **ÇD:**(Çelik Döküm) , 1.En İyi, 5. En Kötü

Küresel grafitli dökme demirler otomotiv tarım makine ve ekipmanları, basınçlı boru, vanalar vb. birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. KGDD; üretim yönteminin diğer dökme demir sınıfı malzemeler ve çelik üretiminin yapıldığı ünitelerde yapılabilmesi ve üstün mekanik özellikleri ile üretim çok hızlı bir şekilde artmıştır (Yazman 2006).

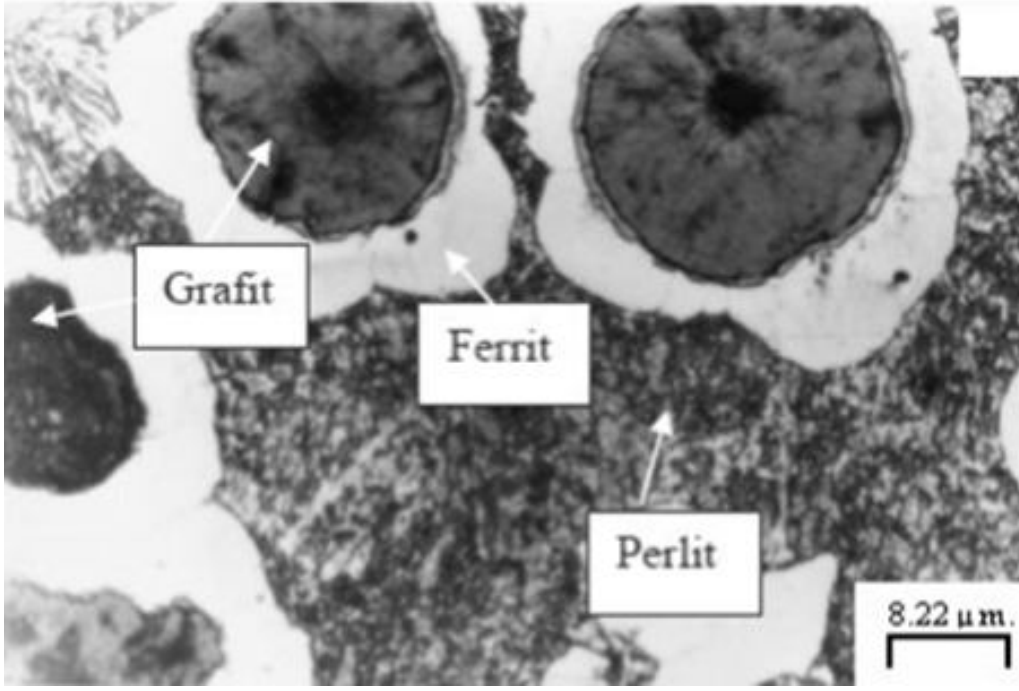
Diğer demir esaslı dökümler çok iyi bireysel özelliklere sahip olmasına rağmen, KGDD mikro yapı kontrolünden elde edilebilecek birçok özellik ve daha düşük maliyet sunar. Bu özellikleri onu tasarım mühendislerinin seçiminde en ileri gelen malzemelerden biri yapar (Labrecque ve Gagne 1998). Tablo 3.3'de küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri yer almaktadır.

Tablo 3.3 Küresel grafitli dökme demirlerin özellikleri (TS-526 1997).

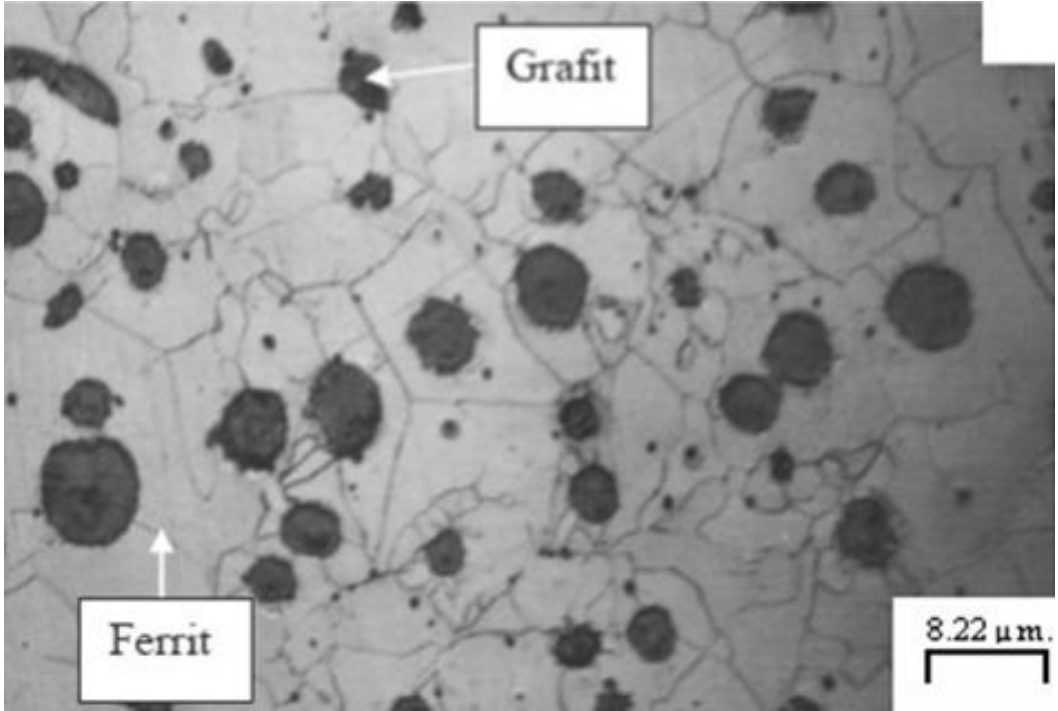
Sınıfı	Çekme Muk. (MPa)	%0,2 akma Muk.	Uzama (%)	Sertlik, (HB)	Mikroyapı	Kullanım alanı
DDK-40	410	275	12	140-201	Daha çok Ferritik	Fittingsler, inşaat iskele parçaları, fren merkezleri, büyük tekerlekler, pistonlar, potalar, fırın kapakları
DDK-50	490	345	7	170-241	Ferit + Perlit	Kompresör pistonları, tekerlekler, pompa gövdeleri, dişli kutuları, traktör parçaları, tarım makine parçaları, valfler
DDK-60	590	390	3	192-269	Perlit + Ferrit	Büyük dişliler, kağıt sanayiinde kullanılan haddeler, hidrolik kontrol alet yatakları, uçak motor parçaları
DDK-70	685	440	2	229-302	Daha çok Perlitik	Kam milleri, kazıcı uçlar, kavramalar, pistonlar, kalıplar, makine parçaları
DDK-80	785	490	2	248-352	Perlitik	Piston kolları, hadde silindirleri, krank milleri, soğuk kalıplar, kam milleri, makine kılavuzları, palet makaraları, küçük dişliler
DDK-35,3	345	215	22	-	Ferritik	Darbe dayanımının önemli olduğu döküntüler
DDK-40,3	390	245	18	-	Ferritik	

3.2 KGDD'İN MİKROYAPISI

Şekil 3.1'de KGDD'nin ferritik ve perlitlik yapıların resmi yer almaktadır. KGDD'ler döküm durumunda grafit kürelerinin etrafına bilezik şekline geçmiş ferrit ve perlitten oluşan matris yapısına sahiptir. Bu matris literatürde “dana gözü” olarak nitelendirilir. Matris yapısında oluşan ferrit ve perlit hacim oranları soğuma hızına, alaşım elementlerin içeriğine, grafit miktarına göre değişebilir. Bunların yanı sıra döküm şartları tam ideal olmadığı için döküm kalıplarının soğuma hızına ve kullanılan şarj malzemelerinin saflığına göre, döküm malzemelerinin içinde her zaman segregasyonlar mevcuttur (Kuş 2007). Segregasyonlar ve karbürleri en düşük düzeyde tutmak için şarj girdileri optimum düzeyde kontrol edilmelidir. Böylece üretilecek ürünün istenilen mekanik özelliklere sahip olması ve arzu edilmeyen bileşiklerin en düşük düzeyde kalması sağlanır (Çetin 2005).



a.



b.

Şekil 3.1 KGDD'in mikroyapı fotoğrafları a) Perlit + ferrit b) Tamamen ferrit (Kuş 2007).

3.3 KGDD'İN YAPISAL ELEMENTLERİ

Tablo 3.4'de KGDD'in çeşitlerinin kimyasal bileşimleri yer almaktadır. KGDD malzemelerde en önemli alaşım elementlerinin başlıca karbon ve silis gelmektedir. Karbon miktarı genellikle %3,2-4 arasında değişmektedir. Silis ise karbonun yanı sıra küreleştirme ve aşılamaya bağlı olarak genellikle 1,2-2,5 cm kesit kalınlığına sahip parçalar için %1,8-2,9 arasında bulunmaktadır (Hasırcı 2000).

KGDD'lerde karbon eşdeğeri (KE) genellikle %4,3-4,65 arasında değişmektedir. KE kesit kalınlığına bağlı olarak kesit arttıkça azaltılmalıdır. Bunun sebebi ise kalın kesitli ve yüksek KE'li (>4,65) bir KGDD'de; döküm parça üst yüzeyinde karbon yüzmesi adı verilen olayın meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır (Ferizoglu 1988).

Tablo 3.4 K.G.D.D Çeşitlerinin kimyasal bileşimleri (Kahraman 2012).

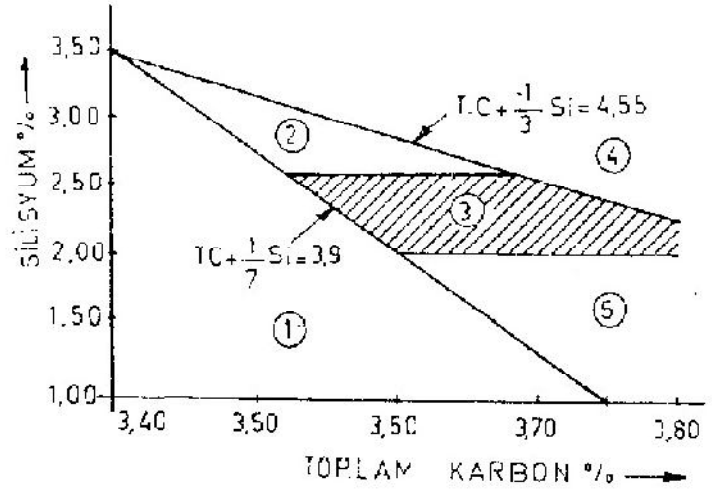
ELEMENTLER	MALZEMELER			
	GGG40	GGG50	GGG60	GGG70
%C	3.62	3.64	3.52	3.63
%Si	2.59	2.75	2.53	2.52
%Mn	0.19	0.16	0.27	0.21
%P	0.031	0.031	0.032	0.027
%S	0.004	0.0043	0.0021	0.0024
%Cu	0.023	0.023	0.024	0.38
%Mg	0.029	0.028	0.031	0.033
%Mo	0.0005	0.00011	0.0011	0.0012
%Ni	0.015	0.016	0.017	0.010

3.3.1 Temel Elementler Ve Özellikleri

3.3.1.1 Karbon

Ticari küresel dökme demirde karbon oranı %3-4 arasında değişir, ancak arzu edilen karbon genellikle daha dar limitler içindedir. Grafit kürelerinin sayısı karbon %'sine doğrudan bağlıdır (Şekil 3-2). Bir başka deyimle karbon %'si arttıkça grafit küre sayısı da artar, karbon oranındaki artış akışkanlık ve besleme özelliklerini de iyileştirerek dökülebilirlik kabiliyetini artırır. Karbon ekivalanının $C = \%C + 1/3\%Si$: 4.3'den daha büyük değerleri grafit kürelerinin oluşumu ve büyümesini teşvik eder. Karbon ekivalanı 4.6'dan daha büyük olan bileşimlerde

ve 2.54 cm'den daha kalın kesitlerde grafit kürelerinin döküm parçasının üst yüzeyine doğru yüzmesi (Flotasyon) ve karbon segregasyonuna neden olması olağandır (Sorkun 2000).



Şekil 3.2 KGDD'de en uygun karbon ve silisyum oranları.

- 1.Çekilme boşluğu,
- 2.Düşük darbe direnci,
- 3.En uygun karbon ve silisyum,
- 4.Grafit yüzmesi,
- 5.Karbür oluşma olasılığı fazladır (Sorkun 2000).

3.3.1.2 Silisyum

KGDD'de, silisyum miktarı %1.80 ile 2.80 arasındadır. Silisyum miktarı karbon ekivalanını etkilediği için grafitleşme ve karbon segregasyonu üzerinde de önemli rol oynar (Şekil 3.2). Silisyum ötektoid dönüşümde oluşan ferritin oranını ve sertliğini arttırarak dökme demir mukavemetinde de artışa sebep olur. Silisyum, ferrosilisyum olarak işlem sonunda sıvı metale ilâve edilirse (aşılama) grafit küre sayısının kontrolü açısından daha etkili olur (Sorkun 2000). Farklı cidar kalınlıklarındaki küresel grafitli dökme demirden istenilen mikro yapıda bir malzeme dökmek için uygun karbon ve silisyum oranı Tablo 3.5'den seçilebilir.

Tablo 3.5 Cidar kalınlıklarına bağlı silisyum ve karbon miktarları (Tutar 2012).

CİDAR KALINLIĞI		PERLİTİK		FERRİTİK	
Minumum	Maksimum	Tc %	Si %	Tc %	Si %
0.32	0.32	4.0	3.75	3.95	4.0
	0.64	3.7	3.75	3.65	4.0
	1.27	3.5	3.75	3.35	4.0
	2.54	3.2	3.75	3.15	4.0
	5.08	3.05	3.75	3.0	4.0
	7.62	3.0	3.75	2.95	4.0
	10.16 ve üstü	3.0	3.75	2.95	4.0
0.64	0.64	3.9	3.25	3.75	3.75
	1.27	3.7	3.25	3.55	3.75
	2.54	3.4	3.25	3.25	3.75
	5.08	3.25	3.25	3.10	3.75
	7.62	3.2	3.25	3.05	3.75
	10.16 ve üstü	3.2	3.25	3.05	3.75
1.27	1.27	3.85	2.75	3.7	3.25
	2.54	3.55	2.75	3.4	3.25
	5.08	3.40	2.75	3.25	3.25
	7.62	3.35	2.75	3.2	3.25
	10.16 ve üstü	3.35	2.75	3.2	3.25
2.54	2.54	3.6	2.5	3.5	3
	5.08	3.45	2.5	3.35	3
	7.62	3.4	2.5	3.3	3
	10.16 ve üstü	3.4	2.5	3.3	3
5.08	5.08	3.6	2.1	3.4	2.75
	7.62	3.55	2.1	3.35	2.75
	10.16 ve üstü	3.55	2.1	3.35	2.75
7.62	7.62	3.6	2.0	3.4	3.5
	10.16 ve üstü	3.6	2.0	3.4	3.5
10.16 ve üstü	10.10 ve üstü	3.6	2.0	3.4	2.5

3.3.1.3 Kükürt

Küresel grafitli dökme kükürtün en önemli etkisi grafitleri küreleştirmek amacıyla ilave edilen magnezyum miktarını arttırmaktadır. Dökme demirde magnezyum ilavesinden önceki kükürt oranı ergitmedeki uygulamanın ve şarj bileşimindeki fonksiyonu olarak değişik gösterir. Magnezyum ilavesinden sonraki kükürt oranı yaklaşık %0.015 civarındadır (Akça 2005).

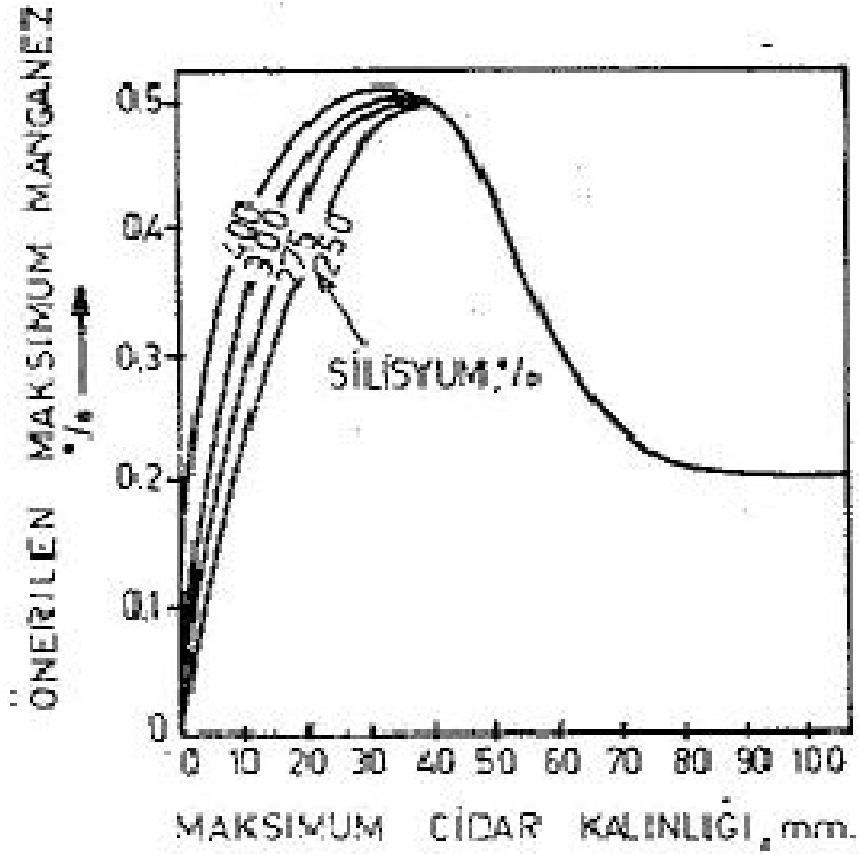
3.3.1.4 Fosfor

Gri dökme demirde olduğu gibi, küresel grafitli dökme demirde fosfor, “Steadit” olarak bilinen çok kırılğan bileşiğin oluşumuna yol açar. Fosfor, malzeme tokluk ve sünekliğini kötü yönde etkilediği için, genellikle %0.05 maksimum değerinde sınırlandırılır (Korkmaz 2012).

3.3.1.5 Manganez

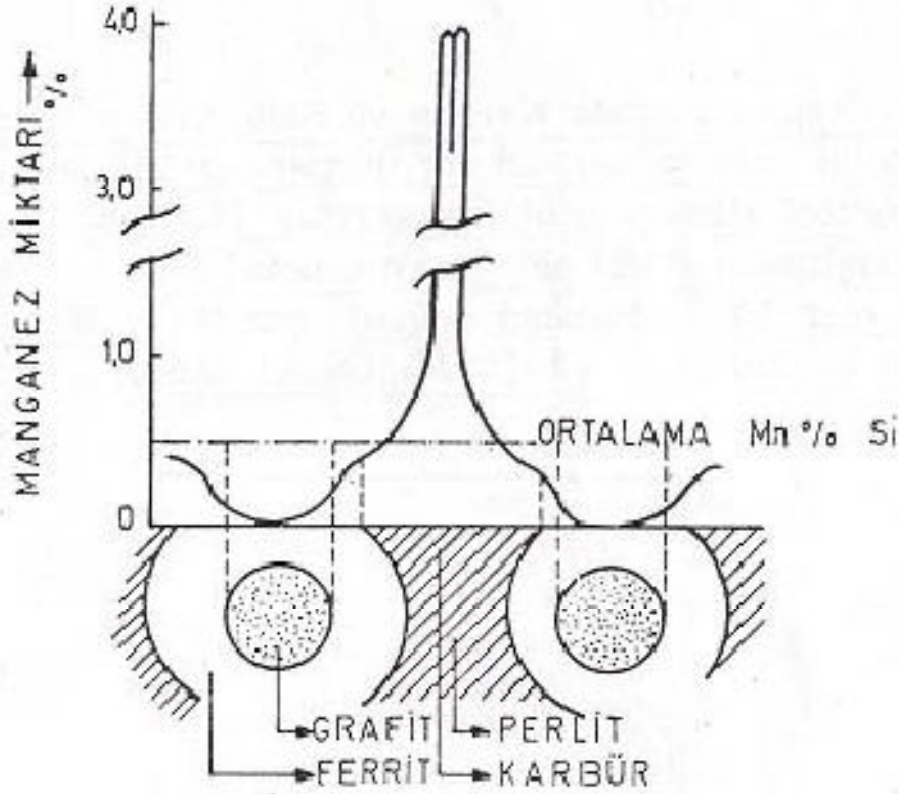
Önem sırasında karbon ve silisyumdan sonra yer alan elementtir. Döküm halinde karbürlerin oluşmasını önlemek için manganez oranının kontrol altında tutulması gerekir. Manganezin orta derecede bir karbür oluşturuıcı etkisi olduğundan, oranı silisyum %'si ve kesit aralığına bağlı olan bir maksimum değerde sınırlanır (Korkmaz 2012).

Şekildeki veriler döküm halinde karbürsüz yapı sağlamak amacıyla kullanılır. Şekil 3.3'de göre kesit (cidar) kalınlığı 25 mm veya biraz fazla olan ince dökümlerde, manganezin karbür oluşumunu teşvik edici etkisi, artan silisyum miktarı ile karşılanmakta ve bu durum döküm incelidikçe devam etmektedir; 12 mm kesit kalınlığındaki bir döküm parçası için silisyum oranında %2.5'dan %3'e artış, manganez oranının, %0.25'den %0.35'e artmasına imkân verir. Kalın kesitli döküm parçalarında segregasyon nedeniyle bu tür manganez artışı söz konusu olmamaktadır (Tutar 2012).



