

45159

**DÖKME DEMİRLERDE İNDÜKSİYONLA
YÜZEY SERTLEŞTİRME**

Osman TORUN

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı
Kasım - 1995**

**DÖKME DEMİRLERDE İNDÜKSİYONLA
YÜZEY SERTLEŞTİRME**

45159

Osman TORUN

**Osmanğazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmenliği Uyarınca
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman : Doç.Dr.Abdullah ÖZSOY

Eskişehir - 1995

Osman TORUN ' un YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı
" DÖKME DEMİRLERDE İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME " başlıklı
bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

17. / 11. / 1995

Üye : Doç.Dr.Abdullah ÖZSOY
(Danışman)



Üye : Doç.Dr.Remzi GÖRLER

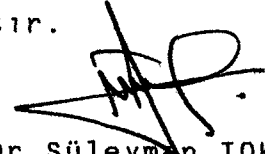


Üye : Yrd.Doç.Dr. Nedret AYDINBEYLİ



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.11.1995 gün
ve 95-29.19 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Süleyman TOKUR
Enstitü Müdürü



ÖZET

Küresel grafitli dökme demir , kompleks yük ve aşınma şartlarında çalışan çeşitli parçaların imalinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, küresel grafitli dökme demir ham döküm haldeyken, daha düşük mekanik özelliklere sahip olduğu için(özellikle düşük aşınma direnci) servis koşullarında hata durumları ve makinalarda hızlı aşınma durumları gözlenir. Küresel grafitli dökme demirin kullanım sahasını genişletmenin yollarından birisi , aşınma direncini ve mekanik özellikleri arttıran ve dökme demirin ısıtılma işlemini kuvvetlendiren indüksiyonla sertleştirme uygulamasıdır.

Bu çalışmada , perlitik küresel grafitli dökme demir numunelerin yüzeyleri yassı tabanlı indüktörle ısıtılmış ve bu numunelerin bir kısmı suda sertleştirilmiş , bir kısmı da 225 °C ve 375 °C 'de tuz banyosunda östemperlenmiştir. Tüm numunelerde , aşınma deneyi yapılmış ve ağırlık kayıpları gözlenmiştir. Ayrıca , ısıtılma işleminden sonra bütün numunelerde, mikroyapı çalışması yapılmıştır.

Isıtılma işlem sonrasında , bütün numunelerin sertlik değerlerinde önemli artışlar gözlenmiştir. Bunun yanında, aşınma sonrası en az ağırlık kaybı sertleştirilen numunelerde gözlenmiştir.

SUMMARY

Cast iron with spheroidal graphite has obtained wide use for the production of various parts which in the majority of cases operate under complex conditions of loading and wear. However, since cast iron with spheroidal graphite in the as cast condition possesses relatively low mechanical properties (especially wear resistance), under service conditions cases of failures and rapid wear of machines are observed, which limits the use of this cast iron for heavily loaded parts. One of the means of broadening the area of use of cast iron with spheroidal graphite is the use of induction hardening, which makes it possible to increase the wear resistance and mechanical properties of cast iron with spheroidal graphite intensify the heat treatment of casting.

In the study, perlitic cast iron with spheroidal graphite specimens were heated by a pancake inductor and several of those specimens were hardened in water, other specimens were austempered at 225 °C and at 375 °C in the salt bath. After wear experiment was applied to all the specimens weight losses were observed. In addition, after heat treatment, microstructure studies were made for specimens.

After heat treatment, increasing hardness values were observed. However minimum weight losses were observed on hardened specimens.

TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans öğrenimim boyunca yapıcı uyarı ve desteklerini gördüğüm hocam Sayın Doç.Dr. Abdullah ÖZSOY 'a bu çalışmadaki katkılarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Tezimle ilgili deneylerin yapılmasında , Şeker Makina Fabrikasında bulunan indüksiyon ısıtma cihazından faydalanmam için yardımlarını esirgemeyen Sayın Mak. Yük.Müh.Yaşar ÖZÜDOĞRU 'ya ve metalografik incelemeler sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Grv. Osman Nuri ÇELİK'e teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜRLER	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON	2
2.1. Akım Geçen Bir İletken Etrafındaki Manyetik Alan	2
2.2. Histerisiz Kayıpları ve Fuko Akımı Kayıpları	3
2.2.1 Histerisiz akımı kayıpları.....	3
2.2.2. Fuko akımı kayıpları	3
2.3.3. Fuko akımlarına uygulanan temel elektrik kanunları.....	4
3. İNDÜKSİYONLA ISITMADA KULLANILAN GÜÇ KAYNAKLARI.....	4
3.1. Hat Frekanslı Sistemler	5
3.2. Motor-Jeneratör Sistemleri	6
3.3. Yarı iletken Sistemler	7
3.4. Vakum Lambalı Sistemler	7
4. BOBİN SEÇİMİ VE TASARIMI	11
5. FREKANS ,GÜÇ VE ISITMA SÜRESİ SEÇİMİ	14
5.1. Frekans Seçimi	15
5.2. Güç Seçimi	16
5.3. Isıtma Süresi Seçimi	17
6. SU VERME İŞLEMİ	18
6.1. Suda Su Verme	19
6.2. Poliglolikol Alkol Solisyonları	20
6.3. Yağda Su Verme	20
6.4. Havada Su Verme	22

İÇİNDEKİLER (devam)

7. ÇELİKLERDE İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME	22
7.1. İlk Yapının Etkisi	23
7.2. Östenitleme Sıcaklığının Etkisi	27
8. DÖKME DEMİRLERDE İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME ...	30
8.1. Gri Dökme Demirlerde İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme	30
8.2. Gri Dökme Demirlerin Östemperlenmesi	31
8.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme	32
8.4. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Östemperlenmesi	37
9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
9.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme	39
9.2. Deneylerin Yapılışı	40
9.2.1. Uygulanan ısıtma işlemleri	40
9.2.2. Aşınma deneyleri	42
9.2.3. Mikroyapı çalışmaları	43
9.3. Deney Sonuçları	43
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

2.1. Manyetik alan ve akımın birbirine bağlı olarak değişimi	2
2.2. Bir bobinin meydana getirdiği manyetik alan	3
4.1. İndüksiyonla ısıtmada yaygın olarak kullanılan bobin çeşitleri	11
4.2. Çeşitli uygulamalarda kullanılan bobin tipleri ...	12
4.3. Çeşitli bobin tiplerinin modeller üzerindeki etkileri ve bobin verimleri	13
4.4. Hava aralığının ısı dağılımına etkisi	14
5.1. Çeşitli frekanslar için, 1045 tipi çelik çubuklarda enerji aktarma verimi	15
5.2. Farklı çelikler için, uygun indüktör girdisi eğrileri	18
6.1. İndüksiyonla sertleştirmede kullanılan çeşitli su verme teknikleri	21
7.1. SAE 1050 çeliğinde ilk yapının indüksiyonla sertleşmeye etkisi	25
7.2. İlk yapı ve ısıtma hızının, 1042 çeliğinde Ac dönüşüm sıcaklığına etkisi	26
7.3. 3 kHz frekansta ilk yapının, 1041 çeliğinde indüksiyonla sertleşmeye etkisi	26
7.4. 450 kHz frekansta ilk yapının, 1070 çeliğinde indüksiyonla sertleşmeye etkisi	27
7.5. 1050 çeliğinde östenitleme sıcaklığının ve ısıtma süresinin östenit tane büyüklüğüne etkisi	28
7.6. 6150 çeliğinde östenitleme sıcaklığının ve ısıtma süresinin östenit tane büyüklüğüne etkisi	28
8.1. Östemperlenmiş gri dökme demirin sertliğine izotermal dönüşüm sıcaklığının etkisi	32
8.2. % 50 ferrit içeriğine sahip normalize edilip, temperlenen ve indüksiyonla sertleştirme sonucu 50 HRC sertlik değeri elde edilen K.G.D.D'de grafit miktarının sertleşme derinliğine etkisi ...	33
8.3. Küresel grafitli dökme demirlerin indüksiyonla sertleştirilmesinde uygun östenitleme sıcaklığı seçimi için kullanılan nomoğraf	35
8.4. Esas bileşiminde % 3.6 -3.8 C, % 2.4-2.6 Si, % 0.02 S, % 0.04-0.06 Cr, % 0.05-0.07 P, % 0.04-0.05 Mg olan K.G.D.D'de alaşım elementlerinin sertliğe etkisi	36
8.5. Farklı sıcaklıklarda 30 dak. süre ile östemperlenmiş SG60'de kalıntı östenit miktarı....	37
8.6. Farklı sıcaklıklarda 30 dak. süre ile östemperlenmiş SG42'de kalıntı östenit miktarı....	38
8.7. Farklı sıcaklıklarda 60 dak. süre ile östemperlenmiş alüminyum alaşımlı K.G.D.D'de aşınma	38
9.1. Deneylerde kullanılan malzemenin orjinal mikroyapısı	39
9.2. Deneylerde kullanılan numunelerin boyutları	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

9.3.Deneylerde kullanılan indüksiyon ısıtma cihazı ...	41
9.4.Deneylerde kullanılan yassı bobin	41
9.5.Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin boyutları	42
9.6.Aşınma deneyinde kullanılan aparat ve ağırlık ...	42
9.7.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılıp suda su verilen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	44
9.8.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılıp suda su verilen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	45
9.9.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılıp, 225°C 'de östemperlenen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	45
9.10.2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılıp, 225°C 'de östemperlenen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	46
9.11.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılıp, 375°C 'de östemperlenen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	46
9.12.2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılıp, 375°C 'de östemperlenen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı	47
9.13.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, suda su verilmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı	48
9.14.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, suda su verilmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı.....	48
9.15.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, suda su verilmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı.....	49
9.16.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 225°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ..	49
9.17.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 225°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	50
9.18.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 225°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	50
9.19.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 225°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	51
9.20.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 375°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	51
9.21.2.7 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 375°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	52
9.22.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 375°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	52
9.23.2.75 kW güçte , indüksiyonla ısıtılmış, 375°C 'de östemperlenmiş K.G.D.D. numunenin mikroyapısı ...	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
3.1.İndüksiyonla ısıtmada yaygın olarak kullanılan güç kaynaklarının karakteristikleri	5
3.2.İndüksiyonla ısıtmada kullanılan hat frekanslı sistemlerin karakteristiği	6
3.3.Motor jeneratör sisteminin karakteristiği.....	8
3.4.Orta frekans yarı iletken sistemlerin karakteristikleri	9
3.5.Vakum lambalı indüksiyonla ısıtma donanımının karakteristikleri	10
5.1.İndüksiyonla sertleştirmede yaygın olarak kullanılan güç kaynakları	16
5.2.İndüksiyonla yüzey sertleştirmede gerekli güç yoğunlukları	17
7.1.İndüksiyonla sertleştirmede kullanılan çelik türleri ve elde edilen sertlik değerleri	24
7.2.Farklı karbon içerikli çelikler için östenitleme sıcaklıkları ve elde edilen sertlik değerleri	29
8.1.Bazı dökme demirler için su verme sıcaklığı ve sertlik değerleri	30
8.2.Farklı karbon içerikli gri dökme demirlerin yüzey sertlik değerleri	31
8.3.İsıtma hızına, östenitleme sıcaklığına ve grafit miktarına bağlı olarak sertlik değerleri	34
8.4.Esas bileşiminde % 3.6 -3.8 C, % 2.4-2.6 Si , % 0.02 S , % 0.04-0.06 Cr , % 0.05-0.07 P , % 0.04-0.05 Mg olan K.G.D.D'de alaşım elementi içerikleri	36
9.1.Deneylerde kullanılan malzemenin bileşimi	39
9.2.Numunelere uygulanan ısıtma işlemleri ve deneysel parametreler	40
9.3.Deneylerde kullanılan numunelerin ısıtma işlem ve aşınma sonrası sertlik değerleri	43
9.4.Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerde , 4 dakikalık periyotlarla belirlenen aşınma kayıpları	44

1.GİRİŞ

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde ilerlemesi, çeliklerde ve dökme demirlerde , mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla,diğer yöntemlerden daha iyi şartlar sağlayan indüksiyon ısıtma işlemini ortaya çıkarmıştır.

İndüksiyon 1830 yılında Faraday deneyleri ile keşfedilmiş ve indüksiyondan yararlanılarak ilk ısıtma işlemi,çelikten imal edilen traş bıçaklarında 1930 yılında denenmiştir. Bu tarihten itibaren özellikle çeliklerin yüzey işlemlerinde yaygın olarak kullanılmış,son yıllarda ise çeliğin yanında dökme demirlerde de kullanılmaya başlanmıştır ve halen devam etmektedir.

İndüksiyonla yüzey sertleştirme işleminde ,kullanılan güç kaynaklarından faydalanılarak,uygulanan frekans , verilen güç yardımıyla,seçilen ısıtma süresine de bağlı olarak ,istenilen sertlik ve sertleşme tabakası derinliği kolaylıkla kontrol edilebilir.Sertlik ve sertleşme tabakasının kontrolü , diğer yöntemlere göre en büyük üstünlüktür.

Bu nedenle , malzeme tokluğunu ve yorulma mukavemetini iyileştiren ve kimyasal bileşimi etkilemeden malzemenin yüzeylerini sertleştirerek aşınma direncini arttıran indüksiyonla Yüzey Sertleştirme ısıtma işlemi günümüzde en çok tercih edilen , diğer yöntemlere göre avantajı çok, dez avantajı oldukça az olan bir ısıtma işlemi yöntemidir.

Bugün endüstride çelik ve dökme demirlerden imal edilen, dişliler, krank milleri , kam milleri , transmisyon milleri, emniyet vanaları, tren yolu rayları, haddehane merdaneleri ve bunlara benzer bir çok parçalarda indüksiyonla yüzey sertleştirme ısıtma işlemi yapılmaktadır.

Özellikle son yıllarda , CNC tezgahlarının kullanımı, indüksiyon yüzey sertleştirme ve tam sertleştirme ısıtma işlemine oldukça fazla kolaylıklar getirmekte ve geliştirilen çeşitli programları ile bir çok farklı uygulamalarda kullanım alanı sağlamaktadır.

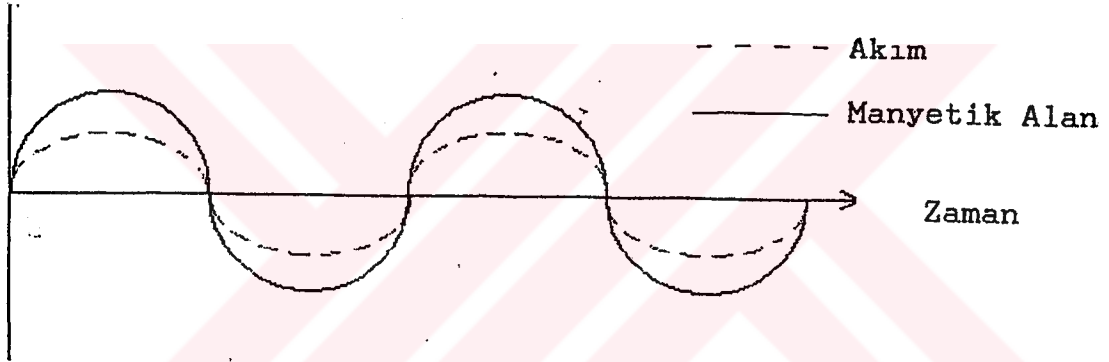
2.ELEKTROMANYETİK İNDÜKSİYON

İletken bir malzemenin , değişken bir manyetik alan içerisinde konması ile ortaya çıkan ısınma olayına indüksiyon ısınması adı verilir.

İndüksiyonla ısınmanın en basit ve genel şekli transformatör çekirdikleri ile motor plakaları içinde manyetik kayıplarla ortaya çıkan ısıdır.Ancak bu tür ısınma, istenmeyen bir özelliktir. Buna karşılık bu tür ısınma olayından faydalanarak ayrı bir endüstri konusu gelişmiştir (Güney ,1994).

2.1. Akım Geçen Bir İletken Etrafındaki Manyetik Alan

Bir iletken içinden akım geçtiğinde , iletkenin etrafında bir manyetik alan oluşur. Bu alanın yönü şekil 2.1 ' de görüldüğü gibi akımın yönüne bağlıdır ve sağ el kuralı ile bulunur.

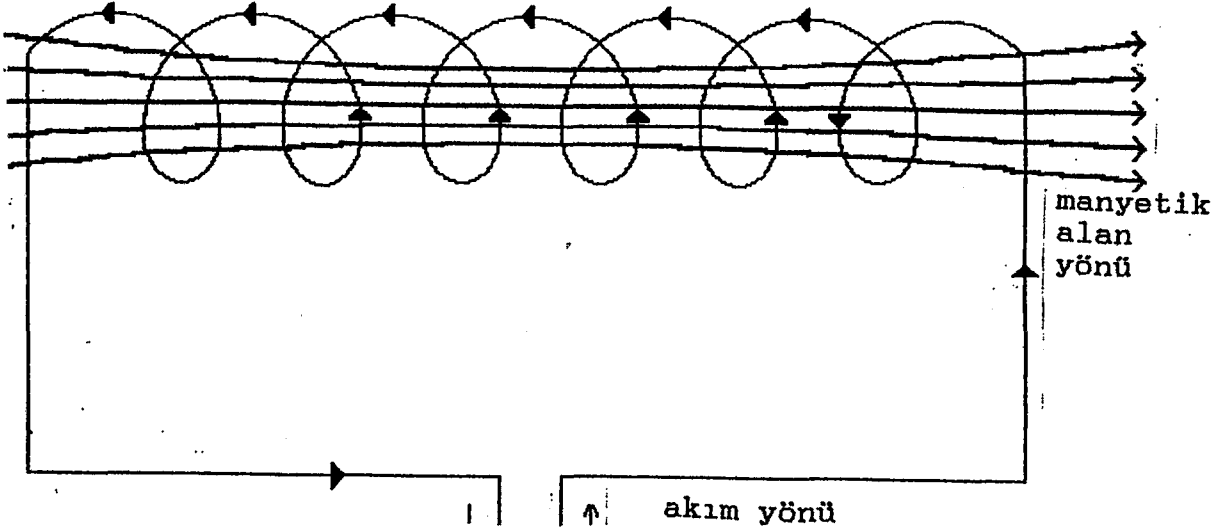


Şekil-2.1 : Manyetik alan ve akımın birbirine bağlı olarak değişimi (Güney,1994).

Söz konusu iletken şekil 2.2 ' de gösterilen dairesel bir selenoid bobin gibi bükülürse , değişik sarımlardan geçen akımın etkileri birbirine eklenir ve manyetik alan düzgün ve bobinin dışındaki manyetik alana oranla çok daha kuvvetlidir.

Bir iletken içerisinde alternatif akım geçtiğinde,akım iletken üzerinde düzgün dağılmaz. Değişken manyetik alan nedeniyle,iletken içinde karşı bir gerilim oluşur. Bu gerilim iletkenin ortasında en büyük değeri alır.Bundan dolayı akım yoğunluğu iletkenin ortasına doğru azalır. Bu oluşum " Skin Effect" yani kabuk etkisi olarak adlandırılır.

İletkenden alternatif akım geçtiğinde kabuk etkisi nedeniyle kesitin ancak bir kısmı yararlı olmaktadır. İletken kesitinin küçülmesi , iletkenin direncini yükseltmektedir. Ayrıca frekansın yükselmesi ile birlikte kabuk etkisi artmakta,ısıtma derinliği azalmaktadır (Güney,1994).



Şekil-2.2 : Bir bobinin meydana getirdiği manyetik alan (Güney,1994).

2.2. Histerisiz Kayıpları ve Fuko Akımı Kayıpları

Bilindiği gibi indüksiyonla ısınma değişken bir manyetik alan içine konan elektriksel olarak iletken malzemelerde ortaya çıkmaktadır. Bu ısınmanın esas kaynağı histerisiz kayıpları ve fuko akımı kayıplarıdır(Mersin ve Tüfekçi,1980).

2.2.1. Histerisiz kayıpları

Histeris kayıpları sadece çelik,nikel vb.bir kaç manyetik malzemede meydana gelir. Bu kayıplar, malzeme önce bir yönde sonra diğer bir yönde mıknatıslandığı zaman ortaya çıkar.

Malzeme önce bir yönde daha sonra diğer yönde mıknatıslandığı zaman malzemede bir ısınma meydana gelir bu ısınmanın nedeni histerisiz kayıplarıdır.(Dalfes,1984)

2.2.2. Fuko akımı kayıpları

Bu kayıplar değişken bir manyetik alan içinde oluşur. Bu olay; demir ve çelikte görülen manyetik özelliklere sahip olmayan malzemelerde bile ısınmaya yol açar. Bu malzemeler arasında Bakır, Piring, Zirkonyum, manyetik olmayan Paslanmaz Çelik ve Uranyum sayılabilir. Fuko akımlarıyla ortaya çıkan ısı, lamba flamanı ve dirençli ısıtıcı içinden geçen akımda olduğu gibi, güç ile bulunur. indüksiyonla ısıtma çalışmalarında fuko akımlarının bu özellikleri ile fazla ilgilenilir. Ancak burada belirtilmesi gereken ilk şey bu akımlarda basit elektrik kanunlarına uyulmasıdır. Fuko akımı kayıpları, indüksiyonla ısıtmada histeris kayıplardan çok daha fazla önem taşır. Kısaca bunu şöyle açıklayabiliriz; elektrik enerjisinin indüksiyon yolu ile ısıya dönüştürülmesinde tek yol, fuko akımlarının I^2R formülü ile hesaplanan güç değeridir (Güney,1994).

