



Şefkat KOÇ

ÇİMSATAŞ- MERSİN

# KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDE GGG50 MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ISIL İŞLEM İLE SAĞLANMASI

## GİRİŞ

KGDD, mekanik özellikleri mikro yapıya bağlı olarak değişen malzemelere iyi bir örnektir.

Standart KGDD kalitelerinden beklenen mekanik özellikler döküm durumunda sağlanabilir ve döküm durumunda sağlanan uygun mikro yapı çoğu zaman KGDD olarak üretilen parçalarda yeterli performansı sağlar.

Mikro yapısı kompozisyon ve difüzyona bağlı katı hal dönüşümü ile oluşan KGDD de malzeme kalitesini belirleyen kesin bir formülasyon yoktur. Bu nedenle zaman zaman prosesin çok iyi kontrol altında tutulduğu Dökümhanelerde de hedeflenen mikro yapıların dışına çıkan parçalar dökülmektedir.

Bu yazıda GGG50 olarak bilinen KGDD mikro yapısının ve buna bağlı olarak mekanik özelliklerin özellikle diğer mekanik özellikler ile ilişkisi çok yakın ve doğrudan olan ve ölçülmesi son derece hızlı yapılabilen sertliğin , döküm durumunda zaman zaman sağlanamaması üzerine ısıl işlem ile sağlanması çalışması özetlenmiştir.

Çalışmanın altyapısını oluşturması nedeni ile KGDD'in mikro yapısının oluşumu ana hatları ile özetlenmiştir.

## KGDD 'de MATRİKS OLUŞUMU

KGDD'de matriks yapısının oluşumu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen pek çok faktöre bağlıdır.

İstikrarlı bir mikroyapı sağlamak için kontrol edilebilir faktörler ( pik, çelik hurda, alaşım malzemeleri,ergitme süresi, aşılmalı tipi ve uygulaması,döküm sıcaklığı,döküm süresi v.b) çok sıkı kontrol altında tutulmalı , güvenilir tedarikçilerden malzeme temin edilmelidir.

Kontrol edilemeyen faktörler olan çevre şartları, nem, sıcaklık v.b yakından izlenerek malzeme kalitesine olası etkileri açısından dikkatli olunmalıdır.

KGDD de katılaşmanın ilk ürünü Östenittir

. Katılaşmanın başlangıcında östenit oluşurken muhtelif metalik olmayan kalıntılar ve östenit içinde çözünebilen maksimum karbon miktarını aşan karbon , grafit olarak ayrışır.

Östenit içindeki maksimum karbon çözünürlüğü yaklaşık olarak :

$$\%C + 1/3 Si = 2 \text{ dir.}$$

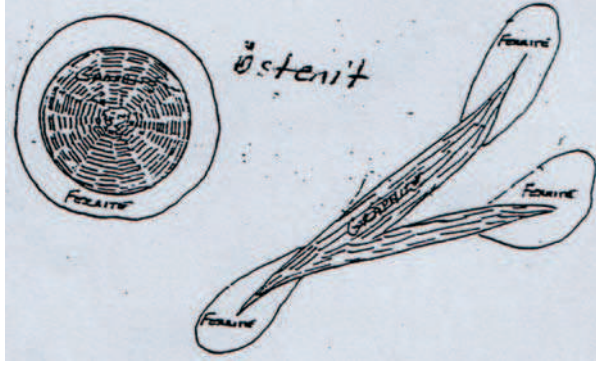
## FERRİT OLUŞUMU

Östenit oluşuktan sonra soğumanın devamında karbon çözünürlüğü gittikçe azalır. Üst kritik sıcaklıkta , denge durumunda östenit içindeki karbon çözünürlüğü yaklaşık % 0.65 – 0.70 tir. Sıcaklık düştükçe östenit içinde karbon çözünürlüğünün azalması nedeni ile östenitik yapıdan ayrılan karbon, grafit haline geçerek pro ötektoid grafit üzerinde toplanır.

Pro ötektoid grafit üzerinde difüze olarak grafit halinde toplanan karbon öncelikle pro ötektoid grafitin etrafındaki matriksten ayrılan karbondur. Bu bölgeden ayrılan karbon, ayrıldığı bölgeyi karbonsuzlaştırarak ferrit oluşumunu sağlar. (Şek.1:)

Ferrit içinde karbonun difüzyon hızı , östenitteki difüzyon hızından çok yüksektir, ancak ferrit bir kez oluşuktan sonra , ferrit – östenit sınırı ve alaşım elementlerinin bazıları (Sn, Cu; Mn vb.) karbonun difüzyonunu önleyici bariyer gibi davranırlar. Bazı elementler sıcak bölgeye ,bazı elementler soğuk bölgeye difüze olurlar, bu nedenle östenitin kimyasal kompozisyonu homojen değildir; Bu durum lokal olarak ferrit oluşumunu da etkilemektedir.

