

669.112.227.346.2
A 611 9

1996-1191

Geri Martensitik
Transformasyonlar

MAG - 88

Dr. Alpay Arıkata

Kasım 1967

1996 - 1191

TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK GRUBU

12 Haziran 1968

669.112.227.346.2

A 6118

1996-1191

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

Mühendislik Araştırma Grubu

Proje No : 88

GERİ MARTENSİTİK TRANSFORMASYONLAR

Proje Direktörü : Alpay Ankara

Yardımcı Araştırmacı : Ekrem Selçuk

Bu Proje Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun
Destegi ile ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ METALLURJİ
BÖLÜMÜNDE yapılmıştır.

Başlama Tarihi : 27.11.1966

Bitme Tarihi : 27.11.1967

14472

Ö N S O Z

Yazar bu tez deneylerinin yapılmasında yardımlarını esir-
gemeyen Instructor Ekrem Selguk'a teşekkürlerini sunar.

Yazar ayrıca,

Tezi maddi yönden destekleyen Türkiye Bilimsel ve
Teknik Araştırma Kurumu ile NATO Hıesseselerine,

Tezi kısa zamanda ve dikkatli bir şekilde daktilo eden
Mine Kargı ve Gulsün Sevin'e.

Tez resimlerini çizen Metin Özbek'e

Deney teminatlarnın ve deney parçalarının hazırlanma-
sında dikkatle çalışan Makina Bölümü Atelye Personeline,

Metallografik numunelerin hazırlanmasında gayretlerini
esirgemeyen Erdem Taner'e.

Malzemeleri ücretsiz olarak gönderen Telcon Metals Ltd.,
Edgar Allen Co. Ltd. ve Darwings Ltd. firmalarına,

teşekkürlerini sunar.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

Abstrakt	5
1. Giriş	6
2. Martensitik Transformasyonlar Hakkında Genel Bilgi	9
3. Deneysel Tekniği	15
I. Giriş	16
II. Deneysel Tesisi	16
a. Yüksek vakum tesisi ve fırın	17
b. Sıfır altı ve yüksek sıcaklıklardaki çekme deney düzeneği	19
c. Isıl Analizör	22
d. Dilatometre	24
III. Kayıt Ediciler	27
IV. Isıl elemanlar	28
V. Aparat Kalibrasyonları	28
VI. Sertlik ve Metalografik Muayeneler	28
VII. Malzeme Seçimi ve Hazırlanması	29

4. Deneysel Neticeleri	31
I. Giriş	32
II. Yavaş ısıtma ile elde edilen ostenit	34
a. Ostenitleme sıcaklığının ostenit fazının özelliklerine etkisi	36
b. Değişik iç yapıyı haiz ostenitten elde edilen martensitin özellikleri	54
III. Hızlı Isıtma ile Elde edilen Ostenit	55
a. Ostenitleme sıcaklığının doku özelliklerine etkisi	56
b. Değişik iç yapıyı haiz ostenitten elde edilen martensitin özellikleri	66
IV. Plâstik olarak deforme edilmiş ostenitin özellikleri	70
5. Yorumlama	71
I. Giriş	72
II. Yavaş ısıtma neticelerinin değerlendirilmesi	72
a. Ostenitleme sıcaklığının, ostenit tane boyutlarına etkisi	76
b. Ostenitleme sıcaklığının akma sınırı, çekme dayanımı ve sertliğe etkisi	79

c. Ostenitleme sıcaklığının, ostenit sünekliğine etkisi	89
d. Ostenitleme sıcaklığının M_s , A_s ve A_f sıcaklıklarına etkisi	90
III. Hızlı ısıtma neticelerinin değerlendirilmesi	99
a. Ostenitleme sıcaklığının ostenit tane boyutlarına etkisi	100
b. Ostenitleme sıcaklığının akma sınırı, çekme dayanımı ve sertliğe etkisi	101
c. Ostenitleme sıcaklığının ostenit sünekliğine etkisi	107
d. Ostenitleme sıcaklığının M_s , A_s ve A_f sıcaklıklarına etkisi	107
IV. Plâstik olarak deforme edilen ostenitin özelliklerinin izahı	108
V. Deforme edilmiş martensit	109
6. Sonuçlar	111
7. Özet	114
8. Literatür	117
9. Endeks	121

A b s t r a k t

Martensitin, martensitik bir reaksiyon ile ostenite dönüşümü geri martensitik transformasyon olarak adlandırılır. Demir - % 30 Nikel alaşımında Martensit A_s sıcaklığında difuzyon mekanizması ile ostenite dönüşmeye başlamakta ve reaksiyon bir kayma mekanizması ile devam etmektedir. Martensit ısıtma hızının artırılması difuzyon reaksiyonunu azaltıp martensitik reaksiyonun miktarını fazlalaştırılmaktadır.

Geri martensitik transformasyon esnasında martensit içinde bulunan kristal hata konsantrasyonu aynen ostenit içine transfer olmaktadır. Ostenit kristal hataları ostenitleme şartlarına bağlı olarak değişmekte ve ostenit kristal hatalarına tabî olarak da ostenit fazının mekanik özellikleri ve M_s sıcaklığı değişmektedir.

Abstract.

If the transformation of martensite to austenite occurs martensitically it is called reverse martensitic transformation. In Fe-30% Ni alloy the transformation of martensite to austenite starts at A_s temperature by diffusional process and proceeds by shear mechanism. Increasing the heating rate decreases the diffusion mechanism and increases the martensitic reaction that occurs during transformation.

During reverse martensitic transformation all the crystal imperfections present in martensite is transferred into the austenitic phase. The concentration of these imperfections changes as a function of austenitizing conditions and as a result of this the mechanical properties of austenite and the M_s temperature can be varied considerably.

- 6 -

BÖLÜM I

GİRİŞ

G İ R İ Ş

Şimdiye kadar çıkan yayınlar (1 - 7) incelenecek olursa değişik ısıll işlemlerle elde edilen östenitik ve martensitik malzemelerin mukavemet ve M_s sıcaklıkları arasındaki ilişkilerin fazla araştırılmamış olduğu ve bir çok noktaların cevaplandırılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Çeşitli metodlarla elde edilen östenitin dislokasyon şekilleri de üzerinde pek az çalışılmış konulardan biridir.

Malzeme özelliklerinden en çok rağbet göreni malzemenin mekanik özelliğidir. Çok eski zamanlardan beri insanlar malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirmek için çaba sarfetmekte ve bunu hızla gelişen teknolojiye uydurmaya uğraşmaktadır. Önceleri sanat olarak düşünülen bu işlemler dislokasyon kavramlarının başlaması ile bilimsel bir hüviyete bürünmüştür.

Geri martensitik transformasyon ile çeliklerin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi yeni yeni ele alınan konulardan biridir (8-10). Kısa süreli östenitleme işlemleri ile martensit fazının özellikleri değiştirilebilmektedir.

Yüzey merkezli küp yapıya sahip olan östenitin mekanik özelliklerinin ve M_s sıcaklığının östenitleme işlemleri ile değiştirilebilmesi ve bunların bilimsel izahlarının yapılabilmesi dislokasyon kavramlarına baş vurmayı icap ettirmektedir.

Bu araştırmanın gayesi geri martensit transformasyonlarının oluşumunun incelenmesi ve bu transformasyon ile elde edilen ostentinin mekanik özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması ve bunların teorik izahlarının yapılmasıdır.

1. Giriş
2. Deneysel Yöntem ve Kurulum
3. Deneysel Bulgular

Giriş

Çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonu, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu çalışmada, çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonunun mekanik özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması amaçlanmıştır.

Çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonu, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu çalışmada, çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonunun mekanik özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması amaçlanmıştır.

Çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonu, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu çalışmada, çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonunun mekanik özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması amaçlanmıştır.

Çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonu, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu çalışmada, çeliklerin termal işlemi sırasında oluşan martensit transformasyonunun mekanik özellikleri ile yapısı arasındaki ilişkilerin kurulması amaçlanmıştır.



BÖLÜM 2

MARTENSİTİK TRANSFORMASYONLAR
HAKKINDA GENEL BİLGİ

MARTENSİTİK TRANSFORMASYONLAR HAKKINDA GENEL BİLGİ

Martensitik reaksiyonların genel özelliklerini ve diğer reaksiyonlardan farklarını ilk defa 1946 yılında Grendinger ve Troiano belirtmiştir. 1946 yılından sonra yapılan çalışmalarda araştırmacılar (11 - 12) martensitik reaksiyonların esas özelliklerini daha kesinlik ile ortaya koymaya çalıştılar. 1948 yılında Kurdjumov yaptığı çalışmaların sonuçlarını açıklayarak, kendisinden önce ortaya atılan kinetik özelliklerin bir çoklarınının mevcut olmaması halinde dahi martensitik reaksiyonların husuete gelebildiğini göstermiştir. Önceleri birçok itirazlarla karşılaşan Kurdjumov'un teorisi sonraları Hull, Bilby ve Cristian'ın çalışmalarları (13 - 16) ile de doğrulanmıştır. Hull ve Bilby transformasyon esnasında malzeme kristallerinde bir şekil değişimi meydana geliyor ise bu, reaksiyonu martensitik olarak vasıflandırmışlardır. Bugünkü modern anlayışa göre bu izah tatminkâr değildir, çünkü çekirdeklenme ve büyüme reaksiyonları ile martensitik reaksiyonlar arasında birçok reaksiyonlar mevcuttur.

Şekil değişimi ile, önceden parlatılmış yüzey üzerinde husule gelen girinti ve çıkıntılar ana faz ile yeni fazın bağlı (coherent) olduğunu gösterir. Buna karşılık çekirdeklenme ve büyüme reaksiyonlarında bağıllık ancak reaksiyonun başlangıcında vardır. Martensitik reaksiyonlarda bağıllık transformasyonun oluşumu için gerekli olduğundan, çekirdeklenme ve büyüme reaksiyonunda olduğu gibi bağıllığın transformasyonun ileri safhalarında kopması mümkün değildir.

Martensitik reaksiyonlar ancak katı halde bulunan cisimlerde görülebilir. Martensitik dönüşümde difüzyon yoktur, orijinal ve dönüşen fazların kimyasal bileşimleri aynıdır. Martensitik reaksiyon, binlerce atomun katı içinde 10^8 hızına eşit bir hızla hareket etmesi ile olur. Bu yüzden, martensitik hüviyeti haiz reaksiyonlar için aktivasyon enerjisinden söz edilemez.

Martensitik reaksiyonu belirleyen özellikler şunlardır :

a. Atermal Özellik

Transformasyon, soğutma sırasında M_s sıcaklığında başlar. Reaksiyon çok hızlı ve hızı sıcaklığa bağlı değildir. Isı M_s sıcaklığının altına düştükçe yeni fazın miktarı fazlalıyor ve ısı M_f sıcaklığına gelince transformasyon son bulur.

Sabit bir sıcaklıkta, ana faz kristalleri içinde yeni fazın kristalleri ani olarak meydana gelir. Isı düşürüldükçe, eski kristaller büyümeyizler, ancak yeni kristallerin sayısı artar.

b. Zaman ile ilişkisi

M_s sıcaklığı altında ve sabit bir sıcaklıkta transformasyon miktarı zamana bağlı değildir. Sabit bir sıcaklıkta ana fazın bir kısmı çok çabuk ikinci faza dönüşür ve umumiyetle bundan sonra ısı düşürülmedikçe transformasyon olmaz.

c. Uygulanan Yükün Etkileri

Transformasyon esnasında uygulanan plâstik yükler, transformasyon miktarını artırdığı gibi M_s sıcaklığı üzerinde uygulanan yükler ise transformasyonu hemen o sıcaklıkta başlatamaz. Bazı durumlarda elastik yükler de aynı tesirleri gösterir.

d. Stabilizasyon

M_d sıcaklığı üzerinde tatbik edilen büyük çapta plâstik yükler M_s sıcaklığını düşürür ki buna biz stabilizasyon diyoruz.

e. Doğru İlişkileri

Martensitik reaksiyonlarda orijinal faz ile yeni faz arasındaki belirli kristallografik bağıntılar her zaman mevcuttur. (13, 17-19).

f. Şekil Değişimi ve Fazların Bileşimi

Martensitik reaksiyonlarda atomik alışveriş olmadığından martensit ile ana fazın bileşimleri aynıdır. Difüzyon bulunmaması, atom hareketlerinin düzenli ve koordine olmasını gerektirir. Bu yüzden düzenli olan fazlar (ordered phases) transformasyondan sonra da düzenli kalır.

Bir martensit kristali meydana geldiği zaman mikroskopik şekil değişimi homojen olarak kabul edilebilir. Fakat homojen şekil değişimi martensit kristalinin meydana gelebilmesi için yetmez. Ancak atomlar homojen olmayan ikinci bir kayma ile martensit kafesini meydana getirir.

Bir faz dönüşümü "a" dan "f" ye kadar gösterilen karakterlere uygun olarak oluyor ise, bu dönüşüme martensitik transformasyon denir. Demir - % 30 nikel alaşımında martensit fazının ısıtılarak ostenite dönüştürülmesi bütün yukarıda adı geçen özelliklere uygun olarak meydana geldiğinden, martensitik karakteri haizdir.

Martensitik hüviyeti haiz diğer bir transformasyon ise Mn-Cu alaşımında mevcuttur. Mn-Cu alaşımında martensit ısıtıldığı zaman, martensit kristalleri ortadan kaybolarak orjinal ana fazın kristal yapısını meydana getirir. Ondan sonra eğer malzeme tekrar soğutulacak olursa, martensit kristalleri ilk soğutuldukları zamanki yerlerinde meydana gelir.

Demir - Nikel alaşımında durum biraz daha değişiktir. Matriks içinde ufak bir hacim martensite dönmüş olduğunda, meydana gelen şekil ve hacim değişimi martensit kristali etrafındaki matriks elastik ve plâstik olarak deforme eder. Kristal matriks içinde büyümekten önce matriksi elastik olarak zorlar. Fakat kristal belirli bir yuta erişince zorlama elastik limite ulaşır ve ondan sonra matriks plâstik olarak deforme olabilir. Bu deformasyon kristalin

daha fazla büyümesine engel olur. Plâstik deformasyon tersinir olmadıği için, martensit tekrar ostenite dönüştürüldüğünde, ortadan kalkmaz. Plâstik deformasyon aynı zamanda martensit kristali ile ana faz arasındaki ara-yüzey'in bağıllığını da bozar ve kristalin büyümesini daha büyük itici kuvvetin sağlanması halinde bile inkânsız kılar.

Aynı zamanda ara yüzey geri martensit transformasyonu için hareket etme kabiliyetine haiz değildir. Bu yüzden geri transformasyonlarda martensit kristali orijinal ara-yüzey'in ters yönde hareketi ile ufalıp yok olamaz. Onun yerine ana fazın, martensit kristali içinde çekirdeklenmesi gerekir.

Ostenitin martensite dönüşümü ile, martensitin martensitik hüviyeti haiz bir dönüşme ile ostenite dönüşümünü ayırt etmek amacıyla ile, bunlardan ilkinde direkt martensitik transformasyon, ikincisine ise "geri martensitik transformasyon" denilir. Geri martensitik transformasyon M_s sıcaklığı üzerinde olan A_s sıcaklığında başlar ve içinde direkt martensit transformasyonun vuku bulunduğu kataların hepsinde meydana gelmez. Katılarda geri martensit transformasyonun olabilmesi için, martensit A_s sıcaklığına kadar ısıtılırken üçüncü bir fazın meydana gelmemesi gerekir. Örneğin, demir-karbon alaşımlarında martensit termodinamik özellikler bakımından denge durumunda değildir ve ısıtıldıkça denge durumuna geçmek üzere diğer fazlara ayrılır. Temperleme adını verdiğimiz bu olay geri martensit transformasyonun başlamadan meydana geldiği için, bu tip alaşımlarda geri martensitik transformasyon görülmez. Fıpkı ostenit soğutulurken Perlit meydana gelmesi halinde direkt martensitik dönüşüm olmayacağı gibi.

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..
... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..
... ..
... ..
... ..

... ..

... ..

... ..
... ..
... ..

... ..



DENEY TEKNİĞİ

I. GİRİŞ

Deney malzemelerinin ostentitleme işlemleri süresince oksitlenmelerini önlemek üzere bir yüksek vakum sistemi geliştirilmiştir. M_s sıcaklıklarının tayini, yüksek ve sıfır altı sıcaklıklardaki malzeme dayanımlarının tesbiti için ise özel bir deney düzeni kurulmuş ve kullanılmıştır.

Kurulan deney düzeninde M_s sıcaklığı ısıtılma ve dilatometrik analizler, A_s sıcaklığı ise dilatometrik analiz ile tayin edilmiştir. Çekme dayanımı tayini için bir çekme aleti üniversite laboratuvarlarında yapılmış ve geliştirilmiştir. Metallografik ve sertlik muayeneleri bakelite gömülmüş parçalar üzerinde sırası ile fotoğraf çekilebilen metal mikroskopu ve mikro sertlik aletlerinde yapılmıştır.

II. Deney Tesisatı :

Kurulan deney tesisatının dört kısmında incelenmesi uygun görülmektedir.

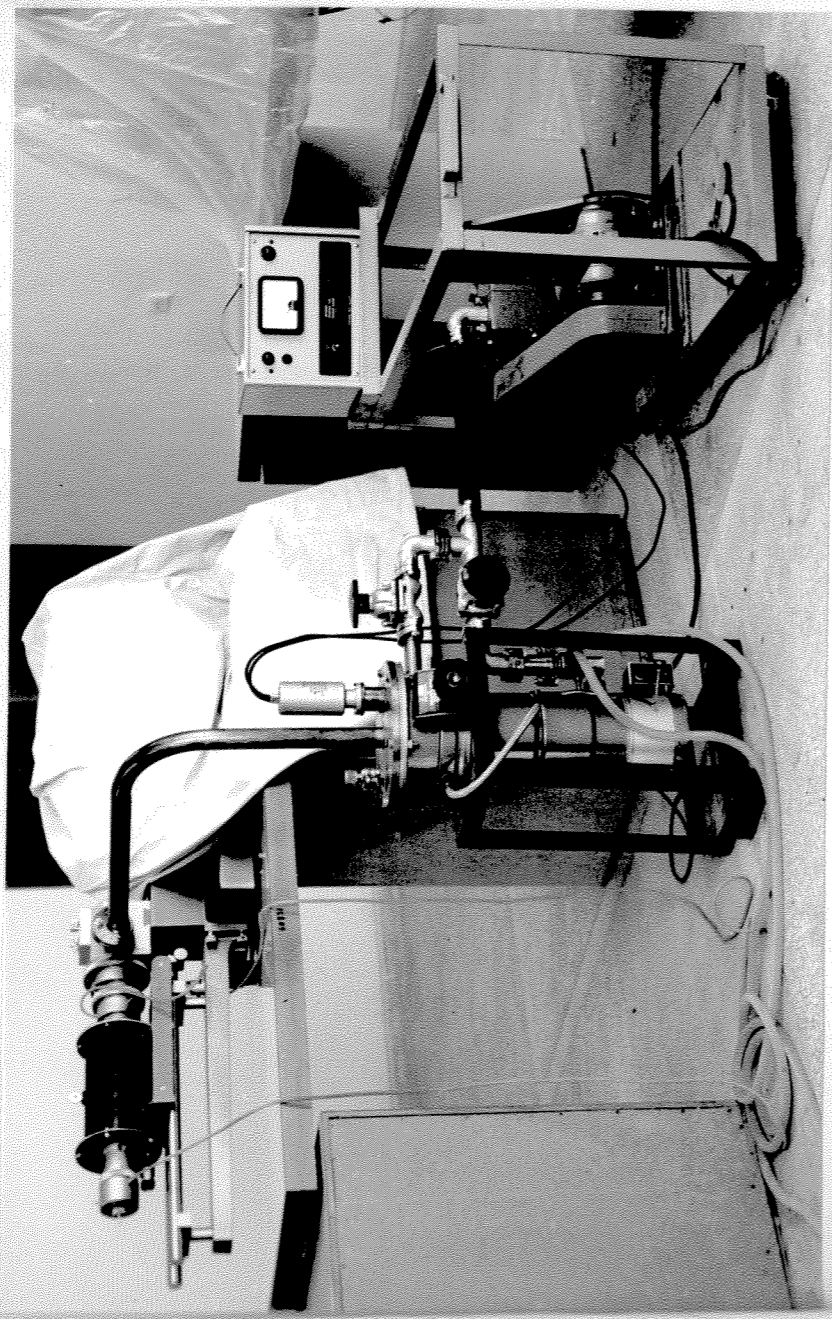
- a) Yüksek vakum sistemi ve fırın
- b) Sıfır altı ve yüksek sıcaklıklarda çekme deneyinin yapılabilmesi için kurulan çekme aleti düzeni
- c) Isıl analizör
- d) Dilometre

a) Yüksek Vakum Sistemi ve Fırın :

Tesisatın cihazlarla birlikte genel görünüşü resim 1'de verilmiştir. Sistemin ilk havasını boşaltmak için Edwards firmasının imal ettiği speedivac ES 150 vakum pompası kullanılmıştır. Pompa 1/3 beygirlik ve 1425 devirli bir elektrik motoru ile tahrik edilmiştir. Pompa ve motor bir ünite olarak köşebentlerden yapılmış tekerlekli bir iskelet üzerine oturtulmuştur. Döner pompa ile gerçekleştirilen vakum $5 \cdot 10^{-3}$ mm Hg dir. Oksitlenmenin önüne geçilebilmesi için ancak 10^{-5} veya 10^{-6} mm Hg vakum lâzımdır. Bu yüzden sisteme 4 parmaklık su soğutmalı bir difüzyon pompası eklenerek yüksek vakum elde edilmiştir. Sistem çeşitli valvlarla donatıldığından fırın pompadan kolaylıkla ayrılabilir. Böylece fırın atmosfere geçişi ağıldığında, pompa normal fonksiyonuna devam edebilmektedir. Pompa ile fırının ayrılması halinde, fırını hava ile doldurabilmek için hava valvı sisteme konmuştur. Bu sayede vakum pompaları durdurulmadan fırın içindeki parçalar değiştirilebilmektedir. Fırın içindeki vakum, Edwards firmasının imal olan vakum gauge ve vakum metresi ile ölçülmüştür.

1200° C dereceye kadar çıkabilen fırın 23 cm uzunluğunda ve 15 cm çapında bir tüp fırındır. Bir trafo aracılığı ile ısıtılan fırında ısıtma ve soğutma hızları sabit olup ayarlanabilmektedir. Fırın Herceus firması tarafından imal edilmiştir.

Fırın ile vakum sistemi arasındaki bağlantı 40 mm lik bir çapında boru ve flanşlarla yapılmıştır.



Resim. 1. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

1. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

2. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

3. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

4. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

5. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

6. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

7. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

8. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

9. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

10. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

11. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

12. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

13. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

14. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

15. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

16. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

17. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

18. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

19. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

20. Yüksek vakum sistemi ve tavlama fırını genel görünüşü

b) Sıfır Altı ve Yüksek Sıcaklıklarda Çekme Deneinin Yapılabilmesi

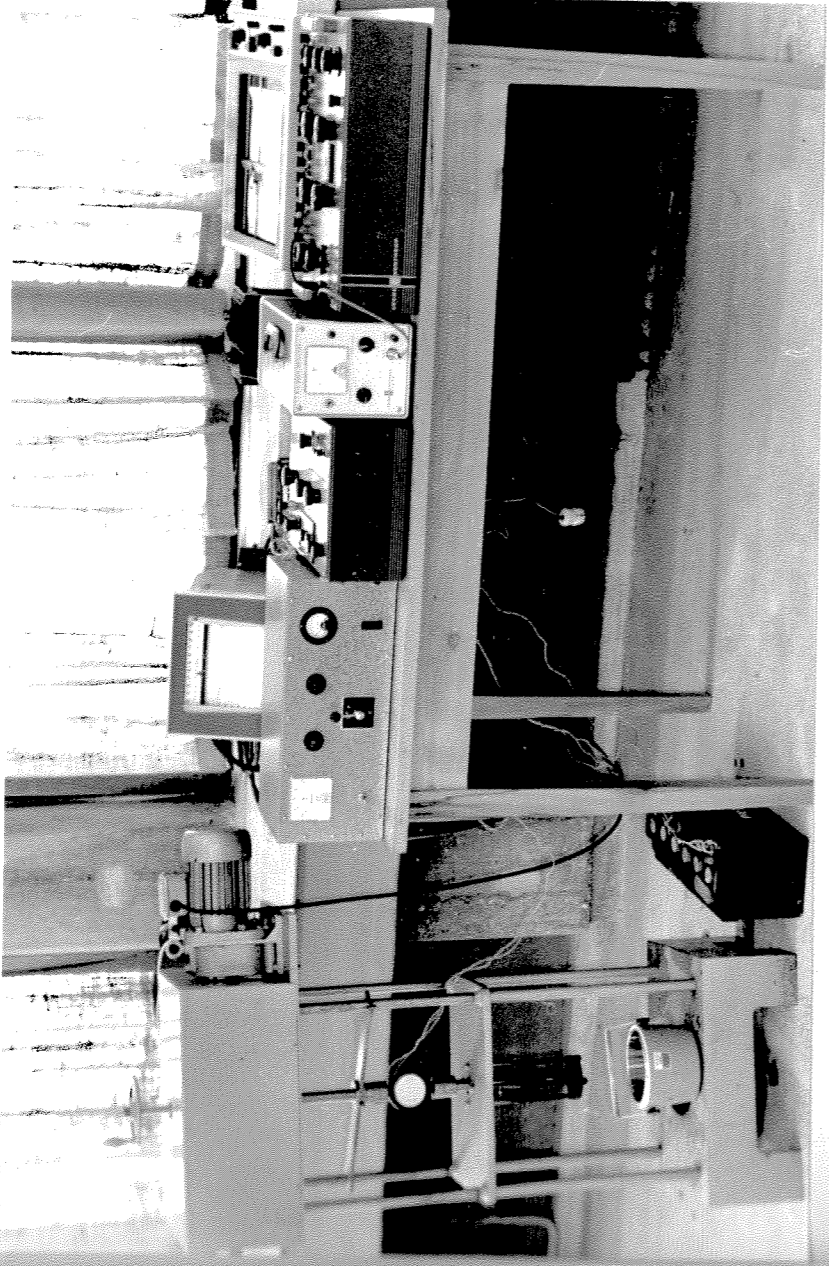
İçin Kurulan Çekme Aleti :

Çekme aleti Orta Doğu Teknik Üniversitesi atelyelerinde bir tez çalışması olarak imal edilmiştir. Aletin genel görünüşü Resim 2'de verilmiştir. Üç fazlı 0.55 B.G. bir motorun sonsuz vidayı döndürerek çekme ameliyesinin sağlandığı bu cihazda yükler Ether Ltd. firmasından temin edilen 0-5000 lb kapasiteli bir dinamometre yardımı ile ölçülmüştür.

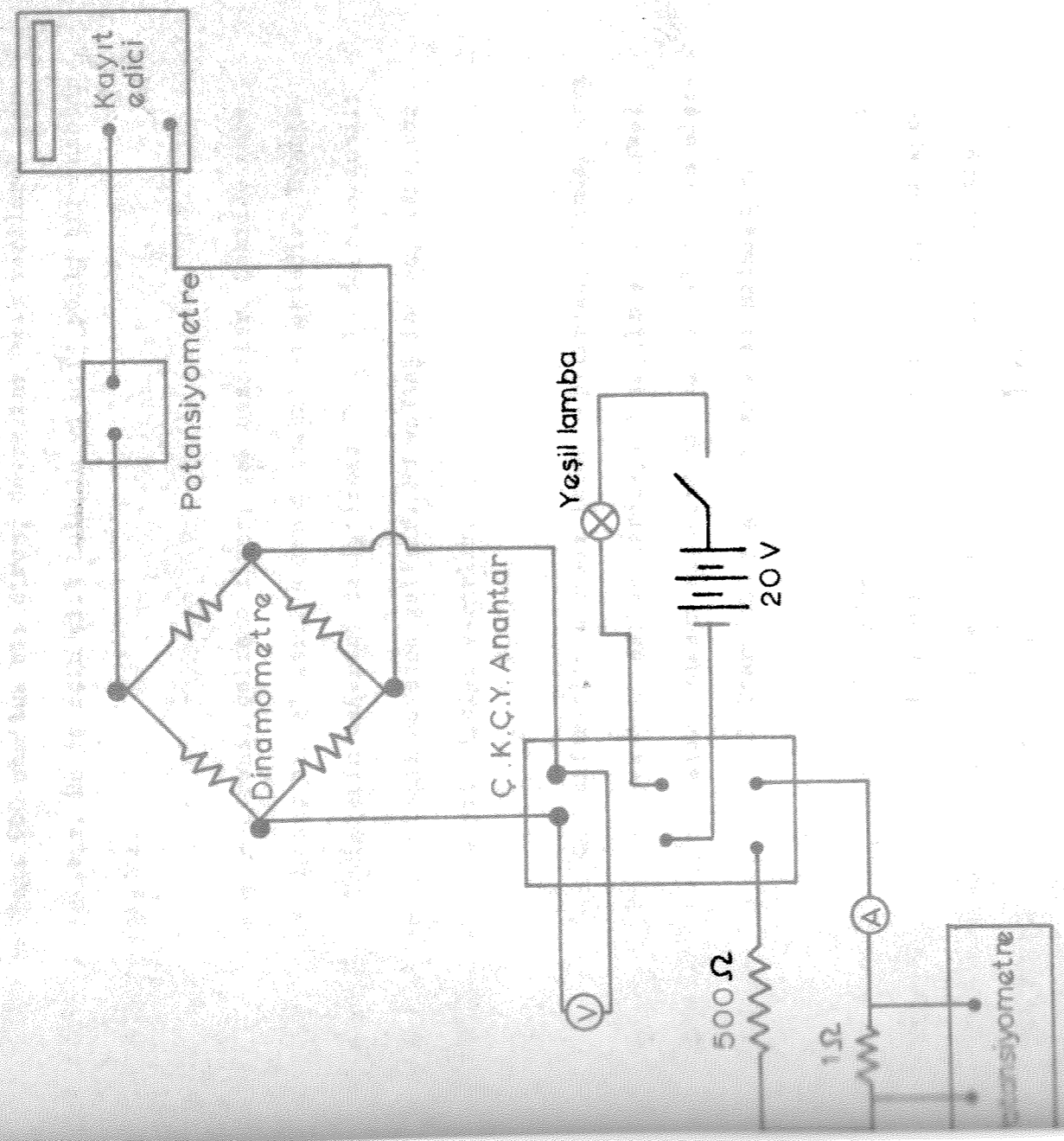
Aletin konstruksiyonu sabit hızlarda çekme deneyi yapabilmek şeklinde olup bazı dişlileri değiştirmek sureti ile çekme hızları 1 mm/dak., 1.5 mm/dak., 3 mm/ ak., 6 mm/dak. ve 9 mm/dak. olarak ayarlanabilmektedir.

Dinamometreden alınan sinyal zamana karşı bir kayıt edicide kayıt edilerek malzemenin yük uzama eğrileri elde edilmiştir.

Şekil 1, kayıt edici ve dinamometre devresini şematik olarak göstermektedir.



Resim. 2. Çekme alotinin genel görünüşü.



ŞEKİL.1. DİNAMOMETRE VE KAYIT EDİCİ DEVRESİ

Dinamometre için lüzumlu skım 2 adet 12'şer voltluk akümülatörden bir devre aracılığı ile sağlanmaktadır. Her deneyden evvel akülerin voltajı 500 ohm'luk bir direnç devresine akım verilerek kontrol edilmiştir. Bu iş için çift kutuplu ve çift yönlü bir anahtar kullanılmıştır.