2.2.3. Feko akımlarına uygulanan temel elektrik kanunları

iletken içinden akım geçtiği zaman direnç yüzünden bir güç harcaması olur. Bu güç, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşme miktarıdır.

Ohm kanunu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$I = \frac{V \text{ (Volt)}}{R \text{ (Ohm)}}$$

iletkenin direnci :

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

ρ : iletkenin özgül direnci, (Ohm-cm)

l : iletkenin uzunluğu, (cm)

A : iletkenin kesit alanı, (cm²)

Elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşme miktarı aşağıdaki eşitlik 'teki gibi bulunur. Bu ısı, feko akımları ile ortaya çıkan ısıdır. Akımın karesi ile doğru orantılı olup, akım yönüne bağlı değildir.

$$P = I^2 R$$

P : Güç, (watt)

I : Akım şiddeti, (amper)

R : Direnç, (ohm) (Güney 1994).

Değişken bir manyetik alan, bir elektromotor kuvvet yaratmaktadır. Bu, malzeme içine indüklenen gerilimdir.

$$e.m.k = - \frac{d\phi}{dt}$$

$\frac{d\phi}{dt}$: Manyetik alanın değişme hızı (akı/sn)

3. İNDÜKSİYONLA ISITMADA KULLANILAN GÜÇ KAYNAKLARI

Endüstriyel uygulamalarda, çeşitli parçaların indüksiyonla ısıtılması için geniş frekans aralıkları kullanılır. Bu frekansları sağlamak için çeşitli güç kaynakları üretilmiştir. Isıtılacak parçaların yüzeylerine ve ısıtılması gereken derinliklere bağlı olarak, bu güç kaynaklarından yararlanılır. Parçaya ve derinlik miktarına bağlı olarak

frekanslar 50 Hz ile 10 MHz arasında değişmekte ve buna bağlı olarak kullanılan güç kaynakları da değişebilmektedir.

Güç kaynaklarını orta frekanslı jeneratörler ve yüksek frekanslı jeneratörler diye ikiye bölüme ayırmak mümkündür. Orta frekanslı jeneratörlerde frekanslar 50 Hz ile 10 kHz arasında değişmektedir. Yüksek frekanslı jeneratörlerde ise bu aralık 70-100 kHz dir. Endüstride genellikle 10 -70 kHz aralığındaki frekanslardan yararlanılmaktadır (Vologdin 1969).

Bugün endüstride üretilmekte ve kullanılmakta olan orta frekanslı jeneratörler, Hat frekanslı sistemler, Motor - jeneratör sistemleri, Yarı iletken sistemlerdir. Yüksek frekanslı jeneratörler ise Vakum lambalı sistemlerdir (Stutz, 1986). Bu jeneratörlerin karakteristikleri çizelge 3.1 'de gösterilmektedir.

Çizelge-3.1 : indüksiyonla ısıtmada yaygın olarak kullanılan güç kaynaklarının karakteristikleri (Stutz, 1986).

Güç kaynakları	Frekans	Güç	Verim
Hat frekansı	60 Hz	100 kW-100 MW	90-95
Motor-jeneratör	500 Hz-10 kHz	10 kW- 1 MW	75-85
Yarı iletken	180 Hz-50 kHz	1 kW- 2 MW	75-95
Vakum lambalı	50 kHz-10 MHz	1 kW-500 kW	50-75

3.1.Hat Frekanslı Sistemler

Hat frekanslı sistemlerin en önemli avantajı sabit bir frekansa sahip oldukları için güç kayıplarının meydana gelmemesidir. Yani bu sistemlerde, frekans dönüştürücüleri kullanılmadığı için güç kayıpları ihmal edilebilmektedir. Bu sistemlerin bakımı kolay olup, bağlantı donanımı, güç faktörü, düzeltme kapasitörleri, kontrol devreleri, standart değerlerden seçilebilmektedir. Diğer problemler, radyasyon kayıpları, boş alan ısıtması ve istenilmeyen farklı frekanslarda indüklenmiş akımlar önemsizdir. Temel aletlerin maliyeti de diğer jeneratör sistemlerine göre daha ucuzdur .

Düşük frekanslı ısıtmada temel dezavantaj, özellikle 60 Hz de bir iş parçasına giren güç ve manyetik bobin şiddeti

azalır.Bu sistemler genellikle parçaların tam ısıtılmasında kullanılabilir.Yani sadece yüzeyde bir ısıtma mümkün değildir

Yüksek güç seviyesi gerektirdiğinden,daima dengelenmiş üç fazlı sistemler kullanılır.Bunun yanında da demir dışı malzemelerde tek sarımlı bir indüktör kullanımı şartı da aranmaktadır (Stutz,1986). Çizelge 3.2 ' de hat frekanslı sisteme ait karakteristikler gösterilmektedir.

Çizelge-3.2 : indüksiyonla ısıtmada kullanılan hat frekanslı sistemlerin karakteristiği (Metals handbook,1985).

60 Hz,çıkış kW	Faz	60 Hz,giriş voltaj
55	1	220/440
75	1	220/440
85	3	220/440
150	3	220/440
185	3	220/440
195	3	220/440
		2300/4160
300	3	220/440
		2300/4160
370	3	220/440
		4160/4800
425	3	220/440
		4160/4800
575	3	2300/4160/4800
650	3	2300/4160/4800
775	3	2300/4160/4800
875	3	2300/4160/4800

3.2.Motor-Jeneratör Sistemleri

Endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan Motor-Jeneratör sistemlerinde frekans aralığı 500 Hz ile 10 kHz arasında değişmektedir. Bu sistemler,üç fazlı elektrik motoru içerirler ve hat frekansı kaynağı ile bağlantılıdır(Volodgin, 1969).

indüksiyon motorları jeneratörle aynı taban üzerinde birleşik olduğu gibi ayrı ayrı monte edilmiş halde de olabilirler. Bu tip sistemlerde kullanılan motor senkron tipinde veya indüksiyon tipinde olabilirler. Senkron olarak

kullanılan sistemler yatay olarak, jeneratörlerden ayrı olarak monte edilirler. Bazı sistemler jeneratör frekansında düşme ve hafif sapmalarla, 50 Hz 'lik güç kaynağı ile birlikte kullanılırlar (Metals handbook, 1985). Çizelge 3.3'de 60 Hz 'lik güç kaynağı ile kullanılan sistemler için nominal değerleri içermektedir.

3.3. Yarı İletken Sistemler

Bu sistemler 180 Hz ile 50 kHz arasında frekanslar üretebilirler. Çeşitli tiplerde güç kaynakları kullanılmakla birlikte, hepsi de 60 Hz 'lik ana hat frekansını, daha yüksek verim ile daha yüksek frekanslı tek faza dönüştürür. Hem sabit hem de değişken frekanslı çıkış üniteleri mevcuttur.

Sabit frekans çıkışları, motor-jeneratörlere benzer bir şekilde yük uyumu sağlar ve sabit bir frekansta örneğin 10 kHz'de çalışır. En verimli yük uyumu için, değişken frekans üniteleri belirli bir güç aralığında çalışırlar. Değişken bir frekans aralığının gücü ve ayarı, çalışma frekansının değiştirilmesiyle ayarlanabilir.

Bir motor-jeneratörün % 75-80 'lik dönüştürme verimiyle karşılaştırıldığında yarı iletken sistemler % 90 gibi bir verime sahiptir. Aynı zamanda yarı iletken ünitelerde, motor-jeneratörlerde olan, başlama yüksek akımı yoktur. Son olarak ısıtma sırasında, lojik kontrol devreleri ile frekans kaydırma yapabilme sayesinde, kapasitör ve transformatör şalterlerinin değiştirilmesine gerek kalmaksızın yük uyumu sağlanabilir (Metals Handbook, 1985). Çizelge 3.4 'te Orta frekans yarı iletken indüksiyon ısıtma donanımının karakteristikleri gösterilmektedir.

3.4. Vakum Lambalı Sistemler

Elektronik lambalı üniteler, bir güç besleme ünitesiyle, bir osilatörden oluşur. Güç kaynağı, genellikle yarı iletken diyodlardan gelen titreşimli doğru akımı osilatör lambasına yüksek gerilim olarak verir. Osilatör bölümü, bir osilatör lambası ve uyumlu bir indüktör - kapasitör çiftinden oluşan bir birikim devresinden meydana gelir. Osilatör lambası, birikim lambasına akan gücün miktarını kontrol eder. Birikim devresindeki gücün küçük bir miktarı osilatör lambasının ızgarasına geri beslenir. Böylece lambanın çektiği akım ve sonuç olarak da birikim devresine giren enerji kontrol edilmiş olur (Metals handbook, 1985).

Dönüştürücüde oluşan frekanslar, paralel bir rezonans devresi oluşturan, birikim indüktörü ve kapasitörüne bağlıdır. Birikim devresine bağlı bir yük uyumlulaştırma devresi, birikim devresindeki enerjinin, işlenen parçaya aktarılmasını sağlar. Vakum lambası donanımının nominal verileri ve çalışma karakteristikleri çizelge 3.5 'te gösterilmektedir.

Çizelge-3.3 : Motor-Jeneratör sisteminin karakteristikleri
(Metals handbook 1985)
D:Düşey, Y:Yatay, S:Su, H:Hava

Nominal jeneratör verileri kW Voltaj		Nominal motor verileri hp Voltaj		Tam yük akımı (440 V),A	Kilitli rotor akımı (440 V),A	Tip	Soğutma
400 Hz							
30	150/220	50	220/440			Y	H
50	100/200	75	220/440			Y	H
1000 Hz							
100	400/800	125	220/440			Y	H-S
100		150		182	840		
150	660/1320	235	440 ^			D	S
175	400/800	250	440 ^	315	1540	Y-D	H-S
250	400/800	400	440 ^	465	2700	Y-D	H-S
300	400/800	500	440 ^			D	S
350	400/800	600	440 ^			D	S
350		560		645	4060		
470	880/1760	700	440 ^			Y	S
500				180(2300V)	1230(2300V)		
650	1250/2500	940	440 ^			Y	S
700	800	1000	440 ^			Y	S-H
1000	800	1500	440 ^			Y	S-H
1250	800	1950	440 ^			Y	S-H
3000 Hz							
15	220/440	25	220/440	32	194	D	S-H
20	220/440	30	230/460			D	S-H
30	220/400	50	220/440	60	350	D	S-H
50	220/440	75	220/440			D-Y	S-H
60	165/330	90	440			D	S
100	400/800	150	220/440			D-Y	S-H
150	400/800	250	440 ^			D-Y	S-H
200	400/800	300	440 ^	356	1850	D-Y	S-H
250	400/800	400	440 ^			D	S
300		460		545	2700		
300	400/800	500	440 ^			D-Y	S-H
500	800	800	440 ^			Y	S
500				180(2300V)	1230(2300V)		
600	600/1200	870	440 ^			Y	S
700	800	1000	440 ^			Y	S-H
1000	800	1500	440 ^			Y	S-H
1250	800	1950	440 ^			Y	S-H
1500	800	2100	440 ^			Y	H
2500	800	3750	440 ^			Y	H

Nominal jeneratör verileri kW Voltaj		Nominal motor verileri hp Voltaj		Tam yük akımı	Kilitli rotor akımı	Tip	Soğutma
4200 Hz							
20	220/440	30	230/460	40	325	D	S
30	220/440	50	230/460	62	325	D	S
50	220/440	75	230/460	105	550	D	S
100	220/440	75	230/440	215	915	D	S
10000 Hz							
7.5	220/440	15	220/440	18	97	D	S-H
15	220/440	30	220/440			D	S-H
15		25		32	194	D	S-H
20	220/440	40	220/440	41	214	D	S-H
30	220/440	50	220/440	60	350	D-Y	S-H
50	220/440	75	220/440			D-Y	S-H
75	400/800	125	220/440	100	725		
100	400/800	175	220/440	145	775	D-Y	S-H
150	440/800	250	440 ^			D-Y	S-H
175	400/800	300	440 ^	353		D	S-H
200	400/800	325	440 ^			D	S-H
250	400/800	400	400 ^	475	2700	D-Y	S-H
350	800	500	440 ^			Y	S-H
375				140(2300V)	900(2300V)		
700	800	1000	440 ^			Y	H-S

Çizelge-3.4 : Orta frekans yarı iletken sistemlerin karakteristikleri (Metals handbook,1985).

Çıkış kW	Giriş kV.A	480 V,Giriş 30 için akım
5	6	7
10	12	14
25	29	36
50	58	73
75	87	110
100	116	146
150	174	219
200	232	292
250	290	365
300	349	438
400	465	584
500	581	730
600	698	876
800	930	1168
1000	1163	1460
1500	1744	2190
2000	2326	2920

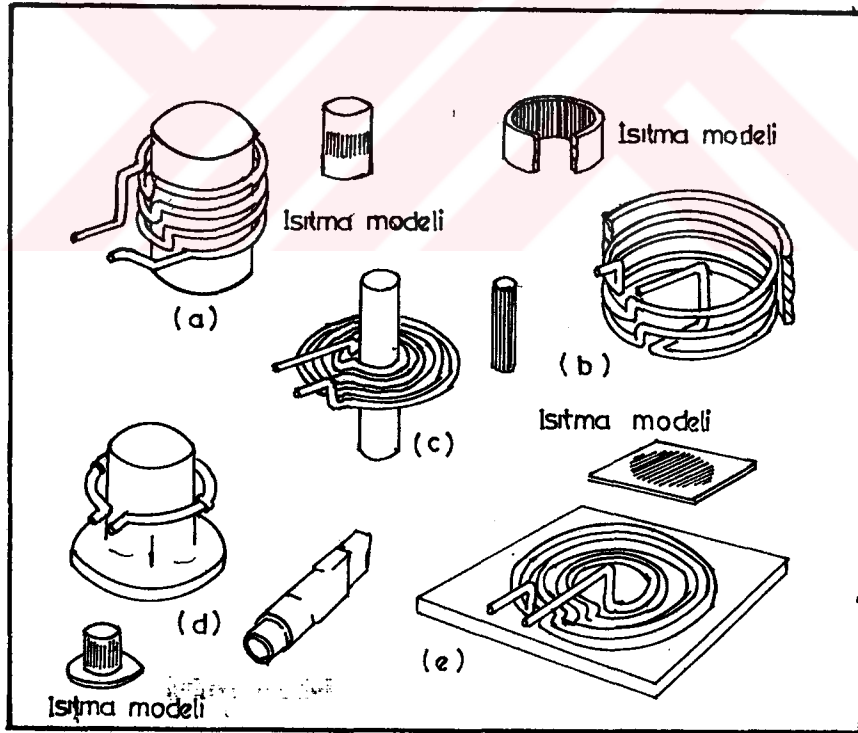
Çizelge-3.5 : Vakum lambalı indüksiyonla ısıtma donanımının karakteristikleri (Metals handbook,1985).

kW	çıkış frekansı	giriş voltajı	soğutma
Tek fazlı giriş			
0.5	450 kHz		Hava
1.0	400 kHz, 2.5 MHz, 25 MHz	110-220	Hava-Su
1.1	500 kHz	220-440	Su
1.5	450 kHz	110-220	Su
2.5	450 kHz, 2.5 Mhz, 10 MHz	220-440	Hava-Su
3.0	450 kHz, 27 MHz	220-440	Hava
4.0	450 kHz	220-440	Hava
Tek ya da üç fazlı giriş			
5.0	250 kHz, 450 kHz, 600 kHz 3.5 MHz, 4 MHz, 5 MHz	220-440	Su
7.5	250 kHz, 450 kHz, 600 kHz	220-440	Su
Üç fazlı giriş			
10	450 kHz, 3 MHz, 4 MHz	220-440	Su
15	450 kHz, 1.4 MHz, 3 MHz	220-440	Su
20	180 kHz, 450 kHz, 600 kHz 3 MHz, 5 MHz	220-440	Su
25	180 kHz, 400 kHz, 450 kHz	220-440	Su
30	180 kHz, 400 kHz, 450 kHz 1.4 MHz	220-440	Su
35	450 kHz	220-440	Su
40	180 kHz, 450 kHz	220-440	Su
50	150 kHz, 400 kHz, 450 kHz	220-440	Su
60	160 kHz, 400 kHz	440	Su
70	450 kHz	440	Su
75	180 kHz, 400 kHz	440	Su
100	160 kHz, 180 kHz, 400 kHz 450 kHz	440	Su
140	450 kHz	440	Su
150	180 kHz, 450 kHz	440	Su
200	450 kHz	440	Su
250	180 kHz, 450 kHz	440	Su
280	450 kHz	440	Su
300	450 kHz	2300	Su
450	450 kHz	2300	Su
560	450 kHz	440	Su
600	200 kHz	2300	Su

4. BOBİN SEÇİMİ VE TASARIMI

İndüksiyonla yüzey ısıtmanın ve sertleştirmenin başarısı belirli oranda uygun ve doğru bobin seçimine bağlıdır. Bobinin biçimi, ısıtılacak parçaların geometrik şekline, boyutları parçada istenilen ısı dağılımı ve ısıtma yöntemi gibi faktörlere bağlıdır. Bobin içindeki manyetik alanın şiddeti ısıtma hızını belirleyen ana faktördür. Hızlı bir ısıtma sağlamak için bobin, akımın maksimum akısını sağlaması gerekir. Ayrıca parça ile bobin arasındaki mesafenin en az olması gerekmektedir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak bobin seçimi ve tasarımı yapılır (Tekin,1991).

Bobin seçiminde ve tasarımında genellikle bakır borular kullanılır. Bunun yanında radyasyon kayıplarını büyük ölçüde azaltmak, bobinin uzun süre kullanımını sağlamak, temas hatalarının önlemek ve kabuklanma problemlerini ortadan kaldırmak amacıyla bakır bobinleri kaplamak için seramik ve refrakter malzemeler kullanılabilir (Wick ve Veilleux,1970).



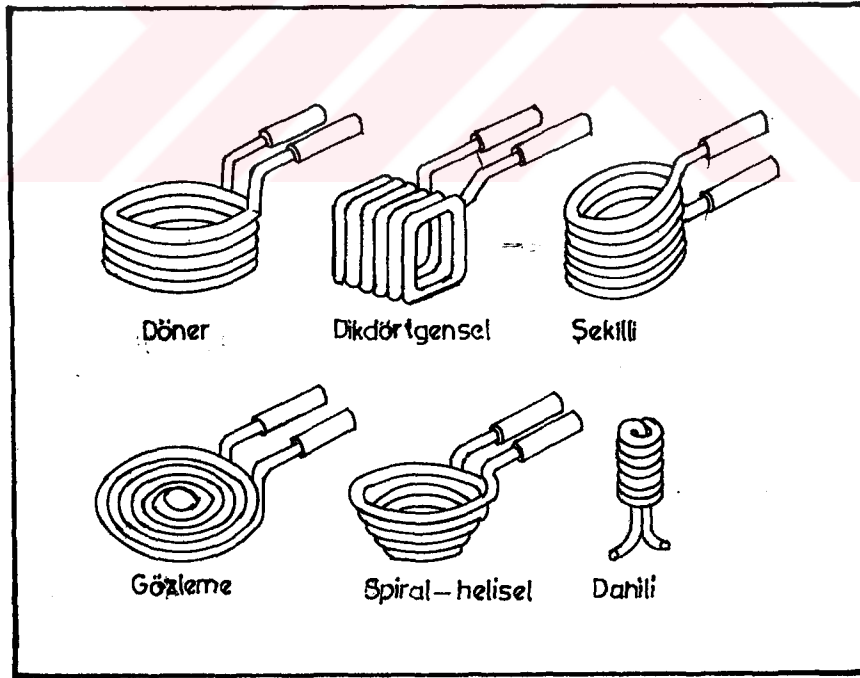
Şekil-4.1 : İndüksiyonla ısıtmada yaygın olarak kullanılan bobin çeşitleri (Stutz,1986).

Kullanım yerlerine göre bobinlerin çeşitli tiplerde tasarlanması ve seçilmesi gereklidir. Genelde tasarlanan ve kullanılan bobin tipleri şekil 4.1 'de gösterilmektedir ve aşağıdaki şekilde isimlendirilmektedir.

- a) Basit selenoid türü bobin
- b) iç çapları ısıtmak için kullanılan çok sarımlı bobin
- c) Taramalı uygulamalar için yüksek akım yoğunluğu sağlayan çok sargılı bobin
- d) Taramalı dönen uygulamalar için kullanılan tek sargılı bobin
- e) Bölgesel yüzey uygulamalarında kullanılan yassı tabanlı bobin

Bu bobin tiplerinin yanında , çeşitli uygulamalarda kullanılan farklı bobin tipleri de şekil 4.2 'de gösterilmektedir (Stutz,1986).

Bobin tipleri parçanın boyutlarına göre değişmektedir. Ayrıca kullanılan bobin tiplerine göre ısıtma verimleri de değişebilmektedir. Demir içeren metallerde kullanılan bazı bobinlerin şekilleri ve verimleri şekil 4.3 'de gösterilmektedir (Wick ve Veilleux, 1970).



Şekil-4.2 : Çeşitli uygulamalarda kullanılan bobin tipleri (Stutz,1986).

