

T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

İNCE TANELİ SEMENTASYON
ÇELİKLERİNDE SICAK ŞEKİL
VERME VE ISIL İŞLEMİN
OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNE
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERAL ŞANLI

BURSA, HAZİRAN 1987

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

İNCE TANELİ SEMENTASYON
ÇELİKLERİNDE SICAK ŞEKİL
VERME VE ISIL İŞLEMİN
OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNE
ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MERAL ŞANLI

Sınav Günü :
Jüri Üyeleri :
.....
.....

BURSA, HAZİRAN 1987

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİ.....	2
2.1. GENEL KAVRAMLAR.....	2
2.1.1. Demirin Atom Düzeni.....	2
2.1.2. Demirde Alaşım Elemanı Olan Karbonun Dağılımı.....	5
2.1.3. Demir-Karbon Denge Diagramı.....	7
2.2. ISIL İŞLEM.....	10
2.2.1. Isıtma.....	10
2.2.2. Soğutma.....	11
2.3. DEFORMASYON (BİÇİMLENDİRME).....	17
2.3.1. Elastik Deformasyon.....	18
2.3.2. Plastik Deformasyon.....	19
2.3.3. Difüzyon.....	27
2.3.4. Sıcak Şekil Verme.....	29
2.4. TANE BÜYÜKLÜĞÜ	29
2.4.1. Tane.....	29
2.4.2. Tane Sınırı.....	30
2.4.3. Tane Büyümesi.....	30
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
3.1. Malzeme ve Özellikleri.....	33
3.2. Dövme.....	35
3.3. Ön Isıl İşlem.....	36
3.4. Ostenitleme İşlemi.....	37
3.5. Ostenit Sıcaklığına Kadar Isıtma Hızının Etkisi.....	38

	<u>Sayfa No</u>
3.6. Parlatma.....	38
3.7. Dağlama.....	39
3.8. Ostenit Tane Büyüklüğünü Tesbit Etme Yn- temi.....	55
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Sıcak Şekil Vermenin Ostenit Tane Büyüklü- đne Etkisi.....	57
4.2. Isıl İŞlemin Ostenit Tane Büyüklüğüne Et- kisi.....	59
4.3. Ostenit Sıcaklığa Kadar Isıtma Hızının Os- tenit Tane Büyüklüğüne Etkisi.....	60
ÖZET.....	71
TEŞEKKÜR.....	72
KAYNAKLAR.....	73

1. GİRİŞ

Çelik malzemesinin kullanım alanını belirlerken üzerinde durulan en önemli özellik dayanıklılık, sertlik tokluk gibi özelliklerinden oluşan "Mekanik" özelliğidir. Mekanik özellik ise malzemenin iç yapısına bağlıdır.

İç yapıdaki her türlü değişiklik, doğrudan doğruya malzemenin mekanik davranışlarını da değiştirir. O halde iç yapıyı oluşturan bileşikler, onların miktarları ve etkileri hakkında elde edilecek her bilgi, malzemenin daha mükemmel üretilmesine yardımcı olacaktır.

Günlük hayatta sayısız kullanım sahası bulunan çeliklerin iç yapıları iki ana bileşimden oluşur. Ana yapı (Ferrit, ostenit veya martensit) ve ana yapıda çökelmiş karbürler. Karbürler metallerin karbon ile bileşerek oluşturdukları çok sert ve çok kırılğan bileşiklerdir. Katılan alaşım elementlerine bağlı olarak çelik içindeki türleri değişir.

Çeliğin iç yapısı genel olarak içindeki alaşım elementlerine , sıcak ya da soğuk şekillendirme işlemine ve ısıtma işlemine bağlı olarak değiştirilebilir.

Alaşım elementleri, sıcak ya da soğuk şekil verme, ısıtma işlem çeliğin yapısındaki ostenit tane büyüklüğüne etki eder. Ostenit tane büyüklüğünde çeliğin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. (5,20)

Bu çalışmada düşük karbonlu ve ince taneli sementasyon çeliklerine uygulanan sıcak şekil verme ve ısıtma işlemi, ostenit tane büyüklüğüne olan etkileri araştırılmıştır.

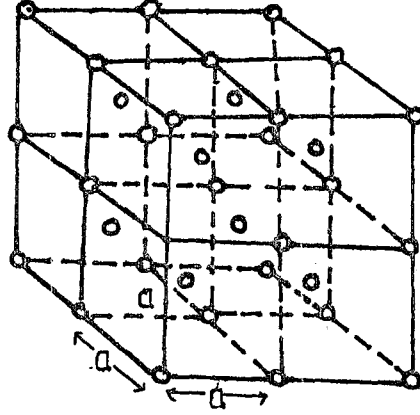
2. TEORİ

2.1. GENEL KAVRAMLAR

Maksimum % 2 karbon içeren demir alaşımlarına çelik denir. Çeliğin içinde bulunan en önemli elementler demir ve karbondur. Saf demir yumuşaktır ve plastiklik özelliğine sahiptir. (1,2)

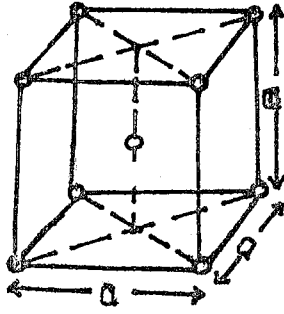
2.1.1. DEMİRİN ATOM DÜZENİ

Her maddenin kendine özgü bir kristal yapısı vardır. X ışınları yardımıyla bunları incelemek ve her bir atomun yerini, şeklini tayin etmek mümkündür. Bir maddenin atomları genelde küre şeklinde temsil edilir. Kürelerin merkezleri çizgilerle birleştirilerek atomların örgü ya da kafes sistemi elde edilir. Kristalin tüm özelliklerini temsil eden en küçük hacimli kafese temel birim hücre adı verilir. Şekil-2.1'de örnek bir kafes sistemi görülmektedir.

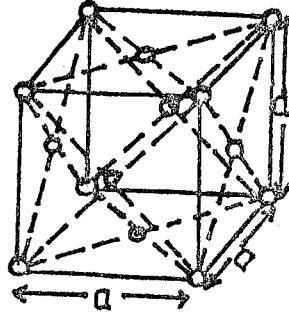


Şekil-2.1.1 8 tane komşu cisim merkezli kübik (bcc) hücrelerden meydana gelen bir kristal kafes örneğidir. (3)

Demir iki türlü kristal kafes şekline sahiptir. Daş etkiler altında bu kristal kafesler birinden diğesine dönüşebilir. Saf demir oda sıcaklığında cisim merkezli kübik yapıdadır (bcc). Bu demire α -demir denir. 910°C sıcaklıkta demir kristali, yüzey merkezli kübik yapıdadır (fcc). Bu demire γ -demir denir. Şekil-2.1.2. de α ve γ -demir temel birim hücresi görülmektedir.



a)



b)

Şekil-2.1.2. a) - Cisim merkezli kübik yapıdaki α -demirinin temel birim hücrelidir. Kübün kenar uzunlukları $a=b=c$ dir. İki komşu atom arasındaki uzaklık $2,86 \text{ \AA}$ dur. (4)

b) - Yüzey merkezli γ -demirinin temel birim hücrelidir. Kübün kenar uzunlukları $a=b=c$ dir. İki komşu atom arasındaki uzaklık $3,56 \text{ \AA}$ dur. (4)

Cisim merkezli kübik yapıdaki α -demir kristal kafesinde 8 köşede birer atom ve merkezde dokuzuncusu bulunmaktadır. Köşedeki atomların sadece $\frac{1}{8}$ i bu kafese aittir. Böylece (bcc) yapının her bir kafesinde iki atom vardır. (4)

Yüzey merkezli kübik yapıdaki γ -demir kristal kafesinde sekiz köşede ve altı yüzde birer atom vardır. Yine köşe atomlarının $\frac{1}{8}$ i ve her bir yüzeydeki atomun $\frac{1}{2}$ si bu kafese aittir. Böylece her (fcc) kristal kafesinde 4 atom vardır. (4)

Qda sıcaklığından itibaren ısıtma sırasında α -demir

kristal yapısında 910°C sıcaklığa kadar bir değişiklik olmaz. Bu sıcaklıkta atomların birbirine göre, konumunda bir değişiklik olur ve cisim merkezli α -demir, yüzey merkezli γ -demire dönüşür. ^(1,2) Eğer ısıtma işlemine devam edersek 1403°C sıcaklığına ulaşıldığı zaman yüzey merkezli γ -demir, cisim merkezli kristal yapısına dönüşür. Bu tip kristal yapıları demire δ -demir denir. ^(1,2) Tablo-2.1 de demirin çeşitli dönüşümlerde kristal yapı şekilleri görülmektedir.

Tablo-2.1

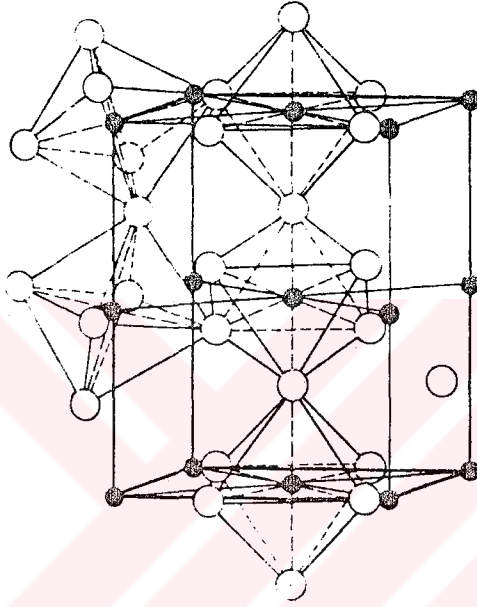
Dönüşümler	Kristal Yapısı	Sıcaklık Bölgesi
Alfa (α)	BCC	910°C kadar
Gama (γ)	FCC	910°C - 1403°C
Delta (δ)	BCC	1403°C - 1535°C

Tablo-2.1. Demirin kristal yapısındaki dönüşümler.

2.1.2. DEMİRDE ALAŞIM ELEMANI OLAN KARBONUN DAĞILIMI

Demir ve dolayısıyla çelikte en önemli alaşım elemanı karbondur. Çelikler içlerindeki karbon miktarına göre düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olarak sınıflandırılırlar. Demir ve karbonun bileşik durumdaki ürününe demir karbürü

veya sementit adı verilir. Sementitin kimyasal formülü Fe_3C dir. Bu formülün anlamı; bileşik içinde 3 demir atomu bir karbon atomu ile birleşip Fe_3C meydana getirir demektir. Sementit ortorombik kristal yapıdadır. Şekil-2.1.3. de sementitin kristal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.1.3. Sementitin kristal yapısı. Kenar uzunlukları $a \neq b \neq c$ dir. Kenarlar arasındaki açılar $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dir. (3)

İçinde karbon elementi bulunmayan saf demirin mikroskopta incelenmesi sonucu görünen mikro yapıya ferrit denir.

İçinde karbon elementi bulunan demirde, demirle, karbonun birleşerek meydana getirdiği (Fe_3C) demir karbürün ya da sementitin levhacıklar halinde α -demir ile bir arada bulunduğu mikro yapıya perlit denir. Perlit yapısı, ferrit yapısından daha sert bir yapıya sahiptir. (2)

2.1.3. DEMİR-KARBON DENGİ DİAGRAMI

Demir-karbon denge diagramında Şekil-2.1.4. de görüldüğü gibi herhangi bir sıcaklıkta değişik karbon miktarına göre çeliğin hangi iç yapı durumları aldığı belirtilmektedir.

Diagramda yatay eksen üzerinde soldan sağa doğru artan karbon miktarı, yüzde karbon ağırlığı olarak gösterilmektedir. Karbon miktarı arttıkça arı demir yani ferrit daha önce tanımlanan sementit şeklini alır. Karbon yüzdesi % 0.80 miktarına varınca bütün demir kristalleri sementit levhaları tarafından sarılır. Meydana gelen bu iç yapıya daha önce perlit denmişti. İçinde % 0.80 karbon bulunan çelik otektoid çelik adını alır. % 0.80 den az karbonlu çelikler ferrit ve perlit kristallerinden oluşur ve otektoid altı çelik adını alır. % 0.80 den fazla karbonlu çelikler perlit ve sementit kristallerinden oluşur. Otektoid üstü çelik adını alır.

Diagramda dikey eksen üzerinde sıcaklıklar $^{\circ}\text{C}$ olarak gösterilmektedir.

Şekil-2.1.4. görülen demir-karbon denge diagramında önemli kritik sıcaklıklar A_1 , A_2 , A_{cm} ile gösterilmiştir. Bu sıcaklıklar ısıtma ya da soğutma işlemleri sırasında dönüşüm sıcaklıkları ya da durak noktaları olarak bilinirler. Demir oda sıcaklığından itibaren ısıtılırsa, manyetikliğini tam olarak kaybedinceye kadar, yada α - demir fazından γ - demir fazına tamamen geçinceye kadar (sisteme ısı verilse dahi) sıcaklık kritik sıcaklık noktası sıcaklığında sabit kalır. Bu sabit noktalara durak noktaları denir.

Saf demirin ısıtılması sırasında magnetik özelliğini kaybettiği durak noktası sıcaklığı M harfi ile gösterilmiştir.

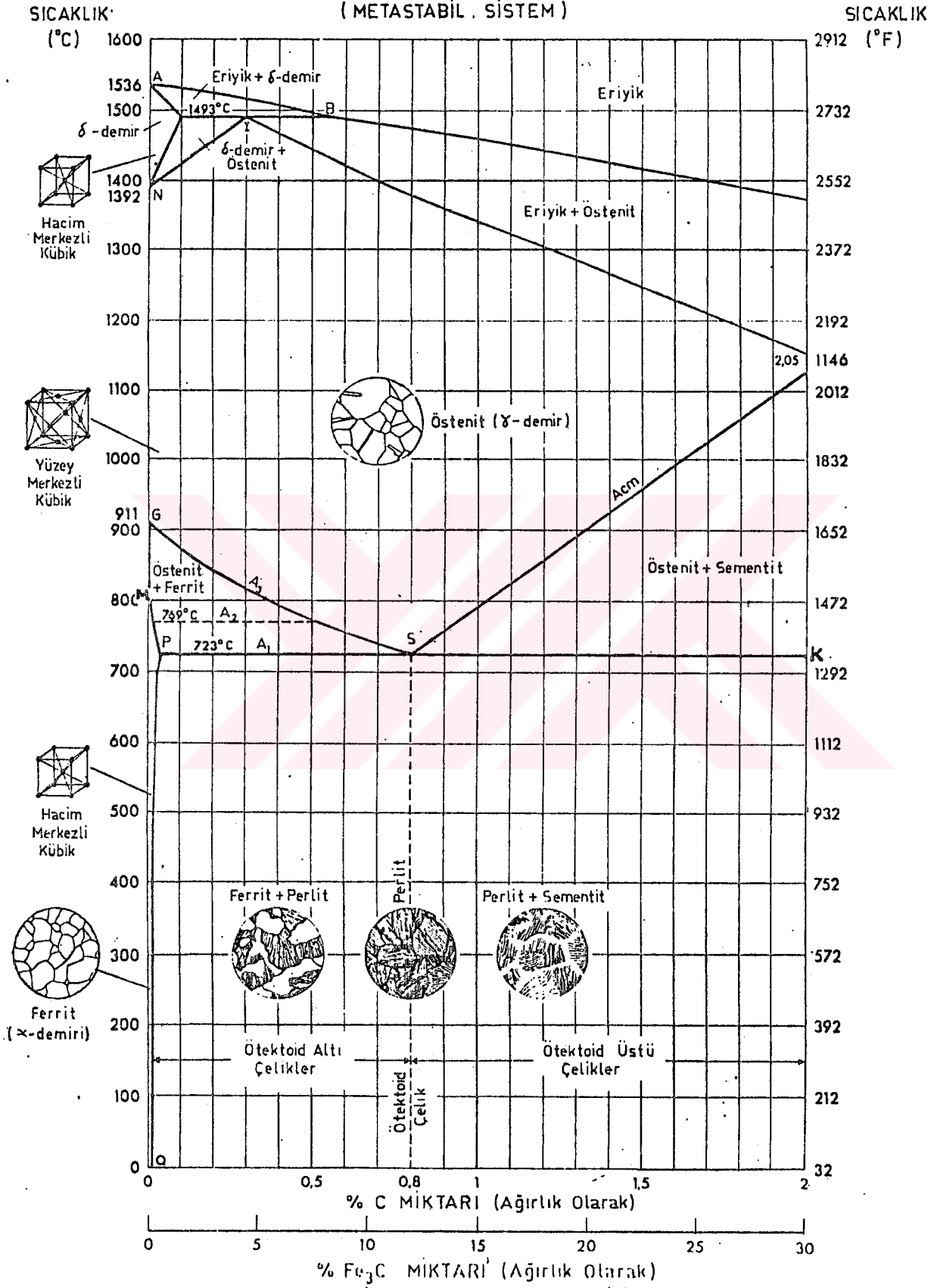
Bu M durak noktası sıcaklığı A_2 durak noktası sıcaklığı olarak bilinir. Yine saf demirin ısıtılması sırasında α -demirden γ -demire dönüştüğü sıcaklık diagramda G harfi ile gösterilmiştir ve bu noktada A_3 durak noktası sıcaklığı olarak bilinir. Demirin içerisindeki karbon miktarı % 0.80 miktarına yaklaştıkça

α -demir fazından γ -demir fazına dönüşümün başladığı sıcaklık PK çizgisi üzerindedir. Bu çizgi üzerindeki noktalar A_1 durak noktası sıcaklığı olarak bilinir. Dönüşümün tamamlandığı sıcaklık GOS eğrisi üzerindedir ve bu eğri üzerindeki noktalar A_3 durak noktası sıcaklığı olarak bilinir. GOS eğrisine A_3 eğrisi de denilmektedir. Karbon miktarı arttıkça demirin A_3 kritik sıcaklık noktası, az karbon miktarlı demirin A_3 kritik sıcaklık noktasından daha düşük olur. Karbon miktarı % 0.80 miktarına varınca α -demir fazından γ -demir fazına dönüşümün başladığı ve tamamlandığı sıcaklık S harfi ile gösterilir ve A_1 durak noktası olarak bilinir. Karbon miktarı % 0.80 ile % 2.0 miktarları arasında ise α -demir fazından γ -demir fazına dönüşüm yine A_1 durak noktası civarında başlar ve SE eğrisi üzerinde bulunan A_{cm} kritik sıcaklık noktasında tamamlanır.

Genel olarak bu kritik sıcaklık noktaları A harfi ile temsil edilir. A harfinin altındaki c ve r indisleri ise sırasıyla ısıtma ve soğutma sırasındaki sıcaklıkları gösterir. (1,2,4,5)

Şekil-2.1.4 de Demir-karbon denge diagramı görülmektedir.

DEMİR-KARBON DENGİ DİYAGRAMI (ÇELİK KISMI)
(METASTABİL SİSTEM)



Şekil-2.1.4. Demir-karbon denge diagramı (6).