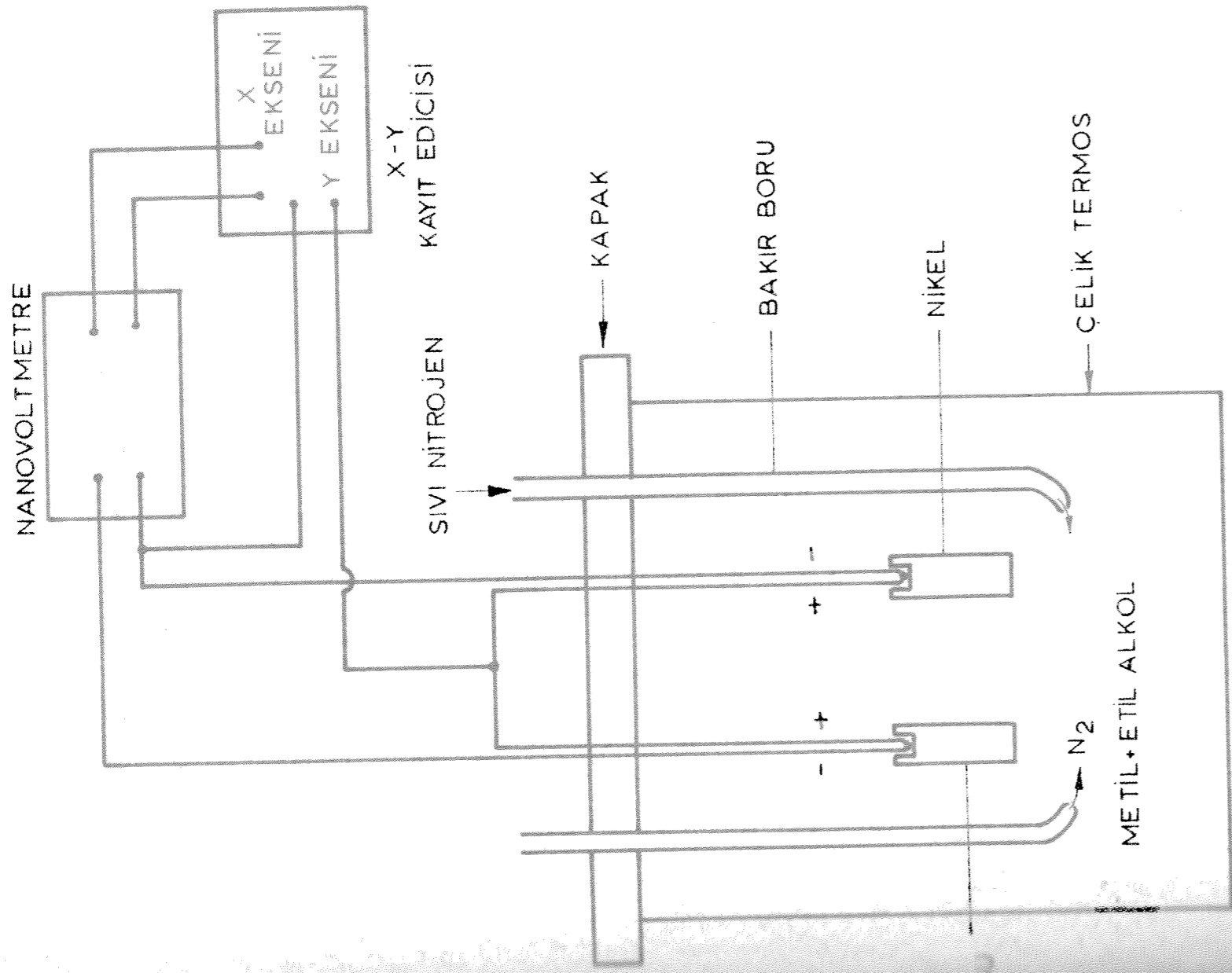
Dinamometrenin çalışma ilkesi çok basittir. Şekilde görülen 4 adet direnç bir elektrik köprüsü teşkil etmektedir. Uygulanan yük, dirençlerin değerini değiştirerek yük ile doğru orantılı bir elektrik voltajı meydana getirir. Bu voltaj ise amplifikatör vasıtası ile kayıt ediciye verilir.

Deneyler sıfır-altı sıcaklıklarda yapılırken, içinden sıvı nitrojen geçirilerek arzu edilen dereceye düşürülmüş metil alkol banyosu kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklardaki deneyler için elektrikle ısıtılmış Mobil Therm 600 yağ banyosu kullanılmıştır.

Therm 600 yağının kaynama noktası 310° C dir ve 300° C'ye kadar olan sıcaklıklar için emin olarak kullanılabilir. Isı kontrolü ısıtım-elemanlar ve termometre ile yapılmıştır. Bu tertip ile sıcaklık $\pm 2^\circ$ C hassasiyetle kontrol edilmiştir.

e) Isıl Analizatör :

Değişik ostenitleme işlemi uygulanan malzemelerin M_s sıcaklıklarının tayini için bir ısıl analizör yapılmış ve geliştirilmiştir. Şekil 2'de gösterilen ısıl analizöre ait şemada standard nikel çubuk ile deney çubuğu arasındaki sıcaklık farkı amplifi-



ŞEKİL 2. TERMAL ANALİZÖR VE ELEKTRİK DEVRESİ

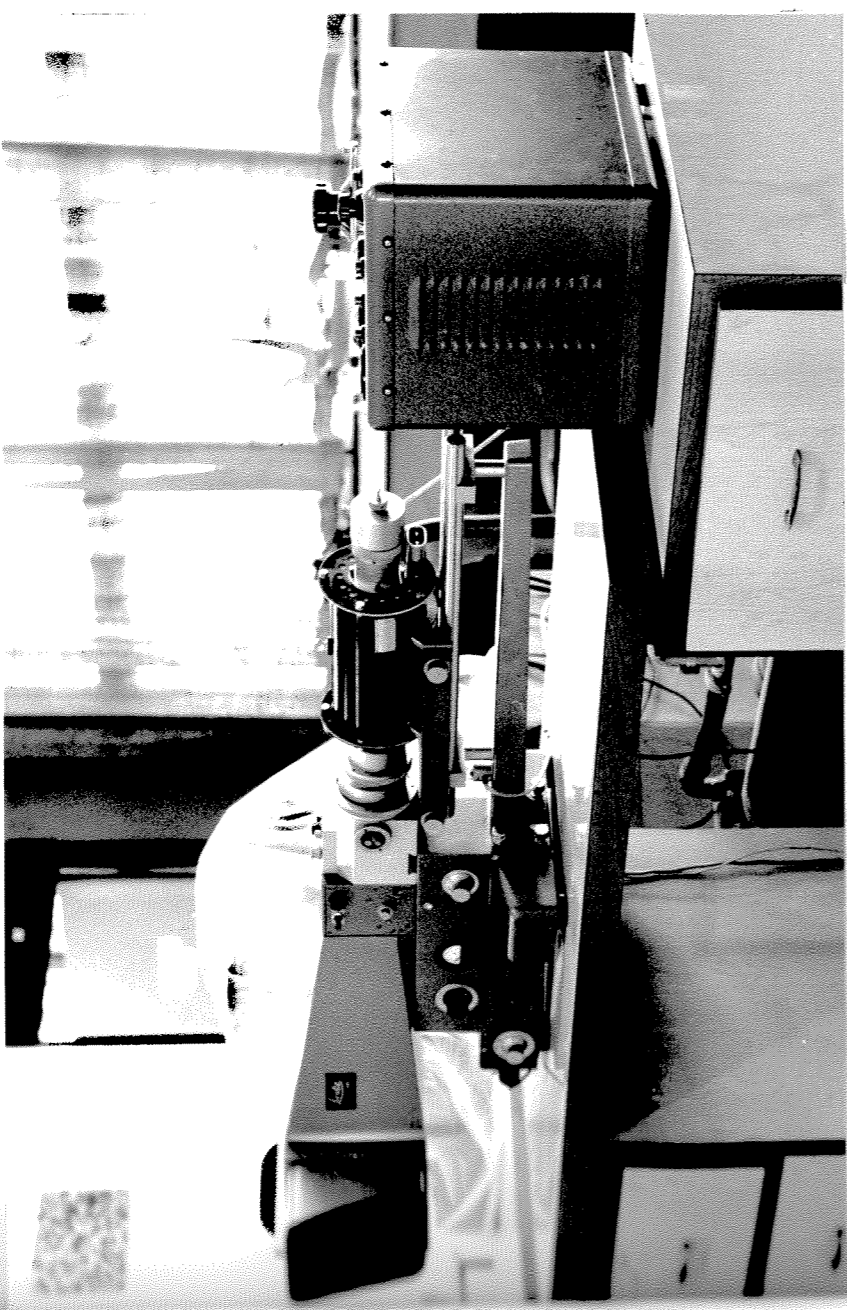
katörde (nanovoltmetre) büyütülmek sureti ile 0.01° C derece hassasiyet ile ölçülebilmektedir. Standard nikel ile deney çubuğunun sıcaklıkları, içine bakır, bakır-konstantan ısı-elenamları yerleştirilerek ölçülmüştür. Parçalar -140° C de donan metil ve etil alkol banyosu içinde soğutulmuştur. Çelik bir termos içinde bulunan banyo dört ayrı kanaldan sıvı nitrojenin sıvı içine gönderilmesi ile soğutulmuştur. Sıvı nitrojen bir rezervuar'dan sağlanmıştır. Rezervuar içindeki sıvı nitrojen basıncını ayarlayarak banyo içine gönderilen nitrojen miktarı ve delayısı ile banyo soğutma hızlarını dengelemek mümkün olmuştur.

Çelik termos içindeki banyo sıcaklığı X-Y kayıt edicisinin Y-ekseninde, deney çubuğu ile nikel arasındaki ısı farkı ise aynı kayıt edicinin X-ekseninde kayıt edilmiştir. Deney çubuğunda bir faz dönüşümü olmadığı müddetçe, çubuk ile nikel aynı sıcaklıkta kalmıştır. Ancak martensit dönüşümü ile başlayan deney çubuğundaki ısı artması Şekil 3' de verildiği gibi M_s sıcaklığının hassas bir şekilde tayinini sağlamıştır.

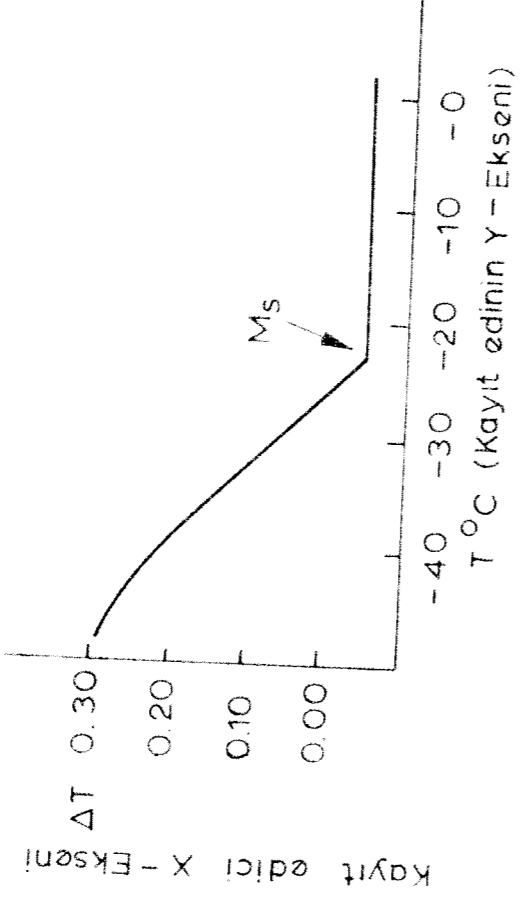
d) Dilatometre :

Deneylerde Ernst Leitz firmasının imali olan Universal-Dilatometre Model UBD kullanılmıştır. Resim 5'de dilatometrenin umumî görünüşü verilmiştir.

Isıl analizler sonucunda bulunan değerlerin doğruluğu bir de dilatometrik analizler ile saptanmıştır. Analizler için dilatometreye yerleştirilen parçalar, sıvı nitrojen buharı



Resim. 3. Dilatometre genel görünüşü.



EX 3. MALZEME VE NIKEL ÇUBUK ARASINDAKİ SICAKLIK FARKI VE BANYO SICAKLIĞI ARASINDAKİ BAĞINTIYI VEREN EĞRİ.

ile soğutulmuştur. Martensit dönüşümünün baş laması malzemedeki uzamanın film üzerine kayıt edilmesi ile tesbit edilmiştir.

A_s ve A_f sıcaklıklarının tayini aynı dilatometrede ve vakum altında çalışan fırının dilatometreye kuple edilmesi ile yapılmıştır. Deneylerde dakikada $4^{\circ} C$ gibi bir ısıtma hızı kullanılmıştır. Elde edilen neticeler A_s ve A_f sıcaklıkları için $\pm 3^{\circ} C$ ve M_s sıcaklığı için $\pm 5^{\circ} C$ hassasiyettedirler.

III. Kayıt Ediciler :

Deneyler için iki çeşit kayıt edici kullanılmıştır. Kipp-and Zonen ve Advance.

Kipp-and-Zonen kayıt edicisinde dinamometreden alınan sinyaller zaman bazına göre ve Advance X-Y kayıt edicisinde ise ısıll analizörden alınan sıcaklık ve ısı farkları birbirlerinin fonksiyonları olarak kayıt edilmiştir.

Kipp and Zonen kayıt edici B.D.1 tipidir, tam olarak okunması 0.05 mili-volt'dan 2.5 mili-volt'a kadar değişmektedir.

Advance X-Y kayıt edicisi HR 96 T tipidir. İki değişkeni birbirlerinin fonksiyonu olarak kayıt edevildiği gibi bir değişkeni zamanın fonksiyonu olarak da kayıt etme özelliğine sahiptir. Hassasiyeti ± 0.1 % dir. Tam olarak okunması 10 mili-volt'dan 100

ile soğutulmuştur. Mertensit döşüşümünün beş laması malzemedeki uzamanın film üzerine kayıt edilmesi ile tesbit edilmiştir.

A_s ve A_f sıcaklıklarının tayini aynı dilatometrede ve vakum altında çalışan fırının dilatometreye kuple edilmesi ile yapılmıştır. Deneylerde dakikada $4^{\circ} C$ gibi bir ısıtma hızı kullanılmıştır. Elde edilen neticeler A_s ve A_f sıcaklıkları için $\pm 3^{\circ} C$ ve M_s sıcaklığı için $\pm 5^{\circ} C$ hassasiyettedirler.

III. Kayıt Ediciler :

Deneyler için iki çeşit kayıt edici kullanılmıştır. Kipp-and Zonen ve Advance.

Kipp-and-Zonen kayıt edicisinde dinamometreden alınan sinyaller zaman bezine göre ve Advance X-Y kayıt edicisinde ise ısı analizörden alınan sıcaklık ve ısı farkları birbirlerinin fonksiyonları olarak kayıt edilmiştir.

Kipp and Zonen kayıt edici B.D.1 tipidir, tam olarak okuması 0.05 mili-volt'dan 2.5 mili-volt'a kadar değişmektedir.

Advance X-Y kayıt edicisi HR 96 T tipidir. İki değişkeni birbirlerinin fonksiyonu olarak kayıt edevildiği gibi bir değişkeni zamanın fonksiyonu olarak da kayıt etme özelliğine sahiptir. Hassasiyeti $\pm 0.1\%$ dir. Tam olarak okuması 10 mili-volt'dan 100

volta kadardır. Cihaz ısı analizör ile kullanılırken devreye Keithley firmasının imali olan bir nanovoltmetre konmuştur. Nanovoltmetre, ni- kel ile deney çubuğu arasındaki ufak ısı farkından meydana gelen elektrik sinyalini büyütme için kullanılmıştır.

IV. Isıl Elemanlar :

Fırın sıcaklığı kontrolünde Platin, Platin-Rhodium ısı elemanı kullanılmıştır. Isıl analizörde kullanılan ısı-elemanlar ise Bakır-Konstant L.B tipinde olup Saxonia Electrical Wire Co. Ltd. tarafından imal edilmiştir.

V. Aparat Kalibrasyonları :

Çekme aletinde kullanılan dinamometrenin doğruluğu, dinamometrenin ucuna asılan standard ağırlıklar ve dinamometrenin çıkış sinyalinin bir potansiyometrede kontrolü ile yapılmıştır.

Kayıt ediciler zaman zaman standard bir potansiyometre ile verilen voltaj farklarının doğru kayıt edilmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır.

VI. Sertlik ve Metallografik Muayeneler :

Malzeme sertlik muayeneleri, parçalar bakalıte gömüldükten sonra Zwick küçük yük sertlik ölçme aletinde yapılmıştır. Deney

parçalarının metallografik muayeneleri şu şekilde yapılmıştır. Parçalar ufak olduklarından önce bakalite gömülmüş sonra sırası ile zımpara kağıtlarında parlatılmıştır. Son parlatma işlemi disklerde alüminyum oksit solusyonu ile yapıldıktan sonra parçalar nital ve pikrik asit karışımı veya eşit oranda nitrik asit, hidroklorik asit ve alkol karışımına birkaç damla pikrik asit damlatılarak elde edilen solusyon ile değerlendirilmiştir.

Dağlama işleminde kullanılan asit, tane sınırlarını ince birer çizgi olarak meydana çıkarmıştır. Parçada martensit fazı mevcut olduğu zamanlar, martensit kristalleri çok net olarak görülmüştür.

Dağlanmış parçalar Reichert mikroskobu ile incelenmiştir.

VII. Malzeme Seçimi ve Hazırlanması :

Gerçek martensit transformasyonları ile elde edilen **östenitin** incelenmesi araştırma konusu olduğundan oda sıcaklığında her iki fazın (östenit ve martensit) bulunması gerekmektedir. Bu şartı sağlayan en iyi alaşım bileşiminde yüzde 30 nikel bulunan demirdir. Malzemede karbon bulunmamasına bilhassa dikkat edilmiştir. Karbon atomları ile dislokasyonlar arasındaki etkiler ve dolayısıyla bu etkilerin malzeme özelliği üzerindeki tesirleri böylece önlenmiştir.

Dilatometrik ve ısııl analizler, ve çekme deneyleri için üç tip malzeme hazırlanmıştır. Bunlara ait boyutlar Şekil 4 a,b,c ' de verilmiştir.

BÖLÜM IV

DENEY NETİCELERİ

I. GİRİŞ :

Martensitin ostenite dömişünü bileşiminde % 30 nikel bulunan demir alaşımında incelenmiştir. Deney bitiminde elde edilen belli başlı sonuçlar ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Yabancı firmalar (x) kanalı ile elde edilen çubuk malzemenin yapısı soğuk çekilmiş ostenit idi. Bu çubuklar önce vakum altında 1100° C derecede 1 saat tavllanmış ve fırın içinde ve vakum altında soğutulmuştur. Oda sıcaklığına erişen malzemeler - 196° C derecedeki sıvı nitrojen içine atılarak yarım saat süre ile martensite dömiştirülmüştür.

M_s sıcaklığı ostenitin kimyasal bileşimine bağlıdır. Bu yüzden ostenit içindeki maddelerin homojen olarak bu faz içinde dağılmış olup olmamaları M_s sıcaklığını etkiler. Homojen ostenit elde etmek için parçalar, yukarıda gösterilen ısı işleme tabi tutulmuştur.

Ostenitleme sıcaklığı, ısıtma hızı ve zamanının elde edilen ostenit fazının yapısına ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemek amacı ile çeşitli deneyler yapılmıştır.

Elde edilen deney sonuçları en uygun şekilde 4 grupta incelenebilir.

(x) Malzemelerin temin edildiği yabancı firmaların isimleri ön sözde verilmiştir.

1. Yavaş ısıtma ile elde edilen ostenit.

- a) Ostenitleme derecesinin elde edilen fazın özelliklerine etkisi
- b) M_s sıcaklığına etkisi
- c) Bu ostenitten elde edilen martensitin özellikleri

2. Hızlı ısıtma ile elde edilen ostenit.

- a) Ostenitleme sıcaklığının doku özelliklerine etkisi
- b) M_s sıcaklığına etkisi
- c) Değişik iç yapıya sahip ostenitlerden elde edilen martensitlerin özellikleri

3. Mekanik olarak deforme edilmiş ostenitin özellikleri.

- a) Deformasyon yüzdesinin özelliklere etkisi
- b) Deformasyon yüzdesinin M_s sıcaklığına etkisi

4. Mekanik olarak deforme edilmiş martensitin özellikleri.

Mekanik özelliklerin tayini için kullanılan çekme aletinde aynı özelliklere sahip ikiye malzeme çekme işlemine tabi tutulmuş ve sonuçlar ortalama alınarak bulunmuştur. (x)

(x) Değişik sıcaklıklarda yapılan çekme deneyleri için kullanılan soğutma ve ısıtma banyolarında ısı kontrolü $\pm 3^\circ C$ hassasiyet ile gerçekleştirilebilmiştir.

Ostenit tane büyüklüğü tayini için doğrusal analiz metodu kullanılmış, parça yüzeylerinde en az 20 değer tesbit edildikten sonra neticelerin tayinine gidilmiştir.

M_s sıcaklığı ısı analizör aracılığı ile bulunmuş ve sonuçlar daima $\pm 2^\circ C$ hassasiyet ile tekrarlanabilmiştir. Isıl analizör vasıtası ile bulunan değerlerin doğruluğu dilatometrik çalışmalar ile de saptanmıştır.

Esas olarak A_s sıcaklıkları dilatometre ile bulunmuş ve tekrarlanan deney sonuçlarını $\pm 4^\circ C$ hassasiyet ile kayıt etmek mümkün olabilmektedir. A_s sıcaklıklarının doğruluğunun saptanması ısı analizör ile de yapılmıştır.

Sertlik ölçmeleri için aynı parça üzerinde 20 kadar değişik yerde değerler alınarak ortalama sertlik tesbitine gidilmiştir.

II. Yavaş Isıtma ile Elde Edilen Ostenit :

Bu deneyler için öngörülen ısıtma hızı $2^\circ C$ dakikadır. Bu şartlar altında standard ısı işleme tabi tutulan yani $1100^\circ C$ derecede ostenitlenip sıvı nitrojen içinde martensite dönüştürülen malzemelerde geri martensitik transformasyon atermal olarak $A_s = 357^\circ C$ de başlamış ve ortalama $A_f = 410^\circ C$ de bitmiştir. Standard ısı işlemden sonra değişik sıcaklıklarda ostenite dönüştürülen ve sonra sıvı nitrojen içine atılan malzemelerde de geri martensitik transformasyon aynı sıcaklıklarda başlamış ve sona ermiştir.

Martensitin geri transformasyon ile ostenite dönüşümünü incelemek üzere parçalar A_s ile A_f sıcaklıkları arasında tavlamaştır. Bu sebeple malzemelerden metallografik numuneler hazırlanarak mikroskopik çalışmalar yapılmıştır. Yüzeysel iyice parlatılmış martensitik malzeme A_s sıcaklığı üzerinde (ısı A_f sıcaklığı altında kalmak şartıyla) tavlama zamanı, önceleri martensitik dokunun bulunduğu parlatılmış yüzeyde birtakım girintiler ve çıkıntılar belirmiştir. Bu girinti ve çıkıntılardan anlaşılacağı üzere bu bölgelerde martensit ostenite dönüşmüştür. A_f sıcaklığına yaklaşıldıkça bu girinti ve çıkıntılarının geri martensitik transformasyona paralel olarak martensit kristalleri için de artmaları kolaylıkla müşahade edilebilmiştir.

Martensit, ve geri transformasyonlar ile dönüşürülen ostenit arasındaki oriyantasyon ilişkileri Kessler ve Pitsch tarafından incelenmiştir. (20)

Dakikada $2^\circ C$ lık ısıtma hızıyla, martensitin bir kayma mekanizması (martensitik) ile ostenite dönüşümü görülmüştür. Ancak bu hızlarla elde edilen dönüşümde bir miktar difüzyon olmakta ve seçilen nihaf ostenitleme sıcaklıklarında elde edilen ostenit için deki nikel dağılımının homojen olduğu kabul edilmektedir. Herne kadar ostenitin homojen olup olmadığı bilinemez ise de nihaf ostenitleme zamanının 15 dakikadan 2 saate kadar uzatılması ostenit kristal boyutlarını, mekanik özelliklerini ve ostenitin dönüşüm sıcaklığı olan M_s sıcaklığını etkilememiştir.

Martensitin geri transformasyon ile ostenite dömuşümünü incelemek üzere parçalar A_s ile A_f sıcaklıkları arasında tavlamaştır. Bu sebeple malzemelerden metallografik numuneler hazırlanarak mikroskopik çalışmalar yapılmıştır. Yüzeyi iyice parlatılmış martensitik malzeme A_s sıcaklığı üzerinde (ısı A_f sıcaklığı altında kalmak şartı ile) tavladığı zaman, önceleri martensitik dokunun bulunduğu parlatılmış yüzeyde birtakım girintiler ve çıkıntılar belirmiştir. Bu girinti ve çıkıntılardan anlaşılacağı üzere bu bölgelerde martensit ostenite dömuşmüştür. A_f sıcaklığına yaklaşıldıkça bu girinti ve çıkıntılarının geri martensitik transformasyona paralel olarak martensit kristalleri için de artmaları kolaylıkla müşahade edilebilmiştir.

Martensit, ve geri transformasyonlar ile dömuştürülen ostenit arasındaki oriyantasyon ilişkileri Kessler ve Pitsch tarafından incelenmiştir. (20)

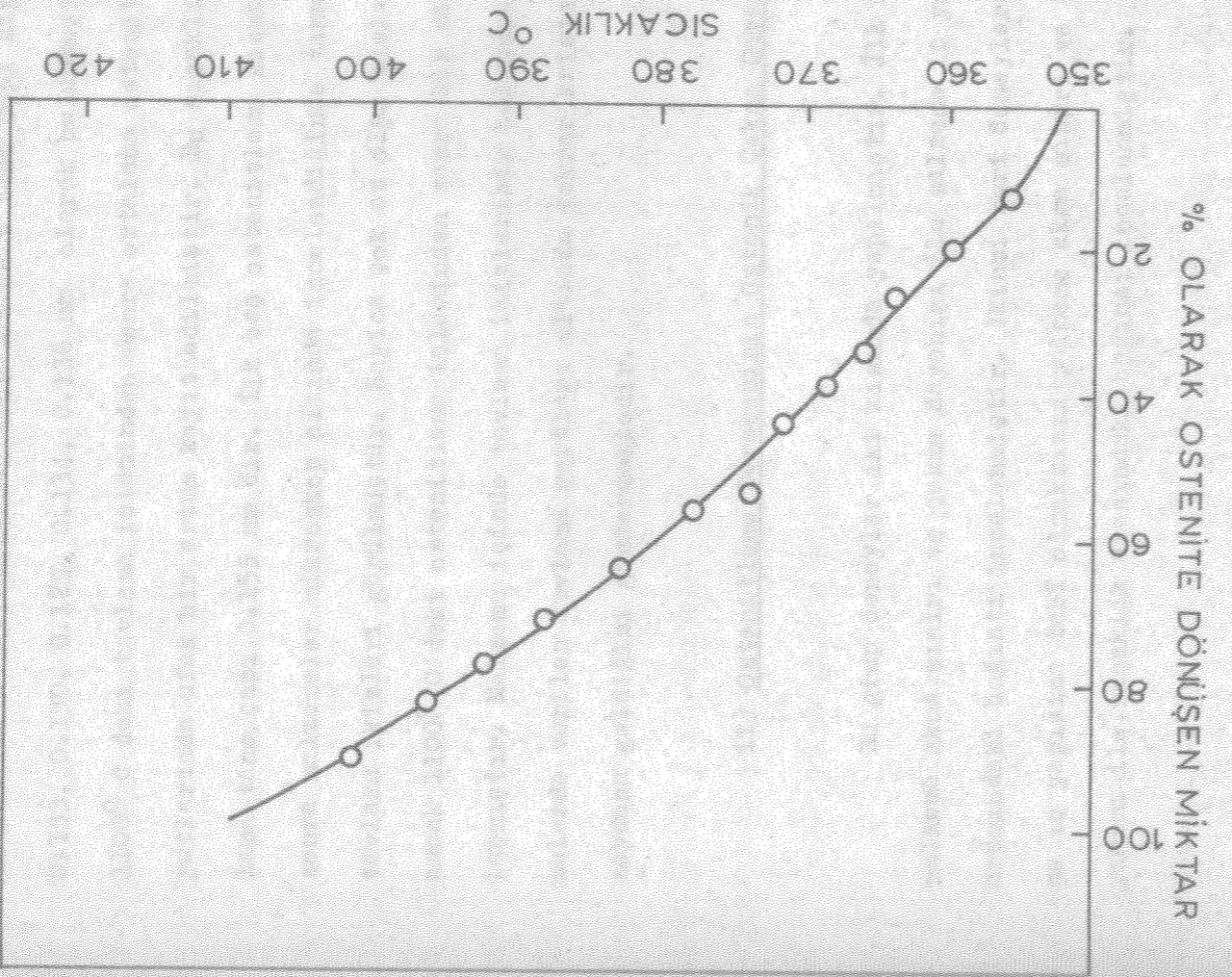
Dakikada 2° C lik ısıtma hızı ile, martensitin bir kayma mekanizması (martensitik) ile ostenite dömuştüğü görülmüştür. Ancak bu hızlarla elde edilen dömuşümde bir miktar difüzyon olmakta ve seçilen nihaf ostenitleme sıcaklıklarında elde edilen ostenit içindeki nikel dağılımının homojen olduğu kabul edilmektedir. Herne kadar ostenitin homojen olup olmadığı bilinemez ise de nihaf ostenitleme zamanının 15 dakikadan 2 saate kadar uzatılması ostenit kristal boyutlarını, mekanik özelliklerini ve ostenitin dömuşüm sıcaklığı olan M_s sıcaklığını etkilememiştir.

a) Ostenitleme Sıcaklığının Elde Edilen Fazın Özelliklerine Etkisi :

Ostenitleme sıcaklığının, ostenit fazının özelliklerine etkisini incelemek amacı ile 400°C ile 1100°C arasında bir takım seri ostenitleme deneyleri yapılmıştır. Deneylerde seçilen ostenitleme sıcaklıkları 420, 480, 530, 600, 800 ve 1100°C olarak alınmıştır. En düşük ostenitleme derecesi olarak 420°C seçilmiştir. Bu sıcaklık A_f derecesinden 10°C daha fazladır ve seçilebilecek en düşük ostenitleme sıcaklığıdır. Bütün bu sıcaklıklarda ostenitleme süresi aynı olup 15'er dakikadır.

Değişik sıcaklıklarda ostenitlenen malzemeler sıvı nitrojen içinde martensite dönmüş oldükten sonra $2^{\circ}\text{C} / \text{dak.}$ lık bir hızla ısıtıldığında A_s ve A_f sıcaklıkları ostenitleme sıcaklığına tabii olmadan aynı değerlerde kalmış ve dönüşüm özellikleri etkilenmemiştir. Martensitin atermal olarak ostenite dönüşümü. Şekil 5 de gösterilmiştir. Atermal transformasyon başlangıcında ostenite dönüşüm ile sıcaklık arasında doğrusal bir bağlantı mevcuttur. Transformasyonun sonlarına doğru ise doğrusal bağlantıdan bir miktar sapma görülmektedir. Yalnız bu eğri transformasyon hızında bir fikir vermemektedir. Dönüşümün başladığı A_s sıcaklığında transformasyon yavaş başlayıp zaman geçtikçe hızlanmış ve sona ererken ise gene yavaşlamıştır. Şu halde transformasyon hızı sigmoid tipi bir eğrinin özelliklerini haizdir.