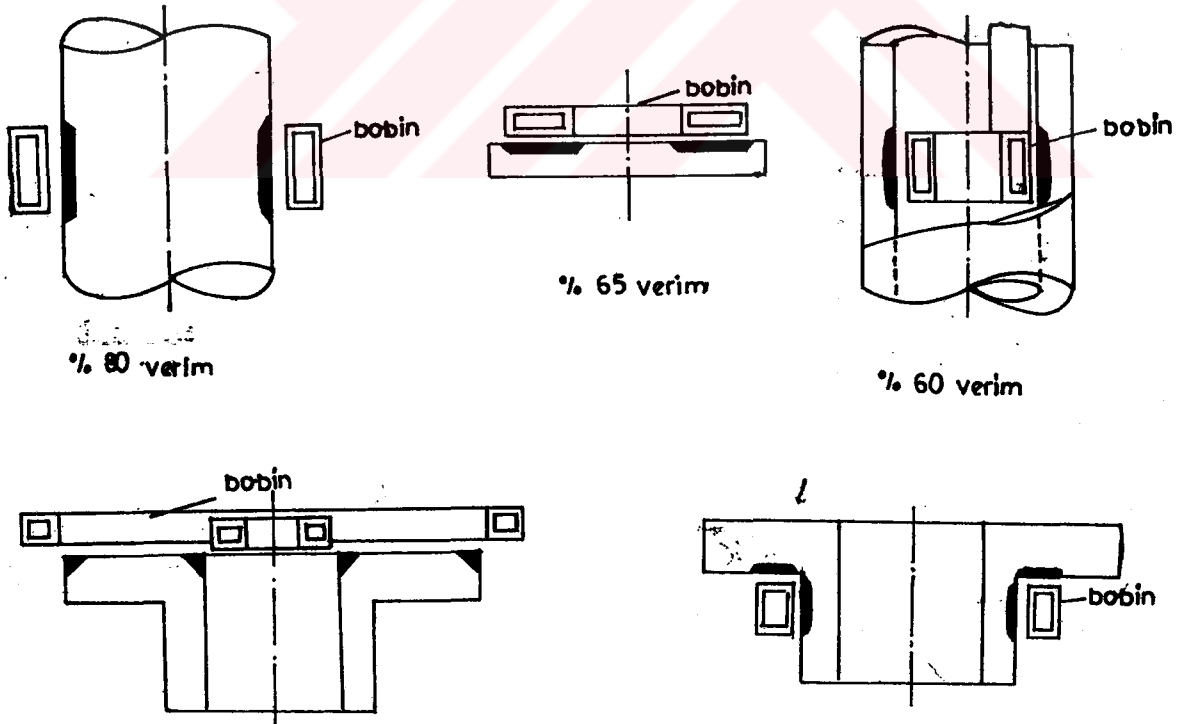
Bobinlerin yapımında kullanılan bakır boruların çapları ısıtmada çok etkin bir faktördür. Düşük güçteki sistemler için 3.2 mm çaplı bakır borular, 20-50 kW gücündeki sistemler için

4.7 - 6.4 mm çaplı bakır borular kullanılmalıdır. Çok sargılı bobinlerde, sargılar arasındaki mesafe 1.58 -2.38 mm arasında olmalıdır. Ayrıca ısıtma sırasında parça ile bobin arasındaki mesafeye de dikkat edilmesi gereklidir. Bu mesafe 1.58-3.2 mm arasında seçilmelidir (Tekin,1991).

Bobinlerde kullanılan bakır boruların et kalınlıkları parçaya ulaşan manyetik alanı doğrudan etkiler. Yani bobinde kullanılan bakır borunun et kalınlığı arttıkça, parçada oluşan manyetik alan düşüktür. Bu ise ısıtma süresi ve ısıtma derinliğini arttırır, bunu önlemek için ya uygun et kalınlığında bakır boru seçmek veya güç yoğunluğunu arttırmak gereklidir. Sistemlerdeki frekanslara göre kullanılan bobinlerin et kalınlıkları değişmektedir. İyi bir çalışma yapabilmek için et kalınlıkları şu şekilde olmalıdır.

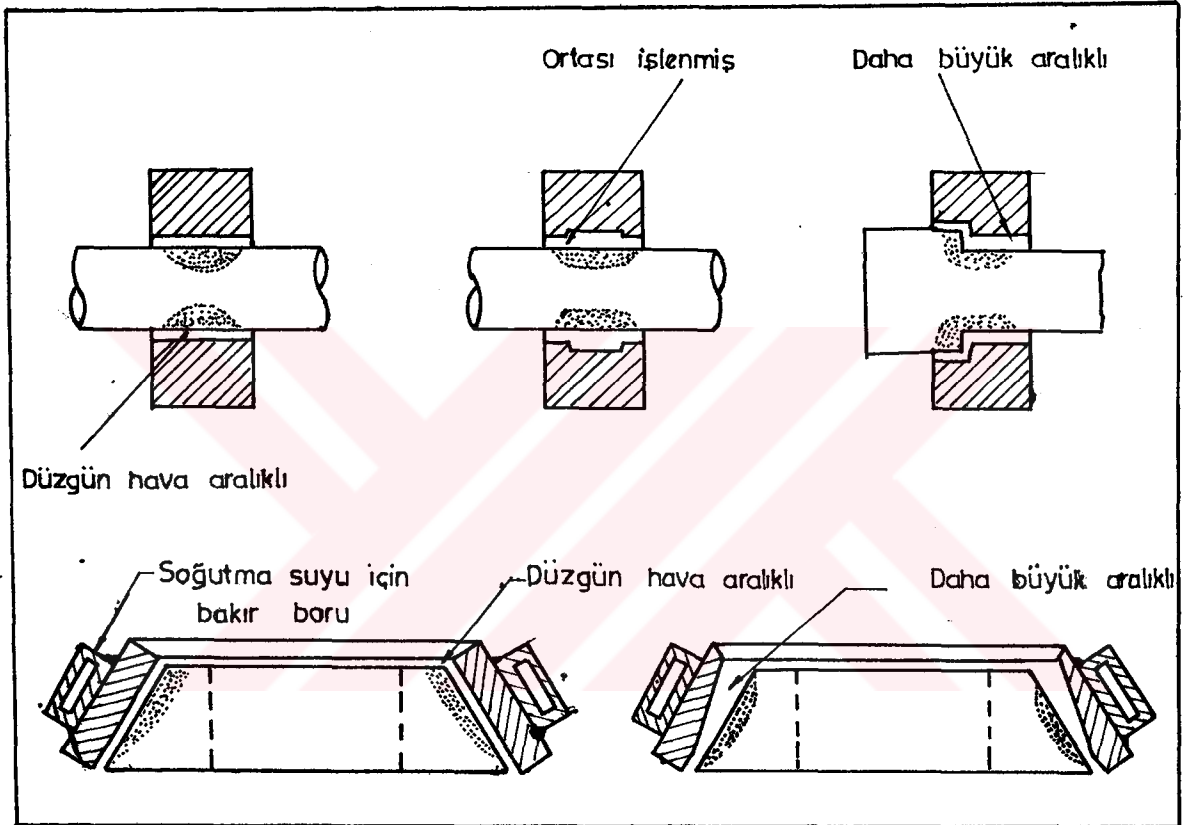
1000 Hz -	0.8048 mm
3000 Hz -	0.1778 mm
10000 Hz -	0.1016 mm

Tek sarımlı bobinlerde akım yoğunluğu yüksek olduğundan bu et kalınlıkları 3 - 4 kat daha büyük olmalıdır. Bölgesel uygulamalarda parça durağan konumda hem ısıtılır, hemde aynı konumda su verme işlemi yapılır (Tekin,1991).



Şekil-4.3 : Çeşitli bobin tiplerinin modelleri üzerindeki etkileri ve bobinlerin verimleri (Wick ve Veilleux, 1970).

Biçimleri düzensiz olan parçaların yüzeyleri ısıtılacaksa bobinin tasarımı yapılırken parçanın bobine yakın yüzeylerinin daha güçlü bir manyetik alan içerisinde olacaklarından, daha hızlı ısınacağı unutulmamalıdır. Düzgün yüzey ısıtması sağlayabilmek için parça yüzeyi ile bobin arasındaki hava aralığının düzgün olması gereklidir. Hava aralığının ısı dağılımına etkisi şekil 4.4 'te gösterilmektedir.



Şekil-4.4 : Hava aralığının ısı dağılımına etkisi (Tekin, 1991).

5.FREKANS,GÜÇ VE ISITMA SÜRESİ SEÇİMİ

İndüksiyonla yaratılan indüksiyon akımı ısıtılan parçanın yüzeyinde en yüksek düzeydedir;derine gittikçe azalır. Akımın parça yüzeyinden içeri doğru etkin olarak girmesi uygulanan frekansın düşmesiyle artar. İndüksiyon akımının dağılımı ısıtılan parçanın manyetik ve elektriksel özelliklerine bağlıdır.Bu fiziksel özellikler sıcaklıkla değiştiğinde parça ısındıkça akım dağılımı da değişir. Isı yüzeyden içeri hızla iletilildiğinden gerçek ısıtma derinliği , ısıtma süresi ile güç yoğunluğu(kW/ısıtılan yüzey alanı) ve frekansa bağlı olarak belirlenir.Isıtma derinliğini azaltmak için en yüksek güç yoğunluğu , en kısa ısıtma süresi ve yüksek frekans uygulamak gerekir (Tekin,1991).

Çizelge-5.1 : İndüksiyonla sertleştirmede yaygın olarak kullanılan frekans ve güç kaynakları (Stutz, 1986).

Sertleşme derinliği mm	Kesit boyutu mm	Hat Frekansı 50-60 Hz	Frekans dönüştürücü 180 Hz	Yarı iletken veya motor-jen. 1 3 10 kHz kHz kHz			Vakum lambalı 200 kHz
Yüzey Sertleştirme							
0.38-1.27	6.35-25.4	...	...	...	...	...	iyi
1.27-2.54	11.11-11.88	...	...	...	...	orta	iyi
	15.88-25.4	...	...	...	...	iyi	iyi
	25.4-50.8	...	...	...	orta	iyi	orta
	50.8 ^	...	...	orta	iyi	iyi	kötü
2.56-5.08	19.05-50.8	...	...	...	iyi	iyi	kötü
	50.8-101.6	...	...	iyi	iyi	orta	...
	101.6 ^	...	...	iyi	orta	kötü	...
Tam Sertleştirme							
	1.59-6.35	...	...	...	...	...	iyi
	6.35-12.7	...	...	...	...	kötü	iyi
	12.7-25.4	...	...	...	orta	iyi	orta
	25.4-50.8	...	...	orta	iyi	orta	...
	50.8-76.2	...	...	iyi	iyi	kötü	...
	76.2-152.4	orta	iyi	iyi	kötü	kötü	...
	152.4 ^	iyi	orta	kötü	kötü	kötü	...
^ :Üzerinde							

5.2. Güç Seçimi

İndüksiyonla sertleştirme işleminde frekans seçiminden sonra en önemli ikinci parametre güç seçimidir. Yüzey sertleştirme uygulamalarında güç yoğunluğu yüksek, ısıtma süresi kısa olarak seçilir. Bunun aksine sertleştirme derinliği arttığında yani sertlik merkeze doğru yaklaştığında güç yoğunluğu düşürülerek, ısıtma süresi arttırılmaktadır (Stutz,1986).

Herhangi bir yüzey sertleştirme uygulamasında dikkate alınacak en önemli etkenler güç yoğunluğu , işlem parçasının büyüklüğü , ısıtma yöntemi , üretim düzeyidir. İndüksiyonla yüzey sertleştirmede , ısıtılan parçanın yüzey alanı ile güç yoğunluğunun çarpımı, ısıtma için gerekli güç miktarını verir. Alan, yüzeyi sertleştirilen parçanın biçimine ve boyutlarına

bağlı olarak değişir. İndüksiyonla sertleştirmede eğer parçanın tümü bir anda ısıtılacaksa yüzey alanı büyük olacaktır. Taramalı uygulamalarda her seferinde yüzeyin belirli bir kısmı ısıtılmaktadır. Bu nedenle bu tür uygulamalarda daha az güç yoğunluğu gereklidir. Çizelge 5.2'de çeşitli uygulamalar için kullanılan güç yoğunlukları verilmiştir (Yıldırım,1992).

Isıtma derinliğini azaltmak için en yüksek güç yoğunluğu gerekmektedir. Üretim hızını arttırmak için ise çizelgedeki güç yoğunluklarının dışına çıkılabilir. Bunun dışında bobin tasarımının değiştirilmesi , bobin dışında su verme , yeteri kadar güç sağlanabiliyorsa , iki ya da daha çok bobin kullanılarak üretim artışı sağlanır. Taramalı uygulamalarda ise ayrıca bobin boyu uzatılır. Bunlara rağmen istenilen üretim sağlanamıyorsa o zaman mutlak ikinci bir indüksiyon aygıtı gerekebilir. Sonuçta güç ihtiyacı, güç yoğunluğuna , ısıtılacak parça boyutuna, ısıtma metoduna ve üretim ihtiyaçlarına göre belirlenir (Yıldırım,1992).

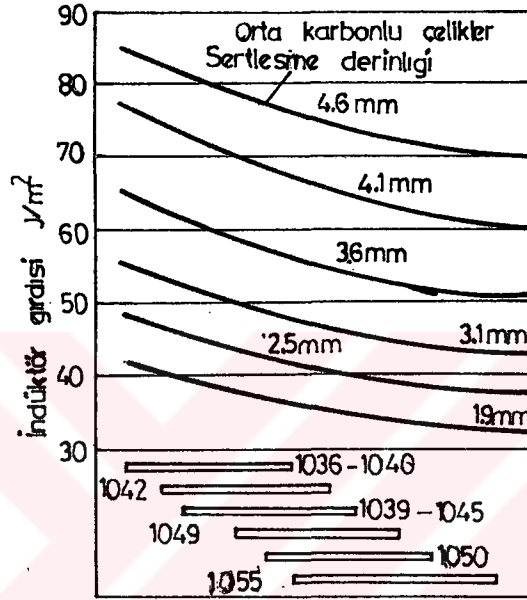
Çizelge-5.2 : İndüksiyonla yüzey sertleştirmede gerekli güç yoğunlukları (Yıldırım,1992).

Frekans (kHz)	Sertleşme Derinliği (mm)	Güç yoğunluğu (kw/mm ²)		
		Düşük	En uygun	Yüksek
500	0.381-1.143	7	10	12
	1.143-2.286	3	5	8
10	1.524-2.286	8	10	16
	2.286-3.048	5	10	15
	3.048-4.064	5	10	14
3	2.286-3.048	10	15	17
	3.048-4.064	5	14	16
	2.540-5.080	5	10	16
1	5.080-7.112	5	10	12
	7.112-9.144	5	10	12

5.3. Isıtma Süresi Seçimi

Bir uygulama için frekans ve güç yoğunluğu seçildikten sonra, diğer koşullar değişmez ve ısıtma süreside seçilmiş olur. Eğer durağan yöntemle sertleştirme söz konusu ise ,

indüksiyonla yüzey sertleştirmede ısıtma süresi , indüktör girdisinin (kW.sn/mm^2) değeri,güç yoğunluğu (kW/mm^2) değerine bölünerek bulunur (Yıldırım,1992).



Şekil-5.2 : Farklı çelikler için, uygun indüktör girdisi eğrileri (Yıldırım,1992).

indüktör girdisi kabuk derinliği ,sertleştirilen parçanın türü ve iç yapısına bağlıdır.Bazı çelikler için,şekil 5.2'de verilen deneysel olarak geliştirilmiş eğrilerden yararlanılabilir. Isıtma derinliğini azaltmak için ısıtma süresini çok kısa tutmak gerekir. Aksine derinliği arttırmak için ısıtma süresini uzun tutmak gerekir (Yıldırım,1992).

Durağan yöntemle indüksiyonla sertleştirme uygulamasında ısıtma süresi ≤ 10 sn ise , iyi bir sertleştirme için bu süre ± 0.2 hassasiyetinde olmalıdır. Isıtma süresi ≥ 60 sn ise , hassasiyet ± 1.0 sn olmalıdır.Taramalı uygulamalarda parçanın hareket hızı ± 1 hassasiyetle denetlenmelidir(Yıldırım,1992)

6.SU VERME İŞLEMİ

Fırında ısıtma yönteminde kullanılan tüm su verme ortamları , indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemlerinde

kullanılır. Başarılı bir indüksiyonla sertleştirme uygulaması için , ısıtma alanlarına uygun bir soğutma alanı sağlamakla mümkündür. Kritik sıcaklıkta hızlı bir soğutucuyla istenilen sertlik elde edilir.Örneğin düşük karbonlu çeliklere minimum bir gecikme süresiyle su verilmelidir ve su verme ortamı olarak su kullanılırsa maksimum bir sertlik elde edilir. Yüksek karbonlu çeliklerde veya alaşımlı çeliklerde,daha uzun gecikme süresi ve daha yavaş şartlarında daha iyi bir sertlik elde edilir .

Su verme ortamları sertleşen parçaların malzemelerine göre ve istenilen sertliklere göre değişmektedir. Örneğin yüksek karbonlu çeliklerde , alaşımlı çeliklerde , dökme demirlerde çeşitli yağlar ve polimerler suya göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Su verme ortamı seçiminde parça geometrisinin de büyük bir önemi vardır.Karmaşık parçaların yüzey geometrisi nedeniyle homojen bir soğutma oranı sağlanamadığı zaman,parçalarda çatlama meydana gelebilir. Bu yüzden parçalarda soğutma ortamlarının uygun olarak seçilmesi gerekir (Wick ve Veilleux,1970).

İndüksiyonla yüzey sertleştirmede en çok kullanılan su verme teknikleri şekil 5.3'te gösterilmektedir.

- a. Parça bobin içerisinde ısıtılır ve tank içerisinde su verilir.
- b. Isıtma ve su verme işlemleri aynı durağan konumda yapılır.
- c. Parça durağan fakat bobin ile suverme halkası ayrı ayrı durumdadır.
- d. Parça hidrolik olarak su verme tankının içine atılır.
- e. Yatay ya da dikey tarama ve birlikte su verme
- f. Çok sargılı bobin kullanımıyla derin sertleştirme uygulaması
- g. Su verme su ile ayrıca basınçlı hava ile yapılabilir.
- h. Dikey taramalı tek sargılı kendinden su verebilen ve ayrıca su verme tankına daldırma olanaklı düzenek.
- i. Çift su verme olanağı bulunan tek sargılı bobin
- j. Krank millî yataklarının yüzeylerini sertleştirmek için kullanılan ayrık bobin

Bu su verme tekniklerinde su verici olarak sadece su kullanılmaz. Bunun yanında bu tekniklerin bazılarında yağ , poliglolikol ve basınçlı hava kullanılabilir (Yıldırım,1992).

6.1.Suda Su Verme

Su verme tekniklerinde en fazla kullanılan su için , çok sıkı şartlar gerekmez. Çok temiz ve iyi bir şekilde ısı kontrolü yapılmış su gereklidir.Aşırı sert su,delik yüzeyinde tortu kaplamasına yol açabilir. İndüksiyonla yüzey sertleştirmede sprey tekniği ile kullanılan suyun basıncı 205 ile 585 kPa arasında değişmektedir (Metals Handbook,1985).

Çeliklerde su verme işleminde genelde yağlar, emülsiyonlar suda çözünür polimerlerin yerine , püskürtme su ile su verme kullanılır ve sonuçta daha iyi bir sertlik ve yapı elde edilir. Bu nedenle çeliklerde genellikle püskürtme su verme kullanılır , bazen bunların yerine daha hafif su vericilerde kullanılabilir.

Alaşımlı çeliklerin püskürtme su ile sertleştirilmesi sırasında oluşan iç gerilmeler, aynı karbon içeriğine sahip normal karbonlu çeliklerin sertleştirilmesi sırasında oluşan içgerilmelerden daha fazladır. Bu iç gerilmelere bağlı olarak çatlak oluşumu meydana gelmektedir ve bu çatlakları ortadan kaldırmak için daha hafif su vericiler seçilebilir.

Sonuçta indüksiyonla sertleştirmede su verici olarak en fazla su kullanılmaktadır ve püskürtme tekniğiyle kullanıldığı zaman daha başarılı sonuçlar vermektedir (İnglezi ve Kuznetsov, 1989).