Şekil 3.3 Manganez-silisyum oranı ve maksimum cidar kalınlığına göre önerilen Manganez oranları (Tutar 2012).

Manganez tercihli olarak sıvı içine segregasyon olur. Soğuma ne kadar yavaş olursa bu segregasyon daha çok olacaktır. Ortalama % 0.4 mm içeren alaşımda son katılacak sıvıdaki Manganez oranının %2.5 veya daha fazla olabileceği kanıtlanmıştır. Özellikle, nispeten kalın kesitlerde bu segregasyon silisyum tarafından engellenemez, çünkü silisyum segregasyonu tam tersinedir, yani ilk katılmasında zenginleşir. Şekil 3.4'de nispeten kalın kesitli küresel grafitli dökme demirde manganez dağılımı gösterilmektedir (Karsay 1976).



Şekil 3.4 Şematik olarak yapı içinde manganez dağılımı (Karsay 1976).

3.3.1.6. Diğer Elementler

Karbür oluşumunu manganez gibi hatta ondan daha kuvvetli teşvik eden elementler krom, vanadyum, bor, telluryum ve molibdendir. Bu elementlerin tavsiye edilen maksimum oranları aşağıda verilmektedir.

$$\text{Cr} = \%0.05$$

$$\text{V} = \%0.03$$

$$\text{B} = \%0.003$$

$$\text{Te} = \%0.003$$

$$\text{Mo} = \%0.01-0.75$$

Ancak bu değerler döküm parçasının kesitini göz önüne almayan ortalama değerlerdir. Belirtilen elementlere ilaveten nikel, bakır ilaveleri ile de daha tok, daha mukavemetli, yüksek sıcaklığa ve korozyona direnci daha yüksek alaşımlar elde edilir (Tutar 2012).

3.3.2 Elementlerin Ferrit Ve Perlit Oluşturmaya Etkileri

Silisyum; Karbon'un aktivitesini yükseltmekte ve grafit oluşumunu arttırdığı için güçlü grafit oluşturu ve ferrit oluşumunu teşvik edici bir elementtir. Silisyum'un artması düşük sıcaklıklardaki darbe direncini düşürmekte, ancak %3'ün üzerinde tersine bir etki göstermektedir (Hasırcı 2000).

C ve Si'dan sonra gelen en etkili element ise mangandır. Mn sementit oluşumunu desteklemektedir. Mn miktarı %0,02-0,6 arasında değişmektedir. KGDD'de Mn miktarını gri dökme demire göre daha düşük olduğundan kükürt'ün etkilerini kontrol edici (MnS) bir fonksiyonu yoktur (Hasırcı 2000). Ancak Mn; perlit kararlı hale getirme özelliği olan bir elementtir. Miktarının %0,4'ten düşük olması özellikle tane sınırı karbürleri oluşturma tehlikesini önlemesi açısından tavsiye edilmektedir. Ayrıca Mn'm etkisi ile sıvı metalin hidrojen kapmasını en aza indirmek, bunun yanında ferrit oluşumunu teşvik etmek ve ayrıca tane sınırı segregasyonu ve tane sınırında sementit oluşumunu engellemek için Mn miktarı düşük tutulmalıdır. S ve P ise genellikle istenilmeyen ve minimum düzeyde tutulması gereken elementlerdir. Genellikle S %0,004 ve P %0,08'den daha az olması tercih edilir (Mulins 1990).

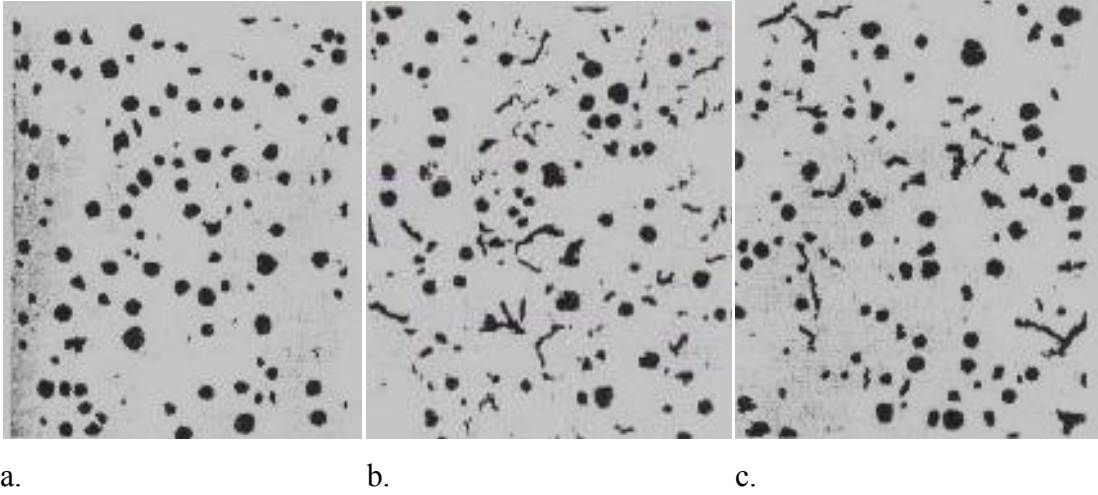
Bu temel elementlerin dışında kullanılan Ni, Cu ve Mo genellikle perlit oluşumunu teşvik etmektedir (Hasırcı 2000). Mo, Cu ve Ni elementleri arasında Mo en fazla nispi etkinliğe sahip olmakla birlikte bu elementin segregasyon eğiliminin fazla olması ve karbür oluşturmaları sonucu sünekliği düşürdüğü için miktarının maksimum %0,3 ile sınırlanması gerekmektedir. Bunun yanı sıra Mo; yüksek sıcaklıktaki dayanımı arttırmaktadır (Kuş 2007).

Cu ve Ni'in haricinde diğer verilen elementlerin bilinen zararlı etkileri sebebiyle perlit oluşturma amacıyla kullanımı olumsuz etkilere neden olacağından tercih edilmemektedir. Burada Cu, Ni'e göre etkinliğinin daha yüksek ve ekonomik olması sebebiyle yaygın şekilde perlit oluşturu element olarak kullanılmaktadır. Diğer taraftan nikel aynı zamanda sıcak darbe direncinin gelişimine olumlu etki yapmaktadır (Kuş 2007).

3.4. KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE KÜRESELLEŞME

3.4.1 Küreselleşme İşlemi

Grafit dağılımı tarif olarak birim hacimdeki grafit kürelerinin sayısıdır. Bu değer kesit üzerinde birim alana düşen grafit küre kesiti sayısı ile doğru orantılıdır ve “grafit küre sayısı/mm²” olarak ölçülür. KGDD’lerde küre sayısının istenilen mekanik özelliklerinin elde edilmesi açısından mümkün olduğu kadar yüksek sayıda (150-250 küre/mm²) olması istenir. Şekil 3.5’de farklı derecelerde küreselleşmiş ürünlerin optik mikroskopta görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.5 Farklı küreselleşme şekilleri (a,b,c)

Bu nedenle uygun sıcaklıkta, yeterli miktarda küreleştirici ve küreleşmeyi destekleyecek malzeme kullanımı gerekmektedir. Elementlerin küreselleşmeye etkileri Tablo 3.6’da yer almaktadır.

Sıvı metalin kükürt oranı, karbon eşdeğerliği (KE), diğer malzeme ve işlem değişkenleri küreleşme oranına etki etmektedir (Hasırcı 2000).

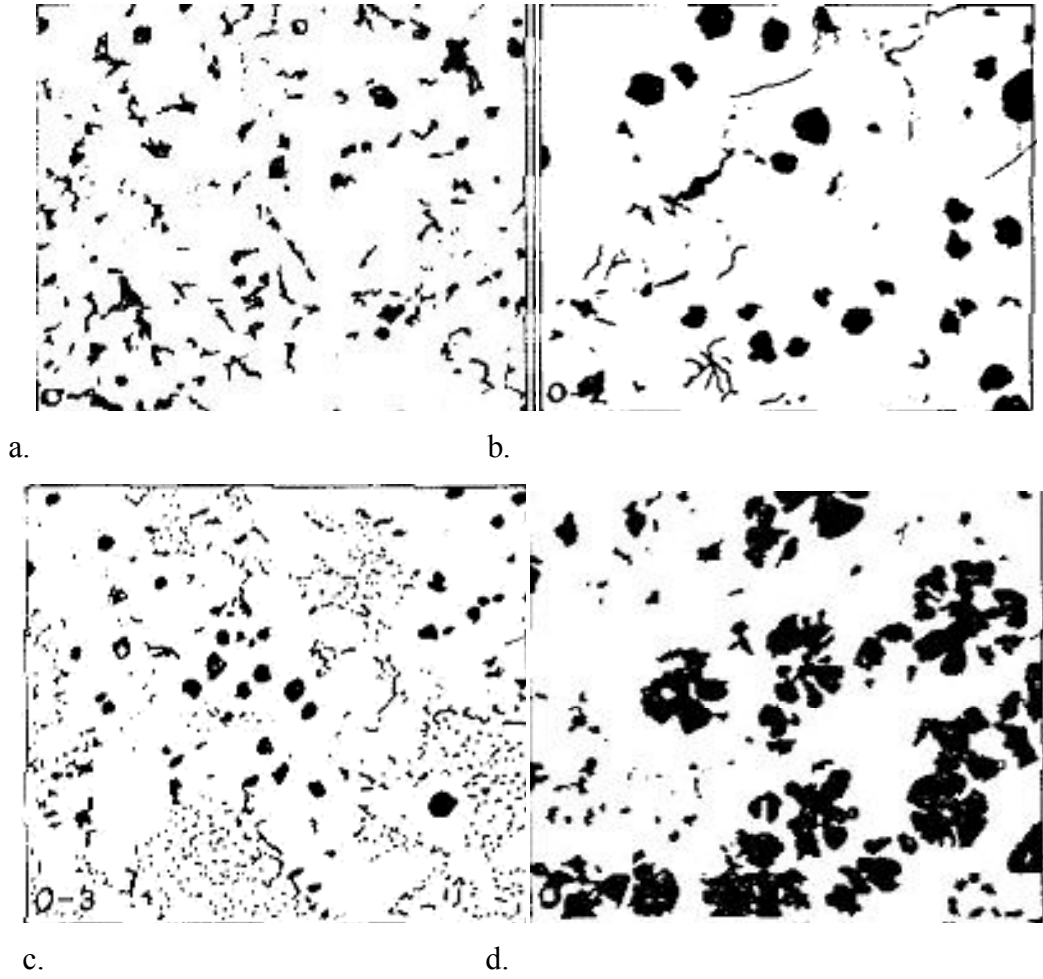
- (a) %99 küreselleşmiş
- (b) %80 küreselleşmiş
- (c) %50 küreselleşmiş (Stefanescu 1992).

Tablo 3.6 K.G.D.D'de küreselleşmeyi etkileyen faktörler (Stefanescu 1992).

Element Sınıfı	Element
Küreleştirici	Magnezyum, kalsiyum, nadir toprak metalleri (seryum, lantanyum, v.b.), yitriyum
Küreleşmeye Etkisiz	Demir, Karbon, alaşım elementleri
Küreleşmeyi Azaltıcı	Alüminyum, titanyum, arsenik, bizmut, tellür, kurşun, kükürt, antimon

Grafit kürelerinin dağılımını yarı-kimyasal olarak etkileyen element silisyumdur. Silisyum oranı arttıkça küre sayısı da artar, ancak fazla silisyum (Chunk-type) “gelişmemiş grafit partikülleri” şekline yol açar. Karbon miktarı hem grafit şeklini hem de boyutunu etkiler, çünkü karbon ekivalanı değiştirir. Grafit küreleri, hiperötektik küresel grafitli dökme demirde daha küçük ve daha düzgün şekillidir. Yüksek nikel ve silisyum içeriği de grafit şeklinin bozulmasını kolaylaştırabilir. Bu etki özellikle orta veya kalın kesitli, yüksek nikelli ostenitik küresel grafitli dökme demirlerde görülmektedir. As, Sb gibi çok küçük miktarlarının dahi zararlı olduğuna inanılan elementler, laboratuvar çalışmalarında ve bazı sınırlı endüstriyel uygulamalarda perlit oluşumunu teşvik ve grafit şeklini düzeltme amacıyla (Ce) ile beraber ilave edilebilmektedirler. Bir zamanlar küresel grafit oluşumunun sağlanmasında temel element olarak bilinen seryumun ise bazı eser miktardaki elementler mevcut olmadığı takdirde, Chung-grafit oluşumuna yol açtığı, özellikle ostenitik grafitli dökme demirlerde müşahade edilmiştir. Küresel grafitli dökme demirlerde tamamen küre şekilli grafitleri içeren bir yapı ancak küreleştirici elementlerden bir veya birkaçının ilavesiyle elde edilebilir. Bu elementleri içeren grup Mg, Ce, Ca, Li, Na, K, Se, Be, Y ve diğer bazı elementlerden oluşmaktadır. Bunlar grafit şeklini etkileyen elementler olarak bilinir. Ancak çeşitli araştırmalar, daha kırk veya daha fazla elementinde grafit şekline etkili olduğunu ileri sürmektedir (Kırcalı 2008). Küresel grafitli dökme demirde grafit şeklinin küreden sapışı kabaca dört şekilde gösterilebilir (Şekil 3.6);

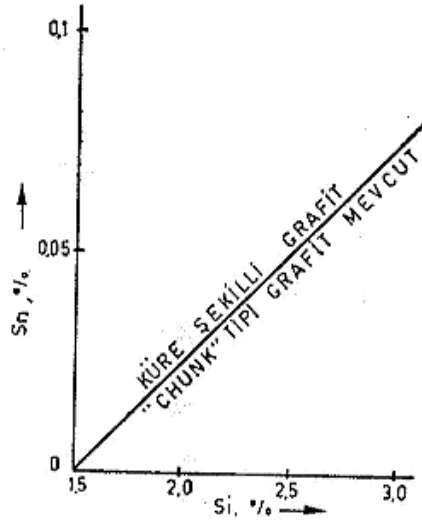
- a) “Exploded graphite” patlamış grafit küresi (yarı lameler grafit),
- b) “Quasigraphite” yarı lameler grafit (hücreler arası grafit lamelcikleri),
- c) “Flake graphite” küçük lamelli grafit (chunk grafit),
- d) “Chunk graphite” gelişmemiş grafit (patlamış grafit küreleri),



Şekil 3.6 Küresel grafitli dökme demirde normal grafit yapısından sapmalar (a,b,c,d)
(Sümer 1981).

İstenmeyen bir grafit şekli olan yarı-lameler tipinin yanında patlamış küre (Şekil 3.6a) tipinin dökme demirin mekanik özelliklerine büyük oranda bir menfi etkisi olmadığı anlaşılmıştır. Özelliklere en çok zararlı olan, hücre ara sınırlarında küçük grafit lamelleri (Şekil 3.6d) ve “Cunkgrafit” tipidir. Hücreler arası grafit lamellerinin oluşumuna yol açan elementler muhtemelen katılaşma sırasında katıdan atılarak sıvıda zenginleşip bu son katılan sıvı içinde grafit lamellerinin çökmesine neden olacak konsantrasyona erişmektedirler. Bunun sonucu hücreler arası grafit lamelcikleri şekil 3.6b daha çok, segregasyon için geniş zaman bulunabilen kalın kesitli dökme demirlerde rastlanmaktadır. “Chunk” grafit ise hücre işlerinde oluşmaktadır (Şekil 3.6c), hücre sınırlarında ise genellikle iyi şekillenmiş grafit küreleri mevcuttur. Bu durum her ne kadar kesit kalınlığı arttıkça belirgin oluyorsa da, sebep olarak segregasyona bağlamak oldukça zordur, daha çok lamel tipi grafit oluşumuna yardım eden elementlerin “Chunk” tipi grafit oluşturan elementlerce nötrale edilmesi söz konusudur. Bu

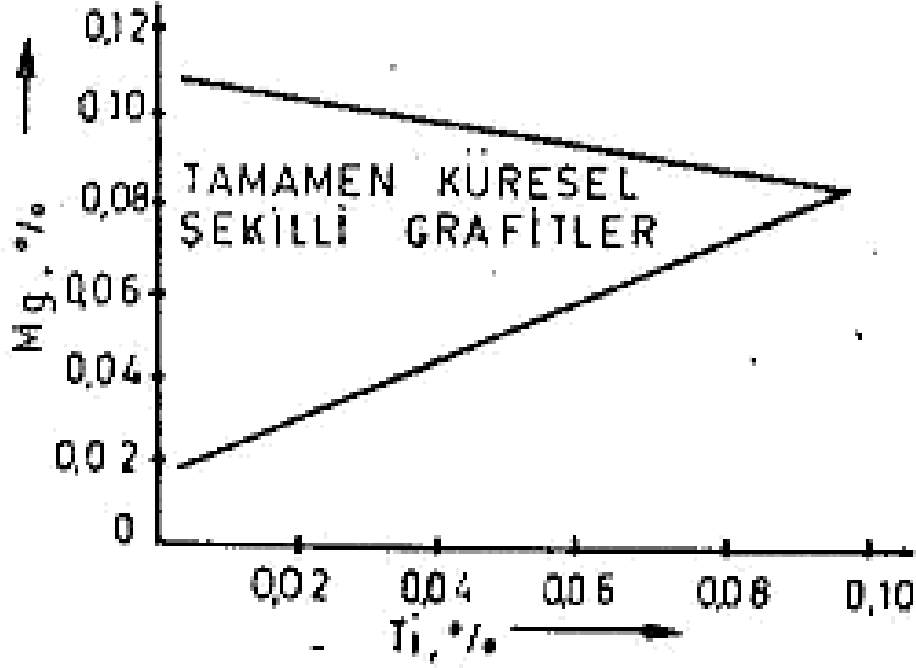
açından bakıldığında “Chunk” tipi grafitin elimine edilip tam küresel şekilde grafitin elde edilmesi, şekil 3.6b tipi grafit oluşumunu teşvik eden elementlerin ilavesi ile mümkün olabilir. Kısaca bir elementin zararlı etkisi, yine zararlı kabul edilen bir başka element tarafından giderilebilmektedir. Örneğin “Chunk” tipi grafit oluşumuna yardımcı olarak tanımlanan silisyum ile hücreler arası grafit lamellerinin oluşumunu teşvik edici olarak bilinen kalay arasındaki yaklaşık ilişki Şekil 3.7’de verilmektedir (Sümer 1981).



Şekil 3.7 Grafit şekli üzerinde değişik etkileri olan silisyum ve kalay arasındaki denge durumu (Sümer 1981).

Bir başka örnek titanyum için verilebilir. Küresel grafitli dökme demir bileşiminde, gerek kalıp gerekse maçalarda kullanılan bağlayıcılardan gelebilecek azotun kötü etkisini karşılamak için, %0.02-0.04 oranlarında titanyum istenebilir, ancak yüksek oranda titanyum, magnezyum etkisini henüz bilinmeyen nedenlerle ters yöne çevirerek lamel tipli grafitleşmeye yol açtığı için arzu edilmez (Kırcalı 2008).

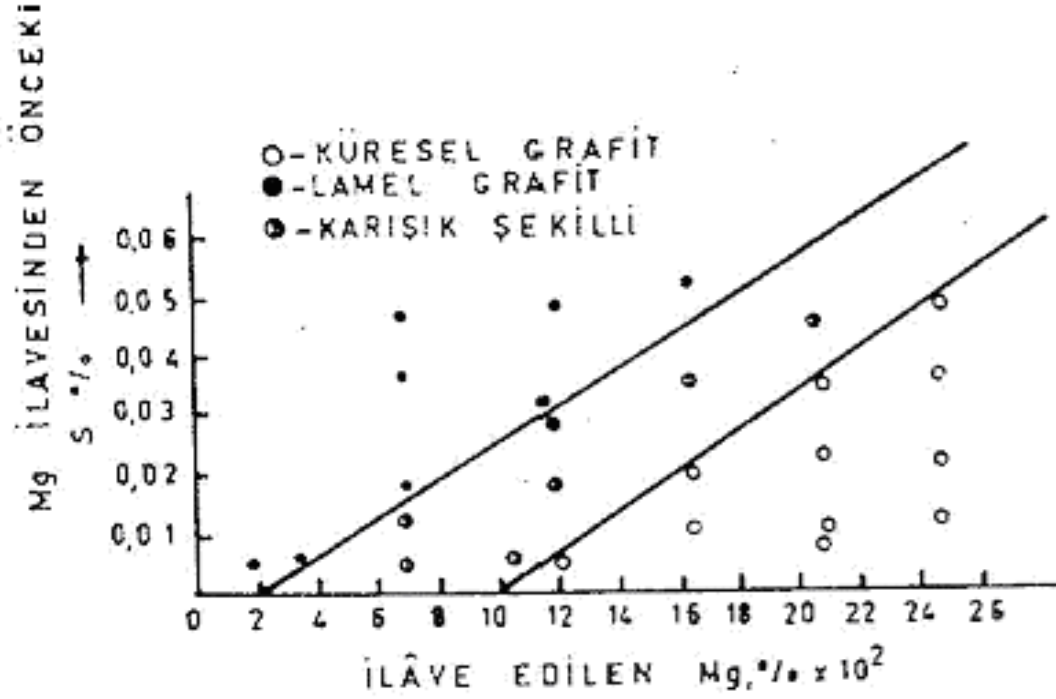
Küresel grafitli yapının elde edilmesi için gerekli magnezyum miktarı artan titanyum miktarı ile artar. Yüksek magnezyum ve yüksek titanyumun beraber bulunuşu lamel tipli grafit oluşumuna yol açar (Tutar 2012) (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Küresel şekilli grafit oluşumunda titanyum ve magnezyum oranları (Karsay 1976).