ŞEK. 5 MARTANSİTİN ATERMAL OLARAK OSTENİTE DÖNÜŞÜMÜ



Şekil 5, martansitinin atermal olarak ostenite dönüşümü için sıcaklık ile dönüşüm oranı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafik, dönüşümün yaklaşık 350°C'de başladığını ve 420°C'de tamamlandığını göstermektedir. Dönüşüm oranı, sıcaklığın artmasıyla hızla artmaktadır.

Şekil 5, martansitinin atermal olarak ostenite dönüşümü için sıcaklık ile dönüşüm oranı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Grafik, dönüşümün yaklaşık 350°C'de başladığını ve 420°C'de tamamlandığını göstermektedir. Dönüşüm oranı, sıcaklığın artmasıyla hızla artmaktadır.

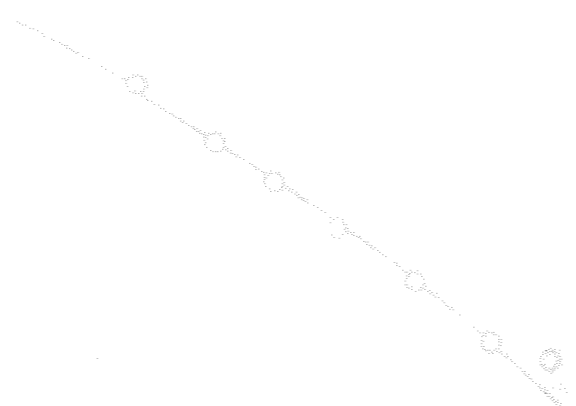
i) Ostenitleme Derecesinin Ostenit Kristal Boyutlarına Etkisi :

Ostenit kristal boyutları, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C, 1200°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C, 1400°C, 1450°C, 1500°C, 1550°C, 1600°C, 1650°C, 1700°C, 1750°C, 1800°C, 1850°C, 1900°C, 1950°C, 2000°C, 2050°C, 2100°C, 2150°C, 2200°C, 2250°C, 2300°C, 2350°C, 2400°C, 2450°C, 2500°C, 2550°C, 2600°C, 2650°C, 2700°C, 2750°C, 2800°C, 2850°C, 2900°C, 2950°C, 3000°C, 3050°C, 3100°C, 3150°C, 3200°C, 3250°C, 3300°C, 3350°C, 3400°C, 3450°C, 3500°C, 3550°C, 3600°C, 3650°C, 3700°C, 3750°C, 3800°C, 3850°C, 3900°C, 3950°C, 4000°C, 4050°C, 4100°C, 4150°C, 4200°C, 4250°C, 4300°C, 4350°C, 4400°C, 4450°C, 4500°C, 4550°C, 4600°C, 4650°C, 4700°C, 4750°C, 4800°C, 4850°C, 4900°C, 4950°C, 5000°C, 5050°C, 5100°C, 5150°C, 5200°C, 5250°C, 5300°C, 5350°C, 5400°C, 5450°C, 5500°C, 5550°C, 5600°C, 5650°C, 5700°C, 5750°C, 5800°C, 5850°C, 5900°C, 5950°C, 6000°C, 6050°C, 6100°C, 6150°C, 6200°C, 6250°C, 6300°C, 6350°C, 6400°C, 6450°C, 6500°C, 6550°C, 6600°C, 6650°C, 6700°C, 6750°C, 6800°C, 6850°C, 6900°C, 6950°C, 7000°C, 7050°C, 7100°C, 7150°C, 7200°C, 7250°C, 7300°C, 7350°C, 7400°C, 7450°C, 7500°C, 7550°C, 7600°C, 7650°C, 7700°C, 7750°C, 7800°C, 7850°C, 7900°C, 7950°C, 8000°C, 8050°C, 8100°C, 8150°C, 8200°C, 8250°C, 8300°C, 8350°C, 8400°C, 8450°C, 8500°C, 8550°C, 8600°C, 8650°C, 8700°C, 8750°C, 8800°C, 8850°C, 8900°C, 8950°C, 9000°C, 9050°C, 9100°C, 9150°C, 9200°C, 9250°C, 9300°C, 9350°C, 9400°C, 9450°C, 9500°C, 9550°C, 9600°C, 9650°C, 9700°C, 9750°C, 9800°C, 9850°C, 9900°C, 9950°C, 10000°C.

Ostenit kristal çapı üzerinde yapılan ölçmeler ostentleme derecesinin ortalama tane boyutlarını etkilemediğini göstermiştir. 420°C, 480°C, 500°C, 600°C ve 800°C derecelerde yapılan 15 dakikalık tavlamalardan sonra ostentit tane çapı sırası ile 0.133, 0.130, 0.129, 0.134, 0.136 mm olarak bulunmuştur. Ancak, 1100°C deki tavlama işleminden sonra ortalama ostentit tane boyutlarında ufak bir artma kayıt edilmiştir. Bu sıcaklıkta ortalama tane çapı 0.155 mm dir. İlk beş ostentitleme sıcaklıklarından sonra malzemeler mikroskop altında incelendiğinde taneler içinde tavlama ikizleri görülmüştür. Sayıca çok az olan tavlama ikizleri ancak 1100°C deki ostentitleme işleminden sonra bir miktar fazlalaşmıştır. Malzeme içinde tavlama ikizlerinin bulunuşu bu malzemelerde verilen tavlama şartları altında tekrar kristalleşmenin meydana geldiğini göstermektedir.

ii) Ostenitleme Derecesinin Ostenik Çekme Dayanımına Etkisi :

Bu grup deneyler iki kısımda yapılmıştır. İlk seriye, malzeme çekme sınırı ve çekme dayanımı ile malzeme iç yapısı arasındaki bağlantı incelenmiştir. İkinci seri deneylerde, malzeme iç yapısına tabî olmaksızın malzeme akma sınırı ve çekme dayanımı ile sıcaklık arasındaki bağlantı incelenmiştir.



YERİNE DÖNÜŞÜMÜ

100

Birinci seri için yapılan deneylerde, malzemeler sırası ile 420° C, 480° C, 530° C, 600° C, 800° C ve 1100° C de tavlanarak geri martensitik transformasyon ile ostenite döndürülmüştür. Ostentitik malzemelerin çekme deneyleri - 20° C, oda sıcaklığı 90° C, 140° C, 200° C ve 290° C derecelerde yapılmıştır. Şekil 6, değişik çekme sıcaklıklarındaki malzeme akma sınırının, ostenitleme derecesine bağlı olarak değişimini göstermektedir, Oda sıcaklığında yapılan çekme deneyinde, en yüksek akma sınırı 420° C derecede yapılan ostenitleme işlemi ile elde edilmiş ve ostenit akma sınırı 56 kg/mm² olarak bulunmuştur, Ostenitleme ısısı arttırıldıkça akma sınırı azalmış ve 1100° C derecede ostenitleme işlemine tobi tutulan malzemenin oda sıcaklığındaki akma sınırı 9 kg/mm² ye kadar düşmüştür. O halde 420° C yerine malzeme 1100° C derecede ostenitlenirse malzeme akma sınırında aşağı yuları 6 misli bir azalma olmaktadır. Görülüyor ki sadece ostenitleme işlemi ile malzemenin dayanımını 6 gibi büyük bir faktör ile değiştirmek ve en yüksek dayanımın en düşük sıcaklıklarda ostenitleme ile elde etmek mümkün olmaktadır.

Deneyler, oda sıcaklığı yerine daha düşük veya daha yüksek sıcaklıklarda da tekrarlanmış ve oda sıcaklığındakilere benzer eğriler elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda bulunan değerlerin oda sıcaklığında bulunan değerlere nazaran daha yüksek, yüksek sıcaklıklarda bulunan değerlerin ise daha düşük olduğu görülmüştür.

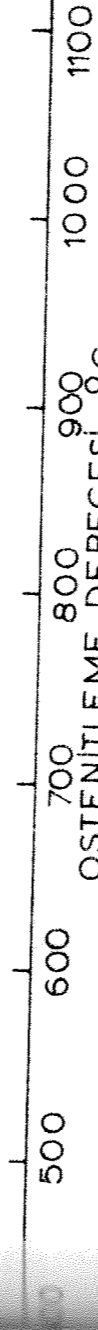
Malzeme çekme dayanımı ile ostenitleme sıcaklığı arasındaki bağıntı tamamen yukarıdaki bağıntıya benzemektedir ve Şekil 7 de görülmüştür. Malzeme çekme dayanımında, akma sınırında olduğu gibi

Birinci seri için yapılan deneylerde, malzemeler sırası ile 420° C, 480° C, 530° C, 600° C, 800° C ve 1100° C de tavlansarak seri martensitik transformasyon ile ostenite dönmüştür. Martensitik malzemelerin çekme deneyleri - 20° C, oda sıcaklığı 90° C, 140° C, 200° C ve 290° C derecelerde yapılmıştır. Şekil 6, değişik çekme sıcaklıklarındaki malzeme akma sınırının, ostenitleme derecesine bağlı olarak değişimini göstermektedir, Oda sıcaklığında yapılan çekme deneyinde, en yüksek akma sınırı 420° C derecede yapılan ostenitleme işlemi ile elde edilmiş ve ostenit akma sınırı 56 kg/mm² olarak bulunmuştur. Ostenitleme ısısı arttırıldıkça akma sınırı azalmış ve 1100° C derecede ostenitleme işlemine tabi tutulan malzemenin oda sıcaklığındaki akma sınırı 9 kg/mm² ye kadar düşmüştür. O hilde 420° C yerine malzeme 1100° C derecede ostenitlenirse malzeme akma sınırında aşağı yukarı 6 misli bir azalma olmaktadır. Görülüyor ki sadece ostenitleme işlemi ile malzemenin dayanımını 6 gibi büyük bir faktör ile değiştirmek ve en yüksek dayanım en düşük sıcaklıklarda ostenitleme ile elde etmek mümkün olmaktadır.

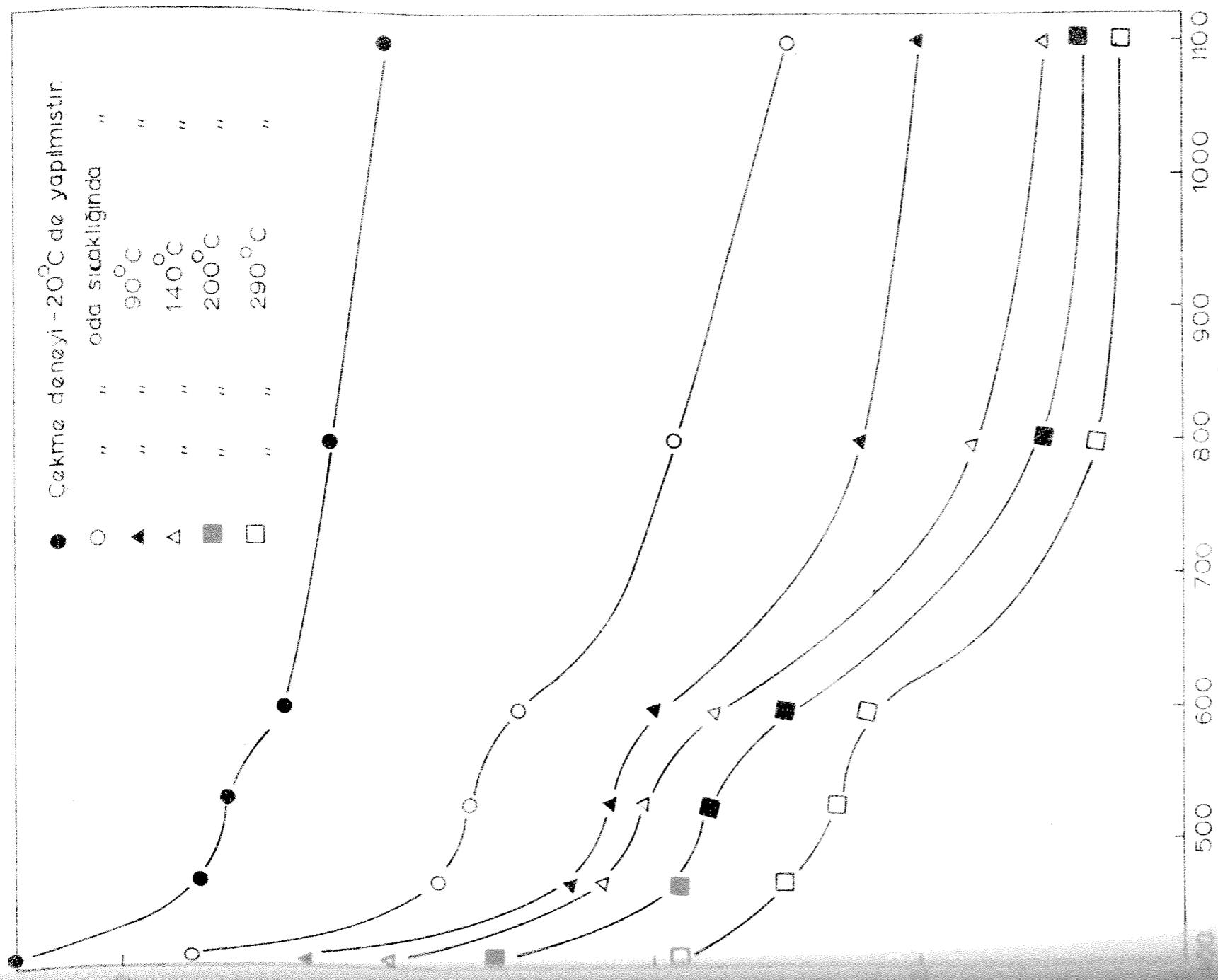
Deneyler, oda sıcaklığı yerine daha düşük veya daha yüksek sıcaklıklarda da tekrarlanmış ve oda sıcaklığındakilere benzer eğriler elde edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda bulunan değerlerin oda sıcaklığında bulunan değerlere nazaran daha yüksek, yüksek sıcaklıklarda bulunan değerlerin ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Malzeme çekme dayanımı ile ostenitleme sıcaklığı arasındaki bağıntı tamamen yukarıdaki bağıntıya benzerdir ve Şekil 7 de verilmiştir. Malzeme çekme dayanımında, akma sınırında olduğu gibi

● Çekme deneyi -20°C de yapılmıştır.
○ " " oda sıcaklığında " "
▲ " " 90°C " "
△ " " 140°C " "
■ " " 200°C " "
□ " " 290°C " "

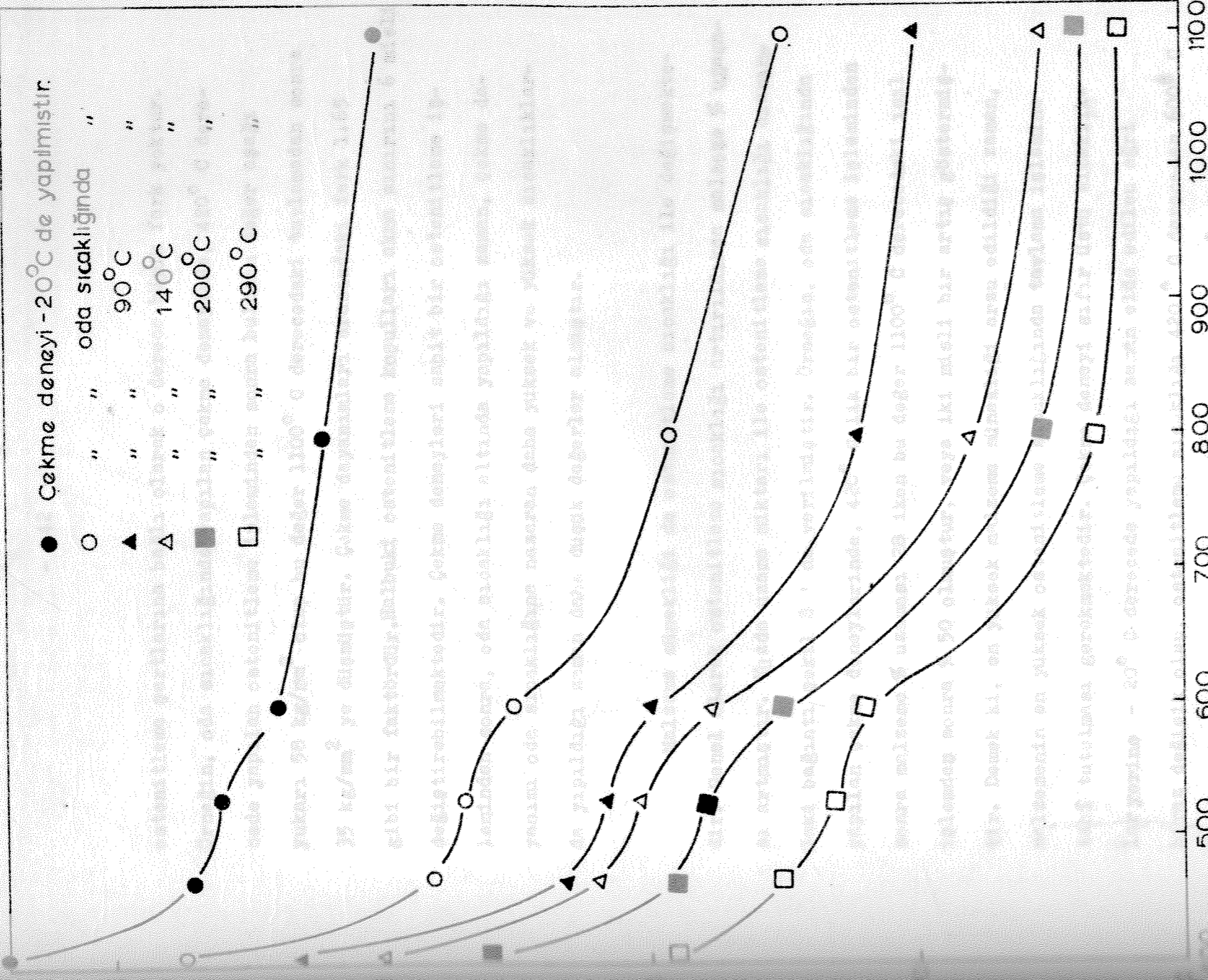


6 OSTENİT AKMA SINIRI OSTENİTLEME DEREJESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma 2°C/dak.)



OSTENİTLEME DERECESİ °C

ŞEKİL 7 OSTENİT ÇEKME DAYANIMI İLE OSTENİTLEME DERECESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma hızı 2°C/dak.)



ŞEKİL 7 OSTENİT ÇEKME DAYANIMI İLE OSTENİTLEME DERECESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma hızı 2°C/dak.)



ŞEKİL 8 OSTENİT ÇEKME DAYANIMI İLE OSTENİTLEME DERECESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma hızı 2°C/dak.)

ostenitleme şartlarına bağlı olarak o derece büyük fark yoktur. Örneğin, oda sıcaklığında yapılan çekme deneyinde, 420° C derecede yapılan ostenitleme işleminden sonra bulunan değer aşağı yukarı 58 kg/mm² olup bu değer 1100° C derecedeki tavlama dan sonra 35 kg/mm² ye düşmüştür. Çekme dayanımları arasındaki fark 1.65 gibi bir faktördür. Halbuki ostenitleme koşulları akma sınırını 6 misli değiştirebilmektedir. Çekme deneyleri sabit bir ostenitleme işleminden sonra, oda sıcaklığı altında yapıldığı zaman, çekme dayanımı oda sıcaklığına nazaran daha yüksek ve yüksek sıcaklıklarda yapıldığı zaman daha düşük değerler almıştır.

Malzeme sünekliği de ostenitleme sıcaklığı ile değişmektedir. Genel olarak ostenitleme sıcaklığı artırıldıkça malzeme % uzaması artmıştır. Yüzde uzama miktarı ile ostenitleme sıcaklığı arasındaki bağıntı şekil 8 ' de verilmiştir. Örneğin, oda sıcaklığında yapılan çekme deneylerinde, 420° C lik bir ostenitleme işleminden sonra malzeme % uzaması 28 iken bu değer 1100° C derecedeki ısıtma işleminden sonra % 50 olmuştur, veya iki misli bir artış göstermiştir. Demek ki, en yüksek malzeme sünekliği arzu edildiği zaman, malzemenin en yüksek ostenitleme sıcaklığında tavlama işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Çekme deneyi sıfır üstü sıcaklıklar yerine - 20° C derecede yapıldığı zaman elde edilen eğri biraz değişik olup, ostenitleme sıcaklığı 420° C dereceden 600° C dereceye kadar arttırıldığında eğri yükselmiş, 800° C derece üzerindeki ostenitleme işlemleri için ise bir düşme kayıtlı edilmiştir.

100 200 300

OSİTİMLEME

1. DENEYİNİN ÖZETİ

2. DENEYİNİN AMACI

3. DENEYİNİN YAPILDIĞI YER

4. DENEYİNİN YAPILDIĞI ZAMAN

5. DENEYİNİN YAPILDIĞI ŞARTLAR

6. DENEYİNİN SONUÇLARI

7. DENEYİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

8. DENEYİNİN SONUÇLARI

9. DENEYİNİN SONUÇLARI

10. DENEYİNİN SONUÇLARI

11. DENEYİNİN SONUÇLARI

12. DENEYİNİN SONUÇLARI

13. DENEYİNİN SONUÇLARI

14. DENEYİNİN SONUÇLARI

15. DENEYİNİN SONUÇLARI

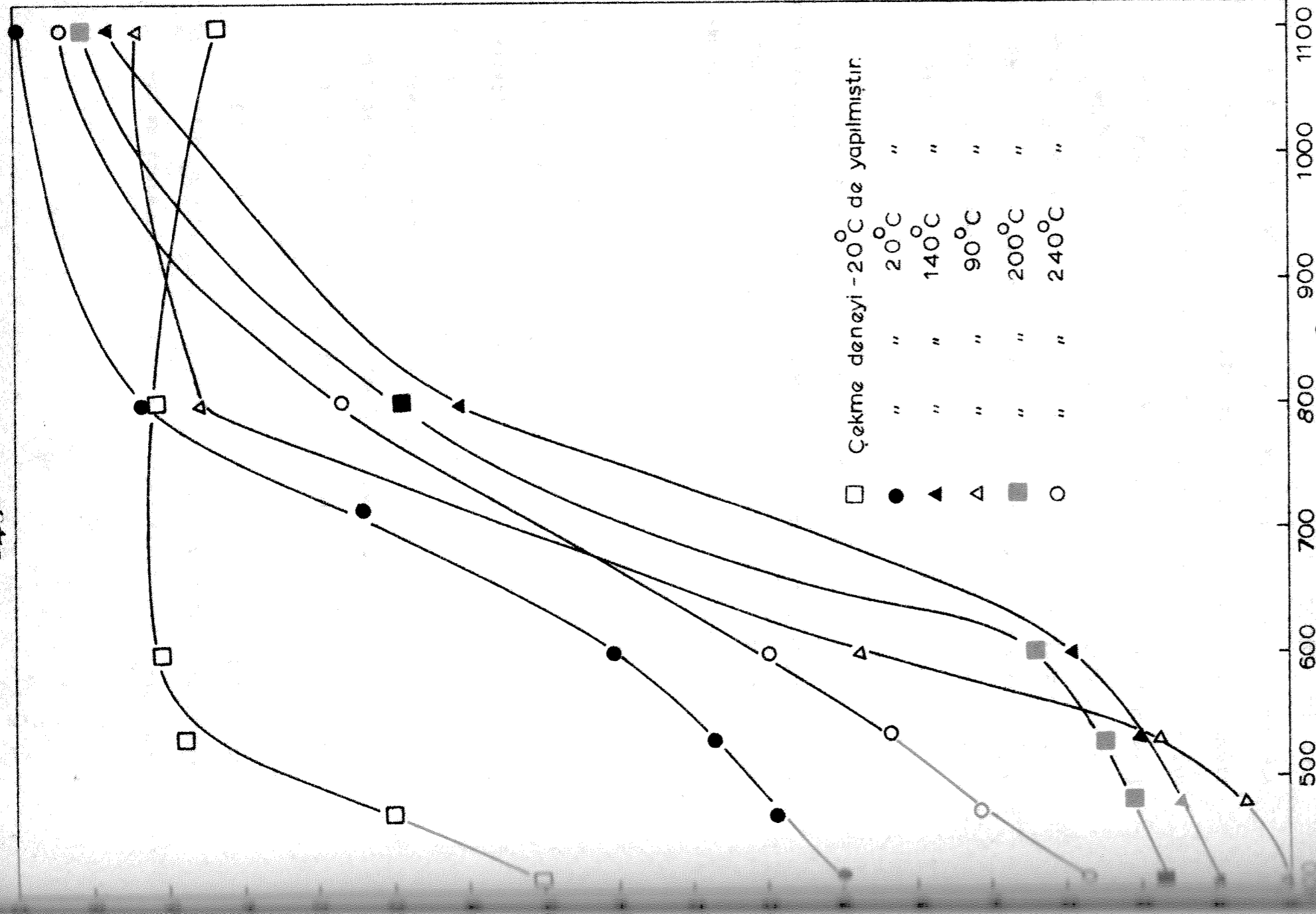
16. DENEYİNİN SONUÇLARI

17. DENEYİNİN SONUÇLARI

18. DENEYİNİN SONUÇLARI

19. DENEYİNİN SONUÇLARI

20. DENEYİNİN SONUÇLARI



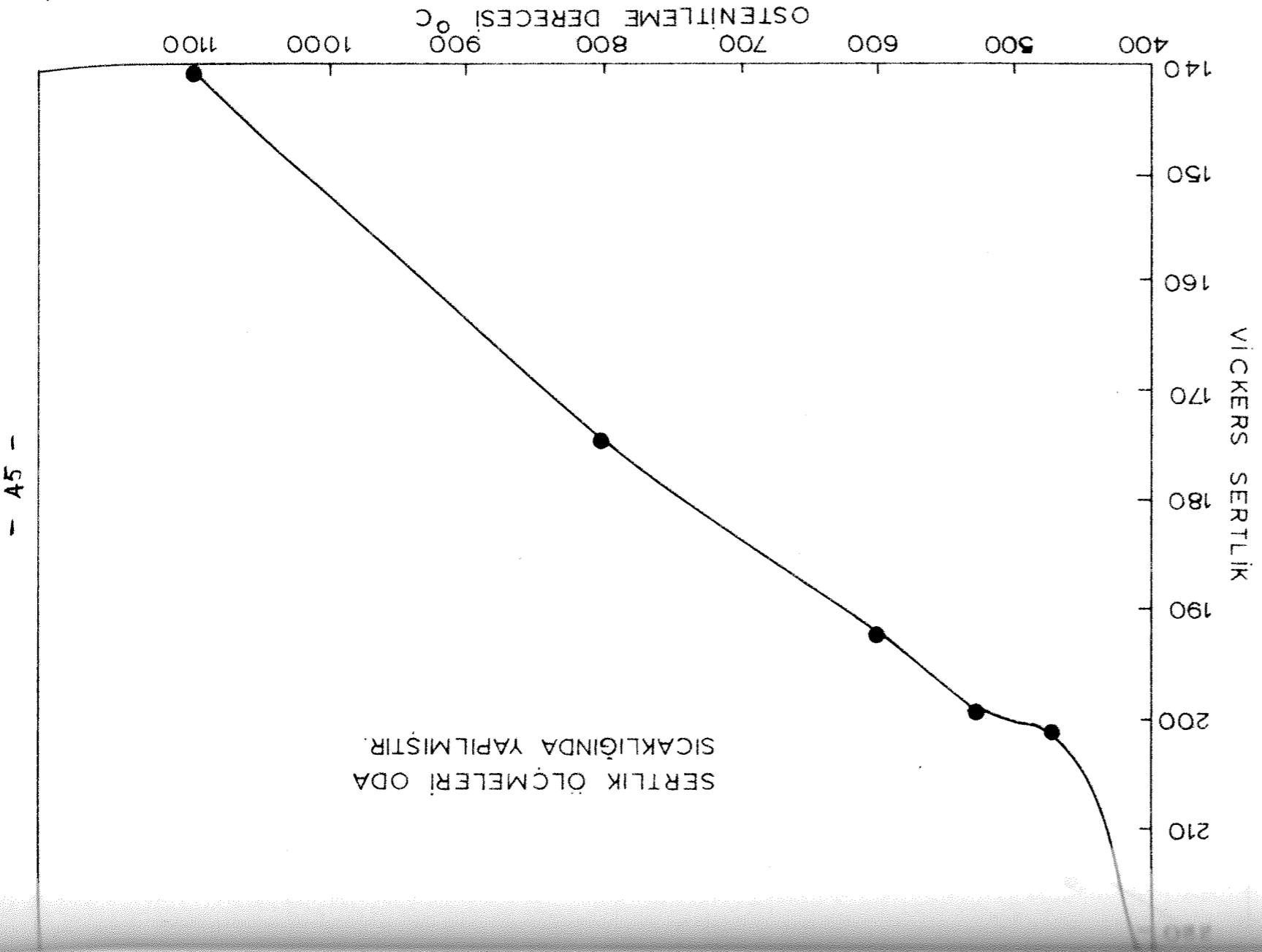
OSTENİTLEME SICAKLIĞI °C
% UZAMA MİKTARI İLE OSTENİTLEME DEREJİ ARASINDAKİ BAĞINTI
(Isıtma hızı 2 °C/dk.)

Çekme deneylerine paralel olarak sertlik ölçme deneyleri de yapılmıştır. Deneysel parçaları 420° C, 480° C, 530° C, 600° C, 800° C ve 1100° C derecelerde tavlandıktan sonra bunların oda sıcaklığındaki sertlikleri vickers sertlik ölçme aleti ile tayin edilmiştir. En yüksek vickers sertliği 420° C derecedeki tavlama sonrası 230 V. sertlik olup, 1100° C derecedeki ostenitlemeden sonra 140 V. sertlik değerine düşmüştür. Şekil 9, ostenit vickers sertliğinin ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Sertlik değerlerinde 1.6 misli gibi bir değişiklik elde edilmektedir ki bu çekme dayanımı için bulunan değerler aynıdır. Vickers sertlikleri ve çekme dayanımı eğrileri aşağı yukarı aynı eğilime sahip bulunmaktadır.

Ostenit iş yapısına tabii olmadan mekanik özelliklerin sıcaklık ile değişimini incelemek amacıyla bir takım deneyler yapılmıştır. İkinci seriyi teşkil eden bu deneylerde ostenitleme sıcaklıkları ve süreleri aynı birinci seri deneylerinde olduğu gibidir.

Sabit bir sıcaklıkta ostenitlenen deney çubukları değişik sıcaklıklarda çekme deneyine tabii tutulmuştur. Çekme deneyinin yapıldığı sıcaklık arttırıldıkça malzeme akma sınırı azalmıştır. Bunlara ait bağlantılar şekil 10'da verilmiştir. Örneğin 800° C derecede ostenitlenen parçaların 20° C'deki akma sınırı 25 kg/mm² iken bu değer 290° C derecede 5 kg/mm² olmuştur. Sabit bir ostenitleme işleminden sonra akma sınırı, çekme deneyinin yapıldığı sıcaklıkla ortalama 3-4 misli değişmiştir, ve ostenitleme derecesinin değiştirilmesi ile elde edilen eğriler aşağı yukarı birbirlerine paraleldir.