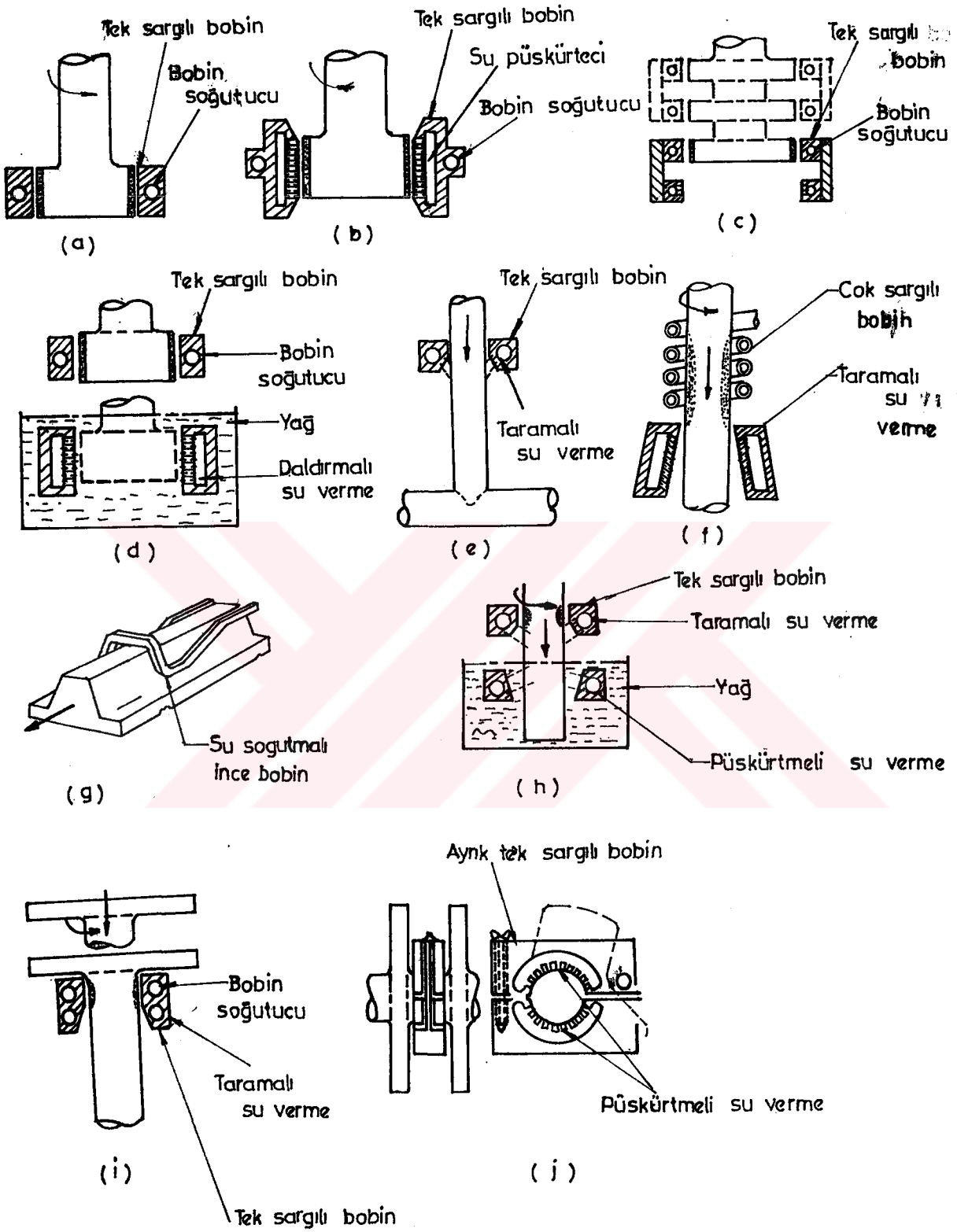
6.2. Poliglolikol Alkol Solisyonları

Suda organik polimer solisyonu, su verme banyosunda henüz yeni kullanılmaya başlanmıştır. Püskürtme yağla su vermenin yeterince soğutma sağlamadığı ve suda su vermenin çatlamalara sebep olduğu durumlarda kullanılır. Solisyon % 1 – 20 arasında organik polimer solisyonlarının, suyla karıştırılmasıyla hazırlanır. Bu solisyon, sulandırıldığından dolayı, parçalayıcı değildir ve istenmeyen dumanlara yol açmaz (Metals Handbook, 1985).

6.3. Yağda Su Verme

İndüksiyonla sertleştirmede yağda su verme suda su vermede oluşan çatlakları önlemek amacıyla yapılmaktadır ve yeteri kadar ısı sağlanan tüm parçalarda da kullanılmaktadır. İyi bir sonuç elde etmek için yağların, alev alma sıcaklık ve vizkozitelerinin düşük olması istenir (Topbaş, 1993).

Yağda , yağ filmlerinin parçalanmasını takiben soğutma gücü , belirli bir sürede maksimuma ulaşır. Yağın soğutma gücü, suyun soğutma gücünün 1/3'ü kadar olmaktadır. Daha çok nebati ve mineral yağlar , nadiren de hayvanlardan elde edilen sıvı yağlar kullanılır. Nebati yağlar 550 °C üzerindeki ısıtmalar için maksimum soğutma gücüne sahiptir. Diğer yağlar bu sıcaklığın daha da üstündeki sıcaklıklarda maksimum soğutma gücüne ulaşır. Büyük parçaların sertleştirilmesinde küçük parçalarda kullanılan yağlara nazaran daha kalın yağlar kullanılır. Bugün genellikle su vermede kullanılan mineral yağlar, parlak soğutma yağları ve yüksek güçlü soğutma yağlarıdır. Parlak soğutma yağlarının kullanımı ile su verme işleminden sonra parlak bir yüzey elde edilirken , yüksek güçlü soğutma yağı kullanımıyla siyah bir yüzey elde edilir. Yüksek polimer maddeler ilave etmekle , ikinci grup yağlarda oldukça yüksek soğutma gücüne ulaşılır (Topbaş, 1993).



Şekil-6.1 : İndüksiyonla sertleştirmede kullanılan çeşitli su verme teknikleri (Stutz,1986).

6.4. Havada Su Verme

İndüksiyonla sertleştirmede, diğer su verme ortamlarından başka havada soğutma da yapılabilir fakat havanın soğutma gücü suyun soğutma gücünün yüzde biri kadardır. Parça ile hava arasındaki sıcaklık farkı ne kadar fazla ise havanın soğutma gücünde o kadar fazladır. Azalan sıcaklık farkıyla birlikte soğutma gücünde lineer olarak azalır.

Diğer taraftan havanın hareketlenmesiyle soğutma gücünde artmaktadır. Bu hareketlenmeyi sağlamak için kontrollü hava kullanılmasına gidilmiştir ve basınçlı hava tesisleri kullanılmaya başlanmıştır. Bunun sonucunda mevcut olan yüksek nemin soğutma esnasından buharlaşmasından dolayı soğutma gücü çok fazla şekilde artmaktadır. Havanın diğer su vericilere göre çok düşük soğutma gücü olduğundan kullanım alanı çok sınırlıdır. Sadece yüksek alaşımlı çeliklerde (hız çelikleri) kullanılabilir (Topbaş,1993).

İndüksiyonla sertleştirmede kesinlikle kesin havada soğutma yapılmaz. Soğutma basınçlı hava ile kontrollü olarak ve püskürtme su verme işleminde kullanılan aparata benzer aparatlar kullanılarak yapılmaktadır (Topbaş,1993).

7.ÇELİKLERDE İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME

İndüksiyonla yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin büyük bir kısmı karbon çeliklerinden oluşmaktadır. Çeliklerde indüksiyonla sertleştirmenin, diğer sertleştirme yöntemlerine göre en büyük üstünlüğü , alaşım elementlerinin gerekli olmamasıdır. Yani diğer sertleştirme yöntemlerinde iyi bir yüzey sertliği için,bazı alaşım elementlerinin ilave edilmesi gereklidir.Bu yöntemde alaşım elementleri katılmaksızın da iyi sertlik elde edilmektedir (Tekin,1991).

Alaşımlı çeliklerde de indüksiyonla sertleştirme yapılabilir fakat karbon çelikleriyle kıyaslandığında ,karbon çeliklerinde sonuç daha iyidir. Her iki çelikten de imal edilmiş şaftlar ve dişliler yorulma testine tabi tutulmuş karbon çelikleri daha iyi sonuç vermiştir (Tekin,1991).

İndüksiyonla sertleştirmede , çelik seçimi yapılırken dikkat edilecek en önemli etkenler , karbon ve mangan içeriğidir. Karbon içeriği istenilen sertliğe göre seçilmelidir.İstenilen sertliği sağlayacak karbon miktarından daha fazla karbon miktarı seçilirse , hem gerekli tokluk ve süneklilik sağlanmaz hem de su verme çatlaklarının oluşma olasılığı artar. İndüksiyonla sertleştirmeye uygun çeşitli çelik türleri ve elde edilen sertlik değerleri çizelge 7.1'de verilmektedir.

Su verme çatlaklarının oluşumu , ulaşılan sertleştirme sıcaklığı,oluşturulan yüzey sertliği ve sertleştirilen tabaka kalınlığı gibi faktörlere bağlıdır. Özellikle sertleştirilen

tabaka kalınlığı fazla ise, basma gerilmeleri yerine çekme gerilmeleri ortaya çıkar. Sertleşmiş tabakada aşırı kalınlık, yüksek östenit sıcaklığına çıkılırsa veya yüksek sertleşebilirlikli çelikler kullanılırsa ortaya çıkar. Kullanılan çeliklerde karbon içeriği gerekenden fazla ise, su verme çatlaklarının oluşmasına neden olur (Tekin, 1991; Metals Handbook, 1985)

Karbon çeliklerinin bir çoğu, % 0.60–0.90 arasında Mangan içerirler. Ayrıca, bazı çelik türleri ise % 1.35–1.65 Mangan içerirler. Mangan çeliğin sertleşebilirliğini arttırır. Bu da dolayısıyla su verme çatlaklarına yol açar. Bu neden sertleştirme işlemlerinde karbon, nasıl olanıldığına göre düşük tutuluyorsa, Mangan içinde aynı şey düşünülmeli ve Mn içeriği de düşük tutulmalıdır (Tekin, 1991 ; Metals Handbook, 1985).

SAE 1050 çeliğinden yapılan bazı kam milleri 60 HRC yüzey sertliğine, indüksiyonla sertleştirildiğinde, 1.58 mm derinliğinde sertlik tabakası elde edilmiştir ve ortaya iyi bir sonuç çıkmıştır. Derinlik arttımına gidilmiş ve aynı işlem tekrarlanmıştır. Sonuçta 3.175 mm derinliğinde bir sertlik tabakası elde edilmiş fakat su verme çatlakları oluştuğu gözlenmiştir. Bu nedenle 1050 çeliğinde, sertleştirilen tabakanın kalın olması isteniyorsa, içerisinde bulunan karbon ve mangan miktarı düşürülmeli ve oluşan su verme çatlakları ortadan kaldırılmalıdır (Tekin, 1991).

indüksiyonla sertleştirmede kullanılan çeliklerin ilk yapısı, içerisindeki alaşım elementleri ve östenitleme sıcaklıkları, sertleştirmeden sonra elde edilecek sertlik değerini ve oluşacak yapıyı doğrudan etkiler. Bu nedenle bu etkenleri göz önüne alarak, sertleştirme işlemine geçilmelidir (Tekin, 1991 ; Metals Handbook, 1985).

7.1. İlk Yapının Etkisi

indüksiyonla sertleştirme için çeliğin ilk yapısı oldukça önemlidir. Çeliklerin indüksiyonla kolayca sertleştirilebilmesi için, mikroyapısındaki karbürlerin küçük ve düzenli olarak dağılmış olması gereklidir. Bu nedenle indüksiyonla sertleştirmeye en uygun çelikler su verilip temperlenmiş çeliklerdir. Bu çeliklerin karbürleri kolayca çözüldükleri için yüksek ısıtma hızları uygulanarak, yüksek bir sertlik ve minimum bir sertleşmiş tabaka elde edilir (Metals Handbook, 1985).

Sıcak haddelenmiş, tavlanmış veya normalize işlemi uygulanmış çeliklerde, indüksiyonla sertleştirmede rahatlıkla kullanılabilir. Çünkü bu ısıtma işlemlere tabi tutulmuş çeliklerin mikroyapılarında perlit ve ferrit fazları bulunmaktadır. Bunun yanında, indüksiyonla sertleştirilen karbon içeriği %0.30–0.50 olan bütün çeliklerin yapılarında da perlit ve ferrit bulunmaktadır (Yıldırım, 1992).

Çizelge-7.1 : indüksiyonla sertleştirmede kullanılan çelik türleri ve elde edilen sertlik değerleri (Yıldırım,1992).

Alaşımsız çelikler

Malzeme	%C	%Si	%Mn	%Ni	%Cr		%V	Yüzeyde oluşan sertlik (HRC)
CF35	0.32-0.40	0.15-0.35	0.40-0.70					50-56
CK45	0.42-0.50	0.15-0.35	0.50-0.80					52-62
CF53	0.50-0.57	0.15-0.35	0.40-0.70					58-63
CF56	0.56	0.25	0.60					59-63
CF70	0.68-0.75	0.15-0.35	0.20-0.35					59-64

Alaşımlı çelikler

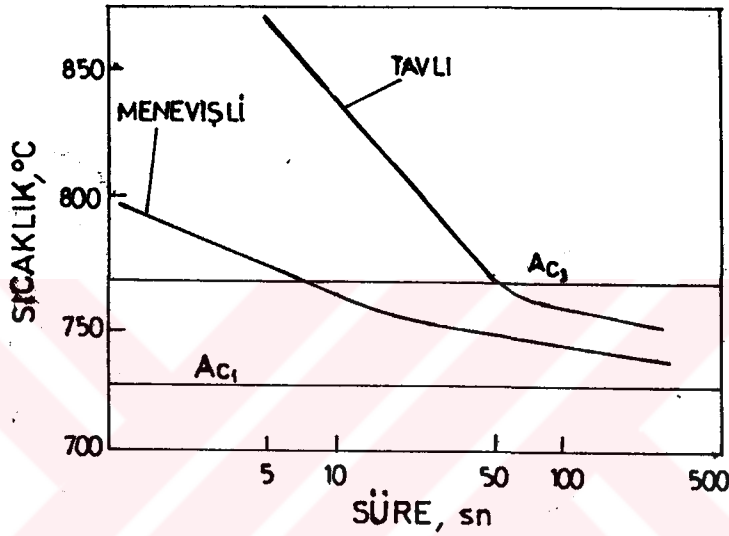
36Mn5	0.36	0.30	1.40					50-54
40Mn4	0.36-0.44	0.25-0.50	0.30-1.10					52-58
37MnSi15	0.37	1.20	1.20					52-58
46MnSi14	0.46	0.80	1.00					58-61
53MnSi14	0.50-0.57	0.80-1.00	0.80-1.00					58-63
42MnV7	0.42	0.25	1.80				0.1	58-62
37Cr4	0.34-0.41	0.15-0.35	0.50-0.80		0.9-1.2			53-59
41Cr4	0.38-0.44	0.15-0.35	0.50-0.80		0.9-1.2			54-58
34CrMo4	0.30-0.37	0.15-0.35	0.50-0.80		0.9-1.2	0.15-0.25		51-56
42CrMo4	0.38-0.45	0.15-0.35	0.50-0.80		0.9-1.2	0.15-0.25		54-60
50CrMo4	0.46-0.54	0.15-0.35	0.50-0.80		0.9-1.2	0.15-0.25		57-63
42CrV6	0.42				1.5		0.1	55-60
50CrV4	0.50	0.25	1.00		1.1		0.1	58-62
58CrV4	0.58	0.25	1.00		1.1		0.1	59-64
34CrNiMo6	0.34	0.25	0.50	1.1	1.5	0.2		52-68
36CrNiMo4	0.36	0.25	0.60	1.1	1.1	0.2		56-62

Otomat çelikleri

%S

35S20	0.32-0.40	0.50 max	0.50-0.80				0.15-0.25	50-54
45S20	0.42-0.50	0.50 max	0.50-0.80				0.15-0.25	56-60
60S20	0.57-0.65	0.50 max	0.50-0.80				0.15-0.25	58-62

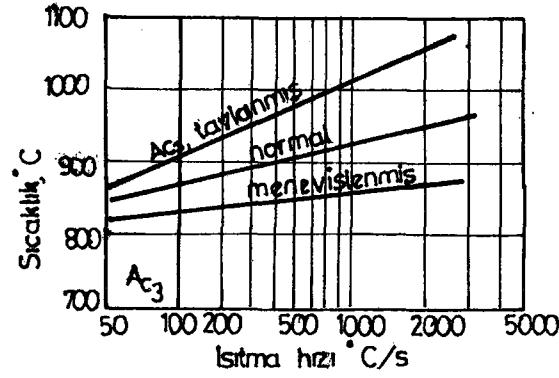
Bu sebeble bu tür çelikler bu yöntemle sertleştirme işleminde yaygın olarak kullanılırlar. Şekil 7.1'de SAE 1050 çeliğinde ilk yapının indüksiyonla sertleşmeye etkisi gösterilmektedir. Eğriler, en yüksek su verme sertliğine ulaşmak için gerekli östenitleme sıcaklıklarını göstermektedir. Buradan da görüldüğü gibi, su verilip temperlenmiş çelikler çok daha kolayca östenitlenebilmektedir, tavlınmış çeliklerin östenitlenmeleri biraz daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmektedir (Tekin, 1991).



Şekil-7.1 : SAE 1050 çeliğinde ilk yapının indüksiyonla sertleşmeye etkisi (Tekin, 1991).

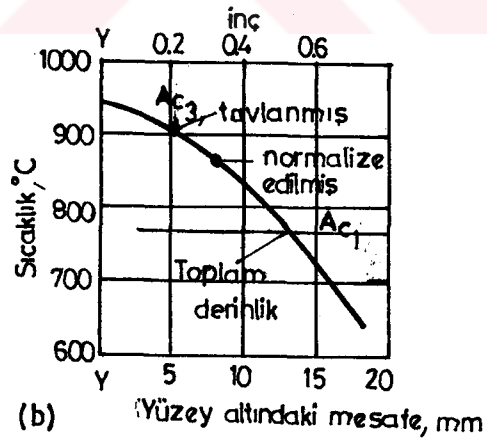
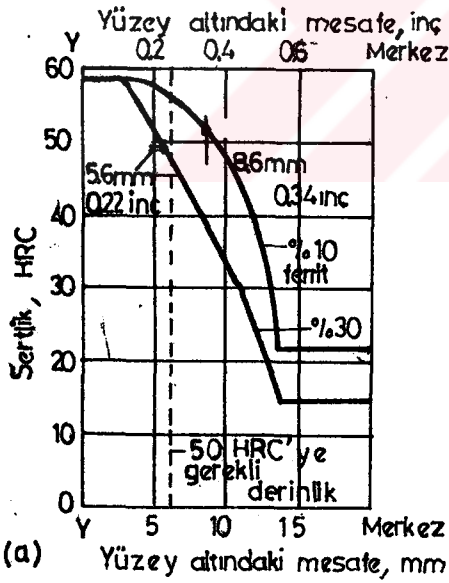
% 0.50 ve daha yüksek karbonlu çeliklere kolay işlenebilirlik kazandırmak amacıyla küreleştirme işlemi uygulanır ve bu işlem sonucunda mikroyapıda küreleşmiş iri tanelli karbürler meydana gelir. Bu işleme maruz kalan bu çeliklerin indüksiyonla sertleştirilmesi, mikroyapılarındaki iri karbürler nedeniyle oldukça zordur. Çünkü iri karbürler östenizasyon sıcaklığında çözünemezler, bu sıcaklığın 150 °C üzerine çıkılması gerekmektedir. Bu sıcaklıkta östenit taneleri büyümeye başlar ve su verme işlemi sonrasında iç yapıda kalıntı östenit miktarı artar. Bunların sonucunda da hem yorulma mukavemeti düşer hem de yüzeyde pullanma ve kabuklanma meydana gelir. Eğer büyük karbürli küreselleşmiş çeliklerde, iyi bir yüzey sertleştirilmesi yapılmak isteniyorsa, indüksiyonla sertleştirme işlemini iki kez tekrarlamak gereklidir (Metals Handbook, 1985; Yıldırım, 1992).

Ayrıca çeliklerde iç yapı ile birlikte ısıtma hızının da sertleştirmeye etkisi düşünülmelidir. Tavlınmış çelikler ısıtma hızı arttıkça daha yüksek östenitleme sıcaklıkları gerektirir. En düşük sertleştirme sıcaklıkları ise



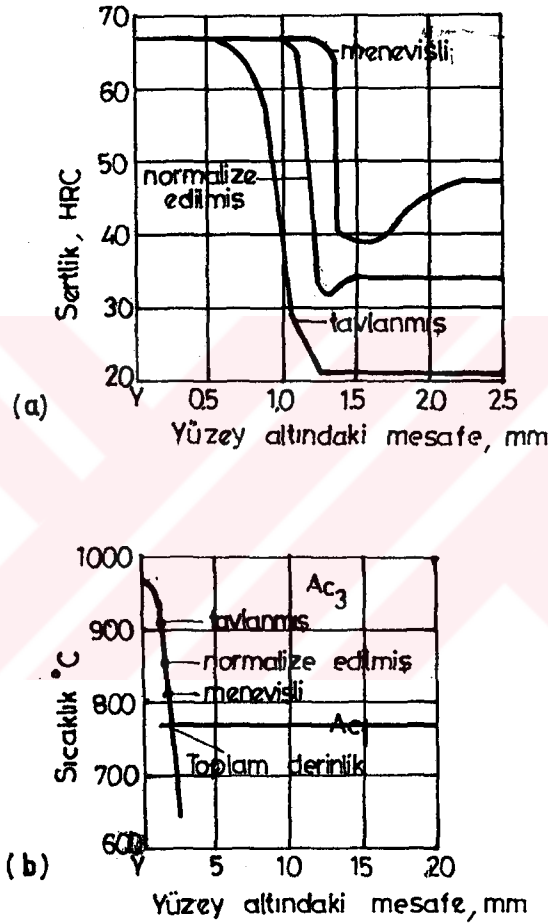
Şekil-7.2 : İlk yapı ve ısıtma hızının, 1042 çeliğinde A_{c3} dönüşüm sıcaklığına etkisi (Metals Handbook, 1985).

temperlenmiş çelikler için geçerlidir (Tekin, 1991). Şekil 7.2 'de ilk yapının ve ısıtma hızının, 1042 çeliğinde A_c dönüşüm sıcaklığına etkisi gösterilmektedir.