Grafit şekli üzerinde etkisi önemli olan kükürtün dökme demirdeki oranı ne kadar az olursa küreleştirmek için yapılacak ilave miktarı da o kadar az olacağı açıktır. Küresel grafit elde edilmesi için gerekli magnezyum oranı ile magnezyum ilavesinden önce dökme demir bileşiminde bulunan kükürt oranı arasındaki ilişki şekil 3.9'da verilmektedir (Karsay 1976).

Sonuç olarak grafit şeklini etkileyen elementleri zararlı, nötr ve yararlı olarak sınıflandırmanın gerçeklere uymadığı söylenebilir, daha öncede belirtildiği gibi bu elementlerin dökme demir yapısında bulunmuş şekline (beraber veya ayrı ayrı) bağlı olarak etkileri birbirine tamamen zıt yönde gelişebilir ve birbirlerinin etkilerini kuvvetlendirebildikleri gibi nötralize edebilirler. Kesin bir sınıflandırma olmamakla beraber grafit şekli üzerinde etkili elementler: Mg, Ce, Ca, Li, Na, K, Sc, Be, Y olarak bilinmektedir. Ancak yayınlanmış çeşitli literatürler de Al, As, Bi, C, Cd, Cu, Ni, Pb, Sb, Sn, Si, Te, Ti, Zn, Zr, ve nadir toprak elementlerinde grafit şekli üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir. Bu elementlerin etkili oranları çok değişik olabilmekte bazıları çok küçük oranlarda daha aktif olabilmektedir (Tutar 2012).



Şekil 3.9 Küre şekilli grafit elde etmek için ilave edilmesi gereken magnezyum miktar (Tutar2012).

3.4.2 Magnezyum İle Küreselleşme

Dökme demirde grafitleri küreleştirmek amacıyla birçok elementin etkisi incelenmiş ancak magnezyum (genellikle bir miktar kalsiyum, seryum ve bazı diğer nadir toprak metalleriyle birlikte) bu amaç için en efektif ve ekonomik küreleştirici olarak bulunmuştur. Küre şekilli grafitleri oluşturmak için gerekli olan magnezyum miktarı, dökme demirin ana bileşimindeki kükürt ve oksijen miktarlarına büyük ölçüde bağlıdır. Daha öncede belirtildiği gibi bileşiminde minimum %0.015 ila %0.05 magnezyum kalması uygun kabul edilir. Magnezyum ile muamelesi esnasında, hem asit hem bazik usulde ergitme için, dökme demir sıcaklığı (1538-1566°C) civarında olup magnezyumun buharlaşma sıcaklığının oldukça üzerindedir. Dolayısıyla sıvı metal ile temas eden magnezyum aniden buharlaşır ve uygun şekilde yapılmadığı takdirde reaksiyon çok şiddetli olabilir. Magnezyumun verimi hava ile temas etmeden önce magnezyum buharının içinden geçerek yükseldiği sıvı demir derinliğine bağlıdır. Dolayısıyla sıvı metalin magnezyum buharı ile yıkandığı süre ve yıkanan derinlik magnezyum verimi açısından önemli olmaktadır (Çetin 1998).

Gerek reaksiyon şiddetini azaltmak gerekse optimum metalürjik şartları (örneğin döküm halinde karbürsüz yapı) sağlamak için, genellikle magnezyum başka elementlerle alaşımlandırılır. Küreleştirme işlemi ergitmeyi, yapıyorsa kükürt gidermeyi, takip eder. Bazı uygulamalarda sıvı metal bir “ön hazırlama” işlemine tabi tutulur. Bu işlemde çeşitli ilaveler kullanılırsa da, SiC (silisyum karbür) ilavesi ile ön hazırlama, küreleştirme işleminin başarısını artırmakta, ayrıca döküm yapısında karbür oluşumu meylini de azaltmaktadır. Sıvı metale ilave edilecek magnezyum miktarı ile ilgili birçok formül geliştirilmiştir. Bunlar arasında en basit ve kullanımı en kolay olanı Eşitlik 3.1'de verilmektedir;

$$\%Mg \text{ (ilave edilen)} = (\text{İstenen Mg \%Si}) / [\text{Mg verimi (\%)} \times 0.01] + \text{Bileşimdeki S(\%)} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda seçilmesi en zor olan şartlara bağlı oran magnezyum verimine ait olmalıdır. Bu oran %10-90 arasında değişebileceğinden her uygulayıcı kendi şartları ve önceki tecrübelerinin sonuçlarına göre bu oranı saptamak durumundadır. Aşırı magnezyum kullanmanın ekonomik sakıncası yanında çekilme boşluğunun oluşumuna meyli arttırmak ve döküm yapısında karbürleri meydana getirmek gibi önemli sakıncaları vardır. Bu nedenle bileşimde kalması istenen magnezyum oranı \pm %0.015 mertebesinde kontrol edilmelidir ki bu da bilinen küreleştirme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir (Korkmaz 2012).

3.4.2.1 Metalik Magnezyum

Magnezyum metalik halde ya saf veya alüminyumla (düşük %'de) alaşımlandırılmış olarak kullanılabilir. Reaksiyon oldukça şiddetlidir, bu sebeple daha ileride açıklanacak ilave yöntemlerinde dikkatli seçim yapmak gerekir.

3.4.2.2 Nikel Esaslı Alaşımlar

Bunlar “ceriumlu” veya “ceriumsuz” olabilirler. Ostenitik tip küresel grafitli dökme demir üretildiğinde cerium ilave edilmelidir.

3.4.2.3 Ferro Silisyum Esaslı Alaşımlar

Bazı alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Bu alaşımlardan bazıları endüstriyel uygulamada büyük oranda kullanılanlar olup, bazıları ise laboratuvar veya dökümhanelerde deney amaçları için kullanılmaktadır. Mg-Fe-Si alaşımları için en uygun

parça boyutu 50 mm ile 3mm arasında değişmektedir; daha incelerin magnezyum verimi daha düşük olacağından ekonomik olmamaktadır (Sorkun 2000).

Tablo 3.7 Magnezyum içermeyen küreselleştiriciler (Tutar 2012).

İŞARETİ	YAKLAŞIK KİMYASAL BİRLEŞİM %						
	Ce	Toplam N,T (Ce Dahil)	Y	Ca	Al	Si	Fe
S-1	.	30	Kalan
S-2	-	-	-	6.15	10.3	75	Kalan
S-3	16	33	-	1	1	33	Kalan
S-4	10	13	-	1	1	38	Kalan
S-5	16	23	-	1	1	30	Kalan
S-6	23	50	-	5	5	38	Kalan

Küresel grafitli dökme demir üretiminde küreselleştirici olarak kullanılan ilaveler başlıca altı grup altında toplanırlar.

3.4.2.4 Magnezyum Emdirilmiş Kok

Bu maddenin kullanım alanı daha çok küresel grafitli dökme demir üretiminin dışında kalmaktadır. Yaklaşık %40 oranında magnezyum içerir. Magnezyum emdirilmiş kok ucuz olmakla beraber, daldırma yoluyla ilave edildiğinde reaksiyon şiddetli ve nispeten uzun (2 dakika veya daha fazla) olabilmekte ve dolayısıyla aşırı ısı kaybına yol açmaktadır.

3.4.2.5 Mekanik Olarak Bağlanmış Küreselleştiriciler

En çok kullanılanların başında sünger demir veya demir talaşı ile magnezyum talaşının karışımından briketleme ile elde edilenlerdir. Magnezyum oranı ortalama %15-20'dir. Magnezyum oranı arttıkça reaksiyon şiddeti de artar.

3.4.2.6 Magnezyum İçermeyen Küreselleştiriciler

Bunlardan en çok bilinen ve kullanılanlar Tablo 3.8’de verilmektedir. Laboratuvar deneyleri S-2 no’lu alaşımın, küreselleştirici olarak Mg-Fe-Si’den daha uygun olduğunu ortaya koymaktadır. S-3 ila S-6 alaşımları ise nadiren yalnız olarak ilave edilirler; genellikle, Magnezyum içeren ilave maddeleriyle beraber kullanılırlar. Genel olarak magnezyumun ilavesindeki verim, kullanılan alaşımdaki magnezyum oranı azaldıkça artar; verim aynı zamanda magnezyumun sıvı metale hangi yöntem ile ilave edildiğine de bağlıdır (Tutar 2012).

Tablo 3.8 Mg-Fe-Si Alaşımlarının kimyasal bileşimi (Tutar 2012).

Ortalama Kimyasal Birleşim										
No	Mg	Ce	N,T	Ba	Ca	B	N	Si	Al	Fe
1	2.8	-	0.8	0.1	-	-	-	43	1	Kalan
2	3	-	-	-	1	-	-	46	1	"
3	3	0.4	1	-	1	-	-	46	1	"
4	3	1.75	2.2	-	0.4	-	-	46	1	"
5	4.5	B.	2.5	-	B.	-	-	46	1	"
6	5.5	-	-	-	1	-	-	46	1	"
7	5.5	0.3	0.75	-	1	-	-	46	1	"
8	5.5	0.65	1.25	-	1	-	-	46	1	"
9	5.5	1.1	2	-	1	-	-	46	1	"
10	5.5	0.9	1.8	-	1	-	-	46	1	"
11	5.5	0.4	0.75	-	1	-	-	46	1	"
12	5.5	0.5	1	-	1	-	-	46	1	"
13	6	3	11	-	22	-	-	45	1	"
14	8	2	B.	-	10	-	-	50	1	"
15	9	-	-	-	1.25	-	-	46	1	"
16	9	0.35	1	-	1.25	-	-	46	1	"
17	9	0.6	1	-	1.25	-	-	46	1	"
18	9.25	0.34	0.7	-	1	-	-	46	1	"
19	8	B.	1.25	-	8	-	-	38	1	"
20	9	-	-	5	1.5	0.5	0.4	48	1	"
21	12	-	-	-	B.	-	-	40	1	"
22	30	B.	2	-	4.5	-	-	50	1	"
23	5-10	B.	2	1-3	1	-	-	48	1	"

B. : Belirtilmemiş

BÖLÜM 4

AŞILAMA

Bu işlemin amacı ergimiş metale katılaştırmanın üzerinde oluşacağı çekirdekleri sağlamaktır. Çekirdek görevi görecektanecikler katılaştırma fazın aynı olabileceği gibi bir başka malzemeden de olabilir (Heterojen çekirdeklenme). Bu tanecikler ilave edildikleri sıvı metal içinde katılaştırma başlayana kadar erimedikleri zaman yeni kristallerin oluşması ve büyümesi için en uygun zemini oluştururlar. Daha fazla sayıda grafit küresi, daha fazla sayıda grafitleşme merkezi demektir. Dolayısıyla aşılama grafitleşme meylinin artışına ve karbür oluşumunun azalışına sebep olmaktadır. Bu nedenle aşılamanın başlıca iki amacı vardır:

- a) çekirdek sayısını arttırmak
- b) karbür oluşumunu önleyerek mekanik özellikleri arttırmaktır.

Küresel grafitli dökme demirde en verimli aşılama ajanları ferro-silisyum alaşımlarıdır. Bu alaşımlar çeşitli sınıflar halinde üretilirler (Tablo 4.1). En çok bilinenler %50 ila %80 silisyum içerenlerdir. Bu aşılama ajanları çoğunlukla kalsiyum da içerirler (Tutar 2012).

Tablo 4.1 Bazı aşılama alaşımlarının nominal kimyasal bileşimleri.

No	Si	Ca	Al	Ba	Mn	Mg	NaNO ₂	Fe
1-1	75	1.5	1.0	-	-	-	-	Kalan
1-2	63	2.0	1.0	5.0	10.0	-	-	"
1-3	63	1.0	0.75	10.0	-	-	-	"
1-4	50	0.75	1.0	-	-	1.25	-	"
1-5	61	0.50	B	-	-	2.5	10.0	"

Standart aşılama maddelerinden başka karışık olarak tanımlanabilecek aşılama maddeleri vardır (Tablo 4.2). Bunların ferrosilisyum esaslılara olan başlıca üstünlükleri, arzu edilen sonuca erişmek için ilave edilecek miktarın daha az oluşu, dolayısıyla maliyetin azalması ve yine daha az ilaveden dolayı bileşim değişikliğinin çok az oluşudur. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan aşılama maddeleri ferrosilisyum esaslılardır (Karsay 1976).

Tablo 4.2 Bazı karışık aşılama maddelerinin kimyasal bileşimleri (Karsay 1976).

	% Si	% Ca	% Al	Diğer Element %
Ca-Si	57.5	14.0	1.0	-
Ca-Si-Ti	52.5	6.0	1.1	10 Ti
Si-Mn-Zr	62.5	3.5	1.0	6 Mn, 6 Zr
Si-Mn-Zr-Ba	62.5	2.1	1.0	6Mn, 6 Zr, 2,5 Ba
Si-Mn-Ca-Ba	62.5	2.1	1.25	10 Mn, 5Ba
Si-Sr	77.5	-	0.5 Max	1 Sr
Ce-Si	38.0	0.5	0.5	10 Ce, Diğer 3
Exot. Si	61.0	0.5	1.1	10 NaCO ₃ , 2,5 Mg

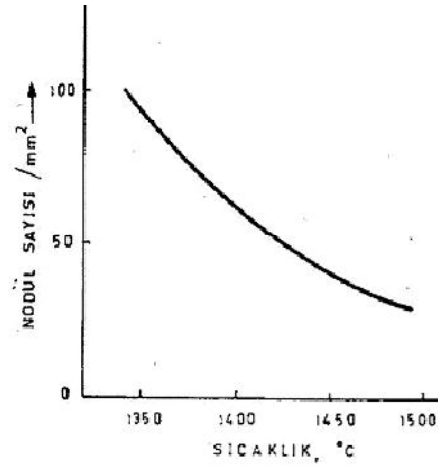
Aşılama maddesinin hangi oranda ilave edileceği ise çok sayıda değişkene bağlıdır. Bunların başlıcaları: sıvı metal bileşimi, döküm sıcaklığı dökülen parça kalınlığı, kalıp malzemesi, ergitme ortamı ve döküm süresidir. Dolayısıyla çok sayıda değişken sabit bir aşılama miktarının tespitini imkânsızlaştırmaktadır. Küresel grafitli dökme demirle yapılan deneyler %75 veya %85'lik ferro silisyumun %0.5-1.0 (dökülen parça kalınlığına göre) oranlarında ilavesinin en iyi sonuçları verdiğini göstermektedir. İnce kesitler, kalın kesitli olanlardan daha fazla aşılama gerektirirler (Karsay 1976).

Aşılama için çeşitli yöntemler uygulanabilir, bunların başlıcaları: potada aşılama, oluk aşılması ve kalıp aşılmasıdır. Aşılama maddelerinin en iyi ilave şekillerinden biri fırının boşaltma ağzından çıkan metalin içine aşılama maddesi ilave etmektir. Aşılamanın yapılacağı zamanın kaba bir yaklaşımla tayini şöyle yapılabilir: aşılama ilavesi potanın dibinde 10-15 cm sıvı metal varken yapılır ve böylece hızlı ergitme ve sıvı metalle tamamen karışma gerçekleşebilir. Bazı dökümhanelerde aşılama maddesi magnezyum ile beraber ilave edilir. Ancak bu yöntemin pek etkin olduğu söylenemez; bazılarında ise iki veya üç kademe

aşılama yapılmaktadır; fakat aşılamanın etkisi zamanla kaybolduğundan sıvı metalin her aktarılışında yeni bir miktar aşılama gerekli olmaktadır. Bir de yukarıda açıklanan işlemlerden sonra yapılan kalıp aşılması vardır. Bu aşılama bir miktar aşılama maddesi parçalar halinde yolluğa yerleştirilir (Tutar 2012).

Aşılama işleminde dikkat edilecek hususların başında aşılama maddesinin tamamen kuru olması gereği gelir, aksi halde döküm yüzeyinde karıncalanma hatasına neden olabilir. Aşılama maddesinin boyutu hızlı ergiyecek kadar küçük ve hemen okside olmayacak ve ani patlama göstermeyecek kadar büyük olmalıdır. Sıvı metal aşılama esnasında cüruftan tamamen arınmış olmalıdır.

Bir genelleme olarak iyi bir sonuç almak için mümkün olduğu kadar geç aşılama gerekir, aşılama sonrası geçen zamanla aşılamanın etkisi kaybolduğu gibi, bu zaman ısı kaybına da yol açmaktadır ve düşen ısı grafit küre sayısını da azaltacaktır. Ayrıca aşılama sıcaklığı ne kadar yüksek ise aşılama verimi de o kadar düşük olur (Şekil 4.1). Dolayısıyla aşılamanın mümkün olan en düşük sıcaklıkta ve en son anda yapılması en uygun sonucu verecektir (Karsay 1976).



Şekil 4.1 Aşılama üzerine sıcaklığın etkisi (Karsay 1976).

Aşının sönmesinin engellenmesi için aşılamanın döküm anına mümkün olduğunca yakın bir anda yapılması gerekmektedir. Küreleştirmenin kalıpta yapıldığı dökümlerde, Fe-Si-Mg miktarı genellikle aşılama için de yeterli Fe-Si içermekte, gerekli olduğundaysa küreleştiriciye Fe-Si ilavesi yapılabilmektedir (Stefanescu 1999).

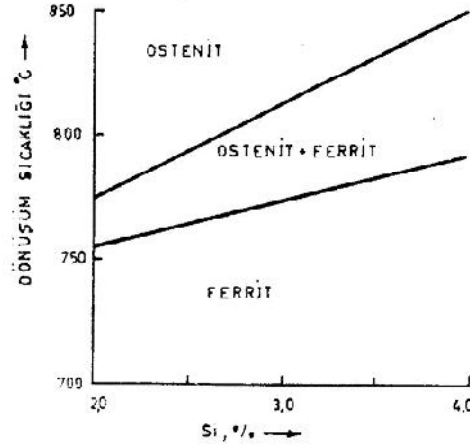
BÖLÜM 5

KGDD'DE ISIL İŞLEMLER

Isıl işleme son derece uygun olduklarından küresel grafitli dökme demirler, özellikleri çok geniş bir aralıkta değişecek şekilde üretilebilirler. Matristeki karbon miktarı, alaşım ilavesi, dökümhane işlemlerinin kontrolü ve/veya ısıl işlemlerle, yaklaşık olarak, sıfırdan %0.80 ve fazlası, arasında herhangi bir değere ayarlanabilir. Buna göre matris yapısı, tamamen ferrit, perlit-ferrit tamamen perlit, martensit, beynit (bazı özel alaşımlarda karbür içerebilir) veya tamamen ostenit olabilmektedir.

Yapılan işlemler kontrol edilerek, ısıl işleme ihtiyaç kalmadan şartnamelere uygun bir küresel grafitli dökme demir üretilebilir. Bununla beraber gerek gerilim giderme gerekse istenilen özelliklerin elde edilmesi amacıyla, küresel grafitli dökme demirlerde genellikle ısıl işlemler uygulanır. İlave edilen alaşım elamanlarının davranışı aynı gri dökme demirde olduğu gibidir. Başlıca ısıl işlemler benzerdir (Tutar 2012).

Özet olarak ısıl işlemler gerilim gidermek, döküm halindeki karbürleri parçalamak, matriks yapısını değiştirmek, yüzeylerin sertleşmesini sağlamak ve temper gevrekliğini minimuma indirmek amacıyla uygulanırlar. İkisi dışında bütün ısıl işlemler belli bir sıcaklık aralığında metalografik yapının dolayısıyla özelliklerin değişmesi esasına dayanırlar. Şekil 5.1'de dökme demirin metalografik yapısının değişim sıcaklığı içerdiği silisyum oranına bağlı olarak farklılık yer almaktadır (Karsay 1976).



Şekil 5.1 Silisyum oranına bağlı olarak ferit-ostenit dönüşüm sıcaklığının değişimi (Karsay 1976).

5.1 GERİLİM GİDERME ISIL İŞLEMİ

Bu işlem daha çok yüksek sıcaklıklarda boyut hassasiyeti istendiğinde uygulanır. Boyut ve şekline bağlı olarak bütün döküm parçaları katılaştıktan sonra iç gerilimler içerirler. İç gerilimleri maksimum oranda gidermek için, parça 538°C-677°C sıcaklık aralıklarında kesit kalınlığının her 2.5 cm'si için 1 saat olacak şekilde tutulur ve 300°C'ye kadar 550°C/saat hız ile sonra havada soğutulur (Tutar 2012).

5.2 YUMUŞATMA ISIL İŞLEMİ

Bu ısıl işlemin amacı döküm durumunda mevcut olan karbürlerin çözülmelerinin ve ferritik kolay işlenebilen bir ana dokunun sağlanmasıdır. Feritleştirici tavlama, bu ısıl işlemden, östenit-ferrit dönüşümü alt ve üst kritik sıcaklıkları büyük bir öneme sahip olduklarında, aşağıda silisyum miktarına bağlı olarak verilmişlerdir (Özmen 2007).