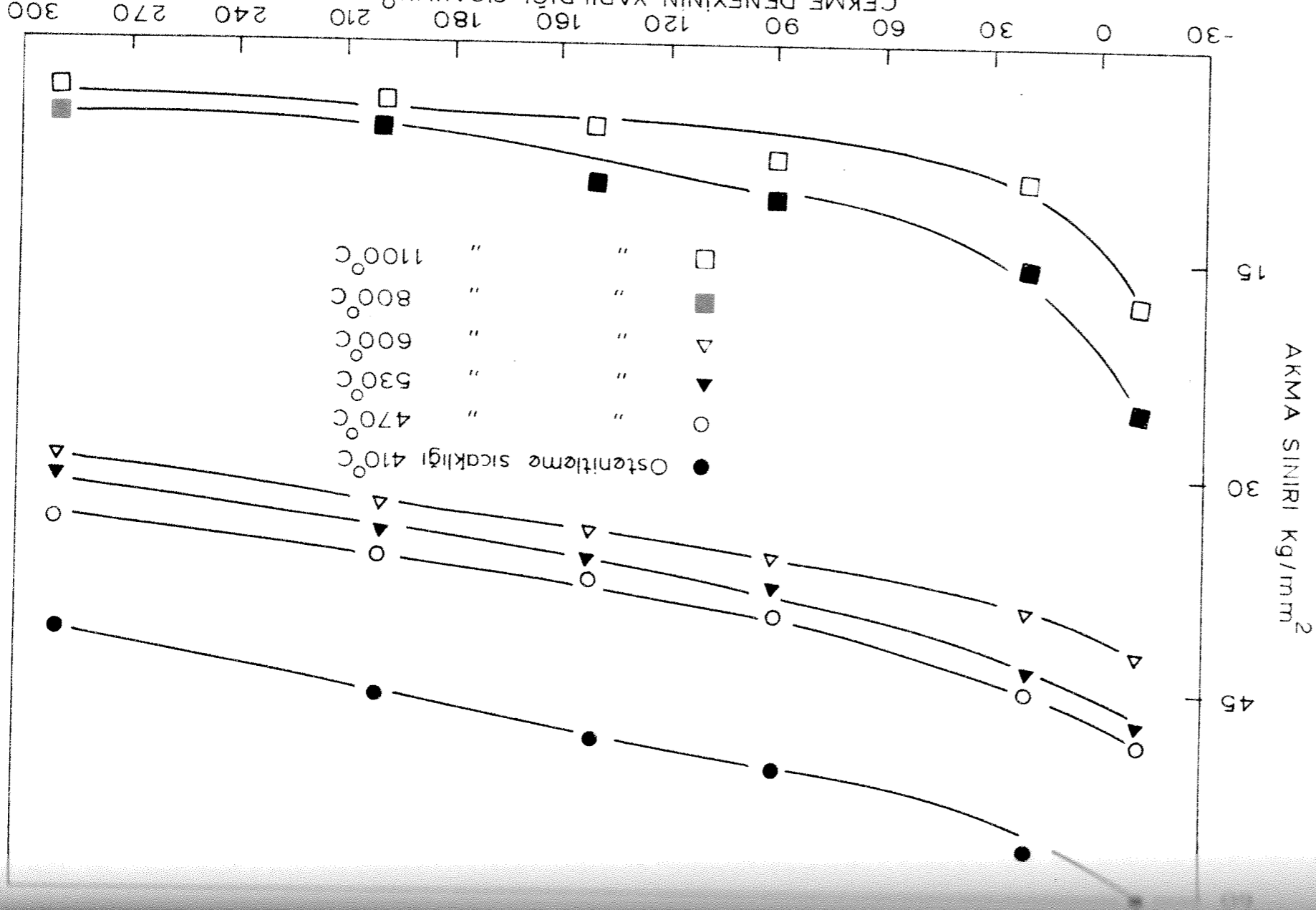
SEK. 9 OSTENİT SERTLİĞİNİN OSTENİTLEME DERESESİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİ
(Isıtma hızı 2°C/dk.)



SERTLİK ÖLÇMELERİ ODA SICAKLIĞINDA YAPILMIŞTIR.

- A5 -

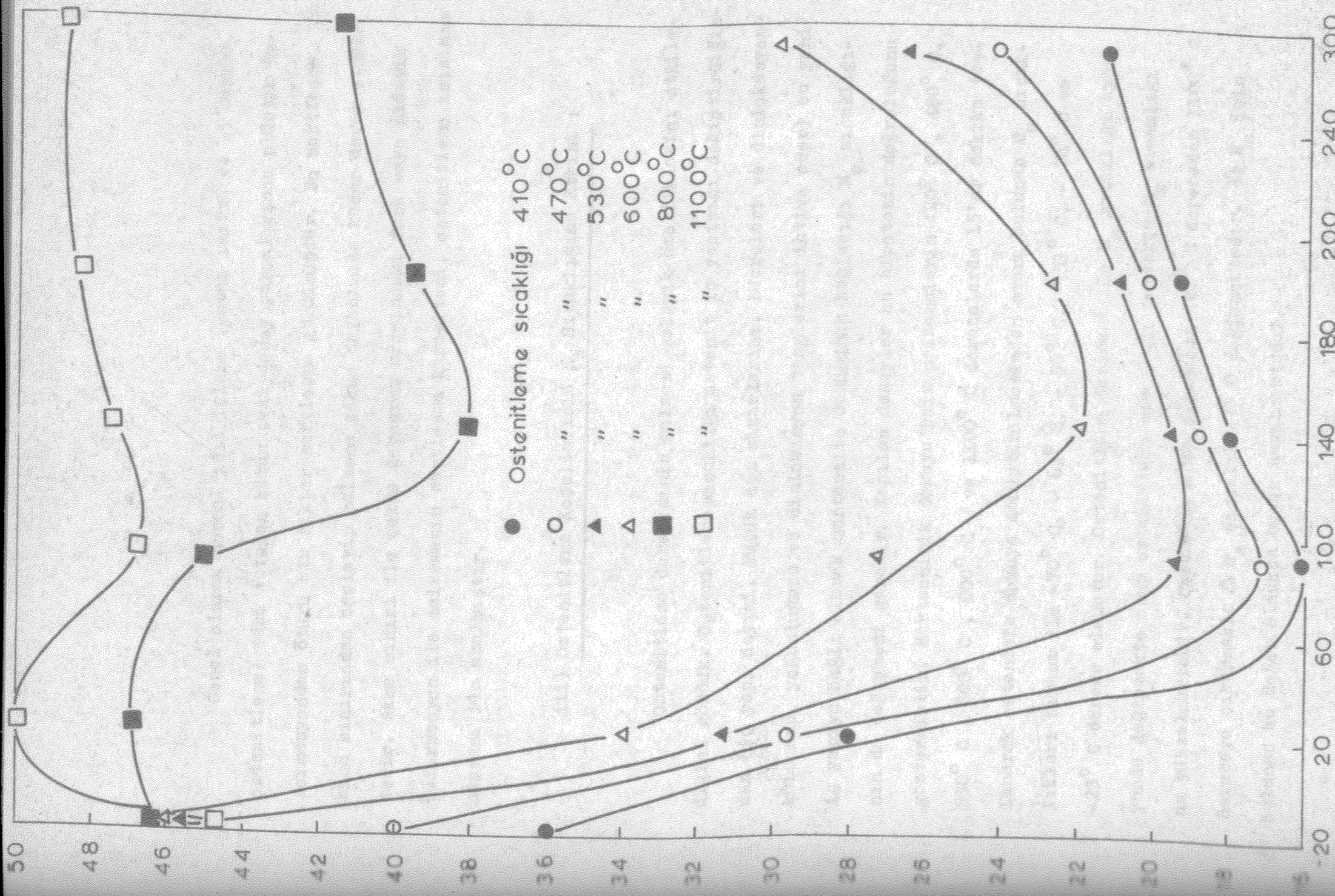
ŞEKİL 10 OSTENİT AKMA SINIRI İLE SICAKLIK ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtılma hızı 2°C/dak.) ÇEKME DENEYİNİN YAPILDIĞI SICAKLIK °C



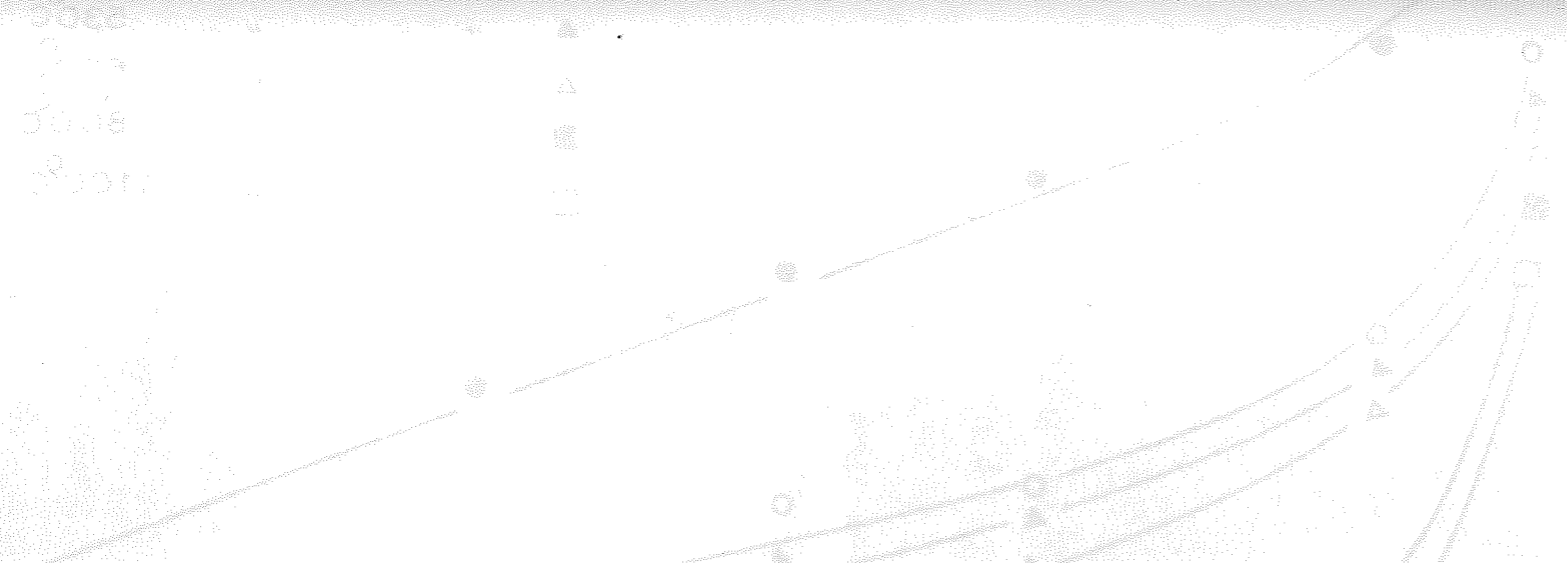
Çekme dayanımının sıcaklıkla değişimi için aynı şeyler söylenebilir. Yalnız sıcaklık, çekme dayanımını akma sınırına nazaran biraz daha az etkilemiştir. Şekil 11 bu değişimi vermektedir. 800° C derecedeki ostenitleme örneği olarak alınırsa - 20° C 'deki çekme dayanımının 51 kg/mm² ve 290° C derecedeki çekme dayanımının 23 kg/mm² olduğu görülür. Ostenitleme sıcaklığını değiştirmek her eğrinin eğilimini değiştirmeyip ancak eğrinin yerini aşağı veya yukarı kaydırmaktadır.

Malzeme sünekliğinin sıcaklıkla değişimi oldukça enteresan sonuçlar vermiştir. Ostenitleme sıcaklığı 600° C derecenin altında olmak şartı ile, % uzama miktarı çekme sıcaklığının - 20° C derece üzerine çıkması ile önce azalmış, bu azalma 100° C ilâ 140° C dereceye kadar devam etmiştir. 100-140° C derecenin üzerinde % uzama miktarı sıcaklığın artmasına paralel olarak artmıştır. 600° C derecede yapılan 15 dakikalık bir tavlama sonra malzeme en büyük % uzamayı - 20° C'de göstermiş ve bu değer % 46 olarak bulunmuştur. 140° C derecede % 22 ile en düşük değeri bulan % uzama miktarı çekme deneyinin 290° C derecede yapılması ile % 30'a yükselmiştir.

Ostenitleme 800° C veya daha yüksek sıcaklıklarda yapıldığı zaman eğrilere bir değişme meydana gelmiştir. Yüzde uzama miktarları -20° C'den itibaren deney sıcaklığının artırılması ile fazlaşmış, fakat belli bir sıcaklıktan sonra azalmaya başlamış ve en düşük bir değerden geçtikten sonra tekrar bir artış göstermiştir. Bütün bu özellikler % uzama miktarı ile çekme deneyinin yapıldığı sıcaklık arasındaki bağıntıyı gösteren şekil 12'de verilmiştir. Normal olarak % uzamanın, sıcaklıkla artması gerekirken bu şekilde değişik eğrilerin çıkışı çalışmanın minakası hakkında incelenmiştir.



ŞEK.12 OSTENİT YÜZDE UZAMA MİKTARININ SICAKLIK İLE DEĞİŞİMİ
(Malzeme ısıtılma hızı 2°C/dak.)



Genel olarak normal ısıtma işlemi (yavaş ısıtma ve 15 dakika ostenitleme) tâbi tutulan bütün çeki deney parçalarında plâstik deformasyondan ötürü bir miktar sertleşme görülmüştür. Bu sertleşme akma sınırından başlayıp malzeme çekme dayanımına kadar devam etmektedir. Akma sınırı ile çekme dayanımı arasındaki fark veya plâstik deformasyon ile malzemenin sertleşme kapasitesi, ostenitleme ısısının düşmesi ile azalmıştır.

iii) Ostenitleme Koşullarının M_s Sıcaklığına Etkisi :

Ostenitleme derecesinin malzeme mekanik özelliklerini etkilediğini gördük. Ostenitleme sıcaklığı ostenit iç yapısını değiştirdiğinden (iç yapı deyimi, küçük açılı sınırlarını, hücreleri ve dislokasyon konumunu, yoğunluğunu ve dislokasyon tanelerini ihtiva eder) bu yeni iç yapıya bağlı olarak martensite dönüşümün başladığı M_s sıcaklığının da değişmesi gerekir. Yapılan deneyler bu hipotezin doğruluğunu göstermiştir. Martensitik dokuyu haiz malzemelerin $420^\circ C$, $480^\circ C$, $530^\circ C$, $600^\circ C$, $800^\circ C$, ve $1100^\circ C$ derecelerde 15'er dakika tavlanarak ostenitik dokuya dönüştürülmesinden sonra bulunan M_s sıcaklıkları sırası ile $-70^\circ C$, $-63^\circ C$, $-56^\circ C$, $-51^\circ C$, $-26^\circ C$ ve $-23^\circ C$ derece olmuştur. Ostenitleme derecesi ile M_s sıcaklığı aynı yönde değişmekte olup ostenitleme sıcaklığı arttıkça M_s sıcaklığı da yükselmektedir. Ostenitleme sıcaklığının $420^\circ C$ dereceden $1100^\circ C$ dereceye çıkarmakla ΔM_s sıcaklık $47^\circ C$ değişmektedir. ΔM_s için bulunan bu değer oldukça büyük sayılmaktadır.

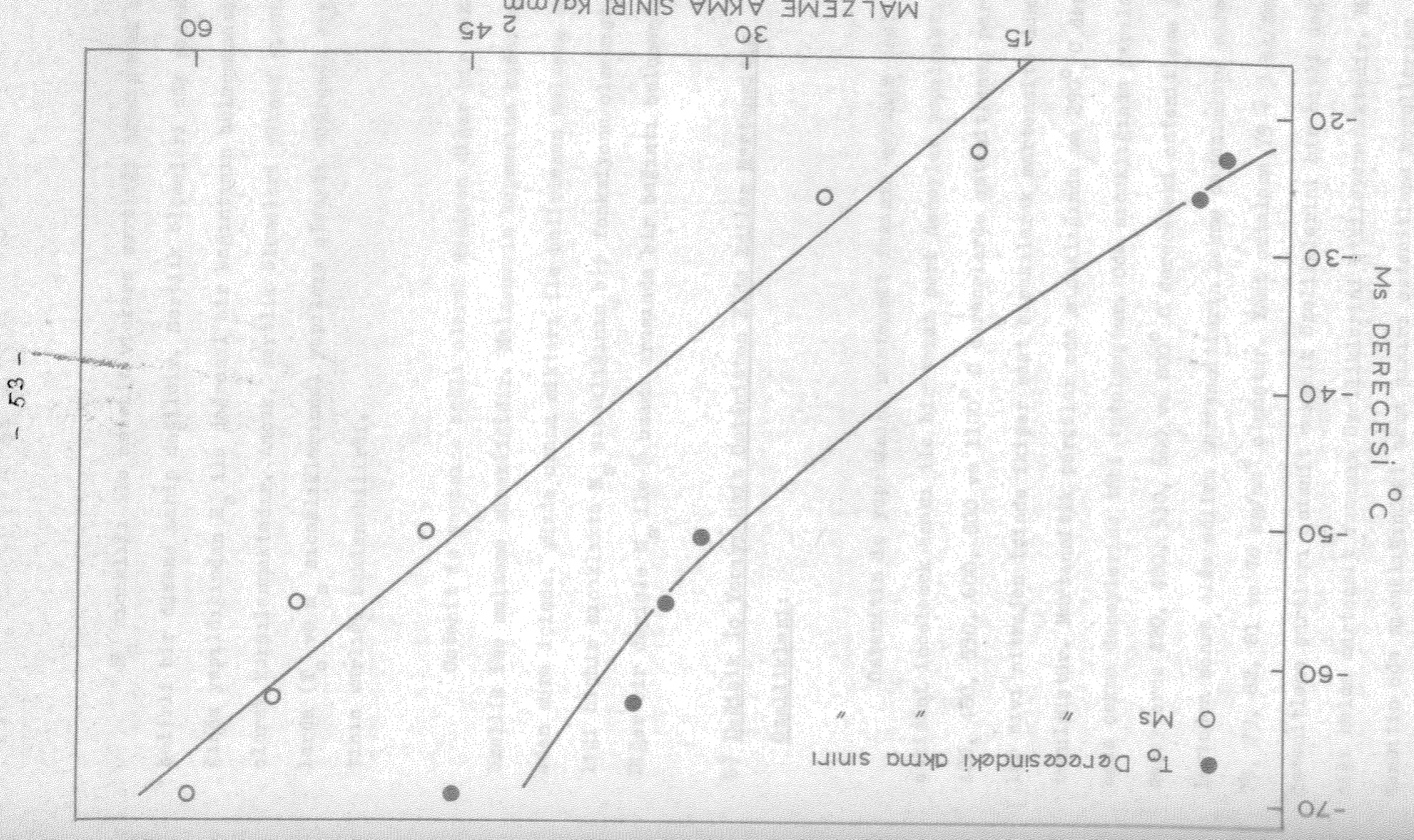
Malzeme çekme dayanımı ve M_s sıcaklığı ostentitleme şartları ve dolayısıyla ostenit iç yapısının bir fonksiyonu olarak değiştiği kabul edilecek olursa, çekme dayanımı ile M_s sıcaklığı arasında bire bir uyum olması beklenebilir. Çekme dayanımı, çekme deneyinin yapıldığı sıcaklıkla değiştiğinden hangi sıcaklıklarda böyle bir bağıntının olması gerektiği söz konusudur. Yapılan deneyler malzeme çekme dayanımı ile M_s arasında, ancak çekme işlemi T_o (Martensit ile ostenitin serbest enerjilerinin birbirlerine eşit olduğu sıcaklık) ile M_s sıcaklıklarında yapıldığı zaman doğrusal bir bağıntının olduğunu göstermektedir. T_o ve M_s sıcaklıkları dışında yapılan deneylerde M_s sıcaklığı ile malzeme çekme dayanımı arasında bir bağıntı bulunmamıştır. Malzeme çekme dayanımı ile M_s sıcaklığı arasındaki bağıntı şekil 13'de verilmiştir ve T_o , M_s ve oda sıcaklığında yapılan çeki deney neticelerini göstermektedir. T_o sıcaklığındaki (220° C) çekme dayanımı interpolasyon ve M_s sıcaklığındaki ise extrapolasyon metodu ile bulunmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi oda sıcaklığında yapılan deneyler M_s ve T_o sıcaklıkları dışı olup bulunan noktalar şeklinde rastgele serpiştirilmiştir. T_o ve M_s sıcaklıklarına te- kabul eden eğriler ise birbirlerine paraleldir.

Çekme dayanımı yerine malzeme akma sınırı M_s sıcaklığına karşılık olarak noktalanırsa yukarıdakine benzer bir durum çıkmaktadır. Yalnız M_s ve T_o sıcaklıklarındaki akma sınırı ile M_s sıcaklığı arasında bağıntıda bir doğrusal bağıntı bulunup her iki eğri birbirine paraleldir. Şekil 14 bu bağıntıyı göstermektedir. Çekme deneyinin yapıldığı diğer sıcaklıklarda M_s ile akma sınırı arasında bir bağıntı bulunmadığından bu noktalar şekil 14'de gösterilmemiştir.

Malzeme çekme dayanımı ve M_s sıcaklığı ostentleme şartları ve dolayısıyla ostent iç yapısının bir fonksiyonu olarak değiştiği kabul edilecek olursa, çekme dayanımı ile M_s sıcaklığı arasında bire bir uyum olması beklenebilir. Çekme dayanımı, çekme deneyinin yapıldığı sıcaklıkla değiştiğinden hangi sıcaklıklarda böyle bir bağlantının olması gerektiği söz konusudur. Yapılan deneyler malzeme çekme dayanımı ile M_s arasında, ancak çekme işlemi T_o (Martensit ile ostentitin serbest enerjilerinin birbirlerine eşit olduğu sıcaklık) ile M_s sıcaklıklarında yapıldığı zaman doğrusal bir bağlantının olduğunu göstermektedir. T_o ve M_s sıcaklıkları dışında yapılan deneylerde M_s sıcaklığı ile malzeme çekme dayanımı arasında bir bağlantı bulunmamıştır. Malzeme çekme dayanımı ile M_s sıcaklığı arasındaki bağlantı şekil 13'de verilmiştir. T_o , M_s ve oda sıcaklığında yapılan şekli deney neticelerini göstermektedir. T_o sıcaklığındaki ($220^\circ C$) çekme dayanımı interpolasyon ve M_s sıcaklığındaki ise interpolasyon metodu ile bulunmuştur. Şekilde de görüldüğü gibi oda sıcaklığında yapılan deneyler M_s ve T_o sıcaklıkları dışı olup bulunan noktalar şeklinde rastgele serpiştirilmiştir. T_o ve M_s sıcaklıklarına tekbül eden eğriler ise birbirlerine paraleldir.

Çekme dayanımı yerine malzeme akma sınırı M_s sıcaklığına karşılık olarak noktalanırsa yukarıdaki benzer bir durum çıkmaktadır. Yalnız M_s ve T_o sıcaklıklarındaki akma sınırı ile M_s sıcaklığı arasında bağlantı bir doğrusal bağlantı bulunup her iki eğri birbirine paraleldir. Şekil 14 bu bağlantıyı göstermektedir. Çekme deneyinin yapıldığı diğer sıcaklıklarda M_s ile akma sınırı arasında bir bağlantı bulunmadığından bu noktalar şekil 14'de gösterilmemiştir.

ŞEK.14 OSTENİT AKMA SINIRI İLE Ms DERECESESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (İsıtma hızı 2°C/dk.)



- 53 -

M_s sıcaklığı ile ostenit vickers sertliği arasındaki bağıntı belirli bir düzene sahip değildir. Sertlik ölçmeleri oda sıcaklığında yapıldığından M_s ile doğrusal bir bağıntının bulunmaması normal olarak karşılanmaktadır. Ancak, sertlik ölçmeleri yüksek sıcaklıklarda (T_o ve M_s sıcaklıklarında) yapılmış olsaydı doğrusal bir bağıntının varlığı beklenebilirdi.

Ostenit iç yapısına bağlı olarak değişen diğer bir mekanik özellik ise malzeme sünekliğidir. Malzemenin kopmasına kadar devam eden süre içinde, yüzde uzama miktarı ile belirlenen malzeme sünekliği hiçbir sıcaklıkta M_s sıcaklığının bir fonksiyonu olmamıştır. Diğer bir deyişle M_s ile % uzama arasında bir bağıntı bulunamamıştır.

b) Değişik İç Yapıya Haiz Ostenitten Elde Edilen Martensitin

Özellikleri:

Ostenitin iç yapısının, martensit fazının mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacı ile bir takım seri deneyler yapılmıştır. 420, 480, 530, 600, 800 ve 1100° C derecelerde ostenitlenen parçalar sıvı nitrojen içinde ikişer saat bırakılarak martensite döndürülmüştür. Martensitik parçalar oda sıcaklığında ve 290° C dercede çekme deneylerine tâbi tutulmuştur. Oda sıcaklığında yapılan deneylerde 420, 480, 530, 600 ve 800° C derecedeki ostenitleme işlemlerinden sonra elde edilen martensitlerin çekme dayanımları sırası ile 75, 79, 82, 81 ve 78 kg/mm² olmuştur. Yani ortalama 79 ± 3 kg/mm² dir. Ostenitleme şartları ostenit mekanik özelliklerini bir hayli değiştirdiği halde martensit fazının özelliklerini etkilememektedir. Martensitin oda sıcaklığındaki akma sınırı ostenitleme koşullarına

tâbi olmaksızın $70 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. 290°C derecede yapılan çekme deneyleri de o da sıcaklığında yapılan deneyler gibidir. Martensit çekme dayanımı ostenitleme şartları ile değişmemiş ve $67 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Hernekadar o da sıcaklığında akma sınırı ile çekme dayanımı arasında az bir fark bulunmuşsa da 290°C derecede bu fark ortadan kalkmış ve akma sınırı iyice çekme dayanımına yaklaşarak onunla çakışmıştır. Bu açıklamalardan anlaşılabilirceği gibi martensitin soğuk işlem ile sertleşme kapasitesi pek azdır.

Martensitik malzemenin sünekliği de ostenitleme sıcaklığı ile değişmemiş ve bütün o da sıcaklığında yapılan deneylerde % uzama miktarı % 20 olarak tesbit edilmiştir.

III. Hızlı Isıtma ile Elde Edilen Ostenit :

Deneyler için uygulanan ısıtma hızı sanjyede 10°C derecedir, Martensit 10°C/san. ısıtma hızı ile önceden kararlaştırılan sıcaklığa kadar ısıtılmış ve deney malzemeleri öngörülen sıcaklığa erişir erişmez parçalar fırından çıkartılarak havada soğumağa terk edilmiştir. Soğuk bir zemin üzerine bırakılan parçaların kitlelerinin küçük olması parçaların soğuma hızlarının bir hayli yüksek oluşuna yol açmıştır. Bu işleme tâbi tutulan parçaların dokusu mikroskop altında incelenmiş ve ostenitik olduğu görülmüştür. (Martensit kristalleri tamamen kayıp olmuştur.)

Isıtma hızının artırılması ile geri martensitik transformasyon daha düşük sıcaklıklarda başlamış ve nihayet bulunmuştur. A_s ve A_f

sıcaklıklarındaki azalma $4^{\circ} - 5^{\circ}$ C derece civarındadır. Şekil 15 hızlı ve yavaş ısıtma ile elde edilen eğriler arasındaki farkı göstermektedir ve dilatometrik analiz neticesidir. Hızlı ısıtma-
da A_s ve A_f sıcaklıkları kolayca ayırılarak belirlenmektedir. Yavaş ısıtma ise şekilden de görüldüğü üzere dört farklı sıcaklık mevcuttur olup T_1 , T_2 , T_3 ve T_4 ile gösterilmiştir. T_1 sıcaklığında ostenite dönüşüm başlamaktadır. Bu sıcaklıkta transformasyonun yavaş gelişmesi, transformasyonun difüzyon kontrolü altında olduğunu gösterir. T_2 ile T_3 arasında ise transformasyon bir kayma (martensitik mekanizma) ile olmaktadır. T_3 ve T_4 dereceleri arasında ise, muhtemelen difüzyona tabii transformasyon esnasında meydana gelen ostenit içindeki bileşim farkları ve kristal hataları yok olmaktadır.

Hızlı ısıtma ise T_1 , T_2 ve T_3 , T_4 sıcaklıkları birbirine çok yaklaşıp ve hatta çakışmaktadır. Yeni seri bir deneyde hızlı ısıtma ile ostenitlenen parçalar sıvı nitrojen içine atılıp martensite tekrar dönüştürülmüştür. Yavaş ısıtma sureti ile bu martensitin A_s ve A_f sıcaklıkları tayin edilmiştir. Bulunan değerler ostenitleme sıcaklığına tabii olarak $A_s = 355^{\circ}$ C ve $A_f = 407^{\circ}$ C derece olmuştur.

a) Ostenitleme Sıcaklığının Doku Özelliklerine Etkisi :

Yüksek ısıtma hızının tatbik edildiği deneylerle ostenitleme süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmaya çalışılmıştır.

Parçalar normal ısıtma işlemi olduğu gibi 420° C, 480° C, 530° C, 600° C ve 800° C derecede ostentitlenmiş fakat bu deneylerde 800° C derecesinin üzerine çıkılmamıştır.

i) Ostentitleme Sıcaklığının Tane Boyutlarına Etkisi

Doğrusal analiz metodu, bu tip deneyler için ostentit tane çapının yavaş ısıtmaya nazaran biraz daha küçük olduğunu göstermiştir. 420° C, 480° C, 500° C ve 600° C derecelerdeki ostentitleme işlemlerinden sonra ostentit tane çapları için bulunan değerler sırası ile 0.110 mm, 0.123 mm, 0.114 mm, 0.125 mm dir ve ostentitleme sıcaklığı ile pek değişmemektedir. Çaplar arasındaki ufak farklar pek muhtemelen deney ve okuma hatalarından ötürüdür.

ii) Çekme Dayanımına Etkisi :

Çekme deneyleri iki kısımda incelenmiştir. İlk kısımda, ostentitleme sıcaklığının dolayısıyla ostentit iç yapısının, ikinci kısımda ise çekme deney sıcaklığının (ostentit iç yapısının tesiri olmayan) malzeme akma sınırı ve çekme dayanımına etkisi incelenmiştir.