Şekil-7.3 : 3 kHz frekansta ilk yapının, 1041 çeliğinde indüksiyonla sertleşmeye etkisi (Yıldırım, 1992).

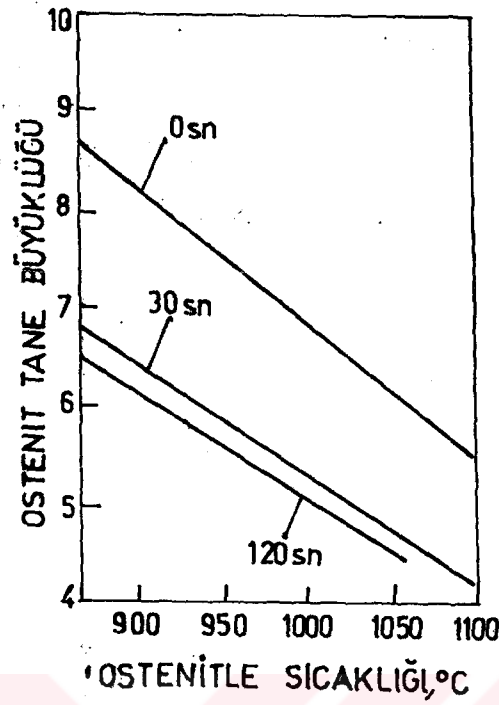
Belirli bir östenitleme sıcaklığında elde edilen sertleşmiş tabaka kalınlığı, ısıtma derinliğine bağlıdır. Bu östenitleme sıcaklıklarında çeliğin iç yapısına bağlıdır. Şekil 7.3 (a) ve 3 (b) 'de ilk yapının, 1041 çeliğinde indüksiyonla sertleştirmeye etkisi, şekil 7.4 (a) ve (b) 'de ise ilk yapının 1070 çeliğinde indüksiyonla sertleştirmeye etkisi gösterilmektedir (Yıldırım, 1992).



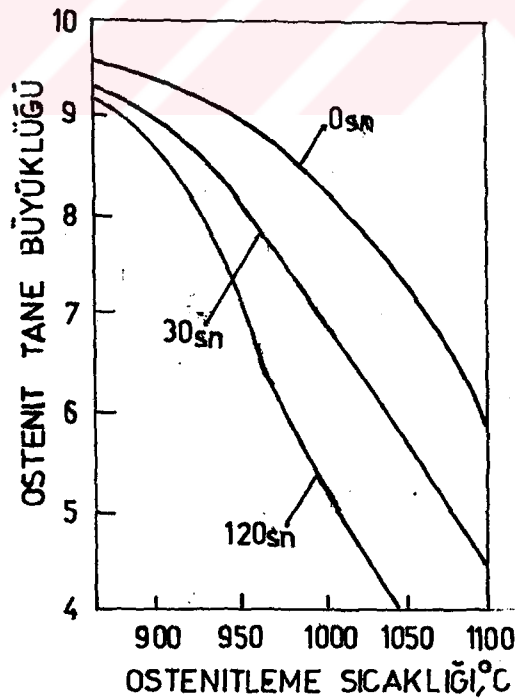
Şekil-7.4 : 450 kHz frekansta ilk yapının, 1070 çeliğinde indüksiyonla sertleşmeye etkisi (Yıldırım, 1992).

7.2.Östenitleme Sıcaklığının Etkisi

İndüksiyonla sertleştirmede kullanılan çeliklerin ilk yapılarına bağlı olarak östenitleme sıcaklıkları belirlenir. Bu sıcaklıklar sonuçta oluşan sertlik değerini ve mikroyapıyı belirler. Çizelge 7.2 'de bazı çeliklerin östenitleme sıcaklıkları ve elde edilen sertlik değerleri verilmiştir.



Şekil-7.5 : 1050 çeliğinde östenitleme sıcaklığının ve ısıtma süresinin östenit tane büyüklüğüne etkisi (Tekin, 1991).



Şekil-7.6 : 6150 çeliğinde östenitleme sıcaklığının ve ısıtma süresinin östenit tane büyüklüğüne etkisi (Tekin, 1991).

Küçük karbürlü çeliklerde östenitleme sıcaklıkları, büyük karbürlü çeliklere göre 100-150 °C daha düşüktür. Cr, Mo, V gibi karbür oluşturuçu alaşım elementlerini içeren çeliklerde çizelge 7.2 'de verilen sıcaklık değerlerinin 100-110 °C üzerinde bir östenitleme sıcaklığı gereklidir fakat bu sıcaklıkta ısıtma süresi uzun tutulursa östenit tane büyümesi görülür. Bu olayı önlemek için ısıtma süresini kısa tutmak gerekmektedir. (Tekin, 1991) Şekil 7.5'te 1050 ve Şekil 7.6'da 6150 çeliklerinde östenitleme sıcaklığının ve ısıtma süresinin östenit tane büyüklüğüne etkisi gösterilmektedir.

Çizelge-7.2 : Farklı karbon içerikli çelikler için östenitleme sıcaklıkları ve elde edilen sertlik değerleri (Metals Handbook, 1985).

Malzeme	Sertleştirme sıcaklığı, °C	Su verme ortamı	Sertlik HRC
Karbon ve alaşım çeliği			
% 0.30 C	900-925	su	50
% 0.35 C	900	su	52
% 0.40 C	870-900	su	55
% 0.45 C	870-900	su	58
% 0.50 C	870	su	60
% 0.60 C	845-870	su	64
Paslanmaz çelik			
Tip 402	1095-1150	yağ-hava	50

İndüksiyonla sertleştirmede en uygun tane büyüklüğü ASTM tane büyüklüğü 6 değeridir. Bu değerden büyük değerler yüksek östenitleme sıcaklıkları, uzun ısıtma süreleri gerektirir. Bu da sonuçta çarpılmaya ve çatlamalara yol açar (Tekin, 1991).

8.DÖKME DEMİRLERDE İNDÜKSİYONLA YÜZEY SETLEŞTİRME

Dökme demirlerin kullanım alanlarının artması ile alevle yüzey sertleştirmenin yanında indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemide yaygın olarak yapılmaktadır. indüksiyonla sertleştirme işleminde sıcaklık kontrolü ve frekans yardımı ile,sertleşme derinliği kontrolü olduğu için, alevle yüzey sertleştirmeye göre daha iyi sonuç vermektedir. indüksiyonla sertleştirme uygulanan dökme demirlerde, bileşik karbon içeriği sertleştirme açısından oldukça önemlidir. Alevle yüzey sertleştirme işleminde olduğu gibi indüksiyonla yüzey sertleştirme işleminde de birleşik karbon içeriğinin perlit halinde % 0.40-% 0.50 arasında olması önerilir.Bu değer %0.70 değerine kadar çıkabilir fakat bu değeri aştığında çatlak oluşma ihtimali artar.% 0.40 karbon içeriğinden daha düşük karbon içeriğine sahip dökme demirlerde ise sertleştirme sağlıklı sonuç vermez. Bunun nedeni düşük karbon içeriği yüksek östenitleme sıcaklığı ve daha uzun ısıtma süresi gerektirir.Bu da yüzeyde oluşan tana yapısını irileştirir ve yüzeyde arzu edilmeyen miktarda kalıntı östenit oluşturur.Bu nedenle birleşik karbon içeriğinin yukarıda verilen değerler arasında olması gerekir.Çizelge 8.1'de indüksiyonla yüzeyleri sertleştirilen bazı dökme demirlerin su verme sıcaklıkları ve elde edilen sertlik değerleri verilmiştir (Metals Handbook, 1985).

8.1.Gri Dökme Demirlerde indüksiyonla Yüzey Sertleştirme

Gri dökme demirlerin indüksiyonla sertleştirmesinde en önemli etken mikroyapıdaki karbon içeriği ve grafit miktarıdır.Grafit miktarı arttıkça,elde edilen sertlik değeri azalacaktır. Gri dökme demirde bulunan grafitler ince yapıda ve homojen dağılımlı olmalıdır. Bunun nedeni ince yapıli yapıda daha fazla miktarda karbon çözünür.östenitleme sıcaklığında ne kadar fazla karbon çözünürse, sonuç o kadar iyi olur (Metals Handbook,1985).

Çizelge 8.1 : Bazı dökme demirler için su verme sıcaklığı ve sertlik değerleri (Metals Handbook,1985).

Dökme demir	su verme sıcaklığı °C	su verme ortamı	sertlik HRC
Gri dökme demir	870-925	su	45
Perlitik sünek demir	870-925	su	48
K.G.D.D.	900-925	su	50

Gri dökme demirin yapısında bulunan perlit ve ferrit miktarıda sonucu doğrudan etkilemektedir. Perlitteki birleşik karbon östenitleme sıcaklığında daha kolay çözünür , bu da sertleştirme işlemini kolaylaştırır.Bu yüzden perlitin yapıda

yüksek oranda olması istenir.Yapıda bulunan ferritteki karbon östenitleme sıcaklığında daha zor çözünür ve daha yüksek sıcaklık ve gerektirir bu da sonuca olumsuz yönde etkiler. Bu nedenle döküm esnasında ferrit oluşumunu engellemek için ya hızlı soğutma yapılmalı ya da Cr ,Ni ,Mo ve Cu gibi alaşım elementleri ile alaşımlandırılmalıdır.

Çizelge-8.2 : Farklı karbon içerikli gri dökme demirlerin yüzey sertlik değerleri (Metals Handbook, 1985).

% C	%Si	Eşdeğer karbon	Sertlik HRC
3.13	1.50	3.63	50
3.14	1.68	3.70	49
3.19	1.64	3.74	48
3.34	1.59	3.87	47
3.42	1.80	4.02	46
3.46	2.00	4.13	43
3.52	2.14	4.23	46
Demir içerisindeki alaşım elementleri % 0.50-0.90 Mn,%0.55 Ni,%0.008-0.15 Cr,%0.15-0.30 Mo			

İndüksiyonla yüzey sertleştirme hem alaşımlı hem de alaşımsız dökme demirlerde yapılabilir. Alaşımlı dökme demirlerde alaşım elementlerinin fazla olması sertleşebilme yeteneğini ve martenzitik yapı derinliğini arttırmaktadır.Bu nedenle alaşımlı gri dökme demirlerde indüksiyonla yüzey sertleştirme işlemi daha kolay olmaktadır.Çizelge 8.2'de farklı karbon içeriklerine sahip,indüksiyonla sertleştirilmiş gri dökme demirlerin yüzey sertlik değerleri verilmiştir.

Gri dökme demirlerde indüksiyonla yüzey sertleştirmede su verme ortamı olarak , su , eriyebilen yağ karışımları ve suda çözünebilen polivinil alkol kullanılabilir.Su seçilirse suyun temiz olmasına ve su sıcaklığının 32 °C olmasına dikkat edilmelidir.% 5-15'lik eriyen yağ karışımları,basınçlı hava, düşük basıçtaki hava ve su ortamları,çatlamayı önler (Metals Handbook,1985).

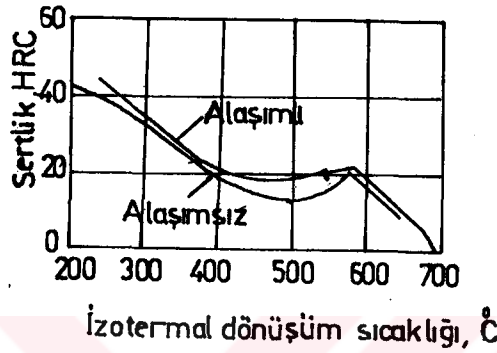
8.2.Gri Dökme Demirin Östemperlemesi

Gri dökme demirde östemperlemede perlit seviyesi altında fakat martenzit seviyesi üstünde oluşan , mikroyapı matriksi beynitik ferrit + dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak değişen miktarlarda kalıntı östenitten ibarettir.

Östemperleme sıcaklığı,230-425 °C arasında değişmektedir. Yani gri dökme demir östenitleme sıcaklığına çıkarıldıktan sonra , 230-425 °C arasında değişen bir sıcaklıkta banyoya

atılır. Gri dökme demirde genelde kullanılan banyolar yağ , tuz ve kurşun banyolarıdır.

Eğer nihai amaç , yüksek sertlik ve aşınma direnci elde etmekse, su verme banyosunun sıcaklığı genellikle 230-290 °C arasında tutulur. Östemperleme sıcaklığı ve östemperleme süresi , sertlik ve aşınma direnci ile yakından ilgidir. Östemperleme sıcaklığı arttıkça sertlik ve aşınma direnci düşer.



Şekil-8.1 : Östemperlenmiş gri dökme demirin sertliğine izotermal dönüşüm sıcaklığının etkisi (Metals Handbook, 1985).

Dökümün şekli ve kalınlığı genelde östemperlemenin kullanımını sınırlar. Çünkü döküm östemperleme sıcaklığına ulaştığından itibaren, herhangi bir östenit dönüşümü olmadan östemperlenme banyosuna atılmalıdır. Şekil 8.1'te alaşımsız ve nikel alaşımlı gri dökme demirlerde sertlik ve izotermal dönüşüm sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmektedir (Metals Handbook, 1985).

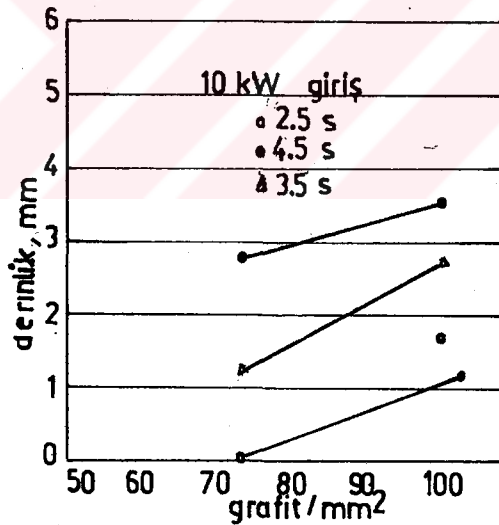
8.3. Küresel Grafitli Dökme Demirlerde İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme

Endüstride karmaşık yük durumlarında ve aşınma şartlarında çalışan çeşitli parçaların imalatında küresel grafitli dökme demir geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Küresel grafitli dökme demir ham durumda iken düşük mekanik özellik sahip olduğu için, özellikle düşük aşınma direncine sahip olduğu için yüzey sertleştirme ısıtma işlemine gerek duyulmuştur. İyi bir yüzey sertleştirme uygulaması için , iyi bir sıcaklık ve derinlik kontrolü gereklidir. Bunu sağlamak amacıyla küresel grafitli dökme demirler indüksiyonla sertleştirilmektedir (Yakovlev, 1987).

Küresel grafitli dökme demirler , sertleştirme işlemine tabi tutulmadan önce mikroyapısının bilinmesi gerekmektedir. Çünkü demirin yapısındaki içeriklerin sonuç üzerindeki etkisi

büyüktür. Yapı içerisindeki perlit miktarının fazlalığı sonucu olumlu yönde etkilerken ferrit miktarının fazlalığı olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden sertleştirme işlemine tabi tutulacak yapıların perlitik olması istenir. Ham döküm halinde yapı içerisinde bulunan perlit oranı hızlı soğumayla artmaktadır. Ayrıca döküm içerisinde bulunan Si oranının azlığında perlit oranının artmasına neden olur. Bu nedenle döküm yapılırken hızlı soğutma yapmak ve silisyum içeriğini düşük tutmak gereklidir (Metals Handbook, 1985).

Normalize edilmiş, temperlenmiş ve su verilip, temperlenmiş dökme demirlerde indüksiyonla sertleştirme işlemi, ham döküme göre çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü bu ön işleme tabi tutulan dökümlerin yapıları düzenli ve homojen dağılımlıdır. Ayrıca K.G.D.'lerin içerisinde bulunan grafit katkıları sertleşme tabakası derinliğini etkilemekte olup, grafit miktarı arttıkça derinlik artmakta, azaldıkça derinlik azalmaktadır. Şekil 8.2 'de % 50 ferrit içeriğine sahip normalize edilmiş temperlenmiş küresel grafitli dökme demirde indüksiyonla sertleştirmede grafit miktarının, sertleşme derinliğine etkisi gösterilmektedir (Metals Handbook, 1985).



Şekil-8.2 : % 50 ferrit içeriğine sahip normalize edilip, temperlenen ve indüksiyonla sertleştirme sonucu 50 HRC sertlik değeri elde edilen K.G.D.'de grafit miktarının sertleşme derinliğine etkisi (Metals Handbook, 1985).

Küresel grafitli dökme demirlerde indüksiyonla sertleşme yapılırken mümkün olduğu kadar düşük ısıtma hızları seçilmelidir. Çünkü yüksek ısıtma hızlarında düşük sertlik değerleri elde edilmektedir (Yakovlev,1987).

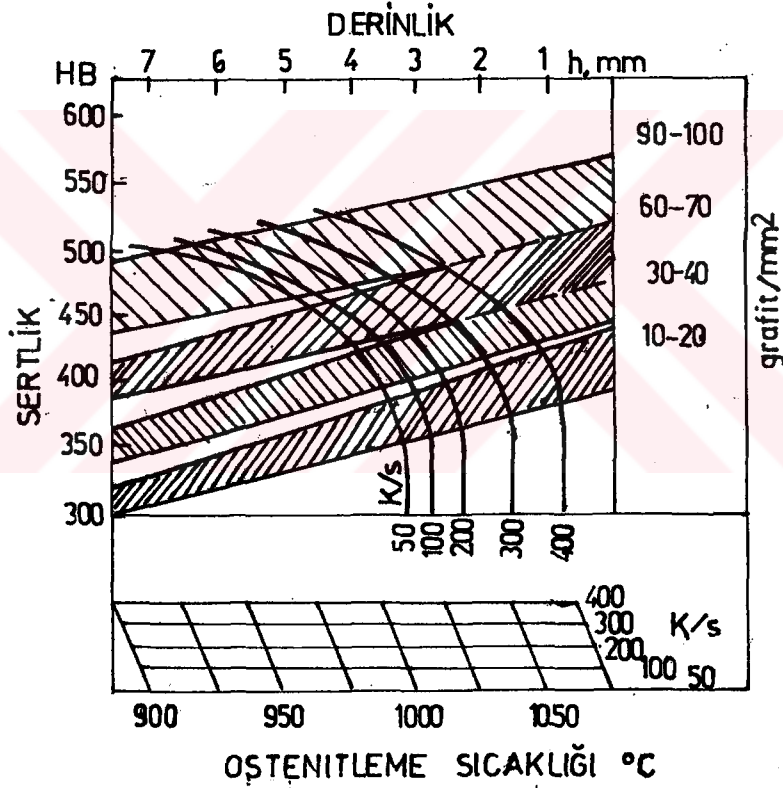
Çizelge 8.3 : Isıtma hızına ,östenitleme sıcaklığına ve grafit miktarına bağlı olarak sertlik değerleri (Yakovlev,1987).

t, °C	Isıtma hızı K/s 'ye bağlı olarak sertlik değerleri (HB).					
	10	100	200	300	400	500
Ngr=10...20 mm ²						
800	286	275	268	254	240	235
900	345	337	321	312	300	268
1000	407	400	371	355	308	273
1050	425	417	400	390	381	360
Ngr=90...100 mm ²						
800	315	308	300	291	280	267
900	465	453	445	438	425	361
1000	480	469	460	453	440	383
1050	525	519	508	500	430	415
Ngr: demir yüzeyinde mm ² başına grafit miktarı						

Ayrıca östenitleme sıcaklığı belirlenirken yapı içerisindeki ferrit ve perlit miktarına dikkat edilmelidir. Bilindiği gibi perlitik yapılar, perlitik-ferritik ve ferritik yapılara göre daha düşük sıcaklıklarda östenitlenirler. Çünkü ferrit içerisindeki karbonların çözünmesi daha yüksek sıcaklıklar gerektirir. Bu nedenle yapıdaki ferrit miktarının fazla olması östenitleme sıcaklığı arttırmaktadır. Çizelge 8.3 'de %40 ferrit içeriğine sahip ferritik-perlitik küresel grafitli dökme demirlerde , östenitleme sıcaklığına, ısıtma hızına, içerisindeki grafit miktarına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri verilmiştir. Bu çizelgenin yardımıyla hazırlanan bir diyafram şekil 8.3'de gösterilmektedir (Yakovlev,1987).

Alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin indüksiyonla sertleştirilmesi sonucunda elde edilen sertlik değerlerinin ve oluşan yapının, alaşımsız K.G.D.D.'lere göre daha iyi olduğunu Litovka ve Reznik, (1987) yaptıkları deneylerle saptamıştır. Yapılan denemelerde % 1 Ni ilavesi

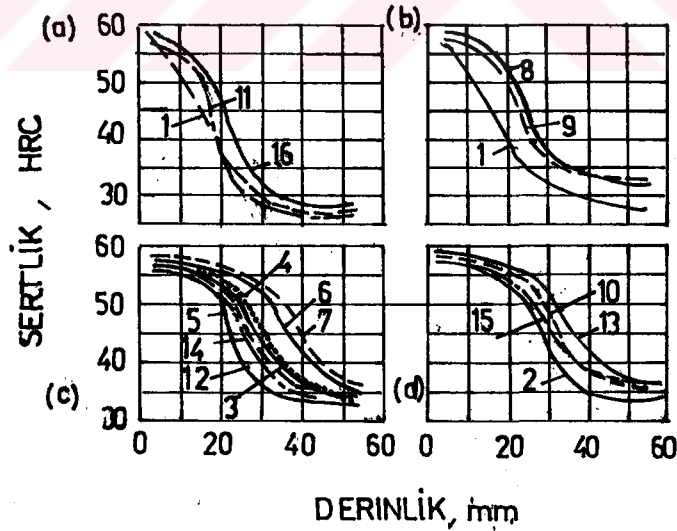
ile en iyi sertlik değeri elde edilmiştir. Bunun yanında % 0.7 - % 1.0 Mn , % 0.5 - % 1.0 Cu, % 0.5 Ni ile alaşımlandırılmış yapıda aynı sonucu vermektedir. % 1 Mn ilavesi ise küresel grafitli dökme demirin yumuşaklığını azaltma ve sertliğini arttırmaktadır. Ayrıca küresel grafitli dökme demir içerisinde % 0.09 oranını geçmemek şartıyla Sn bulundurulması ferrit oranını azaltarak ,düzenli ve homojen bir dağılım sağlanır. Bu da sertliği arttırmaktadır (Malyi , Sointsev ve Yakovlev, 1983). Çizelge 8.3'te alaşım elementi içeriklikleri verilen küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerleri şekil 8.3 (a) , (b) , (c) ve (d) ' de gösterilmektedir.



Şekil-8.3 : Küresel grafitli dökme demirlerin indüksiyonla sertleştirilmesinde uygun östenitleme sıcaklığı seçimi için kullanılan nomogram (Yakovlev, 1987).

Çizelge 8.4 : Esas bileşiminde % 3.6-3.8 C , % 2.4-2.6 Si , % 0.02 S , % 0.04-0.06 Cr , % 0.05-0.07 P , % 0.04-0.05 Mg olan K.G.D.D ' de alaşım elementi içerikleri (Letovka ve Reznik, 1987).

Element içerikleri %					
no	Mn	Cu	Ni	Sn	HB
1	0.4	0	0	0	241
2	0.4	0.5	0.5	0	285
3	0.4	1.5	0	0	311
4	0.4	2.0	0	0	293
5	0.4	0	0.4	0	229
6	0.4	0	1.0	0	255
7	0.4	0	1.5	0	255
8	0.4	0	0	0.05	255
9	0.4	0	0	0.20	285
10	0.4	1.0	0.5	0.05	285
11	0.7	0	0	0	277
12	0.7	0	0.5	0	255
13	0.7	1.0	0.5	0	285
14	1.0	1.0	0	0	285
15	1.0	0.5	0.5	0	289
16	1.2	0	0	0	285



Şekil-8.4 : Esas bileşiminde % 3.6-3.8 C , % 2.4-2.6 Si , % 0.02 S , % 0.04-0.06 Cr , % 0.05-0.07 P , % 0.04-0.05 Mg olan K.G.D.D ' de alaşım elementinin sertliğe etkisi (Letovka, ve Reznik, 1987).

8.4.Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Östemperlenmesi

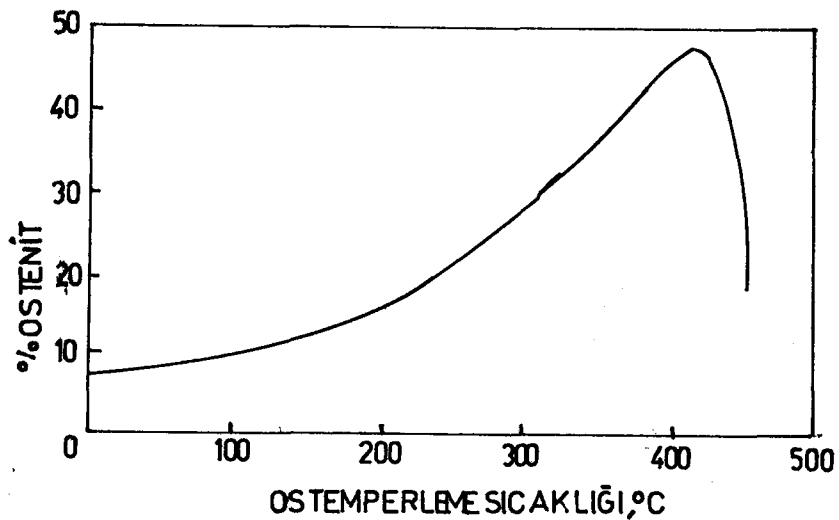
Küresel grafitli dökme demirlerde östemperleme işlemi iyi bir sertlik ve aşınma direnci sağlamaktadır. Sonuçlar çeliklerle karşılaştırıldığında daha iyi bir sertlik ve aşınma direnci sağlandığı gözükmektedir.

K.G.D.D'lerde östemperleme işlemi,östenitleme sıcaklığına çıkarılan dökümün 225 - 400 °C sıcaklığındaki östemperlenme banyosuna atılması ile gerçekleştirilir. Östemperleme işleminde genelde kullanılan banyolar yağ ve tuz banyolarıdır.

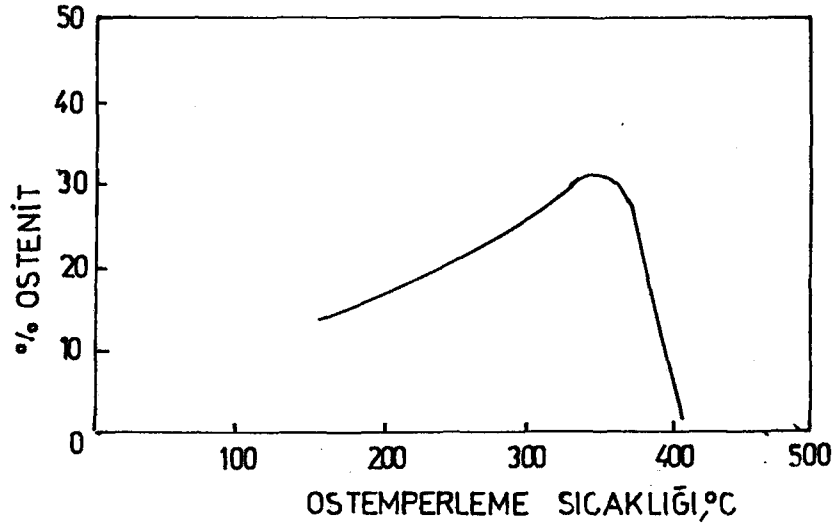
Östemperleme işleminde östemperleme sıcaklığının yüksek olması sertlik ve aşınma direncini düşürmektedir. Sıcaklık arttıkça kalıntı östenit miktarı artmakta bu da aşınma direncini düşürmektedir. Şekil 8.5 ve 8.6'da sırası ile SG60 ve SG42 'ye ait grafiklerde östemperleme sıcaklığı ile kalıntı östenit arasındaki ilişki gösterilmektedir (Allen ve Shepperson,1988).

K.G.D.D'lerde östemperleme işleminde alaşım elementleri sertlik ve aşınma direncini iyileştirmektedir. Ni ve Cu aşınma direncini ve sertliği arttıran elementler olup, Al iyi bir grafitleyici olarak , iyi bir beynitik yapı oluşmasına yardımcı olmaktadır (Boutorabi ve arkadaşları, 1993).

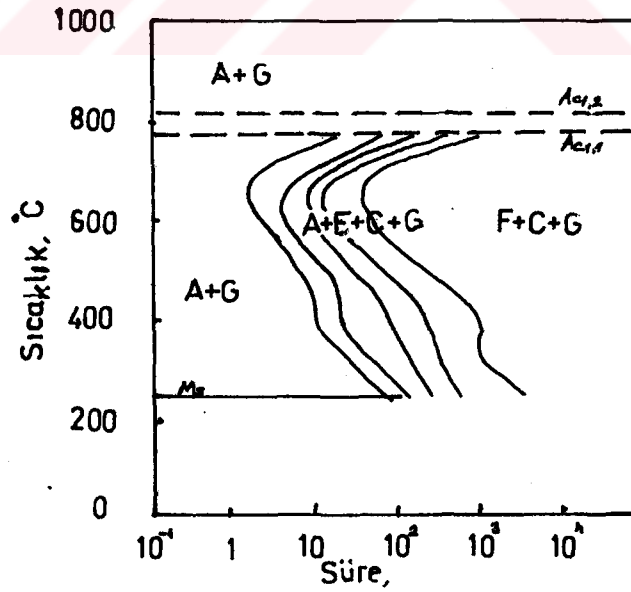
Östemperleme işlemleri izotermal dönüşüm diyagramları ile belirlenir.Şekil 8.7,östenit dönüşüm işlemleri hakkında bilgi vermektedir.Burada östenitin beynite dönüşümü östemperleme sıcaklığında iki saat beklemeyle tamamlanmaktadır (Metals Handbook).



Şekil-8.5 : Farklı sıcaklıklarda 30 dak. süre ile östemperlenmiş SG60 'de kalıntı östenit miktarı (Allen ve Shepperson,1988).



Şekil-8.6 : Farklı sıcaklıklarda 30 dak. süre ile östemperlenmiş SG42 'de kalıntı östenit miktarı (Allen ve Shepperson, 1988).



Şekil-8.7 : %3.3 C , %2.52 Si içeren alaşımsız küresel grafitli dökme demir için izotermal dönüşüm diyagramı (Metals Handbook, 1985).
A: Östenit, G: Grafit, F: Ferrit, C: Karbür

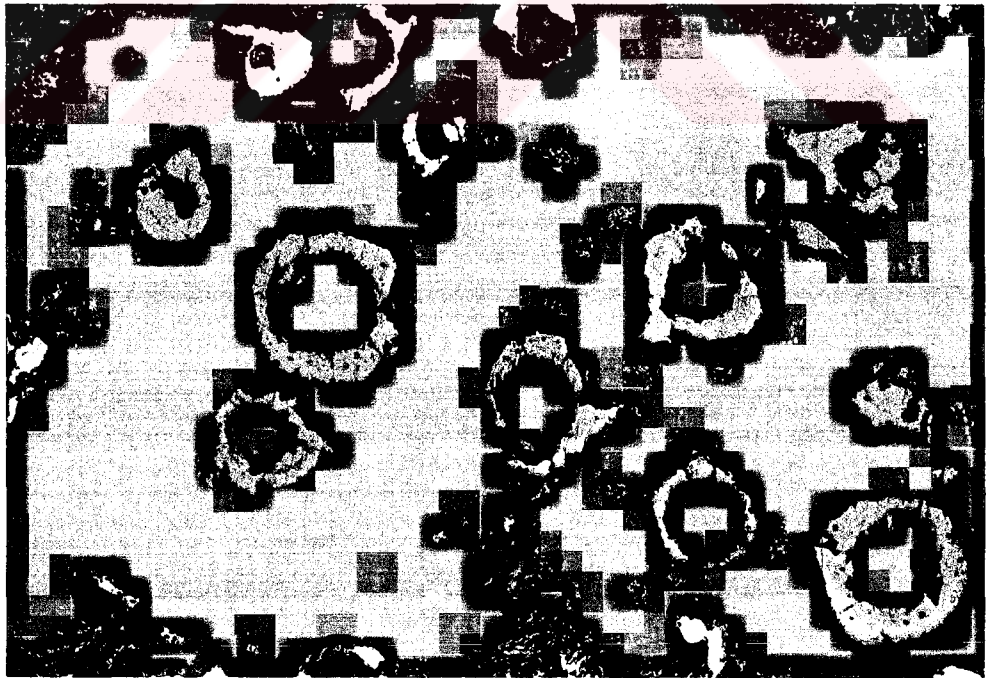
9.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

9.1.Deneylerde Kullanılan Malzeme

Deneylerde kullanılan malzeme , indüksiyon ergitme fırınında 1560 °C ' de ergitilen ve 1420 – 1440 °C döküm sıcaklığında dökülen, kam millerinin yolluklarından alınmış Küresel Grafitli Dökme Demir olup , ENTİL A.Ş 'den temin edilmiştir.Bileşimi çizelge 9.1'de , Orjinal mikroyapısı da şekil 9.1'de gösterilen numuneler perlitik yapıya sahip olup, malzemenin bileşimi markası Spectralop olan elektro-specturo cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge-9.1 : Deneylerde kullanılan malzemenin bileşimi

Bileşim	C	Si	Mn	Cu	Cr	Ni	Mg	P	S
Miktar %	3.41	2.5	0.60	0.79	0.03	0.02	0.04	0.017	0.0083



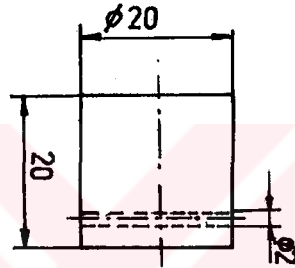
Şekil-9.1 : Deneylerde kullanılan malzemenin orjinal mikroyapısı.

(Beyaz:Ferrit halkası,Gri:Grafit,Siyah:Perlit)X80

9.2.Deneylerin Yapılışı

9.2.1.Uygulanan ısıtma işlemler

Isıtma işlem deneyinde kullanılan numuneler şekil 9.2'de gösterilen boyutlarda hazırlanmış ve ısıtmaya tabi tutulan yüzeyler 500 mesh'lik SiC zımpara ile zımparalanmıştır. Numuneler , indüksiyonla ısıtma cihazında , durağan ısıtma yöntemiyle östenitleme sıcaklıklarına kadar ısıtılmıştır ve bu numunelerin bir kısmı suda sertleştirilmiş, bir kısmı da 60 dakika süre ile 225 °C ve 375 °C ' de tuz banyosunda östemperlenmiştir. Daha sonra bu numuneler temizlenmiş ve ısıtma işlem gören yüzeylerin sertlik değerleri , Rockwell sertlik ölçme cihazında, HRC olarak ölçülmüştür. Numunelere uygulanan ısıtma işlem şartları çizelge 9.2 ' de verilmiştir.



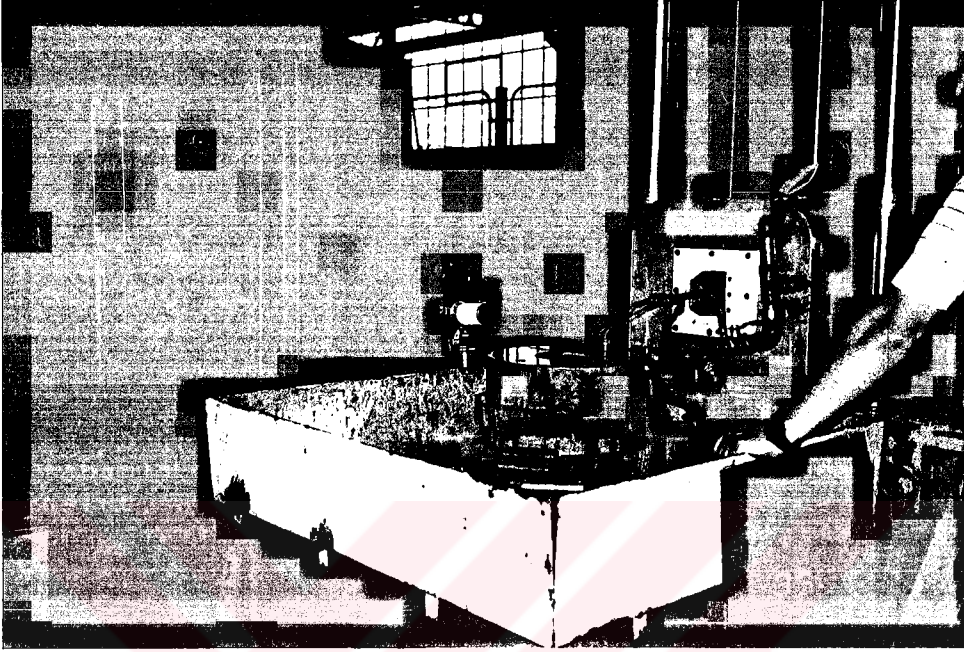
Şekil-9.2 : Deneylerde kullanılan numunelerin boyutları.

Çizelge-9.2 : Numunelere uygulanan ısıtma işlemler ve deneysel parametreler

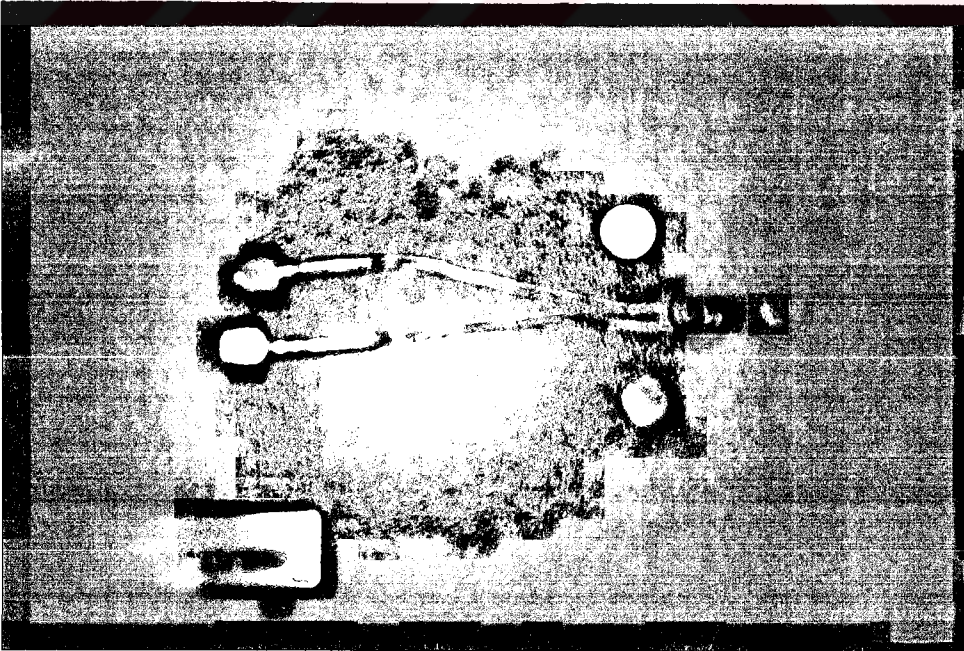
Numune no	Güç kW	Östenitleme sıcaklığı °C	Isıtma işlemi	Isıtma süresi sn
1	2.7	900-950	su verme	10
2	2.75	900-950	su verme	10
3	2.7	900-950	225°C öst.	10
4	2.75	900-950	225°C öst.	10
5	2.7	900-950	375°C öst.	10
6	2.75	900-950	375°C öst.	10

Deneylerde kullanılan indüksiyon ısıtma cihazında,güç kaynağı olarak, 100-500 kHz kapasiteli Vakum lambalı sistem kullanılmıştır. Numunelerin östenitleme sıcaklıkları , indüksiyon ısıtma cihazının yanına sabit bir şekilde yerleştirilen optik piroetre ile ısıtma süresi (10 sn) sonunda ölçülmüştür. 2.7 - 2.75 kW güç değerleri için, Ultimax marka,625 °C üstünde sıcaklık değerlerini ölçen optik piroetreden çok yakın sıcaklık değerleri okunmuştur.Isıtmada

kullanılan bobin , dış çapı 4 mm olan bakır borudan yapılmış yassı tabanlı bobin olup , ısıtma esnasında su ile soğutulmuştur. Şekil 9.3 ve 9.4 ' de deneylerde kullanılan indüksiyon ısıtma cihazı ve bobin gösterilmiştir.



Şekil-9.3 : Deneylerde kullanılan indüksiyon ısıtma cihazı.



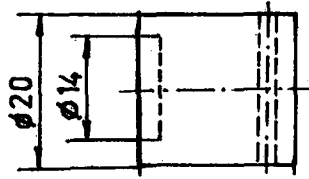
Şekil-9.4 : indüksiyonla ısıtmada kullanılan yassı bobin.

9.2.2. Aşınma deneyleri

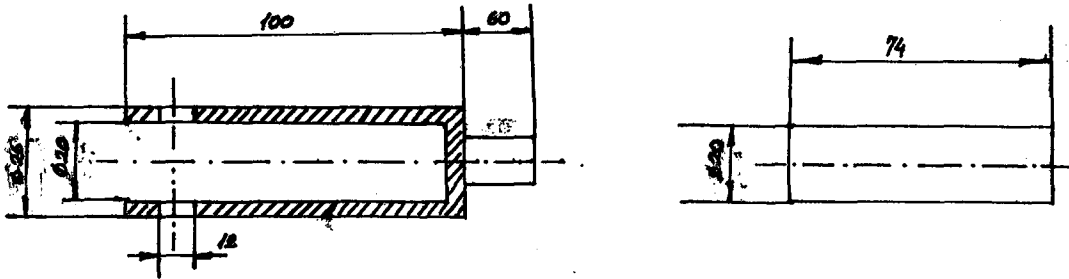
Aşınma deneyleri, dik başlı, otomatik tabla hareketi yapan frezede 100 mesh' lik SiC zımpara kağıtları kullanılarak, farklı, ısıtıl işlem uygulanan perlitik yapıya sahip, küresel grafitli dökme demir numunelerin aşınma özelliklerini karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır.