Ferrit oluşumu nisbeten yüksek sıcaklıklarda başlar ve perlit oluşumu başladıktan sonrada devam eder ve perlit oluşumu tamamlanmadan önce tamamlanır. Perlit oluşumu daha düşük sıcaklıklara kadar devam eder.



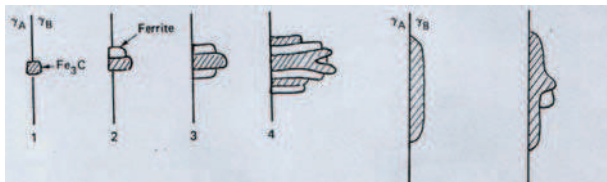
Şekil.1: Grafit Kristalinin yönlenmesine bağlı olarak grafit küresi etrafında ve yapraksı (lamel) grafitin ucunda ferrit oluşumunun şematik olarak görünümü.

### PERLİT OLUŞUMU

Perlit oluşumu için , ferrit oluşumu için gerekli olan uzun mesafeli difüzyon gerekli değildir. Kısa mesafeli difüzyon nedeni ile soğuma hızı arttıkça perlit lamelleri arasındaki mesafe kısalır.

Tane sınırı, alaşım elementleri ve inklüzyolar gibi nedenlerle pro ötektoid grafitte difüze olamayan karbon  $Fe_3C$  oluştururken yanındaki bölgeyi karbonsuzlaştırarak perlit yapısını oluşturan ferrit ve sementit lamellerini oluşturur. Katlaşmada alaşım elementleri ve inklüzyolarının yoğunluğu tane sınırlarında daha çok olduğundan perlit oluşumu da pratik olarak buradan başlar fakat östenit içindeki inklüzyonlar ve östenit – grafit ara yüzeyinde çekirdeklenebilir.

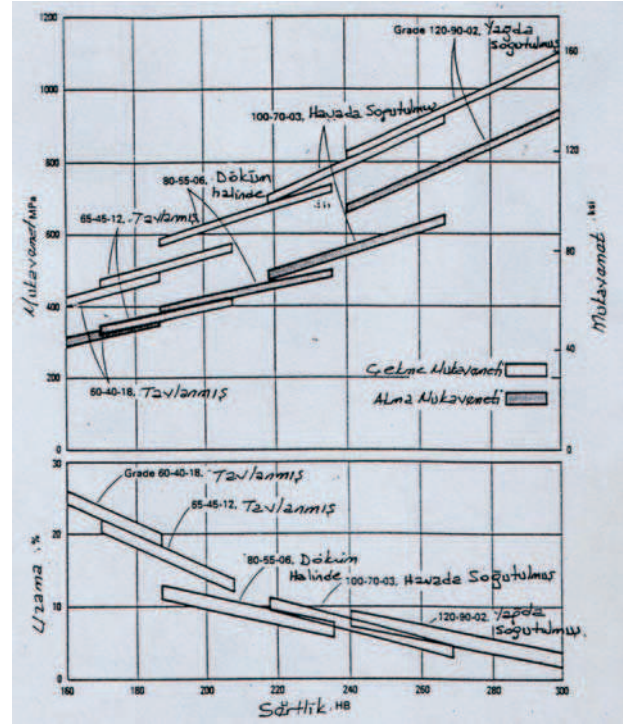
Ferrit ve perlitin karışık olarak bulunduğu yapılarda ferrit oluşumu , ferrit'e bitişik östenit bulunduğu sürece devam eder, perlit oluşumuna ulaştığında durur.



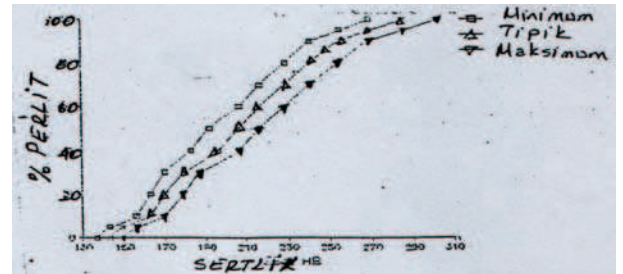
Şekil 2: Perlit oluşumu aşamalarının şematik gösterimi.

KGDD de ferrit ve perlit miktarları malzemenin çekme, akma, uzama ve sertlik gibi mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 3a'da sertliğin çekme mukavemeti ve uzama ile ilişkisi, Şekil 3b'de sertlik ile %perlit arasındaki ilişki görülmektedir



Şekil 3a: ASTM A536'ya göre KGDD kalitelerine karşılık gelen sertlik, çekme mukavemeti ve uzama değerleri.



Şekil 3b: KGDD'de döküm durumunda parça kesitindeki perlit miktarı ile sertlik arasındaki ilişki.

### ISIL İŞLEMDE MATRİKSTE OLAN DEĞİŞİMLER

KGDD de de ferrit ve perlit'e dönüşüm östenit fazından olmaktadır ve bu yanı ile çelikteki dönüşümlere benzemektedir.