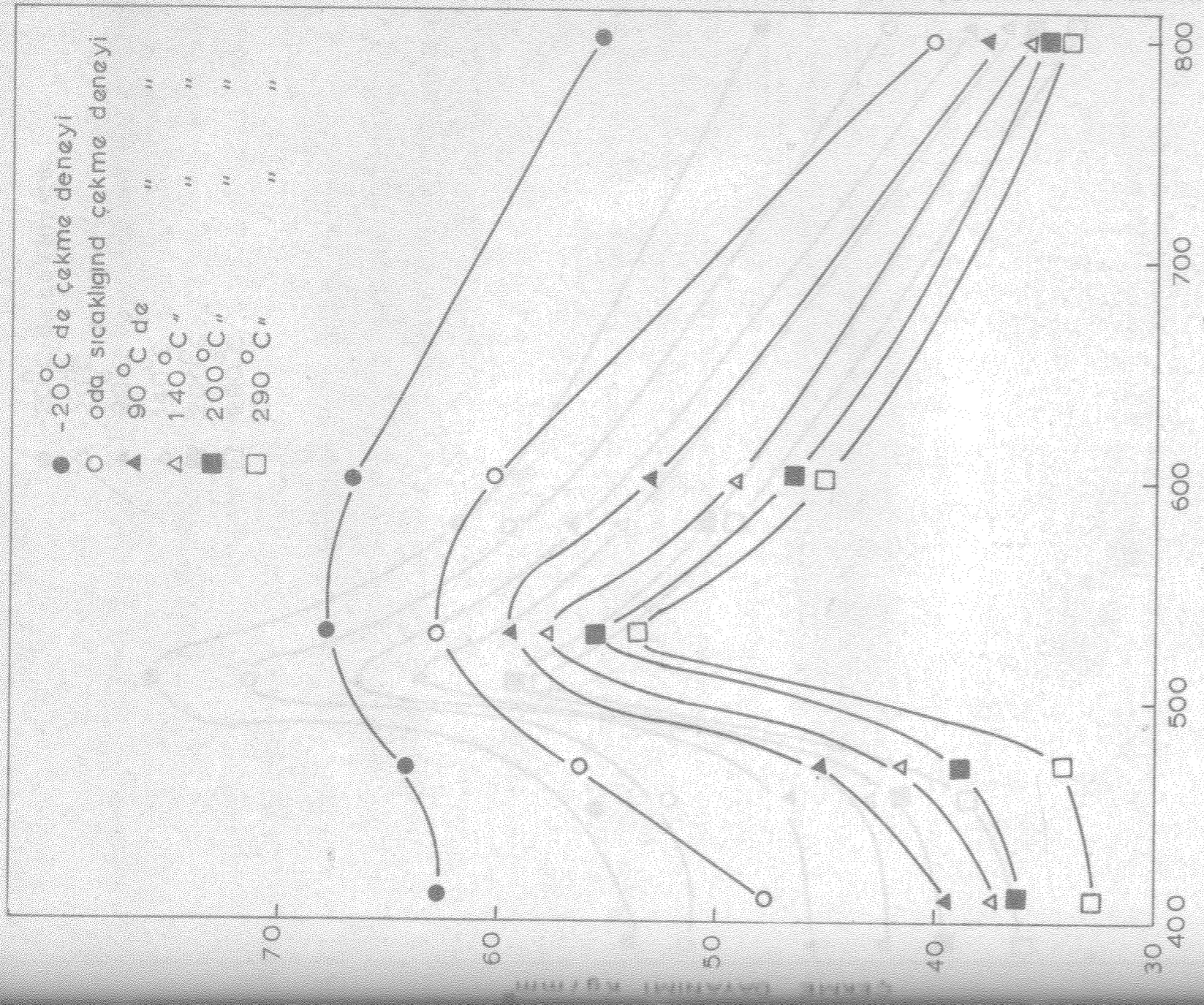
Birinci kısım deneyler için hızlı ısıtma ile ostentite dönüşürülen malzemelerin belirli sıcaklıklarda çekme deneyi yapılmıştır. Bulunan sonuçlar oldukça enteresan olup yavaş ısıtma ile elde edilen neticelere hiç benzememektedir.

Ostentit çekme dayanımı ostentitleme sıcaklığının 420° C derecesinden itibaren arttırılması ile artmış ve bu artış 530° C dereceye kadar devam etmiştir. 530° derecenin üzerindeki ostentitlemeler için

ise çekme dayanımı ısı arttıkça bir düşme kayıtlı etmiştir. En yüksek ostenit çekme dayanımı, çekme deneyi hangi sıcaklıktaki yapıyla yapılsın daima 530° C derecelik ostenitleme işleminden sonra bulunmuştur. Örneğin, oda sıcaklığında yapılan çekme deneylerinde 420° C derecelik ostenitlemeden sonra bulunan değer 48 kg/mm² olup 530° C derecelik ostenitlemeden sonra bu 63 kg/mm² ye yükselmiş, ostenitleme 800° C de olduğu vakit tekrar azalarak en düşük değeri olan 40 kg/mm² düşmüştür. Şekil 16 çeşitli sıcaklıklarda bulunan çekme dayanımının ostenitleme sıcaklığı ile değişimini vermektedir.

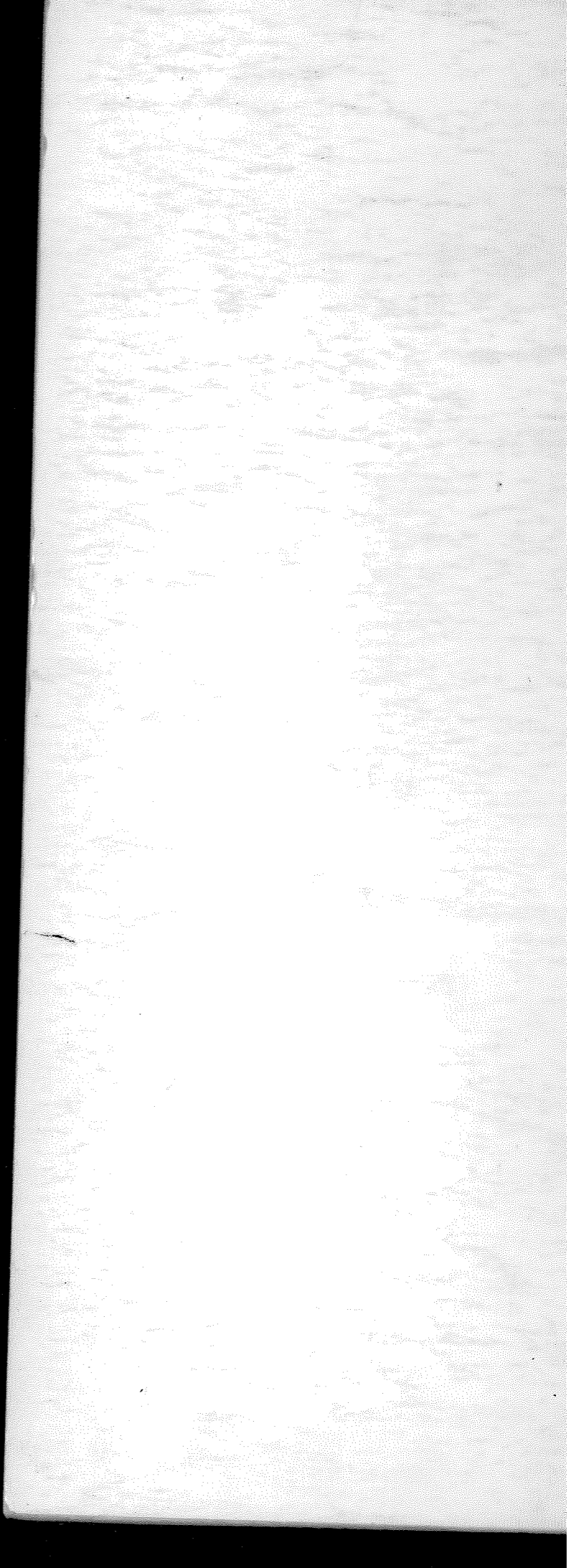
Akma sınırının ostenitleme koşulları ile değişimi için de çekme dayanımında bulunan şeyler söylenebilir, şu farkla ki ostenitleme sıcaklığı akma sınırına, çekme dayanımından daha fazla etkilemektedir. Yine oda sıcaklığındaki akma sınırının örnek alacak olursak 420° C derecedeki ostenitlemeden sonra akma sınırının 45 kg/mm² olduğu, 530° C derecedeki ısı işlemden sonra bunun 61 kg/mm² ye yükseldiği ve 800° C dereceden sonra ise tekrar 37 kg/mm² ye düştüğü görülür. Akma sınırı da çekme dayanımı gibi 530° C derecede en yüksek değerine ulaşmıştır. Şekil 17'de akma sınırı ile ostenitleme sıcaklığı arasındaki ilişki verilmiştir. En düşük akma sınırı ve çekme dayanımı 800° C derecedeki ostenitlemeden sonra bulunmuştur.

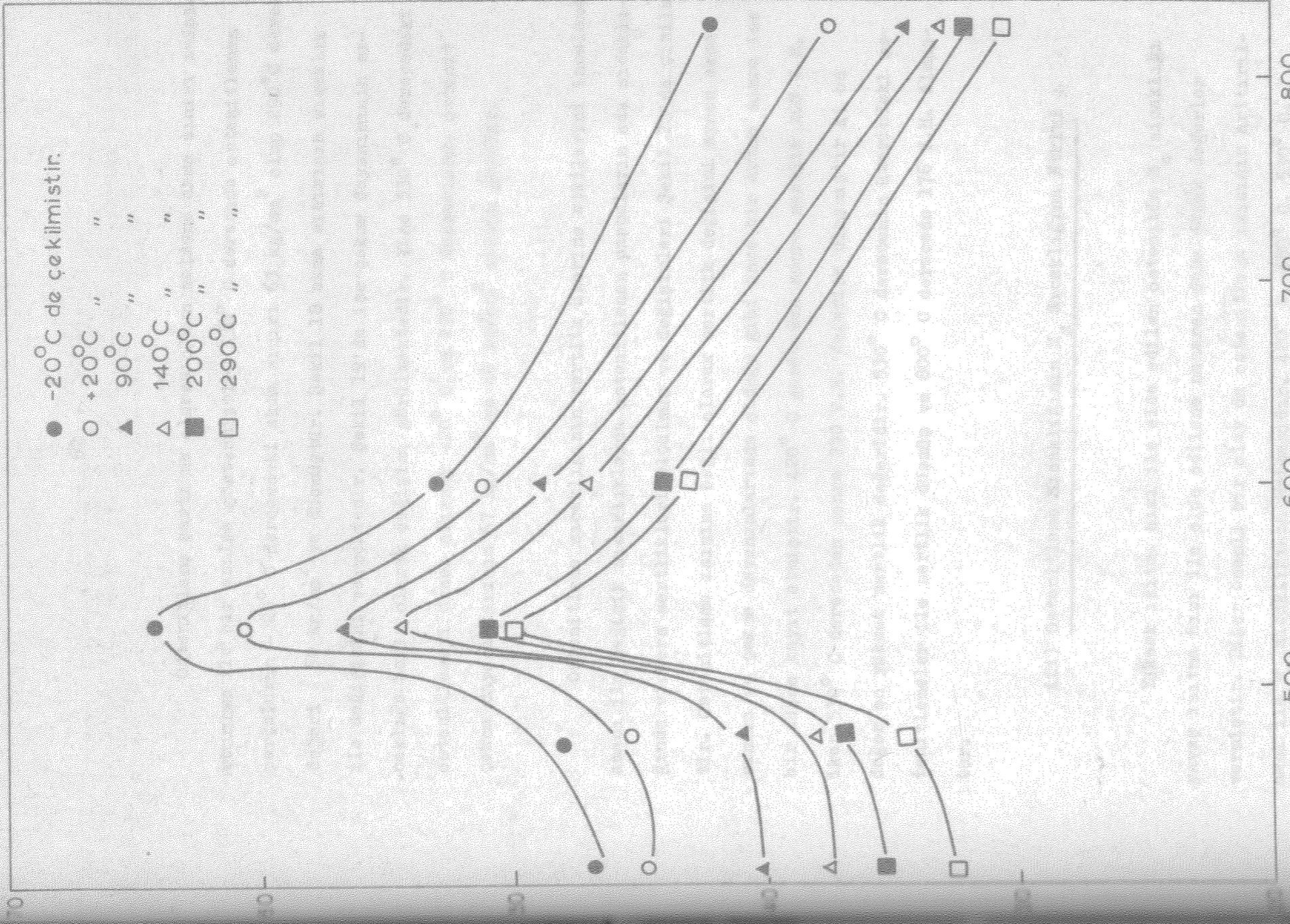
Belirli bir iç yapıya sahip ostenitin mekanik özelliklerinin sıcaklık ile değişimini incelemek amacı ile -20° C, 20° C, 90° C, 140° C, 200° C ve 290° C derecelerde çekme deneyleri yapılmıştır.



ŞEK.16 OSTENİT ÇEKME DAYANIMI İLE OSTENİTLEME DEREJESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma hızı 10°C/sn.)

Handwritten notes in Turkish, likely a student's report or lab notes, discussing the relationship between austenitization temperature and yield strength. The text is partially obscured and difficult to read due to the image quality.





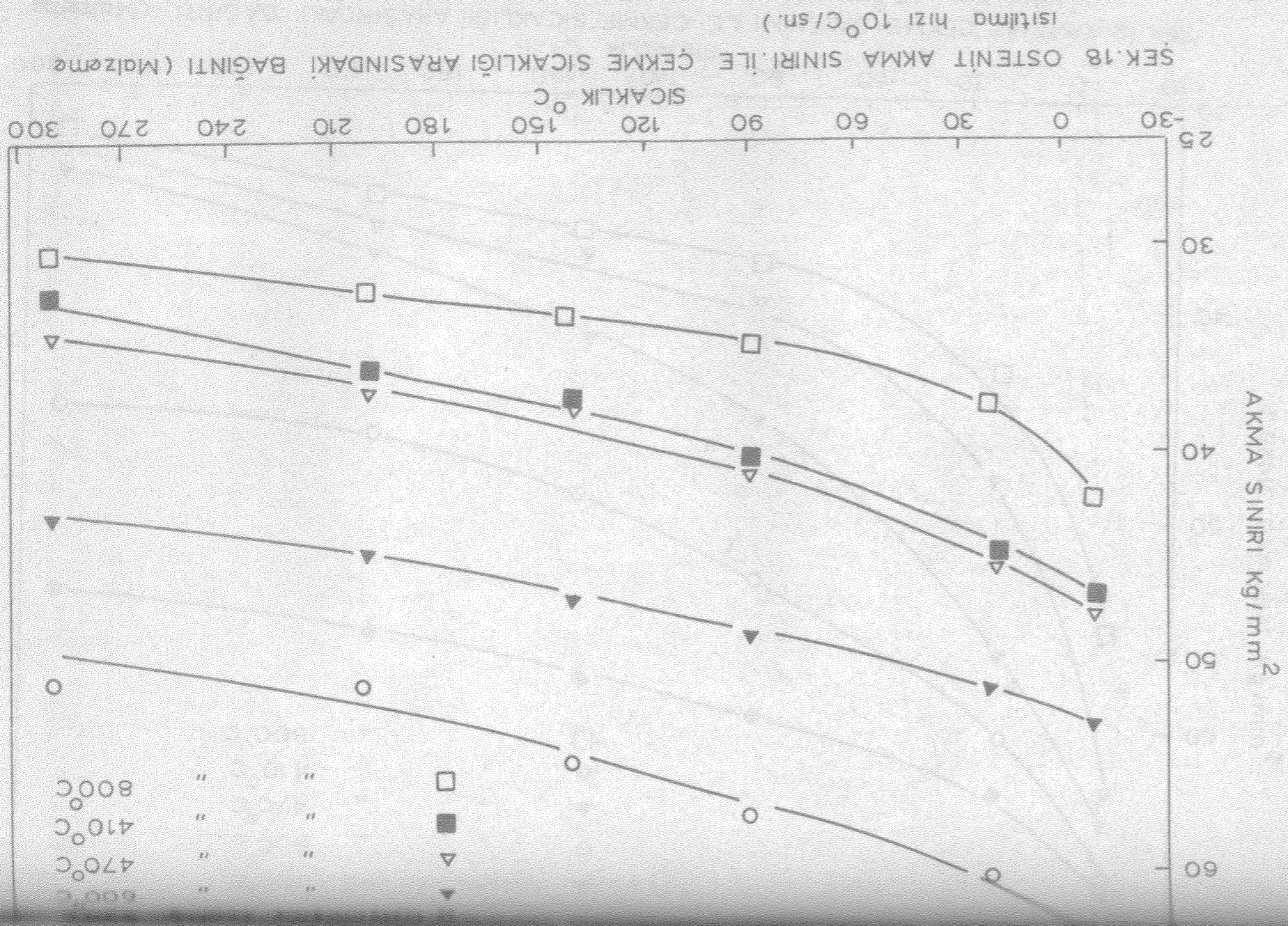
SEK.17 OSTENİT AKMA SINIRI İLE OSTENİTLEME DERECESİ ARASINDAKİ BAĞINTI (Malzeme ısıtma hızı 10°C/sn.)

Ostenitleme şartı ne olursa olsun malzeme akma sınırı ısının arttırılması ile bir azalma göstermiştir. 530° C derecede ostenitlenen parçaların - 20° C derecedeki akma sınırı 63 kg/mm² olup 290° C derecedeki değeri 50 kg/mm² ye düşmüştür. Şekil 18 akma sınırının sıcaklık ile değişimini vermektedir. Şekil 19'da ise çekme dayanımının sıcaklığa bağlı olarak değişimi görülmektedir. Yine 530° C derecedeki ostenitlemeyi örnek alırsak -20° C ve 290° C derecelerde ostenit çekme dayanımlarının 67 kg/mm² ve 45 kg/mm² olduğu görülmür.

Ostenitleme sıcaklığının sertlik üzerine etkilerini incelemek amacı ile değişik sıcaklıklarda ostenitlenen parçaların oda sıcaklığında vickers sertlikleri ölçülmüş ve değişimleri Şekil 20'de çizilmiştir. Ostenitleme ısısına bağlı olarak sertlik değişimi aynen akma sınırı ve çekme dayanımlarında olduğu gibi önce bir artma sonra ise bir düşme kayıt etmiştir. 420° C dereceden sonra sertlik 200 V.H. iken 530° C dereceden sonra 230 V.H. değerine ulaşmıştır ki bu değer en yüksek sertlik değeridir. 530° C derecenin üzerindeki ostenitlemeler ile sertlik düşmüş ve 800° C derecede 176 V.H. almıştır.

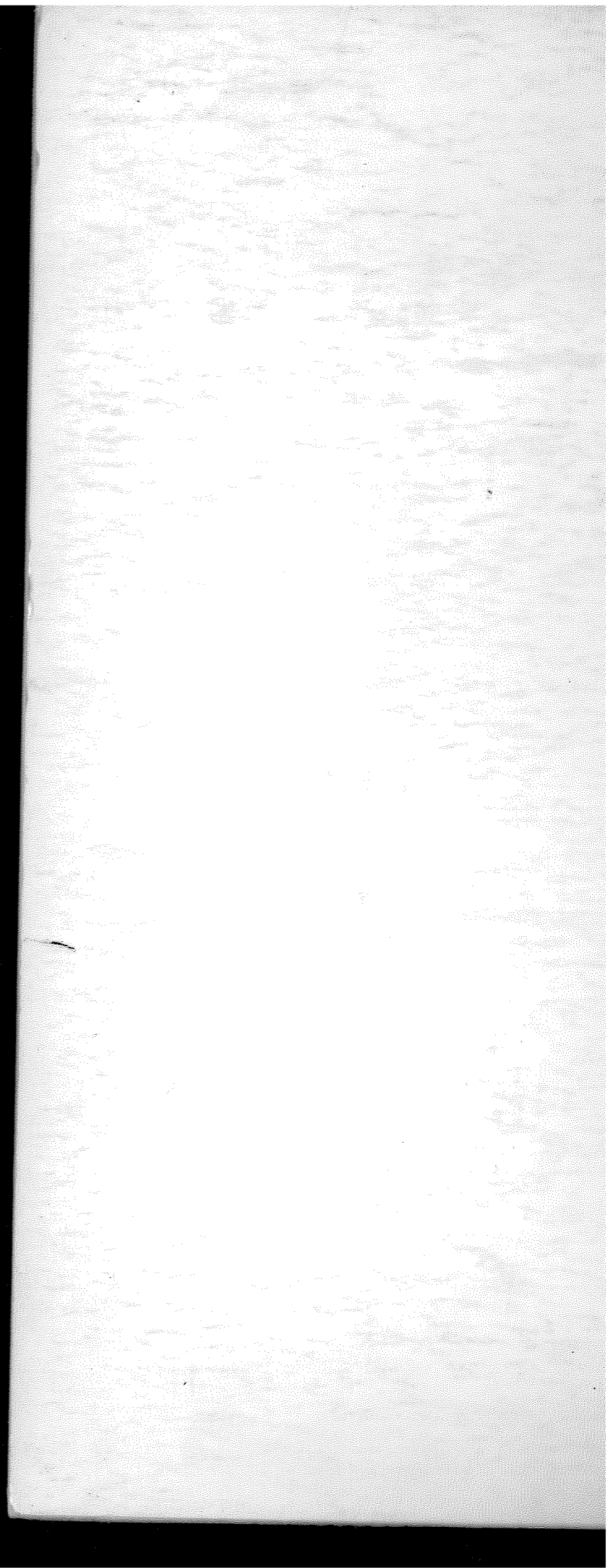
iii) Ostenitleme Sıcaklığının M_s Sıcaklığına Etkisi :

Yüksek ısıtma hızı ile elde edilen ostenitin M_s sıcaklığı yavaş ısıtma hızı ile elde edilene nazaran daha düşük değerler vermiştir. Diğer önemli bir olay da ostenitleme ısısının arttırılması ile M_s sıcaklığının artmasıdır. 420° C, 480° C, 530° C, 600° C ve 800° C derecelerindeki kısa süreli ostenitlemeler için

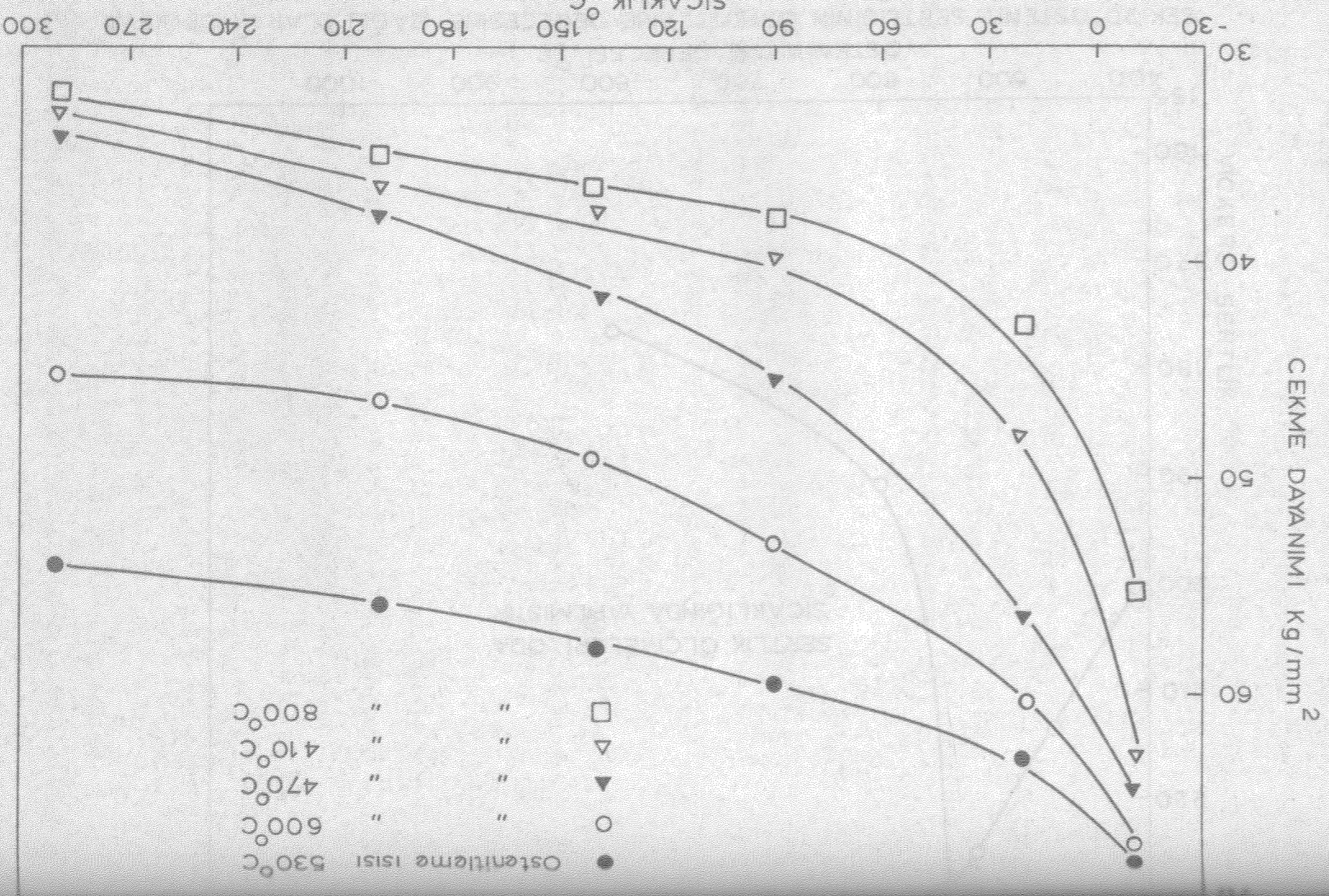


İle değiştiğini ortamı koymuştur. Oda sıcaklığındaki çekme dayanımı

800°C de çekme dayanımı 40 kg/mm² olarak bulunmuştur. Bu değer, 410°C'de çekme dayanımından %20 daha yüksektir. Çekme dayanımının sıcaklıkla artması, malzemenin malzeme yapısındaki değişimlerle ilişkilendirilmelidir. Özellikle 410°C'de çekme dayanımının artması, malzemenin malzeme yapısındaki değişimlerle ilişkilendirilmelidir. Özellikle 410°C'de çekme dayanımının artması, malzemenin malzeme yapısındaki değişimlerle ilişkilendirilmelidir.



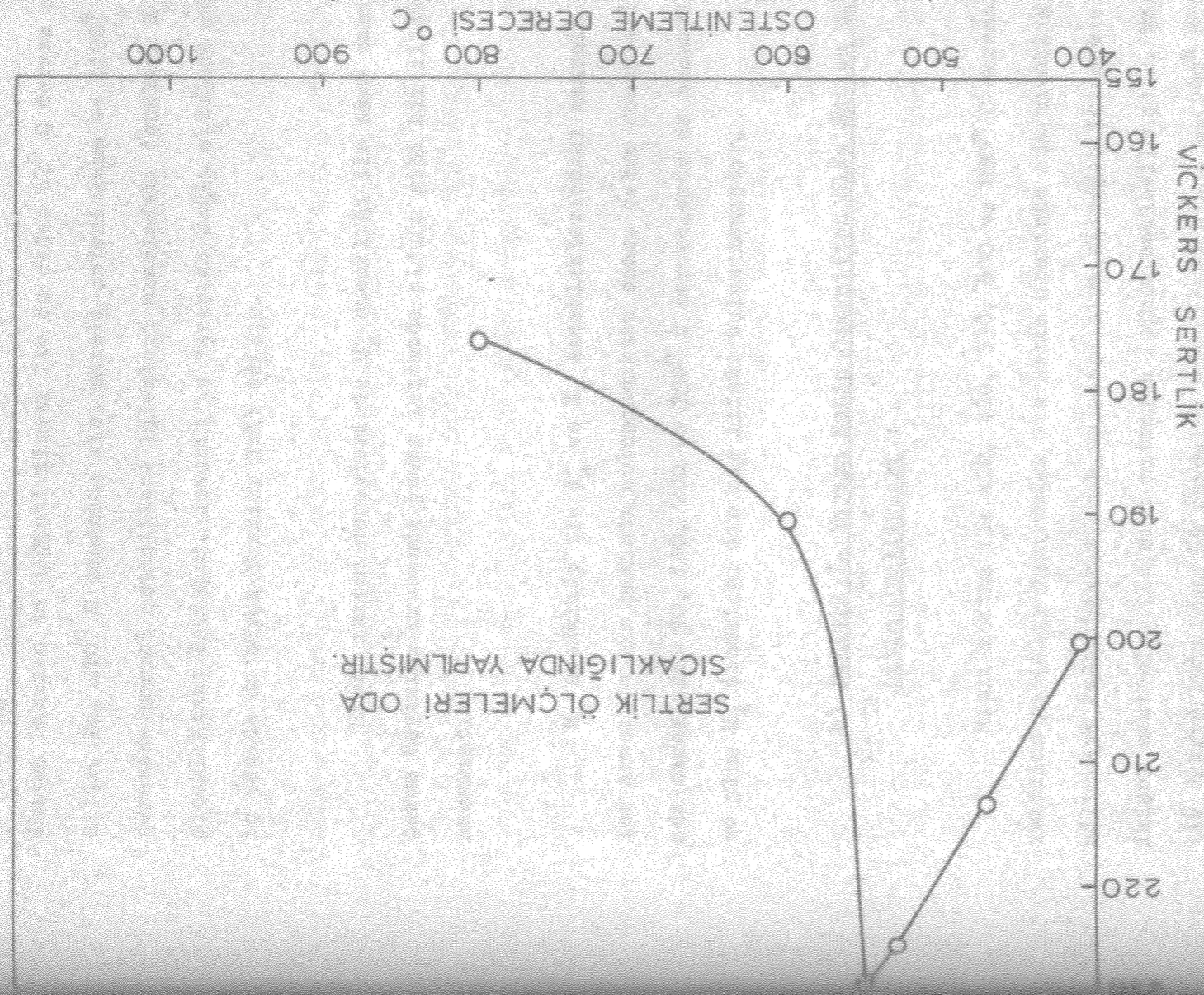
ŞEK. 19 OSTENİT ÇEKME DAYANIMI İLE ÇEKME SICAKLIĞI ARASINDAKİ BAĞINTI (Matzeme ısıtılma hızı 10°C/sn.)



ile değiştirildiği ortamı koymuştur. Oda sıcaklığındaki çekme dayanımı



ŞEK. 20 OSTENİT SERTLİĞİNİN OSTENİTLEME DERECESİNE BAĞLI OLARAK DEĞİŞİMİ
(Isıtma hızı 10°C/sn.)



İle değişmediğini ortaya koymuştur. Oda sıcaklığındaki çekme dayanımı

500°C
400°C
300°C

ŞEK. 21

bulunan M_s sıcaklıkları $-90^\circ C$, $-73^\circ C$, $-69^\circ C$, $-65^\circ C$ ve $-37^\circ C$, olmuştur. Ostenitleme sıcaklığını ayarlamak sureti ile M_s sıcaklığında $\Delta M_s = 53^\circ C$ derece gibi bir değişime sağlanabilmektedir. Isıtma hızının da değiştirilmesi ile bu değer $67^\circ C$ derece olabilir. Bu, $420^\circ C$ derecede kısa süreli ostenitleme ve $1100^\circ C$ derecede normal ostenitleme işlemleri arasındaki farktır. M_s sıcaklığının değişimi, ostenit iç yapısına bağlı olduğuna göre, iç yapıda da büyük farklar ümit edilir.

Hızlı ısıtma deneylerinde M_s sıcaklığı ile akma sınırı veya çekme dayanımı arasında yavaş ısıtmada olduğu gibi bir ilişki bulunmamıştır.

M_s sıcaklığı ile T_c ve M_s sıcaklıklarındaki mekanik özellikler arasında bir bağlantı bulunmadıktan sonra çekme deneyleri $-20^\circ C$, oda sıcaklığı, 90 , 140 , 200 ve $290^\circ C$ derecelerde de tekrarlanmış ve yine M_s sıcaklığı ile bir ilişki bulunmamıştır.

b) Değişik İç Yapıya Sahip Ostenitten Elde Edilen Martensitin Özellikleri :

Hızlı ısıtma ile 420 , 480 , 530 , 600 ve $800^\circ C$ derecelere ısıtılan parçalar önce soğuk bir zemin üzerinde oda sıcaklığı erişilinceye kadar bekletilmiş ve sonra sıvı nitrojen içine atılarak ikişer saat süre ile sıvı nitrojen içinde bekletilmiştir. Martensitik dokuyu haiz olan bu parçalar oda sıcaklığında ve $290^\circ C$ derecede çekme deneyine tâbi tutularak mekanik özellikleri tesbit edilmiştir. Beş ayrı sıcaklıkta ostenitlenen parçaların deney neticeleri martensit dokusunun mekanik özelliklerinin ostenitleme sıcaklığı ile değişmediğini ortaya koymuştur. Oda sıcaklığındaki çekme dayanımı

İçin bulunan değerler $79 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ olup ısıtma hızına da bağlı değildir. Yalnız akma sınırında yavaş ısıtmaya nazaran çok az bir fark bulunmuştur. Yavaş ısıtma için $70 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ olan bu değer hızlı ısıtma için $73 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ dir.