2.2. ISIL İŞLEM

2.2.1. ISITMA

Demir-karbon denge diagramında, % 0 karbonlu saf demirin oda sıcaklığından itibaren ısıtılmasını inceleyelim. Sıcaklık artırılırsa önceleri önemli bir olay olmaz. α -demir kristalleri oda sıcaklığında magnetiktir. Sıcaklık arttıkça 768°C sıcaklıkta kristaller magnetikliğini kaybeder. Bu nokta diagramda A_2 durak noktası sıcaklığı olarak gösterilmektedir. Magnetikliğin kaybolması dışında demirin iç yapı durumunda bir değişiklik olmadığı bilinmektedir. Isıtmaya devam edilirse 910°C sıcaklıkta, birden bire kristal yapısında dönüşme meydana gelir. Cisim merkezli α -demir, yüzey merkezli γ -demire dönüşür. Bu γ -demirin iç yapısına Ostenit denir. ^(1,2,4,5) 910°C sıcaklığı, denge diagramında A_3 durak noktası olarak gösterilmektedir. Sıcaklık arttıkça ostenit taneleri yani ostenitin katı fazında belirli bir konum içinde dizilen atomların oluşturduğu iç yapı bölgesi büyür. 1400°C sıcaklık civarında kristal yapıda yine faz değişimi meydana gelir. Yüzey merkezli ostenit kristalleri tekrar cisim merkezli kristal yapısına döner ve δ -demir olarak adlandırılan demir fazı meydana gelir. Demirin bu kristal yapısı 1535°C sıcaklığa kadar kendisini korur. Bu sıcaklıkta saf demir erir. ⁽²⁾

% 0.77 yada % 0.80 karbon miktarından daha az örneğin % 0.40 karbon içeren bir çelik ferrit ve perlit kristallerinden oluşur. Isıtma sırasında 725°C sıcaklığa kadar yapısını-

da bir değişiklik olmaz ve 725°C sıcaklıkta bütün kristal yapısı ostenite dönüşmeye başlar. GOS eğrisinin üzerindeki sıcaklıklarda yapı tamamen ostenitiktir. Kristal yapısı cisim merkezli yapıdan yüzey merkezli yapıya dönüşür. Bütün karbon atomları yüzey merkezli kristal yapıda çözülür. (1)

% 0.77 yada % 0.80 miktarında karbon içeren bir çelikte bütün perlit kristalleri levhalar halindedir. Bu çelik ısıtılınca 725°C sıcaklıkta demir karbürü yada sementit kristalleri demir kristalleri içinde çözünür. α -demir kristalleri δ -demir kristallerine dönüşür. G noktasının üzerindeki sıcaklıklarda, dönüşüm sonucu mağnetik olmayan ostenitik yapı mevcuttur. Sıcaklık yükselince 1370°C sıcaklıktan sonra çelik yavaş yavaş erimeye başlar. (1) Sıcaklık arttıkça sıvılaşır ve yüksek sıcaklıkta erir.

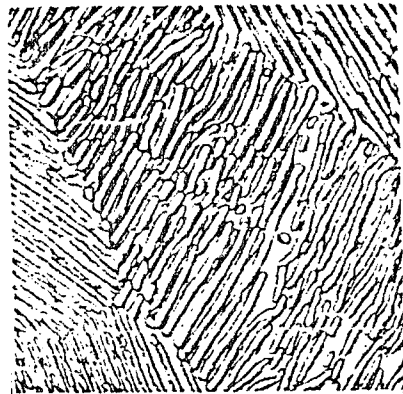
% 0.80 ile % 2.0 miktarları arasında karbon içeren bir çelik ısıtılırsa 725°C sıcaklıkta bütün perlit kristalleri ostenit kristallerine dönüşmeye başlar. SE eğrisi üzerinde (bu eğriye Ac_m eğrisi de denir) yükselen sıcaklıkla beraber sementit çözünür. Örneğin % 1 miktarında karbon içeren bir çelik 845°C sıcaklıkta tamamen % 100 düzgün ve mağnetik olmayan ostenitik bir yapıdadır. (1)

2.2.2. SOĞUTMA

Soğutma sırasında oluşan yapının genel görünümü soğutma süresine ve bu soğutma süresine karşılık gelen faz dönüşüm sıcaklığına bağlıdır.

Çeliğin belli sıcaklıktaki faz dönüşümü; çeliğin ostenitik halden bu faz dönüşümü sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra faz dönüşümünü takiben çeliğe oda sıcaklığındaki su verilmesi suretiyle incelenir. Bu işlemler sonucu elde edilen yapı mikroskopta gözlenir.

Yaklaşık % 0.77 karbon içeren çeliklerin, ostenit sıcaklık bölgesi 725°C ile 1370°C sıcaklıkları arasındadır. Bütün karbon bu sıcaklık bölgesinde erir. Bu katı çözeltili ostenit sıcaklık bölgesinden itibaren 725°C sıcaklığa kadar soğutulduğunda Fe-C denge diagramına göre herhangi bir dönüşüm meydana gelmez. 725°C sıcaklıkta % 0.77 karbon içeren çelik tek homojen katı çözeltili iken iki ayrı yeni faz meydana gelir. Aynı zamanda meydana gelen bu yeni fazlar ferrit ve sementit fazlarıdır. Şekil-2.2.1 de tipik % 0.77 karbon içeren otektoid bir çelik numunenin parlatılıp asitlendikten sonra mikroskop altında 750x büyütmede incelenen yapısı görülmektedir. (1)



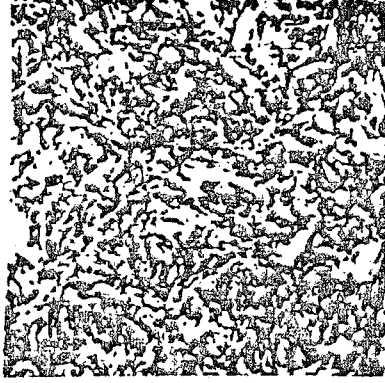
Şekil 2.2.1 Yaklaşık % 0.77 miktarında karbon içeren otektoid bir çeliğin mikro yapısıdır. Bütün taneler Perlit taneleridir. Beyaz kısımlar ferrit, siyah tabakalar sementit'dir.

Özel soğutma şartlarında örneğin yavaş soğutmada, sementit taneleri çökerek küresel şekil alır. Şekil-2.2.2 de yavaş soğutmadan sonuçlanan iki farklı yapı görülmektedir. Bu yapı genellikle küresel yapı olarak bilinir. (1)



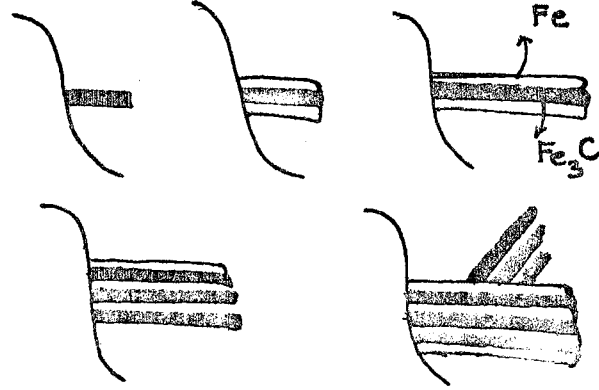
Şekil-2.2.2 Küresel sementitli otektoid çeliğin mikro yapısıdır. 1000x

% 0.80 miktarından az karbon içeren bir çelik, örneğin % 0.40 miktarında karbon içeren bir çelik numune, ostenit sıcaklık bölgesinden yavaşça soğutulmağa başlanırsa 725°C sıcaklıkta ferrit ostenitten bölünerek ayrılır. İdealde çok yavaş soğutma şartlarında bütün ferrit PK çizgisi üzerinde A_1 sıcaklık noktasında ostenitten ayrılır. Perlit meydana gelir. Oda sıcaklığında mikro yapı serbest ferrit taneleri ve perlit çdalarıdır. (1) Şekil-2.2.3 de % 0.40 karbon içeren bir çeliğin mikro yapısı görülmektedir.



Şekil-2.2.3 Tipik % 0.40 karbon içeren otektoid altı çeliğin mikro yapısıdır. Saf beyaz alanlar, serbest ferrit taneli adalardır. Beyaz taneleri içine alan, tipik lamelli perlit plakalarıdır.

Perlit oluşumu ostenit tane sınırlarında veya ostenit tanelerinin içerisindeki bölgelerde başlar. Bu oluşum Hillert tarafından ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.⁽⁷⁾ Hillert yapmış olduğu çalışmalarda perlit oluşumunun ya ferrit ya da sementit üzerinde başladığını saptamıştır. Şekil-2.2.4 de perlit oluşumu şekilsel olarak gösterilmektedir.⁽⁵⁾



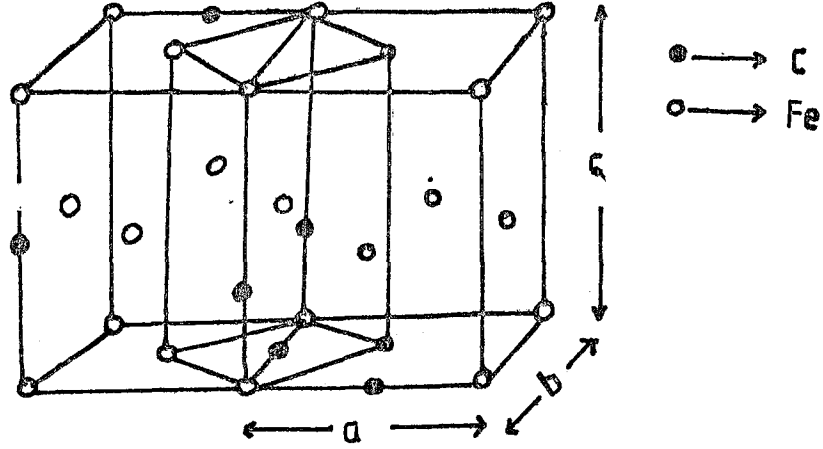
Şekil-2.2.4 Perlit levhalarının oluşumu ve büyümesi şekilsel olarak gösterilmektedir.

% 0.80 miktarından fazla karbon içeren bir çelik,örneğin % 1.0 miktarında karbon içeren çelik 845⁰C sıcaklıkta % 100 ostenitiktir. Bu sıcaklıktan itibaren soğutulmağa başladığı zaman SE eğrisine kadar yapısında bir değişiklik meydana gelmez. Bu eğri üzerindeki Ac_m noktasında sementit ostenitten ayrılmağa başlar. 725⁰C sıcaklığa gelince kalan ostenitte perlitte dönüşür. Oda sıcaklığında mikro yapı perlit ve serbest sementitdir. Şekil-2.2.5 de görüldüğü gibi perlit tanelerinin etrafını sementit ağ gibi sarmıştır. (1)



Şekil-2.2.5 Perlit ve sementitli tanelerin bulunduğu otektoid üstü bir çeliğin mikro yapısıdır. x1000

PK çizgisinin üzerindeki A_1 sıcaklık noktasından daha aşağı sıcaklıklarda örneğin 538°C sıcaklıkta ferrit ve sementitin iri taneli olduğu bu yapı kaba perlit olarak bilinir. Bu sıcaklıktan aşağı sıcaklıklarda yapı incelenir, sertliği artar. Bu yapı ince taneli perlit yapısı olarak bilinir. 538°C ve 204°C arasındaki sıcaklıklardaki yapı farklılıkları mikroskop altında ayırt edilemez. Ferrit ve sementit taneli halde değildir. Mikro yapıda tüysü yada dikensi bir görünüm vardır. Bu mikro yapı beynit yapısı olarak bilinir. Sertliği perlite göre çok fazladır. Daha düşük sıcaklıklarda zamandan bağımsız bir dönüşüm meydana gelir. Oluşan yeni yapıya martensit yapı denir. Martensitin kristal yapısı Şekil-2.2.6 da görüldüğü gibi tetragonaldir. (7)



Şekil 2.2.6 Martensit yapı tetragonal kristal yapısına sahiptir. Kenarlar arasındaki açı $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dir. Kenarları arasındaki bağıntı $a=b \neq c$ dir.⁽³⁾

Martensit yapı, çeliğin hızlı soğutulması sırasında karbon atomlarının kristal örgüyü terk edememesinden meydana gelir. Bu durum "Atomik kargaşa" oluşturur ve kristal örgüsünü bozar. Belli bir gerilim meydana gelir. Sertlik oluşur.⁽¹⁾ Martensit yapı sert ve kırılmandır.^(2,7) Bu sertliği teknikte çok önemlidir. Mekanik aşınmaya ve kristal kafesinde karbon bulunması nedeniyle deformasyona çok dayanıklı bir çelik meydana gelmektedir.

2.3. DEFORMASYON (BİÇİMLENDİRME)

Deformasyon, metallerde sıcak yada soğuk işlemle meydana getirilen şekil değişikliğidir.^(8,9) Deformasyon elastik ve plastik deformasyon olmak üzere ikiye ayrılarak incelenir.

2.3.1 ELASTİK DEFORMASYON

Elastik deformasyon yada elastik şekil değiştirme, geri dönüşlü bir deformasyondur. Plastik deformasyondan önce gelir. Eğer bir metal çubuğun kesiti A ise bu çubuğun birim yüzeyine uygulanan çekme yada basınç kuvvetine gerilim denir.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{formülü ile gösterilir. (10)}$$

Burada P, uygulanan toplam kuvvettir. A, telin kesitidir. Çekme kuvveti altında metal bir miktar uzar. Kuvvet kaldırılınca tekrar ilk şeklini alır. Basınç kuvveti altında ise metal bir miktar kısalır. Kuvvet kaldırılınca tekrar ilk şeklini alır. Elastik sınırlar içerisinde çekme kuvveti veya basınç kuvveti altında metalin son boyunun normal boyuna oranı birim deformasyonu oluşturur.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad \text{formülü ile gösterilir.}$$

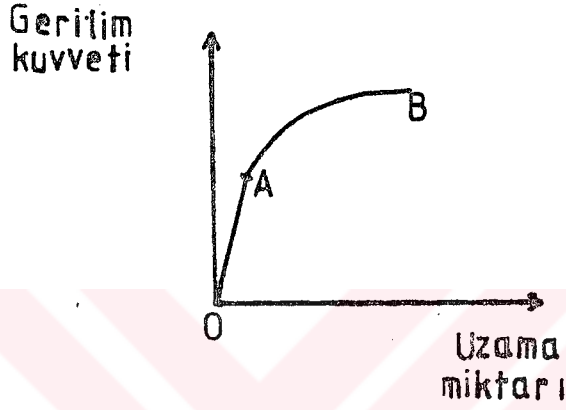
Gerilim kuvveti ile birim deformasyon orantılıdır. Bu orantı Hook yasası diye bilinir ve maddenin elastik modül yada Young modülüne eşittir.

$$\frac{P/A}{\Delta L/L_0} = \frac{\sigma}{e} = E \quad (10) \quad \begin{array}{l} P: \text{Kuvvet} \\ A: \text{Birim yüzey} \end{array}$$

E'nin birimi M.K.S birim sisteminde Newton/m^2 ve c.g.s birim sisteminde din/cm^2 olup pratikte kg-kuvvet/mm^2 olarak kullanılır. Elastik modül her maddenin ayrı bir özelliğidir. Metalin kristal yapısına bağlı olup izotropik değildir. Yani metal içindeki

her doğrultu için farklıdır.

Sistematik olarak Şekil 2.3.1 de gerilim kuvveti altında meydana gelen şekil değiştirmesi grafik olarak gösterilmektedir. (8)



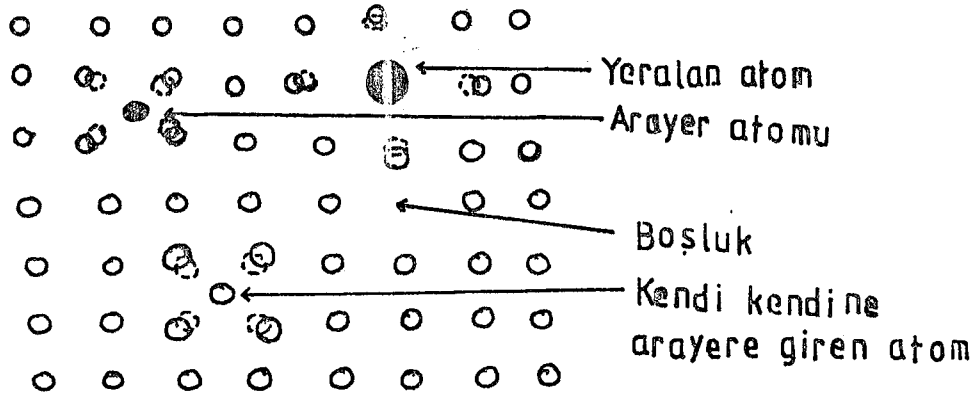
Şekil-2.3.1 Sistematik olarak gerilime bağlı şekil değişiminin gösterimi. Grafikte O A noktaları arasında $F = -kx$ Hook kanuna uyulmaktadır. AB noktaları arasında ise elastiklik sınırı aşılmıştır.

2.3.2 PLASTİK DEFORMASYON

Metal kristalleri yada taneleri düzenli atomlardan oluşmuştur. Tane sınırlarında ise atomlar düzensiz bir şekildedir. Kristalde ayrıca yabancı atomların ve atomlar arası boşlukların oluşturduğu kristal kusurları vardır. Bu kusurlar noktasal, düzlemsel ve çizgisel olmak üzere çeşitlidir. Çizgisel ve düzlemsel kusurlara dislokasyon adı verilir. Plastik deformasyon dislokasyon hareketleri sonucudur. (11)

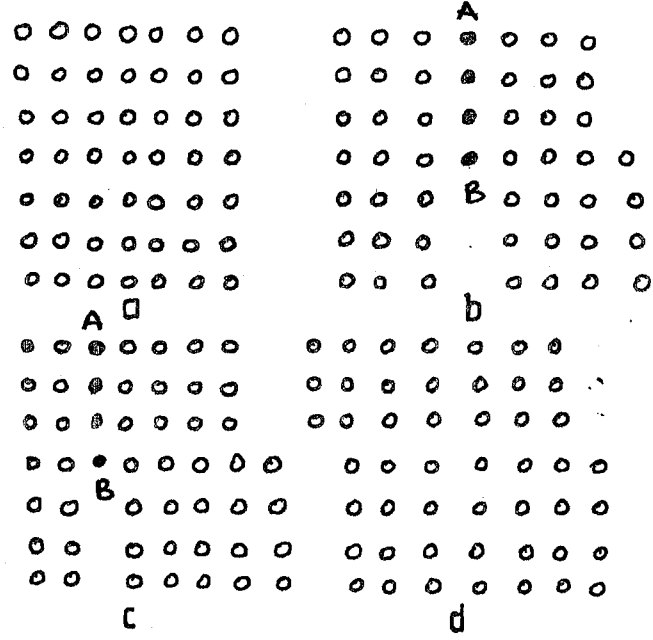
Şimdi plastik deformasyonun oluşumu için gerekli olan bu kristal kusurlarını inceleyelim.

Kristalde, atom boşluğu, atomların yer değiştirmesi veya fazla bir atomun kristal örgüsünde bulunması halindeki kristal kusurlarına nokta kusurları denir. Kristalde fazla bir atom düzleminin kenarı çizgisel bir kusurdur. Komşu kristaller arasında veya bir kristalin dış yüzeyinde sınır kusurları bulunur. Bu tip hatalar mekanik kuvvet, elektrik özellikleri ve kimyasal reaksiyon gibi malzemenin bir çok özelliklerini etkiler. Boşluklar en basit nokta kusurlarıdır. Kristalde yerinde bulunmayan yani yeri boş kalan bir atomun meydana getirdiği kusurdur. Bu tip bir kusur, atomların belli noktalarda kusurlu yığılması veya daha yüksek sıcaklık derecesinde atomların termal titreşimleri sonucu yerlerini terketmesi sonucu oluşur. Kristal örgüsüne bir fazla atom girerse ara yer kusurları meydana getirir. Eğer bu fazla atom kristaldeki atomlardan daha küçük değilse kristali deforme eder. Kristal örgüsüne giren büyük atomlar, kristal örgüsünü oluşturan atomlardan birinin yerini alır ve bu nitelikteki atomlara yer alan atomlar denir. Atomlar kristalde boşlukların yardımıyla hareket ederler. (3,10-12) Şekil-2.3.2 de bir kristaldeki noktakusurları görülmektedir. (3)



Şekil 2.3.2 Kristal örgüsündeki değişik nokta hataları.

Dislokasyonlar bir çeşit çizgisel ve düzlemsel kristal kusurlarıdır. Dislokasyonlarda çeşitlidir. Şekil-2.3.3 de görülen kenar dislokasyonu, dislokasyon çeşitlerinden biridir.



Şekil-2.3.3 de bir kristal örgüsündeki kenar dislokasyonunun deformasyon sırasındaki oluşumu görülmektedir.

- a) Kristal deforme olmamış b) Deformasyon sırasında AB doğrultusundaki dislokasyon tabakası oluşur.
- c) Sağ kenarda oluşan dislokasyonun sola doğru kayma hareketi. d) Deformasyon olayının tamamlandığı (deforme olmamış) kristal.