Alt kritik sıcaklık $A_{1,1} = 738 + 18 (\text{Si})1,75$.

Üst kritik sıcaklık $A_{1,2} = 738 + 5 (\text{Si})2$

Karbürlerin çözülmelerinin sağlanması için, 100°C/saatlik bir ısıtma hızı ile 900°C'ye parça ısıtılır. Bu sıcaklıkta 2 saat ve 25 mm den sonraki her 25 mm et kalınlığı için 1 saat bekletilir. Daha sonra, alt kritik sıcaklığın 55°C altına kadar parçalar fırında soğutulur. Bu sıcaklıkta

tekrar 5 saat bekletilen parçalar, sonra havaya alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulurlar. Az miktarlarda perlitli stabilleştirici, bakır ve mangan gibi elementler mevcut ise, uzun bekletme sürelerine gerek kalmaksızın ferritleştirme yapılabilir (Korkmaz 2012).

Bu işlem için 900°C'de 2 saat bırakılan parça, mangan miktarına bağlı olarak, %0,1 mangan için 55°C/saat, %0,5 mangan için 25°C/saat'lik soğutma hızı ile kritik dönüşüm bölgesi altındaki bir sıcaklığa, 595°C sıcaklığa inilir ve sonra parça havada soğutulur. Döküm parçasının karbürleri ihtiva etmediği bilindiği takdirde, alt kritik sıcaklığın altında ferritleştirme işlemi uygulanır. Bunun için alt kritik sıcaklığın 55°C altındaki sıcaklığa çıkarılan döküm parçası 5 saat ve her 25 mm et kalınlığı 1 saat daha bu sıcaklıkta bırakılır ve akabinde yavaş bir soğuma hızı ile 595°C'ye fırında soğutulur. Daha sonra dışarı alınarak havada soğutulur (Özmen 2007).

5.3 SERTLEŞTİRME ISIL İŞLEMİ

Genel olarak normalleştirme ile su verme ve temperleme işlemlerini kapsar.

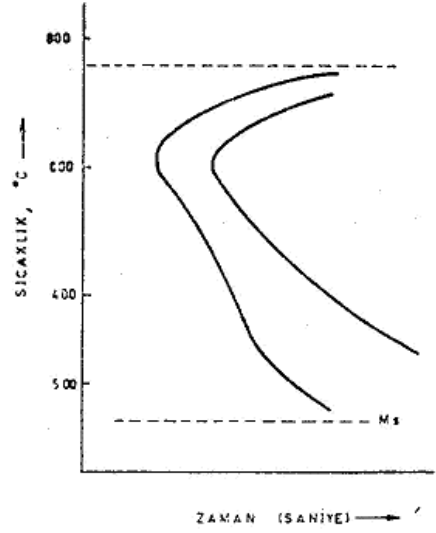
5.3.1 Normalleştirme:

Yapıyı ostenit haline getirmek için gerekli sıcaklık, karbürler mevcutsa 900°C olarak, değilse A1 sıcaklığının 30°C üstünde seçilir, bu sıcaklıkta bekletme süresi 1 saat + kalınlığın her 2.5 cm için 1 saat şeklinde olmalıdır. Soğutma ise genellikle sakin havada yapılır. Kalınlığı 25 cm'den fazla olan parçalarda normalleştirmeyi kolaylaştırmak için %0.5-2 oranlarında Cu ilave edilir (bakır oranı artan kalınlıkla artar). Normalleştirmede nispeten hızlı soğumanın doğuracağı gerilmeleri gidermek için ilave olarak gerilimi giderme tavlaması gerekebilir. Normalleştirmenin bir başka uygulaması ise 900°C'den kritik sıcaklığın (A1) 30°C üstüne kadar fırında soğutup bu sıcaklıkta kısa bir süre bekletilip soğutmak şeklindedir. Bilinen normalleştirmeye nazaran % uzama ve darbe direncinde belirgin artış sağlanabilmektedir (Tutar 2012).

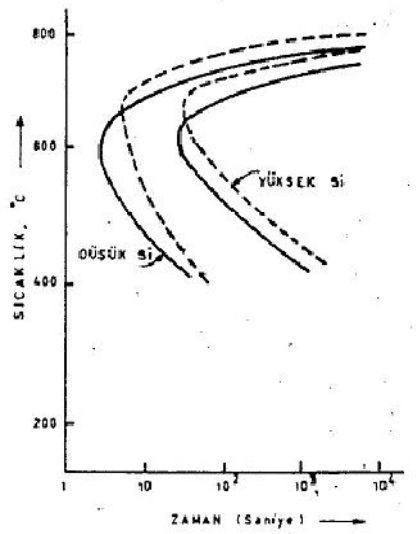
5.3.2 Su Verme ve Temperleme:

Normalleştirmeye nazaran çok üstün özellik sağlamadığı ve çatlama tehlikesinin varlığından genellikle pek uygulanmaz. A1'in üzerinde 50°C sıcaklıkta 1 saat kadar tutulduktan sonra

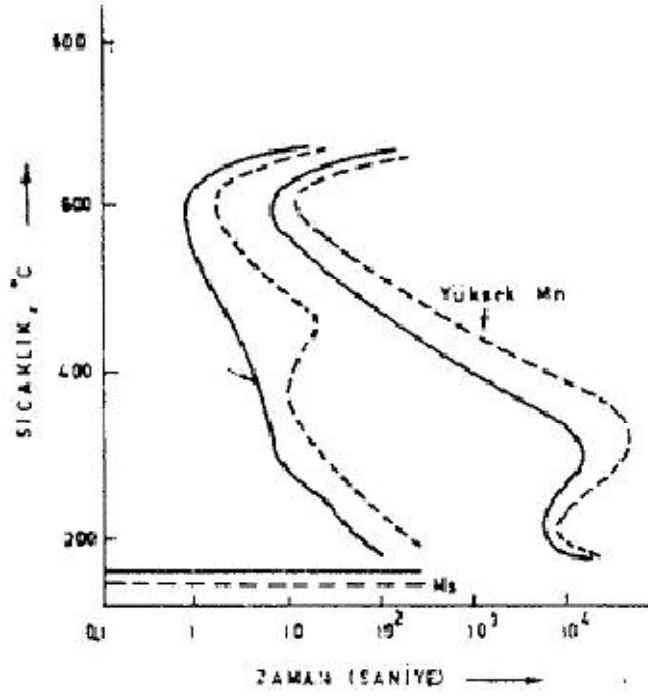
parçaya genellikle $\sim 100^{\circ}\text{C}$ 'taki yağ banyosunda su verilir ve yapı martensit haline dönüşür. Ostenit-martensit dönüşümünde soğuma hızı önemlidir ve büyük ölçüde alaşımlandırma ile etkilenir (Şekil 5.2-5).



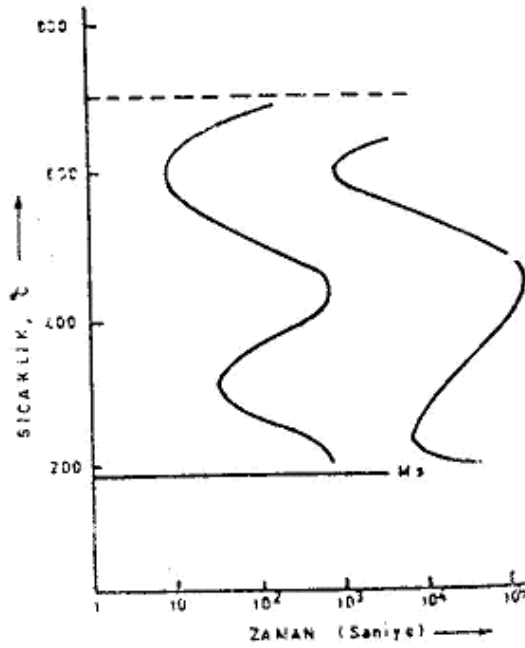
Şekil 5.2 Alaşımsız küresel grafitli dökme demir için T.T.T. eğrisi (Karsay 1976).



Şekil 5.3 Düşük ve yüksek Si %'sinin T.T.T. eğrisine etkileri (Karsay 1976).



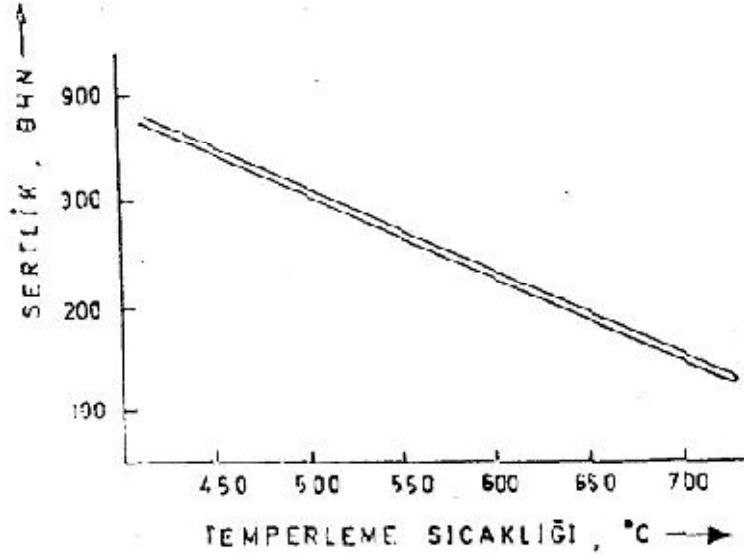
Şekil 5.4 Düşük ve yüksek Mn %sinin T.T.T. eğrisine etkileri (Karsay 1976).



Şekil 5.5 Ni-Mo alaşımlı küresel grafitli dökme demir için T.T.T. eğrisi (Karsay 1976).

Martensitik dönüşümün başlama sıcaklığı (Ms) kesin belli olmamakla beraber, bitiş sıcaklığı (Mf) daha az kesindir. Yapının tamamen martensit olabilmesi için dönüşmüş ostenitin

giderilmesi için çoğu kez su vermeden sonra “sıfır altı ısıl işlemi” (subzeroheat treatment) uygulanır. Su vermeyi takip eden işlem temperlemedir. Seçilen temper sıcaklığına bağlı olarak değişen sertlik değerleri elde edilir (Şekil 5.6). Süre yaklaşık olarak parçanın her 2.5 cm kalınlığı için 2 saat olarak alınabilir (Karsay 1976).



Şekil 5.6 Sertliğin temperleme sıcaklığı ile değişimi (Karsay 1976).

Genel anlamda küresel grafitli dökme demire uygulanan temperleme (ostemperleme, martemperleme) işlemleri çelik için yapılanlara benzerdir. Ayrıca alevle, endüksiyonla veya nitrürleme yoluyla yüzey sertleştirmeye de uygundur; ancak bu durumda sertleştirme işleminden önce matriks yapısının perlitik olması tercih edilir, çünkü perlitik yapı ostenit haline daha kolay dönüştürülebilir (Tutar 2012).

5.4 ÖZTEMPERLEME ISIL İŞLEMİ

Östemperleme işlemi ilk kez Davenport ve Bain tarafından geliştirilmiş ve 1930'larda çeliğe uygulanmıştır. Kısa bir süre sonra metalurjistler Gri dökme demire Ni, Mo, Cu ve Mn gibi alaşım elementlerini ilave ederek perlitik dönüşümü kısmen de olsa engellenmişler ve bu günün östemperlenmiş yapısına benzer asiküler yapıyı elde etmişlerdir. KGDD'in geliştirilmesinden hemen sonra hem alaşım elementi ilavesiyle hem de östemperleme ısıl işlemiyle benzer yapı bu malzemelerde de sağlanmıştır. KGDD'lere östemperleme ısıl işlemi 1970'li yılların ortalarında ilk kez Finlandiya'daki Kymi Kymmene Mühendislik şirketinde ve

daha sonrada başta ABD, Finlandiya, Norveç, İngiltere ve Belçika gibi ülkelerde uygulanmıştır (Yazıcı 2006).

ASTM standardında beş ÖKGDD sınıfı yer almakta ve her sınıfta minimum çekme, akma mukavemeti, % uzama, minimum çentiksiz darbe ve HB sertlik değerleri verilmektedir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 ÖKGDD için ASTM A 897M–90 (metrik) standardı (Çetin 2005).

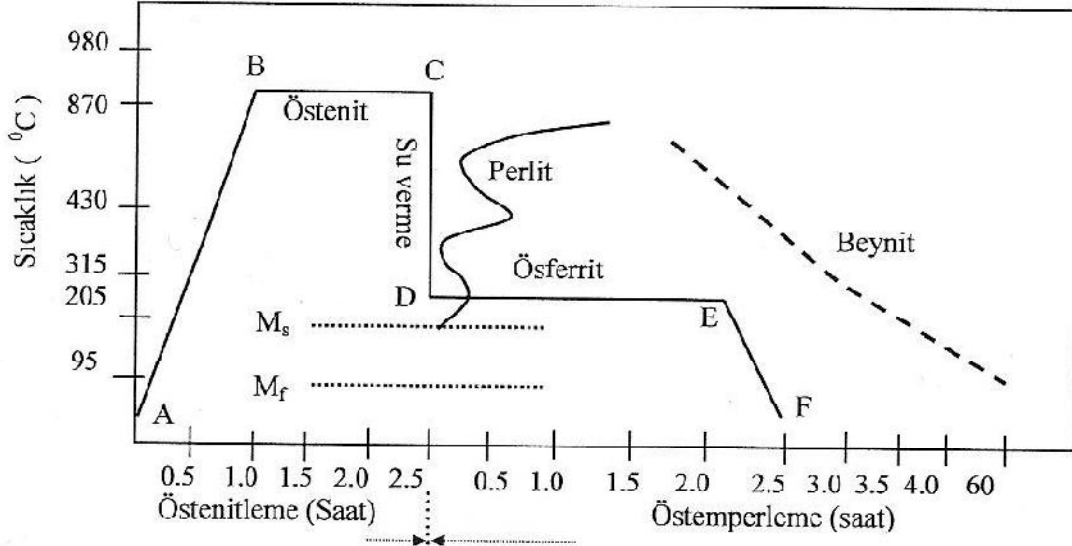
Sınıf	Min. Çekme Muk.(MPa)	Min. Akma Muk. (MPa)	Minimum % uzama	Min. Çentiksiz Darbe	Sertlik (HB)
850/550/10	850	550	10	100	296–321
1050/700/7	1050	700	7	80	302–363
1200/850/4	1200	850	4	60	341–444
1400/1100/	1400	1100	1	35	388–477
1600/1300/	1600	1300	-	-	444–555

Östemperleme ısı işlemi sonucunda, ösferritik matris yapısına sahip ÖKGDD'lerin çekme dayanımı ve tokluk özellikleri daha da iyileşmektedir (Şekil 5.7). KGDD diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. ÖKGDD üstün mekanik özelliklere sahip olmasını bu ısı işlem sonucu elde edilen matris yapı (ferrit+yüksek karbonlu östenit) sağlamaktadır (Trudelve ve Gagne 1997).

Östemperleme ısı işlem aşamalarını şu şekildedir (Trudel ve Gagne 1997). 850–950°C sıcaklıklar arasında en az bir saat östenitleme. Bu işlem yüzeyde oluşabilecek dekarbürizasyonu önlemek için kontrollü atmosferik veya gazlı fırınlarda ya da tuz banyolarında yapılabilir. Parçaların fırınlardan alınması ve hızlı bir şekilde 250–450°C sıcaklıklar arasında tuz banyosunda hızlı soğutma. Su verme oranı, östemperleme sıcaklığına soğuma sırasında perlit reaksiyonunu önleyecek kadar yüksek sıcaklık olmalıdır.

Östemperleme sıcaklığında bekleme. Bu sıcaklıkta östenit izotermal bir dönüşümle beyritikferriti oluşturur. Östemperleme sıcaklığında bekleme süreleri demirin alaşım elementi

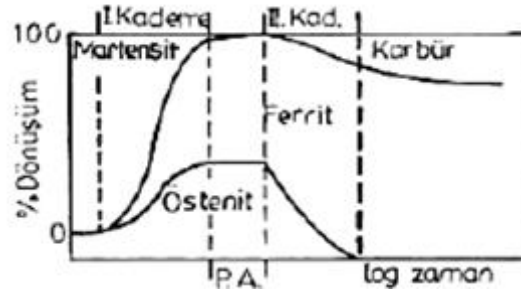
miktarına, östenitleme süresine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Oda sıcaklığında suda veya havada soğutma. Tipik bir ısıl işlem ve bu işlem sırasında oluşabilecek muhtemel yapılar Şekil 5.7'de verilmiştir.



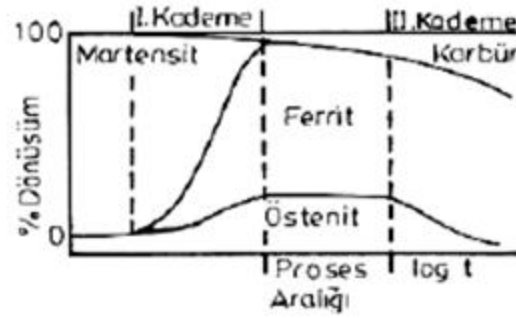
Şekil 5.7 KGDD için izotermal dönüşüm diyagramının şematik gösterimi (Çetin 2005).

Östempereleme süresi iki aşamalı reaksiyon sonucu gerçekleşmektedir (Trudelve ve Gagne 1997). Şekil 5.7'den de takip edilebileceği gibi östempereleme sıcaklığına su verme (Şekil 5.7C'den D'ye) işlemi beynitik yapının elde edilmesi için ferritik ve perlitik dönüşüme izin vermeyecek derecede hızlı olmalı ve martensit başlama (M_s) sıcaklığına varmadan kesilmelidir. Küresel grafitli dökme demirlerin östemperelemesinde izotermal reaksiyon çeliklerdekinden farklıdır. KGDD'in östemperelemesinde ilk olarak beynitin (ferrit ve karbür) yerine östenit ve ferrit (ösferrit) oluşur. Şekil 5.7'de östenitferrit plakaları yani; ösferrit yapı oluşur ve bu plakalar tarafından atılan karbon bitişik komşu östenite nüfus eder. Yüksek karbonlu östenit oldukça kararlıdır, yüksek dayanım ve tokluğa sahiptir. Östemperelemenin devamında; östenitferrit ve karbüre ayrışır. Ferrit ve karbür sünekliği ve tokluğu düşürür. Bu nedenle izotermal dönüşüm E'de son bulmalıdır (Korkmaz 2012).

Östempereleme süreç aralığında (I. Reaksiyonun tamamlandığı, II. Reaksiyonun başlamadığı) östemperelemiş yapı dengededir (Şekil 5.8). KGDD'e uygun mekanik özellikler bu aralıkta verilir. I. Aşamada martensitin, II. Aşamada ise, karbürün oluşumu mekanik özellikleri (tokluk ve süneklik) olumsuz yönde etkiler (Yazıcı 2006).



a.



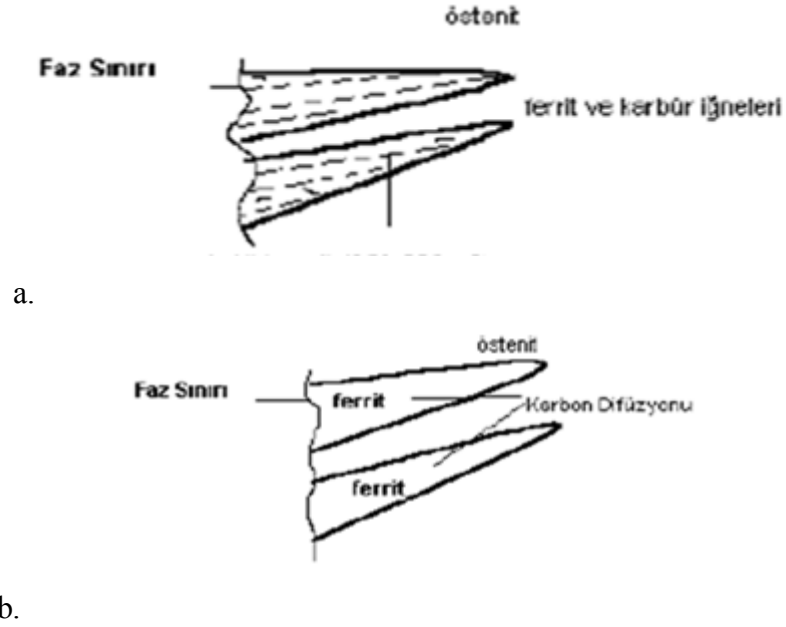
b.

Şekil 5.8 Alaşım-sız KGDD'de (a) üst beyrit ve (b) alt beyrit dönüşümleri için Östemperleme süresiyle, mikro yapıdaki değişimlerin ve süreç aralığının şematik gösterimi (Yazıcı 2006).

Östemperleme sıcaklığı yaklaşık 330°C ($235\text{--}330^{\circ}\text{C}$)'nin altında bulunduğu ferrit iğnelerinin büyüme hızı, karbonun difüzyon hızından düşüktür. Bu nedenle beyritik ferrit karbona doymuş vaziyettedir. Östemperleme işleminin ilk kademelerinde karbon, ferriten atılmakta ve S-karbür olarak ferrit iğnelerinde çökelmektedir ve bu genellikle "beyritik karbür" olarak adlandırılır (Çetin 2005).