290°C derecede yapılan deneylerde çekme dayanımı ile akma sınırı aynı noktalar olarak tesbit edilmiş, diğer bir deyişle malzeme çekme dayanımı ile akma sınırı yavaş ısıtmada olduğu gibi üst üste çakışmıştır. Hızlı ısıtma için bulunan bu değerler $70 \pm 3 \text{ kg/mm}^2$ dir ve yavaş ısıtmaya nazaran biraz daha fazladır.

Martensit linekliliği hızlı ısıtma ile değişmemiştir ve oda sıcaklığında % uzama miktarı % 20 olarak kalmıştır. % uzama, ostentleme sıcaklığı ile de değişmemiştir.

IV. Plastik Olarak Deforme Edilmiş Ostenitin Özellikleri :

Ostentleme şartları ile yüzey merkezli küp yapıyı haiz olan ostent özelliklerinin değiştiğini gördük. Bu fark martensitin geri martensitik transformasyon ile ostentte dönüşümü sırasında ostent iç yapısında meydana gelen değişiklikten ötürüdür. Ostenit iç yapıyı değiştirmenin diğer bir yolu ise ostenttin plâstik olarak deforme edilmesidir. Plâstik deformasyon sırasında kristaller dislokasyonlar ile dolmaya başlarlar. Başlangıçta kristal içindeki dislokasyon yoğunluğu homojen değildir. Kristallerin bazı bölgeleri yüksek dislokasyon yoğunluğuna bazı bölgeleri ise düşük bir dislokasyon yoğunluğuna sahiptir. Deformasyon miktarı arttıkça homojen dislokasyon yoğunluğuna doğru bir gidiş olabilir. Bu meydana meydana gelen

dislokasyon yığımları, karışımları (tangle) ve nokta hataları ostenit iç yapısını değiştirir. Geri martensitik transformasyon veya plâstik deformasyon sonucu aynı mekanik özelliklere sahip olan ostenitlerin benzer iç yapıya sahip olması beklenebilir.

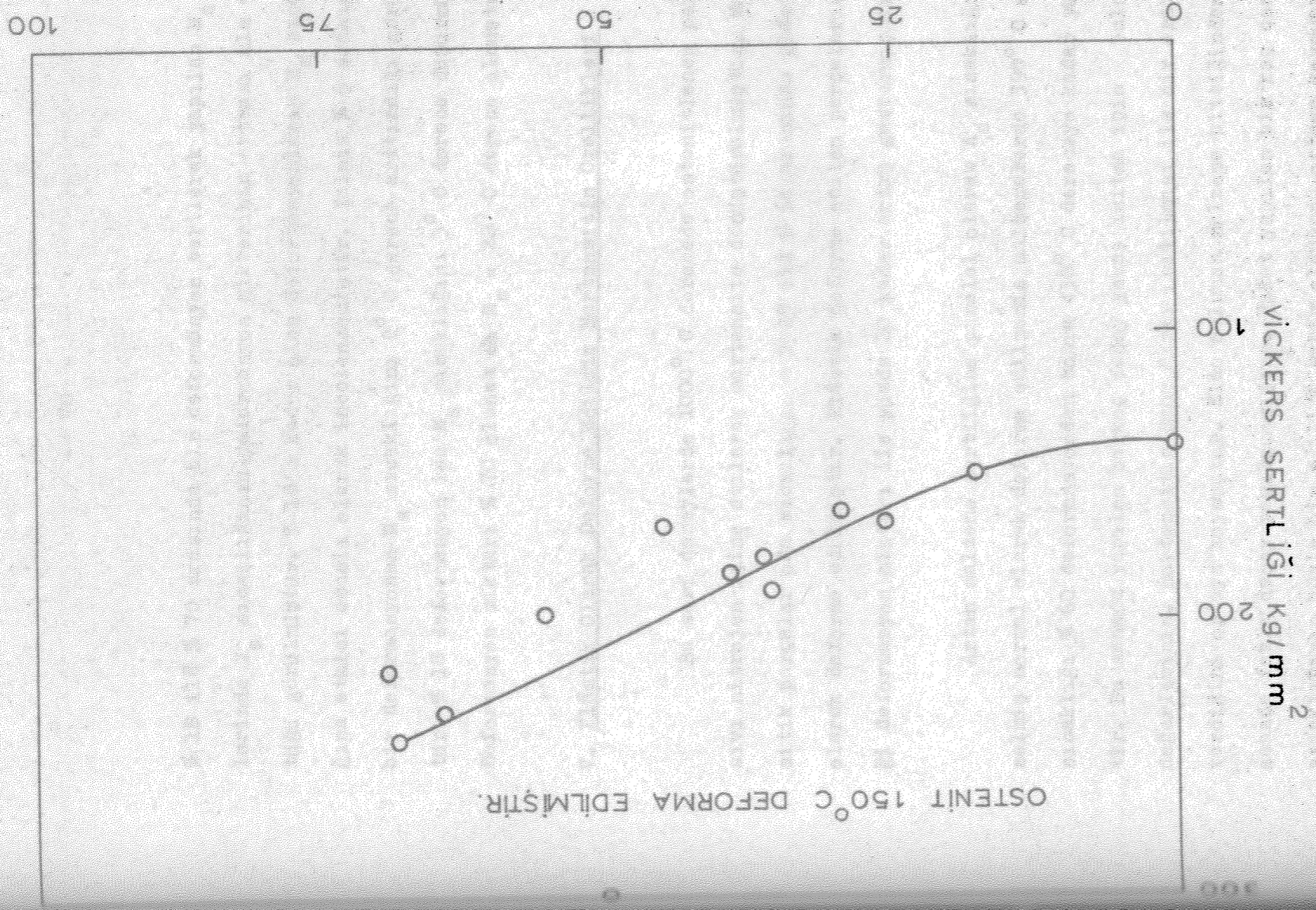
a) Deformasyon Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi :

Yukarıda adı geçen özelliklerin tesbiti için bazı deneyler yapılmıştır. Malzemeler önce 1100° C derecede 15 dakika tavllanmış sonra fırın içinde ve vakum altında soğutulmuştur. Fe - % 30 Ni alaşımında M_d derecesi yaklaşık olarak 100° C derece civarında olduğundan fırından çıkarılan deney parçaları 150° C dereceye değişik miktarlarda deforme edilmiştir. Seçilen dokuz değişik deformasyon miktarları % 1, % 25.7, % 29.75, % 36.8, % 45.5, % 50.5, % 56, % 65 ve % 70 dir. 150° C derecede deforme edilen malzemelerin oda sıcaklığında sertlikleri ölçülmüş, bulunan neticeler Şekil 21'de verilmiştir. Deformasyon miktarı arttıkça malzeme sertliği de artmıştır. % 18 deformeden sonra sertlik 140 BHN iken % 70 deformeden sonra bu sertlik 240 BHN'ne ulaşmıştır. 150° C derecede deforme edilmiş parçaların (çekme gubuğu yapılmadığından) çekme deneyleri yapılmamıştır. Fakat akma sınırının sertlik artışına uygun olarak artacağı düşünüldürse deformasyon miktarının artması ile akma sınırında da bir artış beklenir.

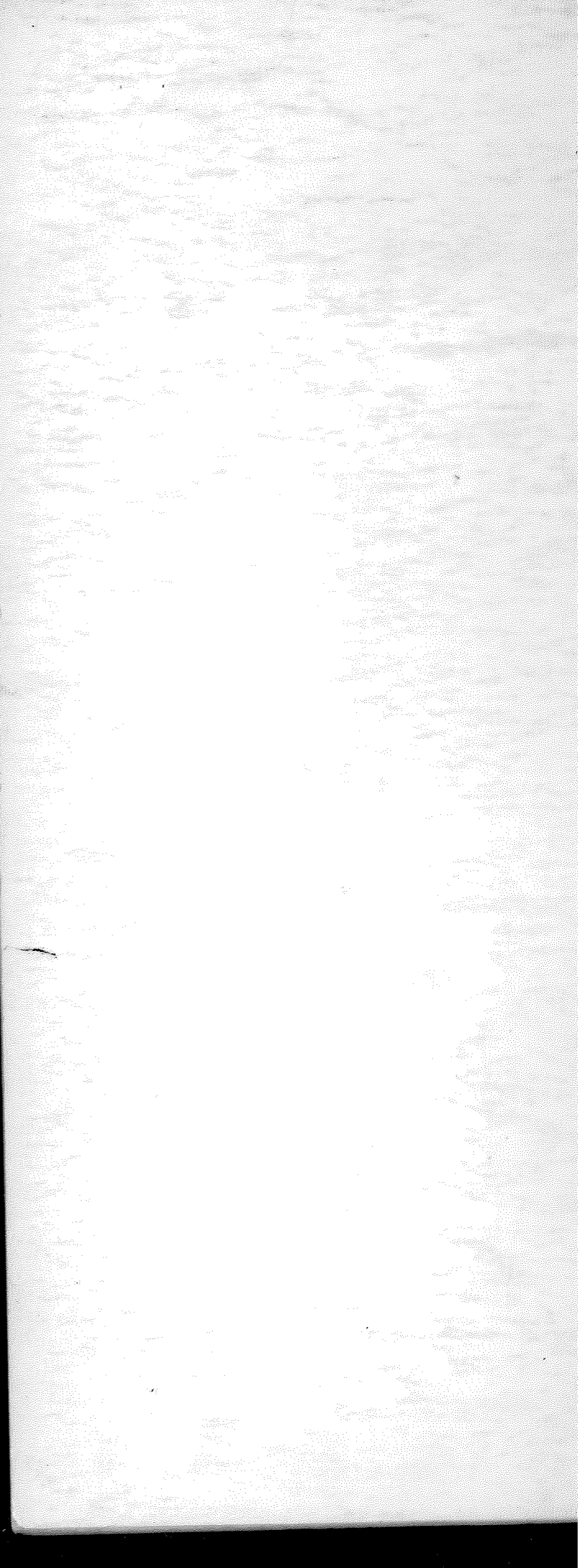
b) Plâstik Deformasyon Miktarının M_s Sıcaklığına Etkisi :

M_d sıcaklığı üzerindeki sıcaklıkta plastik olarak deforme edilen ostenitik parçalar, sıfır altı sıcaklıklara soğutularak M_s sıcaklıkları ısı analizörde tesbit edilmiştir. Malzemelere

ŞEK. 21 PLASTİK DEFORMASYON YÜZDESİ İLE OSTENİT SICAKLIĞININ DEĞİŞİMİ.
% PLASTİK DEFORMASYON MİKTARI



OSTENİT 150°C DEFORMA EDİLMİŞTİR.



% 18 ilâ % 70 arasında bir deformasyon verilerek yapılan M_s tayinlerinde M_s sıcaklığının deformasyon miktarının artması ile düşüğü görülmüştür. % 18'e kadar olan deformasyonların M_s sıcaklığına etkisi esaslı olarak incelenmemiştir. Yalnız % 5 oranında bir deformasyonun M_s sıcaklığını $2^\circ C$ derece arttırdığı görülmüştür. % 18 deformasyon ise M_s sıcaklığını $3^\circ C$ derece düşürmüştür. Deformasyon miktarı % 70 olunca $M_s = 28^\circ C$ derece olmuştur.

V. Plâstik Olarak Deforme Edilmiş Martensitin Özellikleri :

Bu seri deneylerde $1000^\circ C$ derecede ostentilenen parçalar sıvı nitrojen içine atılarak martensite dönüştürülmüştür. Martensitik parçalar oda sıcaklığında % 25 ilâ % 64 arasında plâstik olarak deforme edilmiştir. Plâstik deforme edilen parçaların sertleştiği deformasyon miktarı ile yüzde 20 kadar artış göstermiştir.

Artan malzeme sertliğine paralel olarak A_s sıcaklığı da yükselmiş normal olarak deforme edilmiş malzemelerde $390^\circ C$ olan A_s sıcaklığı % 60 deformasyondan sonra $430^\circ C$ dereceye kadar yükselmiştir. Bu sahada yapılan birkaç deney yavaş ısıtma için bulunan A_s değerlerinin, martensitin daha hızlı ısıtılması ile bir artış gösterdiğini ortaya koymuştur. Elde bulunan malzeme bittikten bu sahada fazla deney yapılamamıştır. Fakat yapılan bir kaç deney A_s sıcaklığının böyle bir eğilime sahip olduğunu ortaya koymuştur.

NETİCELERİN TARTIŞILMASI

I. GİRİŞ

Deney neticelerinin değerlendirilmesi, bulunan sonuçların nedenlerinin izahı ile mümkündür. Açıklanması gereken konular ; martensit-ostenit dönüşümünde meydana gelen olaylar, ısıtma hızının ve sıcaklığın bunlara etkileridir.

Seçilen malzemede karbon bulunmadığından martensit A_s sıcaklığı üzerinde doğrudan doğruya ostenite dönüşmekte, A_s sıcaklığı altında ise temperlenme v.s. gibi bir işleme maruz kalmamaktadır. Dönüşüm A_f sıcaklığında nihayete bulmaktadır.

II. Yavaş Isıtma Neticelerinin Değerlendirilmesi

Yavaş ısıtmada A_s transformasyonu A_s sıcaklığında difüzyon mekanizması ile başlamaktadır. Dilatometrik eğrilerin yardımı ile yapılan hesaplarda difüzyon mekanizması ile olan dönüşümün % 5 civarında olduğu müşahade edilmiştir. Difüzyon mekanizmasından sonra transformasyon bir kayma mekanizması (Martensitik) ile devam etmiş ve nihayet bulunmuştur. Bir miktar ostenite dönüştürülmüş parçalar üzerinde görülen ve ostenit miktarının artması ile çoğalan parlatılmış parça yüzeyi üzerindeki A_f inteli ve çukurluklar transformasyonun martensitik olduğunu teyid etmiştir.

Ostenit çekirdeklerinin meydana gelmesini kontrol eden unsurlar transformasyon başlama sıcaklığı olan A_s sıcaklığını tayin etmektedir. Bu unsurlar hacim serbest enerjisi ve yüzey serbest enerjisidir. Hacim serbest enerjisi elastik uzama ve dolayısıyla elastik gerilme fonksiyonu olan kafes parametresi ve malzemenin bileşimine tâbidir. Yüzey serbest enerjisi yüzeyi teşkil eden dislokasyonlardan ileri gelmektedir, ve malzemenin bileşimine tâbi değildir. Fakat yüzey serbest enerjisi kayma ile meydana gelecek fazın doğrultusu ile değişebilmektedir. ^x (21)

Ostenit ve martensit kafeslerinin bağlı olması dolayısıyla transformasyon sırasında kafeste bir gerilme mevcuttur. Gerilme enerjisi ve ara yüzeydeki dislokasyonlar, hacim serbest enerjisine karşı koyarak transformasyonun T_0 sıcaklığı yerine A_s sıcaklığında başlamasına sebep olur. A_s sıcaklığının ostenitleme şartları ile değişmemesi, ostenitleme koşullarının adı geçen fonksiyonları etkilemediğini gösterir.

(x) α ve γ fazları arasında bulunan doğrultu ilişkileri $\gamma \rightarrow \alpha$ transformasyonunda bulunduğu gibi geri martensitik transformasyonlarda da mevcuttur. (22) Doğrultu ilişkilerinin mevcudiyeti metalografik ve x-ışını çalışmalarını ile de desteklenmektedir. Bununla beraber geri martensitik transformasyon sırasında rastgele dağılımı ostenit kristallerine de rastlanmaktadır.

Ostenite dönüşüm martensitik bir transformasyon olduğuna göre bir kayma ile meydana gelecek ve hacim değişimi ile birlikte fazların plastik olarak deforme olmasını sağlayacaktır. Umumiyetle deformasyon daha yumuşak olan fazda meydana geleceğinden bu deformasyon esas olarak ostenit fazına münhasır olacaktır.

Deformasyon, ister harici bir etken altında (mekanik olarak) ister transformasyon sonucu meydana gelsin

- a. İkiz teşekkülü
 - b. Kaba veya ince kayma
 - c. Deformasyon bandı
 - d. Hücre ve talî yapı teşekkülü
 - e. Tane sınırı hareketi
- ile olur. Sıcaklık ve malzemeye tatbik edilen uzama hızı deformasyonun hangi tipte olacağını tayin eden unsurlardır. Örneğin, ikiz teşekkülü düşük sıcaklıkta ve tane sınırı hareketleri yalnız yüksek sıcaklıkta olur. M_s sıcaklığının düşük olduğu hallerde martensitik transformasyon neticesi martensit kristalleri içinde büyük ölçüde ikizlerin teşekkülü müşahade edilmiştir. (23)

Sırası ile düşük ve yüksek sıcaklıklarda deforme edilmiş yüzey merkezli küp yapıyı haiz malzemeler mikroskop altında incelenecek olursa ilkinde ince diğeri ise daha kalın kayma çizgileri görülür. Keza % 5 - 10 oranında martensite dönüştürülmüş

ostenit içinde ve martensit kristallerinin uçlarına yakın yerlerde kayma çizgileri görülebilir. Ostenit-Martensit dönüşümünde %4'e yakın bir hacim artışı osteniti plâstik olarak deforme eder ki martensit kristallerine yakın noktalarda kayma çizgilerinin görünmesi bu sebeptendir.

Metallerin düşük veya yüksek sıcaklıkta deforme edilmesi taneleri daha küçük ünitelere ayırır. Tanelerin daha küçük ünitelere ayrılması geri martensitik transformasyon sırasında meydana gelen birinci dereceden bir olay olduğu kuvvetle tahmin edilmektedir. Genel olarak ünitelerin birbirlerine göre doğrultu farkı çok azdır ve büyüklükleri ise 1 mikron civarındadır. Bu ünitelere tâli tane, hücre, tâli yapı veya domen denilmektedir. Hücre sınırlarındaki dislokasyon yoğunluğu yüksek olup hücre içine doğru bu yoğunluk süratle azalır. Hücre yapısı, daha ziyade demir-nikel alaşımlarında olduğu gibi atom yığılma hata enerjisinin yüksek olduğu malzemelerde görülür ki bu da çapraz kaymanın hücrenin meydana gelmesi için gerekliliğine bir işarettir.

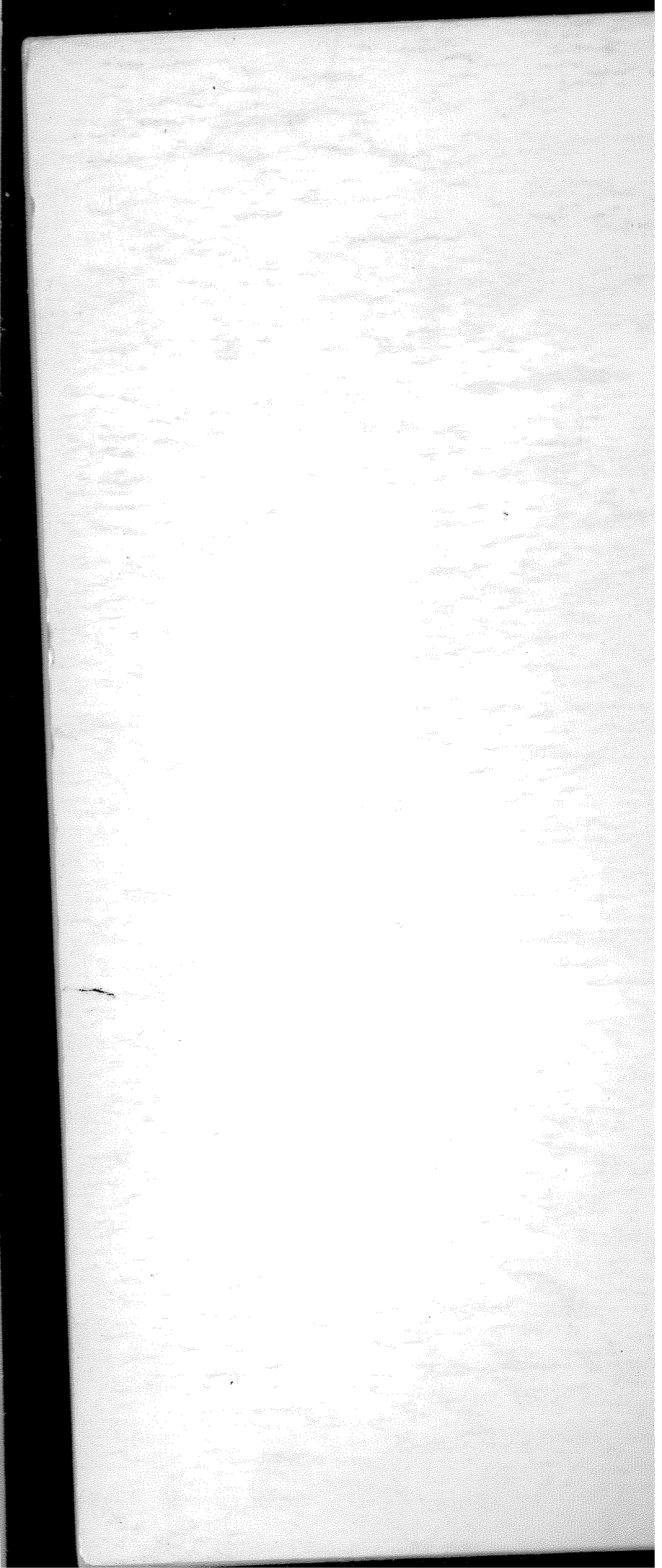
Sonuç olarak, Fe-Ni alaşımında, geri martensit transformasyonun hücre yapısını teşvik ederek ostenit dislokasyon yoğunluğunu ve dolayısıyla malzemenin sertlik, çekme dayanımı, akma sınırı gibi mekanik özelliklerini arttırdığı söylenebilir. Ostenitin harici etkenler altında plâstik deforme

edilmesi. Bu da aynı sonuçları doğuracağı düşünülecek olursa plâstik deformasyon ile geri martensit transformasyonun eşdeğer olduğu neticesine varılabilir. Deforme edilmiş bir malzeme ısıtıldığı zaman nasıl soğuk işlemin etkileri ortadan kalkıyor ise östenitleme sıcaklığının arttırılması ile geri martensit transformasyonun etkileri ortadan kalkmaktadır.

Ostenitleme sıcaklığı ile, östenit tane boyutlarının, malzeme akma sınırı ve kopma dayanımının, sertliğinin, hadde edilebilme özelliğinin ve M_s sıcaklığının değiştiği yapılan deneylerle görülmüştür. Şimdi bu gözlemlerin izahlarını yapalım.

a. Ostenitleme sıcaklığının, östenit tane boyutlarına etkisi

Bir matriks içinde, yeni fazın kristalleri meydana gelen bir hacim değişimi ve dolayısıyla bir gerilme olacaktır. Bu gerilme enerjisi bağlı bir transformasyonda bağlı olmayan transformasyona nazaran çok daha fazladır. Ostenite dönüşüm, martensitik bir transformasyon olup, transformasyon sırasında meydana gelen hacim değişimi östeniti deforme etmekte ve östenit dislokasyon yoğunluğunu değiştirmektedir. Dislokasyonların yoğun olduğu yerlerde tekrar kristalleşme için çekirdekler (nuclei) husule gelmektedir. Çekirdeklenme ısıll olarak aktive edildiğinden yüksek sıcaklıkta ve uzun zamanlarda çekirdeklerin meydana gelme probabilitasini artmaktadır.



Ostenit tane boyutları, çekirdeklenme ile çekirdeklerin büyüme hızı arasındaki dengeye tabidir. Tekrar kristalleşmenin sona ermesi halinde dehi taneler denge durumuna erişemezler ve büyüme devam edebilirler. Her ne kadar tane büyümesi birçok faktörlerin etkisi altında oluyor ise de zaman ve sıcaklığın tane boyutlarını arttırması beklenir.

420° C, 480° C, 530° C, 600° C ve 800° C derecelerde yapılan deneyler ostenit tane ölçülerinde göze çarpan bir artma olmadığını göstermektedir. Bu sıcaklıklarda bulunan ostenit tane çapları sırası ile 0.133, 0.130, 0.129, 0.134, 0.136 mm dir. Parçalar, 15'er dakikalık bir ostenitlenmeye tâbi tutulduklarından bu zamanın tane boyutlarını denge durumunun sağlanması için çok kısa olduğu düşünülebilir. Tanelerin büyümesinde zamandan çok sıcaklığın etkisi olduğundan çeşitli ostenitleme sıcaklıklarının değişik tane ölçülerini meydana getirmesi icabederdi. Fakat çok az da olsa tane sınırına dağılmış maddeler, tekrar kristalleşme ile taneler arasındaki doğrultu farklarının artması v.s. gibi faktörler tanelerin büyümesi için gerekli itici kuvveti azaltır. Böylece tanelerin büyümesi iyice yavaşlar. Kullanılan demir-nikel alaşımında, ostenitleme sıcaklığı ile tane boyutlarının değişmesi, yukarıda yapılan açıklamadan anlaşılacağı gibi mümkün görülmemektedir.

Malzemelerde, küçük taneler yanında gayet iri tanelerde rastlanması tekrar kristalleşmenin olduğunu göstermektedir. Bu olay sırasında bazı taneler küçülüp ve hatta kaybolurken, bazı taneler ise anormal şekilde büyümüştür.

Tane doğrultusunun elverişli oluşu, tane çekirdeklerinin yeri, transformasyon esnasındaki deformasyonun homojen olmayışı, komşu tanelerin doğrultusu, tane sınırındaki yabancı maddelerin dağılımı gibi faktörler bazı tanelerin anormal büyümesine yol açabilir. Böylece irili ufaklı tanelerin ostenitleme sıcaklığı ile muhtemelen değiştiği malzemelerde, ortalama tane boyutları 800° C dereceye kadar sabit kalmıştır.

Denciler, malzeme ancak 1100° C'de tavlандığı zaman tane boyutlarında bir miktar büyüme göstermiştir. Küçük taneler ille birlikte çok iri tanelere de rastlanması ortalama tane çapını 0.130 mm den 0.155 mm'ye yükselmiştir.

Ostenit tane boyutları arttıkça plâstik deformasyona karşı koyan direng azaldığından, malzeme mekanik özelliklerinde bir azalma olur. Fakat ostenitleme sıcaklığı ile değişen mekanik özelliklerin izahı ostenit tane boyutları ile yapılamayacak derecede büyüktür.

Malzemelerde, küçük taneler yanında gayet iri tanelere de rastlanması tekrar kristalleşmenin olduğunu göstermektedir. Bu olay sırasında bazı taneler köçülüp ve hatta kaybolurken, bazı taneler ise anormal şekilde büyümüştür.

Tane doğrultusunun elverişli oluşu, tane çekirdeklerinin yeri, transformasyon esnasındaki deformasyonun homojen olmayışı, komşu tanelerin doğrultusu, tane sınırındaki yabancı maddelerin dağılımı gibi faktörler bazı tanelerin anormal büyümesine yol açabilir. Böylece irili ufaklı tanelerin ostentitleme sıcaklığı ile muhtemelen değiştiği malzemelerde, ortalama tane boyutları 800° C dereceye kadar sabit kalmıştır.

Deneyle, malzeme ancak 1100° C'de tavlandığı zaman tane boyutlarda bir miktar büyüme göstermiştir. Küçük taneler ile birlikte çok iri tanelere de rastlanması ortalama tane çapını 0.130 mm den 0.155 mm'ye yükseltmiştir.

Ostenit tane boyutları arttıkça plâstik deformasyona karşı koyan direnç azaldığından, malzeme mekanik özelliklerinde bir azalma olur. Fakat ostentitleme sıcaklığı ile değişen mekanik özelliklerin izahı ostentit tane boyutları ile yapılamayacak derecede büyüktür.



b. Ostenitleme Sıcaklığının Akma Sınırı, Çekme Davranımı ve Sertleşme Etisi.

Mikro yapıyı mekanik özelliklere bağlayan mekanizmaların en gelişmişlerinden birisi dislokasyon mekanizmasıdır. 1953 yılında Hall ve Petch (24) mikro yapı ile mekanik özelliklerin ilişkisini aşağıda verilen formül ile izah etmeye çalışmıştır.

$$\sigma = \sigma(F) + \sqrt{\frac{1}{2}} \sigma(ST) \quad \sigma = \sigma d^{\frac{1}{2}}$$

burada σ = Akma Sınırı

$\sigma(F)$ = İç sürtünme kuvvetinin termal bileşenidir ve oda sıcaklığında ihmal edilecek derecede küçüktür.

$\sigma(ST)$ = İç sürtünme kuvvetinin atermal bileşenidir.

K = Sabit bir sayı

d = Tane çapı'dır.

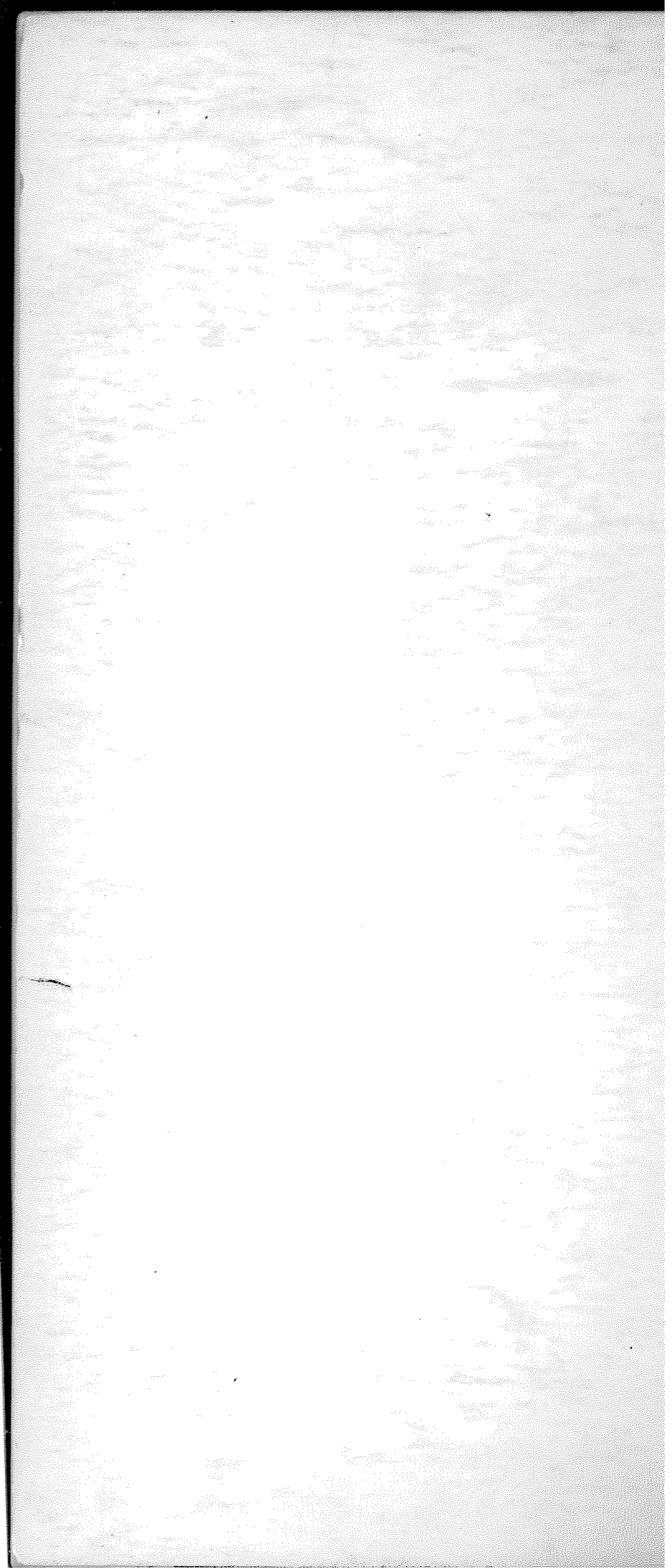
Petch'e göre dislokasyonlar belirli noktalara adeta iğnelenmiş olup tatbik edilen yük akma sınırına erişinceye kadar hareket edemezler. Akma sınırında plâstik deformasyon tek bir kristalde başlar. Malzeme akması kristal içindeki dislokasyonun yerinden kopup aktif hale gelerek dislokasyon çemberlerini meydana getirmesi ile olur. Dislokasyon çemberleri tane sınırına

kadar gelebilirler ve orada durdurulurlar. Tane sınırına yığılan dislokasyonlar diğer kristalleri zorlamaya başlar. Bu zorlama komşu tane içindeki dislokasyon kaynağını aktif hale getirerek, kaynağın dislokasyon çemberleri neşretmesini sağlar. Yeni dislokasyonlar diğer kristallerde bir zorlama ve plâstik deformasyona yol açar. Böylece plâstik akma bir kristalden diğer kristale yayılır. Taneler küçük ise bu işlem zor, büyük ise kolay olacaktır. Petch, tane çapı ile akma sınırı arasında ters bir orantının varlığını iddia etmiştir.