Kenar dislokasyonu, kristal yapısı içinde fazla bir atom düzleminin kenarı olarak tanımlanabilir. Dislokasyon boyunca itme ve çekme alanları bulunduğu için kenar dislokasyonu boyunca bir enerji çöğalması vardır. Dislokasyon çevresindeki yer değiştirme mesafesine Burger vektörü denir. Dislokasyon \perp yada \dashv işaretleriyle gösterilir. \perp işaret pozitif dislokasyonu gösterir. (3)

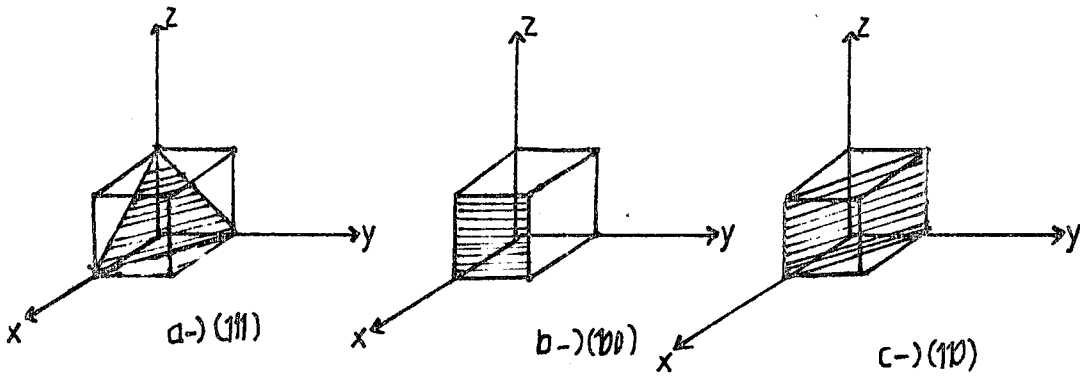
Bir kristal yüzeyine kuvvet uygulandığı zaman, bu kuvvet kristalin bütün iç bölgelerine iletilir. Ve kristaldeki dislokasyon hareketleri sonucu kristal düzlemlerinde kaymalar mey-

dana gelir. Kaymaya sebep olan kuvvetin kaldırılması kristal yüzeylerinin eski hale dönmesini sağlamaz. Fakat kristal düzlemleri veya atomların sıralanış düzeni kayma düzleminin altında ve üstünde aynı olup deformasyon öncesi kristal düzenine sahiptir. G.Taylor, M.Planý tarafından kayma olayı incelenmiştir. (13)

Bir kristal uzayında belli bir kayma düzlemini göstermek için düzlemin kristal eksenlerini kestiği noktalar tesbit edilir. Bu noktalar tam sayılarla gösterilir. Bu sayıların tersleri alınarak kristal düzlemleri belirtilir. (3)

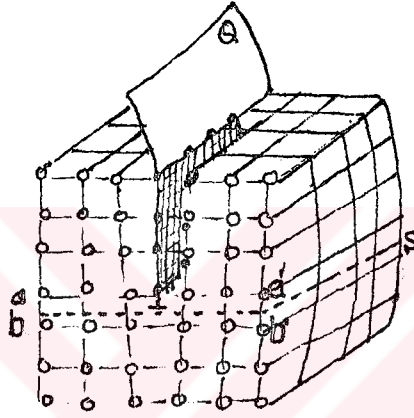
Bir kristal düzlemi $\frac{1}{n_1}$, $\frac{1}{n_2}$; $\frac{1}{n_3} = h, k, l$ yada (h, k, l) şeklinde gösterilir. Burada h, k, l miller indisleri olarak bilinir. (3)

Kübik kristallerde (111) , (100) , (110) en çok bilinen kayma düzlemleridir. Şekil-2.3.4 de bir α -demir kristal kafesindeki kayma düzlemleri görülmektedir. (3)



Şekil-2.3.4 de α -demir kristal kafesindeki kayma düzlemleri.

Kristalde bir kayma düzleminde meydana gelen kayma diğer düzlemlere de iletilerek deformasyonun oluşumuna sebep olur. Şekil-2.3.5 de Lineer bir dislokasyonun oluşması için ilave bir Q extra atom düzleminin ideal kristale sokulmasıyla oluşan dislokasyonlu yapı görülmektedir.



Şekil-2.3.5 Dislokasyonlu bir kristalin kesiti. (13)

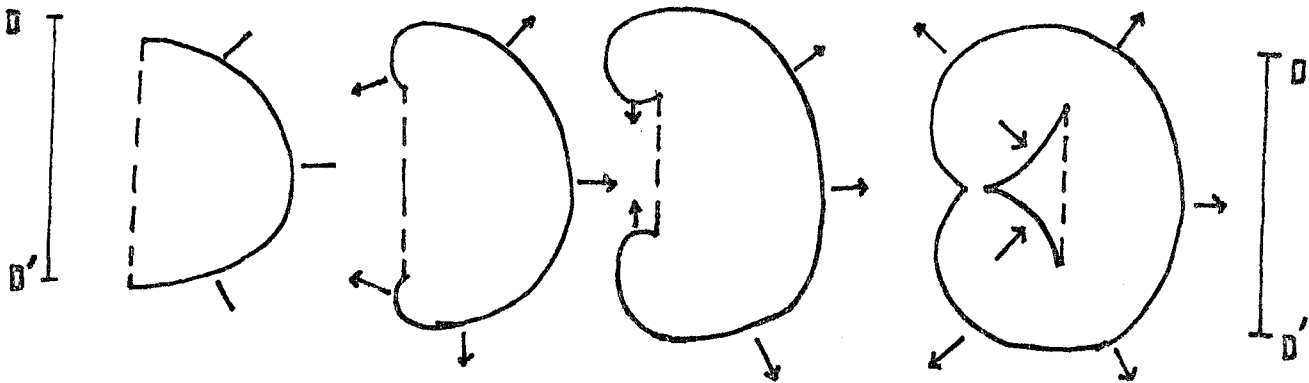
⊥ işaretiyle gösterilen bölgeye yani Q dislokasyon düzleminin işgal ettiği bölgeye dislokasyon merkezi denir. Atomların dislokasyon merkezindeki kesin yerleri belli değildir. S kayma düzlemdir. Dislokasyonun pozitif olduğunu kabüllemiyoruz. Bu halde aa' sırasında bb' sırasına göre bir atom fazla bulunur. Negatif dislokasyonda bb' de aa' den bir fazla atom bulunurdu. Kristal dislokasyon merkezi civarında bir basınç etkisindedir. Çünkü bu bölgede atom yoğunluğu normal kristal göre daha fazladır. Dislokasyon merkezi belirli bir kuvvet alanı merkezidir. Bu alan aynı yada farklı yönlü dislo-

kasyonlar arasındaki etkileşimleri sağlar. Eğer iki dislokasyon arasındaki mesafe az ise bu kuvvet alanları birbirini etkiler. Aynı yönlü dislokasyonlar birbirlerini iter, farklı yönlü dislokasyonlar birbirlerini çeker ve yok ederler. Kristal örgüsü normale döner.

İki komşu dislokasyonun arası 30 atom aralığı kadardır. Dislokasyon düzlemleri birbirinden mikron mertebesinde uzaktadır. Plastik deformasyon sırasında kayma tüm düzlemlerde gerçekleşmez. Yalnızca dislokasyon oluşumunu sağlayan kaynakların bulunduğu düzlemlerde kayma gerçekleşir.

Dislokasyonun kayma düzlemindeki hareketi ile kristalde kalıcı bir deformasyon oluşur.

Dislokasyonun oluşum şekillerinden birisi Frank-Read dislokasyon kaynaklarıdır. Bu kaynakların ardışık oluşum aşaması Şekil-2.3.6 da görülmektedir.



Şekil-2.3.6 Frank-Read dislokasyon kaynaklarının oluşum şeması.

Gerilimin etkisi ile dislokasyonun ön tarafı eğilir. Ve yarım daire biçimini alır. Dislokasyonun sonraki hareketi daha küçük kuvvetle oluşur. Ve sonuçta iki büküm meydana gelir. Bunlar gittikçe yaklaşır. Burada dislokasyon ikiye ayrılır. Bunlardan biri yuvarlakça bir dalga gibi devam eder ve kristal sınırına varır. Burada deformasyona neden olur. İkinci dislokasyon iç kısımda doğrulma ile oluşur. İlk doğrusal şeklini alır. Böylece yeni yay oluşumu için kaynak oluşturur. Bu kaynağın etkinliğini eğer yay büyüme anında bir engel ile karşılaşırsa biter. Bu tür dislokasyon için DD^1 uçları sabitleştirilmiş olmalıdır. Bunu sağlayan ise DD^1 yü bu noktalarda kesen diğer dislokasyon düzlemleridir. Dislokasyonların katıdaki sayıları çok fazla olmalıdır ki deformasyon yapabilsin. Dislokasyonların oluşma hızı ses hızına yakındır. Dislokasyonlar kristalin sınırına varınca negatif işaretle ters yöne döner. Bu şekilde tek bir dislokasyon bir çok kez kristal tanesinin sınırına varır. Orada bir deformasyon etkisi yapar. Bunun sonucunda görünür derecede kaymalar oluşur. (13)

Deforme olmuş kristaller, olmamışlardan daha fazla enerjiye sahiptir. Çünkü dislokasyon ve kristal kusurları ile doludurlar ve bu yüzden meydana gelen gerilmeler kristalin iç enerjisini arttırır. Kristalde bazı kusurlar diğerlerinin belli doğrultuda kaymasını engeller. Bu şekilde üst üste binen kaymalarda "Girişim" olayı gözlenir. Kaymalar plastik deformasyonun tek yürüyüş şekli değildir. Aynı metalde çok düşük sıcaklıklarda yavaş yürüyen bir deformasyonla da ikizlenmeler oluşur. Bunlara çiftlenim de denir.

2.3.3 DİFÜZYON

Lineer dislokasyonlar difüzyonla hareket ederler. Difüzyon, maddeler içindeki atomların hareket etmesi olayıdır. (3)

Bu olay gazlar, sıvılar ve sonuç olarak çelikler ve diğer metalik sistemlerde meydana gelir. (7)

Kristal örgüsündeki yabancı ve alaşım atomları boşluklar adı verilen yerlerin yardımıyla hareket ederler. Çeliklerde çok sayıda boş yerler mevcut olduğu için bu boşluklar yardımı ile atomların sürekli olarak hareketleri söz konusudur. Demir atomlarına oranla çok küçük boyutta olan karbon atomları demir atomlarının aralarına yerleşerek ara yer katı eriyiği oluştururlar. Bu küçük atomlar boşlukların yardımı olmaksızın bile difüze olabilmeler. (7)

Difüzyon bir konsantrasyon gradyentinden ileri gelir. Örneğin kesit alanı 1 cm^2 olan silindirik çelik çubuk $+x$ doğrultusunda uzamış olsun. Isıl işlem sırasında bu çubuk içerisinde hareket edip, yayılabilecek karbon atomlarının konsantrasyonu bir gradyent oluşturur. Bu konsantrasyon gradyenti zamanla ve konuma bağlı olarak değişir. Zamana, konuma ve difüze olan maddenin konsantrasyonuna bağlı olarak konsantrasyon gradyentini.

$$j = -D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} \quad \text{yazabiliriz. (3) Bu denkleme 1. Fick}$$

denklemini denir.

j = Difüzyon yönüne dik bir düzlemin birim alanından birim za-

man da geçen madde miktarıdır (madde akışı). Birimi $\text{gr}/\text{cm}^2 \cdot \text{san}$ dir.

D = Difüzyon kat sayısıdır. Birimi cm^2/san dir.

C = Difüze olan maddenin konsantrasyonudur. Birimi gr/cm^3 tür.

x = Difüzyon mesafesidir. Birimi cm dir.

t = Difüzyon zamanı. Birimi sn dir.

Çubuğun içindeki Δx kesitinden giren ve çıkan madde miktarlarına J_1 ve J_2 diyelim. Difüze olan maddenin konsantrasyonunun zamanla değişimi J_1 ve J_2 ye bağlı olarak

$$\frac{\Delta C(x,t)}{\Delta t} = \frac{J_1 - J_2}{\Delta x} \text{ yazılır.}$$

$J_1 = J_x$, $J_2 = J_{x+\Delta x}$ olmak üzere

$$- \left(\frac{J_{x+\Delta x} - J_x}{\Delta x} \right) = \frac{C(x,t+\Delta t) - C(x,t)}{\Delta t}$$

Bu denklemin her iki tarafının $\Delta x \rightarrow 0$ ve $\Delta t \rightarrow 0$ giderken Limitini alalım.

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{J_{x+\Delta x} - J_x}{\Delta x} = \frac{\partial J}{\partial x}$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{C(x,t+\Delta t) - C(x,t)}{\Delta t} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$- \frac{\partial J}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \text{ veya } \frac{\partial J}{\partial x} = - \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad \text{den}$$

$$\frac{\partial J}{\partial x} = -D \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad \text{bulunur.}^{(3)} \quad \text{Bu denklemde 2.Fick denk-$$

lemi olarak bilinir. Pratik çalışmalarda daha kullanışlı bir denklemdir.

2.3.4 SICAK ŞEKİL VERME

Metalin sıcak haldeki deformasyonuna sıcak şekil verme denir. Sıcaklığın etkisi ile kristal örgüde bir potansiyel enerji birikimi olur. Bu durum şekillendirme kolaylığı sağlar. Sıcaklığın etkisi ile metalde var olan gaz boşlukları ve kimyasal homojensizlikler giderilir. Metalik olmayan oksit, sülfür gibi katkıları kırılarak metal içinde uniform olarak dağılır. Dolayısıyla sıcak deformasyon sırasında çatlaklar oluşsa da bunlar hemen hareketli atomlarca yeniden kaynar.⁽¹³⁾ Sıcak şekil vermenin zararı metal yüzeyinin oksitlenmesine neden olur. Metal kaybı meydana gelir.

2.4. TANE BÜYÜKLÜĞÜ

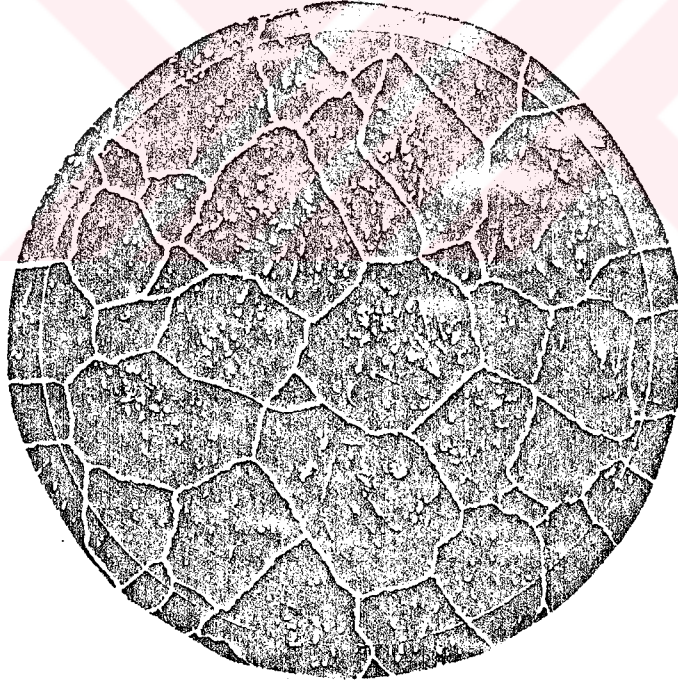
2.4.1 TANE

Tane, literatürde çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Bu

tanımlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

1. Katı fazdaki bir maddenin atomlarının bir konum içinde dizilmesiyle oluşturduğu iç yapı bölgesidir.⁽¹⁴⁾ Tane içindeki atomlar, birim kafesinin yapısına göre düzen içinde bir yöne doğru dizilmişlerdir.

2. Mikrografik inceleme için parlatılmış, üzeri asitle dağlanmış bir numunenin düz kesitindeki dokuda görülen ve kenarları eğri olabilen çok kenarlı bir şekildir.⁽¹⁵⁾ Şekil-2.4.1 de inceleme için hazırlanmış bir çelik numunenin mikroskop altındaki taneleri ve tane sınırları görülmektedir.



Şekil-2.4.1 Çelikte ostenit tanelerinin bir örneği. Tane büyüklüğü numarası 3 dür. x100

2.4.2 TANE SINIRLARI

Taneler arasındaki sınırlar, yalnız bir kaç atom genişliğinde, kristal örgüsünün bozulmuş bölgeleridir.⁽¹⁰⁾ Tane sınırlarındaki atomların enerji seviyesi tane içindeki atomlardan daha yüksektir. Maddenin yüzeyi asit ile dağlanma sırasında, tane sınırlarındaki atomlar yüksek enerjileri nedeni ile asitle çabuk reaksiyona girer aşınırlar. Ayrıca tane sınırlarındaki atomlar düzensiz yapılmışlardır. Bu düzensiz atomlar difüzyonu kolaylaştırır. Difüzyon tane sınırları boyunca olur. Tane sınırlarındaki atomlar daha yüksek enerjili olduğundan atom hareketliliği daha fazladır. Sıcaklıktaki bir artış atomun hareketliliğini daha da artırır. Atomlar bir taneden diğerine geçer ve aradaki sınırlar kaybolarak tane büyümesi meydana gelir.

Düşük karbonlu bir çelikte, deformasyon esnasında, tane sınırları yüksek yoğunluklu dislokasyonlar içerdiğinden, düzenli dislokasyon ağları oluşur. Bu durumda netice olarak deformasyon olayı tanelerin şeklini değiştirir.⁽¹⁷⁾

2.4.3. TANE BÜYÜMESİ

Bazı çelikler oda sıcaklığından itibaren ısıtıldıkları zaman Ac_3 kritik sıcaklık noktasının yukarısındaki sıcaklıklarda, Ostenit fazdaki ostenit tanelerinde büyüme meydana gelir. Yani sıcaklıkla, artan atom hareketliliği sonucu atomlar komşu tanelere geçerek sınır sayısını azaltmaktadır. Bu durumda tane-

ler büyür. Sıcaklığın düşmesi halinde atom hareketliliği azalır. Ve tane büyümesi yavaşlar. Tane büyümesi sıcaklığın bir fonksiyonudur. (5)

Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesi meydana gelen çeliklere kaba yada iri taneli çelik denir. Bazı çeliklerde ise sıcaklığın ilerlemesiyle tane büyümesi meydana gelmeyebilir. Bu tip çeliklere de ince yada küçük taneli çelik denir. (5)

Tane yapısı çeliğin yapısal özelliklerini etkiler. Tipik ideal çelik, küçük ince taneli çeliktir. Kaba iri taneli çelik dayanıksız, yumuşak çeliktir. Tane büyümesi, çeliğe alüminyum, Vanadyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elemanları eklenerek engellenir. (5)

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. MALZEME VE ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada Asil Çelik San ve Tic.A.Ş'den temin edilen SAE 8620 ve ZF7 sementasyon çelikleri kullanıldı.

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, de-ğişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir. (18)

Deney sırasında SAE 8620 ve ZF7 sementasyon çelik silindirik çubuklardan 17'şer tane olmak üzere toplam 34 tane numune kesildi. Hazırlanan numunelerin numaraları, sayıları ve çapları çizelge-3.1'de görülmektedir.

Hazırlanan numunelerden birer tane alınarak optik emisyon spektrometresinde (UV-VİSİBLE) tablo-3.1'de görülen kimyasal kompozisyonları tesbit edildi. Kimyasal kompozisyonda elde edilen değerler, çelik içindeki alaşım elementlerinin % ağırlık olarak miktarlarıdır.