Yapı oluşumunu çelikten farklılaştıran ise ferrit ve perlit oluşumlarının miktarının difüzyon tarafından kontrol edilmesidir. Difüzyon hızının , alaşım elementlerinin cinsi ve miktarına, zaman, sıcaklık ve soğuma hızı gibi faktörlere bağlı olması durumu karmaşıklaştırmaktadır.

Döküm durumunda sağlanamayan mikro yapının



ısıtım ile sağlanmak zorunda kalınması halinde hem ısıtma, hem de soğutma esnasında olan değişimleri incelemek yararlı olacaktır.

### ISITMA ESNASINDA OLAN DEĞİŞİMLER

Ferritik – Perlitik yada perlitik KGDD'in 650 - 730°C sıcaklıklar arasında ısıtılmasında , perlitin yapısındaki karbon grafit taneleri üzerine doğru hareket ederek toplanır ve ferrit miktarını artırır.

650°C nin altındaki sıcaklıklarda matriksten grafit tanesine doğru hareket yok, yada çok azdır .Bu çalışmada modülü 0.5 – 1.5 Cm olan parçalarda 650°C nin altındaki sıcaklıklarda yapılan temper işlemleri sonucu mikro yapıda ve sertlikte bir değişiklik izlenememiştir. 650°C de yapılan temperde 0.5Cm modüllü kesitte son derece küçük bir sertlik düşüşü tesbit edilebilmiştir.(Tablo:2)

Sıcaklık artırılmaya devam edilip östenit bölgesine girildiğinde öncelikle perlit östenite dönüşür ve sıcaklığın artışına bağlı olarak östenitte karbon çözünürlüğünün artması nedeni ile karbon hareketi grafitten matrikse doğru döner ve yaklaşık 910°C nin üzerinde yapılırsa tümü ile östenite dönüşür.

### SOĞUTMA ESNASINDA OLAN DEĞİŞİMLER

Temper sıcaklığından yada östenit sıcaklığından soğutmalarda dönüşüm , dönüşümlerin olabileceği sıcaklıklardan geçiş teki soğuma hızına bağlıdır. Fırında soğutmada (yavaş soğutma) soğuma hızı difüzyonun devamına izin verdiği için ferrit oluşumu devam eder. Havada soğutmada ise soğuma hızı genel olarak difüzyona çok az izin verir ve ısıtma esnasında oluşan yapı nisbeten az değişir.

Östenitleştirme sıcaklığına ısıtılıp havada soğumaya bırakılan parçaların soğuma hızları , çoğu zaman kalıp içinde katılaşmadan sonraki soğuma hızlarından daha yüksek olduğundan , perlit miktarlarının da döküm durumunda sağlanan perlit miktarından daha yüksek olması beklenebilir.

### DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalımda döküm durumunda GGG50 malzeme kalitesi hedeflenmiş, ancak perlit miktarı ve /veya

sertliği hedef değerlerin altında kalmış yada sertlikleri hedef aralığın üstüne çıkmış seri üretim parçaları kullanılmıştır. Parçalar ısıtım ile uygun mikro yapı ve sertliğe getirilerek mamul edilmişlerdir.

Tipik Kompozisyon:

C : %3.50 – 3.70

Si : %2.50 – 2.70

Mn: %0.18 – 0.22

Cu : %0.35 – 0.39

CE : 4.40 – 4.50 dir.

Malzeme Hedef Değerleri :

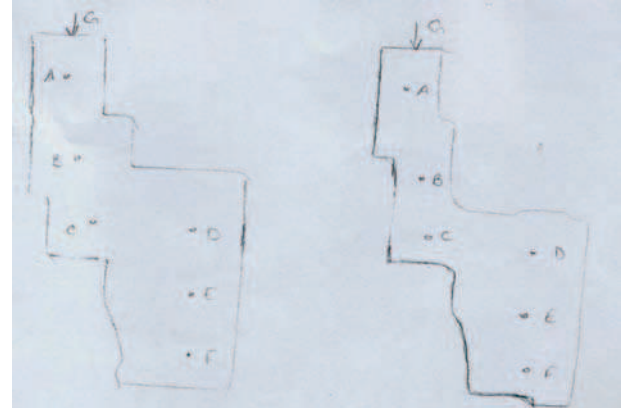
Perlit : %20 min.

Uzama : %6 min.

Çekme : 50 Kg/mm<sup>2</sup>

Sertlik : 170 – 220 HB dir.

Üzerinde çalışma yapılan iki farklı parçanın kesit hatları 1/1 ölçekli olarak Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Üzerinde çalışılan parçaların 1/1 ölçekli kesit hatları. Kesit üzerinde işaretli noktalar ,çekirdek sertliği okunan noktaları, 'G' işaretli nokta yüzey sertliği okunan noktadır.

Çalımda kullanılan fırınlar :

1 – Optimal 200 x 300 x 150 Cm, LPG yakıtlı, 1100°C max. Çalışma sıcaklığı, arabalı fırın.