Isıl işlem sırasında numune yüzeyinin tamamında üniform bir ısı sağlanamaması nedeniyle, numune ısıtılan yüzeyinin dış kısımlarında östenitleme sıcaklığına ulaşılmış, iç kısımlarında bu sıcaklığa ulaşılammıştır. Bu nedenle, östenitleme sıcaklığına ulaşan kısımlarda aşındırma yapmak amacıyla numuneler şekil 9.5 'de gösterilen boyut ve şekilde hazırlanmıştır.

Deneylerde şekil 9.6'da gösterilen aparatın uç kısmına yerleştirilen numune 2250 d/d hızla dönerken, tezgahın alt tablasına yerleştirilen zımpara kağıdı da 62.5 mm/dak. hız ile doğrusal hareket ettirilmiştir. Numunelerin aparat ve mandralla birlikte dönmesini sağlamak için numunelerin arka kısımlarına boydan boya birer delik açılmış ve parça aparata pim yardımıyla sabitlenmiştir. 4 dakikalık periyotlarla, numunelerin ağırlık kayıpları, 0.01 gr hassasiyetli elektronik Prejica marka terazi ile ölçülmüştür. Toplam aşınma süresi 24 dakikadır. Her bir numune için, yeni bir zımpara kağıdı kullanılmış, zımpara yüzeyinde bir defadan fazla aşındırma yapılmamıştır. Tüm aşınma deneylerinde 155 gr'lık sabit bir ağırlık kullanılmış olup, kullanılan bu ağırlık şekil 9.6'da gösterilmiştir.



Şekil-9.5 : Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin boyutları.



Şekil-9.6 : Aşınma deneyinde kullanılan aparat ve ağırlık.

9.2.3. Mikroyapı çalışmaları

Mikroyapı çalışmalarında , indüksiyonla yüzeyleri sertleştirilen ve yüzeyleri östemperlenen numunelerin mikroyapıları incelenmiştir. Numuneler 300 ve 800 mesh ' lik SiC zımparalarla , zımparalanmış ve 0.7 μ ' luk alimüna ile parlatılmıştır. Parlatılan numuneler , % 5 'lik Pikralle dağlanmıştır.Dağlama işleminden sonra,mikroskopta mikroyapısı incelenen numunelerin , 80 ve 200 büyütmede mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Mikroskop ışık mikroskobu olup, Olympus PMG 3 markaya sahiptir.

9.3.Deney Sonuçları

Bu çalışmada,perlitik yapıya sahip küresel grafitli dökme demir numunelerin yüzeyleri indüksiyonla sertleştirilmiş ve östemperlenmiştir.Daha sonra bu numunelerin sertliği , aşınma sonrası sertliği , aşınma sonrası ağırlık kaybı araştırılmış ve mikroyapıları incelenmiştir.

Bu numunelerin orjinal yapı sertlik değerleri 31 HRC dir. Isıl işlem ve aşınma sonrası sertlik değerleri ölçülmüş ve çizelge 9.3 'te gösterilen değerler bulunmuştur.

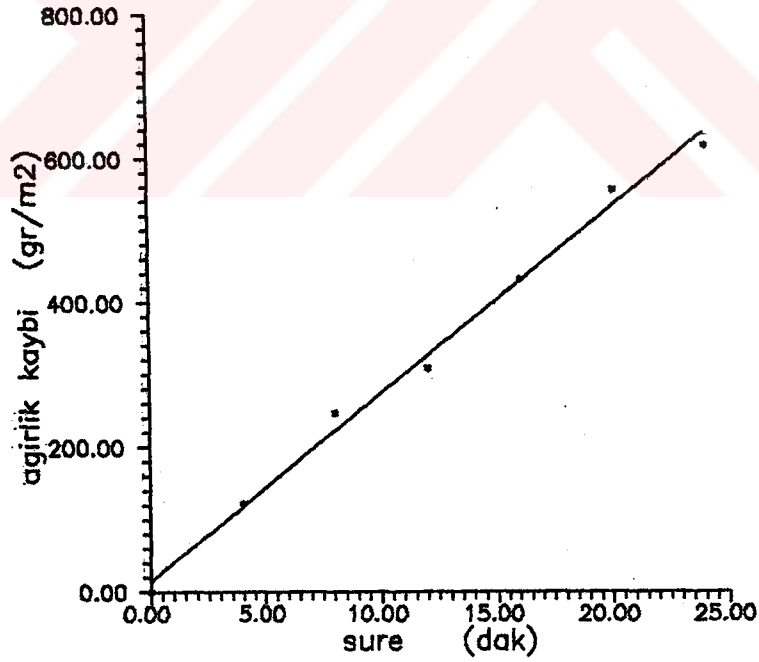
Çizelge-9.3 : Deneylerde kullanılan numunelerin ısıtıl işlem ve aşınma sonrası sertlik değerleri.

Numune no	Isıl işlem sonrası	Aşınma sonrası
	Sertlik değerleri , HRC	
1	58	59
2	58	59
3	45	46
4	47	48
5	32	34
6	33	35

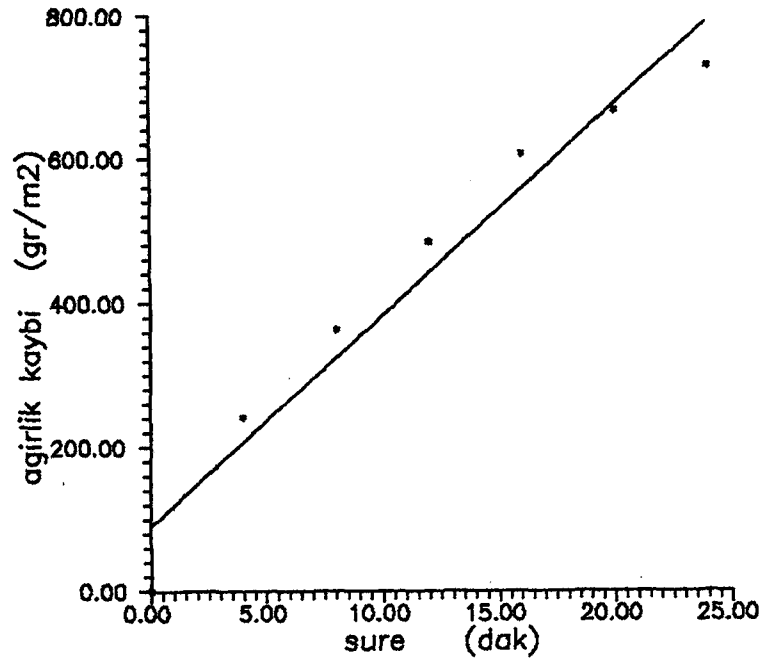
Aşınma deneylerine tabi tutulan numunelerde,sürelere bağlı olarak, tesbit edilen ,ağırlık kayıpları çizelge 9.4'te verilmiştir. Bu çizelgeden yararlanılarak , numunelerin süre, ağırlık kaybı, diyağramları çizilmiştir. Bu diyağramlar şekil 9.7 - 9.12'de gösterilmiştir.

Çizelge-9.4 : Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerde, 4 dakikalık periyotlarla belirlenen aşınma kayıpları.

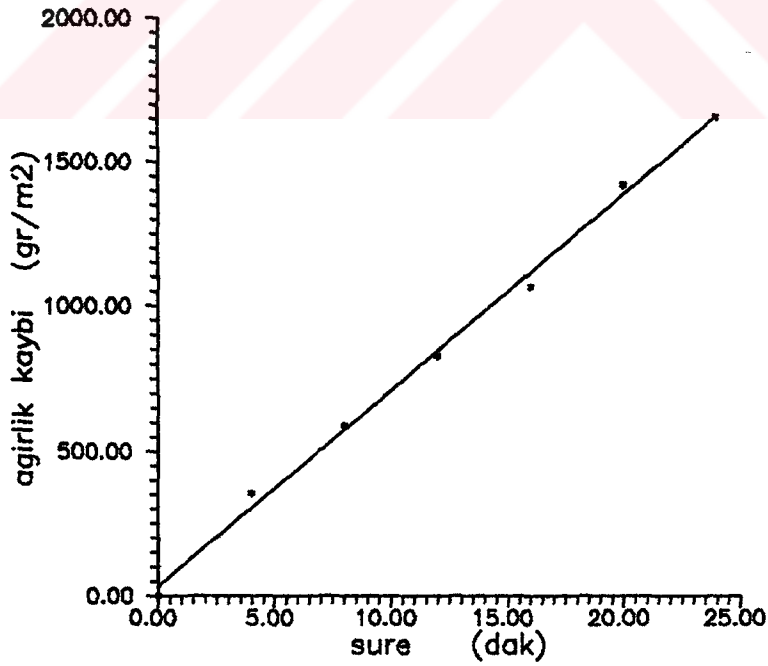
Süre, (dak.)	4	8	12	16	20	24
Numune	Ağırlık Kaybı, (gr/m ²)					
1	123	247	309	433	557	619
2	242	364	485	607	667	728
3	355	591	828	1065	1420	1656
4	355	651	888	1120	1361	1480
5	541	842	1263	1624	1984	2340
6	592	1006	1480	1953	2368	2666



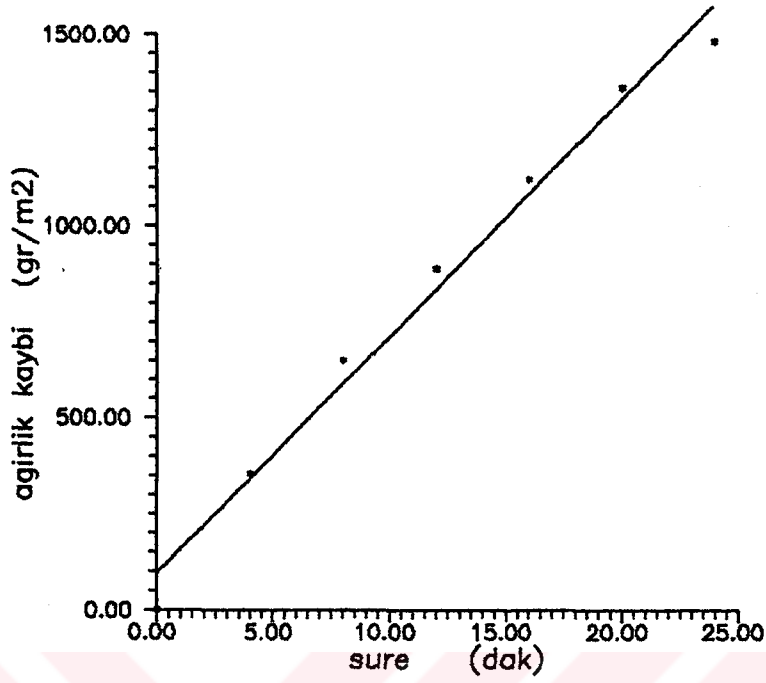
Şekil-9.7 : 2.7 kW güçte, indüksiyonla ısıtılıp suda su verilen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı, süre diyagramı.



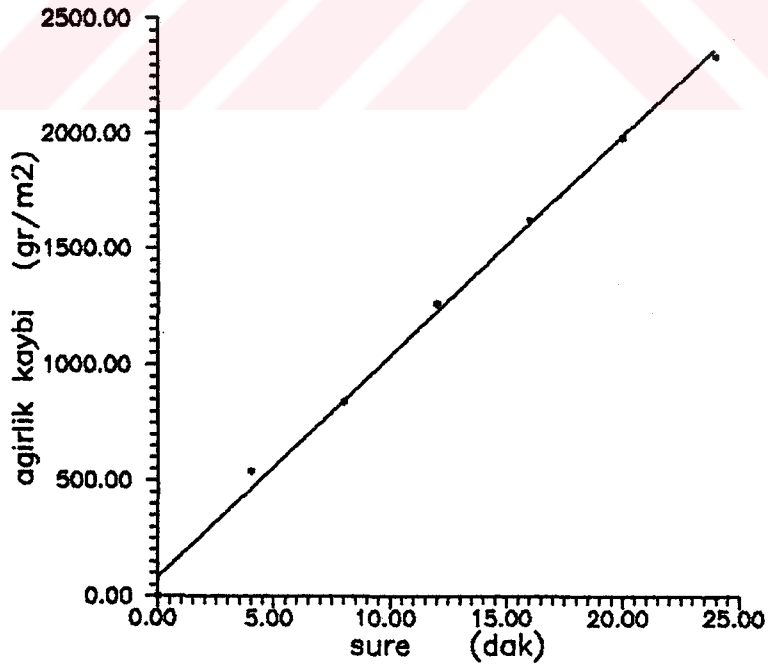
Şekil-9.8 : 2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılıp suda su verilen K.G.D.D. numunenin ağırlık kaybı,süre diyağramı.



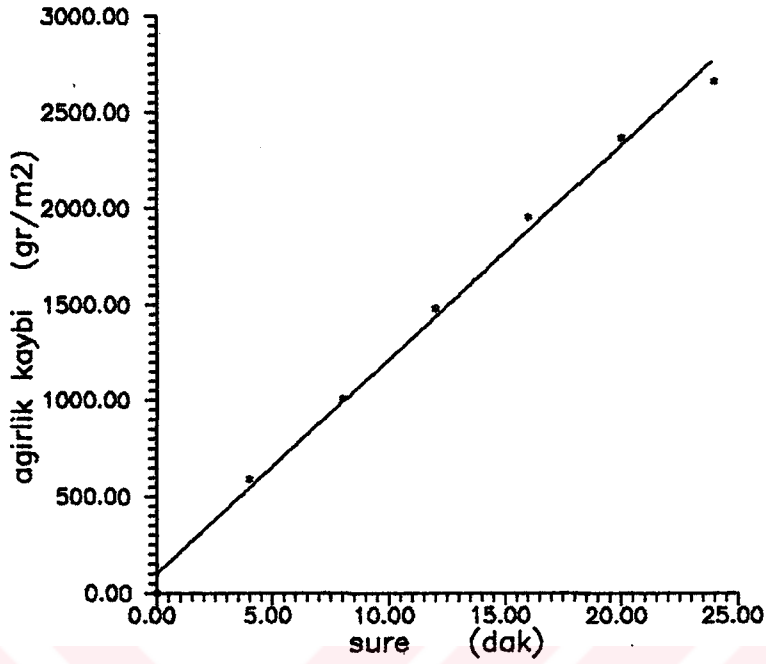
Şekil-9.9 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılıp , 225°C'de östemperlenen K.G.D.D numunenin ağırlık kaybı süre diyağramı.



Şekil-9.10 : 2.75 kW güçte,indüksiyonla ısıtılıp, 225°C'de östemperlenen K.G.D.D numunenin ağırlık kaybı süre diyagramı.

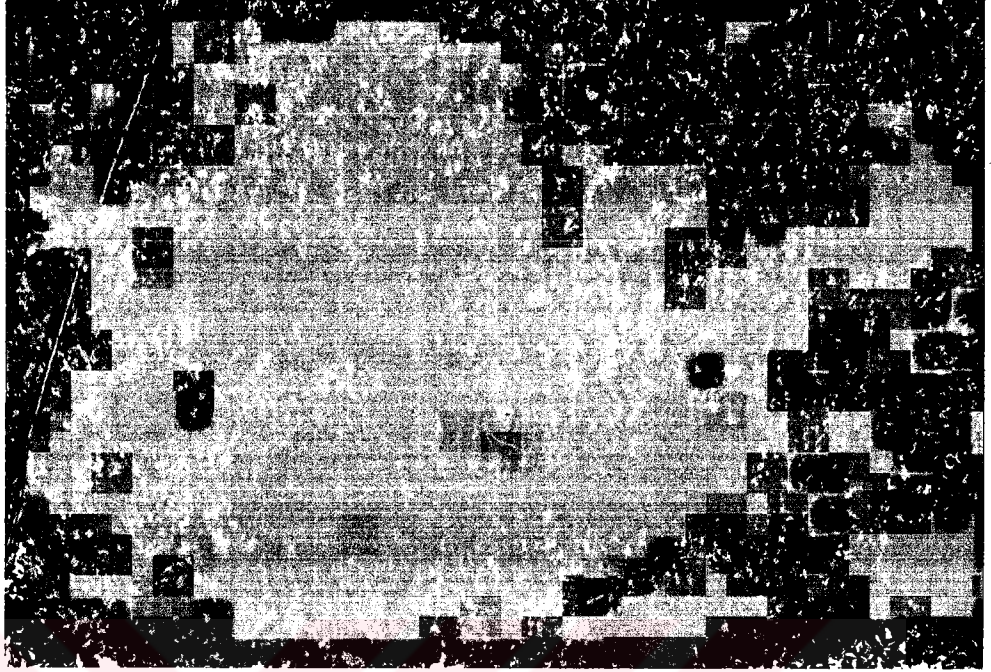


Şekil-9.11 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılıp , 375°C'de östemperlenen K.G.D.D numunenin ağırlık kaybı süre diyagramı.

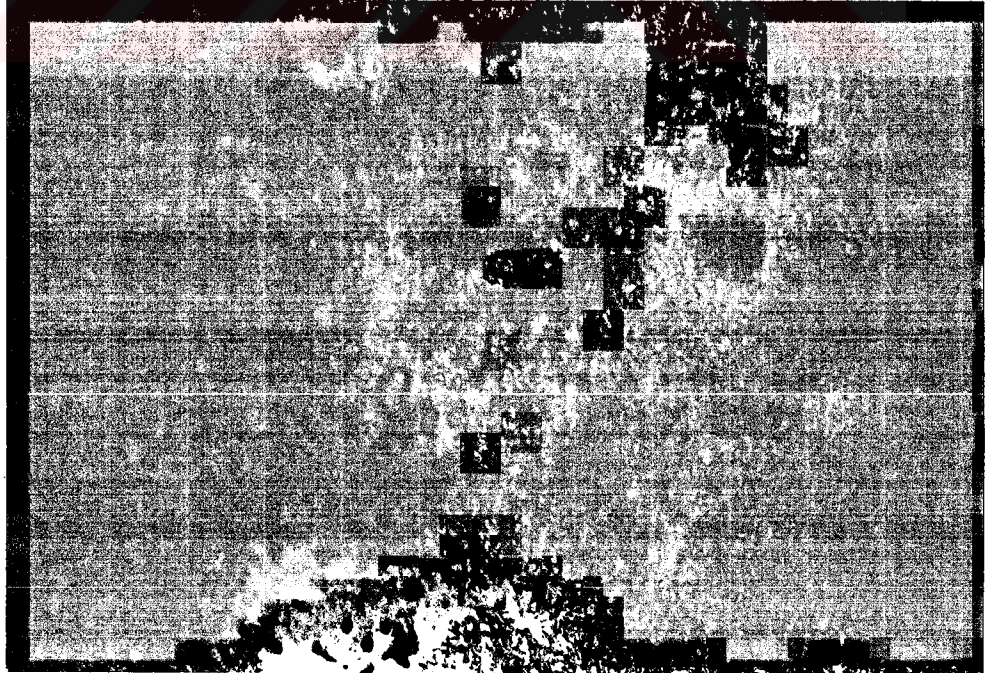


Şekil-9.12 : 2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılıp, 375°C'de östemperlenen K.G.D.D numunenin ağırlık kaybı süre diyagramı.

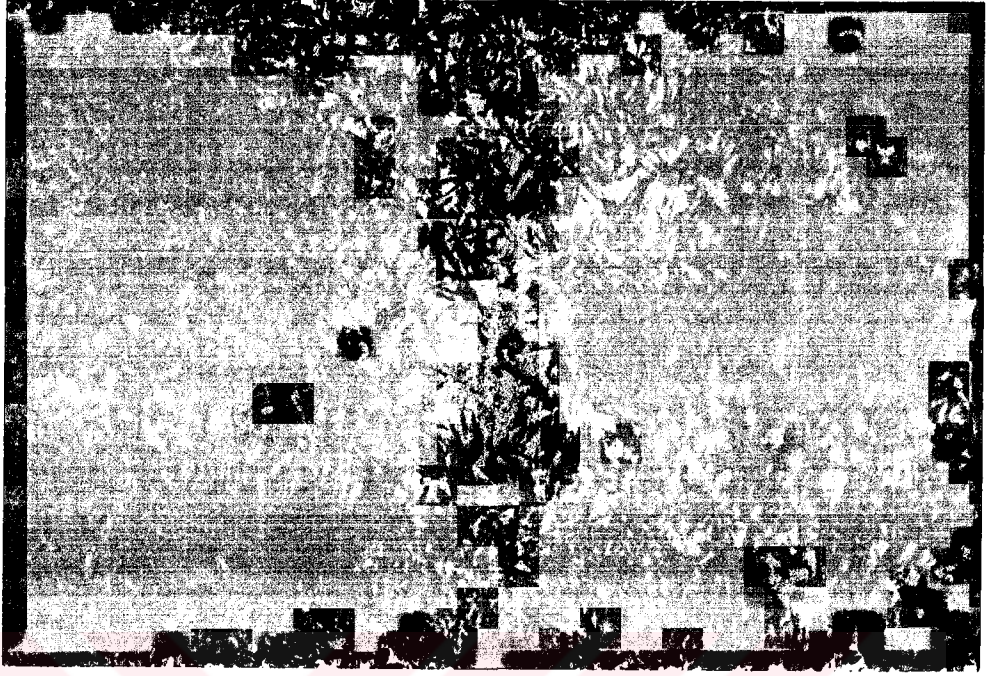
Mikroyapıları incelenen ve mikroyapı fotoğrafları çekilen numenelere ait mikroyapılar ; sırası ile suda su verilen numunelerin mikroyapıları, şekil 9.13-9.15 de', 225 °C 'de östemperlenen numunelerin mikroyapıları, şekil 9.16-9.19 'da, 375 °C'de östemperlenen numunelerin mikroyapıları şekil 9.20-9.23 'de gösterilmiştir.