Kalıntı östenitten beyritik ferrite çok az karbon atılması ile dönüşüm sürekli ilerlemekte ve oda sıcaklığına soğumayı takiben yapıda çok az kalıntı östenit bulunmaktadır. Bu yapı "alt beyritik" olarak adlandırılır. $330\text{--}450^{\circ}\text{C}$ gibi yüksek östemperleme sıcaklıklarında farklı bir dönüşüm mekanizması vardır. Karbon difüzyonu çok daha hızlı olmaktadır. Bu nedenle karbonun önemli bir miktarı büyüyen ferrit levhalarının dışına doğru difüzyona uğramakta ve büyüyen ferrit levhaları arasındaki kalıntı östenit miktarı artmaktadır. Bu yapı "üst beyrit" olarak adlandırılır (Yazıcı 2006).

Üst beynit (a) ve alt beynit (b) mikro yapı olarak aynı bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 5.9). Ancak üst beynitte I. ve II. reaksiyonlar daha kısa sürede gerçekleştiğinden süreç oldukça dar sınırlar içindedir ve üst beynitte yüksek karbonlu östenit daha fazla oranda elde edilmektedir. Ayrıca alt beynitte bir miktar karbürün oluşabileceği görülmektedir (Korkmaz 2012).



Şekil 5.9 Alt (a) ve üst (b) beynitin oluşum mekanizması (Çetin 2005).

BÖLÜM 6

KATILAŞMA

6.1 ÇEKİRDEKLENME

Aşırı doyunluğa ulasan bir sistemden (buhar, eriyik veya çözelti) yeni bir fazın oluşabilmesi için çekirdek olarak adlandırılan küçük birimlerin (atom veya molekül) gerekliliği ilk kez Gibbs tarafından fark edilmiştir. Oluşacak yeni faz ile tek farklılığı düşük boyutları olan bu küçük birimler, oluşturacağı faz ile aynı hacimsel özellikler göstermektedir (Markov 1995).

Kararlı olsa dahi termodinamik bir sistemde bölgesel bazda sistemin termodinamik potansiyelini artıracak dalgalanmalar gözlenebilir. Homojen, moleküler bir sistem göz önüne alındığında moleküler kümeleşmeler sonucunda sistem içi yoğunluk farklılıklarından bahsedilebilir. Frenkel bu tür kümeleşmeleri homo-faz olarak nitelendirirken, sistemde gözle görülür bir değişime neden olan kümeleşmeleri hetero-faz olarak adlandırmıştır. Hetero-faz olarak adlandırılan kümelerin konsantrasyonu kimyasal potansiyel eşitliği ($\mu_a = \mu$) ile belirlenmiş faz denge sınırında belirgin biçimde artış göstermektedir (Frenkel 1995).

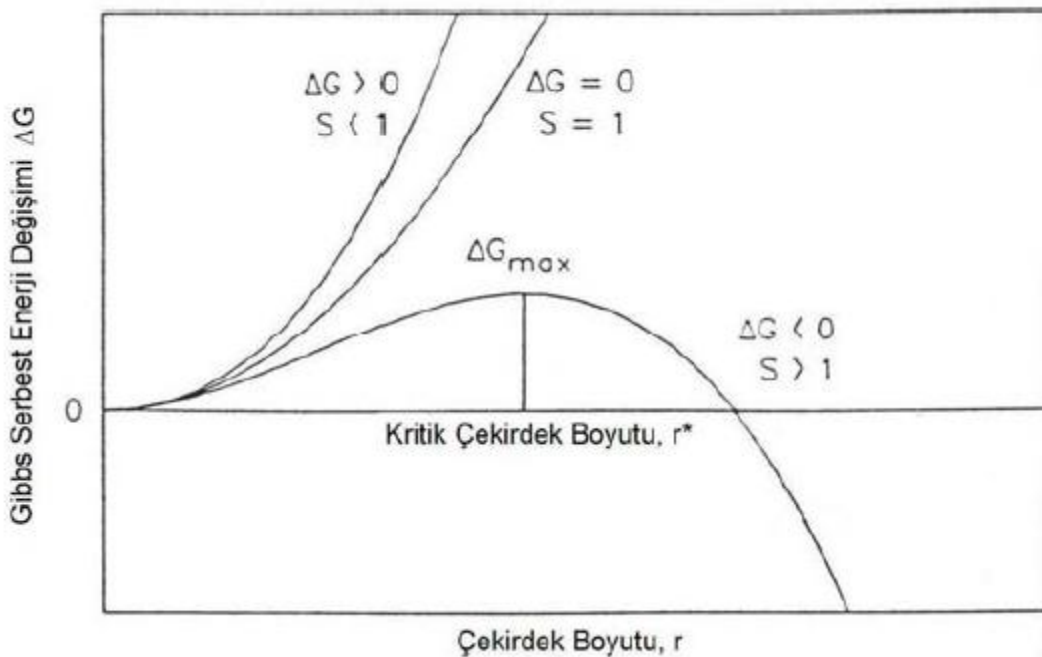
Başlangıçtaki hacimsel fazın kararlı olduğu durumda ($\mu_a < \mu$) yoğunluk dalgalanmaları uzun ömürlü olmadığından oluşan moleküler kümelenmeler büyümeye fırsat bulamadan dağılır. Başlangıç fazının kararlı olmadığı ($\mu_a > \mu$) durumda ise belirli kritik boyutun üzerinde büyüme eğilimi üstün gelir. Ortaya çıkan yeni faza ait taneler o fazın kritik çekirdekleri olarak adlandırılır ve bu tip bir oluşum için sistemin kritik çekirdek aktivasyon bariyerini aşması gerekmektedir (Markov 1995).

Çekirdeklenme mekanizması homojen, heterojen ve ikincil çekirdeklenme olarak üç kategori altında açıklanmaktadır. Homojen çekirdeklenme herhangi bir katı ara yüzeyin olmadığı durumda, heterojen çekirdeklenme yabancı bir katı ara yüzeyin varlığında, ikincil çekirdeklenme ise çözelti partikül ara yüzeyinde gerçekleşmektedir (Ring 1996).

6.1.1 Homojen Çekirdeklenme

Klasik homojen çekirdeklenme teorisinde; çözültü moleküllerinin bir araya gelerek küme yada embriyon olarak adlandırılan toplulukları oluşturduğu varsayılır.

Doygunluk oranının, $S < 1.0$ olduğu durumda $G(r)$ daima pozitifdir ve küme oluşumu kendiliğinden gerçekleşemez. Aşırı doymunluğun, $S > 1.0$ olduğu durumda ise Şekil 6.1'de gösterildiği gibi $G(r)$ kritik r^* boyutunda maksimum değerine ulaşır (Ring 1996).

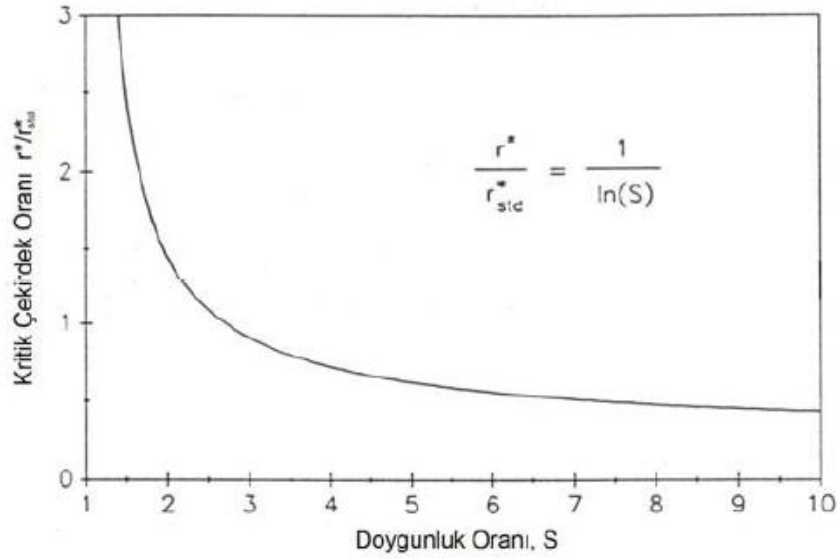


Şekil 6.1 Klasik çekirdeklenme teoreminin çekirdek boyutunun ve Gibbs serbest enerjisi ile farklı aşırı doymunluk oralarındaki bağlantısı (Ring 1996).

Kritik boyutu (r^*) aşan kümelenmeler kararlı çekirdekler oluşturmakla beraber, ilerleyen boyutta makroskopik partikülleri oluşturacak şekilde büyüyerek serbest enerjilerini düşürürler. Kritik boyutun altındaki kümelenmeler ise çözünerek serbest enerjilerini düşürme eğilimi gösterirler (Özer 2006).

Şekil 6.2'de doymunluk oranının bir fonksiyonu olarak kritik çekirdek boyutundaki değişim gösterilmiştir. Belirli bir doymunluk oranı (S) için kritik boyutun üzerindeki taneler büyürken, kritik boyutun altındaki taneler çözünme eğilimi gösterecektir. Kritik boyutun üzerindeki

tanelerin büyüdüğü, kritik boyutun altındaki tanelerin ise çözünerek kararlı taneler üzerinde çöklediği bu davranış Ostwald olgunlaşması olarak adlandırılmaktadır (Ring 1996).

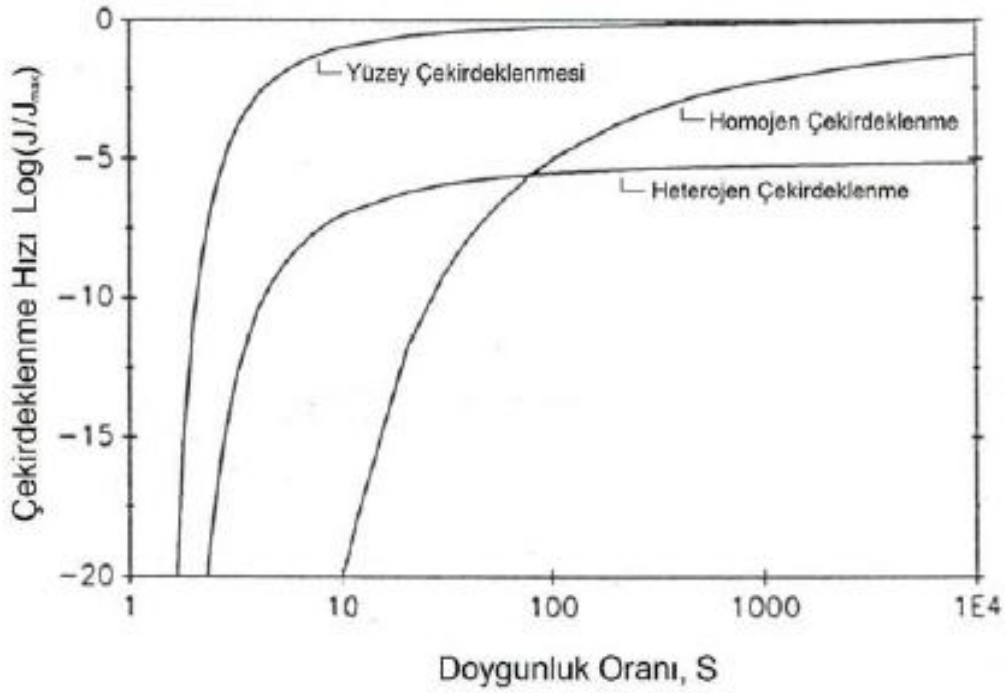


Şekil 6.2 Kritik çekirdek boyutunun doymuluk oranı ile değişimi (Ring 1996).

6.1.2 Heterojen Çekirdeklenme

Gerçekte çoğu çekirdeklenme süreci yabancı (safsızlık) bir katı yüzey üzerinde heterojen olarak başlamaktadır. Yabancı katı yüzey, çekirdeklenme işleminin gerçekleştirildiği kap veya çözelti içerisinde herhangi bir safsızlık olabilir. Yabancı bir yüzey üzerinde çekirdeklenme daha düşük yüzey enerjisi bir başka deyişle daha düşük aşırı doymuluğa ihtiyaç duyduğundan sistem için katı bir yüzey üzerinde çekirdeklenme, yeni katı ara yüzeylerin oluşturulması daha kolaydır (Markov 1995).

Heterojen çekirdeklenme ile homojen çekirdeklenmenin en temel farkı sistem içerisindeki yabancı çekirdeklerin kullanılması sonucunda heterojen çekirdeklenmenin sona ermesidir. Heterojen çekirdeklenmede sistem içindeki yabancı yüzeylerin harcanmasından sonra meydana gelen çekirdeklenme ikincil çekirdeklenme başlığı altında değerlendirilir. Şekil 6.3'de her iki çekirdeklenme mekanizması da anlatılmıştır. Düşük doymuluk oranlarında heterojen çekirdeklenme gerçekleşmektedir. Sistemdeki toplam yabancı çekirdek miktarına denk gelen 10-6 değerine kadar sistemde heterojen çekirdeklenme etkin mekanizma iken, daha yüksek doymuluk oranlarında homojen çekirdeklenmenin etkin mekanizma haline geldiği görülmektedir (Ring 1996).



Şekil 6.3 Farklı mekanizmaları içeren çekirdeklenme diyagramı (Ring 1996).

Sisteme ilave edilen çekirdek konsantrasyonuna bağlı olarak belirli bir doygunluk oranından sonra homojen çekirdeklenme etkin hale gelmektedir. Bu durum seramik tozlarının üretim yöntemi olan çöktürme işleminin karakteristik bir özelliğidir. Sistem içinde çekirdeklenme mekanizmasının değişmesinin yaratacağı en önemli sorun ise oluşan tanelerin boyut dağılımındaki zayıf kontroldür. Çekirdek partiküllerinin ilavesi heterojen çekirdeklenmeyi teşvik ederek, çekirdeklenme ve tane boyut dağılımı kontrol altına alınabilir. Çekirdek ilavesi yapılmadığı takdirde sistem, doygunluk oranındaki değişimlere karşı çok hassas olan homojen çekirdeklenme mekanizması tarafından kontrol edilir (Ring 1996).

6.1.3 İkincil Çekirdeklenme

Çekirdeklenip büyüyen tane üzerinde tekrar çekirdeklenme olarak tanımlanan ikincil çekirdeklenme, çözelti içerisindeki çözünmemiş partiküllerin bir sonucudur ve son yıllarda yapılan incelemelerde görünür (apparent), gerçek (trup) ve kontak (contact) ikincil çekirdeklenme olarak üç sınıfa ayrılmıştır. Görünür ikincil çekirdeklenme büyüme esnasında çekirdeklerden ayrılan küçük parçacıkları kapsamaktadır. Gerçek ikincil çekirdeklenme ise çözelti içerisindeki çözünmemiş partiküller sonucu meydana gelmektedir. Kontak ikincil

çekirdeklenme çözelti içerisinde büyüyen partiküllerin beher duvarı, karıştırıcı yüzeyi veya diğer partiküller ile çarpışması sonucu oluşturduğu yeni çekirdekleri kapsamaktadır. Partikül çekirdeklenmesini takip eden basamak büyümedir. Çözelti bazlı sistemlerde büyüme farklı mekanizmalar ile gerçekleşmektedir. Büyüme mekanizmasının ve kinetiğinin anlaşılması tane boyutunun ve şeklinin kontrolü açısından önemlidir (Özer 2006).

6.2 SIVI METALDE KRİSTALİN BÜYÜMESİ VE TANE YAPISININ OLUŞUMU

Katılaşmakta olan bir metalde kararlı bir çekirdek teşekkül ettikten sonra büyüme kademesi başlar. Her katılaştıran kristalde atomlar düzenli bir şekilde dizilmişlerdir, ancak kristallerdeki x, y, z yönleri komşu kristale göre belirli oranda açı yaparlar. Katılaşma tamamlandığında taneler birbirleriyle temas ederek birkaç atom boyutu genişliğindeki tane sınırlarını meydana getirirler. Çok sayıda taneden oluşan katılaşmış metal çok kristalli malzeme olarak adlandırılır. Katılaşmış metaldeki kristaller tane, bunların arasındaki geçiş bölgesi ise tane sınırı olarak nitelendirilmektedir (Durum 2013).

6.3 DÜZLEMSEL CEPHEDE BÜYÜME

Homojen bir sıvının denge koşulları altında düşük bir hızla soğuduğunu varsayalım. Sıvının sıcaklığı katılaşma sıcaklığından daha yüksek ve katının sıcaklığı katılaşma sıcaklığına eşdeğer veya hemen altındadır. Katılaşmanın devam edebilmesi için ergime gizli ısı katı-sıvı ara yüzeyinden katılaşmış kısma iletilir ve buradan da çevreye salıverilir. Katı-sıvı ara yüzeyinde teşekkül edecek herhangi bir çöküntünün etrafı sıcaklığı ergime noktasının çok üzerinde olan bir sıvı tarafından sarılmıştır. Bu nedenle ya çöküntünün büyümesi çöküntünün sıvı içindeki en uç noktası ile ara yüzeyin kalan kısmı aynı hizaya gelene kadar durur, ya da çöküntü hemen ergiyerek katı-sıvı ara yüzeyi eski düzlemsel şeklini alır. Bu tip büyüme mekanizması düzlemsel cephede büyüme olarak bilinir; katı-sıvı ara yüzeyi bir çizgi şeklindedir ve sonuç döküm yapılan kolonsal tanelidir (Durum 2013).

6.4 DENDİRİTİK BÜYÜME

Çekirdeklenmenin zayıf olduğu hallerde, sıvının sıcaklığı katı teşekkül etmeden, katılaşma noktasının altındaki bir sıcaklığa yükselir. Bu şekilde sıcaklık yükselmesine ısıl dalgalanma denir. Soğuma eğrisinin şekli dökülen malzemenin çeşidine (malzemenin katılaşma

karakteristiğine), çekirdeklenme tipine, kalıptan ısı transfer hızı ve şekline bağlıdır. Deneysel olarak kaydedilen soğuma eğrilerinin analizi ile katılaşma prosesi ve döküm hakkında çok değerli bilgiler elde edilebilir. Yüksek katılaşma hızları ince yapılı ve mekanik özellikleri yüksek dökümlerin üretimini sağlamaktadır (Durum 2013).

BÖLÜM 7

MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 MODEL ÖLÇÜLERİNİN BELİRLENMESİ

Bir fabrikanın ürünlerini satabilmesi için TSE tescil belgesi gereklidir. TS11-EN10242 Standartlarına göre tasarımlarını yapan firmalara TSE tescil belgesi verilir. Fabrika bünyesinde toplam 200 farklı çeşit ürün yer almaktadır. Problemin çözülebilmesi için Fittings malzemelerinin gruplandırılarak deneylerinin yapılması gereklidir. Ürünler 3-20 mm cidar kalınlıkları ölçülerinde standartlarda yer alırlar. Üretimi yapılan Fittingsler et kalınlıklarına göre dört ana grupta şu şekilde sınıflandırılabilir;

1) Et kalınlığı 3-5 mm olanlar:

½", ¾", 1" ölçülerinde; Te, Dirsek, Innegal Te, Kruva, Innegal Kruva, 45° Dirsek
½", ¾" ölçülerinde; Tapa, Redüksiyon, Nipel

2) Et kalınlığı 5-10 mm olanlar:

1", 1 ¼", 1½", 2", 2 ½", 3", 4" ölçülerinde; Te, Dirsek, Innegal Te, Kruva.
1" ölçülerinde; Tapa, Redüksiyon, Nipel

3) Et kalınlığı 10-15 mm olanlar:

5", 6" ölçülerinde; Te, Dirsek, Innegal Te Kruva, Innegal Kruva, 45° Dirsek
1 ¼", 1½" ölçülerinde; Tapa, Redüksiyon, Nipel

4) Et kalınlığı 15-20 mm olanlar:

2", 2 ½", 3", 4" ölçülerinde; Tapa, Redüksiyon, Nipel

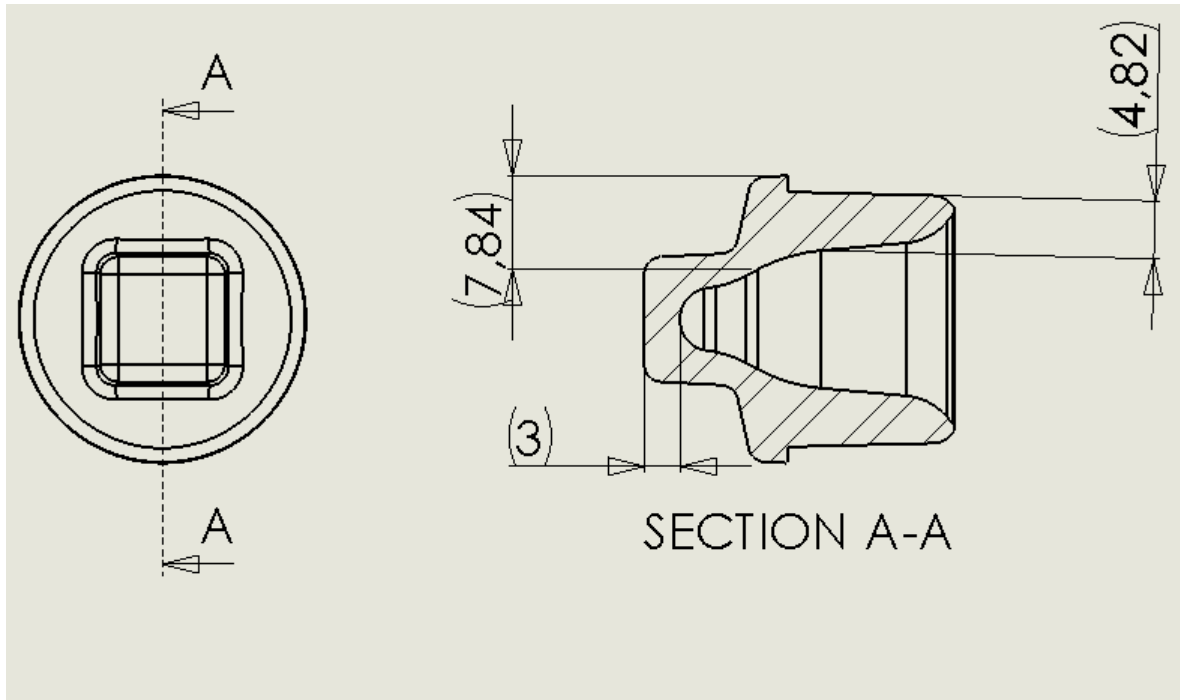
7.1.1 Et Kalınlığı 3-5 mm Olan Ürünler

Boyutları küçük olan (½"-1") Fittings malzemelerinin et kalınlıkları TS11-EN10242 Standartlarına göre 3-5 mm'dir. Genel olarak bu ürünlerin üretim adedinin yıllık toplam üretilen Fittings adedine oranı %40'dır. Bu işlerin tonaj ağırlığının genel tonaja oranı ise

%35'dir. Cidar kalınlıkları bakımından incelendiğinde çabuk soğuduğundan en sert çıkan malzemelerdir. Yolluk girişleri 8*3 mm'dir. Yolluk girişleri bu malzemelerde çabuk donmakta, üretilde katmer ve cüruf çıkmaktadır. Sakat sayısı bu yüzden ürünlerde fazladır.