Çizelge-3.1

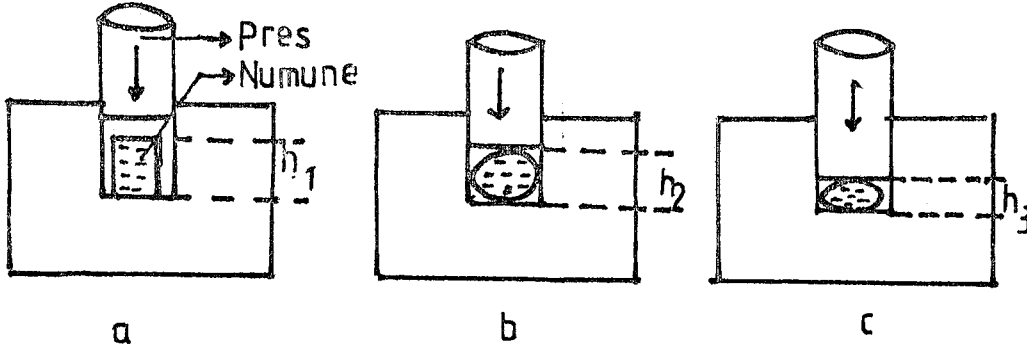
Numune No	Numune Sayısı	Numune Uzunluğu(mm)	Numune çapı (mm)
SAE 8620			
2.1	3	60	40
2.2	3	20	40
2.3	3	20	40
2.4	3	20	40
2.5	3	20	40
4.1	1	20	40
4.2	1	20	40
ZF7			
B.2.1	3	60	40
B.2.2	3	20	40
B.2.3	3	20	40
B.2.4	3	20	40
B.2.5	3	20	40
B.4.1	1	20	40
B.4.2	1	20	40

Tablo-3-1. SAE 8620 ve ZF7 sementasyon çeliklerinin kimyasal kompozisyonu

ZF7							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0.16	0.29	1.22	0.022	0.022	1.03	0.02	0.19
AL	Cu	Sn	Ti	Bor			
0.042	0.15	0.19	0.045	0.0015			
SAE	8620						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0.18	0.24	0.80	0.19	0.022	0.56	0.19	0.50
AL	Cu	Sn					
0.028	0.26	0.022					

3.2. DÖVME

2.1 (3 tane) ve B.2.1 (3 tane) numaralı numuneler 1100°C sıcaklıktaki fırında yaklaşık 1 saat bekletildikten sonra fırından çıkarılıp sıcak haldeyken üzerlerine pres ile basılarak biçimlendirildi. Şekil-3.1 biçimlendirme sırasında silindirik numunelerin eğilerek fıçı biçimine dönüşmesi görülmektedir. (19)



Şekil-3.1 Biçimlendirme işleminin şematik görünümü.

Numunelerin dövme işlemi öncesi boyu H_1 , dövme işlemi sonundaki boyu H_2 ve D_0 çap olmak üzere

$$H = D_0 \times 1,5 \quad \text{ve} \quad H_2 = \frac{H}{3} \quad (21)$$

formüllerinden yararlanarak numunelerin son boyu bulunabilir.

$$H = 40 \times 1,5$$

$$H_2 = \frac{40 \times 1,5}{3} = 20 \text{ mm dir.}$$

sıcak haldeyken pres ile biçimlendirilen numuneler havada soğumaya bırakılır.

3.3. ÖN ISIL İŞLEM

1. 2.2(3 tane) ve B.2.2(3 tane) numaralı numuneler 900°C sı-

caklıktaki fırında 30 dakika ısıtıldıktan sonra fırından çıkarılıp suda soğutulur.

2. 2.3(3 tane) ve B.2.3(3 tane) numaralı numuneler 900°C sıcaklıktaki fırında 30 dakika ısıtıldıktan sonra havada soğutulur.

3. 2.4(3 tane) ve B.2.4(3 tane) numaralı numuneler 900°C sıcaklıktaki fırında 30 dakika ısıtıldıktan sonra fırın içerisinde fırınla birlikte soğutulur.

4. 2.5(3 tane) ve B.2.5(3 tane) numaralı numuneler 900°C sıcaklıktaki fırında 30 dakika ısıtıldıktan sonra havada soğutulur. Aynı numuneler bu sefer 700°C sıcaklıktaki fırında 5 saat ısıtıldıktan sonra havada soğutulur.

3.4 OSTENİTLEME İŞLEMİ

Ostenitleme işlemi sırasında 2.1(3 tane), 2.2(3 tane), 2.3(3 tane), 2.4(3 tane), 2.5(3 tane) ve B.2.1(3 tane), B.2.2(3 tane), B.2.3(3 tane), B.2.4(3 tane), B.2.5(3 tane) numaralı numunelerin sırasıyla birinci ikinci ve üçüncülerine aşağıdaki işlemler uygulanır.

1. Birinci numune 925°C sıcaklıktaki fırında 8 saat ısıtıldıktan sonra suda soğutulur.

2. İkinci numune 970°C sıcaklıktaki fırında 4 saat ısıtıldıktan sonra suda soğutulur.

3. Üçüncü numune 1000°C sıcaklıktaki fırında 4 saat ısıtıldıktan sonra suda soğutulur.

3.5 OSTENİT SICAKLIĞINA KADAR ISITMA HIZININ ETKİSİ

1. 4.1(1 tane) ve B.4.1(1 tane) numaralı numuneler oda sıcaklığındaki fırınla birlikte 925^oC sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta 8 saat bekletildikten sonra suda soğutulur.

2. 4.2(1 tane) ve B.4.2(1 tane) numaralı numuneler 925^oC sıcaklıktaki fırına konularak, 8 saat bekletilip suda soğutulur.

3.6 PARLATMA

2.1(3 tane) ve B.2.1(3 tane) numaralı numuneler dövülerek biçimlendirilip havada soğutuldu. Sonra bu numunelerden ikişer parça kesildi. Parçalardan birisi makrodağlama için parlatıldı. Diğeri ostenit tane büyüklüğünü belirten dağlama için parlatıldı.

Macro dağlama için parlatma sırasında bu parçaların bir yüzeyi frezede, üzerindeki pislik ve pürüzler gidinceye kadar tutuldu ve yüzey taşlama aletinde iyice parlatıldı.

Ostenit tane büyüklüğünü belirten dağlama için parlatma sırasında, parçaların bir yüzü önce silikon karbit sonra elmas zımparalardan geçirildi.

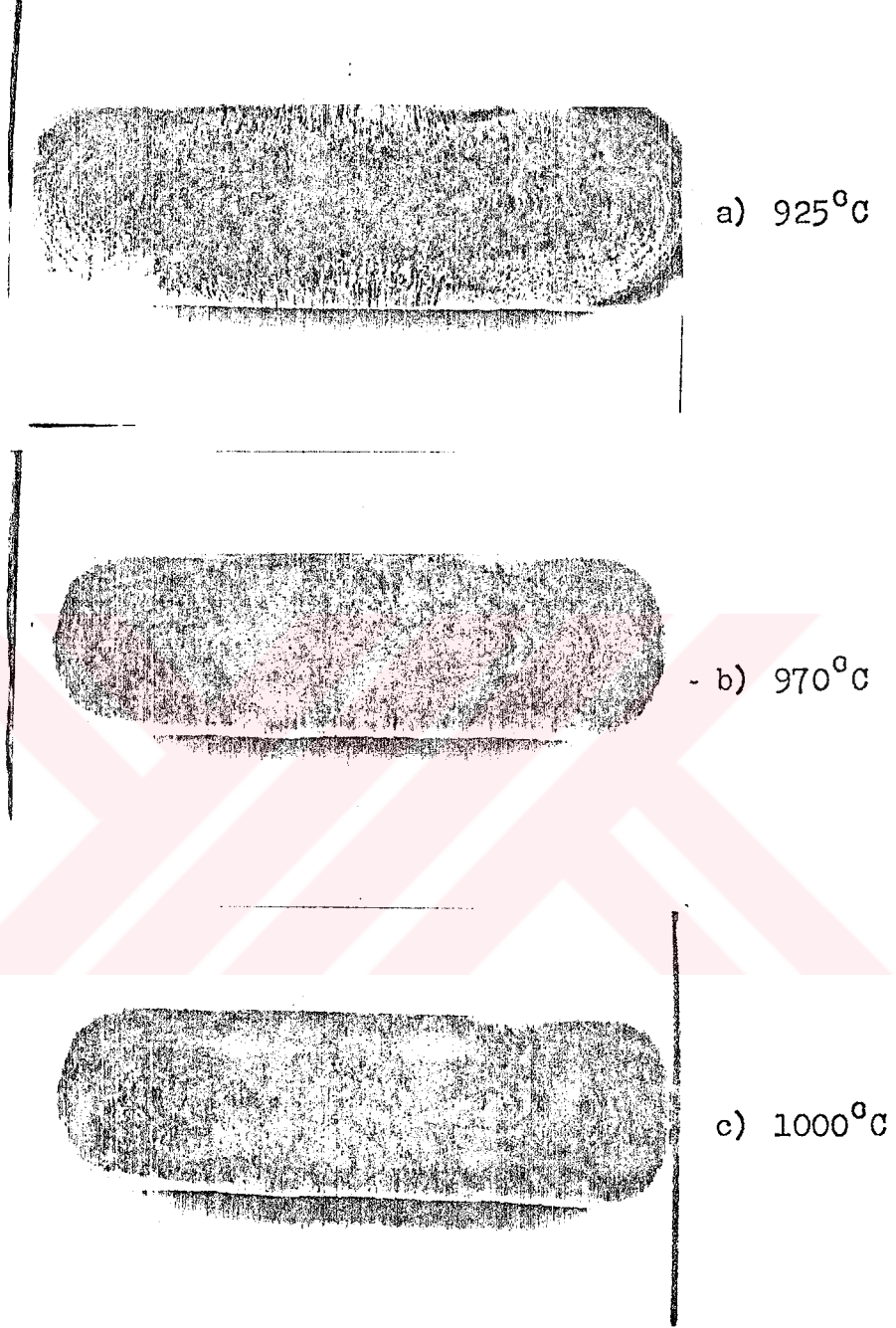
2.2(3 tane), 2.3(3 tane), 2.4(3 tane), 2.5(3 tane), 4.1(1 tane), 4.2(1 tane) ve B.2.2(3 tane), B.2.3(3 tane), B.2.4(3 tane), B.2.5(3 tane) ve B.4.1(1 tane), B.4.2(1 tane) numaralı numunelerden sadece birer parça kesildi. Bu parçaların bir yüzeyine ostenit tane büyüklüğünü belirten dağlama için parlat-

ma yapıldı.

3.7 DAĞLAMA

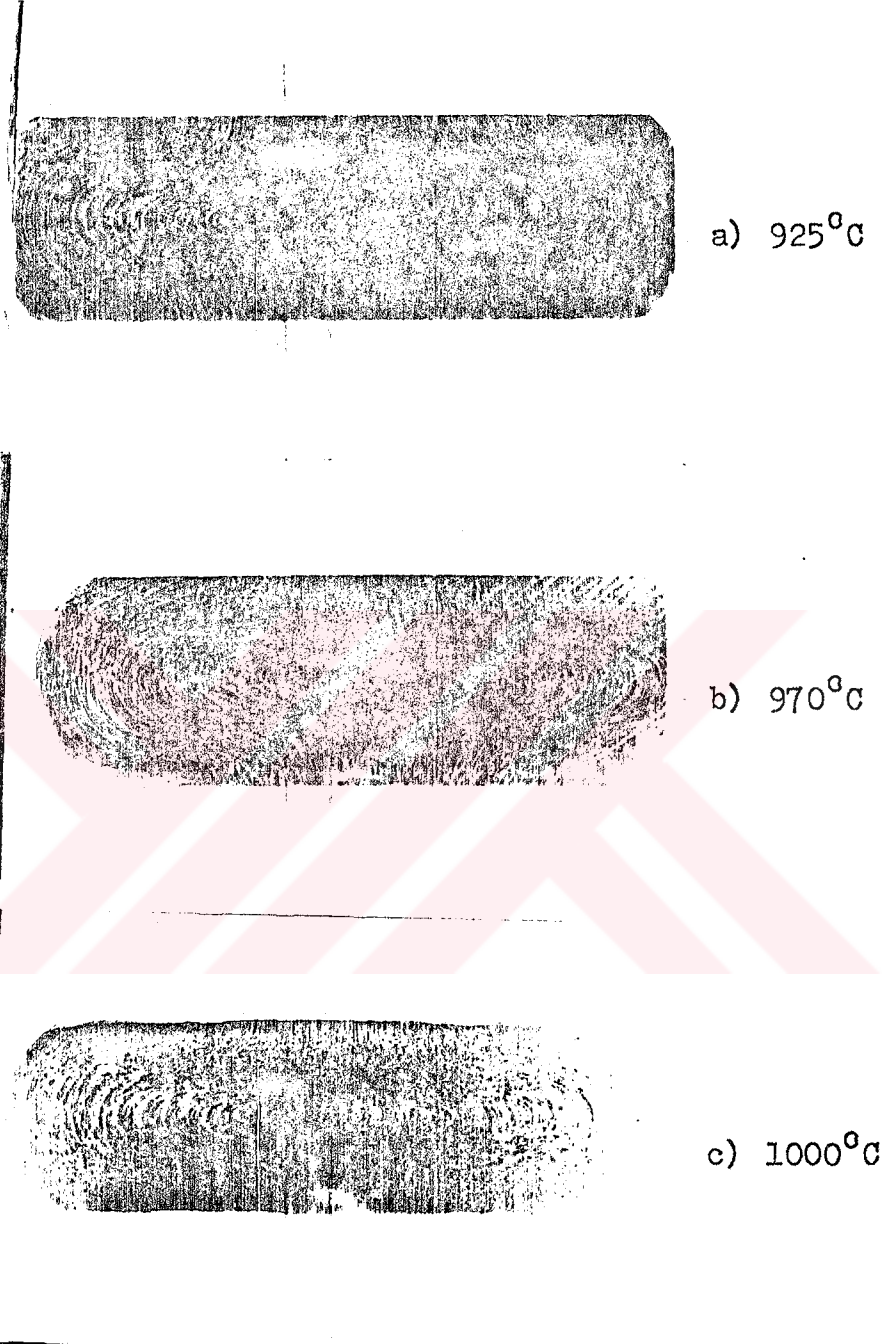
Parlatma işlemi uygulanan bütün numunelerin parlatılan yüzeyleri deterjanlı su ile yıkanıp üzerlerine alkol dökülerek, soğuk hava basıncı ile kurutuldu.

Macro dağlama için parlatılan yüzeyler, kaynar haldeki %50 su %50 HCl asit karışımının içine batırılıp yarım saat bekletildi. Asitten çıkarılınca bu yüzeylerdeki deformasyon (biçimlendirme) izi çıplak gözle gözlemlendi ve tane akışlarının izlerinin fotoğrafları çekildi. Şekil-3.2'de Macro dağlama yapılan parçalar-daki tane akışları yada deformasyon izleri görülmektedir.



A) SAE 8620

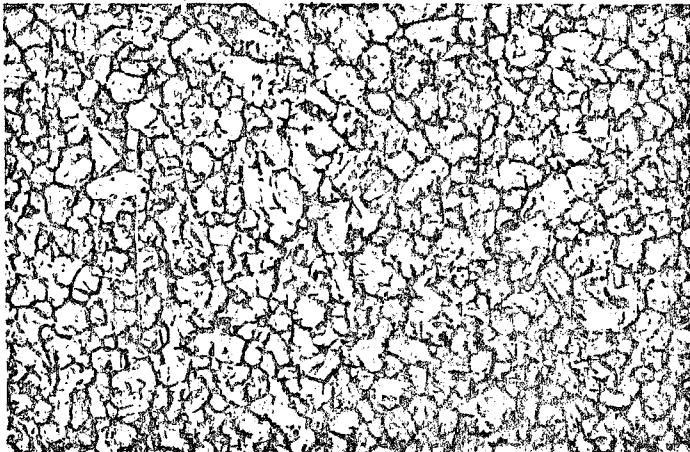
Şekil-3.2.A) SAE 8620 sementasyon çeliğinde sıcak şekil verildikten sonra a) 925°C b) 970°C c) 1000°C sıcaklıklardaki austenitleme işlemi sonrası parlatma ve dağlama işlemleri sonucu yüzeylerdeki deformasyon izlerinin görünümüdür.



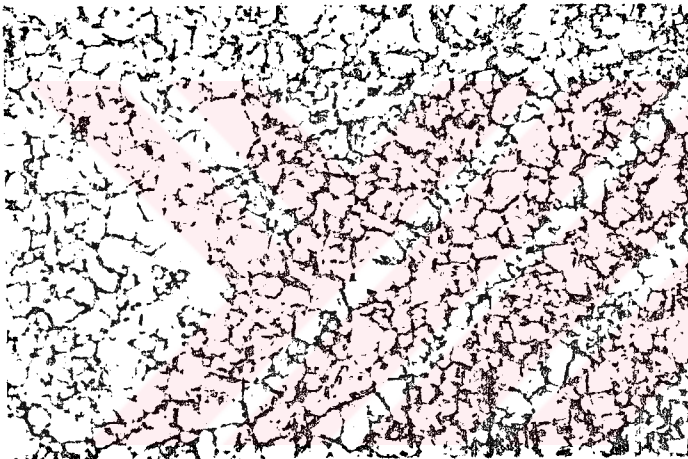
B) ZF7

Şekil-3.2. B) ZF7 sementasyon çeliğinde sıcak şekil verildikten sonra a) 925°C b) 970°C c) 1000°C sıcaklıklardaki ostentitleme işlemi sonrası parlatma ve dağlama işlemleri sonucu yüzeylerdeki deformasyon izlerinin görünümüdür.

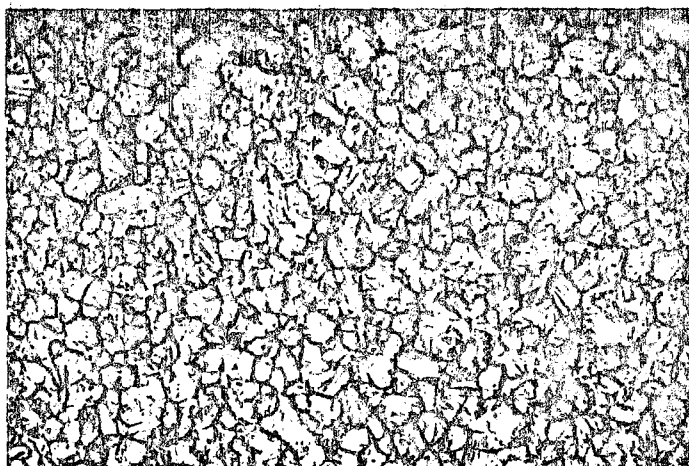
Ostenit tane büyüklüğünü belirlemek için parlatılan yüzeyler 60°C sıcaklıktaki % 50 su, % 50 picrik asit ($C_6 H_6 O_7 N_2$) karışımının içine batırılıp 15 dakika bekletildi. Asitten çıkarıldıktan sonra dağlanan yüzeylerin optik mikroskop (PME OLYMPUS TOKYO) altında, tane büyüklükleri gözlenip fotoğrafları çekildi. Şekil-3.3 ve Şekil 3.4'de ostenit tane büyüklüğünü tesbit etmek için bir yüzeyleri parlatılan ve dağlanan parçaların optik mikroskop altındaki tane büyüklükleri görülmektedir.