Memafih, yeni çalışmalarda akma sınırı formüle edilirken tane boyutları yerine dislokasyon yoğunluğunu ihtiva eden terimler kullanılmıştır. Dislokasyon yoğunluğunun akma sınırı formülüne girişini araştırmak amacı ile Hahn (25), Johnston (26), Livingston (27), ve Eddington (28) yollarından faydalanılacaktır.

Araştırmada deneyler deima sabit çekme hızı ile yapılmıştır. Sabit hızlı çekme deneylerinde makinanın çekme hızı aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.

$$\dot{\epsilon} = \frac{l}{E} \frac{d\sigma}{dt} + \epsilon_b \rho_m v$$



Burada $\frac{1}{E} \frac{dV}{dt}$ = sistemin elastik uzama hızı

$\phi \cdot \frac{b}{m} V$ = sistemin plâstik uzama hızı

E = young modülü

$\phi = 0.5$ (yön faktörü)

$\frac{b}{m}$ = ilk hareket edebilen dislokasyon yoğunluğu

V = dislokasyon hızı

b = burgers vektörüdür.

Dislokasyon hızı tatbik edilen yüke empirik olarak aşağıdaki şekilde bağlıdır. (29)

$$V = \left(\frac{V_p}{V_0} \right)^n$$

Burada

V_p = birim hızı tekabül eden yük

n = sabit bir değer'dir.

Yukarıda verilen iki bağıntıdan

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{E} \frac{dV}{dt} + \left(\phi \frac{b}{m} \left(\frac{V}{V_0} \right)^n \right)$$

elde edilir ki, burada elâstik kısım ikmal edilecek olursa

$$\dot{\epsilon} = \dot{\epsilon}_0 \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\phi \frac{b}{m}} \right]^{\frac{1}{n}}$$

bulunur.

Bu bağıntıdan, akma sınırını etkileyen faktörlerin σ_0 , ρ_m , $\dot{\epsilon}$ ve n olduğu görülmüştür. Çekme deneyleri sabit hızlarda yapıldığından, değişik ostenitleme sıcaklıklarında ostenitlenen parçalarda akma sınırını tayin eden unsurların ancak σ_0 ve ρ_m olduğu meydana çıkmaktadır.

σ_0 'nın birim hızla tekabül eden yük olduğunu daha önce söylemiştik. σ_0 'nın total dislokasyon yoğunluğuna tabii olduğunu gösterebilirsek ostenit akma sınırının doğrudan doğruya dislokasyon yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğunu ispat edebiliriz.

Bell ve Benfield (30) dislokasyonların hareket hızlarını deforme edilmiş ve deforme edilmemiş Ge kristallerinde incelemiş ve dislokasyonların deforme edilmiş (soğuk işleme) malzemelerde hiç deforme edilmemiş malzemelere nazaran daha ağır hareket ettiklerini müşahade etmiştir. Deforme edilmiş ve edilmemiş malzemelerde aynı dislokasyon hızını elde etmek için gereken cm^2 başına düşen yük farklı malzemelerin akma sınırları arasındaki farka tekabül etmektedir ki, bu yük farklı dislokasyon yoğunluğuna tabiidir. Dislokasyonların serbest hareketlerine karşı koyan dinamik direnç, diğer dislokasyonlar ve hataların sebep olduğu iç gerilimden ötürüdür ve σ_0 dislokasyonların hareketine karşı koyan dinamik dirençtir.

Dislokasyonların hareketine karşı koyan dinamik direnç σ , aynı zamanda Peierls kuvveti, dislokasyon basamakları, yabancı atomlar ve diğer kristal hatalarına da tabidir. Adı geçen faktörler, belirli bir yük için ortalama dislokasyon hızını azaltır.

Eğer iç gerilim, dislokasyonların birbirlerine etkisi, çökelek (precipitate) ve interstitial dediğimiz ara atomların tesirleri altında ise σ_0 için (31)

$$\sigma_0 = \alpha_1 \sqrt{b} \rho^{1/2} + \alpha_2 \sqrt{b} \lambda^{-1} + \alpha_3 f b^{-1} a_0^{-3}$$

bağıntısı yazılabilir.

Burada:

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ = Sabit birer sayı

μ = Kayma modülü

b = Burgers vektörü

ρ = Total dislokasyon yoğunluğu

λ = Çökelekler arasındaki mesafe

f = Ara atomlar arasındaki atomik mesafe

a_0 = Çözücü metalin kafes parametresi'dir.



Deneyde kullanılan Fe-Ni alaşımında çökeltme ve ara atom-
ları mevcut olmadığından

$$\sigma_0 = \alpha_1 \mu b \rho_t^{1/2} \text{ dir.}$$

o halde tatbik edilen yük ile dislokasyon hızı arasındaki

$$\sigma = \sigma_0 \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\rho b \rho_m} \right]^{1/n}$$

bağıntısı

$$\sigma = \alpha_1 \mu b \rho_t \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\rho b \rho_m} \right]^{1/n}$$

olarak yazılabilir.

$$\left[\frac{\dot{\epsilon}}{\rho b \rho_m} \right]^{1/n}$$

sabit değer olarak kabul edilir ve

$$\alpha = \alpha_1 \left[\frac{\dot{\epsilon}}{\rho b \rho_m} \right]^{1/n}$$

alınırsa

$$\sigma = \alpha \mu b (\rho_t)^{1/n}$$

olur ki, bu bağıntı Fe-Ni alaşımında akma
sınırının dislokasyon yoğunluğuna tâbi olduğunu gösterir.

Deneylerde dislokasyon yoğunluğu x - ışınları ve Elektron
mikroskopu çalışmalarını gerektirdiği için tespit edilememiştir.

Bu konunun yeni bir çalışma olarak ele alınması gerekmektedir.

Bazı deney parçalarında tam bir akma sınırı görülmüştür. Ya-
bancı atomların dislokasyonlarla bileşik etkisi dislokasyonları

buldukları noktaya bağlar. Malzemede akmanın başlaması dislokasyonların yabancı otamlardan koparak sıyrılması ile olur ki, bu da çekme eğrilerinde akma sınırı olarak görülür.

Kesin akma sınırları ancak yüksek sıcaklıklarda yapılan os-tenitlemelerden sonra görülmüştür ki, bu da teoriye uygundur. Çünkü kesin bir akma sınırı, malzemede hareket edebilen ilk dislokasyon yoğunluğunun az olması ile mümkündür.

O halde, şimdiye kadar yapılan açıklamalardan, geri martensitik transformasyon sonucu kristal hataları ile dolan ostenitin, yüksek sıcaklıklarda ostenitlenmesi ile dislokasyon yoğunluğunun azaldığı neticesine varılır.

Dislokasyon yoğunluğu sıcaklık arttıkça niçin azalır ve dislokasyon yoğunluğunun azalmasını sağlayan mekanizma nedir ; kısaca buna bir göz atalım.

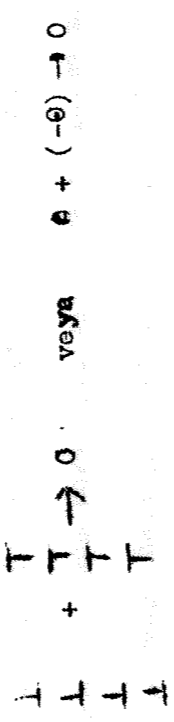
Dislokasyonların yüksek sıcaklıkta belirli bir mekanizma ile yok olması umumî dislokasyon yoğunluğunu azaltır. Dislokasyonlar hücre sınırları ve hücre içlerinde bulduklarından her iki yerdeki dislokasyonlar tesir altında kalırlar.

Dislokasyonların birbirini yok etmesi zıt işaretli dislokasyonlarda rastlanan bir olaydır. Yok etme , isli olarak aktive

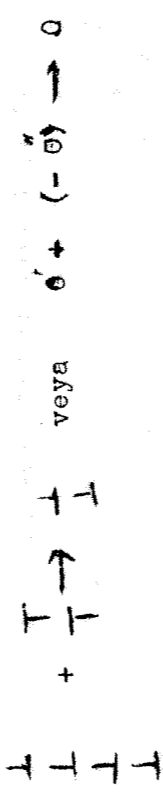
olayı olan, kayma, tırmanma veya çapraz kayma ile olur. Aşağıdaki şekilde zıt işaretli 2 dislokasyonun birbirlerini yok edışı görülmektedir.



Martensitik transformasyon sırasında meydana gelen eğik sınırların pozitif ve negatif parçaları ısıl etkiler altında hareket edip birleşebilir. Eğer sınırlardaki dislokasyon sayısı eşit ise bunlar aşağıdaki şekilden de görüldüğü gibi birbirlerini yok eder.



Eğer sınırdaki dislokasyon sayısı eşit değilse, birleşme neticesinde yeni bir sınır meydana gelir. Yeni sınır için deki dislokasyon yoğunluğu daha azdır ve ilk sınır arasındaki dislokasyon yoğunluğu farkına eşittir.



Karışık sınır dediğimiz yani iki farklı takım dislokasyonlarından meydana gelmiş sınırlar, diğer sınırlarla (ki bunlar da dislokasyonların belirli bölgede belirli bir şekilde dizilmelerinden meydana gelmiştir) ısıl etkenler altında birleşerek ya tamamen yok olabilirler veya kendi dislokasyon yoğunluğunu azaltabilir. Read'e (32) göre karışık sınırlar harici yük altında olduğu kadar ısıl tesirler altında bütün olarak kayma veya tırmanma ile hareket ederler.

Dislokasyon yoğunluğunu azaltan diğer bir mekanizma ise ısıl etkenlerle dislokasyon çebesinin büyümesi ve şebeke içindeki dislokasyonların azalmasıdır. Dislokasyon hat gerilimi denge haline ulaşmaya kadar dislokasyon düğüm noktaları tırmanma ve kayma mekanizması ile hareket eder. Denge hali gerçekleşince düğümlerin hareketleri durur. Bazı hallerde dislokasyon hat gerilimi denge durumuna ulaşmadan iki dislokasyon düğümü birleşerek genel dislokasyon yoğunluğunu azaltır.

Burulma sınırındaki dislokasyonlar dış yükler altında olduğu gibi iç gerilimlerle de azalabilir. Bir burulma sınırına bu sınırlar meydana getiren hareketin ters yönünde bir kuvvet çifti tatbik edilirse, burulma sınırı içindeki dislokasyonlar azalır veya sınır tamamen yok olur. Kuvvet çifti ısıl olarak veya harici yükler altında meydana gelir.

Adı geçen mekanizmaların ısı etkenler altında meydana gelebileceğini gördük. Isıl etkenlerin sıcaklıkla fazlaşması, yüksek sıcaklıklarda dislokasyon yoğunluğunun daha çabuk yok olmasını sağladığı gibi denge durumundaki dislokasyon yoğunluğunun da daha az olmasına yol açar. Geri martensitik transformasyon ile A_s ve A_f sıcaklıkları arasında ostenit kristallerine dolan kristal hataları A_f sıcaklığının biraz üstü olan $430^\circ C$ derecede ısı etkenlerle pek azalmaz. Bu yüzden dislokasyon veya hata yoğunluğunun yüksek bulunduğu bu ostenitin, sertliği, akma sınırı ve çekme dayanımı yüksek olacaktır. Ostenitleme sıcaklığının $430^\circ C$ derecenin üzerine çıkartılması ile ısı etkenlerin etkileri artarak ostenit dislokasyon yoğunluğunda bir azalma olacak ve malzeme sertliği, akma sınırı ve çekme dayanımlarında düşme kayıtl edilecektir. Nitekim, ostenitleme sıcaklığının $1100^\circ C$ dereceye çıkartılması (tatbik edilen en yüksek ostenitleme sıcaklığı) ile mekanik özellikler için en düşük değerler bulunmuştur. Bu ise $1100^\circ C$ derecedeki ostenitleme işleminden sonra elde edilen ostenit dislokasyon yoğunluğunun en az olması gerekliliğini gösterir.

Ostenit mekanik özellikleri, çekme sıcaklığı ile değişmektedir. Bunun izahı Hirsch teorisine göre yapılabilir. Hirsch'e göre iki türlü jog hareketi mevcuttur. Jog'ların bir yönde hareketleri nokta hataları v. dislokasyon çift kutbunu meydana getirir, diğer yönde hareketi ise hiç bir kristal hatası bırakmadan olur.

Dislokasyonları birinci yönde hareket ettirmek için gereken kuvvet diğer yöne nazaran çok daha fazladır. Düşük sıcaklıklarda her iki yöndeki hareket malzemeyi sertleştirir. Sıcaklık arttırıldııkça, ısıl etkenler dislokasyon basamaklarının hareketini kolaylaştırır. Dolayısı ile akma sınırı ve malzeme sertliğinde bir düşme olur. Basamakların hata bırakmadığı yönlerdeki hareketi daha kolay olduğundan, ısıl gerilimler altında ilk hareket eden dislokasyon basamakları bunlardır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise her iki yöndeki hareket ısıl gerilimlerle mümkün olacağından, setrlik, akma sınırı v.s. de daha büyük düşmeler olur.

c. Ostenitleme Sıcaklığının, Malzeme Sünekliğine Etkileri

Ostenitleme ısısının arttırılması ile setrlik ve akma sınırındaki azalmalara karşılık malzeme sünekliğinde de bir artış görülmüştür. Bu olay gayet normal olup esas izaha muhtaç kısım belirli bir ostenitemeden sonra sünekliğin sıcaklıkla önce azalması ve sonra tekrar artmasıdır.

M_d sıcaklığı 100-150° C derece civarında olduğu için bu sıcaklıkların altında yapılan çekme deneylerinde, tatbik edilen yük ostenitin bir kısmını M_s sıcaklığı üzerinde martensite dönüştürür. Bir faz transformasyonu esnasında malzeme sünekliği normalin çok üstünde değerlere ulaşabilir. Çekme deneylerinin yapıldığı sıcaklık M_d sıcaklığının altına ne kadar düşer veya M_s sıcaklığına

ne kadar yaklaşırsa süneklik o derece artar. Bu sebeple - 20° derecede yapılan çekme deneylerinde, şekil 12'de görüldüğü gibi en büyük uzama elde edilmiştir. M_d sıcaklığı üzerinde yapılan çekme deneylerinde ise bir faz transformasyonu olmadıktan sonra, sadece malzemenin normal uzaması mevcuttur. Bu normal % uzama miktarı, malzemede bir faz dönüşümü olması haline nazaran çok daha azdır.

M_d sıcaklığı üzerinde olmak şartı ile sıcaklık arttıkça malzeme sünekliğinde de bir artış olmaktadır ki bu da eğrinin tekrar yükselişini izah eder.

Ostenitleme koşullarının değiştirilmesi ile M_d sıcaklığı da değiştiğinden, eğrilerin T_c sıcaklığına karşı gelen değerleri şekil 12'de görüldüğü üzere sağa veya sola doğru kaymıştır.

d. Ostenitleme Sıcaklığının M_s , A_s ve A_f Sıcaklıklarına

Etkisi

Şimdiye kadar yapılan çalışmaların bir çoklarında, alaşım olarak malzemelere katılan maddelerin martensit dönüşüm sıcaklığında ne gibi sonuçlar husule getirdiği incelenmiştir. Buna ilâveten dönüşümü kontrol eden termodinamik prensipler de oldukça incelenen konular arasındadır. Fakat bu çalışmaların hemen hemen hiç birisinde fazların elastik özellikleri ile martensitik dönüşüm arasındaki bağıntı incelenmemiştir.

Transformasyon başlangıç sıcaklığını kontrol eden faktörler fazların bileşimi ve elastik özellikleridir.

Umumiyetle katı halde transformasyon, fazların serbest enerjilerinin eşit olduğu T_0 sıcaklığında başlar. Geri martensitik transformasyonda bu sıcaklık T_0 sıcaklığı üzerinde olan A_s ve direkt martensit dönüşümünde ise T_0 sıcaklığı altında olan M_s sıcaklığının tekabül eder. Dönüşüm iki faz arasındaki serbest enerji farkının (içindeki yeni fazın meydana geldiği) matris elastik gerilim enerjisi ile iki faz arasındaki yüzey enerjilerinin toplamına eşit olması halinde başlar. Bu ise $(T_0 - M_s)$ veya $(A_s - T_0)$ arasındaki sıcaklık farkını tayin eden faktördür. Fe-Ni alaşımında martensitik transformasyon büyük çapta hacim değişimine yol açtığı için martensitik olarak deformasyon eder. Plastik deformasyon için gerekli enerjinin de iki faz arasındaki serbest enerji farkı tarafından karşılanması gerekir.

Martensitik reaksiyonlar adiabatik karaktere haiz olduklarından, malzeme soğutulurken M_s sıcaklığında nesredilen (gizli ısı) malzeme sıcaklığını artırır. Bu yüzden M_s sıcaklığı oldukça düşük olmalıdır ki adiabatik reaksiyon malzemenin sıcaklığını T_0 sıcaklığına ulaştırmasın. A_s sıcaklığı da aynı sebepten oldukça yüksek olmalıdır ki meydana gelen ostenitin sıcaklığı T_0 sıcaklığına düşmesin. Adı geçen faktörler $\Delta M_s (T_0 - M_s)$ ve $\Delta A_s (A_s - T_0)$ farklarını tayin eder.

ΔM_s veya ΔA_s 'in değerlerinin hesabı transformasyon için bir dislokasyon modeli kabul edilerek yapılacaktır. Dislokasyonların hareketleri ile meydana gelen martensitik transformasyon sırasında yapılan iş W olsun. Yapılan iş, kuvvet ile yol çarpımına eşit olduğundan $W = F \times l$ bağıntısında kuvvet (F) yerine transformasyona karşı koyan akma sınırı (σ) cinsinden değeri, yol (l) yerine ise transformasyondan ötürü uzamanın (δ) cinsinden değeri konursa,

$$W = \frac{V}{2} \cdot \sigma \cdot \delta \quad \text{bulunur.}$$

Burada

$$V = \text{molar hacim'dir.}$$

Ostenitik matris içinde bir kısmın martensite dönüştüğünü kabul edelim. Ostenitle martensit kafesleri bağlı olduklarından transformasyon esnasında kafesler arasında bir miktar kayma olacaktır. Bu kayma ancak dislokasyonların hareketleri ile mümkündür, ve bu harekete karşı koyan kuvvet ise malzeme akma sınırındır. Yukarıdaki bağıntıda akma sınırı bu yüzden kullanılmıştır. Yapılan iş fazlası arasındaki serbest enerji tarafından karşılanacağından

$$W = \Delta G = V \frac{\sigma}{2} \delta \quad \text{yazılabilir. Yine,}$$

$$\Delta G = G_\gamma - G_\alpha \quad \text{ye eşittir.}$$

Burada

$G_{\chi} =$ Sabit bir sıcaklıkta ostenitin serbest enerjisi

$G_{\alpha} =$ Sabit bir sıcaklıkta martensitin serbest enerjisi-
dir.

T_0 sıcaklığında $G_{\chi} = G_{\alpha}$ olduğundan yalnız bu sıcaklıkta $\Delta G = 0$ dir. T_0 altındaki sıcaklıklarda ise $\Delta G = G_{\chi} - G_{\alpha}$ negatif bir değer alır ki M_s sıcaklığında bu değer transformasyonu başlatabilecek değere ulaşır.

$$\Delta G = G_{\chi} - G_{\alpha} \text{ yerine}$$

$$\Delta G = \Delta G_{\chi} - \Delta G_{\alpha} = \Delta H (S_{\chi} - S_{\alpha}) \text{ yazılabilir.}$$

Burada

ΔG_{χ} ve ΔG_{α} , T_0 sıcaklığından yapılan ΔT gibi bir sapma neticesinde ostenit ve martensit fazlarında meydana gelen serbest enerji değişimi,

$$S_{\chi} = T_0 \text{ sıcaklığında ostenit fazının haiz olduğu entropi}$$

$$S_{\alpha} = T_0 \text{ sıcaklığında martensit fazının haiz olduğu entropi'dir.}$$

Burada

$G_{\gamma} =$ Sabit bir sıcaklıkta ostenitin serbest enerjisi

G_{α} = Sabit bir sıcaklıkta martensitin serbest enerjisi-
dir.

T_0 sıcaklığında $G_{\gamma} = G_{\alpha}$ olduğundan yalnız bu sıcaklıkta
 $\Delta G = 0$ dir. T_0 altındaki sıcaklıklarda ise $\Delta G = G_{\gamma} - G_{\alpha}$
negatif bir değer alır ki M_s sıcaklığında bu değer transformasyonu
başlatabilecek değere ulaşır.

$$\Delta G = G_{\gamma} - G_{\alpha} \text{ yerine}$$

$$\Delta G = \Delta G_{\gamma} - \Delta G_{\alpha} = \Delta H (S_{\gamma} - S_{\alpha}) \text{ yazılabilir.}$$

Burada

ΔG_{γ} ve ΔG_{α} , T_0 sıcaklığından yapılan ΔT gibi bir
sapma neticesinde ostenit ve martensit fazlarında meydana gelen
serbest enerji değişimi,

$$S_{\gamma} = T_0 \text{ sıcaklığında ostenit fazının haiz olduğu entropi}$$

$$S_{\alpha} = T_0 \text{ sıcaklığında martensit fazının haiz olduğu entropi'dir.}$$

M_s sıcaklığında $\Delta T = (T_0 - M_s)$ olup ΔM_s diye gösterilir. O halde M_s sıcaklığında,

$\Delta G = \Delta M_s (S_Y - S_X)$ olup bu değer yapılan işe eşitlendiğinde,

$$\Delta M_s (S_Y - S_X) = V \frac{V}{2} \delta \text{ veya}$$

$$\Delta M_s = \frac{V \nabla \delta}{2(S_Y - S_X)} \text{ bulunur.}$$

Kullanılan alaşımın Curie sıcaklığı $100-120^\circ$ derece olduğundan ostenit M_s sıcaklığı civarında ferromanyetik olup şimdiye kadar yapılan hesaplarda manyetik sınırlamalar, çekirdeklenme ve yukarıda adı geçen diğer tesirler ΔM_s tayininde kullanılmamıştır. Çekirdeklenmenin ve diğer tali tesirlerin ΔM_s üzerine etkisi bir "F" faktörü ile gösterilecek olursa,

$$\Delta M_s = F \cdot \frac{V \nabla \delta}{2(S_Y - S_X)} \text{ olur.}$$

F'nin aynı zamanda ∇ 'ya tabii olarak değiştiği kabul edilsin. ∇ 'nin küçük değerleri için F eşiği yukarı bire eşit kabul edilebilir. ($F \cong 1$) fakat ∇ büyük değerler aldığı anda mutlak değer olarak $F(\nabla) = \frac{1}{\sqrt{\nabla}}$ olduğunu kabul edelim.

Yukarıdaki formül M_s sıcaklığını tayin etmek için kullanılanı gibi M_s sıcaklığının bilinmesi halinde T_0 sıcaklığındaki ostenit akma sınırının tesbitinde kullanılabilir.

ΔM_s yerine $T_0 - M_s$ yazılacak olursa

$$T_0 - M_s = F \frac{V \sqrt{\Delta T}}{2(S_{\gamma} - S_{\alpha})} \quad \text{veya}$$

$$M_s = T_0 - \frac{FV \sqrt{\Delta T}}{2(S_{\gamma} - S_{\alpha})} \quad \text{bulunur ki bu } M_s \text{ tayininde kullanılabilir.}$$

T_0 sıcaklığı ortalama $\frac{A_s + M_s}{2}$ olup % 30 Ni'dendir

alaşımında 180°C derece civarındadır. Molar hacim , $V = 7 \text{ cm}^3$, $S_{\gamma} = \frac{1}{3}$, $S_{\alpha} - S_{\gamma} = 2.8 \times 10^6 \text{ erg/deg}^\circ \text{C}$ alındığında 15 kg/mm^2 ye kadar olan akma sınırları için,

$$M_s = 180 - \frac{1 \times 7 \times \frac{1}{3} \sqrt{9.85 \times 10^7}}{2 \times 2.8 \times 10^6} \quad \text{veya}$$

$$M_s = 180 - 41.2 \sqrt{V} \text{ olur.}$$

Burada $M_s = \text{ }^\circ \text{C}$ derece , $V = \text{kg/mm}^2$ cinsindedir.

Eşitlikte kullanılan 9.85×10^7 faktörleri kg/mm^2 cinsinden olan akma sınırını din/cm^2 cinsinden ifade etmek için kullanılmıştır.



15 kg/mm² den yüksek akma sınırları için ise formül

$$M_s = 180 - 41.2 \sqrt{\sigma} \quad \text{olmaktadır.}$$

Bu şartlar altında normal ısıtma hızı ile bulunan akma sınırları ile hesap ve deneylerle bulunan M_s sıcaklıkları aşağıdaki cetvelde verilmiştir.

Ostenitleme Sıcaklığı ° C	T ₀ daki Akma Sınırı Kg/mm ²	Hesaplanan M _s	Deneylerle Bulunan M _s
430	44	- 92	- 70
480	39	- 76	- 63
530	33	- 56	- 56
600	29	- 43	- 51
800	5	- 26	- 26
1100	4.7	- 14	- 23

Deney ve hesaplar arasındaki farklar deney hatalarından gelebildiği kadar, F faktörüne de bağlı bulunmaktadır. Her ne kadar bir fark mevcut ise de mühimsenecek derecede büyük değildir.

15 kg/mm² den yüksek akma sınırları için ise formül

$$M_s = 180 - 41.2 \sqrt{N}$$

olmaktadır.

Bu şartlar altında normal ısıtma hızı ile bulunan akma sınırları ile hesap ve deneylerle bulunan M_s sıcaklıkları aşağıdaki cetvelde verilmiştir.

Ostenitleme Sıcaklığı ° C	T ₀ daki Akma Sınırı Kg/mm ²	Hesaplanan M_s	Deneylerle Bulunan M_s
430	44	- 92	- 70
480	39	- 76	- 63
530	33	- 56	- 56
600	29	- 43	- 51
800	5	- 26	- 26
1100	4.7	- 14	- 23

Deney ve hesaplar arasındaki farklar deney hatalarından gelebildiği kadar, F faktörüne de bağlı bulunmaktadır. Her ne kadar bir fark mevcut ise de mühimsenecek derecede büyük değildir.

M_s sıcaklığının hesap ile bulunmasının ikinci bir yolu ise transformasyon esnasında meydana gelen ısı enerjisinin tayini ile mümkündür.

Martensitik bir transformasyon esnasında M_s sıcaklığındaki itici kuvvet ΔG , Goldman ve Robertson tarafından (33)

$$-\Delta G = -\Delta H_{kim} \left(\frac{T_0 - M_s}{T_0} \right) \text{ olarak}$$

verilmiştir.

Bu bağıntıda,

$-\Delta H_{kim}$ = dönüşüm esnasında kimyasal etkilerden meydana gelen ısı enerjisidir ve sıcaklığa tâbi değildir. Goldman ve Robertson Fe - % 30 Ni alaşımında ΔH_{kim} için 375 kalori/mole değerini bulmuşlardır.

" ΔG ", itici kuvvet, dönüşüm esnasında yapılan işe eşitlenecek olursa,

$$\Delta H_{kim} \left(\frac{T_0 - M_s}{T_0} \right) = F \frac{V \sqrt{\Delta J}}{2} \text{ veya}$$

$$M_s = T_0 - F \frac{V \sqrt{\Delta J}}{2 \Delta H_{kim}} = T_0 \text{ bulunur.}$$

F , V , \bar{V} , T_0 ve ΔH_{kin} sabit birer değer olabuklarından

$M_s = T_0 - K \cdot \bar{V}$ olur idi bu bağıntı bundan önce bulunan bağıntının cyulur.

M_s ile A_c sınırı arasında her sıcaklıkta bir bağıntı mevcut değildir. A_c sınırı değerleri ancak T_0 veya M_s sıcaklık-
larına tekabül ettiği zaman doğrusal bir bağıntı mevcuttur.

Ostenitleme sıcaklığı, M_s sıcaklığını etkilemekle beraber A_s ve A_f sıcaklıklarının etkileyenemekte dir. Ostenitleme koşullarına bağlı olarak, ostenit fazının mekanik özellikleri değiştiği halde martensit fazının mekanik özelliklerinde bir değişme görülmüştür. Ostenitik doku ne olursa olsun martensit dokusunda bir değişme husule gelmektedir. Goldson ve Robertson'un (2) Fe-31,3 Ni-5,7 Co, Fe-10 % Ni ve Fe - 25 % Ni-0,35 C alaşımları üzerinde yapmış olduğu deneyler, malzeme bileşimi ile ostenit doku özelliklerinin geniş çapta değişmesine rağmen, martensit dokusu üzerinde çok az tesirli olduğunu göstermiştir.

Martensitin yapısında bir değişme olacağı kabul edilecek olursa A_s ve A_f sıcaklıklarının sabit kılması çok normaldir.

M_s sıcaklığının tayininde kullanılan formül aynen A_g sıcaklığının tayininde de kullanılabilir. Yalnız ostenit akma sınırı için kullanılacak değer, ostenit teşekkül etmeye başladığı andaki akma sınırı olması gerekir. Martensitik dokunun özellikleri ostenitleme şartları ile değişmediğinden, dönüşüm andaki ostenitin mekanik özelliklerinde bir değişme olmayıp sabit kalmaktadır. Formülden A_g sıcaklığının sabit kalması gerekir ki bu deney sonuçlarını doğrulamaktadır.

III. Hızlı Isıtma Neticelerinin Değerlendirilmesi

Yüksek ısıtma hızı ile ostenite dönüşüm aynı yavaş ısıtmada olduğu gibi A_g sıcaklığında başlamaktadır. Transformasyon difüzyon mekanizması ile başladığından, zaman dönüşümü kontrol eden unsurlardan biri olmaktadır. Hızlı ısıtmalarda zaman kısıtlı olduğundan, dönüşüm için gerekli difüzyon yetersiz kalmakta ve dolayısı ile A_s sıcaklığı düşmektedir.