Bu malzemelerde kılavuzlanacak kısımların et kalınlığı ortalama 5-6 mm'dir. Dış çekilen kısımlar dışında kalan yerlerde et kalınlığı 3.5 mm'dir. Şekil 7.1'de yer alan ½" tapa incelendiğinde; kılavuz çekilecek kısım 4.82 mm kalınlığındadır. Anahtarın sıkacağı kısım sıkarken kırılmayı önlemek için standartlarda 7,84 mm ölçüsünde belirlenmiştir. Dört köşe cidar kalınlığı ise 3 mm olarak tasarımı yapılmıştır. Bu kısım malzemelerin en zayıf oldukları ve zamana bağlı olarak çatladıkları ve kırıldıkları bölgelerdir.

Bu kategorideki malzemelerin soğuma hızlarının tespitini yapabilmek için 5*5 mm kalınlıklarında bir model Cnc tezgâhlarında işlenip gerekli deneysel çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 7.6).



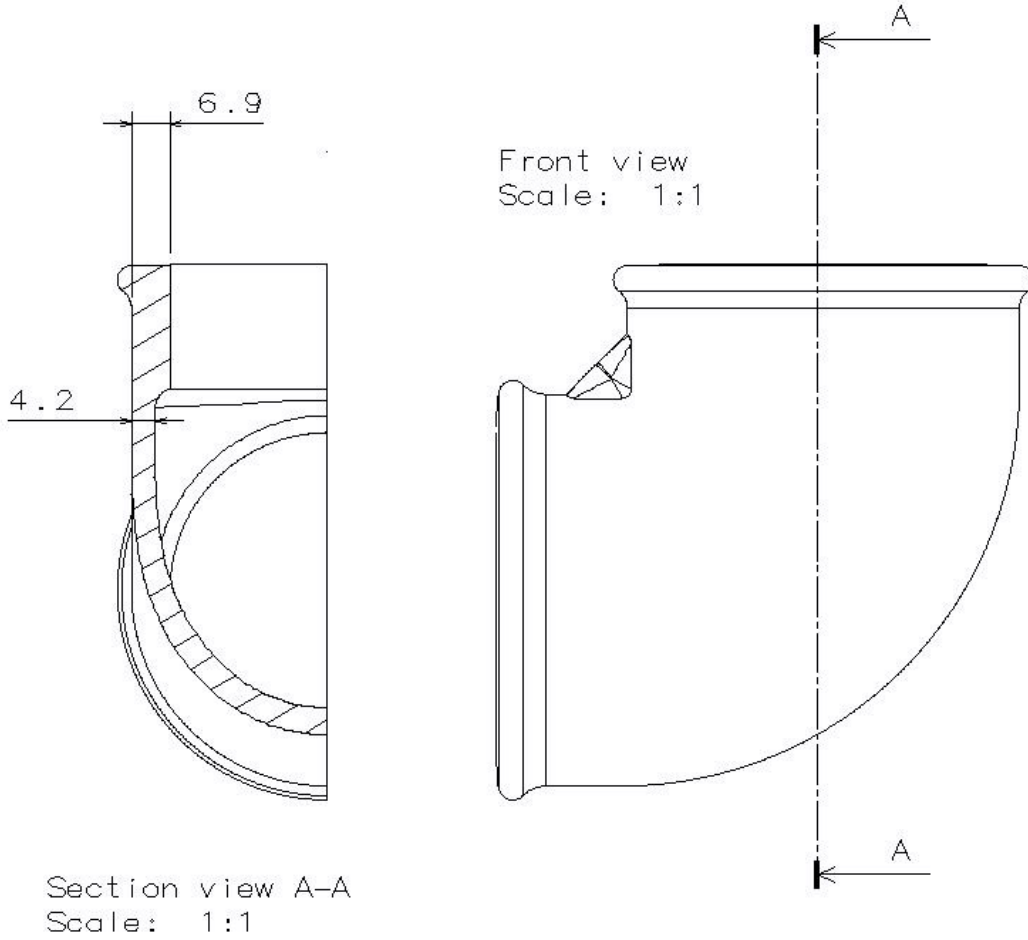
Şekil 7.1 ½" Tapa imalat ölçüleri

7.1.2 Et Kalınlığı 5-10 mm Olan Ürünler

Bu grupta bulunan malzemeler toplam üretim adedinin %45'ni ve tonajının %40'nı oluşturmaktadır. Fabrikada en çok üretilip satılan ürünlerdir. TS11-EN10242 Standartlarına göre et kalınlıkları; Te, Dirsek, Innegal Te, Kruva vb. ürünlerde 4-8 mm'dir. Bu grupta yer

alan; Nipel, Redüksiyon ve Tapalarda bu ölçü aralığı 5-10 mm'dir. Şekil 7.2'de yer alan 2" Dirsek resmi incelendiğinde kılavuz çekilen kısmın 6,9 mm olduğu gözlenmektedir. Malzemenin genel cidar kalınlığı 42 mm'dir.

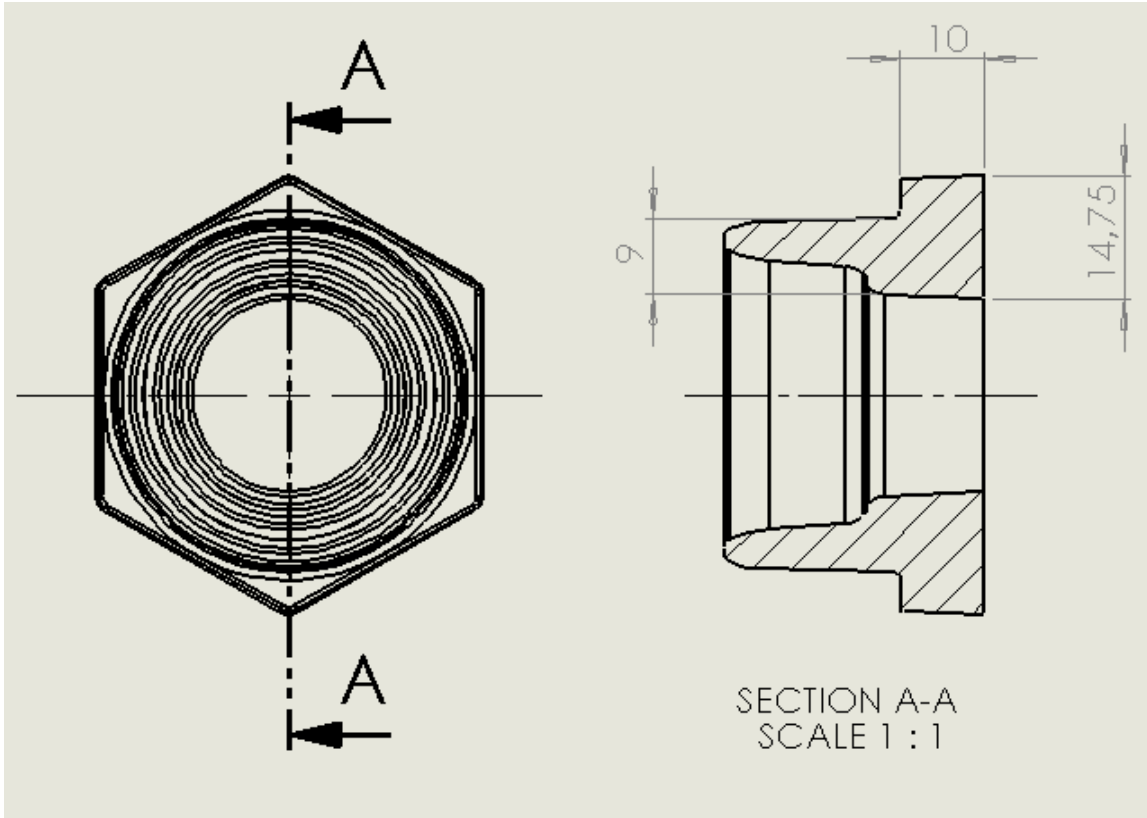
Bu kategorideki malzemelerin soğuma hızlarının tespitini yapabilmek için 10*10 mm kalınlıklarında bir model Cnc tezgâhlarında işlenip gerekli deneysel çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.2 2" Dirsek imalat ölçüleri

7.1.3 Et Kalınlığı 10-15 mm Olan Ürünler

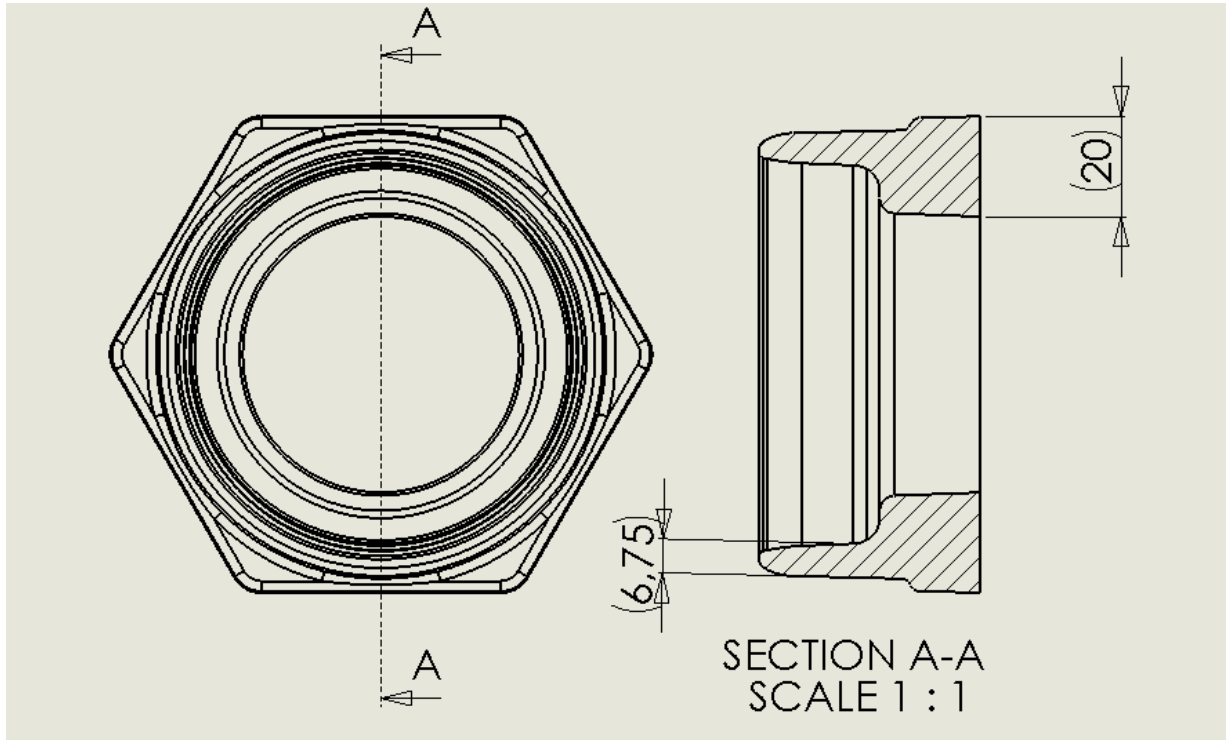
Bu grup; genel Fittings üretiminde Te, Dirsek, Innegal Te ve Kruvalar içerisinde kar marjı en yüksek olan ürünlerden oluşmaktadır. Ana tesisat kısımlarının inşaat alanında döşenmesinde kullanılırlar. Bu Fittings ürünlerinde meydana gelebilecek bir çatlaklık ve veya kırılmaların açabileceği sorunların çözümü çok zordur. Taşıdıkları debi bakımından yüz dairesel bir apartmanın tüm su hattı 4" Dirsekten geçmektedir. Bu grupta yer alan Fittings malzemeleri toplam üretim sayısının; %15'ini tonajının ve %20'sini oluştururlar. TS11-EN10242 Standartlarına göre et kalınlıkları 9-15 mm arasında değişkenlik gösterebilir (Şekil 7.3). Bu kategorideki malzemelerin soğuma hızlarının tespitini yapabilmek için 15*15 mm kalınlıklarında bir model Cnc tezgâhlarında işlenip gerekli deneysel çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 7.8).



Şekil 7.3 1 1/4" – 3/4" Redüksiyon imalat ölçüleri

7.1.4 Et Kalınlığı 15-20 mm Olan Ürünler

Et kalınlığı en yüksek olan malzemelerdir. TS11-EN 10242 Standartlarına göre kalınlıkları 20 mm ölçülere kadar ulaşabilir (Şekil 7.4). Üretimin azınlığını oluştururlar. Üretimini yaptığımız ürünler içerisinde maliyet bakımından incelendiğinde kar oranı en yüksek malzeme grubudur. Ağırlık bakımından incelendiğinde dökümde meydana gelecek hataların bu grupta telafisi yoktur. Ürünlerin et kalınlıkları fazla olduğundan soğuma hızı yavaştır sertliği daha azdır. Fırınlanmadan işlenebilen grup olarak adlandırılır. Bu kategorideki malzemelerin soğuma hızlarının tespitini yapabilmek için 20*20 mm kalınlıklarında bir model Cnc tezgâhlarında işlenip gerekli deneysel çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir (Şekil 7.9).



Şekil 7.4 3" - 2" Redüksiyon imalat ölçüleri

7.2 MODELLERİN İŞLENMESİ

Deneylerde kullanacağımız numune ölçüleri ürettiğimiz Fittingslerin gruplandırılması ile belirlenmiştir. Gerekli olan tasarımlar Catia programıyla modellenmiştir. Mastercam ile bu modellerin işleme takım yolları çıkartılmıştır. Alüminyum malzemeler temin edilmiştir.

Fabrikamızda bulunan Fanuc üniteli Microcut marka CNC tezgâhımızda (Şekil 7.5) bu modeller işlenmiştir. Takım yolları türetilirken; kalıplama sırasında oluşabilecek kum düşüğünü önlemek için kaba pasoda finishing işlemine 0.5 mm paso verilmiş ve finishing işlemi Ø6R1 kalemle 0.2 mm paso verilerek hassas bir şekilde yapılmıştır.



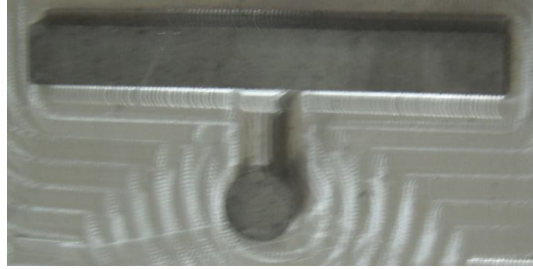
Şekil 7.5 Modellerin yapıldığı tezgâh.



Şekil 7.6 Et kalınlığı 3-5 mm ürünler için işlenmiş 5*5*100 mm'lik model.



Şekil 7.7 Et kalınlığı 5-10 mm ürünler için işlenmiş 10*10*100 mm'lik model.



Şekil 7.8 Et kalınlığı 10-15 mm ürünler için işlenmiş 15*15*100 mm'lik model.



Şekil 7.9 Et kalınlığı 15-20 mm ürünler için işlenmiş 20*20*100 mm'lik model.

BÖLÜM 8

DENEYİN YAPILMASI

8.1 MODELLERİN DERECEYE KALIPLANMASI

İmalat işlemleri tamamlanan modeller kalıplanması için dökümhaneye alınır. Modellerimiz küçük olduğundan preslere bağlanmamıştır. Elle kalıplama işlemi aşağıdaki aşamalarda yapılmıştır.

- 1)Düz bir zemine derece konularak üstünden kum tokmak yardımıyla sıkıştırıldı.
- 2)Dereceye sıkıştırılan kum yüzeyleri temizlendi. Modeller el yordamıyla ve hafif tokmakla vurularak bu yüzeylere çakıldı.
- 3)Modeller; kumu bozmayacak şekilde dereceden çıkartıldı.
- 4)Yolluk girişleri 10 mm kalınlığında silindirik bir lama yardımıyla verildi (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Derecenin yolluk girişlerinin verilmesi.

8.2 DÖKÜMÜN YAPILMASI

Konak Rakor dökümhanesinde 250 kW 360 kg'lık bir elektrikli ocak bulunmaktadır. Ocağın kontrolü ocak ustası tarafından sağlanır. Madenin ocakta eritilip derece içindeki kuma dökümüne kadar olan aşamaları aşağıda yer almaktadır;

Ocak ustası gerekli hurda, element ve aşı malzemesini terazide tartarak istenilen oranlarda ocağa atar. 1550-1600C° sıcaklığa kadar ocak ısıtılarak malzemelerin karıştırılması sağlanır. Bu ürünlerden alınan numune dökümler spektral analizinde ürün içeriğinde bulunan elementler kontrol edilir. Hurda malzemelerden karışabilecek nikel, bakır ve krom gibi elementler sertlik vermekte ve işlemeyi zorlaştırmaktadır. Bir saate bir döküm alınabilmektedir. Döküm akşam saat 10'da başlayarak; maksimum 7 Ocak alınarak elektrik ucuzluğundan yararlanılmaktadır. Döküm eritildikten sonra 360 kg'lık maden üç eşit parçada potalara aktarılır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Ocağın potaya boşaltılması.

Magnezyum içerisine atılarak küreselleşme başlatılır daha sonra üstüne pota kapağı kapatılarak magnezyumun patlamasından korunulur. Maden dökülmeden ağırlıklar üzerine konulur. Maden döküm sırasında dereceyi kaldırmaması için bu işlem yapılır. Küreselleşme işlemi bittikten sonra madenin dökümü kolaylığı için 16 kg'lık poşementlere maden alınır. Sıcaklık düşmeden derecelere dökümü gerçekleştirilir.

Deney dökümü bu aşamalarda günlük üretim içerisinde yapılmıştır. Şekil 8.3'de deney madenimizin dereceye poşement yardımıyla dökümü yer almaktadır.



Şekil 8.3 Poşementin dereceye dökümü.

8.3 SOĞUMA HIZLARININ ÖLÇÜMÜ

Deney modelimizin dökülmesinden sonra 15 saniye zaman aralıklarıyla malzeme yolluklarındaki sıcaklık değişimleri not alınmıştır. Extech 42570 çift lazerli uzaktan ısı ölçer yardımıyla +/-%1 toleransta bu ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.4). Tablo 8.1'de bu kızılötesi

sıcaklık ölçerin özellikleri yer almaktadır. Maden döküldüğü sırada kontrollü ölçüm yapılamamıştır. Döküm 1400°C'den 1100°C sıcaklığa kadar cüruflardan dolayı ölçüm değişkenlik göstermiştir. Tablo 8.1'de sıcaklık değişimlerinin °C/Dk olarak 1100°C'den 150°C ölçüm sonuçları yer almaktadır.



Şekil 8.4 Kızılötesi termometre yardımıyla sıcaklık ölçümü.

Bu cihaz ile; yüksek sıcaklıklarda hassas sıcaklık ölçümleri yapabilen portatif bir cihazdır, gönderilen çift lazer ile noktasal sıcaklık tespitinde kullanılabilir (Şekil 8.5).



Şekil 8.5 Kızılötesi termometre.

Tablo 8.1 Extech 42570 kızılötesi sıcaklık ölçerin özellikleri (URL-1).