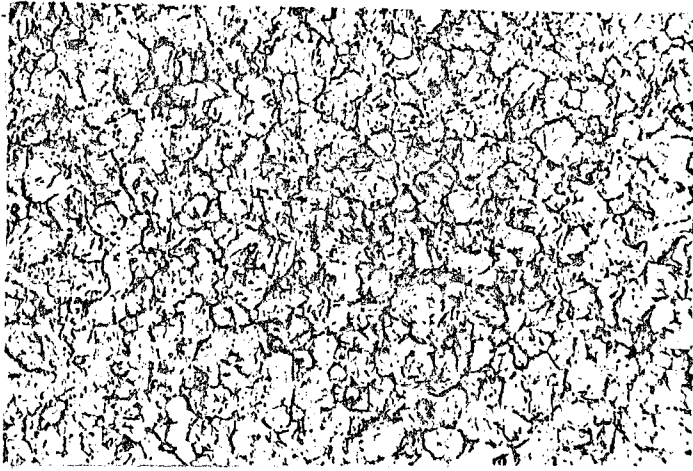
a) 925^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5



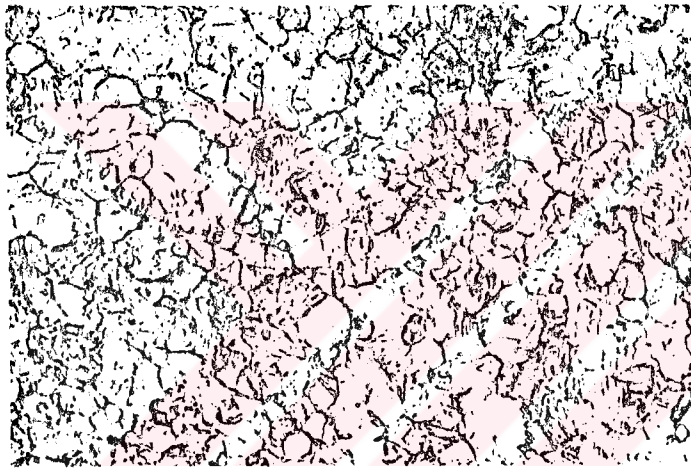
b) 970^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5



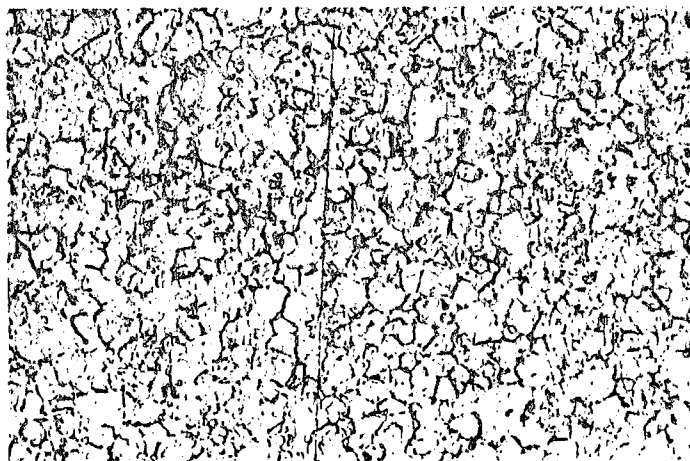
c) 1000^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5



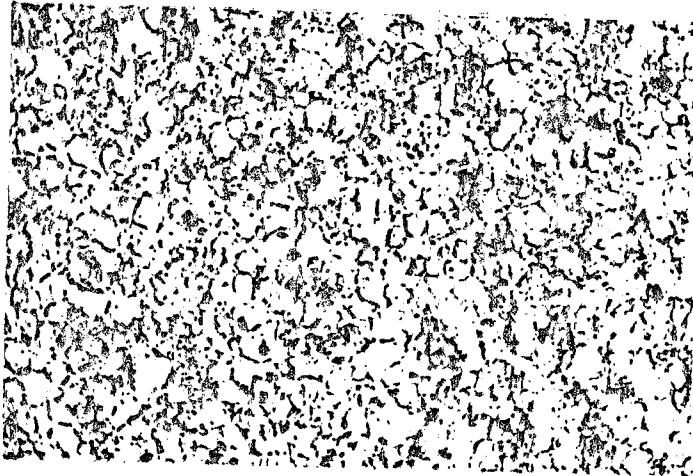
a) 925^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5



b) 970^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5



c) 1000^oC
%75 ASTM No:9
%20 ASTM No:8,5

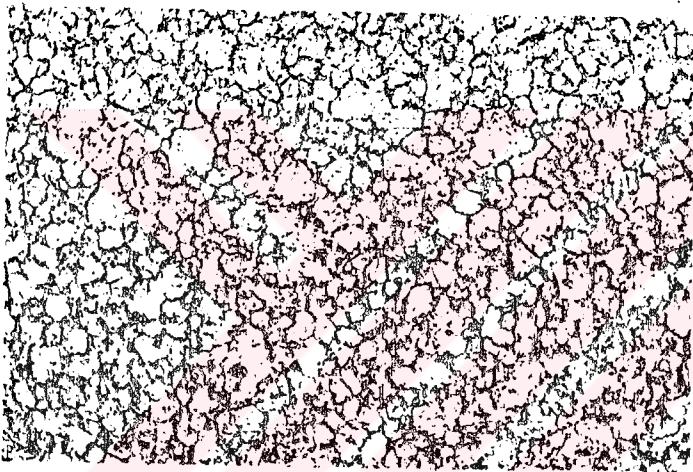


a) 925^oC

%75 ASTM No:8

%20 ASTM No:7

%5 ASTM No:5

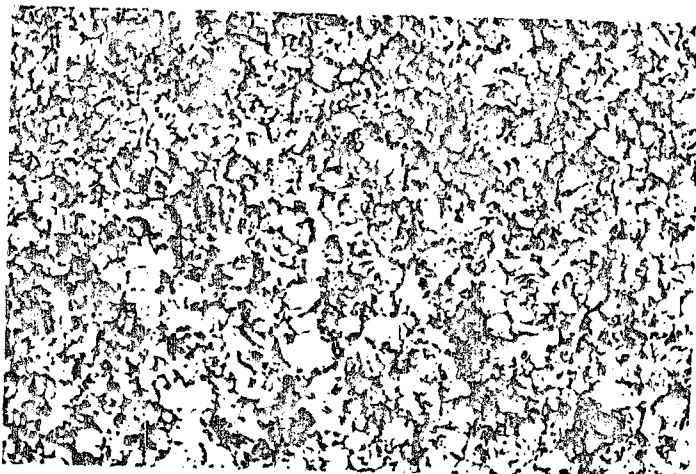


b) 970^oC

%75 ASTM No:8

%20 ASTM No:7

%5 ASTM No:5

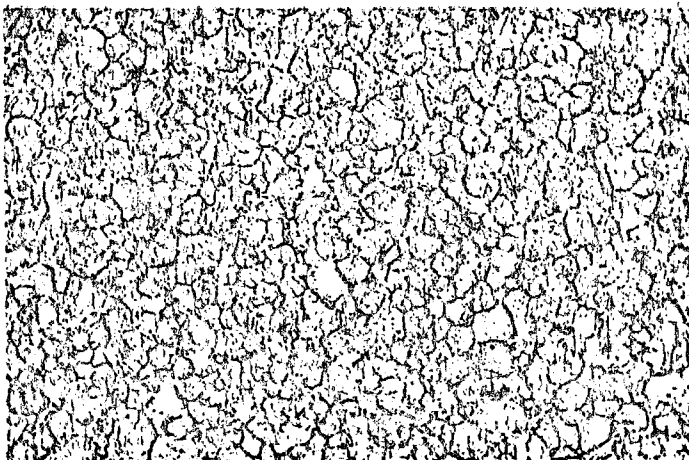


c) 1000^oC

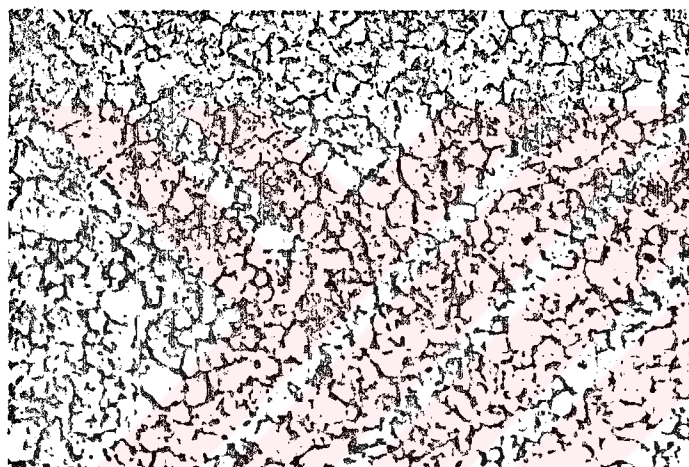
%75 ASTM No:8

%20 ASTM No:7

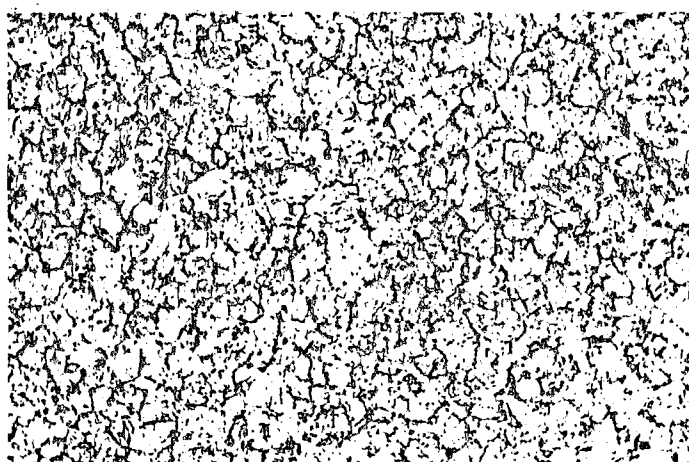
%5 ASTM No:5



a) 925^oC
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7

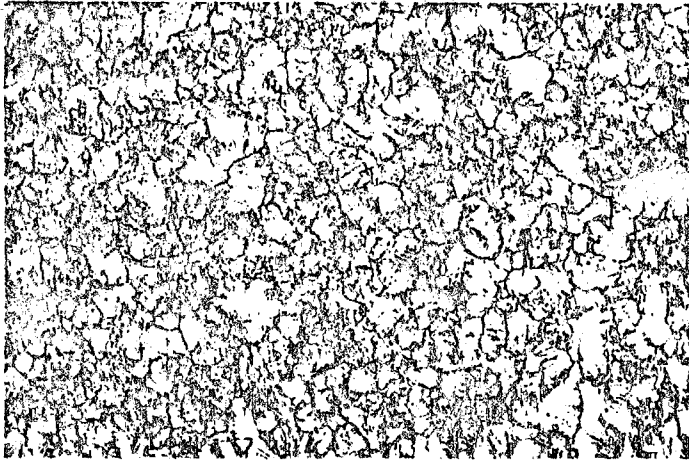


b) 970^oC
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7

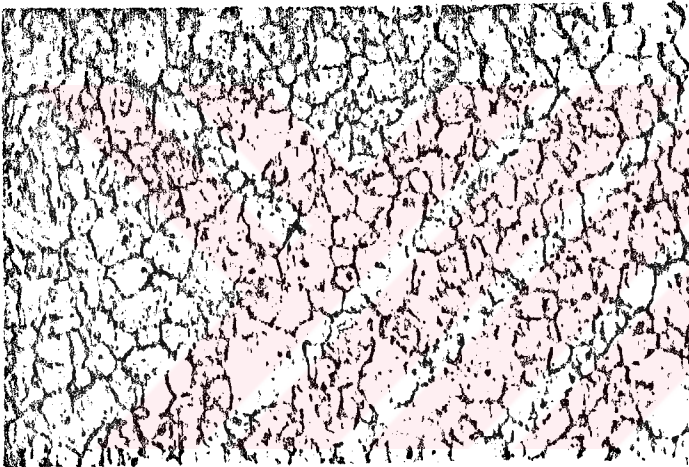


c) 1000^oC
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7

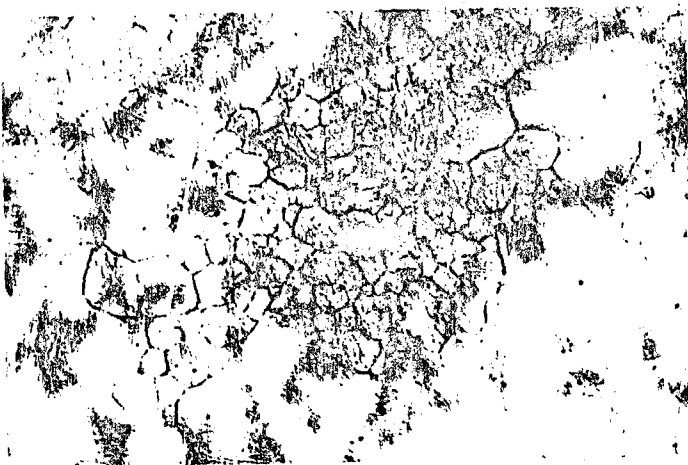
D) 2.4



a) 925°C
75 ASTM No:8
20 ASTM No:7



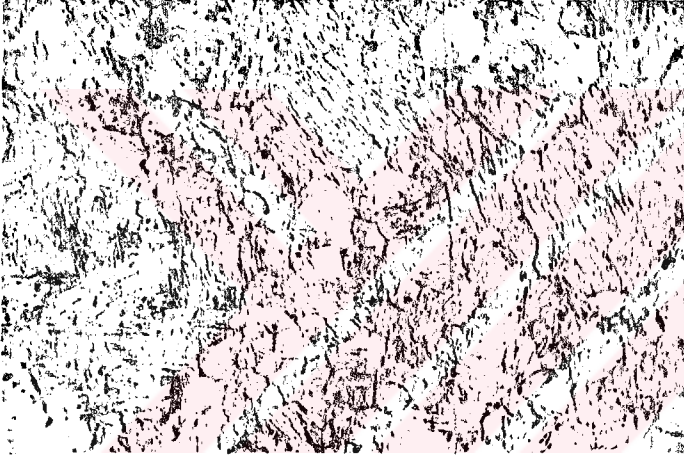
b) 970°C
75 ASTM No:8
20 ASTM No:7



c) 1000°C
75 ASTM No:8
20 ASTM No:7
5 ASTM No:6



a) %75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7

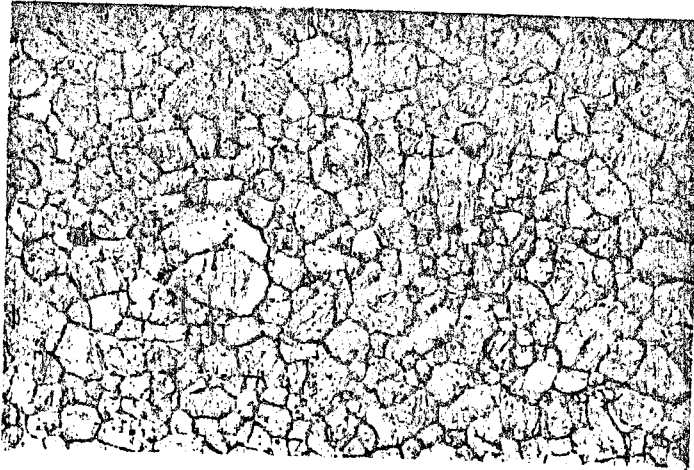


b) %75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7

F) a) 4.1

b) 4.2

Şekil-3.3 A), B), C), D), E) şekilleri SAE 8620 sementasyon çeliklerinde a) 925°C b) 970°C c) 1000°C sıcaklıklarda yapılan ostenitleme işlemi sonucunda, mikroskop altında (100 büyütmede) yüzeydeki ostenit tane büyüklüklerinin görünümüdür. F) şekli ise ostenit sıcaklığına kadar farklı ısıtma hızları uygulanan SAE 8620 sementasyon çeliklerinin ostenit tane büyüklüklerinin görünümüdür.