2 - Protherm Laboratuvar Fırını : 30 x35 x 25 Cm. , Elektrik ısıtmalı, 1150°C max. Çalışma sıcaklığı.

3 – Olympus TH3 metalografi mikroskobu.

4 - Wilson KDR 10, Ø10mm Tungsten karbür bilyalı brinel sertlik ölçme aleti.

Çalımda parçaların kesit şemalarında işaretli bölgelerinden yüzey ve / veya çekirdek sertlikleri okunmuştur.

## AŞAMA

### 1. ÇALIŞMA

Yapı ve sertlik problemi tesbit edilen parçalar başlangıçta , literatürdeki bilgiler bire bir kullanılarak Optimal marka fırında normalize edilerek uygun yapı ve sertlik sağlanmaya çalışılmıştır.

Normalize sıcaklığı  $925^{\circ}\text{C}$  ,  $925^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkma süresi 5 saat , bekleme süresi 2.5 saat seçilmiş ve bu süre sonunda parçalar havada soğumaya bırakılmıştır.

Çalışmada 40 x40 mm kare kesitli hazır dolu malzemenin ,kaynak konstrüksiyon olarak yapılmış, 120 x 120 Cm boyutlarında ızgaralar kullanılmıştır.

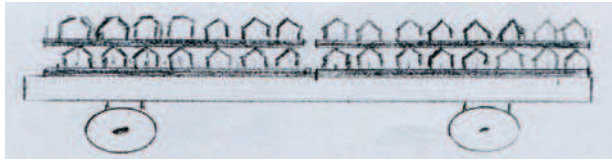
Parçalar 4 adet ızgara üzerine aralarında 25 – 35 mm açıklık kalacak biçimde dizilmiştir.

Üzerine parça dizilmiş iki ızgara arabanın üzerine konulduktan sonra , diğer iki ızgara alttaki ızgaralara dizilmiş olan parçaların üzerine oturtulmuştur. ( Şekil 5.)

Isıtma ve bekleme süreleri sonunda fırın arabası dışarıya alınmış ve yaklaşık 20 dakika içinde ızgaralar arabanın üzerinden alınarak yere indirilmiştir.

Normalize işlemine konulan 200 adet parçanın tümü ızgaralar üzerindeki konumları belirlenerek işaretlenerek sertlikleri ölçülmüştür.

Ölçüm sonunda parçaların sertliklerinin sertlik aralığının hem altıda hemde üstünde olduğu görüldü. yüksek ve düşük sertliklerin ızgaralara göre yada ızgaradaki konuma göre bir ilişkisi tesbit edilememiştir, aynı parça üzerinde yaklaşık 15 BH kadar sertlik farkları tesbit edilmiştir.



Şekil 5: I. Aşama 1. Çalışmada parçaların ve ızgaraların araba üzerindeki konumu.

### DEĞERLENDİRME

Sertliklerin böylesine düzensiz oluşmasına neden olarak:

1 -  $925^{\circ}\text{C}$  sıcaklık Normalize için kullanılan fırının ölçüleri nedeni ile bölgesel ısı farkları yüzünden tüm parçaların, tümü ile östenitleşmesi sağlanamamıştır.

2 – Araba dışarıya alındıktan sonra ızgaralar yere alınana kadar olan soğumanın son derece düzensiz olduğu gözlenmiştir; Buna neden olarak alttaki ızgaraların doğrudan arabanın üzerine oturması, ikinci sıra ızgaralarında 1.sıradaki parçaların üzerine doğrudan oturması düşünülmüştür.

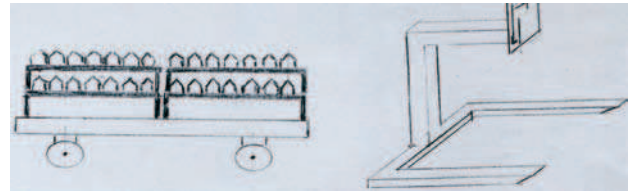
### I.AŞAMA 2. ÇALIŞMA

İlk çalışmada uygunsuzluk nedeni olarak düşünülen etkenlere karşı:

1 – Normalizasyon sıcaklığı olarak  $940^{\circ}\text{C}$  seçildi,  $940^{\circ}\text{C}$  ye 5 saatte çıkılması ve 2.5 saat bekleme süresi uygun bulundu.

2 – 1.Çalışmada kullanılan ızgaralara 30Cm yüksekliğinde ayaklar monte edilerek; Isınma ve soğumanın daha homojen hale getirilmesi düşünüldü.

3 – ızgaraları arabanın üzerinden kısa sürede alabilmek için bir aparat oluşturuldu.



Şekil 6: 2.Çalışmada ızgaralar, arabaya yükleniş biçimleri ve ızgaraları arabadan hemen indirebilmek için kullanılan aparatın şematik resimleri.