ÖZELLİKLER	DEĞERLER
Lazer Uyumluluğu	127 cm
IR Ölçüm Aralığı	-50 ... + 2200°C
Tekrarlanabilirlik	±0.5% -1.8°F/1°C
Hassasiyet	± 1%
Maksimum Çözünürlük	0,1°C
Emissivity	0.10 ... 1.00
Optik Oran	50:1
K Prob Ölçüm Aralığı	-50 ... +1370°C
Hafıza	Manuel 100 adet kayıt
Ebatlar	204 x 155 x 52 mm
Ağırlık	320 gr

Tablo 8.2 Zamana bağı sıcaklık ölçüm sonuçları.

ZAMIAN (DAKİKA)	DENEY MODELİ ADI				ZAMIAN (DAKİKA)	DENEY MODELİ ADI			
	5*5	10*10	15*15	20*20		5*5	10*10	15*15	20*20
0	1100	1100	1100	1100	25	190	218	286	307
1	882	947	966	996	26	180	207	275	299
2	760	836	873	896	27	170	197	263	289
3	711	735	771	795	28	150	189	254	277
4	692	715	724	757	29		182	243	272
5	645	696	712	725	30		175	236	262
6	610	640	700	713	31		168	227	254
7	568	603	653	685	32		162	219	245
8	524	571	640	658	33		156	211	238
9	490	530	606	630	34		150	204	232
10	456	495	580	598	35			198	225
11	413	455	552	570	36			189	219
12	386	433	523	538	37			184	213
13	362	418	495	510	38			177	207
14	338	390	475	483	39			173	203
15	322	375	454	470	40			165	197
16	304	346	431	446	41			160	190
17	286	319	411	428	42			154	185
18	274	306	391	408	43			150	177
19	261	290	373	385	44				172
20	247	273	354	365	45				166
21	237	263	342	353	46				162
22	224	252	324	343	47				157
23	209	245	311	329	48				153
24	202	229	297	318					

BÖLÜM 9

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

9.1 SPEKTRAL ANALİZ SONUÇLARI

Ocaktan ve potadan iki farklı spektral sonuç alınması gereklidir. Ocaktan alınan sonuçta karbon, silis ve diğer elementler magnezyum dışında gözlenir. Potada küreselleşme sırasında magnezyum ve silis artışı oluşur. Potadaki elementlerin spektral analizlerinde bu artış gözlenir.

Dökümün spektral analiz sonuçları ocak için Tablo 9.1'de ve pota için Tablo 9.2'de yer almaktadır. Fabrikada Foundry Master marka spektra makinesi kullanılmaktadır (Şekil 9.1). Bu makinede 3 adet analiz yapılır. Sonuçların ilk ölçümünü ve ortalaması raporda yer almaktadır. Sonuçlara göre dökümümüz GGG 44 küresel grafitli dökme demirdir.



Şekil 9.1 Foundry Master spektra makinesi

Tablo 9.1 Deney madenin ocaktaki spektral analiz sonuçları.

Element	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Ortalama
Fe %	94,4	94,4	94,3	94,4
C %	3,62	3,61	3,68	3,64
Si %	L 1,63	L 1,64	L 1,63	L 1,63
Mn %	0,146	0,148	0,142	0,145
P %	0,0246	0,0230	0,0240	0,0238
S %	0,0142	0,0128	0,0131	0,0134
Cr %	0,0251	0,0254	0,0254	0,0253
Mo %	0,0038	0,0040	< 0,0030	0,0036
Ni %	0,0190	0,0187	0,0145	0,0174
Al %	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010
Co %	0,0021	0,0023	0,0024	0,0023
Cu %	0,0290	0,0200	0,0212	0,0234
Mg %	L 0,0008	L 0,0011	L 0,0004	L 0,0008
Nb %	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020
Ti %	0,0158	0,0158	0,0158	0,0158
V %	0,0048	0,0049	0,0054	0,0050
Pb %	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Sn %	0,0067	0,0058	0,0069	0,0064
B %	0,0015	0,0010	0,0012	0,0012
Ca %	< 0,0001	0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Ce %	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Zr %	0,0039	0,0044	0,0046	0,0043
Zn %	0,0135	0,0097	0,0087	0,0106
Bi %	< 0,0050	0,0055	0,0052	0,0052
As %	0,0043	< 0,0030	0,0040	0,0033
La %	0,0027	0,0027	< 0,0010	0,0019
Sb %	< 0,0500	< 0,0500	< 0,0500	< 0,0500
Se %	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050

Tablo 9.2 Deney madenin potadaki spektral analiz sonuçları.

Element	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Ortalama
Fe %	93,3	93,2	93,3	93,3
C %	3,62	3,60	L 3,53	L 3,58
Si %	2,62	2,65	2,65	2,64
Mn %	0,146	0,143	0,143	0,144
P %	0,0306	0,0332	0,0345	0,0328
S %	H 0,0160	H 0,0155	H 0,0150	H 0,0155
Cr %	0,0284	0,0281	0,0271	0,0279
Mo %	0,0049	0,0057	0,0045	0,0050
Ni %	0,0174	0,0207	0,0170	0,0184
Al %	0,0083	0,0075	0,0074	0,0077
Co %	0,0020	0,0019	0,0021	0,0020
Cu %	0,0234	0,0187	0,0191	0,0204
Mg %	0,0494	0,0508	0,0435	0,0479
Nb %	0,0022	< 0,0020	< 0,0020	< 0,0020
Ti %	0,0150	0,0171	0,0165	0,0162
V %	0,0069	0,0070	0,0066	0,0068
Pb %	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050	< 0,0050
Sn %	0,0095	0,0103	0,0116	0,0105
B %	0,0013	0,0016	0,0019	0,0016
Ca %	0,0024	0,0052	0,0020	0,0032
Ce %	0,0281	0,0324	0,0281	0,0295
Zr %	0,0062	0,0080	0,0078	0,0073
Zn %	0,0076	0,0085	0,0076	0,0079
Bi %	< 0,0050	0,0081	0,0099	0,0073
As %	< 0,0030	0,0047	0,0056	0,0043
La %	0,0100	0,0109	0,0091	0,0100
Sb %	< 0,0500	< 0,0500	< 0,0500	< 0,0500
Se %	< 0,0050	0,0058	0,0119	0,0071

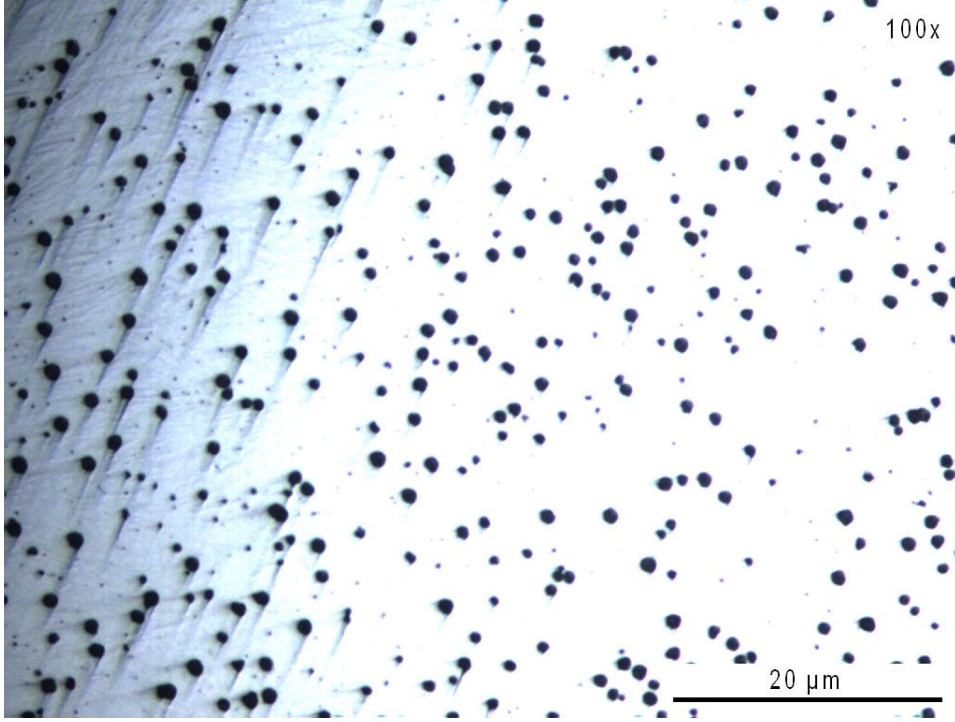
9.2 MİKROYAPI VE SERTLİK SONUÇLARI

Dökülen malzemeler taşla yolluklardan kesilir. Kaba yüzey pürüzleri taşla temizlenir (Şekil 9.2). Mikro yapı ve sertlik cihazları fabrikamızda yer alamadığından deneylerimiz için Alfa Döküm firmasından yardım istenmiştir. Alfa Döküm laboratuvarlarında zımparalama ve parlatma işlemleri yapılmıştır.

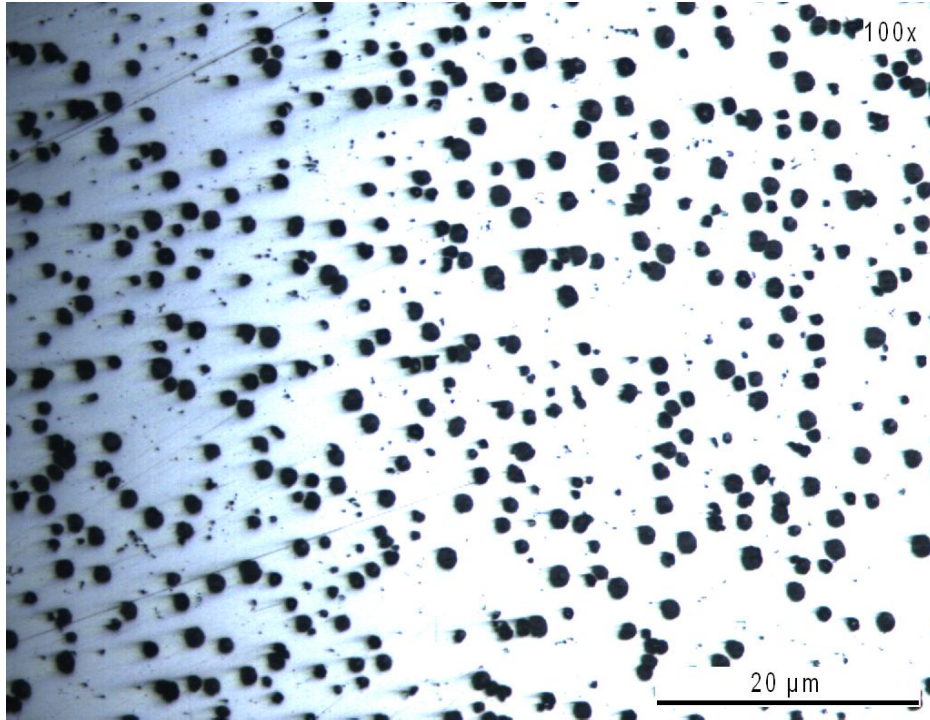


Şekil 9.2 Mikro yapı ve sertlik ölçümü için parlatılan döküm malzemeleri.

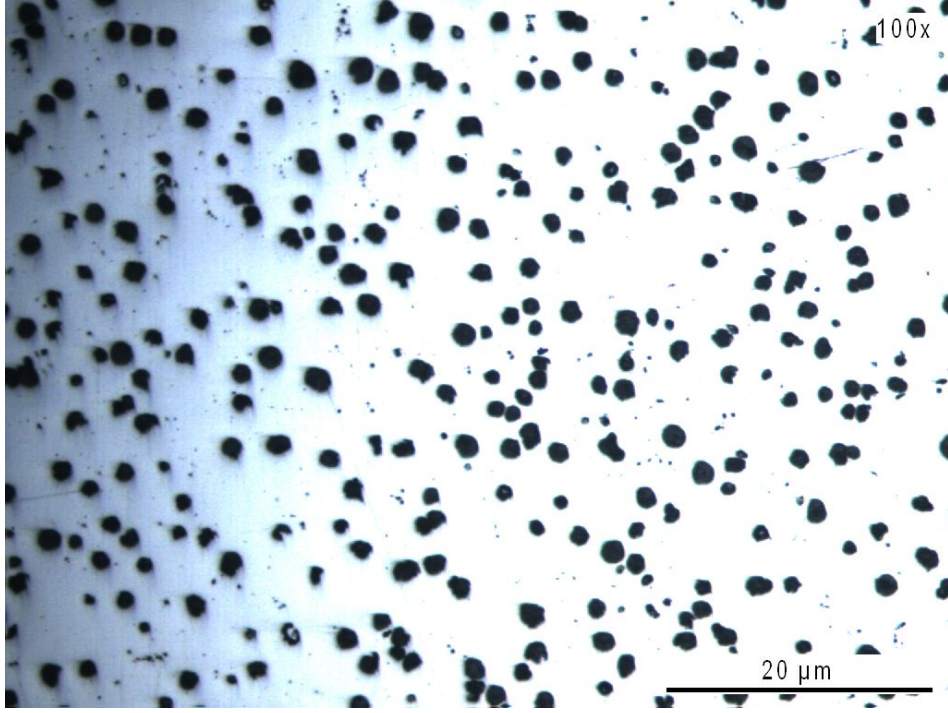
Dağlama yapılmadan sferolaşma oranlarına bakılmıştır (Şekil 9.3-6). Dağlama işlemi yapıldıktan sonra ferrit ve perlit oranlarına bakılmıştır (Şekil 9.7-10). Sertlik testi; HB cinsinden yapılmıştır. Zamana bağlı sıcaklık grafiği çizilmiştir (Şekil 9.11). Soğuma hızları hesaplanmıştır (Tablo 9.3-5). Sıcaklık değişimine bağlı soğuma hızları grafiği çizilmiştir (Şekil 9.12).



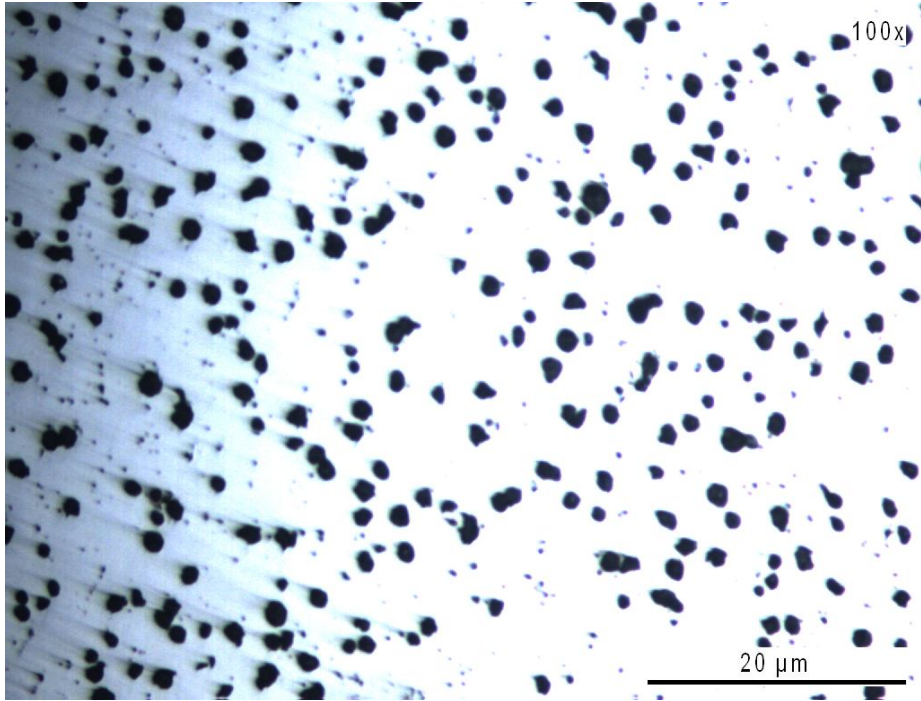
Şekil 9.3 5*5 kalınlığındaki model'in dağlanmamış ıçyapısı.



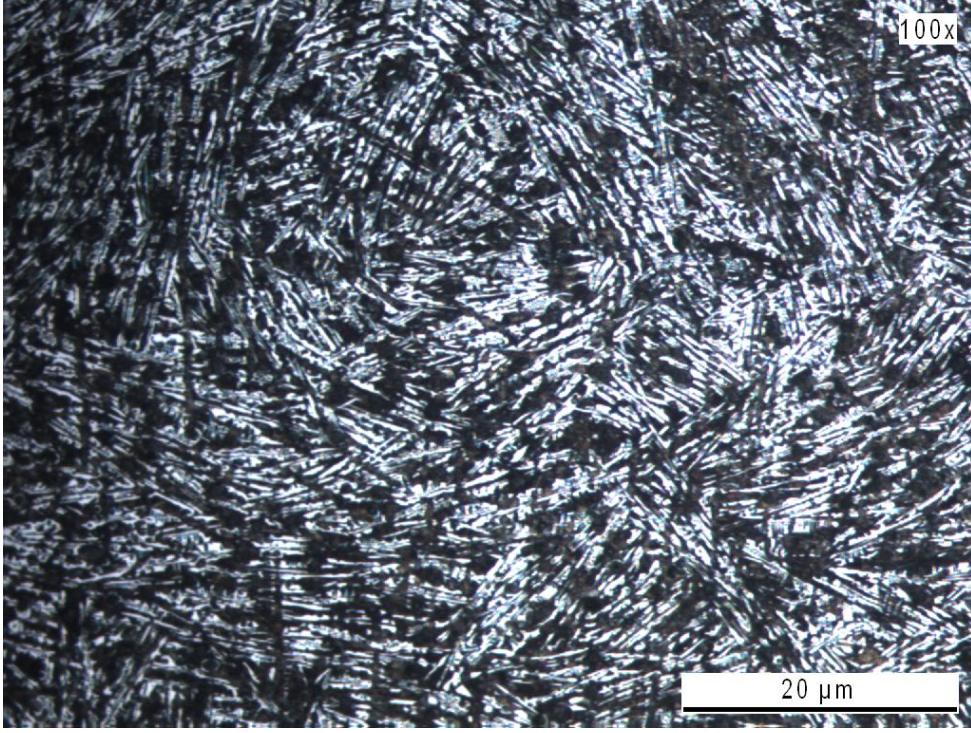
Şekil 9.4 10*10 kalınlığındaki model'in dağlanmamış ıçyapısı.



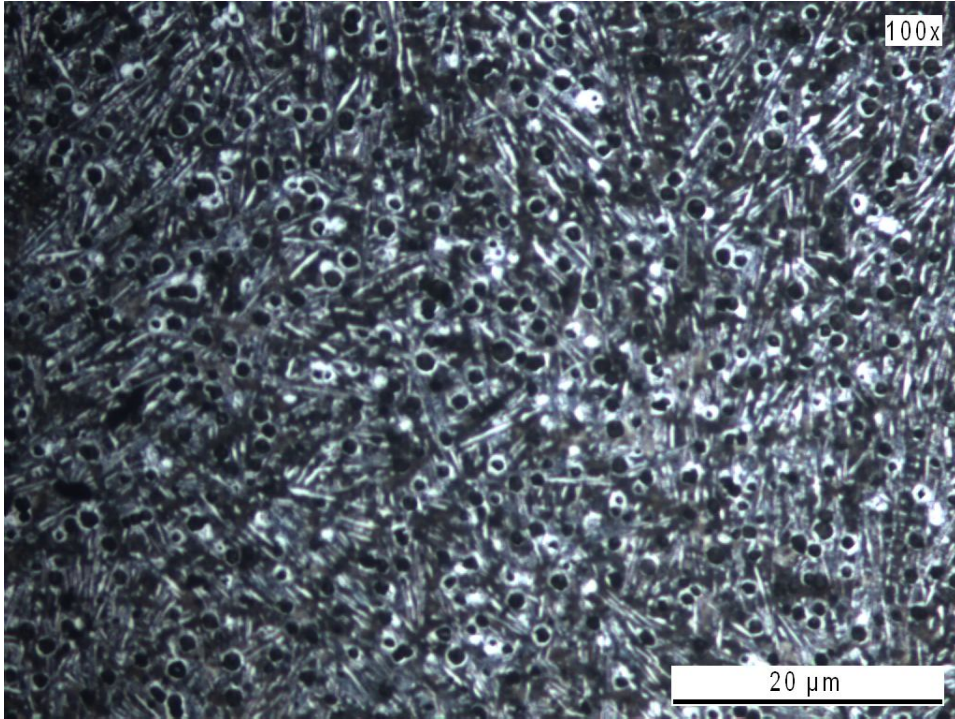
Şekil 9.5 15*15 kalınlığındaki model'in dağlanmamış ıçyapısı.