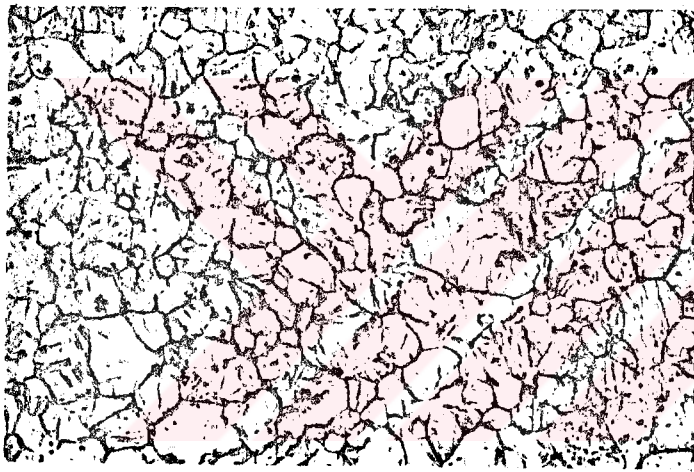


a) 925^oC

75 ASTM No:8,5

20 ASTM No:9

5 ASTM No:8

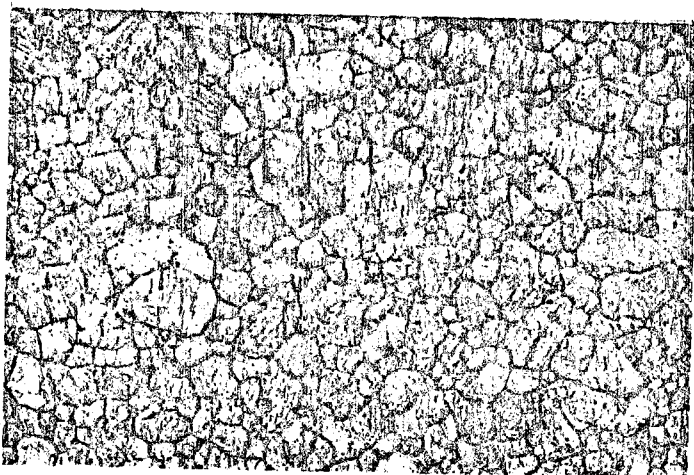


b) 970^oC

75 ASTM No:8,5

20 ASTM No:9

5 ASTM No:8



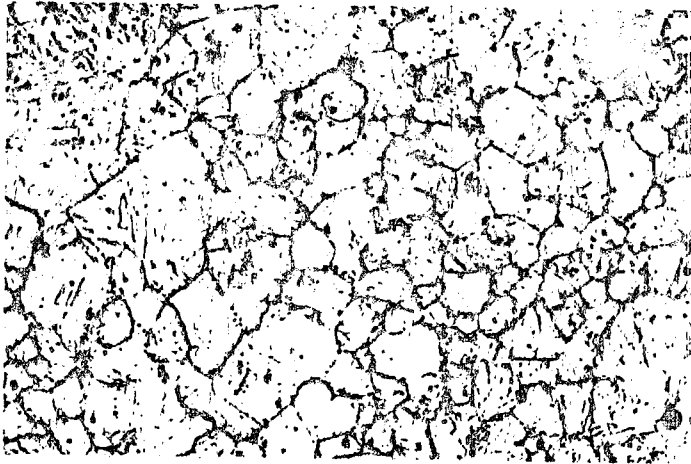
c) 1000^oC

75 ASTM No:8,5

20 ASTM No:9

5 ASTM No:8

A) B.2.1

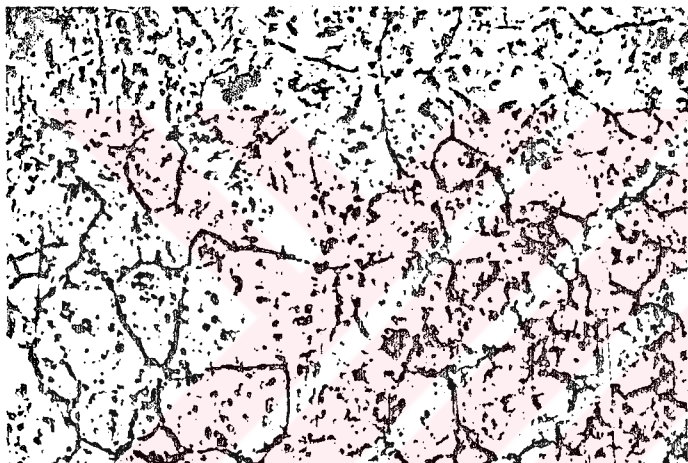


a) 925^oC

%75 ASTM No:8,5

%20 ASTM No:9

%5 ASTM No:8

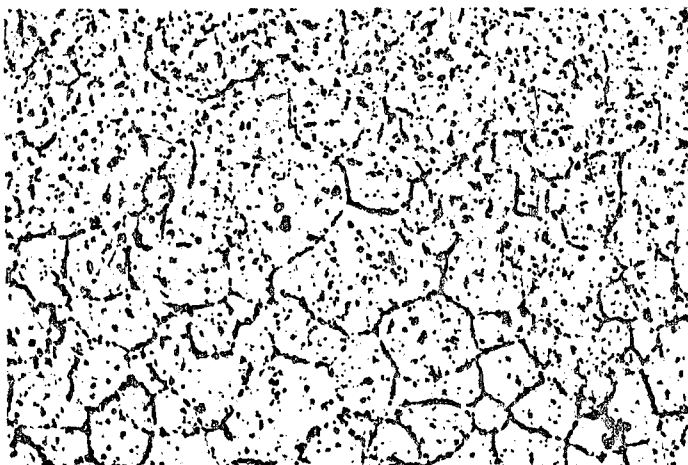


b) 970^oC

%75 ASTM No:8,5

%20 ASTM No:9

%5 ASTM No:8



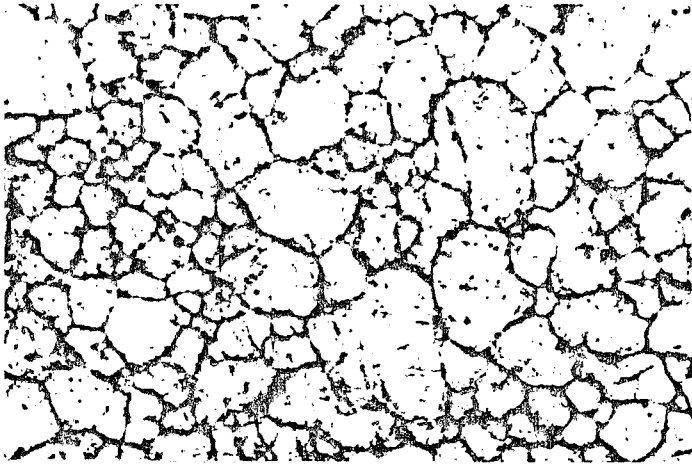
c) 1000^oC

%75 ASTM No:8,5

%20 ASTM No:9

%5 ASTM No:8

B) B.2.2

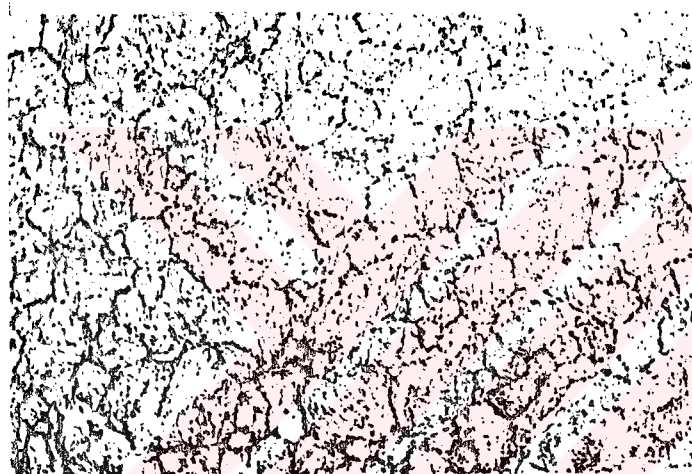


a) 925^oC

%75 ASTM No:8

%20 ASTM No:7

%5 ASTM No:6

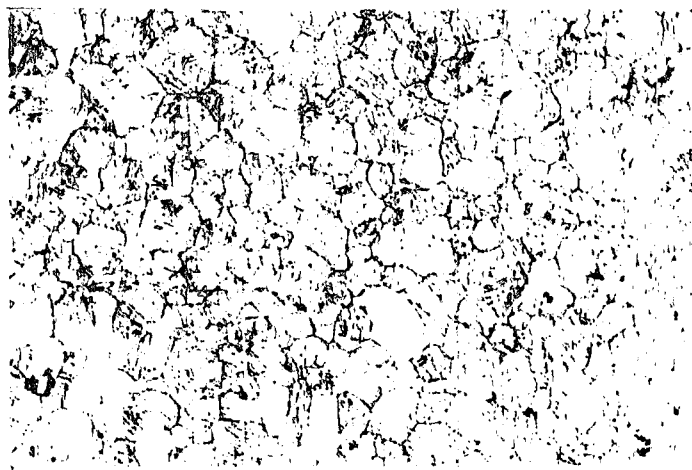


b) 970^oC

%75 ASTM No:8

%20 ASTM No:7

%5 ASTM No:6



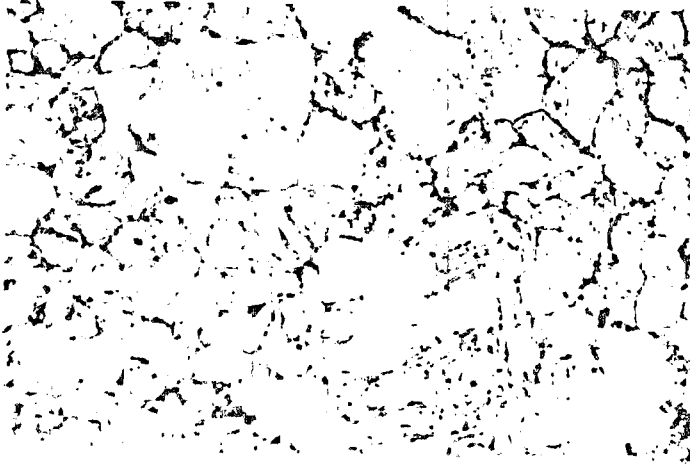
c) 1000^oC

%75 ASTM No:8

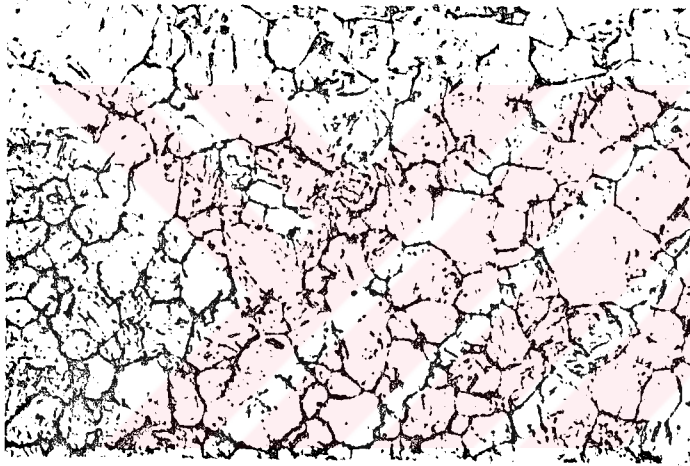
%20 ASTM No:7

%5 ASTM No:6

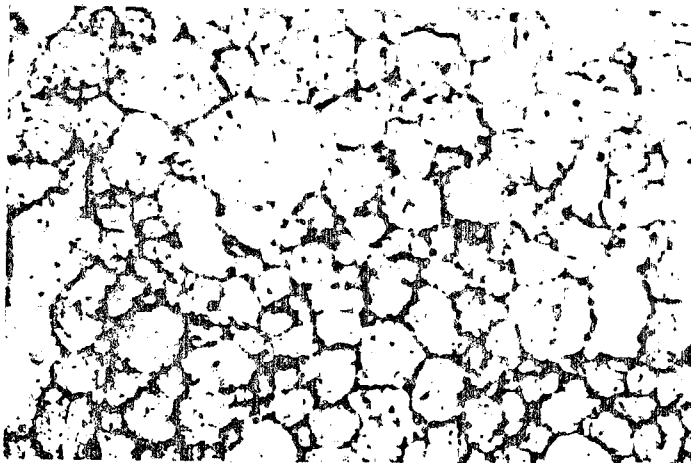
c) B.2.3



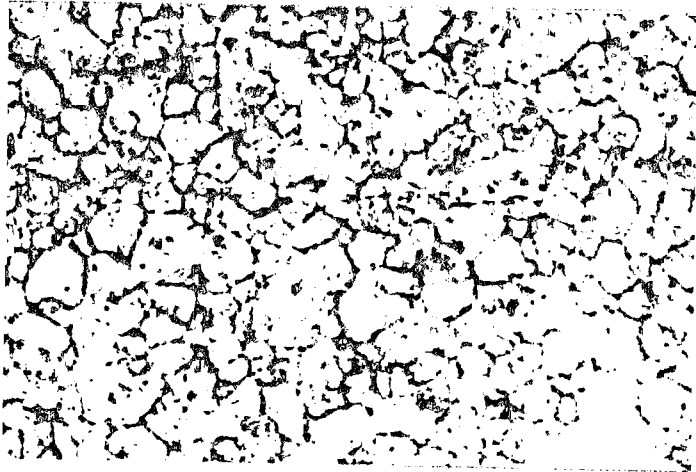
a) 925°C
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:6
%5 ASTM No:5



b) 970°C
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:6
%5 ASTM No:5



c) 1000°C
%75 ASTM No:8
%20 ASTM No:6
%5 ASTM No:5

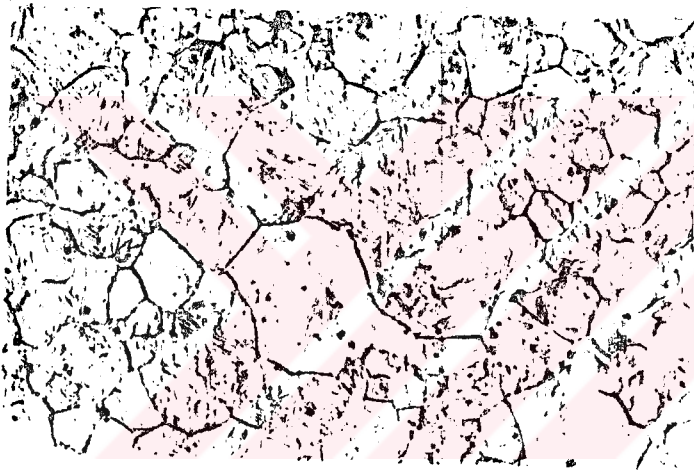


a) 925°C

75 ASTM No:8

20 ASTM No:6

5 ASTM No:5

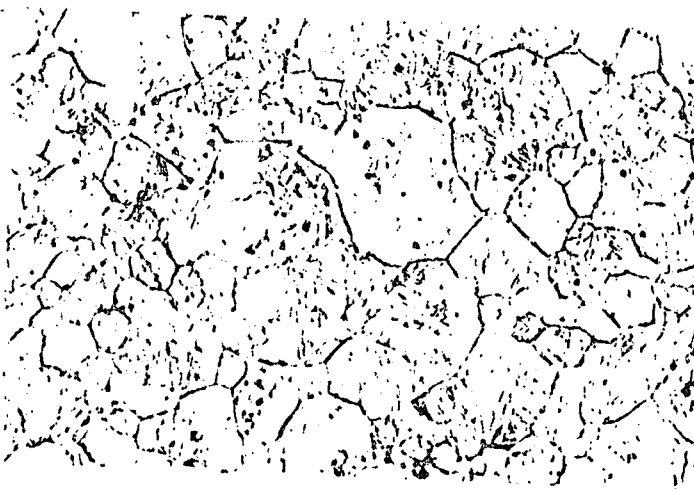


b) 970°C

75 ASTM No:8

20 ASTM No:6

5 ASTM No:5



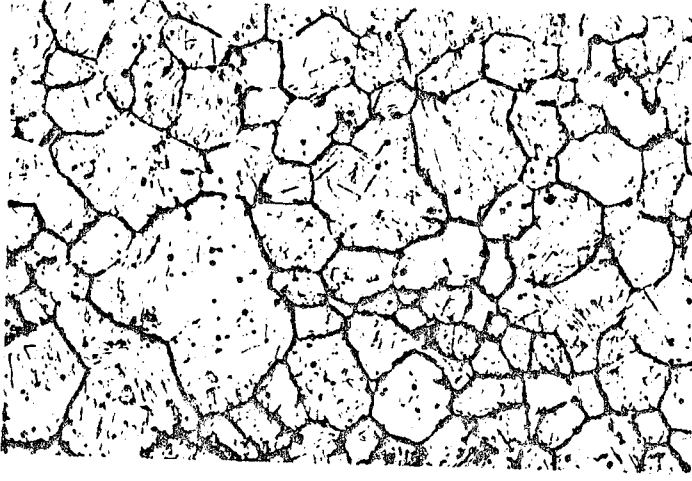
c) 1000°C

75 ASTM No:8

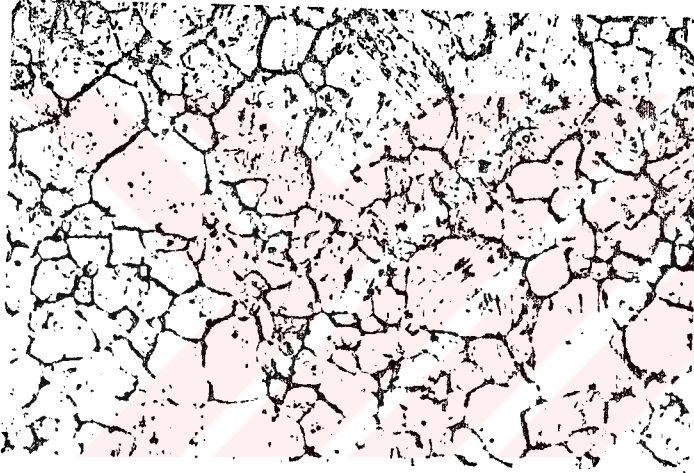
20 ASTM No:6

5 ASTM No:5

E) B.2.5



a) %75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7
%5 ASTM No:6



b) %75 ASTM No:8
%20 ASTM No:7
%5 ASTM No:6

F) a) B.4.1

b) B.4.2

Şekil-3.4 A.), B.), C.), D.), E.) şekilleri ZF7 Sementasyon çeliklerinde a) 925^oC b) 970^oC c) 1000^oC sıcaklıklarda yapılan ostenitleme işlemi sonucunda, mikroskop altında (100 büyütmede) yüzeydeki ostenit tane büyüklüklerinin görünümüdür. F.) şekli ise ostenit sıcaklığına kadar farklı ısıtma hızları uygulanan ZF7 sementasyon çeliklerinin ostenit tane büyüklüklerinin görünümüdür.

3.8 OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNÜ TESBİT ETME YÖNTEMİ

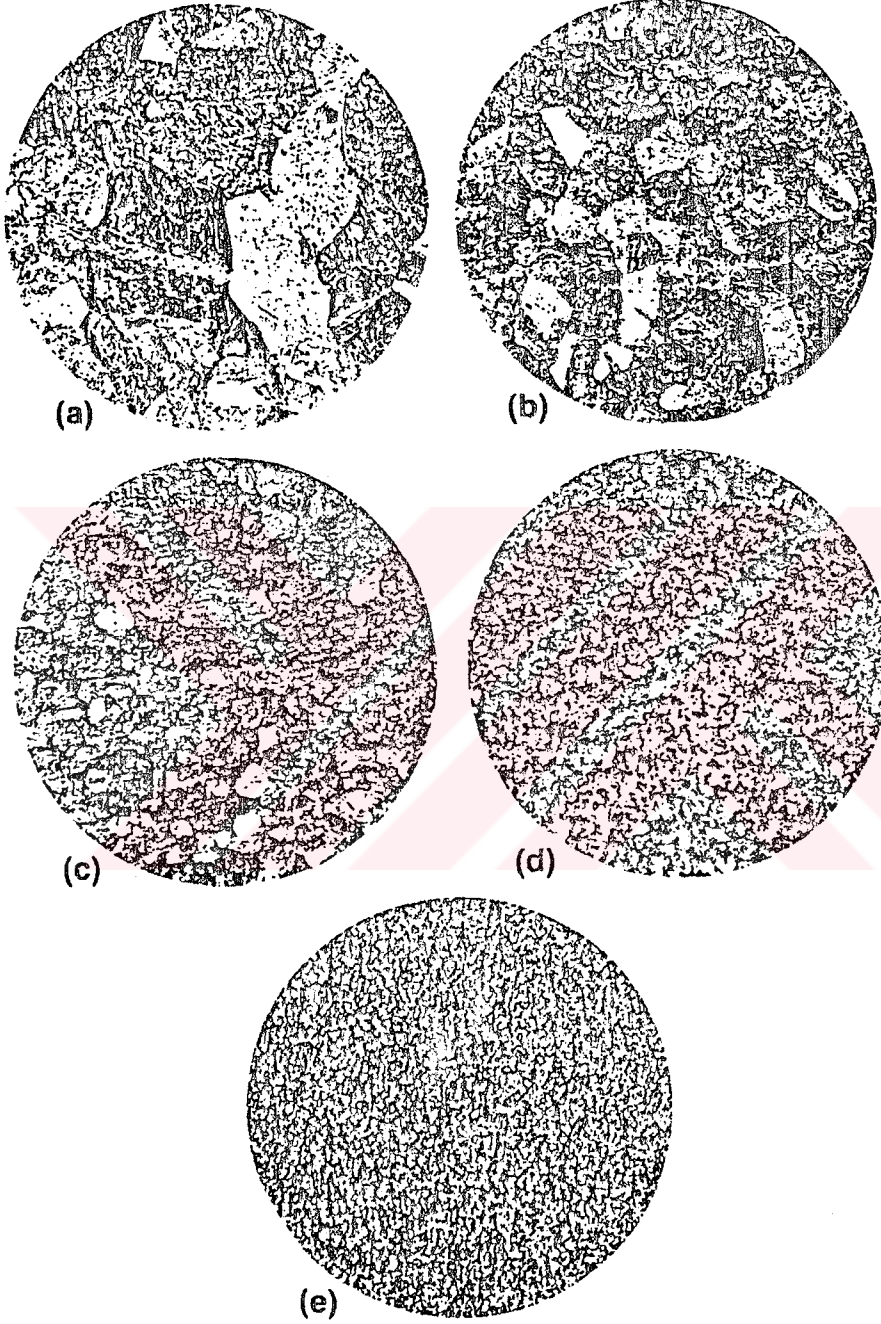
Numunelerin parlatılarak temizlenen yüzeyleri, dağlandıktan sonra hareketli atomların asitle reaksiyonu sonucu aşınmaları ile yüzeyde bıraktıkları izler, tane sınırlarını oluşturur. Oluşan bu sınırların fazlalığı yada azlığına göre tane büyüklükleri tesbit edilir.

Tane büyüklüğünü tesbit etme yöntemleri bir kaç çeşittir. Bunlardan birisi de ASTM (American Society for Testing Materials) karşılaştırma yöntemidir.⁽¹⁶⁾ Bu yöntemde standart tane boyutu çizelgesi ve tane büyüklüğünü gösteren kartlarla özel mercekler kullanılarak tane büyüklüğü saptanır. Tablo-3.2 de en çok kullanılan standart tane büyüklüğü numaraları görülmektedir.^(2,20)

Tablo-3.2

ASTM														
Micro Tane Büyükük no	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8,5	9	9,5	10	
1 inc ² de- ki														
Tane sayı- sıx100	0,5	1,0	2,0	4	8	16	32	64	128	181	256	362	512	

Bu Tabloda en çok kullanılan tane boyutu numaraları 1,2, 3,4,5,6,7,8 dir. 1,2,3,4 tane boyut numaraları tipik kaba tane 5,6,7,8, tane boyutu numaraları da tipik ince tane yapısını gösterir.⁽²⁰⁾ Şekil-3.5 de martensitik mikro yapıdaki ASTM No: 1,3,5,7,9 olan ostenit tane büyüklükleri görülmektedir.⁽⁴⁾

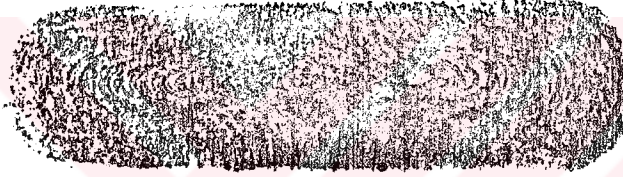


Şekil-3.5 Martensitik mikro yapıdaki çeliğin ostenit tane büyüklükleri a) ASTM No:1 b) ASTM No:3 c) ASTM No:5 d) ASTM No:7 e) ASTM No:9 x 100

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1 SICAK ŞEKİL VERMENİN OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNE ETKİSİ

Sıcak şekil verilen çelik numunelerin, ostenitleme işlemi uygulandıktan sonra elde edilen macro yapıları incelendiği zaman deformasyon sırasında oluşan deformasyon izleri Şekil-4.1'-de olduğu gibi görülmektedir.



Şekil-4.1 SAE 8620 ince taneli sementasyon çeliğinin 1000°C sıcaklıkta 4 saat bekletilip suda soğutulduktan sonra macro dağlama yapılmış yapısıdır.

Bu numunelerin yüzeylerinde görülen bu izler deformasyon ya da dövme izleri olarak bilinir. Dikkat edilirse uygulanan deformasyon sadece yan yüzeylerde etkili olmuştur.

Aynı numunelerin mikroskop altında incelenen micro yapılarında görülen ostenit tane büyüklüklerine karşı gelen ASTM numaraları table-4.1'de görülmektedir.