Parçalar Şekil 6'da görüldüğü gibi arabaya yüklenip sıcaklık 5 saatte  $940^{\circ}\text{C}$  ye çıkarıldı; Bu sıcaklıkta 2.5 saat bekleme sonrası araba dışarıya alındı ve aparat kullanılarak parçalar ızgaralar ile arabanın üzerinden yere alınarak havada soğutuldu.

Parçaların tümünün yüzey sertlikleri şekil 4'te gösterilen 'G' bölgesinde ikişer noktadan ölçüldü. Tüm parçaların yüzey sertliklerinin 197 – 217 HB aralığında ölçülmesi üzerine ( Hedef aralık 170 –220 HB ) 16 adet parça kesilerek Şekil 4'te işaretli bölgelerden çekirdek sertlikleri ölçüldü , çekirdek sertlikleri de 201 – 217 HB arasında değişti , mikro yapıda perlit miktarı yaklaşık %40 olarak tayin edildi ve tüm parçalar mamul edildi. ( Tablo 1.)





### I.AŞAMA 3. ÇALIŞMA

I.Aşamının 2. Çalışmasında uygun sonuç alınması üzerine doğrulama amacı ile çalışma tekrarlanmıştır. Tüm parçaların yüzey sertlikleri ölçüldü; Bazı parçaların sertliğinin 220 HB den yüksek olduğu ve 235 HB yi bulan sertlikler olduğu görüldü, bu nedenle çekirdek sertlikleri kontrol edilmedi.( Tablo 1.)

### DEĞERLENDİRME

Genel hatları ile 2. ve 3. çalışmalarda aynı proses uygulanmasına rağmen 1.Çalışma değerleri uygun olduğu halde 2.Çalışma değerlerinin uygun olmayışının ortam şartlarından kaynaklandığı örneğin 3.Çalışma yapıldığındaki rüzgarın daha yüksek sertliğe neden olabileceği ;

Ayrıca 1.Çalışmada sağlanan uygun sertliklerinde hedef aralığın üst yarısında ( 197 – 217 HB) olduğu değerlendirildi.( Tablo 1.)

Çalışma No	Normalize Sıcaklığı °C	Isıtma Süresi	Bekleme Süresi	Soğuma ortamı	Yüzey Sertliği HB	Çekirdek Sertliği HB	Izgara Türü
1	925	5 saat	2.5 saat	Hava	156 - 229	-	Düz
2	940	5 saat	2.5 saat	Hava	197 - 217	201 - 217	Ayaklı
3	940	5 saat	2.5 saat	Hava	212 - 235	-	Ayaklı

Tablo 1: I. Aşama çalışmaların özeti

### II.AŞAMA ÇALIŞMALARI

I.Aşama çalışmalarının sonunda östenitleştirmenin sağlandığının kesin olduğu sıcaklıktan ve ızgaraların oldukça homojen ısınma ve soğuma sağladığı görüldükten sonra , sertlikleri yaklaşık 15HB düşürecek bir temper işleminin tesbiti amacı ile 940°C de Normalize edilmiş parçalardan 20mm kalınlığında dilimler çıkarılarak laboratuvar fırınında farklı sıcaklıklarda ısıtılıp bu sıcaklıkta kalınlık için 45 dak. dönüşüm için 1 saat olmak üzere 1saat 45 dakika bekletilip havada soğutuldu.

Çalışma düşük sıcaklıklarda kontrolün daha kolay olması nedeni ile laboratuvar fırınında yapılmıştır. Çalışma sonuçları özeti Tablo 2’de dir.

Tablo 2: 940°C de normalize sonrası sertlikleri 197 – 229 HB olan parçaların temper sıcaklığına bağlı olarak oluşan değişim.

Temper Sıcaklığı°C	590	620	650	660	680	810
Sertlik HB	197 - 229	183 - 223	179 - 223	170 - 217	163 - 179	207 - 217

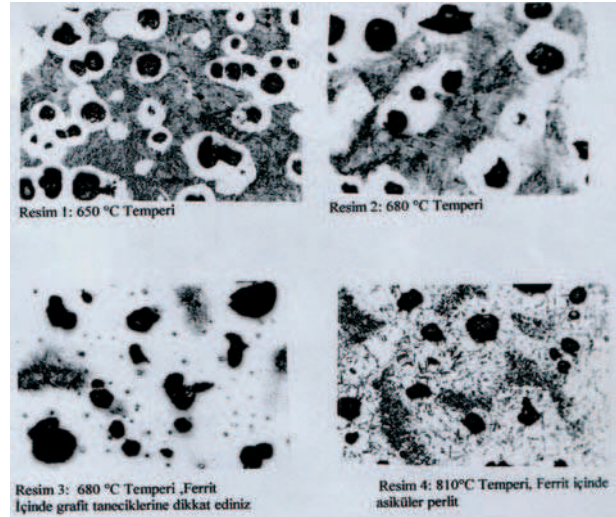
-Temper işlemleri sonunda 650°C ye kadar mikro yapıda belirgin bir farklılaşma gözlenmezken, 650°C den itibaren küçük sıcaklık artışlarında hissedilir sertlik değişimleri tesbit edilmiştir.

Sertlik dağılımı 40 – 50 HB gibi geniş bir bantta oluşmuştur

Mikro yapıdaki değişimlerde ise: Ferrit ve perlit taneleri daha büyüyerek yapıda geniş ferrit ve perlit bölgeleri oluşmuştur.

Sertlik düşüşünün ince kesitlerde kalın kesitlere kıyasla daha fazla olduğu tesbit edildi. (Resim 1,2,3, 4 )

810°C Temperinde ( Resim 4) karbon difüzyonunun grafitten matrikse doğru dönmesi sonucu ferritik matriks içindeki perlit taneciklerine dikkat ediniz.



### DEĞERLENDİRME

Temper sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimlerinin yüksekliği, ince kesitler ile kalın kesitler arasındaki sertlik farkının yüksek oluşu ve mikro yapının kesitler içinde düzensiz dağılımı nedeni ile: 650 - 680°C arasındaki küçük sıcaklık değişimlerinde difüzyon hızının önemli ölçüde değişmesi ,parçaların ince kesitleri ile kalın kesitleri, yüzey ile çekirdek arasında mikro yapıda böylesine büyük farklar oluştuğu değerlendirildi.

İşletme şartlarında ,endüstriyel fırınlarda, kontrolün daha zayıf olacağı nedeni ile bu uygulamanın üretimde kullanılmayacağı düşünüldü.



### III:AŞAMA ÇALIŞMALARI

II.Aşama çalışmalarında alınan sonuçlar ,mikro yapıyı östenitleştirme sıcaklığından itibaren parçaların sınırlı zamanlar içinde fırında 910°C nin altındaki sıcaklıklara soğutularak difüzyona ek süre sağlanmasının, bir bakıma ferrit oluşumuna ek süre verilmesinin daha düzenli bir yapı sağlayacağı, yüksek sıcaklıklarda küçük sıcaklık farkları arasındaki difüzyon hızının da daha az olabileceği düşüncesi ile 940°C de östenitleştirilen parçalar kademeli olarak fırında soğutulmuştur.

Çalışma laboratuvar fırınında başlatılmış ve işletmemizdeki fırında endüstriyel olarak doğrulanmıştır.

#### III. AŞAMA 1. ÇALIŞMA

İki adet parça laboratuvar fırınında 940°C ye ısıtılıp bu sıcaklıkta 2.5 saat tutuldu

1 Nolu parça 940°C den dışarıya alınarak havada soğutuldu.

2 Nolu parça fırında 10 dakikada 890°C ye düşürülüp havada soğumaya bırakıldı.

Şekil 4'teki kesitler üzerinde işaretli noktalardan sertlikler ölçüldü:

1 Nolu parça sertlikleri 217 – 229 HB

2 Nolu parça sertlikleri 212 – 229 HB aralığında ölçüldü.

#### III.AŞAMA 2. ÇALIŞMA

İki adet parça 940°C de 2.5 saat östenitleştirildi.

Her iki parça birlikte ,fırında 20 dakikada 875°C ye soğutuldu ve 1 Nolu parça fırından alınarak havada soğutuldu.

2 Nolu parça fırında bırakıldı ve 25 dakikada 875°den 850°C ye fırında soğutulduktan sonra havada soğumaya bırakıldı.

Parçaların yüzey sertlikleri:

1 Nolu parça sertlikleri 229 – 229 HB

2 Nolu parça sertlikleri 223 – 223 HB

#### III.AŞAMA 3. ÇALIŞMA

940°C den havada soğutma sonrası sertlikleri 229 HB gelen iki adet parça tekrar 940°C de 2.5 saat tutularak östenitleştirildi.

Her iki parça birlikte 30 dakikada 810°C ye fırında soğutuldu ve 1 Nolu parça dışarıya alınarak havada

soğumaya bırakıldı.

2 Nolu parça fırında bırakılarak 30 dakikada 810°C den 775°C ye fırında soğutuldu ve bu sıcaklıktan dışarıya alınarak havada soğumaya bırakıldı.

Parçaların yüzey sertlikleri:

1 Nolu parça sertliği : 212 – 212 HB

2 Nolu parça sertliği : 201 – 201 HB

Çekirdek sertliklerini kontrol etmek için parçalardan dilimler çıkarıldı ve Şekil 4'teki işaretli bölgelerden sertlik ölçümleri yapıldı:

1 Nolu parça çekirdek sertlikleri: 197 – 201 HB

2 Nolu parça çekirdek sertlikleri: 197 – 207 HB aralığında değişti.

Tablo 3: III. Aşama çalışmaları özeti.

Çalışma No:	Östenitleştirme Sıcaklığı °C	2.Sıcaklık °C	2.süre dakika	3.Sıcaklık °C	3.süre dakika	Çekirdek sertliği HB	Yüzey Sertliği HB	% Perlit
1	940	-	-	-	-	217 - 229	-	40 - 65
	940	890	10	-	-	212- 229	-	40 – 65
2	940	875	20	-	-	-	229 -229	-
	940	875	25	850	25	-	223 - 223	-
3	940	810	30	-	-	197 - 201	212 - 212	25 - 50
	940	810	30	775	30	197-207	201 - 201	25 - 45

### IV. AŞAMA – DENEYSSEL ÇALIŞMANIN ÜRETİMDE SINANMASI

III.Aşama 3. Çalışmanın 2 nolu parçasında sertlik aralığının dar olması ve hedef bandın ortalarına denk gelmesi nedeni ile bu parçada yapılan uygulamanın işletme şartlarında aynen tekrarının uygun olacağına karar verildi.

Parçalar normalize fırınına Şekil 6'da görüldüğü gibi yüklendi.

940°C sıcaklığa 3.5 saate çıkıldı ve bu sıcaklıkta 2.5 saat beklendi.

Bekleme sonrası fırın sıcaklığı ilk 30 dakikada 810°ye düşürüldükten sonra parçalar fırından çıkarılmadan fırın sıcaklığı yeniden 30 dakikada 810°C den 775°C ye düşürüldü.

Fırın sıcaklığı 775°C ye düştüğünde araba dışarıya çıkarılıp Şekil 6'da görülen aparat kullanılarak ızgaralar üzerinde dizili parçalar havada soğumak

üzere ızgaralar ile birlikte yere indirildi.

Tüm parçaların yüzey sertlikleri okundu; Sertlikler 179 – 207 HB arasında değişti.

Çekirdek sertlikleri her ızgaradan ikişer parçadan olmak üzere 8 parçada kontrol edildi ve 179 – 201 HB arasında değişti.

Mikro yapıda perlit miktarı %25 – 55 aralığında oluştu.

Üretim şartlarında yapılan çalışmanın tekrarlanabilirliğini görmek amacı ile çalışma tekrarlandı.

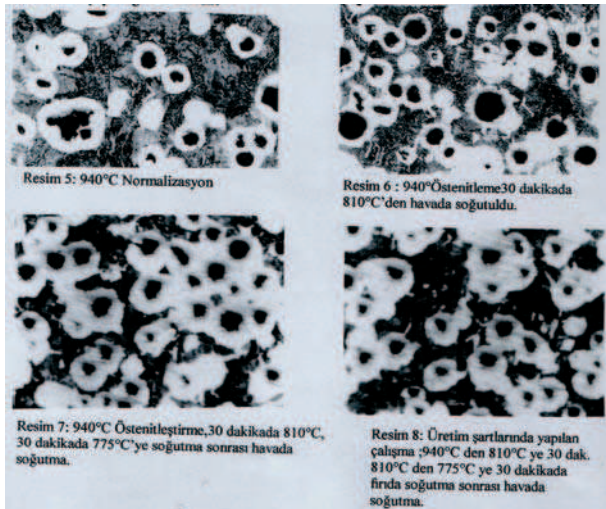
Yüzey sertlikleri : 187 –197 HB

Çekirdek sertlikleri :187 – 207 HB olarak ölçüldü.

#### IV. Aşama Çalışma Özeti ( Çalışma Üretim Şartlarında Yapılmıştır.)

Östenitleştirme Sıcaklığı °C	2. Sıcaklık °C	2. süre (dak.)	3. Sıcaklık °C	3. Süre (dak.)	Çekirdek Sertliği	Yüzey Sertliği	% Perlit
940	810	30	775	30	179-201	179-207	25-55
940	810	30	775	30	187-207	187-197	25-50

Resim 5,6 ve 7 de laboratuvar şartlarında yapılan çalışmalarda oluşan; Resim 8’de üretim şartlarında oluşan mikro yapılar görülmektedir.



#### SONUÇ

KGDD’in ısı işleminin mekanizması çeliğin ısı işlemindeki dönüşüm mekanizması ile benzerdir, ancak KGDD’de dönüşümlerin oluşma seviyeleri difüzyon’a bağlıdır. Difüzyon’ a bağlı dönüşümlerde ise zaman, sıcaklık ve alaşım elementleri belirleyici etkenlerdir.

Farklı kesitler arasında düzgün sayılabilecek bir mikro yapı dağılımı sağlanabilmesi, ısıtma ve soğutmanın homojen olması ile yakından ilgilidir. Bu çalışmada parça dış yüzeyi ile merkezi arasında dengeli sayılabilecek bir ısı dağılımının ısıtma esnasında, özellikle ~500 - 700°C seviyelerindeki düşük sayılabilecek sıcaklıklarda, sağlanamadığını gösteren mikro yapılar gözlenmiştir.

Yüksek sıcaklıklardan fırında soğutulmalarda ise daha homojen dağılımlı mikro yapıların elde edilmesi, parça içindedeki homojen ısı dağılımı sağladığını düşündürmüştür.

Tümü ile östenitik yapıların havada soğumaları hariç, ısıtma veya soğutma ile oluşturulan : Ferritik, Ferritik – Perlitik veya Ferritik – Östenitik yapıların havada soğutulmaları sonunda mikro yapıda ferrit miktarında belirgin bir artış gözlenememiştir.

#### REFERANSLAR

- 1 - A.Javid , C.Loper Jr. Solid State Graphitization in normalized and annealed Ductile Cast Iron ,AFS, 1988.
- 2 –Roy Elliot, Cast Iron Technology, Butterwoths, 1988
- 3 – Stephen I. Karsay , Ductile Iron I Production, QIT ,1976
- 4 - Bela V. Kovacs, ‘Heat Treatment’ Ductile Iron Handbook. AFS, 1993.
- 5 – R.C. Voigt, C.R Loper, Ductile Iron Matrix Structure Formation, AFS, 1996



## ÇİMSATAŞTA OLASI KGDD ISIL İŞLEMİ ÇALIŞMALARI

Mevcut pratikte Çimsataşta GGG40, 50,60 kalitelerinde KGDD üretilmektedir.

GGG 40 'ta olası yapı problemi olarak perlit miktarının %10 un üzerine çıkması ihtimali vardır ve bu yapıyı düzeltebilmek için parçaların 800°C ye ısıtılıp bu sıcaklıkta 25 mm kalınlık için 1 saat ve difüzyon için artı 1 saat bekletilip parçaların fırında soğutulmasının uygun sonuç verdiği daha önceki çalışmalarda tesbit edilmiştir.

GGG 50 için bu çalışmada sağlanan sonuçların bundan sonrada yaşanması olası yapı sorunlarını çözmekte yeterli olacağı düşünülmektedir. Bu düşüncenin hareket noktasını oluşturan temel varsayım 940°den 810°C ye ve 775°C ye 30 ar dakikalık kademeli soğutmaların yapının oluşumu için uygun difüzyon hızı ve miktarının sağlanmış olduğudur.

Genel olarak söz konusu malzemenin Cu dahil ana kompozisyonunun sabit kalacağı varsayılmıştır. Cu miktarının herhangi bir nedenle daha düşük olması durumunda çalışma benzer biçimde yapılarak parçaların havada soğutulmaya alınacakları sıcaklığın daha yüksek tutulması gerektiği , daha yüksek Cu seviyelerinde ise hem fırında soğutma sürelerinin uzatılması , hem de havada soğumaya alma sıcaklığının düşürülmesi gerekebileceği düşünülmelidir.

Bekleme süreleri ve havada soğumaya alma sıcaklıklarının ilk seçimleri bu çalışmadan yararlanılarak yapılabilir ancak kısa bir laboratuvar çalışması ile öngörülerin doğruluğu teyit edildikten sonra üretim şartlarına taşınması yararlı olacaktır.

GGG 60 malzemenin ısı işlem ile düzeltme

ihtiyacı ortaya çıkabilecek iki durum vardır:

Sertlik ve/veya perlit miktarının düşük olması yada sertliğin yüksek olması .

Sertlik ve/veya perlit miktarının düşüklüğü halindeki durum için bu çalışma içinde bir gurup parça 940°C ye ısıtılıp 25 mm kalınlık için 1 saat ve difüzyon için artı 1 saat bekletildikten sonra havada soğutulmuş ve uygun sonuç alınmıştır, ancak çalışmanın üzerinde yoğunlaştığı asıl malzeme olmaması nedeni ile uygun sonuç alınan tek partilik bir çalışmadan sonra çalışma zenginleştirilememiştir.

Bu çalışmadan yararlanılarak böyle bir ısı işlem sonrası da sertliklerin düşük çıkması durumunda parçaların (muhtemelen hareketli hava ile ) daha hızlı soğutulması , sertliklerin üst limitten yüksek olması durumunda ise 910°C nin altındaki sıcaklıklara fırında ve takiben havada soğutularak uygun sertlik seviyesine inilmelidir.

Döküm durumunda sertlikleri yüksek çıkan GGG 60 malzemeler için 650°C nin üzerinde uygun sıcaklıklar seçilerek sertlik sınırları içine girmek mümkün olmakla birlikte bu çalışmada yapılan gözlemlerde oda sıcaklığından 650°C nin üzerindeki sıcaklıklara ısıtılarak temperlenmesi sonucu oluşan yapılarda ferrit ve perlit bölgeleri geniş öbekler halinde oluşmuştur.

Östenit sıcaklığından fırın içinde 910°C nin altına soğutmalarda ( bu çalışmada GGG50 için 810°C ve 775°C ye ) oluşan yapı daha ince taneli ve homojen dağılmış bir yapıdır ve önerimiz Östenit dönüşümünden sonra parçalarda uygun sertliğin sağlanacağı sıcaklığa kadar parçaları fırında soğuttuktan sonra havada soğutmaktır.

ÇİMSATAŞ- MERSİN 2002