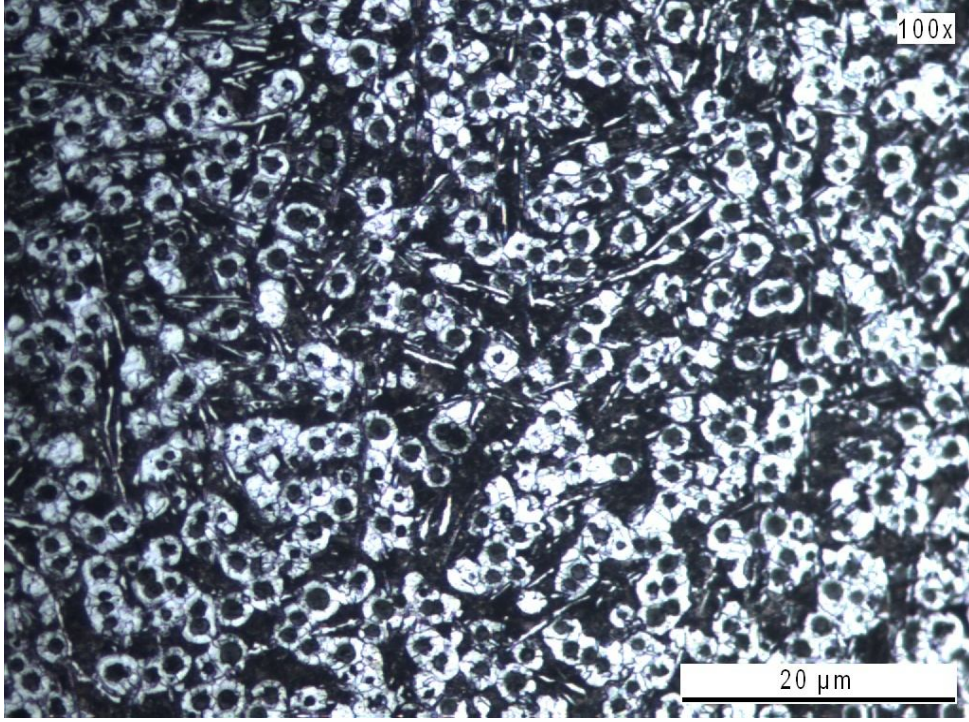
Şekil 9.6 20*20 kalınlığındaki model'in dağlanmamış ıçyapısı.



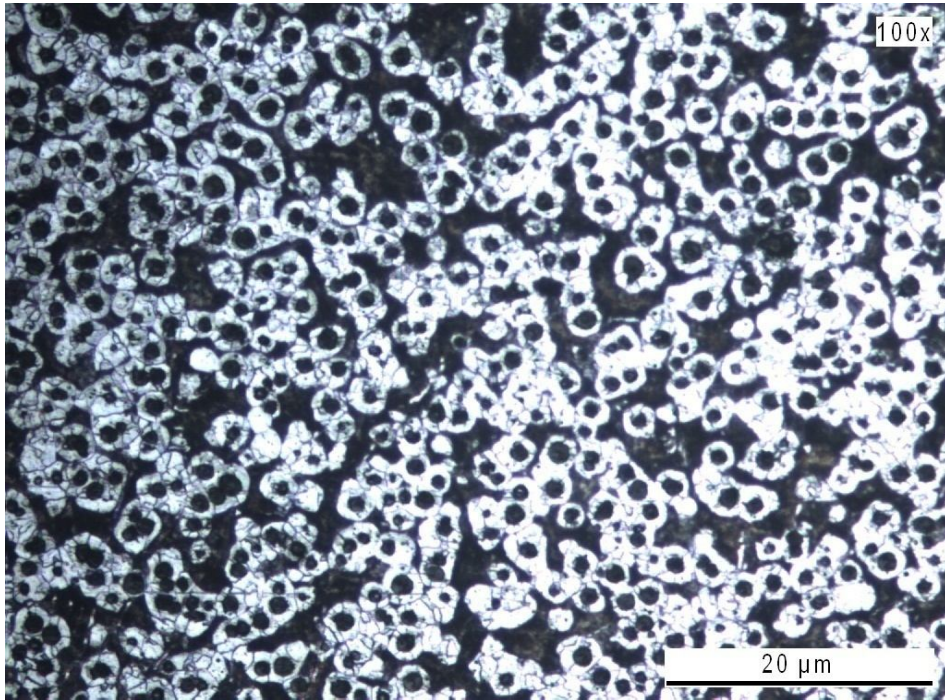
Şekil 9.7 5*5 kalınlığındaki model'in dağlanmış içyapısı.



Şekil 9.8 10*10 kalınlığındaki model'in dağlanmış içyapısı.



Şekil 9.9 15*15 kalınlığındaki model'in dağlanmış ıçyapısı.



Şekil 9.10 20*20 kalınlığındaki model'in dağlanmış ıçyapısı.

Tablo 9.3 1100-150 °C Soğuma hızları.

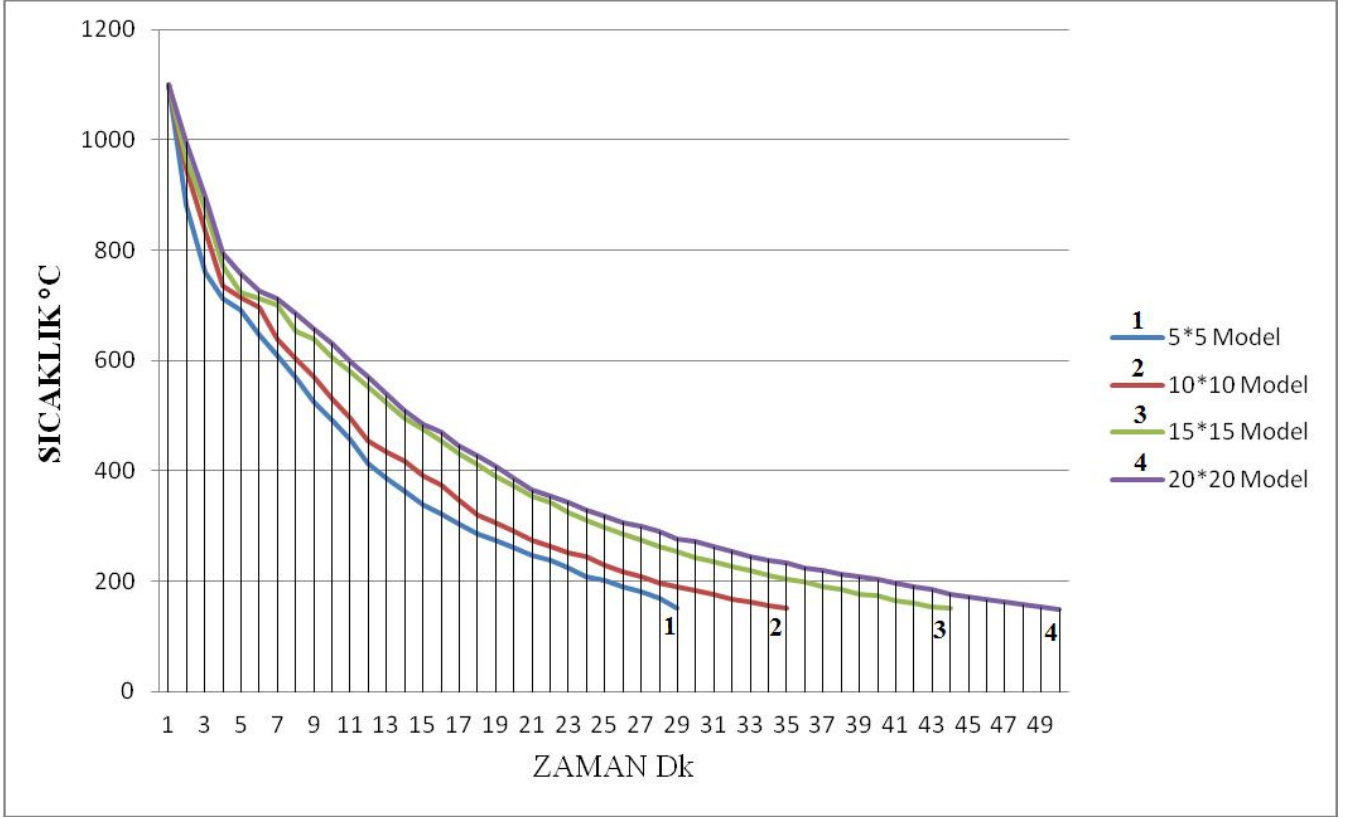
MODEL ADI:	5*5 Model	10*10 Model	15*15 Model	20*20 Model
SOĞUMA HIZI: (°C/Sn)	0,54	0,41	0,34	0,3

Tablo 9.4 1100-800°C Soğuma hızları.

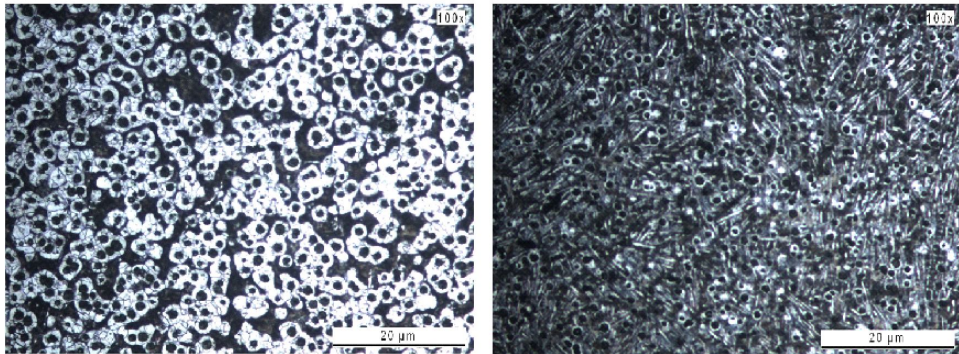
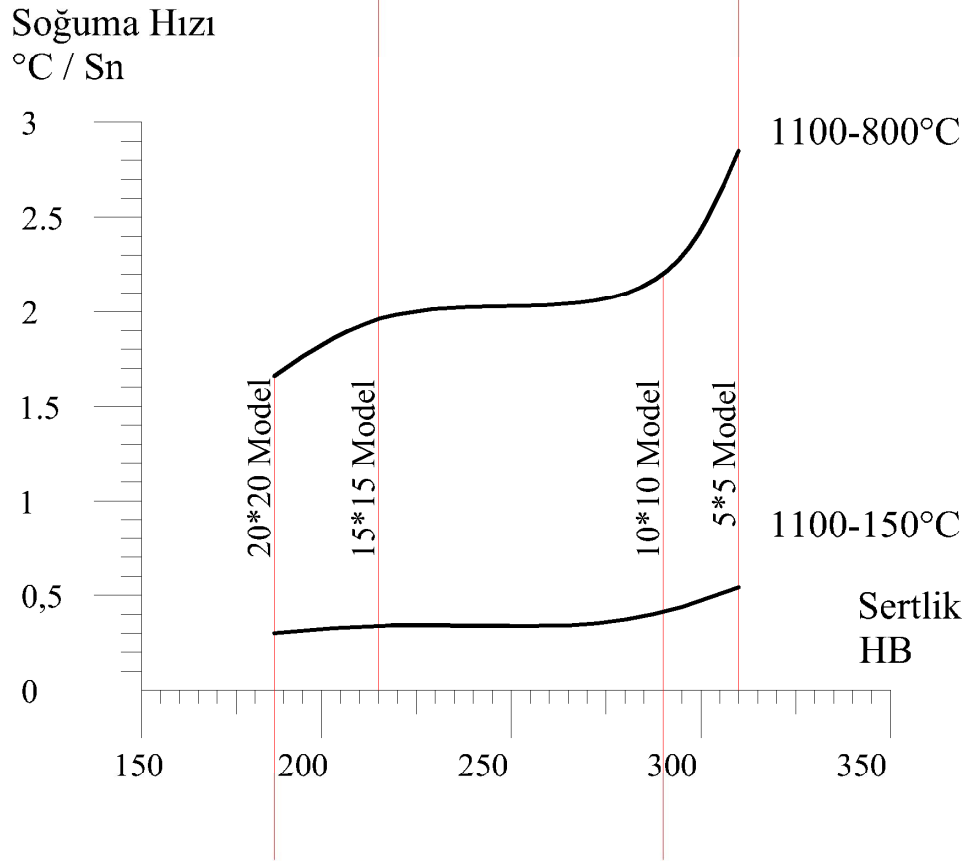
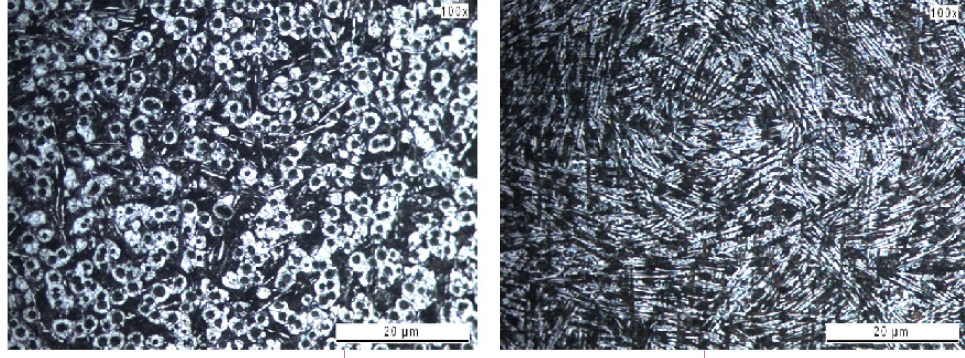
MODEL ADI:	5*5 Model	10*10 Model	15*15 Model	20*20 Model
SOĞUMA HIZI: (°C/Sn)	2,85	2,20	1,96	1,66

Tablo 9.5 Sıcaklık aralıklarına bağlı soğuma hızları.

SICAKLIK ARALIKLARI (°C)	MODEL ADI			
	5*5 Model	10*10 Model	15*15 Model	20*20 Model
	(SOĞUMA HIZI °C/Sn)			
1100-950	3,63	2,55	2,23	1,73
950-800	2	1,85	1,7	1,6
800-650	0,65	0,52	0,49	0,45
650-500	0,65	0,52	0,48	0,43
500-350	0,57	0,42	0,38	0,34
350-150	0,42	0,31	0,23	0,19



Şekil 9.11 Zamana bağlı sıcaklık grafiği.



Şekil 9.12 Soğuma hızlarına bağlı sertlik değişimi grafiği.

BÖLÜM 10

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fittings malzemesi üretiminde kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demirlerde farklı kesit kalınlıklarına ait dört adet deney numunesi yardımıyla; mikro yapılar, küreselleşme oranları, sertlik ve soğuma hızları tespit edilmiştir (Tablo 10.1).

Tablo 10.1 Deney sonuçları.

Model Adı	Mikro Yapı	Küreselleşme Oranı	Sertlik (HB)	Soğuma Hızı 1100-800 (°C/Sn)	Soğuma Hızı 1100-150 (°C/Sn)	Soğuma Süresi (Sn)
5*5 Model	%100 Sementit	%95	320	2,85	0,54	1680
10*10 Model	%70 Perlit %30 Ferrit	%93	280	2,20	0,41	2160
15*15 Model	%30 Perlit %70 Ferrit	%90	230	1,96	0,34	2640
20*20 Model	%100 Ferrit	%88	170	1,66	0,30	3000

Küresel grafitli dökme demirlerde küreselleşme oranının yüksek olması; malzemenin akma ve çekme dayanımını artırmaktadır. Küreselleşme oranları Alfa Döküm fabrikasında mikroskopla hassas bir şekilde ölçülmüştür. Malzememizin küreselleşmesinde bir problem gözlenmemiştir. oluşan çatlama ve kırılmaların ana kaynağıdır. 20*20 model deney grubunda yer alan ürünlerin; fırınlama işlemecine tabi olmadan işlenmesinin sebebinin %100 ferritik olması olduğu anlaşılmıştır.

Fabrikamızda bu sementit ve perlitik yapılar öztemperleme işlemi ile maksimum seviyede ferritik yapılara dönüştürülmektedir. Malzemelerin 320 HB sertlikten 170 HB sertlik değerine düşürülmesi için gerekli olan soğuma hızının 1,66°C/Dk olması gerektiği gözlenmiştir. Bu soğuma hızının sağlanması ile öztemperleme işlemi gerçekleşmeden %100 ferritik bir yapı ve 170 HB sertlikte bir ürün elde edilebileceği gözlenmiştir. Enerji ve zaman kayıplarının önlenmesi bu hızda bir soğuma ile sağlanacaktır.

Fabrika olarak bu soğuma hızının sağlanabilmesi için nasıl bir değişiklik yapılabileceği tartışılmıştır. Derecelerde model boşluğuyla derece arasında kalan kum miktarını artırarak bu soğuma hızının azaltılabileceği konusunda fikir birliğine varılmıştır. Yolluk ve cürüflük oranı artırılarak gelen madenin daha yavaş soğuyabileceği ortak bir görüştür. Döküm esnasında kumun elektrikli çubuklarla ısıtılması'da düşünülmüştür. Bu şekilde madenin soğuma hızında düşüş olabileceği fikrine varılmıştır.

Elektrik yardımıyla ısıtma maliyet bakımından incelendiğinde fırında öztemperleme işleminden daha fazla çıkmaktadır. Aynı zamanda fabrika içerisinde uygulanabilirliği zordur. Yolluk ve cürüflük miktarını artırmak üretim maliyetlerin fazlasıyla yükseltecektir. Derecedeki dış kenarlarda kalan kum kalınlığının artırılmasının soğuma hızına etkilerinin araştırılması düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akca C** (2005) “*Öztemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirde Alaşım Elementlerinin Öztenit-Mertenzit Dönüşümüne Etkisi*”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen ilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aran A** (2007) Döküm Teknolojisi İmal Usulleri Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, s. 1-166.
- Çetin M** (1998) “*H2 Pikinden Küresel Grafitli Dökme Demir Üretiminin Araştırılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çetin M** (2005) “*Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Aşınma Davranışının Geliştirilmesi*”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 21: s. 359-366.
- Durum M** (2013) "<http://universiteliler.foruma.biz/t18-dokum-katilama-prosesy>".
- Ferizoglu M.T** (1988) “*Küresel Grafitli Dökme Demirde Kaliteye Etki Eden Bazı Parametreler*”, Metalürji Dergisi, 75: s. 53-56.
- Frenkel I** (1955) “*Kinetic Theory of Liquids Dover*”.
- Elliot R** (1988). “Castiron technology”, Butter worths Co Ltd.,London, s. 50-136.
- Hasırcı H** (2000) “*Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri(Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikro Yapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri*”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Karaman S** (2011) “*Küresel Grafitli Dökme Demirlerin (GGG40, GGG50, GGG60, GGG70) Üretim Sürecinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Karsay I** (1976) “*Qubec Iron Titanium Corparation*”, Ductile Iron 1 Production, s. 177-180
- Kırcalı K** (2008) “*Farklı Matris Yapılara Sahip Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik ve İşlenebilirlik Özelliklerinin Araştırılması*”, Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, s. 23.
- Korkmaz Y** (2012) “*Bortemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirin Mekanik Özellikleri'nin ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*”, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Döküm Öğretmenliği, Lisans Tezi, Karabük.
- Kuş H** (2007) “*Öztemperleşmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Aşınma Davranışı*”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya. s. 1-86
- Labrecque C ve Gange M** (1998) “*Review Ductile Iron: Fifty Years of Continuous Canadian Metallurgical Quaterly*, 37: s. 343-378.
- Markov I** (1995) “*Crystal Growthfor Beginners*”, World Scientific Publishing Co., Singapore.
- Mullins J** (1990) “*Ductile Iron Data for Desing Engineers*”, Montreal, Quebec, Canada.
- Özer O** (2006) “*Şekil ve Boyut Kontrollü Çinko Oksit Tozunun Solvatermal Yöntemle Sentezlenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir. s. 1-89

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Özmen T (2007) “*Katı Ortamda Borlanmış DDK 60 Dökme Demirin Borür Tabakası Büyüme Kinetiği ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi*” Osmangazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Metalürji mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Ring T (1996) “*Fundamentals of Ceramic Powder Processing and Synthesis*”, Academic Press, San Diego.

TS 526 (1997) “*Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özellikleri*”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s. 1-9.

Trudel A and Gagne M (1997) “*Effect of Composition and Heat Treatment Parametres on The Characteristics of Austempered Ductile Irons, Canadion Metallurgical Quarterly*”, 36: s. 289-298.

Tutar M (2012) Malzeme Bilgisi, "<http://home.uludag.edu.tr/users/>", Bursa.

Stefanescu M (1992) “*Ferrous Casting Alloys, Ductile Iron*”, ASM Handbook formerly 9. Edition, Metals Handbook, Volume 15, ASM International, United States .

Stefanescu M (1999) “*Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons*”, ASM Handbook, Vol. 1.

Sümer A (1981) Demir Döküm, Birsen Yayınevi.

Sorkun A (2000) “*Metaller Arası Bileşik Uygulamaları Projesi*”, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

URL-1 (2013) “www.e-olcum.com”

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Yavuz K (2006) “GGG 70 Sınıfı Küresel Grafitli Dökme Demir Kam Millerinin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yazıcı A (2006) “Küresel Grafitli Dökme Demirin Bortemperlenmesi”, Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Afyon.

Yazman Ş (2006) “Öztemperlenmiş Ferritik Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Kesme Parametrelerinin İşlemeye Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

ÖZGEÇMİŞ

Burak ÖZTÜRK 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. 2006 yılında Karabük Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü, Tasarım ve Konst. Öğretmenliği Bölümü’ne girdi. 2011 yılında mezun oldu ve aynı yıl Ankara’da sırasıyla; Durst Safa Kabin, Mimtek Bilgisayar Kursu, Sincan Bilgisayar Kursu ve IPT Akaryakıt Makineleri firmalarında çalıştı. Konak Rakor firmasında kalıphane ve tasarım sorumlusu olarak çalışarak ve Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim dalında; Yüksek lisans öğrencisi olarak eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Çankırı Devlet Yolu 6. Km. Çınar Köy Yolu

No:12 Akyurt/ANKARA. Konak Rakor

Tel: 0312 847 5035

Faks: 0312 847 5030

E-Posta: uzmantasarimmerkezi@gmail.com

Web: www.designershowplus.tr.gg