Tablo-4.1

Numune no	Dövme	Ostenitleme İşlemi	%	N	%	N	%	N
SAE 8620								
2.1	Yapıldı	925°C/8 saat/su	75	9	20	8,5		
2.1	Yapıldı	970°C/4 saat/su	75	9	20	8,5		
2.1	Yapıldı	1000°C/4 saat/su	75	9	20	8,5		
ZF7								
B.2.1	Yapıldı	925°C/8 saat/su	75	8,5	20	9	5	8
B.2.1	Yapıldı	970°C/4 saat/su	75	8,5	20	9	5	8
B.2.1	Yapıldı	1000°C/4 saat/su	75	8,5	20	9	5	8

Tablo-4.1.'de görüldüğü gibi dövülen yani sıcak şekil verilerek deformasyona uğratılan ve ostenitleme işlemi uygulanan çelik numunelerin ostenit tane büyüklüklerine karşılık gelen ASTM numarası (N harfi ile gösterilir) yüzey üzerinde bölgesel farklılıklar göstererek SAE 8620 sementasyon çeliği için % 75'i 9, % 20'si 8,5 dur. ZF7 sementasyon çeliği için % 75'i 8,5, % 20'si 9, % 5'i 8 dir. Bu ostenit tane numaraları küçük ince taneye karşı gelir. Sıcak şekil verme ve ostenitleme işlemi uygulanan ince taneli çelik numunelerinin bu işlemler sonucu tane büyüklüğünün küçük yada ince kalması dikkati çekmektedir.

4.2 ISIL İŞLEMİN OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNE ETKİSİ

Ön ısıl işlem uygulanan çelik numunelerde yapısal olarak fazla değişiklik meydana gelmez. Sadece farklı soğutma ortamları kullanılması çeliğin sertliğine etki eder. Örneğin suda soğuttuklarımız havada ve fırında soğuttuklarımızdan daha serttir. Ön ısıl işlemden sonra çeliğe uygulanan ostenitleme işlemi yani daha yüksek sıcaklıklarda daha uzun sürede yapılan ısıl işlem sonucunda, numunelerin mikroskop altında incelenen mikro yapılarında görülen ostenit tane büyüklüklerine karşı gelen ASTM numaraları tablo-4.2'de görülmektedir.

Tablodan görüldüğü üzere ön ısıl işlemden sonra ostenitleme işlemi uygulanan çelik numunelerin ostenit tane büyüklüklerine karşı gelen ASTM ostenit tane numarası küçük taneyi göstermektedir. Ön ısıl işlem ve ostenitleme işlemi sonunda çelik numunelerde tane büyümesi görülmemiştir. Bilindiği gibi çeliğin yüksek ostenitleme sıcaklıklarında ve uzun ostenitleme sürelerinde kalması halinde ostenit tane büyüklüğünde büyüme meydana gelir. Bu tip çelik kaba, iri taneli çeliktir.

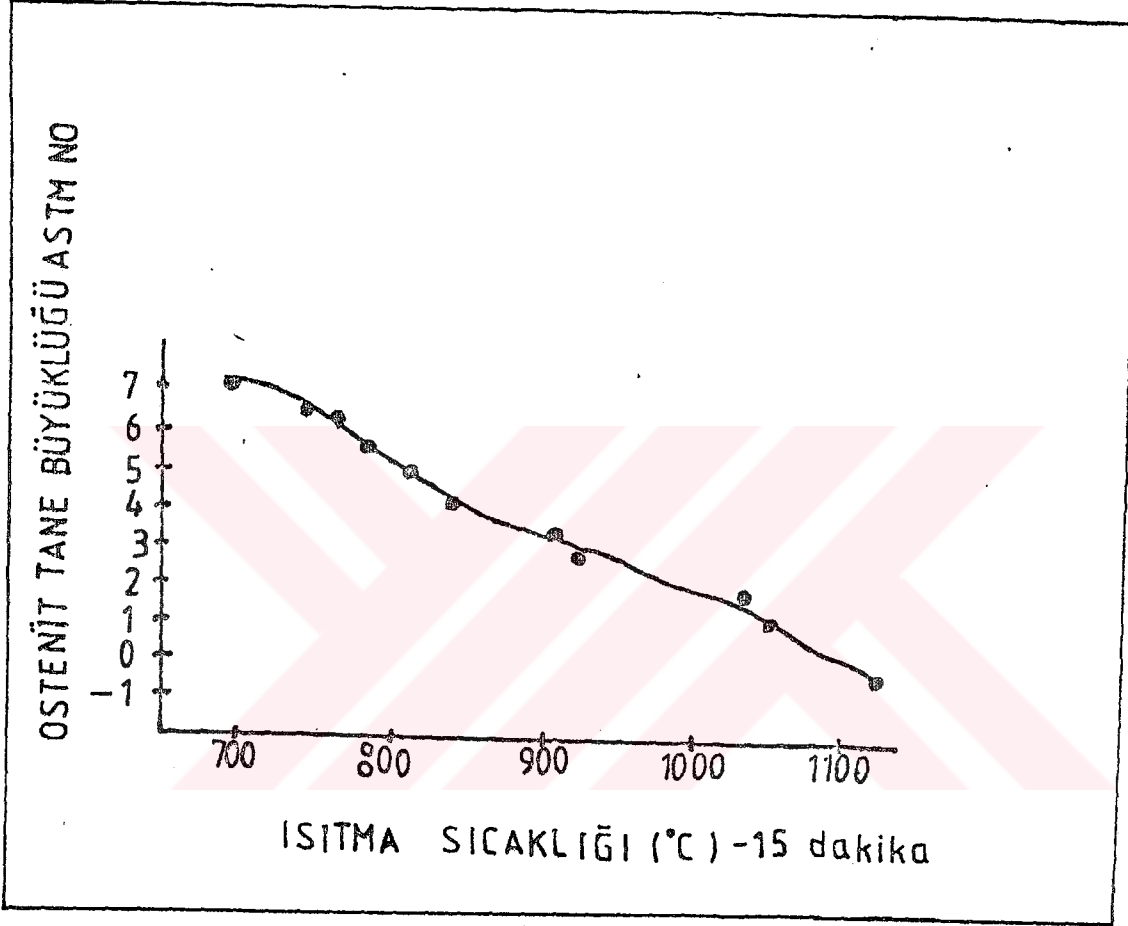
Tablo-4.2

Numune no	Ön Isıl İşlem	Ostenitleme işlemi	%	N	%	N	%	N
SAE 8620			75		20		5	
2.2	900°C/30dak/su	925°C/8sa/su	75	9	20	8,5	5	
2.2	900°C/30dak/su	970°C/4sa/su	75	9	20	8,5	5	
2.2	900°C/30dak/su	1000°C/4sa/su	75	9	20	8,5	5	
2.3	900°C/30dak/Ha- va	925°C/8sa/su	75	8	20	7	5	5
2.3	900°C/30dak/Ha- va	970°C/4sa/su	75	8	20	7	5	5
2.3	900°C/30dak/Ha- va	1000°C/4sa/su	75	8	20	7	5	5
2.4	900°C/30dak/F1- rin	925°C/8sa/su	75	8	20	7	5	
2.4	900°C/30dak/F1- rin	970°C/4sa/su	75	8	20	7	5	
2.4	900°C/30dak/F1- rin	1000°C/4sa/su	75	8	20	7	5	
2.5	900°C/30dak/Ha- va	925°C/8sa/su	75	8	20	7	5	
	700°C/5sa/su							
2.5	700°C/5sa/su	970°C/4sa/su	75	8	20	7	5	
2.5	700°C/5sa/su	100°C/4sa/su	75	8	20	7	5	6

Tablo-4.2'e devam

Numune no	Ön Isıl İşlem	Ostenitleme işlemi	%	N	%	N	%	N
ZF7			75		20		5	
B.2.2	900°C/30dak/su	925°C/8sa/su	75	8,5	20	9	5	8
B.2.2	900°C/30dak/su	970°C/4sa/su	75	8,5	20	9	5	8
B.2.2	900°C/30dak/su	1000°C/4sa/su	75	8,5	20	9	5	8
B.2.3	900°C/30dak/Hava	925°C/8sa/su	75	8	20	7	5	6
B.2.3	900°C/30dak/Hava	970°C/4sa/su	75	8	20	7	5	6
B.2.3	900°C/30dak/Hava	1000°C/4sa/su	75	8	20	7	5	6
B.2.4	900°C/30dak/Firin	925°C/8sa/su	75	8	20	6	5	5
B.2.4	900°C/30dak/Firin	970°C/4sa/su	75	8	20	6	5	5
B.2.4	900°C/30dak/Firin	1000°C/4sa/su	75	8	20	6	5	5
B.2.5	900°C/30dak/Hava	925°C/8sa/su	75	8	20	6	5	5
	700°C/5sa/su							
B.2.5	700°C/5sa/su	970°C/4sa/su	75	8	20	6	5	5
B.2.5	700°C/5sa/su	1000°C/4sa/su	75	8	20	6	5	5

Şekil-4.2'de iri taneli çeliğin ostenit sıcaklığına bağlı olarak değişen ostenit tane büyüklüğü grafik olarak gösterilmiştir. (2)

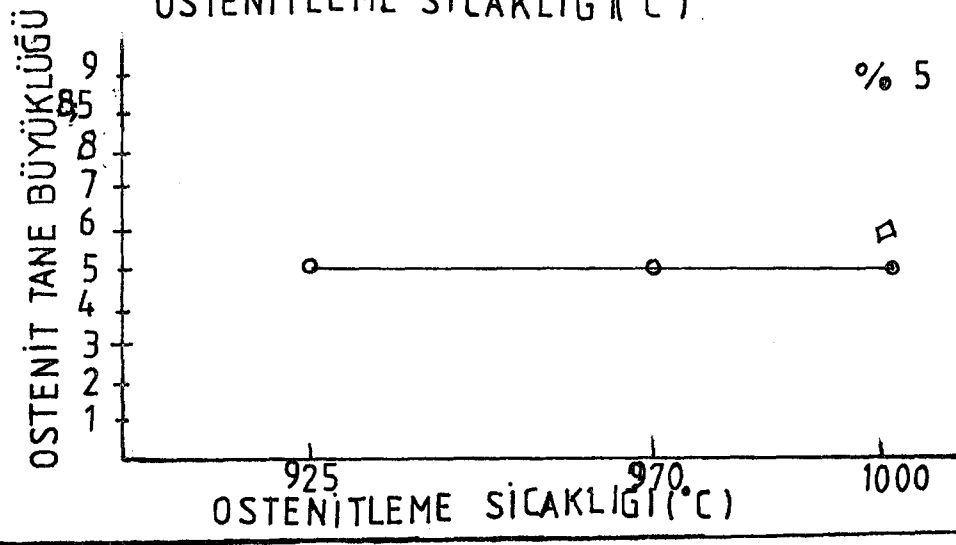
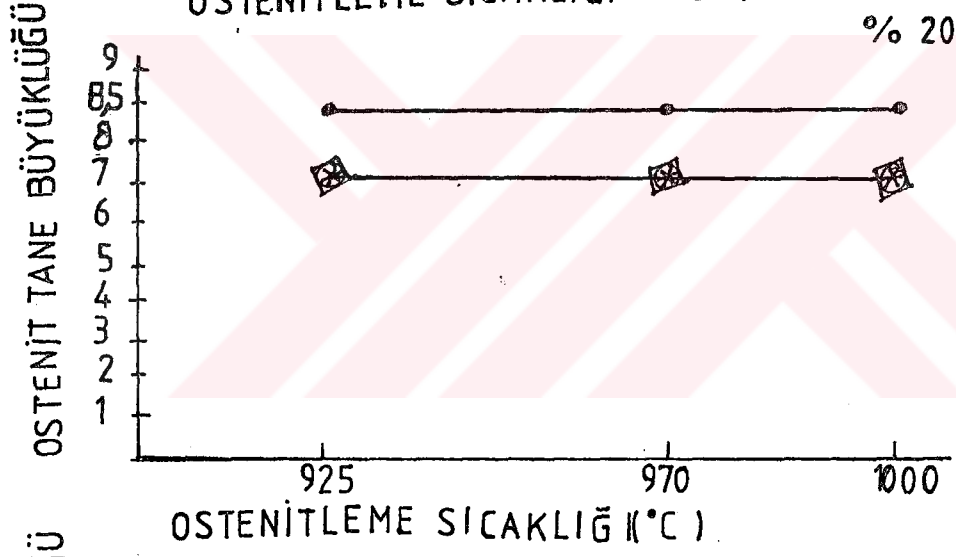
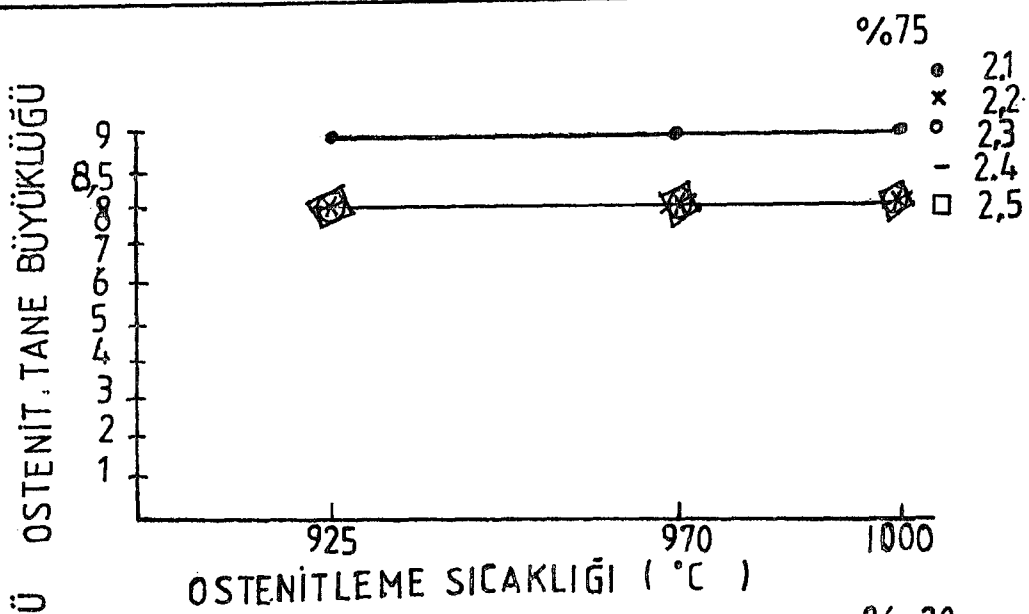


Şekil-4.2 İri taneli çelik için ostenit sıcaklığının fonksiyonu olarak değişen tane büyüklüğü.

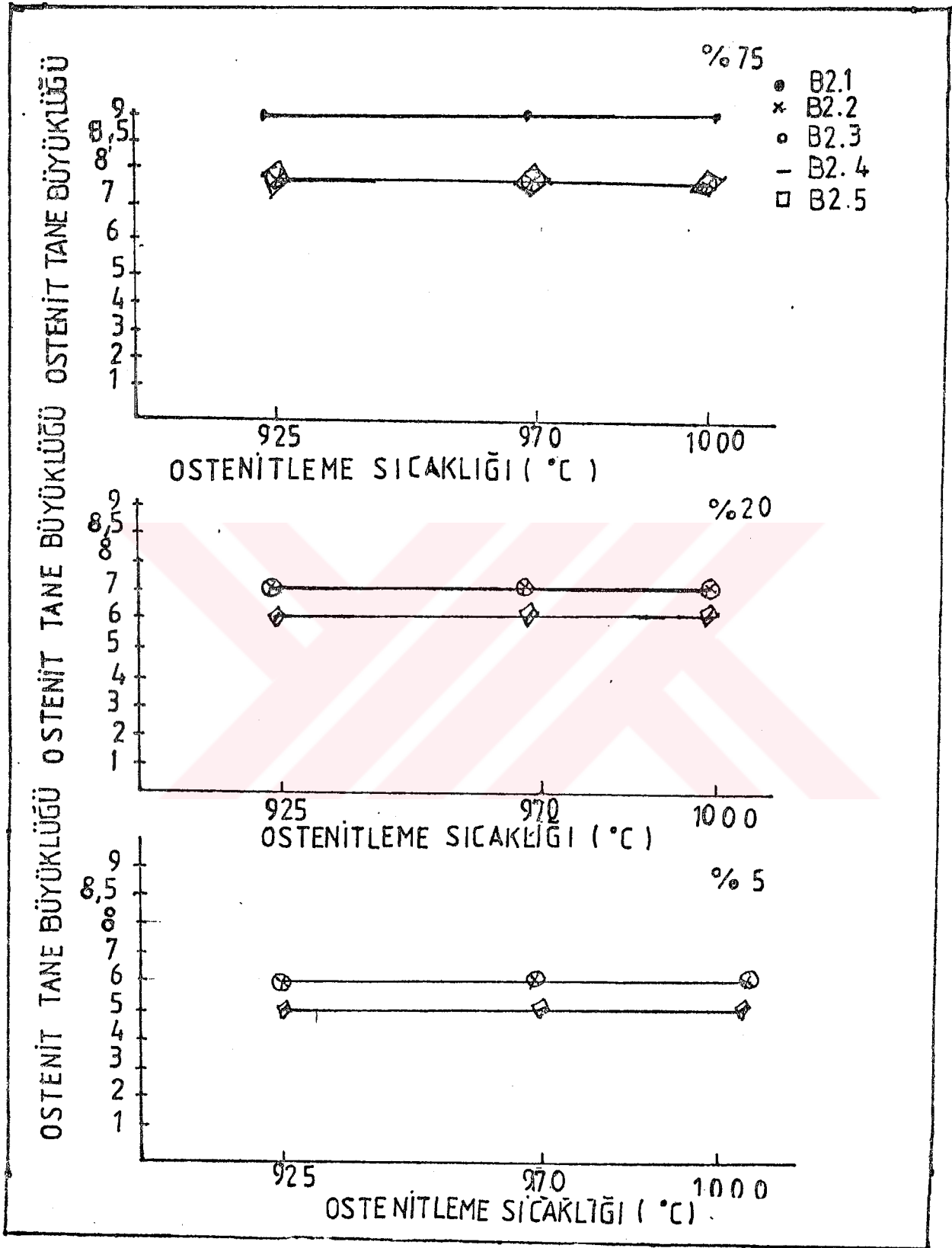
Grafikte görüldüğü gibi artan ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak ostenit tane büyüklüğü ASTM numarası 7'den sonra 6,5,4,3,2,1,0 olmaktadır. 4,3,2,1,0 numaraları kaba iri taneli çeliği gösterir. Bu da artan sıcaklıkla beraber ostenit tane büyüyor demektir. SAE 8620 ve ZF7 ince taneli semen-

tasyon çelikleri için ostenitleme sıcaklığının ve ostenitleme süresinin fonksiyonu olarak değişen tane büyüklüklerinin Şekil-4.3 ve Şekil-4.4'de görüldüğü gibi, grafikleri eksene paralel bir doğru göstermektedir. Yani 1000°C kadar yükselen ostenitleme sıcaklığı ve 8 saate varan ostenitleme süresi çelik numunelerin ostenit tane büyüklüğünü değiştirmemiştir. Ostenit taneler ince ve küçüktür.