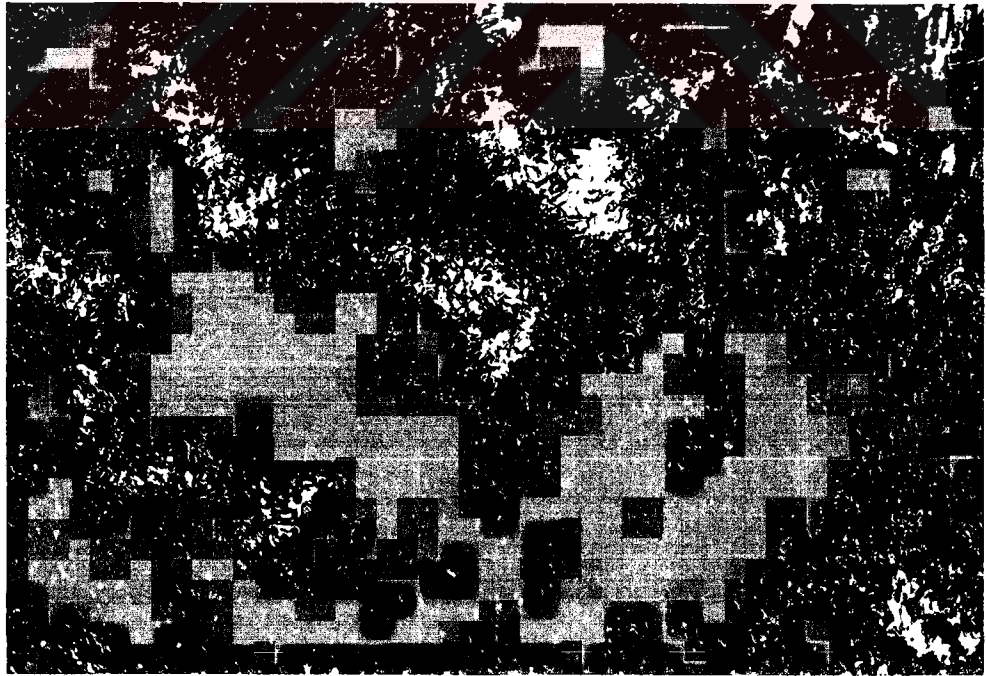
Şekil-9.13 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış,suda su verilmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı.
(Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Martenzit) X80



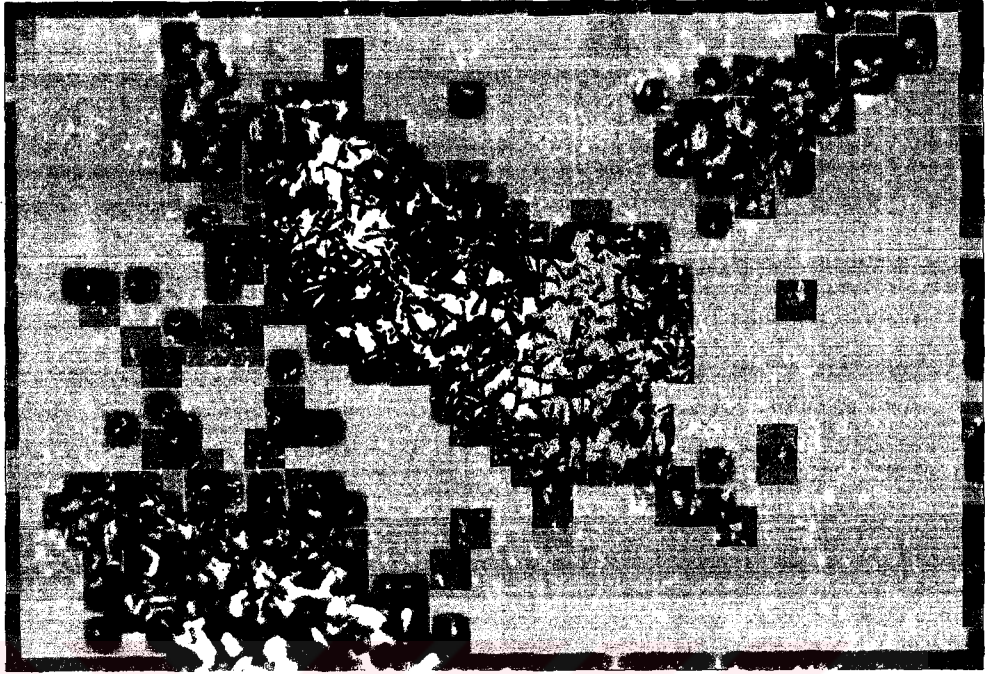
Şekil-9.14 : 2.75 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış,suda su verilmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı.
(Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Martenzit) X80



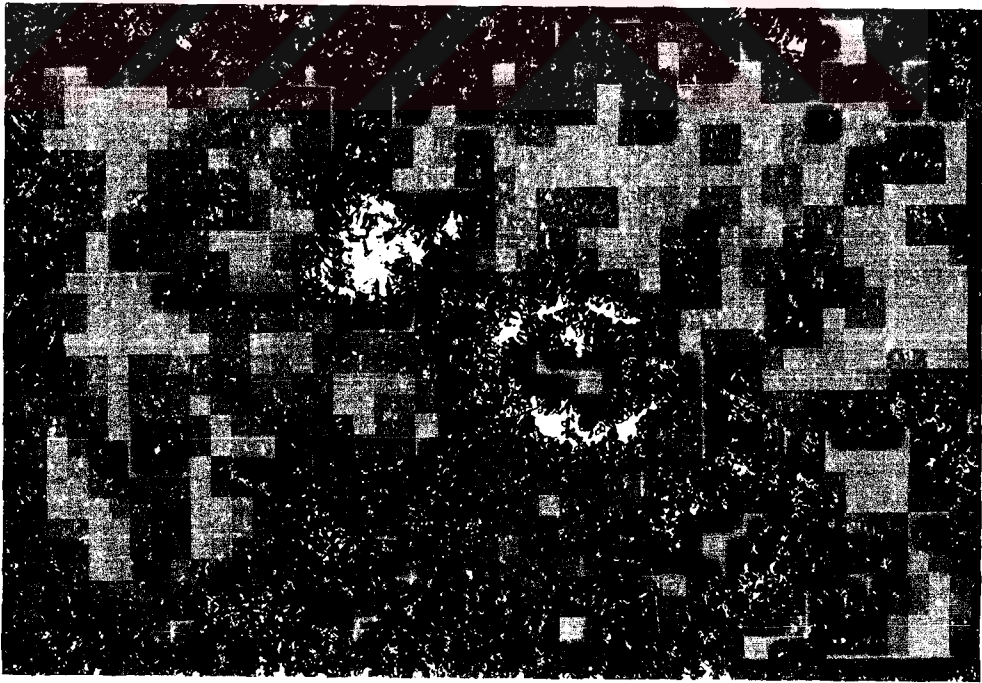
Şekil-9.15 : 2.75 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış,suda su verilmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı.X200 (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Martenzit)



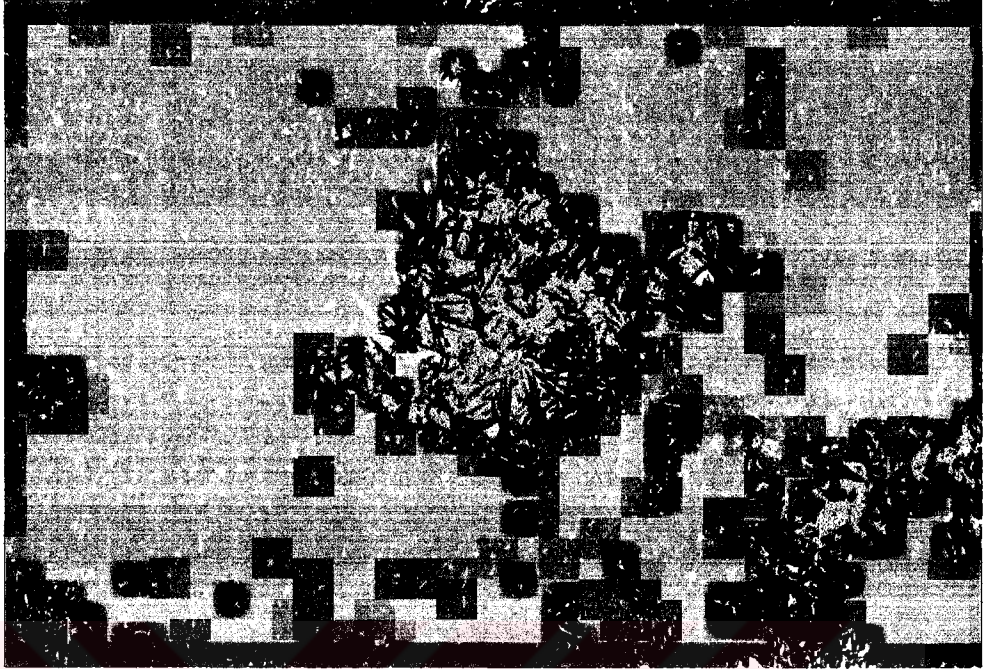
Şekil-9.16 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış ,225°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Alt beynit) X80



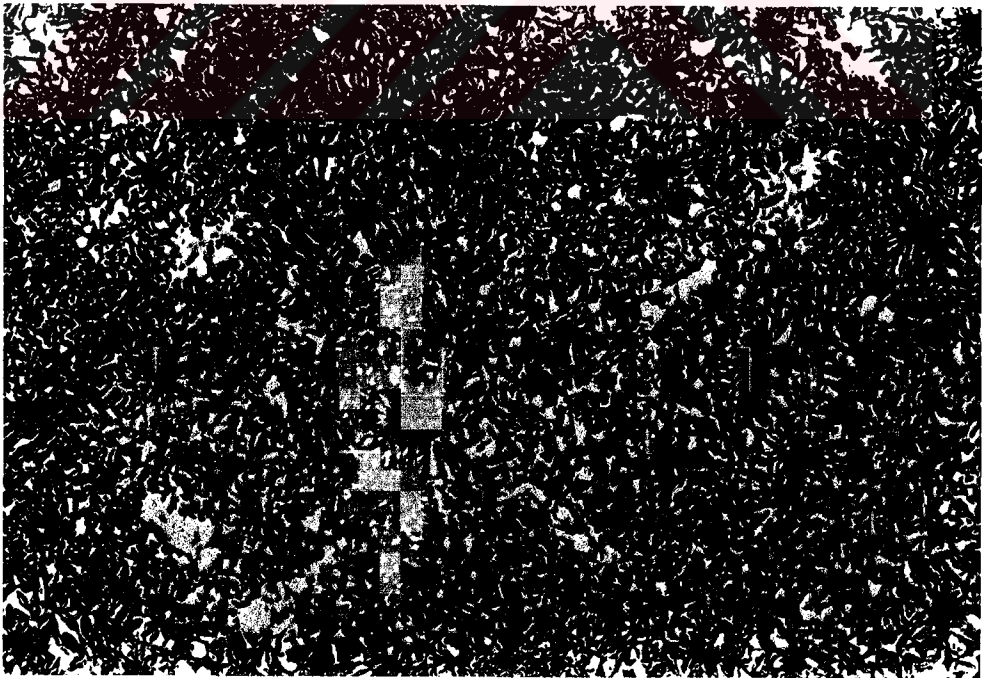
Şekil-9.17 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış ,225°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Alt beynit) X200



Şekil-9.18 : 2.75 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış ,225°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Alt beynit) X80



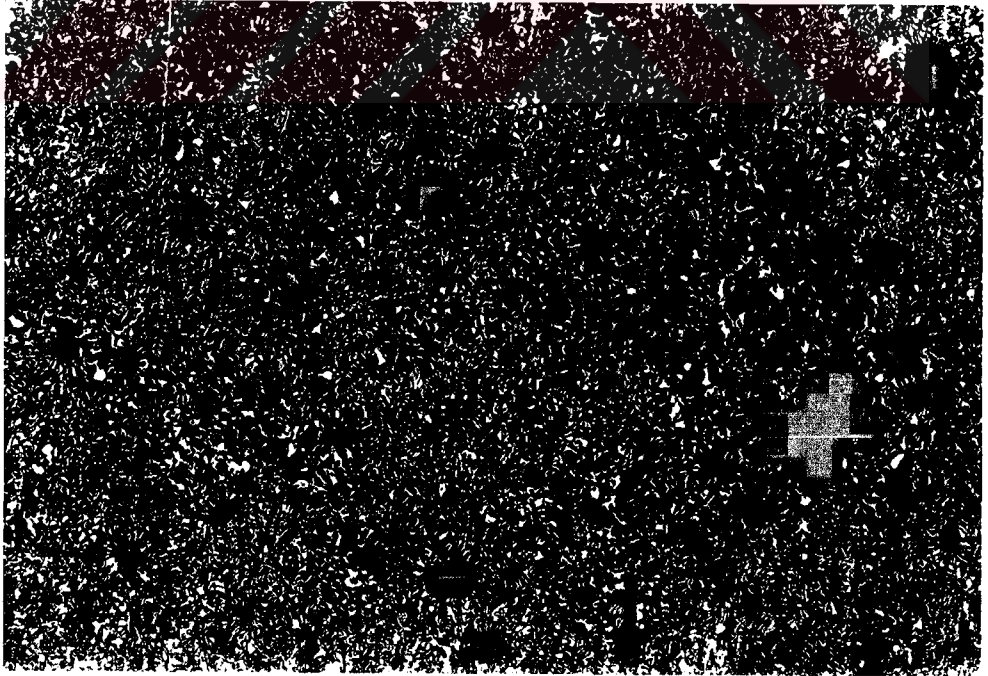
Şekil-9.19 : 2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılmış ,225°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Alt beynit) X200



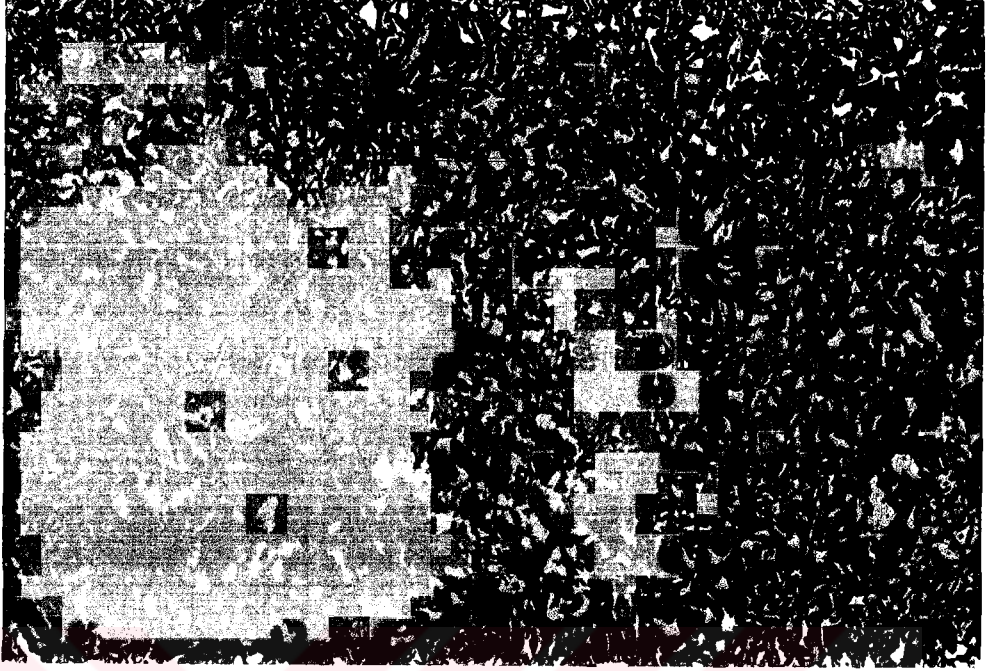
Şekil-9.20 : 2.7 kW güçte, indüksiyonla ısıtılmış ,375°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Üst beynit) X80



Şekil-9.21 : 2.7 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış ,375°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Üst beynit) X200



Şekil-9.22 : 2.75 kW güçte,indüksiyonla ısıtılmış ,375°C'de östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı. (Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Üst beynit) X80



Şekil-9.23 : 2.75 kW güçte, indüksiyonla ısıtılmış ,375°C'de
östemperlenmiş K.G.D.D numunenin mikroyapısı.
(Beyaz:Kalıntı östenit,Siyah:Üst beynit) X200

10.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada , perlitik yapıya sahip , Küresel Grafitli Dökme Demirlerin yüzeyi, indüksiyonla sertleştirilmiş ve östemperlenmiştir. Çalışma sonucunda ,aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yüzeyleri indüksiyonla sertleştirilen ve östemperlenen tüm numunelerin yüzey sertlik değerlerinde artışlar görüldü. En yüksek sertlik değerleri beklendiği gibi suda sertleştirilen numunelerde elde edildi.225°C'de östemperlenen numunelerde de bu sertlik değerlerine yakın değerler elde edildi.

2. Mikroyapı incelemesinde,suda sertleştirilen numunelerde martenzit ve kalıntı östenit,225 °C östemperlenen numunelerde alt beynit ve kalıntı östenit , 375 °C ' de östemperlenen numunelerde, üst beynit ve kalıntı östenit yapıları görülmüştür.

3. Aşınma deneylerinde , sertlik değerleri ile orantılı olarak en az ağırlık kaybı suda sertleştirilen numunelerde olmuştur. 225 °C ' de östemperlenen numunelerde , 375 °C'de östemperlenen numunelere göre daha az aşınma kaybı olmuştur.

4. Isıl işlem sonrası ölçülen sertlik değerleri , aşınma sonrası bir miktar artmıştır.Bunun nedeni, tüm numunelerde ısıtma işlem sonrası mikroyapıda oluşan kalıntı östenit aşınma (çalışma) esnasında martenzite dönüşmesidir.

5. Deneylerde kullanılan ,yassı tabanlı bobinin, numuneler üzerindeki verimi literatürde belirtilen değerlerin çok altında olmuştur. Bunun yanında, ısıtma süresinde istenen hassasiyet tam olarak sağlanamamıştır.Bu gibi olumsuz etkiler deneylerin sunucunu olumsuz yönde etkilemiştir. İleride yapılacak çalışmalarda bobin tasarımı daha dikkatli davranılması ve işlem şartlarının daha sıkı şartlar altında tutulması önerilebilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Metals Handbook, 1985, vol.4, Heat Treating, 9 th edition, ASM, Metals Park, OHIO.
- Boutorabi S. M. A. , Young J.M. ve Kondic V. ,1993 , " The tribological behaviour of austempered spheroidal graphite aliminium cast iron " , Wear , 165 , 1 , 19-24
- Dalfes M. ,1984 , " Elektroteknik ,Doğru akım ve alternatif akımları temel kanunları,makinaları,problemleri, elektrik elektronik teknolojisi " ,Doğan ofset,İstanbul.
- Güney B. , 1994 , " İndüksiyon fırınları " , A.Ü. Müh. Mim.Böl. Elektrik Elektronik Mühendisliği Uygulaması,Eskişehir.
- Kuznetsov A.A.,İnglezi Yu.Kh.,1988," Quenchants for surface induction hardening of parts " , Met. Sci.and Heat Treat. 30 , (9-10) , 759-763.
- Letovka V.I.,Reznik V.A,1987, "Effect of chemical composition on the hardenability of high strenght cast iron " , Met. Sci.and Heat Treat. , 29 , (5-6) , 410-412.
- Malyi A.F. ,Salntsov L.A. ,Yakovlev.F.I.,1984," Effect tin on the structure and properties of high strenght cast iron after induction hardening " , Met. Sci. and Heat Treat. , 25, (3-4), 281 - 283
- Shepperson S.,Allen C.,1988 , " The abrasive wear behaviour of austempered spheroidal cast iron " , Wear , 121 , 271-287.
- Stutz S. , 1986," Induction heat treatment of steel", Metals Park,OHIO.
- Taner M. , Tüfekçi M.,1980 , " İndüksiyon ergitme teknolojisi, Segem, Ankara.
- Tekin E.,1991," İndüksiyon yöntemiyle çeliklerin yüzeylerinin sertleştirilmesi " , Seminer notları, Tülomsaş,Eskişehir.
- Topbaş M.A. , 1993 , " Isıl işlemler " ,Ekim ofset,İstanbul.
- Vologdin, V.P., 1969 , " Industrial applications of induction heating", (Çev.Cornish,J,edl.Hiller,F.),Pergamon Press Ltd Library of congress catalog card no : 66-17261 , Hungary.
- Yakovlev F.I.,1987 , " Transformation in induction heating of pearlitic and ferritic cast iron with spheroidal graphite " ,Met. Sci. and Heat Treat. , 29 , (5-6),403-406.

Yıldırım Y. , 1992 , " Çeliklerde indüksiyonla y
sertleştirme ",A. Ü. Müh.Mim.Fak.Makina Müh.Böl.,Bit
ödevi,Eskişehir.

Wick C. , Vecllux R. F.,1970 " Tool and manufactu
engineers Handbook " , Materials finishing and cool
Mc - Graw - Hill, Book Company.