Difüzyon ile geri martensit transformasyonun aynı çekirdekten meydana gelebileceği düşünülürse, martensitte difüzyon olması halinde, dönüşüm difüzyon ile olacak ve kayma mekanizması

için gerekli çekirdekler azalacaktır. Böylece geri martensitik transformasyon daha geç başlayacaktır. Aynı zamanda difüzyon ostentimbulunuğu matiriksi stabilize ederek kayma ile başlayacak transformasyonu geciktirir.

Zamanın kısıtlanması aynı zamanda difüzyon mekanizması ile olan dönüşüm miktarını da azaltmaktadır. Hızlı ısıtmalarda difüzyon mekanizmasına nazaran geri martensit dönüşümü daha büyük bir yer tutmaktadır. Dilatometrik eğrilerde A_s sıcaklığının yavaş ısıtmaya nazaran çok daha keskin görülmesi burada daha çok geri martensitik transformasyon oluşundandır.

a. Ostenitleme Sıcaklığının Ostenit Tane Boyutlarına Etkisi

Hızlı ısıtma deneylerinde bulunan tane boyutlarının yavaş ısıtmaya nazaran biraz daha küçük oluşu, tane sınırlarının hareketleri için gerekli zamanın daha kısıtlı oluşundandır.

Bu seri deneylerde ostentileme $430^{\circ}C$ dereceden $800^{\circ}C$ dereceye kadar yapılmış, $800^{\circ}C$ derecenin üzerine çıkılmamıştır. Bütün ostentileme sıcaklıkları için aşağı yukarı eşit tane boyutlarının bulunuşu yavaş ısıtma neticelerine bir zıt teşkil etmemektedir. Zaten, yavaş ısıtmada $800^{\circ}C$ dereceye kadar tane boyutlarında bir değişme mevcut değildir. Tane boyutları için yavaş ısıtmada yapılan açıklamalar aynen hızlı ısıtma deneyleri için de tekrarlanabilir.

b. Ostenitleme Derecesinin Akma Sınırı, Çekme Davanımı ve Sertliğe Etkisi

Ostenit dokusunun mekanik özelliklerinin izahı, ostenit tane boyutları ile yapılamayacağından ancak ostenit hata konsantrasyonu ile ifade edilecektir.

Difüzyon mekanizmasına en az fırsat veren hızlı ısıtmada martensit içinde bulunan bütün kristal hataları A_s sıcaklığı üzerinde ostenit dokusu içine transfer olur. Ostenit doku özelliklerinin böylece martensitinkine çok benzemesi gerekir. Hemen A_s sıcaklığı üzerinde ostenit ve martensit hücre boyutları eşit olsa bile ostenitleme sıcaklığının artması ile hücreler büyür ve doğrultuları değişir. Hızlı ısıtma deneyleri, düşük ostenitleme sıcaklıklarında ve çok kısa süreli olduklarından, ostenit içindeki hataların, yavaş ısıtmada olduğu kadar şabuk ortadan kalkması veya azalması beklenemez.

Hızlı ısıtmada transformasyon çok büyük bir süratle olacaktır. Hızlı transformasyona bağlı olarak kayma da hızlı olacaktır. Deformasyon hızı arttıkça dislokasyonların birbirlerine etkisi artar ve dislokasyon basamakları meydana gelir. Keza, dislokasyonlar bir gruplaşmaya giderek cluster dediğimiz yığılmaları, tangle'leri meydana getirir. Meticede gruplar da birleşerek tâli sınırları ortaya çıkartabilir. Denge hücre büyüklüğü

deformasyon sıcaklığına bağlı olduğu kadar deformasyon hızına da tâbidir. Deformasyon hızı arttıkça hücre boyutları küçülür. Birim yüzeye düşen yük, deformasyon hızı ve sıcaklığın fonksiyonu olduğundan $V = f(\dot{\epsilon}, T)$, hücre boyutları birim yüzeye düşen yüke bağlıdır. Hızlı ısıtma deneylerinde (martensit $10^{\circ} C/san$ gibi hızla ısıtılmıştır) martensit A_s sıcaklığı üzerinde çok kısa zamanda ostenite döner. Dönüşümün meydana getirdiği yüksek deformasyon hızı ise hücre boyutlarının küçülmesini sağlar. Demek oluyor ki, hızlı ısıtmada hücre boyutları küçük, yavaş ısıtmada ise hücre boyutlarının büyük olması gerekir.

Hücre duvarlarının malzeme mekanik özelliklerine etkisi oldukça fazladır. Hızlı ısıtmada, yavaş ısıtmaya nazaran, ostenit akma sınırı, çekme dayanımı ve sertliğinin daha fazla olması, ostenit hücre boyutlarının daha küçük olması ile izah edilebilir. Hücre sınırlarının mukavemeti arttırması, bunların kaymağa karşı birer engel teşkil etmesine ithaf edilmektedir. Tâli sınırlar dislokasyonların hareketlerine ve dislokasyon kaynaklarına karşı birer engeldir. Akma sınırının dislokasyon yoğunluğuna bağlılığı akma sınırının tâli hücre boyutlarına bağlılığına benzetilmektedir. Akma sınırı ile dislokasyon yoğunluğu arasındaki ilişki (28)

$$\sigma = \sigma_0 + A G b \sqrt{\rho}$$

olarak ifadelendirilmiştir.

Burada ∇ , diğer dislokasyonların etkisi olmadan bir dislokasyonu hareket ettirmek için gerekli birim kuvvet; A, numerik bir katsayıdır. Dislokasyon yoğunluğu ile hücre boyutları (çapı) arasındaki bağlantı,

$$P = \frac{1}{d} \text{ dir.}$$

Hücre boyutları küçüldükçe dislokasyon yoğunluğu artar ve hücre boyutlarını küçültecek her işlem ise malzeme dayanımını arttırır.

Ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak değişen ostenit mekanik özelliklerinin izaha muhtaş kısmı, ostenitleme derecesinin arttırılması ile önce akma sınırında bir artış ve sonraları ise bir düşmenin görülmüştür. Şekil 18.

Ostenit hemen A_f sıcaklığı üzerinde en yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve en küçük hücre boyutlarına sahiptir. Fakat hücreler arasındaki doğrultu farkları oldukça azdır. Ostenitleme sıcaklığı, belirli bir miktar arttırıldıkça, tâli sınırlar hareket ederek diğer sınırlarla birleşir ve daha büyük açılı bir sınır olabilir. Büyük açılı sınırı hareket ettirmek için gereken kuvvet daha fazla olacağından malzeme akma sınırı ve sertliği artar.

Washburn (34) çinko tek-kristallerinde yapmış olduğu çalışmalarla, çinko akma sınırının, tâli sınır arasındaki açının büyümesi ile arttığını ispatlamıştır. Edwards ve Parker (35) yapmış oldukları çalışmalar ile iki tâli sınırın birleşerek daha büyük doğrultu farklı bir hücre sınırını meydana getirmesi halinde, bu sınırın ancak daha büyük yükler altında hareket ettiğini göstermiştir.

Sıcaklık ve zaman ile, tâli sınırlar arasındaki açının büyümesi, malzeme akma sınırına ancak belirli bir açı değerine kadar etkiler. Tâli sınır açılırları belirli bir değer üzerine ulaştığı zaman açı ile mukavemet arasında bir ilişki kalmaz. Zaten bu değer üzerinde sınırlarda i dislokasyonlar ısı etkileriyle kendi yoğunluklarını azaltmaya başlar ki akma sınırında tekrar bir düşme görülür.

Araştırmada kullanılan ısıtma hızları için hücre sınırları arasındaki açı 530° C derecede kritik değerine ulaşmış, böylece akma sınırı için en yüksek değerler bu sıcaklıkta elde edilmiştir. 530° C derecenin üzerinde çok hızlı ısıtmaya rağmen hücreler arasındaki açılar kritik değerlerini aşmış aynı zamanda dislokasyon yoğunluğu da azalmaya başlamıştır. 800° C derece civarında ise kristal hataları pek çabuk yok olmakta ve ostenit aynı yavaş ısıtmada bulunan değerlere yakın değerler almaktadır.

530° dereceden itibaren azalan sertlik ve akma sınırı, 800° C derece civarında yavaş ısıtmada elde edilen değerlere iyice yaklaşmıştır. 530° C derece altında ise hücre sınırlarındaki açı farkı az ve sınırlardaki dislokasyonlar ise homojen değildir. Bu yüzden bu sıcaklık aralığında akma sınırının hücre boyutlarından ziyade dislokasyon yoğunluğu değişimlerine tâbi olduğu tahmin edilmektedir. Fakat ostenitleme derecesi 530° C dereceye yaklaştıkça dislokasyonların dağılımı deha düzgün olmakta ve hücreler arasındaki açı artmaktadır. Bu da malzeme dayanımını arttırmaktadır.

Fe - % 30 Ni alaşımında martensit hızlı ısıtılmak suretiyle ostenitlendiği zaman, ostenitleme sıcaklığının malzeme dayanımı ve sertliğini geniş ölçüde etkilediğini gördük. Çeliklerde ve martensit dönüşümünün mevcut olduğu diğer metal veya alaşımlarda aynı sonuçların beklenmesi doğru olmaz. Bunun nedeni ostenit hücre yapısı ile izah edilebilir.

Malzemenin yüksek sıcaklıkta deforme edilmesi kristallerin ufulanmasına yol açar. Hücre adını verdiğimiz kristal içindeki parçaların duvarları, dislokasyonların özel şekilde sistemin tekniil enerjisini azaltacak şekilde dizilmesinden meydana gelir. Düşük sıcaklıklardaki deformatsiyondan ötürü hücrelerin görülmemesi hücreleri meydana getiren dislokasyonların ısıl etkenler ile hareket edememelerindedir. Hücre duvarlarındaki açı deformatsiyon sıcaklığı arttıkça artar. Buna sebep yüksek sıcaklıklarda dislokasyonların deformatsiyondan ötürü tekrar dağılabilmelerindeki kolaylıktır.

Düşük sıcaklıklardaki dağılıma azdır ve hücre sınırları teşekkül edecek seviyeye ulaşamazlar.

Stacking Fault Energy dediğimiz atomların yığılma hata enerjisi de hücre teşekkülünü etkiler. Yığılma hata enerjisi yüksek olan malzemelerde kısmi dislokasyonlar birbirlerine çok yakın olduklarından, kolayca çapraz kayma ve tırmanma mekanizmaları ile hareket edebilir. Düşük yığılma hata enerjisine sahip malzemelerde hücre sınırları kesin ve belirli değildir.

Düşük A_s sıcaklığına veya düşük yığılma hata enerjisine sahip metal ve bileşimlerde, geri martensitik transformasyon esnasında yeni hücreler meydana gelebileceğinden meydana gelen hücre sınırları belirli-belirsiz durumda bulunacaktır. Bu şartlar altında hızlı ısıtmada ostenitik fazın mekanik dayanımı ostenitleme sıcaklığı ile önce bir artma ve sonra bir azalma göstermeyip aynı yavaş ısıtmadakilere benzer etkiler verecektir.

Fe - 30 % Ni alaşımında A_s sıcaklığı $360^\circ C$ derece civarında olup yüksek sayılabilir. Atomların yığılma hata enerjisi ise normal karbonlu çeliklere nazaran daha fazladır ve dislokasyonların kolayca tırmanmasına yetecek derecededir. Bu sebeple içinde yüksek oranda nikel bulunan demir alaşımında yukarıda izahı yapılan karakterde mekanik özellikler husule gelebilir.

c. Ostenitleme Sıcaklığının Malzeme Sünekliğine Etkisi

Deformasyon esnasında çekme çubuklarının yüzde uzama miktarları, yavaş ısıtma deneylerine nazaran daha az çıkmıştır. Normal olarak sertlik ve malzeme dayanımı, süneklik ile ters orantılıdır. Hızlı ısıtmalarla sertlik ve malzeme dayanımı artmış ve yüzde uzama miktarı azalmıştır. Hızlı ısıtmalarda değişen diğer bir parametre ise M_s sıcaklığına paralel olmak üzere M_d sıcaklığının düşmesidir. Normal olarak M_d sıcaklığının altında yapılan çekme işlemlerinde yüzde uzama miktarı M_d sıcaklığı üzerinde yapılanlara nazaran çok daha fazla olması gerekir. Bulunan neticeler M_d sıcaklığı altında olmak şartı ile M_s sıcaklığına yaklaşıldıkça sünekliğin arttığını ve bu değerlerin hemen M_d üzerindeki nispetle daha çok olduğunu göstermiştir. Fakat M_d sıcaklığı üzerine daha fazla çalkıldığı zaman süneklik ısı etkenlerle tekrar artmıştır.

d. Ostenitleme Sıcaklığının M_s , A_s ve A_f Sıcaklıklarına

Etkisi

Homojen bir matris içinde yeni bir fazın meydana gelmesini, veya transformasyonun başlama sıcaklığını, fazların elastik özellikleri ile bileşimlerinin tayin ettiğini gördük. Hızlı ısıtmalarda Fe - Ni alaşımındaki, nikel ostenit içinde düzenli denge konsantrasyonuna erişemez. Sabit bir sıcaklıkta ostenit içindeki nikel konsantrasyonu, malzeme ortalama nikel miktarı ile χ içindeki

denge nikel konsantrasyonu arasında değişir. Yalnız yavaş ısıtma $\alpha \rightarrow \gamma$ transformasyonu aynı zamanda difüzyona da yer vereceğinden ostenit içindeki nikel daha düzenli dağılmış olur. Atomların ve kristal hatalarının düzenli bir dağılım göstermediği ostenit içinde denge durumuna erişmiş martensit çekirdekleri bulunamaz. Çekirdeklerin denge durumunda olmayışı M_s sıcaklığının daha da azalmasını sağlar. Zaten hızlı ısıtma neticesi artan akma sınırı ile adı geçen faktör aynı yönde tesir ettiğinden ΔM_s için hesap ile bulunanlardan daha büyük değerler bulunur. Bu yüzden T_0 sıcaklığında malzeme akma sınırı ile M_s arasında, yavaş ısıtmada olduğu gibi doğrusal bir bağıntı mevcut değildir.

Hızlı ve yavaş ısıtma ile elde edilen ostenit tekrar martensite dönüştürülüp, aynı ısıtma hızı ile ostenite dönüştürülürse her iki halde de transformasyonun A_s sıcaklığında başladığını gördük. A_s sıcaklığının değişmemesi ostenit iç yapısının her ne halde olursa olsun ondan elde edilen martensitin kristal dokusunu değiştiremediğine bir işaretidir.

IV. Plastik Olarak Deforme Edilen Ostenitin Özellikleri

Ostenit hemen M_d sıcaklığı üzerinde deforme edildiği zaman, ostenit içinde deformasyon bantları görülmüştür. Büyük bir ihtimal ile bantlar içinde ince deformasyon ikizleri meydana gelmiştir.

İkizlerin tayini elektron difraksiyonu ile yapılabilen olup, bu gelişme de yapılmamıştır. İkizlerin mevcudiyeti osteniti stabilize edebilmektedir. Leslie ve Miller (36) deneysel olarak ikizlerin mevcudiyeti halinde martensit kristallerin ancak ikizler arasındaki ufak mikro alanlarda meydana geldiğini müşahade etmiştir. İkizler ince martensit kristalleri için birer engel teşkil ettiklerinden transformasyon daha geç başlayabilmekte ve M_s sıcaklığı düşmektedir.

Diğer yandan ostenit akma sınırında bir artma oldukça martensit kristallerinin büyümesine engelleyen matriks gerilme enerjisi de o nisbette artar. Bütün adı geçen faktörler M_s sıcaklığının düşmesine yol açar.

V. Deforme Edilmiş Martensit

Martensitik dokuyu haiz malzemeler oda sıcaklığında deforme edildikleri zaman verilen soğuk işlem ile sertlik ve akma sınırları artar. Akma sınırının artması geri martensit transformasyonunu, aynı direkt martensit transformasyonda olduğu gibi etkiler. Aynı zamanda deformasyon, transformasyon dislokasyonları üzerinde basamaklar husule getirebileceğinden transformasyon dislokasyonlarının hareket etme kolaylıklarını azaltır ki bu da M_d sıcaklığını daha da arttırır.

Malzemeler hızlı ısıtıldıkları zaman recovery olayı husule gelmez. Böylece T_0 sıcaklığında malzeme akma sınırı daha yüksek olur. M_d sıcaklığında görülen artma bu sebeptendir.

-111-

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

SONUÇLAR:

Yapılan araştırmanın sonuçları kısaca şöyle özetlenebilir:

1. Demir- % 30 Nikel aşımında martensitin ostenite dönüşümü difüzyon ile başlayıp martensitik bir dönüşüm ile nihayet bulmaktadır.
2. Geri martensitik transformasyon ostenite dönüşümün büyük bir kısmını teşkil etmektedir.
3. Martensitin ısıtma hızı arttırıldıkça, geri martensitik transformasyon miktarı artıp, difüzyon mekanizması ile olan dönüşüm azalmaktadır.
4. Ostenitleme derecesi ostenit mekanik özelliklerini geniş çapta etkilemektedir. Yalnız ostenitleme sıcaklıklarının değiştirilmesi ostenit akma sınırında % 600 ve ostenit çekme dayanımında % 200 gibi bir değişme sağlayabilmektedir.
5. Ostenit sünekliği, deformasyon M_s sıcaklığına ne kadar yakın yapılırsa o derece artmaktadır. Eğer oda sıcaklığında en büyük malzeme sünekliği aranıyor ise M_s sıcaklığını oda sıcaklığına en yakın verecek ostenitleme işlemi malzemeye tatbik edilmelidir.

6. Malzeme, hızlı ısıtma ile 530°C de ostenitlenirse, oda sıcaklığındaki akma sınırı, martensitin akma sınırına çok yaklaşmaktadır.
 7. Hızlı ısıtmalarda, en yüksek akma sınırı en düşük ostenitleme sıcaklığında olmayıp, ostenit hücreleri arasındaki doğrultu farkının kritik değere ulaştığı sıcaklıkta olmaktadır. $10^{\circ}\text{C} / \text{saniye}$ lik bir ısıtma hızı için bu sıcaklık 530°C dir.
 8. Ostenitleme şartları ostenit fazının mekanik özelliklerini değiştirmekle beraber martensit fazının mekanik özelliklerini etkilememektedir.
- Birkaç sistemde, ana ve transformasyon fazlarının mekanik özellikleri ile termodinamik kemiyetler arasında bir bağlantı kurulabilirse, bu tip transformasyonlar için daha şumullü bir teori kurulabilir. Bu sayede yeni ve denenmemiş alaşımların özellikleri tahmin edilebilir.

GERİ MARTENSİTİK TRANSFORMASYONLAR

Araştırmalar için bileşiminde % 30 Ni bulunan demir alaşımı kullanılmıştır. Ostenite dönüşüm, sıvı nitrojen içinde martensite dönüştürülmüş parçalar üzerinde, dilatometrik ısıtma ve mikroskobik analizlerle incelenmiştir. Ostenite dönüşüm A_s sıcaklığında difüzyon mekanizması ile başlamış ve bir kayma mekanizması ile devam etmiştir. Geri martensitik transformasyon olarak kabul edilen ve bir kayma mekanizması ile vuku bulan bu ostenite dönüşme, yüzde itibarı ile ostenite dönüşümün büyük bir kısmını teşkil etmektedir. Malzemeler A_f sıcaklığına ulaşınca ostenite dönüşüm nihayet bulunmuştur. Martensitik parçaları ostenite dönüşüm için tatbik edilen ısıtma hızının arttırılması A_s ve A_f sıcaklıklarını azaltmıştır. Isıtma hızına bağlı olarak değişen diğer bir husus, martensitik özelliği haiz transformasyonun değişimidir. Isıtma hızı arttıkça geri martensitik dönüşüm miktarı artmakta buna karşılık difüzyon mekanizması ile olan dönüşüm azalmaktadır.

Ostenite dönüşümün, esas olarak geri martensit transformasyonu sırasında, ostenit fazı içine bir çok kristal hataları dolmaktadır. Kristal hataları dönüşüm esnasında meydana gelebilirdiği gibi martensit içinde bulunan hatalar da ostenit fazı içinde kalabilmektedir. Ostenit kristal hataları ostenitleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir.

Ostenit kristal hatalarına bağlı olarak malzeme akma sınırı, sünekliği, sertliği v.s. gibi mekanik özellikleri yanı sıra M_s sıcaklığının da değiştiği görülmüştür.

Ostenit ve martensit fazlarının aynı serbest enerjiye sahip olduğu T_0 sıcaklığında, Ostenit akma sınırı ile M_s arasında doğrusal bir bağıntının bulunması M_s sıcaklığının ostenit için-deki hata yoğunluğunun doğrudan doğruya bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Yüksek sıcaklıklarda ostenitlenerek içinde dizlokasyon yoğunluğu azaltılmış parçalar M_d sıcaklığı üzerinde plastik deforme edilerek ostenit fazı içinde soğuk işlem ile hata yoğunluğu artırıldığı zaman sanki malzeme düşük sıcaklıklarda ostenitlenmiş gibi M_s sıcaklığı düşmüştür.

Deformasyon miktarının artırılması ile ostenit içindeki dislokasyon yoğunluğu artmış ve M_s deformasyon yüzdesine tâbi olarak azalmıştır.

Değişik mekanik özellikleri ve dolayısı ile hata yoğunluğunu hals ostenitin tekrar martensite dönüştürülmesi ile yapılan deneylerde, martensitin mekanik özelliklerinin ostenit dislokasyon yoğunluğuna tâbi olmadığını ortaya koymuştur. Ancak martensitik parçalar plâstik deforme edildikten sonra, yapılan geri martensitik transformasyon deneylerinde A_s sıcaklığında bir miktar yükselme kayıt edilmiştir.

L I T E R A T Ú R

LITERATURE

- 1) J.B. Lightstone, Acta Met , 15 No 1, 25 , (1967)
- 2) A. J. Goldman and W.D. Robertson, Acta Met, 12 ,1265 (1964)
- 3) W.D. Robertson, J.I.S.I. Special Report 93, 26, (1965)
- 4) W. Steven and A.G. Haynes, JISI 183 , 349 (1956)
- 5) R.B.G. Yeo, Trans. Amer. Inst. Min (Metall) Engnr. 224,1222 (1962)
- 6) R.B.G. Yeo, Trans.Amer,Inst. Min (Metall)Engnr.227, 884 (1963)
- 7) L. Kaufman and M. Cohen,Trans.Amer,Inst. Min (Metall)Engnr.,
206 , 1303 (1956)
- 8) R.A. Grange, Transactions Quarterly 59 No 1 26, (1966)
- 9) P.M. Kelly and J. Nutting, JISI, Special Report 93,166 (1965)
- 10) O.A. Ankara, A.S. Sastri andD.R.F. Vest, JISI , 204, 509, (1966)
- 11) M. Cohen Trans, Met. Soc. Amer, Inst, Min. (Metall) Engnr. 212
171, (1958)

- 12) M.A. Jaswon, The Mechanism of Phase Transformations in Metals, Institute of Metals 173 (1956)
- 13) B.A. Bilby and J.W. Christian, The Mechanism of Phase Transformations in Metals, Institute of Metals , 121 (1956)
- 14) J.W. Christian, Progress Roy.Soc. A 206 , 51 (1953)
- 15) J.W. Christian, Acta Mat 6 , 377 (1958)
- 16) J.W. Christian , Acta Met 1 , 218, (1959)
- 17) B. A. Bilby and J.W. Christian, JISI, 197, 122 (1961)
- 18) E.C. Bain, Trans. Amer,Inst. Min, (Metall) Engrs. 10 25 (1924)
- 19) J.W. Christian, J. Inst. Met 84 , 349 , (1955-6)
- 20) H. Messler and W. Pitsch, Acta Met, 13 871 (1963)
- 21) C. Frenk, Acta Met, 1 , 15, (1953)
- 22) The Physics of Metals and Metallography, 20 No 6 , 91 (1965)
- 23) R.H. Nichman, AIME 227 , 159, Feb. (1963)

- 24) N.J. Petch, JISI, 174 , 25 (1953)
- 25) Hahn, Acta Met, 10 , 727, (1962)
- 26) W.G. Johnston, J. Appl. Phys. 33 2716 (1962)
- 27) J.D. Livingston, Acta Met, 10, 229 (1962)
- 28) J.W. Eddington and R.E. Smallman, Acta Met 12 , 1313 (1964)
- 29) W.C. Johnston, J. Appl. Phys. 30 129 (1959)
- 30) R.L. Bell and W. Bonfield, Phil. Mag. 2 , 10, (1964)
- 31) M. Cohen. Trans. AIME 224 638 (1962)
- 32) W.T. Read, Dislocations in Crystals, Mc Graw Hill New York
269 (1962)
- 33) A.J. Goldman and V.D. Robertson 13 , 396 (1965)
- 34) J. Washburn, Trans. AIME 203 675 (1955)
- 35) E.H. Edwards et al Trans. AIME 197 1525 (1953)
- 36) W.C. Leslie and R.I. Miller Trans. ASM 57 , 972 (1964)

1. 1. 1960, 1. 1. 1960

2. 1. 1960, 1. 1. 1960

3. 1. 1960, 1. 1. 1960

4. 1. 1960, 1. 1. 1960

5. 1. 1960, 1. 1. 1960

6. 1. 1960, 1. 1. 1960

7. 1. 1960, 1. 1. 1960

8. 1. 1960, 1. 1. 1960

9. 1. 1960, 1. 1. 1960

10. 1. 1960

11. 1. 1960, 1. 1. 1960

12. 1. 1960, 1. 1. 1960

13. 1. 1960, 1. 1. 1960

14. 1. 1960, 1. 1. 1960

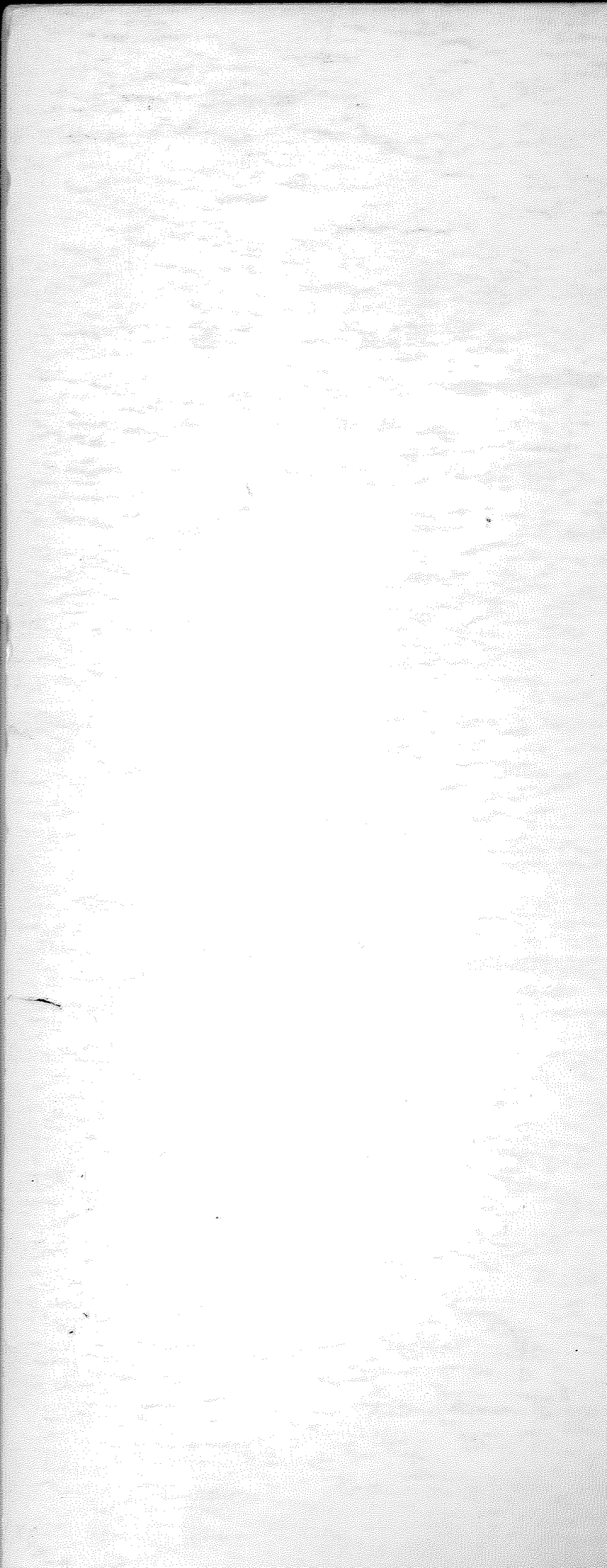
INDEX

REDA 1. 1. 1960, 1. 1. 1960

ENDEKS

REDA 2. 1. 1960, 1. 1. 1960

REDA 3. 1. 1960, 1. 1. 1960



RESİMLER

Resim 1 : Yüksek Vakum Sistemi ve Tavlama Fırını Genel Görünüşü

Resim 2 : Çekme Aletinin Genel Görünüşü

Resim 3 : Dilatometre

SEKİLLER

- Şekil 1 : Dinometre ve Kayıt Edici Devresi
- Şekil 2 : Isıl Analizör
- Şekil 3 : Malzeme ve Nikel Çubuk Arasındaki Sıcaklık Farkı ile Banyo Sıcaklığı Arasındaki Bağlantıyı Veren Eğri
- Şekil 4 : Deneylede Kullanılan Malzeme Boyutları
- a. Isıl Analiz için
- b. Dilatometrik Analiz için
- c. Çekme Çubuğu
- Şekil 5 : Martensitin Atermal Olarak Ostenite Dönüşümü
- Şekil 6 : Ostenit Akma Sınırı ile Ostenitleme Sıcaklığı Arasındaki Bağlantı. (2° C/dak. yavaş ısıtma)
- Şekil 7 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Ostenitleme Sıcaklığı Arasındaki Bağlantı (Yavaş ısıtma)
- Şekil 8 : Malzeme Sünekliği ile Ostenitleme Sıcaklığı Arasındaki Bağlantı. (Yavaş ısıtma)
- Şekil 9 : Ostenit vickers Sertliğinin Ostenitleme Sıcaklığına Bağlı olarak Değişimi (Sertlik ölçmeleri oda sıcaklığında yapılmıştır) (Yavaş Isıtma)
- Şekil 10 : Ostenit Akma Sınırı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)
- Şekil 11 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)
- Şekil 12 : % Uzama Miktarı ile Çekme Deneyihih Yapıldığı Sıcaklık Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)

Şekil 13 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)

Şekil 14 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)

Şekil 15 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)

Şekil 16 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (yavaş ısıtma)

- Şekil 13 : Ostenit Çekme Dayanımı ile M_s Sıcaklığı Arasındaki Bağlantı (yavaş ısıtma)
- Şekil 14 : Ostenit Akma Sınırı ile M_s Sıcaklığı Arasındaki İlişki (Yavaş ısıtma)
- Şekil 15 : Isıtma Hızına Taşı Olarak C_{eri} Martensit Transformasyonundaki Değişme
- Şekil 16 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Ostenitleme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (hızlı ısıtma)
- Şekil 17 : Ostenit Akma Sınırı ile Ostenitleme Sıcaklığı Arasındaki İlişki (Hızlı ısıtma)
- Şekil 18 : Ostenit Akma Sınırı İle Çekme Deneyinin Yapıldığı Sıcaklık Arasındaki İlişki (Hızlı Isıtma)
- Şekil 19 : Ostenit Çekme Dayanımı ile Çekme Deneyinin Yapıldığı Sıcaklık Arasındaki İlişki (Hızlı Isıtma)
- Şekil 20 : Ostenitleme Sıcaklığı ve Ostenit Vickers Sertliği Arasındaki İlişki (Hızlı Isıtma)
- Şekil 21 : Plastik Deformasyon Yüzdesi ile Ostenit Sertliğinin Değişimi.