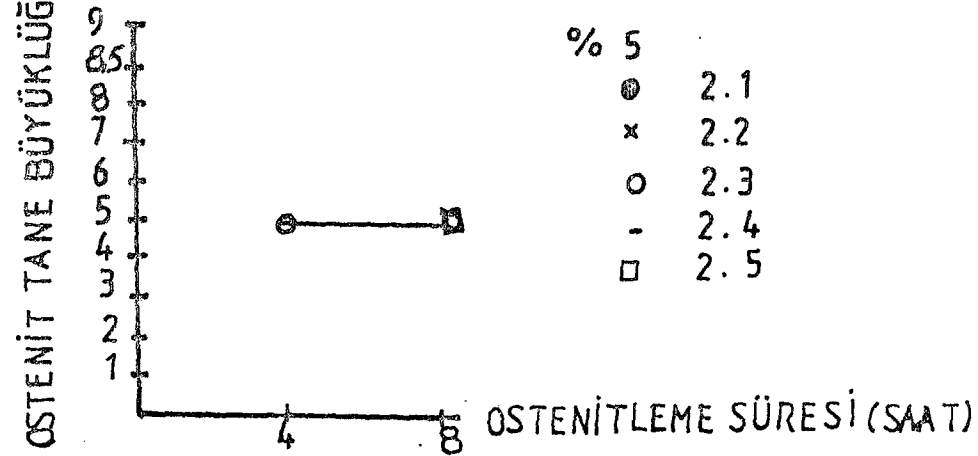
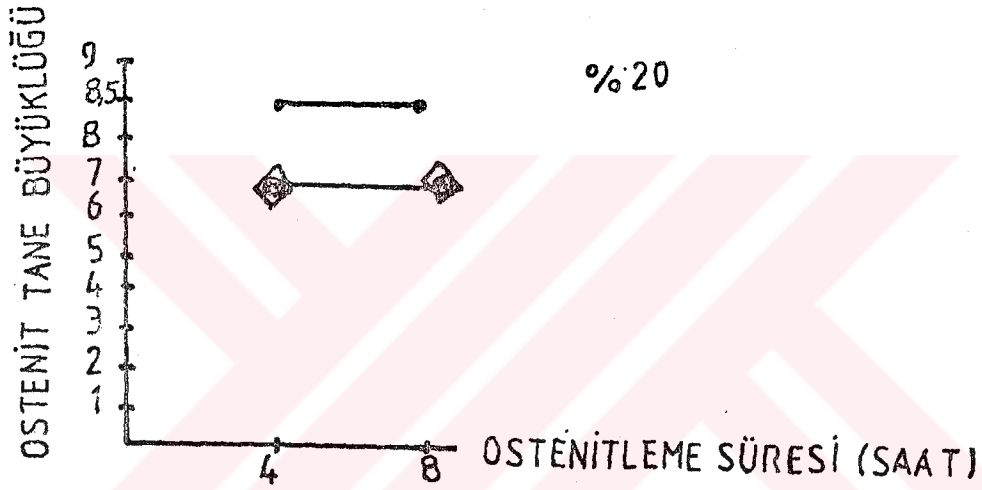
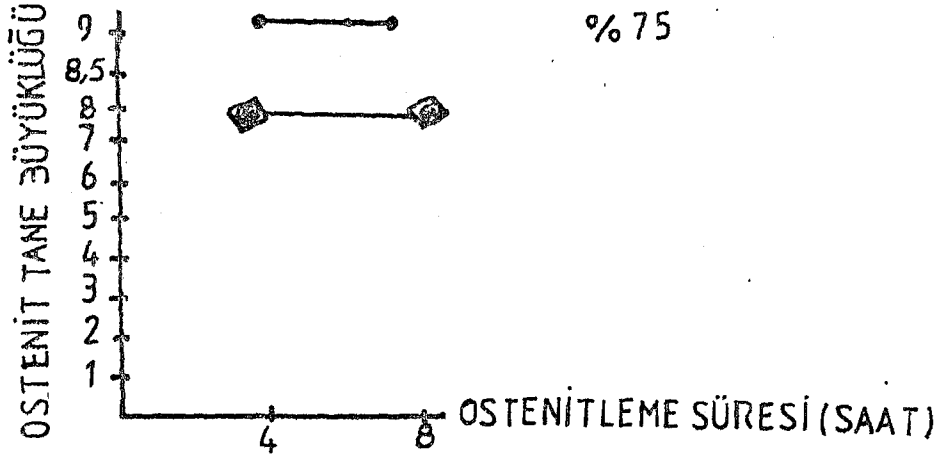


A) SAE 8620

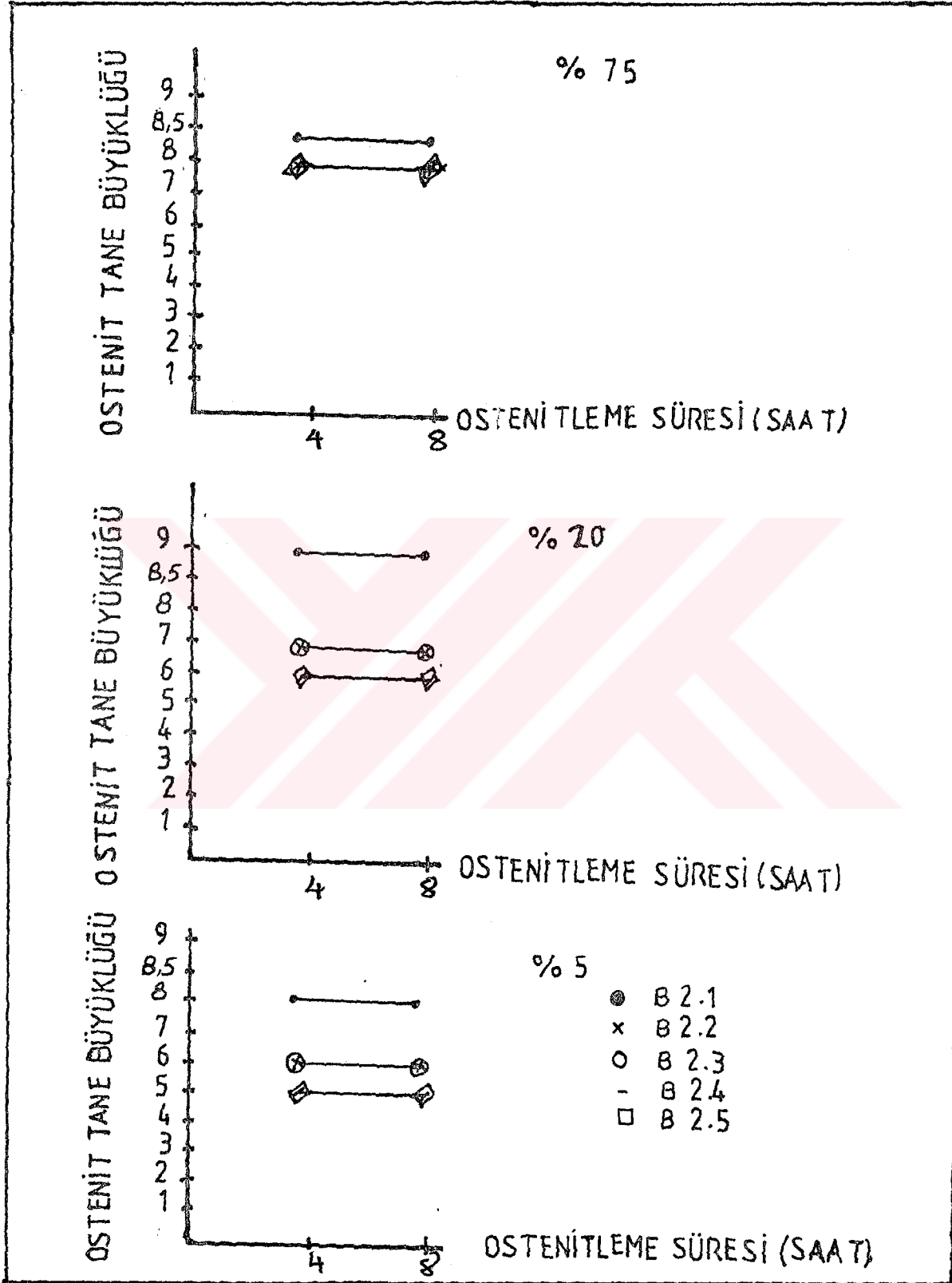


B) ZF7

Şekil 4.3 sıcaklığın fonksiyonu olarak A) SAE 8620 B) ZF7 Sementasyon çeliklerinin tane büyüklüğünün değişimini gösteren grafikdir.



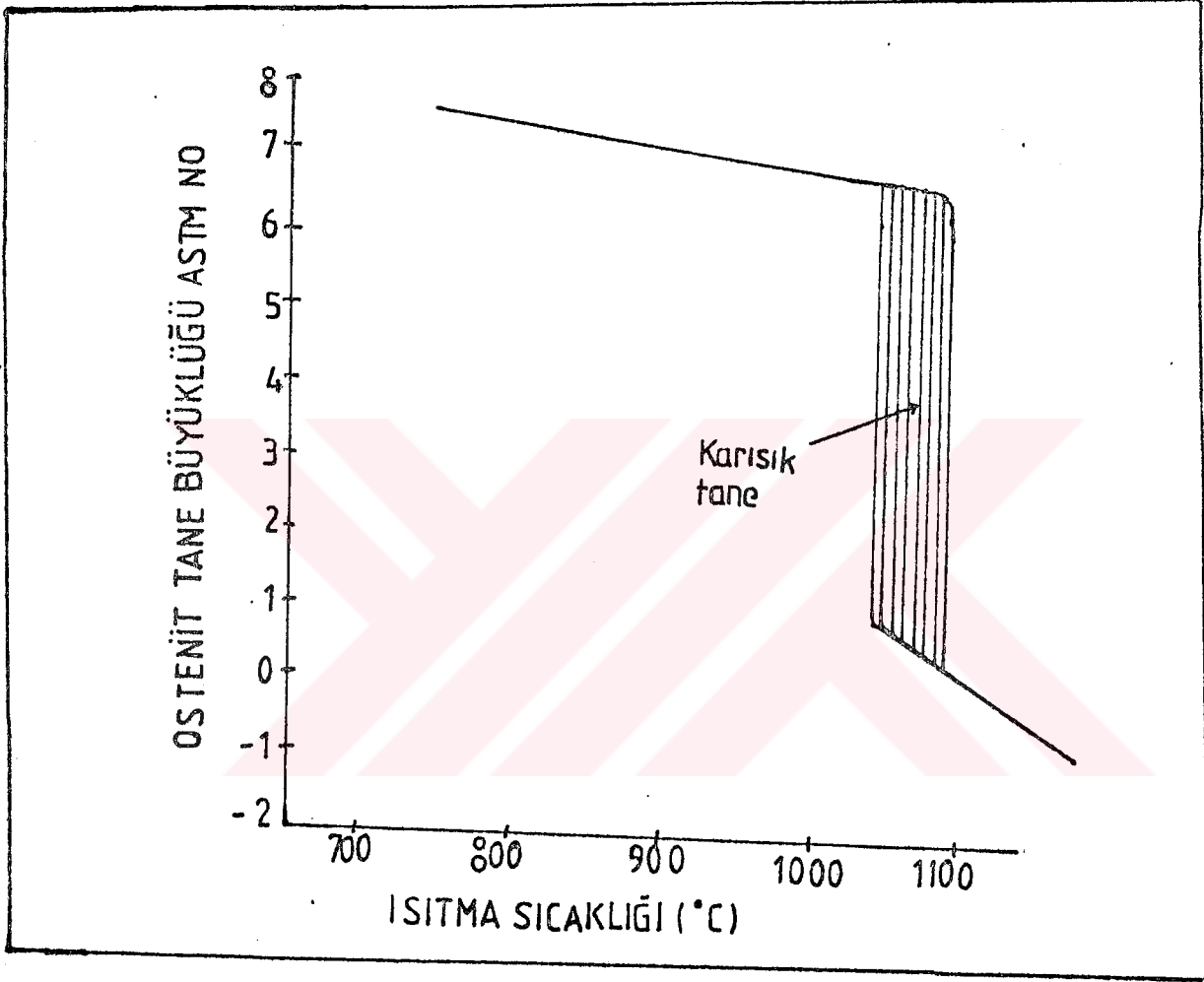
A) SAE 8620



B) ZF7

Şekil:44 zamanın fonksiyonu olarak A) SAE 8620 ve B) ZF7 semantasyon çeliklerinin tane büyüklüğünün değişimini gösteren grafiklerdir.

- Şekil-4.5'de tipik ince taneli bir çelikte ostenit sıcaklığının fonksiyonu olarak değişen ostenit tane büyüklükleri görülmektedir. (2)



Şekil-4.5 Ostenit sıcaklığının fonksiyonu olarak ostenit tane büyüklüğünün ince taneli bir çelikte değişim grafiğidir.

Yukarıda grafiğe dikkat edilirse 1000°C 'dan daha yukarıdaki sıcaklıklarda taneler irileşmeğe başlıyor. Bu sıcaklıklara karşı gelen ostenit tane büyüklüğünün ASTM numarası iri taneyi göstermektedir. 1000°C 'dan küçük sıcaklıklara karşı gelen ostenit tane büyüklüğünün ASTM numarası küçük ince taneyi göstermektedir.

4.3 OSTENİT SICAKLIĞA KADAR ISITMA HIZININ OSTENİT TANE BÜYÜKLÜĞÜNE ETKİSİ

Çelik numunelerinin fırınla beraber, ostenit sıcaklığına kadar ısıtılması sonucunda gözlenen ostenit tane büyüklükleriyle, ostenit sıcaklığına gelmiş fırının, içine konan numunelerin hızlı bir şekilde ostenitlenmesi sonucunda gözlenen tane büyüklüklerine tablo-4.3'de görüldüğü gibi küçük ince taneyi gösteren ASTM numaraları karşı gelmektedir. Isıtma hızının farklılığı ostenit tane büyüklüklerinde fark yaratmamıştır.

Tablo-4.3

Numune No	Ostenit sıcaklığına kadar ısıtma hızı	%	N	%	N	%	N
SAE 8620							
4.1	Fırınla birlikte 925°C-8 saat/su	75	8	20	7		
4.2	925°C-8 saat/su	75	8	20	7		
ZF7							
B.4.1	Fırınla birlikte 925°C-8 saat/su	75	8	20	7	5	6
B.4.2	925°C-8 saat/su	75	8	20	7	5	6

Sonuç olarak,

1. SAE 8620 ve ZF7 ince taneli, düşük karbonlu sementasyon çeliklerine uygulanan sıcak şekil verme ve ostenitleme işlemi sonucunda ostenit tane büyüklükleri küçük, ince kalmıştır.
2. Bu çeliklere uygulanan ön ısıl işlem ve ostenitleme işlemi sonucunda yine ostenit tanalarının büyüklükleri küçük ve ince kalmıştır. 1000°C sıcaklığa kadar olan yüksek ostenitleme sıcaklığı, 4 ve 8 saatlik uzun ostenitleme süresi, ostenit tane büyüklüklerinde bir değişme meydana getirmemiştir. Tane büyüklükleri küçük ve ince yapıya korumuştur.
3. Farklı ostenitleme hızı, ostenit tane büyüklüklerinin küçük ve ince kalmasını engellememiştir.
4. Ostenit tane büyüklüklerinin değişmeyip küçük, ince kalmasının bir nedeni de, sementasyon çelik numunelerinin, kimyasal kompozisyonunda yer alan alüminyum titanyum ve bor gibi alaşım elementlerinin ostenit tane büyümesini engelleyici rol oynamasına bağlanmıştır. Numunelerimizde bu katkı maddelerinin miktarı yüksek olup tablo-3.1 de verilmiştir.
5. Sıcak şekil verme ve ısıl işlem sonucunda ince taneli SAE 8620 ve ZF7 sementasyon çeliklerinin ostenit tane büyüklüğünün küçük kaldığı tesbit edilmiştir. Tane büyüklükleri, çeliklerin dayanıklılığını tayin etmekte ve küçük taneli çelikler daha dayanıklı olması nedeniyle teknolojide daha çok tercih edilmektedir. Bu nedenle AsilÇelik San. ve A.Ş.'i tarafından üretilen düşük karbonlu ve ince taneli çeliklerin, malzeme üretme sürecinde şekil verme ve ısıl işlemlere tabi tutulması, çeliğin yapısını değiştirmemektedir.

ÖZET

SAE 8620 ve ZF7 sementasyon çeliklerinden hazırlanan çelik numunelerine sırasıyla sıcak şekil verme ve ısıl işlem uygulanmıştır. Numunelerin optik emisyon spektrometresinde kimyasal kompozisyonları tesbit edilmiş gerekli parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra ASTM E112-77 yöntemi ile numunelerin tane büyüklükleri tesbit edilmiştir.



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını bana vererek çalışmalarımı yöneten Sayın Doç.Dr.Ali GÜNGÖR'e, deneysel çalışmalarımı Asilçelik San. ve Tic. A.Ş.'de yapmam için gerekli izni sağlayan Sayın Dekan Prof.Dr.Cihan ÖZMUTLU ve Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. Aytaç YALÇINER'e, Asilçelik San. ve Tic. A.Ş'nin olanaklarından yararlanmamı sağlayan Fabrika Müdürü Sayın Ali ZENGİN'e ve Metalurji Bölüm Başkanı Sayın Ergun ONUR'a, örnek numunelerin hazırlanmasında yardımını esirgemeyen Asilçelik San ve Tic. A.Ş. personeline, deneysel çalışmama yardımcı olan Sayın Mehmet ÇİLİNGİR, Sayın Abdülkerim DİLGİN, Sayın Ekrem TOPRAK, Sayın Ali AYDOĞAN ve eşim İsmail ŞANLI'ya teşekkürü borç bilirim.

KAYNAKLAR

- 1- Boyer, H.E., Practical Heat Treating, American society for Metals, Metals park OH 44073, Printed in the united states of America, c 1984.
- 2- Lankford Jr, W.T., Samways, N.L., Craven, R.F., Mc Gannon, E.H., "Principles of Heat Treatment of Steel", The Making Shaping and Treating of stel, Tenth Edition, Printed in U.S.A Page 1232-1247, c 1985
- 3- Barrett, C.R., Nix, W.D., Tetelman, S.A., The Principle of Engineering Materials, c 1973 by Prentice Hall, Inc.
- 4- Krauss, G., Principles of Heat Treatment of steel, Printed in U.S.A, c 1980
- 5- Clark, D.S, Varney, W.R., "Heat Treatment of steel" Physical Metallurgy for Engineers, Printed in Holland page 132-154, Second Edition, January 1962.
- 6- Struers Scientific Instruments, Copenhagen, Denmark.
- 7- Thelning, K.E., Steel and It's Treatment, Bofors Hand book, London: Cox and Wyman Ltd., 1978.
- 8- American Society for Metals, Metals Hand book volume 9, Ninth Edition, OHIO 44073, 1985.
- 9- Lankford Jr, W.T., Samways, L.N., Craven, R.F., Mc Gannon, H.E., "Plastic Working of Stell", The Making, shaping and Treating of Steel, Tenth Edition, printed in U.S.A, page 774-782, c 1985.
- 10- Dieter, E.G., Mechanical Metallurji, second Edition, Mc Graw-Hill kogakusha ltd c 1961, 1976.

- 11- English, A.T., chin, G.Y., Wonsiewicz, B.C., "Structures Resulting from plastic Deformation, Metals Hand book, 8th Edition, Vol: 8, American Society for Metals, Ohio 44073, page, 211, 1973.
- 12- Adamson, A.W., Physical Chemistry of surface, 4 th Ed, California, page 277-278, c 1982
- 13- Küçükov, Yosif. Metallerin Plastik Deformasyonla İşlenmesi, 2. Baskı, Sofya, Teknik Yayınlar, 1971.
- 14- Tekin, Erdoğan.; Metal Bilim İşlem Terimleri Sözlüğü, Türk Dil Kurumu Yayınları, Ankara Üniversitesi Basımevi, 1972.
- 15- Türk Standartları Enstitüsü, "Micrographic Determination of The Austenite Grain Size of Steels". 1. Baskı, Kasım 1970.
- 16- Annual book of ASTM Standart (American society for Testing and Materials), "Standart Methods for Estimating The Average Grain Size of Metals", Part 11, page 205-236, 1979.
- 17- Michalak J.T., "Plastik Deformation Structuren in Iron and Steel", Metal Hand Book, 8 th Edition, Vol: 8, OHIO 44073, 1973.
- 18- Sementasyon Çelikleri, AsilÇelik Teknik Yayınlar, 5
- 19- Saatçi, Alpaydın., Sementasyon çeliği seçimi, MKE Kırıkkale çelik fabrikası, Ocak 1981.
- 20- Grossmann, M.A.- Bain, E.C., (American Society for Metals.) Principles of Heat Treatment, fifth Edition, fourth Printing, Ohio, July 1972.

21- T.S.E 2837/Eylül 1977 1.Baskı. (Low Carbon Unalloyed Steels-
for Bolts and Nuts.)



T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi