

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fe-%15Mn-%5Co ALAŞIMINDA TERMAL ETKİLİ  
MARTENSİTİK DÖNÜŞÜMÜN MİKRO YAPISININ VE MANYETİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA YÜKSEL

OCAK 2008

T.C.  
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fe-%15Mn-%5Co ALAŞIMINDA TERMAL ETKİLİ  
MARTENSİTİK DÖNÜŞÜMÜN MİKRO YAPISININ VE MANYETİK  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA YÜKSEL

OCAK 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

23 / 01 / 2008

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN  
Müdür V.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak FİZİK Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İhsan ULUER  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans / Doktora tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Doç. Dr. Sedat AĞAN  
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sedat AĞAN

Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ

Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ÖZET

### Fe-%15Mn-%5Co ALAŞIMINDA TERMAL ETKİLİ MARTENSİTİK DÖNÜŞÜMÜN MİKRO YAPISININ VE MANYETİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEL, Mustafa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Sedat AĞAN

Ocak 2008, 54 Sayfa

Bu çalışmada, Fe-%15Mn-%5Co Alaşımında Termal ve manyetik özellikler ve termal etkili  $\epsilon$  martensitik dönüşüm ortaya kondu. Bu alaşımdaki  $\epsilon$  Martensitlerinin mikroyapısı Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. Fe-%15Mn-%5Co alaşımında tavlama sıcaklığının artması ile tane boyutunun büyüdüğü ve martensite plakalarının arttığı gösterildi. Ayrıca Fe-%15Mn-%5Co alaşımının manyetik özellikleri ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak araştırıldı. Manyetik alınganlığın sıcaklığa bağlı (15-300 K) ölçümleri yapıldı. Ve manyetik özelliklerin değiştiği geçiş sıcaklıkları farklı tavlama

sıcaklığına bağlı olarak tesbit edildi.

**Anahtar kelimeler:**  $\epsilon$  Martensite, Martensitik faz dönüşümü, Tane boyutu,

AC Manyetik alınganlık.

## ABSTRACT

INVESTIGATING OF TERMAL EFFECTS INDUCED  
MARTENSITIC TRANSFORMATION AND MAGNETIC PROPERTIES IN  
Fe-%15Mn-%5Co ALLOY

YÜKSEL, Mustafa

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor : Assoc. Prof. Dr Sedat AĞAN

January 2008, 54 Pages

In this study the properties of thermal and magnetic, thermal-induced  $\epsilon$  martensitic transformation were observed in Fe-%15Mn-%5Co alloy. Microstructure of  $\epsilon$  martensite in this alloy was investigated by scanning electron microscope (SEM). It was observed that by increasing heat temperature, the austenite grain size and the amount of  $\epsilon$  martensite plates increased in length. We have measured magnetic susceptibility depend on temperature and observed that different transtion temperatures.

**Key Words:**  $\epsilon$  Martensite, Martensitic Phase transformations, grain size,  
AC magnetic susceptibility.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında her türlü yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, tez yöneticisi hocam Doç Dr. Sedat AĞAN'a ve bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI ve Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ 'ye sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin hazırlanması aşamasında maddi ve manevi olarak desteğini sürekli hissettiğim eőim Sevda Yüksel ve oğlum Talha Yüksel'e teşekkür etmeyi borç bilirim.

Ayrıca, magnetik alınganlık ölçümlerinde yardımcı olan Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, fizik bölümünden Prof. Dr. Ali Gencer'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	III
TEŞEKKÜR .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGELER DİZİNİ .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
1. GİRİŞ .....	1
2. MATERYAL VE METOD .....	4
2.1. Metal ve metal alaşımları .....	4
2.2. Faz Dönüşümleri .....	4
2.3. Austenite- Martensite Faz Dönüşümleri .....	8
2.4. Martensitik Faz Dönüşümlerinin Oluşum Şekli.....	11
2.5. Martensitik Dönüşüme Dış Zorun Etkisi.....	12
2.6. Martensitik dönüşümlerde örgü kusurlarının etkisi.....	14
2.7. Katı cisimlerin manyetik özellikleri.....	15
2.7.1. Manyetizmanın temeli .....	16
2.7.2. Manyetik alınganlık.....	17
2.7.3. Manyetizma türleri.....	18
2.7.3.a.Diyamanyetizma.....	19
2.7.3.b.Paramanyetizma.....	19
2.7.3.c.Ferromanyetizma.....	21



2.8.	AC Alınganlık.....	24
2.9.	METOD.....	30
2.9.1.	Numunelerin hazırlanması.....	30
2.9.2.	Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yüzey incelemeleri için Numunelerin hazırlanması.....	31
2.9.3.	Taramalı elektron mikroskobu(SEM).....	31
2.9.4.	Manyetik alınganlık ölçümleri.....	32
2.9.4.a.	Manyetik alınganlık ölçüm yöntemleri.....	32
2.9.4.b.	AC Alınganlık düzeneği.....	39
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	44
3.1.	Termal etkili Martensitik Dönüşümlerin taramalı elektron mikroskobu ile (SEM) incelenmesi.....	44
3.2.	Manyetik alınganlığın incelenmesi.....	48
4.	SONUÇ .....	50
	KAYNAKLAR .....	52

## SİMGELER DİZİNİ

### SİMGE

<b>fcc (<math>\gamma</math>)</b>	Yüz merkezli kübik yapı
<b>bcc (<math>\alpha'</math>)</b>	Hacim merkezli kübik yapı
<b>bct (<math>\alpha</math>)</b>	Hacim merkezli tetragonal yapı
<b>hcp (<math>\epsilon</math>)</b>	Sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı
<b>Ms</b>	Austenite-martensite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
<b>Mf</b>	Austenite-martensite faz dönüşümünün bitiş sıcaklığı
<b>As</b>	Martensite-austenite ters dönüşüm sıcaklığı
<b>Md</b>	Plastik deformasyondan sonra soğutma ile oluşan martensite fazın başlama sıcaklığı
<b>Ad</b>	Plastik deformasyondan sonra ters dönüşüm başlama sıcaklığı
<b>T0</b>	Austenite ve martensite fazın dengede bulunduğu sıcaklık
<b>F<math>\gamma</math></b>	Austenite fazın Helmholtz serbest enerjisi
<b>F<math>\alpha'</math></b>	Martensite fazın Helmholtz serbest enerjisi
<b><math>\Delta F</math></b>	$\alpha' \rightarrow \gamma$ Austenite ve martensite fazlar arasındaki Helmholtz serbest enerji farkı
<b>E</b>	Toplam enerji
<b>S</b>	Entropi
<b>P</b>	Basınç
<b>G</b>	Gibbs serbest enerjisi
<b>M</b>	Manyetizasyon.
<b>T<sub>c</sub></b>	Curie sıcaklığı.

$T_N$

Neel sıcaklığı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

2.1. Austenite ( $\gamma$ ) ve martensite ( $\alpha$ ) fazların serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi. ....	7
2.2. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi. ....	9
2.3. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi. ....	9
2.4. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının sıcaklıkla değişimi.....	21
2.5. Domain sınırı.....	22
2.6. Histerezis eğrisi.....	24
2.7. Duygunluk ölçümleri için kullanılan Hartshorn köprüsünün şematik devresi...32	
2.8. Numune konumu değiştirilebilir, Hortshorn köprüsü devresi.....	33
2.9. Primer ve sekonder bobinlerin konumu.....	35
2.10. AC alınganlık ölçüm düzeneği.....	41
3.1. 1000°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlanan ve hızlı soğutmaya tabi tutulan numuneye ait taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı.....	44
3.2. 1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin Taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı...45	
3.3. 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin Taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı...46	
3.4. 1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi	

tutulan numunenin sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlık değişimi.....	48
3.5. 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlık değişimi.....	49

## 1.GİRİŞ

Bilimin açıklık getirmeye çalıştığı önemli problemlerden biri maddenin yapısal özellikleridir. Metal ve metal alaşımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Çeşitli olaylar ve etkiler karşısında maddenin davranışları sonucunda maddenin yapısal özellikleri incelenmiştir. Özellikle sıcaklık etkisine maruz kalan bazı metal ve metal alaşımlarında görülen mikro yapısal değişikliklerin atomik boyuttaki nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır<sup>(1)</sup>. Malzeme bilimi ile uğraşan araştırmacılar, yumuşak demirin bazı etkilerle sertleşmesi üzerinde yaptıkları deneysel ve teorik çalışmalar sonucu bu etkilerin kristal yapıda önemli değişikliklere neden olduğunu ve gözlenen mekanik değişimlerin bunun sonucunda gerçekleştiğini göstermişlerdir. Alman bilim adamı “Martens” ise yaptığı deneysel çalışmalar sonucu edindiği mikroskobik gözlemlerle demirin soğutulması sonucu yeni kristal taneciklerin oluştuğunu bulmuş ve daha sonra bu tip oluşumlar “martensitik dönüşüm” şeklinde Alman bilim adamının adıyla anılmıştır<sup>(2)</sup>. Dönüşümden önceki yapı, Austenit veya anafaz olarak isimlendirilir. Austenit yapı sınırları sonsuza ulaşan kristal yapıya sahiptir. Dönüşüm sonrasındaki yapıya ise Martensite yapı veya ürün faz denilmektedir. Bozulmayla meydana gelen faz değişiminde, austenit yapı ile martensite yapı arasındaki tek farklılık aralarında bir yönelim ilişkisinin olmasıdır. Bu iki faz arasındaki yönelim ilişkisini ilk kez deneysel olarak Kurdujumov-Sacs ve Wasserman bulmuştur. 1950'li yıllardan sonra elektron mikroskop yöntemlerinin geliştirilmesi ile austenite-martensite faz dönüşümü olayının araştırılması büyük hız kazanmış ve bu konuda

önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Fe bazlı alaşımlarda ortaya çıkan martensitik dönüşümler genellikle yüz merkezli kübik (f.c.c.) yapıdaki ana fazın, hacim merkezli kübik (b.c.c.), hacim merkezli tetragonal (b.c.t.) veya sıkı paketlenmiş hegzagonal (h.c.p.) yapılarıdaki martensite faza dönüşümü şeklinde ortaya çıkar. Martensite faz dönüşümü çelikte gözlenmekle beraber daha sonraları yapılan araştırmalarla birlikte bazı saf metallerde ve alaşımlarda da gözlemlendiği görülmüştür<sup>(2)</sup>. Termal etki ile oluşan martensite faz dönüşümleri atermal ve izotermal özellik göstererek gerçekleşir. Atermal özellik gösteren martensite dönüşümler zamandan bağımsız olarak oluşurken izotermal özellik gösteren martensite dönüşümleri ise zamana bağlı olarak oluşur. İlk olarak demir ve demir bazlı alaşımlarda gözlenen martensite faz dönüşümleri yapılan çalışmalar sonucunda birçok metal ve metal alaşımında da gözlemlendiği ortaya çıkmıştır.

Yeni bir malzemenin, elektronik ve manyetik özellikleri hakkında bilgi edinmek istenirse başvurulacak çok az deneysel yöntem bulunmaktadır. Deneysel fizikte, manyetik özellikleri araştırmak için manyetik duyunluk ölçümleri tercih edilir. Manyetizma, katıhal fiziğinin önemli bir konusu olmakla kalmayıp, aynı zamanda kuantum mekaniğinin ayrılmaz bir parçasıdır. Katıların manyetizmalarının manyetik dipollerden ileri geldiği bu dipoller ya maddenin içinde mevcuttur veya manyetik alandan dolayı ileri gelmektedir. Manyetik alınganlığı ölçmek için daima düzgün manyetik alan kullanılmalıdır. Çünkü alan şiddeti kendi alanının tatmin etmesi gibi sınır şartları katının iç kısmında ve yüzeyinde bozulmuştur. Sadece elipsoid şeklinde olan katılar bir düzgün alan yapabilsede bu iç kısımlar için geçerli değildir. O halde şekillendirilmiş olan katılar genellikle ölçümler için kullanılır<sup>(3)</sup>.

İlk olarak demir ve demir bazlı alaşımlarda gözlenen martensite faz dönüşümleri yapılan çalışmalar sonucunda bir çok metal ve metal alaşımlarında da gözlenmiştir. Fe bazlı alaşımlarda gözlenen martensitik dönüşümler genellikle yüz merkezli kübik (f.c.c.) yapıdaki ana fazın, hacim merkezli kübik (b.c.c.), hacim merkezli teragonal (b.c.t.) veya sıkı paketlenmiş hegzagonal (h.c.p.) yapılarıdaki martensite faz dönüşümünü şeklinde ortaya çıkar<sup>(4-5)</sup>. P. Marinelli, A. Fernandez ve M. Sade 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında Fe-Mn-Co alaşımlarında termal etkili martensitik dönüşümleri incelemiştir<sup>(6)</sup>. J.H. Jun, D.K. Kong ve C.S. Choi 1998 yılında yaptıkları çalışmalarında Fe-Mn-Co alaşımlarında mikroyapısal özellikler ve ısıl işlemlerin malzeme tarafından mekanik enerjiye, titreşimlerin artması sonucu dönüştürmesinin, martensitik faz dönüşümüne bağlılığı incelemeleri yapmışlardır.<sup>(7)</sup>

Maddenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin anlaşılabilmesi için çeşitli olaylar ve etkiler karşısında maddenin davranışları sonucunda yapısal özellikleri incelenmiştir. Bu yüksek lisans çalışmasında amaç, özellikle çeşitli olaylar içindeki davranışları ile maddeyi incelemektir. Sıcaklıkla ilgili farklı etkilere maruz kalan Fe-%15Mn-%5Co alaşımında görülen mikro yapısal özellikler ve bunun sonucunda oluşan makroskobik şekil değişikliklerinin nedeni olan difüzyonsuz faz dönüşümü araştırılacaktır<sup>(8-9)</sup>. Ayrıca farklı ısıl işlemlere tabi tutulmuş Fe-%15Mn-%5Co alaşımının AC manyetik alınganlığının sıcaklıkla değişimi incelenecektir.



## 2.MATERYAL VE METOD

### 2.1.Metal ve Metal Alaşımları

Metal ve metal alaşımları, eski çağlardan itibaren insanlığın hizmetine girmiş; günlük yaşamdan ulaşıma, sanayiden tıp bilimlerine kadar bir çok alanda ihtiyaç duyulan temel malzeme grubunu teşkil etmişlerdir. Bu yüzden metal ve alaşımların sergilediği birçok özellik geçmişten günümüze kadar çok sayıda bilimsel araştırmaya konu olmuştur. Uygulanan bir elektrik alanın etkisi altında; elektriği iyi ileten katıya “metal” veya “iletken”, en az biri metal olmak üzere iki veya daha fazla elementten oluşan ve metal özelliği gösteren maddeye ise “alaşım” denir. Metaller katı durumda kristal yapıdadırlar, yani maddeyi oluşturan atomlar üç boyutlu bir düzlem içinde bulunurlar.<sup>(10)</sup> Genellikle malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini değiştirmek suretiyle daha elverişli malzemeler üretmek, çok sayıda ve değişik özelliklerde malzemeler geliştirerek ihtiyaçlara cevap vermek, ısıl işlemlere uygun malzemeler üretmek, malzemenin maliyetini düşürmek, malzemeyi aşınma ve dış şartların yıpratıcı etkilerinden korumak amacıyla alaşım yapılır.

### 2.2.Faz ve faz dönüşümleri

Bir atom veya molekül topluluğu homojen dağılımda olabilir veya olmayabilir. Bu atomlar topluluğunun, homojen kısımları “faz” olarak adlandırılır. Bu fazlar hacim, basınç, sıcaklık, enerji gibi termodinamik özelliklerle karakterize edilirler. Yalıtılmış bir fazın serbest enerjisi minimum ise o faz kararlıdır. Sıcaklık, basınç, elektrik ve manyetik alan gibi değişkenlerin sisteme etki etmesiyle sistemin serbest enerjisi düzgün ve sürekli olarak değişir. Buna bağlı olarak fazın yapısal detayları da

değişir. Bu olay “faz dönüşümü” veya “faz geçişi” olarak adlandırılır. Faz geçişi esnasında sistemin serbest enerjisi değişmez, ancak hacim, entropi, ısı kapasitesi, termal genleşme ve sıkışabilirlik gibi termodinamik niceliklerde süreksizlik oluşur. Faz geçişlerinin sınıflandırılması, bu termodinamik nicelikler ile serbest enerji fonksiyonu arasındaki bağıntılar yardımıyla yapılır. Bu sınıflandırmada, faz geçişinin mertebesi serbest enerji fonksiyonunun türevinin mertebesiyle aynıdır. Faz; sürekli bir madde içinde, kristal özellikleri ve atomların düzenlenişi kendi içinde homojen olan ve fiziksel olarak maddenin diğer kısımlarından ayrılan bir bölge olarak tanımlanabilir<sup>(11)</sup>.

Metal ve metal alaşımları, farklı fiziksel şartlar altında farklı fazlarda bulunur. Yapı içerisinde belirli fazlardan oluşan bir denge yapısından değişik fazlardan oluşan bir başka denge yapısına geçiş olayı ise “faz dönüşümü” olarak bilinir. Katı yapıdaki faz dönüşümleri sırasında atomlar yeni faz yapısını oluştururken yer değiştirirler. Faz dönüşümü sırasında, atomların komşuluklarının yer değiştirip değiştirmemesine göre 2 ana gruba ayrılır<sup>(12)</sup>. Atomların komşuluklarını değiştirecek şekilde meydana gelen faz dönüşümlerine yayılmalı (difüzyonlu) faz dönüşümleri, atomların komşuluklarını değiştirmeden meydana gelen faz dönüşümlerine de yayılmasız (difüzyonsuz) faz dönüşümleri denir. Metalik sistemlerdeki faz dönüşümleri çekirdeklenme ve büyüme dönüşümleri ve martensitik dönüşümler olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Büyüklüğü materyalin kristalografik özelliklerine göre değişen belirli fiziksel etkiler, materyale uygulanırsa faz dönüşümü meydana gelir. Dışardan uygulanan fiziksel etkiler austenite (anafaz) ve martensite (ürünfaz) fazlar arasındaki serbest enerji farkını ortaya çıkarır. Ana faz ve ürün faz arasındaki bu enerji farkı ise martensitik dönüşümün meydana gelmesine sebep olur<sup>(11-12)</sup>. Faz dönüşümü, iki faz arasındaki

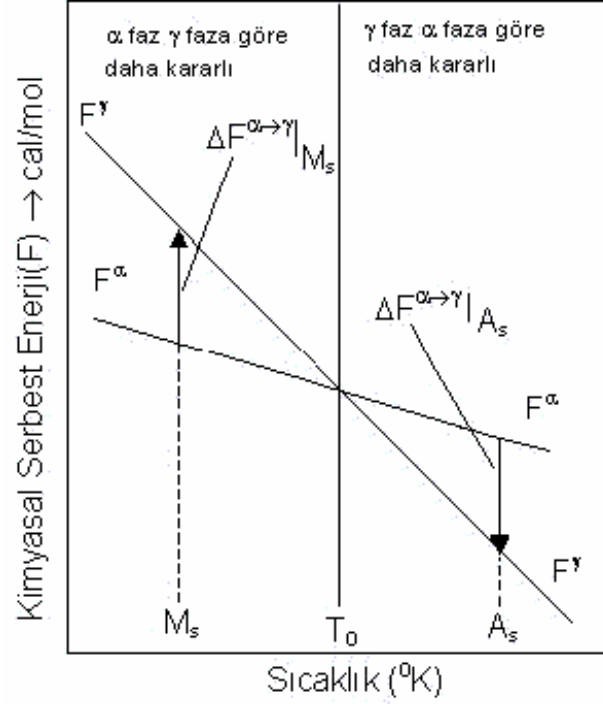
serbest enerji farkından meydana gelir. Serbest enerji sıcaklık ve basınçtan etkilenir. Bir faz dönüşümü sıcaklık ve basıncın yanında dış zor ve yapı kusurları gibi diğer faktörlerden de etkilenir. Dolayısıyla dönüşümün hangi şartlar altında gerçekleştiğini bilmek önemlidir<sup>(13)</sup>. Fazların oluşumu ve dönüşümlerinde sıcaklık, basınç ve bileşim olmak üzere üç temel etken vardır. Bu etkilerle hangi tür fazın oluştuğu ve bunların özelliklerinin bilinmesi uygulama yönünden çok önemlidir. Bir fazdan diğer bir faza dönüşüm olabilmesi için sistemin son faza göre kararsız olması gerekir. Sabit sıcaklık ve basınçta sistemin kararlılığı ;

$$G = H - TS \quad (2. 1)$$

Şeklinde tanımlanan Gibbs Serbest Enerjisi'nin en küçük değeri ile belirlenir. Burada H entalpi, T mutlak sıcaklık, S ise sistemin entropisidir. Entalpi sistemin ısı miktarının bir ölçüsüdür ve

$$H = E + PV \quad (2. 2)$$

şeklinde verilir. Bu eşitlikte E sistemin iç enerjisini, P basıncı, V hacmi ifade eder. İç enerji, bir sistemdeki atomların kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamından oluşur. Kinetik enerji, katıda atomların titreşimlerinden doğarken potansiyel enerji sistemdeki atomlar arası bağlar ve etkileşimlerden kaynaklanır. Sistemin iç enerjisindeki değişime bağlı olarak ısı miktarı değiştiğinde faz dönüşümü meydana gelir. Öte yandan ısı miktarı (denklem 2. 2), sabit basınç altında sistemin hacmindeki değişime de bağlıdır. Ancak katılarda, PV terimi E ile kıyaslandığında ihmal edilebilir ve  $H \cong E$  alınabilir<sup>(13)</sup>.



**Şekil 2.1.** Austenite ( $\gamma$ ) ve martensite ( $\alpha$ ) fazların serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi<sup>(1)</sup>

Bir materyal için serbest enerjinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Fazlar arasındaki serbest enerji değişimi,

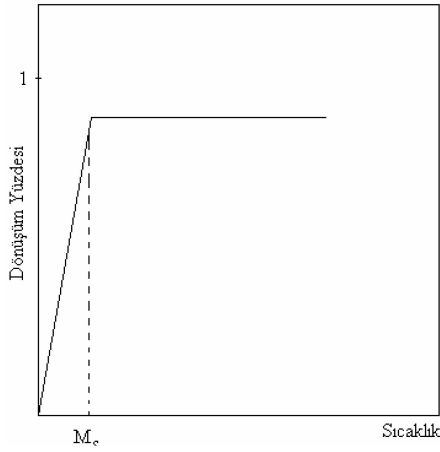
$$\Delta F^{A \rightarrow M} = F^A - F^M \quad (2.3)$$

şeklinde verilebilir. Burada  $F^A$  ve  $F^M$  sırasıyla ana ve ürün fazın serbest enerjileridir. Denge sıcaklığı olarak tanımlanan  $T_0$  sıcaklığında iki fazın serbest enerjileri eşit ve farkları sıfırdır.  $T_0$  denge sıcaklığının altında fark sıfırdan büyüktür ve ürün faz serbest enerjisi daha küçük olduğu için daha karardır.  $T_0$ ’ın üstündeki sıcaklıklarda ise fark sıfırdan küçüktür ve ana faz daha karardır. Minimum serbest enerji kuralına göre bir sistem birçok değişik durumlara izin verirse sistemin bu durumlardan en düşük serbest enerjili olanını seçmesi beklenilir. Serbest enerji farkı (denk. 2.3), faz dönüşümü için gerekli olan “sürücü kuvvet” olarak adlandırılır<sup>(13)</sup>.

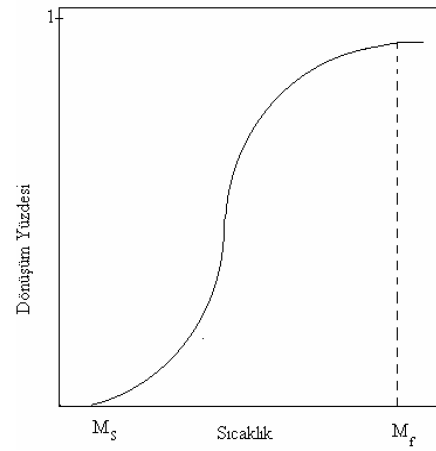
### 2.3.Austenite- Martensite Faz Dönüşümleri

Fe alaşımları yaklaşık olarak 1400 °C 'de erir. Havasız ortamda oda sıcaklığına soğutulurken yaklaşık 900 °C civarında yüz merkezli kübik (fcc) yapıda kristalleşir. Alaşımın bu fazına "austenite" adı verilir. Austenite fazdaki alaşım, uygulanan fiziksel etkenler sebebi ile hacim merkezli tetragonal (bct), sıkı paketlenmiş heksagonal (hcp) veya hacim merkezli kübik (bcc) kristal yapıya dönüşür. Alaşımın bu fazına ise "martensite" adı verilir <sup>(14)</sup>. Austenite-martensite faz dönüşümleri difüzyonsuz oluşabilme özelliklerinden dolayı, katıhal fiziğinde önemli bir yere sahiptir. Austenite kristal yapının, martensite kristal yapıya dönüşmesi şeklinde gerçekleşen dönüşüm sonunda atomlar dönüşümden önceki komşuluklarını korudukları ve yalnızca atomlar arası uzaklıktan çok olmayan uzaklıklarda yer değiştirdikleri için austenite-martensite faz dönüşümü, difüzyonsuz faz dönüşümü olarak bilinir. Faz dönüşümü sırasında kristali oluşturan atomların birbirlerine göre konumları ya da komşulukları değişiyorsa bu tür dönüşümlere difüzyonlu faz dönüşümü denir <sup>(15)</sup>. Austenite, martensite'e dönüşünce ana kristal yapı tümü ile ürün kristale dönüşmez. Martensite kristalleri düzgün olmayan bir dağılımla, austenite içerisinde serpilmiş olarak açığa çıkar. Austenite içerisinde martensite'nin kaplayacağı hacim, dönüşümü oluşturan etkenin büyüklüğüne bağlıdır. Fe-Ni-C alaşımlarının polikristal yapıdaki austenite örneklerinde yapılan ölçümler, austenite hacminin yaklaşık %25'lik bir bölümünün martensite oluşumunun başlama sıcaklığında, %95'lik bölümünün ise bu sıcaklıktan daha aşağı sıcaklıklarda martensite'e dönüştüğünü göstermiştir <sup>(16)</sup>. Austenite-Martensite faz dönüşümlerinde soğutma ile oluşturulan martensite'lerin oluşmaya başlaması dönüşüm sıcaklığı olarak bilinen  $M_s$  sıcaklığında, dönüşümün tamamlanması da  $M_f$  sıcaklığında

gerçekleşir. Dönüşümün atermal veya izotermal olması alaşımın kimyasal bileşimine bağlıdır. Martensitik dönüşüm, zamana bağlı olmayıp sadece sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşirse atermal dönüşüm, hem zamana hem de sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşirse izotermal dönüşüm olarak adlandırılır. Şekil 2.2<sup>(17,18)</sup>, de atermal dönüşümün zamanla değişimi, Şekil 2.3 'de ise izotermal dönüşümün zamanla değişimi verilmektedir.



**Şekil 2.2.** Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi.



**Şekil 2.3.** İzotermal dönüşüm için Dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi.

Austenite-Martensite faz dönüşümleri genellikle, çok kısa bir zaman aralığı içinde patlama şeklinde ve atermal olarak meydana gelir. Martensite'nin<sup>(19)</sup> oluşmaya başladığı sıcaklıktan daha aşağı sıcaklıklarda patlama şeklinde yeni martensite'ler oluşabilir, ancak bir kez oluşan martensite'ler düşük sıcaklıklarda hacimce bir büyüme göstermez. Bunshah ve Mehl (1953) tarafından, Fe ve Fe alaşımlarında ısısal etki ile oluşan atermal özellikli martensite kristallerinin  $10^{-7}$  sn gibi bir zamanda ortaya çıktığı ölçülmüştür<sup>(1-12)</sup>. Gerçekte bu atermal davranış martensitik dönüşümün genel kavramlarından biri olarak düşünülür. Az sayıda olmakla beraber bazı

alaşımlarda da martensite'lerin oluşumu izotermal ve gözle görülebilecek kadar yavaş olabilir. Bazı demir alaşımlarında, atermal ve izotermal tipi martensitik dönüşümlerin her ikisi birden meydana gelebilir<sup>(14)</sup>. Martensite faz dönüşümlerinin diğer bir özelliği ise tersinir olmasıdır. Oluşan martensite kristalleri,  $M_s$  sıcaklığından daha yüksek bir  $A_s$  sıcaklığında yeniden austenite'e dönüşebilir. Bazı Fe alaşımlarında martensite kristalinin, austenite kristaline dönüştüğü bu sıcaklık, oda sıcaklığının çok üstünde olduğundan normal gözlem koşullarında martensite kristalleri daha karardır<sup>(11)</sup>. İçerisinde martensite faz oluşmuş bir kristal denge sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta tavlınırsa (Fe alaşımları için bu sıcaklık yaklaşık 600 °C civarındadır) ve tekrar soğutulursa martensite fazın başlama sıcaklığı,  $M_s$ ' den aşağı bir sıcaklığa çekilir<sup>(1)</sup>. Austenite kristale uygulanan plastik zorlar da dönüşümü etkileyebilir. Uygulanan zor, dönüşüm miktarını artırabileceği gibi  $M_s$  ve  $A_s$  sıcaklıklarını da değiştirir. Soğutma ile elde edilen martensite fazın başlama sıcaklığı  $M_s$  iken plastik zor uygulandıktan sonra soğutma ile elde edilen martensite fazın başlama sıcaklığı  $M_s$  sıcaklığından daha büyük olan  $M_d$  sıcaklığına yükselir. Plastik zorun etkisi ile ters dönüşümün gerçekleştiği sıcaklık olan  $A_s$  sıcaklığı da  $A_d$  değerine düşer. Eğer  $M_d$  ve  $A_d$  plastik zorlarla aynı değeri almıyorsa, her iki fazın dengede bulunduğu sıcaklık olarak tanımlanan  $T_0$  sıcaklığı;

$$T_0 = \frac{A_d + M_d}{2} \quad (2.4)$$

şeklinde verilebilir. Martensitenin bitiş sıcaklığı da  $M_f$  sıcaklığıdır.  $M_s$  ve  $M_f$  sıcaklıkları DSC (Differential Scanning Calorimetry) ile tespit edilmektedir.

,

## 2.4. Martensitik Faz Dönüşümlerinin Oluşum Şekli

Martensitik faz dönüşümü; ana yapıdan (austenite) ürün yapıya (martensite) atomların komşuluklarını değiştirmeksizin gerçekleşen bir faz dönüşümü olup, dönüşüm sonucunda ana faz, ürün faza tümü ile dönüşmez<sup>(14)</sup>. Austenite fazdan martensite faza dönüşüm olayı; kristalografik olarak ele alındığında bu olay, özelliği materyalin kompozisyonuna ve kristalografik özelliklerine göre değişen belirli fiziksel etkenler altında oluşur. Austenite ve martensite yapı arasındaki serbest enerji farkı ile oluşan martensitik faz dönüşümlerinin, genelde üç tür fiziksel etki ile oluştukları gözlenmiştir<sup>(12)</sup>. Bunlar:

1-Soğutma ile oluşturulan martensitik dönüşümlerin oluşumu ilk kez Bain modeli ile açıklanmış olup, bu tür oluşumlarda yalnızca sıcaklığın etkisi vardır.

2-Martensitik fazın oluşmaya başladığı sıcaklık olan Ms sıcaklığının hemen altında uygulanan ve elastik sınırı aşmayan zorla etkilendirerek, soğutma ile meydana getirilen martensitik dönüşümler.

3-Ms sıcaklığının üzerinde zorlanma ile meydana getirilen martensitik dönüşümlerdir.

Martensite oluşumu sırasında ana kristal yapıya dıştan uygulanan mekanik zorlar da dönüşümü etkiler, bu durum küçük zorlar için ana fazın homojen bir bozunmasına (distortion) yol açacağı için, martensite oluşumu ile mekanik zorlar arasında fiziksel bir ilişkinin varlığı düşünülmelidir. Bu tür zorlara bağlı olarak Ms sıcaklığı da değişir. Örneğin dışarıdan uygulanan mekanik zor atermal dönüşüm için Ms sıcaklığını artırırken, izotermal dönüşüm için uyarıcı bir etkiye sahiptir. Dışarıdan uygulanan zor; martensite kristalinin oluşumunu kristalografik açıdan



kolaylaştırıcı doğrultuda ise, bu durumda dönüşüm için daha az bir sürücü kuvvet gerekeceğinden,  $M_s$  sıcaklığı yükselecek ve  $(M_s-A_s)$  sıcaklık aralığı daralacaktır. Diğer taraftan, uygulanan zor martensite plakasının oluşumunu engelleyici yönde ise, bu durumda dönüşüm için daha büyük bir sürücü kuvvet gerekeceğinden,  $M_s$  sıcaklığı düşecektir. Yapılan deneysel çalışmalar ısı değişimi olmadan, yalnızca zor etkisi ile de martensitik faz dönüşümü olayının gerçekleşebileceğini göstermiştir<sup>(20)</sup>. Sonuç olarak, martensitik faz dönüşümü olayı; ısı değişimi ve bozulma ile veya ana faza her iki etkinin beraber uygulanması ile oluşabilmektedir. Ayrıca alaşım içerisinde sıcaklık ve deformasyon etkisi dışında, manyetik alan etkisi ile de martensite fazın oluşturulabileceği ve manyetik alan etkisi ile oluşturulan martensitik faz dönüşümünün olabilmesi için yaklaşık 50 Gauss'luk bir manyetik alan uygulamak gerektiği Kakeshita ve arkadaşları tarafından belirtilmiştir<sup>(21)</sup>.

Martensitik dönüşüm olayı, ana faz ( $\gamma$ -austenite) 'in belirli bir hacminin belirli bir sıcaklıkta ürün faz ( $\alpha'$ -martensite) geçişi şeklinde ortaya çıkar ve bu ilk geçişi takiben oluşumu gerçekleştiren fiziksel etken sürdürülmez ise, başka bir dönüşüm gözlenmez. Bu gözlem, martensite kristallerinin oluşumunun atomik büyüklükler düzeyinde yer değiştirerek büyümelerinin atomların birlikte bir konumdan diğerine geçmesi ile ortaya çıktığını gösterir<sup>(21)</sup>.

## **2.5. Martensitik Dönüşüme Dış Zorun Etkisi**

Martensite oluşumu sırasında austenite yapıya dışardan uygulanan mekanik zor da dönüşüm için etkilidir. Dışardan uygulanan küçük zorlar ana fazın bozulmasına (distortion) yol açacağı için martensite oluşumu ile mekanik zor arasında fiziksel bir ilişkinin varlığı düşünülebilir. Uygulanan zor, martensite

kristalinin oluşumunu kristalografik açıdan kolaylaştırıcı doğrultuda ise dönüşüm için daha az bir sürücü kuvvet gerekir ve  $M_s$  sıcaklığı yükselir. Böylelikle ( $M_s-A_s$ ) aralığı değişecek ve daralacaktır. Dışardan uygulanan zor martensite plakının oluşumunu engelleyici yönde ise bu durumda dönüşüm için daha büyük bir sürücü kuvvet gerekeceğinden  $M_s$  sıcaklığı düşer. Yapılan deneysel çalışmalar ısı değişimi olmadan yalnızca zor etkisi ile martensite faz dönüşümünün olabileceğini göstermiştir<sup>(1,12,22)</sup>.

Bugüne kadar birçok alaşım sisteminde zor etkisi incelenmiştir. Bunlardan en yaygını çeliklerdeki dönüşümdür. Fe-Cr-Ni alaşımında martensite miktarının zorlanmaya göre değişimi incelenerek zorlanma miktarı artıkça martensite miktarının arttığı ortaya konmuştur. Fe-bazlı birçok alaşımında uygulanan plastik deformasyon altında zorlanma-etkili (strain-induced) martensite gözlenmiştir<sup>(2-23-24)</sup>. Öte yandan zorlanma-etkili martensite morfolojisinin genel olarak termal-etkili martensitelerden farklı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni deformasyon etkisi ile  $M_s$  sıcaklığının artması sonucu oluşumun daha yüksek dönüşüm sıcaklığına sahip martensite karakteristiğine benzer morfolojilerde ortaya çıkmasıdır. Ayrıca zorlanma-etkili martensitenin, mekaniksel özellikleri etkilediği bilindiği için böyle bir morfolojik değişimin beklenilmesi doğal olacaktır<sup>(13)</sup>.

Austenite fazdan martensite faza dönüşüm için iç kuvvetler sürücü kuvvet olarak yeterli olmayabilir. Bunun için de austenite faza dışardan bir ek kuvvet uygulanması veya sıcaklık değişimi ile iç kuvvetin büyütülmesi gerekir. Zor veya termal etki ile austenite fazda meydana gelen mikroskobik hacim değişikliği dönüşüm için gerekli olan sürücü kuvvetin ortaya çıkmasına sebep olur. Özellikle Kaufman ve Cohen'in

zor ve termodinamik üzerine yapmış oldukları çalışmadan sonra, demir bazlı alaşımların martensite dönüşümünde dış zorun etkisi daha çok tartışılmıştır.<sup>(1)</sup>

## **2.6. Martensitik Dönüşümlerde Örgü Kusurlarının Etkisi**

Katılar atomik dizilmelerinde bir takım kusurlar içerir. Gerek katılma sürecinde gerekse ısı, dış zor ve basınç gibi sonradan etkilerle ortaya çıkan bu kusurlar; noktasal kusurlar, çizgisel kusurlar, iki-boyutlu yüzeysel kusurlar ve üç-boyutlu hacimsel kusurlar olmak üzere dört grupta toplanabilir. Bu kusurlar, katının mekanik ve fiziksel davranışları üzerinde önemli etkilere sahiptir<sup>(13)</sup>. Martensitik dönüşümlerde ana fazın mikro yapısal özellikleri önemlidir. Dönüşüm öncesi ana fazda bulunan örgü kusurlarının martensitik dönüşüm süresince atomların düzenli bir şekilde yeniden dizilimlerini etkilemesi beklenir. Genellikle ana fazda farklı türde bulunan bu kusurların etkilerini birbirinden ayırmak oldukça güçtür<sup>(13)</sup>.

Dislokasyonların etkisi: Bir kristal yapı içerisinde kusur olarak en çok dislokasyonlar (çizgisel yapı kusurları) görülür. Dislokasyonlar, genel anlamda kristal yapı içerisinde yerlerini değiştirmiş atomların oluşturduğu bir çizgi olarak düşünülebilir. Bir katıda dislokasyonlar sonucu atomlar denge konumlarından ayrıldıklarından çizgi çevresinde gerilmeler doğar. Dolayısıyla bir şekil değiştirme enerjisi depo edilir. Dislokasyonların ortaya çıkardığı bölgeler bozulmamış bölgelere göre daha yüksek enerjili bölgelerdir<sup>(13)</sup>.

Martensitik oluşumun çekirdeklenme aşamasında Dislokasyonların büyük önem taşıdığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Dislokasyonların bulunduğu bölgeler, çekirdeklenmeler için daha küçük bir aktivasyon enerjisi engeli

oluşturacaklarından, çekirdeklenme olasılığı bu bölgelerde en büyüktür ve bu bölgelerde çekirdekler kolayca ortaya çıkabilirler. Ayrıca dönüşüm sırasında oluşan çekirdeklerin, dislokasyonların zorlanma enerjilerini küçültmeleri nedeniyle çekirdeği ortaya çıkaracak olan atomlar dislokasyonlar tarafından çekilerek çekirdek oluşumu kolaylaşabilir ve böylece çekirdekler, daha çok dislokasyon çizgileri boyunca ortaya çıkarlar. O halde dislokasyonlar dönüşümün çekirdeklenme miktarını artırabilir ve bu nedenle de  $M_s$  sıcaklığında bir yükselme gerçekleşebilir.

Martensitik dönüşüm üzerinde dislokasyonların etkisi yalnızca çekirdeklenme değildir. Martensite kristaller büyüme aşamasında iken çekirdek üç boyutta genişleyerek, zayıfta olsa dislokasyonların çekirdeğin büyümesini durdurma gibi bir olasılığı da vardır. Bu şekilde austenite-martensite faz dönüşümünü engelleyebildiği gibi martensite-austenite dönüşümünü de engelleyebilir<sup>(13)</sup>.

Yukarıda verilen örgü kusurlarından başka çökelti ve yığılım kusurlarının da martensitik dönüşümde önemi vardır. Çökelti bazen şekil değişimine engel oluşturarak dönüşümün başlamasını güçleştirir ve bu durumda  $M_s$  sıcaklığı düşer<sup>(16)</sup>. Bir kristal yapı içerisindeki atomik düzlemlerin yığılım sıralanışında meydana gelen bir düzensizlik olarak ortaya çıkan yığılım kusurlarının da martensitik dönüşüm üzerinde dislokasyonlara benzer bir etkiye sahiptir<sup>(2,13)</sup>.

## **2.7. Katı Cisimlerin Manyetik Özellikleri**

Manyetizma, katıhal fiziğinin önemli bir konusu olmakla kalmayıp, aynı zamanda kuantum mekaniğinin ayrılmaz bir parçasıdır. Termodinamik dengede bulunan bir sistemde manyetik alan etkisi ile manyetik moment oluşması mümkün

değildir. Manyetizma bir taraftan elektronların spin ve yörüngesel momentlerin bir çizgi gibi düzgün şekilde dizilmelerinin ve diğer taraftan alanın sebep olduğu özel larmor hareketinden doğmaktadır. Yani serbest bir atomun manyetik momenti başlıca üç sebepten kaynaklanabilir: elektronların sahip oldukları spinden, yörünge etrafındaki açısal momentumundan ve bir dış manyetik alanda kazandıkları yörünge momentinden. Bu etkenlerden ilk ikisi mıknatıslanmaya “paramanyetik” üçüncüsü ise “diyamanyetik” olarak katkıda bulunur. Manyetizasyonu ( $\vec{M}$ ) ise birim hacimdeki net manyetik momentin ölçüsüdür. Ferromanyetizma, kristalde karşılıklı etkileşme değişiminden meydana gelmiştir. Bu manyetik momentlerin birbirlerine paralel olarak çizgisel sıralanmalarına sebep olur<sup>(25)</sup>.

### 2.7.1. Manyetizmanın Temeli

Manyetizasyon, birim hacimdeki net manyetik momenttir. Bir maddedeki toplam manyetik alan, hem uygulanan (dış) alana, hem de maddenin mıknatıslanmasına bağlıdır. Akım taşıyan bir iletkenin oluşturduğu bir  $B_0$  manyetik alanın bulunduğu bir bölge düşünelim. Toroid bir sargının içi olabilir. O bölgeyi bir manyetik madde ile doldurursak, bölgedeki toplam alan  $B=B_0+B_m$  olacaktır. Buradaki  $B_m$  manyetik maddenin oluşturduğu alandır. Bu katkı mıknatıslanma vektörü cinsinden  $\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H})$  olur. Burada  $H$  manyetik alan şiddeti olmak üzere tanımlanmalıdır.

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H}) \quad (2.5)$$

eşitliğiyle tanımlanır. SI birimleriyle  $H$  ve  $M$  her ikisinin birimi de  $A/m'$  dir.

### 2.7.2. Manyetik Alınganlık

Katıların manyetizmalarının manyetik dipollerden ileri gelir. Bu dipoller ya maddenin içinde mevcuttur veya manyetik alandan dolayı ileri gelmektedir. Bu ifadeye göre maddenin içindeki boşluk alanı (H) ye ek olarak manyetizasyon (M) vardır. M her birim hacim için dipol momentlerinin toplam tesirini tarif eder,  $4\pi$  faktörü ile belirtilmiş olup,

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{M} \qquad \vec{B} = \mu\vec{H} \qquad (2.6)$$

ifadelerinden

$$\vec{M} = \chi\vec{H} \qquad \chi = \frac{\mu - 1}{4\pi} \qquad (2.7)$$

Formüle göre manyetizasyon alan kuvvetiyle aynı yönde olmalıdır. Anizotropik kristallerde bu kural tam olarak geçerli değildir. Burada  $\chi$  öyle bir tensör olmalı ki bu tensörün M'ye bağıllığı bozulmamalıdır.

Alınganlığı ölçmek için daima düzgün manyetik alan kullanılmalıdır. Çünkü alan şiddeti, kendi alanının tatmin etmesi gibi sınır şartları katının iç kısmında ve yüzeyinde bozulmuştur. Sadece elipsoid şeklinde olan katılar bir düzgün alan yapabilse de bu iç kısımlar için geçerli değildir. O halde şekillendirilmiş olan katılar genellikle ölçümler için kullanılır<sup>(3)</sup>.

### 2.7.3. Manyetizma Türleri

Manyetik dipol momentleri, atomlardaki elektronların yörüngesel momentlerinde veya spin momentlerinde olduğu gibi katıların içinde her an mevcut olabilirler. İlk durum için paramanyetizma, ikinci durum için diyamanyetizmadan söz edebiliriz. Paramanyetizma için alanın görevi sadece farklı yerleşmiş olan manyetik momentleri, alanın yönüne çevirmektir. Bu yüzden  $\chi$  burada pozitifdir ( $\mu > 1$ ) Deneysel yönden paramanyetizma ve diyamanyetizma arasındaki fark alınganlığın işareti farkında yatmaktadır. Ayrıca sıcaklığa bağıllığı farkı vardır. Paramanyetizma alan kararlılık olan termal hareketlere karşı işleyeceğinden burada sıcaklığa daha kuvvetli bağımlılık görülür, diyamanyetizma ise sıcaklıkla yapılacak işi yoktur. Her iki halde de  $\chi$  alan şiddetine bağımlı değildir. Ferromanyetizma, paramanyetizmanın (bütün elektronların manyetik momentlerinin paralelliğinden doğan) aşırı halinin uzatılmasıdır. Bu durumda katı olan sadece dış alan olmayıp manyetik dipollerden ileri gelen iç alanda da olabilir. Burada ferromanyetiklerin alınganlıkların pozitif, paramanyetik alınganlıklardan defalarca küçük olduğunu söyleyebiliriz. Ferromanyetik alınganlık alan şiddetine bağı M ve H arasında çok iyi bilinen histerezis olayı görülür. Şayet termal hareketler çok büyük değilse, manyetik momentlerin tamamının sıralanması mümkündür. Bu yüzden ferromanyetizma belli bir sıcaklığın altında görülür. Belli bir noktanın üstünde ferromanyetikler, paramanyetikdir. Sadece oda sıcaklığında Fe, Ni, Co ferromanyetikdir.

### 2.7.3.a.Diyamanyetizma

Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddelere diyamanyetik denir. Manyetik alan uygulamasıyla elektriksel değişmeden oluşur. Elektromanyetizma Lenz kanununa göre bir elektrik devresinde akım değiştirildiğinde bu değişmeye karşı koyacak şekilde yeni bir akım oluşur. Bu akımın oluşturduğu manyetik alan uygulanan alana zıt yönde olup alınganlığı  $10^{-5}$  mertebesindedir. Bu tip manyetizma diğer tip manyetizmaların tamamen yer almadığı Bi, Cu, Ag ve Au gibi malzemelerde görülür. Her çeşit madde de diyamanyetizma etkisi olmakla birlikte paramanyetizma veya ferromanyetizmaya göre zayıftır<sup>(3)</sup>.

İki elektronunun manyetik momentlerinin büyüklükleri eşit fakat yönleri zıt olduğundan birbirlerini yok ederler ve atomun dipol momenti sıfır olur. Elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok etmezler ve madde manyetik alana zıt yönde net bir dipol moment edinir.

Süperiletkenler kritik sıcaklıkların altında öz direnci sıfır olan maddelerdir. Süperiletkenlerin mükemmel diyamanyetik özellik gösterdiklerini biliyoruz. Sonuçta süper iletken içindeki manyetik alanı sıfır olacak şekilde uygulanan alanı dışlar. Bu olaya Meissner olayı denir.

### 2.7.3.b.Paramanyetizma

Paramanyetizma maddeleri pozitif fakat küçük manyetik duygunluğa sahiptir ( $0 < \chi \leq 1$ ) sürekli manyetik dipol momenti olan atomların varlığından kaynaklanır. Bu dipoller çok zayıf etkileşimde bulunur. Atomların manyetik momentleri termal



hareketlilikten dolayı, statik olarak dağılmışlardır. Bu durumda atomlar ancak çizgisel şekilde sıralandıklarında bir manyetik etki gösterebilir<sup>(3)</sup>.

Paramanyetik duyarlılık sıcaklığa bağlıdır. Çok düşük sıcaklıklarda manyetik alan uygulaması sonucu çok kolay manyetik alan doğrultusunda dizilirler. Sonuç olarak duyarlılık (alınanlık)

$$\chi = \frac{C}{T} \quad (2.8)$$

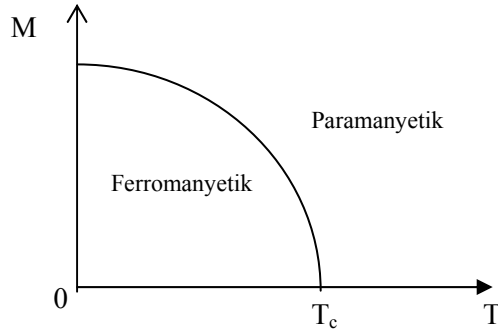
dir.

Kendiliğinden oluşan manyetizma mevcut ise;

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (2.9)$$

Curie-weiss kanunu olarak bilinir.

Ferromanyetik bir maddenin kendiliğinden Curie sıcaklığı denen bir kritik sıcaklığa geçtiği zaman maddenin kendiliğinden mıknatıslanmasını kaybettiğini ve paramanyetik duruma geçtiğini görürüz. (Şekil2.4) Curie sıcaklığı altında, manyetik momentler paralel olarak dizildikleri için madde ferromanyetiktir. Curie sıcaklığının üstünde ısısal enerji, dipollerinin gelişigüzel yönelmelerine neden olacak kadar yüksektir, bu yüzden madde paramanyetik olur.

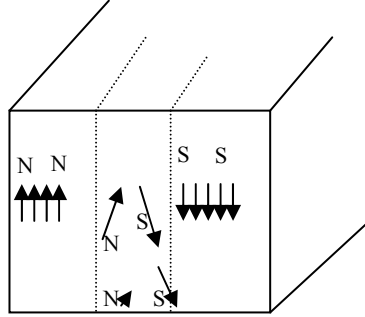


**Şekil 2.4.** Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının sıcaklıkla değişimi.

### 2.7.3.c.Ferromanyetizma

En çok bilinen ferromanyetik malzemeler Fe, Ni, Co gibi geçiş elementleridir. Bunların hepsi ferromanyetik olup bazı kritik sıcaklıklar altında düzenlendiklerinde negatif momente sahiptir. Fe'in 3d yörüngesinde çiftlenmiş ve birbirine spine sahip  $4\bar{e}$  vardır. Bu demirin magnetik momentinin 4 magnetona eşit olduğu anlamına gelir. Ferromanyetik malzemelerin manyetik özellikleri Curie sıcaklığı olarak bilinen kritik bir sıcaklıktan sonra bozulur ve malzeme paramanyetik olur. Ferromanyetik maddeler sürekli mıknatısların yapımında kullanılır. Bu tür maddeler, zayıf bir dış manyetik alan içinde bile birbirine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentlere sahiptirler. Bir kere momentler paralel hale getirildikten sonra, dış alan atomdan kaldırılrsa bile madde mıknatıslanmış olarak kalacaktır. Bu sürekli yönelim, komşu olan manyetik momentler arasındaki kuvvetli bir etkileşimden kaynaklanır. Domain, bir manyetik malzemenin farklı yönlerde manyetize olmuş bölgelerdir. Her domain bir mıknatıs olup  $10^{-12}$ -  $10^{-8}$  m<sup>3</sup> olup  $10^{17}$ -  $10^{21}$  civarında atom içermektedir. Farklı yönelimlere sahip olan bölgelerin arasındaki

sınırlara bölge duvarları denir. Bir manyetik malzemenin kutuplaşmış iki bölgesini birbirinden ayıran iki yüzeye domain sınırı denir.



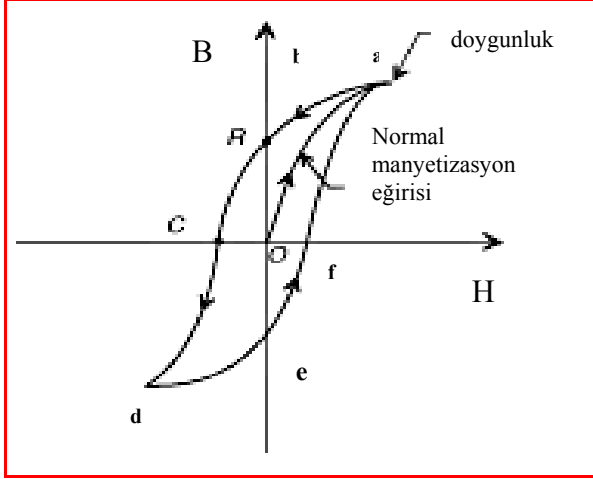
**Şekil 2.5.** Domain sınırı.

Domain sınırlarının hareketi malzemelerin manyetik özelliklerini saptamada rol oynar. Domain sınırları manyetik alan içerisinde hareket etme kabiliyetine sahiptir. Domainler, sınırların hareketinden sonra uygulanan manyetik alan çizgisine paralel olarak dizilirler. Bunun sonucunda da domain büyümesi söz konusudur. Domain büyümesi indüksiyon hızı ile artar.

Domainler hareketi birçok faktöre etki eder. Bunlar atom boşlukları ve dislokasyonlardır. Bunlar manyetik malzemelerin domain sınırlarının hareketliliğini engellediklerinden malzemenin manyetik özelliği bakımından sert olmasına neden olur. Şimdi çekirdeği mıknatıslanmış demirden oluşan toroid şeklinde bir kargal düşünelim. Sarımlardaki akım sıfırdan bir  $I$  değerine artırılırsa,  $H=nI$  ifadesine göre alan şiddeti  $H$ ,  $I$  akımı ile lineer olarak artar. Ayrıca şekilde gösterildiği gibi  $B$  toplam alanı da akım arttıkça artar. O noktada manyetik bölgeler rasgele yönelmişlerdir. Bu da  $B=0$ 'a karşılık gelir. Dış alan arttıkça bölgeler alanla daha çok paralel hale gelirler ve sonunda a noktasında hemen hemen hepsi paralel duruma geçerler. Bu durumda demir çekirdek doyuma yaklaşmaktadır. Doyum koşulu, tüm bölgelerin aynı yöne yöneldikleri duruma karşılık gelir. Akımın sıfıra düşürüldüğü ve

dış alanın ortamdaki kaldırıldığını düşünelim. Miknatıslanma eğrisi a b yolunu izler, b noktasında dış alan  $B_0=0$  olduğu halde, B alanı sıfır olmaz. Bu durum çok sayıda bölgenin paralel hale gelmelerinden dolayıdır.  $B=B_m$  noktasında kalıcı bir miknatıslanmaya sahiptirler. Akım sıfır değerine ulaştıktan sonra yönü değiştirilerek dış alanın yönü değiştirilip şiddeti artırılırsa, numune c noktasında tekrar miknatıslanmış duruma gelinceye kadar bölgeler yön değiştirirler. Burada  $B=0$  olur. Ters yöndeki akımdaki artış demirin ters yönde miknatıslanmasına neden olur ve d noktasında doyuma ulaşır. Akım tekrar sıfıra düşürülüp ve sonra başlangıçtaki olaylar zinciri oluşur miknatıslanma eğrisi def yolunu izler. Akım yeterince artırılırsa miknatıslanma eğrisi a noktasına geri döner. Burada numune maksimum miknatıslanma değerine kavuşur. Bu olaya histerezis olayı denir. Bu maddenin miknatıslanmasının alanın şiddetine bağlı olduğu kadar maddenin geçmişteki durumuna da bağlı olduğunu gösterir. Çoğu kez ferromanyetik malzemenin belleğe sahip olduğu söylenir. Çünkü dış alan ortadan kaldırıldıktan sonra bile madde miknatıslanmış olarak kalır. Histerezis ilmeğin şekli ve büyüklüğü ferromanyetik maddenin özelliklerine ve uygulanan maksimum alanın şiddetine bağlı olarak değişir.

Sert ferromanyetiklerin histerezis ilmekleri geniştir. Kalıcı miknatıslanmaları var demektir. Yumuşak ferromanyetikler demir gibi histerezis ilmekler dardır. Ferromanyetik bir malzemeyi uygulanan alanı yavaş yavaş azaltarak peşpeşe histerezis ilmeklerden geçirmek suretiyle miknatıslık kaldırılabilir.



Şekil 2.6. Histerezis eğrisi.

## 2.8. AC Alınganlık

Bu bölümde teorik ve deneysel çalışılmış farklı malzemelerin mıknatıslanma, alınganlık (duygunluk) ölçümleri, üzerinde yapılan çalışmalar ele alınmıştır. AC manyetik ölçümleri, bir numuneye AC manyetik alanının uygulanması sonucunda ölçülen AC manyetik momenti ile belirlenir. DC manyetik ölçümleri bir numunedeki manyetikleşmenin değerini belirler. Numune sabit bir manyetik alana tutularak,  $M(H)$  oluşturularak DC manyetikleşme eğrisi ölçülür.

AC manyetik ölçümünde zamana bağlı manyetik moment bobinlerde bir akımı indükler. Bu da numune hareketi olmadan ölçüm yapılmasını sağlar. Numunenin manyetik momenti  $M(H)$  eğrisini izler.

$$M_{AC} = \frac{dM}{dH} \times H_{AC} \times \sin \omega t \quad (2.10)$$

$H_{AC}$ : AC manyetik alan şiddeti

$$\chi = \frac{dM}{dH} \quad (2.11)$$

eğrisinin eğimine alınganlık (duygunluk) denir. AC manyetik ölçümlerdeki ilginin miktarıdır. Yukarıdaki ifadelerden farklı olarak yüksek frekanslarda numunenin AC momenti, numunedeki dinamik etkilerden dolayı, DC manyetikleşme eğrisini izlemez. Bu durumda AC alınganlık, dinamik alınganlık olarak bilinir. Yüksek frekanslar durumunda numunenin manyetikleşmesi AC alanını izler ve bu sonuçla AC manyetik alınganlık (duygunluk) iki değeri sonuç olarak verir, alınganlığın büyüklüğü  $\chi$  ve faz değişimi  $\theta$  ( AC sinyale bağımlı), gerçel kısmı  $\chi'$  ve imajiner kısmı  $\chi''$  dür. Bu iki durum aşağıdaki gibidir.

$$\chi' = \chi \cos \theta \quad (2.12)$$

$$\chi'' = \chi \sin \theta \quad (2.13)$$

$$\chi = \sqrt{\chi'^2 + \chi''^2} \quad (2.14)$$

$$\theta = \arctan(\chi'' / \chi') \quad (2.15)$$

AC ölçümlerinin, DC ölçümlerine benzer olduğu kısım düşük frekansların limitlerindeki gerçel kısım  $\chi'$  yukarıda tartışılan M(H) eğrisinin eğimidir.  $\chi''$  imajiner kısım numunedeki ihmal edilebilir kısımdır. Girdap özellikteki akımlardan dolayı iletken numunelerde ihmal edilebilir. Ayrıca hem  $\chi'$  hem de  $\chi''$  termodinamik faz değişimlerine karşı çok hassastır. Genellikle geçiş sıcaklıklarının ölçümlerinde kullanılır. Spin –glass davranışları genelde AC duygunluk (alınganlık) ölçümleri tarafından karakterize edilir. Spin- glass durumu donma sıcaklığı altında fark edilebilir ve sistem bu sıcaklığın üstünde paramanyetiktir.

Spin glass, ferromanyetik ve antiferromanyetik özelliklerin aynı anda gözlemlendiği faza denir. Spin glass terimi, geniş uygulamalı donma sıcaklığı davranışlarında ve tesadüfi manyetik sistemlerin bir çok farklı sınıflarının düşük sıcaklık manyetik özelliklerinden oluşmaktadır<sup>(26)</sup>.

$\Delta T_f/T_f$  donma sıcaklığı bağıl değişimi, %1 – 6.3 konsantrasyon bağımsız şekilde 0,005 olarak bulunmuş. Donma sıcaklığı yakınlarında, farklı  $\chi'(v)$  eğrileri, birbirine yaklaşan eğriler görülmüştür. Grafikten, sıfır olmayan bir  $\chi'$  değerinde  $T \rightarrow 0$  K olarak görülmüştür. 50K aşağılarında alınganlık, Curie kanununu izler. Oysa daha yüksek sıcaklık civarında 100-150K den Curie-Weiss'e benzer davranış bir küçük pozitif paramanyetik Curie-Weiss sıcaklığı ile oluşur.  $\chi'(T)$ ,  $T_f$  yakınlarında davranışı analiz edilmiş, Wohlfarth'ın süperparamanyetik blokaj modeli ile  $T_f$  yakınlarında en küçük sıcaklık değeri 0.4K'dir. Blokaj sıcaklığın dağılımı,  $\chi'$  deneysel datalarından saptanmıştır. Bu dağılım fonksiyonunda,  $T_f$  keskin geçiş gösterir. Anlaşıyor ki, toplu etkilerde spin –glass'ın bir donma sıcaklığı vardır<sup>(27)</sup>.

Tersinmez spin glass donma sıcaklığının altındaki sıfır olmayan faz kısmı  $\chi''$  e işaret eder. Spin- glass düzgün manyetik dinamiklerine sahip olduklarından dolayı birçok ilginç özellikler alınganlık davranışlarında gözlenir. Jonsson v.d sıcaklık davranışı için  $\chi''$  nasıl bir hafızaya sahip olduğunu gösterir. Burada  $Ag_{89}Mn_{11}$  numunesini soğutuyorlar. Soğutmayı  $23^0$  K de durduruyorlar. Sonra soğutmaya devam ediliyor. Değişik sıcaklıklarda  $\chi''$  davranışı gözlemlenerek  $Ag_{89}Mn_{11}$  araştırırlar<sup>(28)</sup>.

AC duyunluk ölçümleri süpermanyetizma gösteren küçük ferromanyetik taneciklerin karakterini belirlemede önemli bir araçtır. Bu teori Neel ve Brown tarafından açıklanmıştır. Bu teoride  $T_C$  kritik sıcaklık altında ferromanyetik özellikler gösterir.  $T_C$  kritik sıcaklık üzerinde süper manyetik özellik davranış özellikler gösterir. Süper manyetik durumda her taneciğin momenti serbest ve dolayısıyla taneciklerin toplamı paramanyetik olarak hareket ederler. Neel ve Brown teoride taneciklerin iletişim içinde olmadıklarını varsayar. Kritik sıcaklığı aşağıdaki gibi verilir.

$$T_C = \Delta E / \ln(\tau - \tau_0) k_B \quad (2.16)$$

$\Delta E$  bir tek tanecikteki dönme manyetikleşme için enerji bariyeridir.  $\tau$  ölçüm zamanıdır,  $\tau_0$  başvuru frekanstır,  $k_B$  boltzmann sabitidir. Ölçme zamanı DC ölçümleri için 0-100 saniyedir. AC ölçümler için ölçüm frekanslarının tersidir<sup>(28,29)</sup>. AC duyunluk kritik sıcaklıkların ölçülmesinde süperiletkenler fiziği için standart araçtır. Normal durumda, süperiletkenler tipik olarak küçük duyunluğu vardır. Tamamen süperiletken durumda  $\chi' = -1$  dir ve mükemmel diyamanyetik özellik gösterir. Bi 2223 örneğine  $H = 80(Qe)$  bir alan ve 100Hz frekans altında ölçüm yapmışlardır. Ölçüm sonucunda

$$\chi(T, H) = \chi'(T, H) - i\chi''(T, H) \quad (2.17)$$

Şeklinde karmaşık bir ifade tanımlanmıştır. Burada gerçel kısım olan  $\chi'(T, H)$  uygulanan alanla aynı fazda olan alınganlık bileşenini ve taneler ile taneler arası etkileşmelerle ilgilidir. Sanal kısım ise  $\chi''(T, H)$  faz dışı bileşeni temsil etmektedir. Enerji kayıpları ile ilgilidir. AC duyunluğun sıcaklığa ve alan şiddetine kuvvetli bağlı olmasına rağmen frekansa bağımlılığı zayıftır.



Tanecik içinde meissner etkisi oluştuğunda, tanecik içine ait soğurma piki gözlenmez. Bu durumda I. diyamanyetik geçişin başladığı sıcaklık  $T_{Con}$  ve tanecik içi süperiletken geçiş sıcaklığı  $T_{Cg}$  birbirine eşittir. Örnek bar şeklindeyken ölçülen AC duygunluk eğrilerinde iki diyamanyetik geçiş bulunmasına rağmen, toz haline getirilmiş örneklerde, yüksek sıcaklıkta gözlenen tanecik içinden kaynaklanan I. Diyamanyetik geçiş özelliğini korumakta, fakat II. Diyamanyetik geçiş ortadan kaybolmaktadır.

Diyamanyetik geçiş aralıkları manyetik alan şiddeti ile orantılıdır. Azalan manyetik alan şiddeti ile geçiş aralığının keskin aralığı artar. Malzemenin içerdiği fazların miktarını manyetik alınganlık (duygunluk) eğrilerinden hesaplanabilir.

$$\chi = \chi_b + \frac{C_{Nd^{+3}}}{(T - \theta_p)} \quad (2.18)$$

$$\chi_b = 13.10^6 \text{ emu/g} \quad \theta_p = 37^0 \text{ K} \quad (2.19)$$

Molekül kristallerinin yeni sınıfının manyetik özelliklerinde deneysel sonuçları incelemiş, çok güçlü paramanyetik, antiferromanyetik ve ferromanyetik fazlar yüksek manyetik alanda gözlenmiştir. Manyetik özelliklerin analizini tanımlamış ve kristal, moleküler yapıları dört temelde incelemiştir. Bunlar manyetizasyon, manyetik alınganlık, EPR ve mössbauer sonuçlarına bakmıştır<sup>(30)</sup>.

Manyetik özellik gösterebilen bir madde manyetik alan etkisinde soğutulduğunda manyetik alınganlık sıcaklıkla değişim gösterir. Manyetik alınganlığın ani değişim gösterdiği sıcaklıklarda farklı manyetik fazlar oluşur. Deneysel sonuçlar sıcaklık alınganlık değişimlerinin iki kez ani değişime uğradığını

gösterdi buna göre soğutulma esnasında görülen ilk değişme noktası yaklaşık olarak Curie sıcaklığı olup, bu sıcaklıktan büyük olan bölge paramanyetik özellik gösterebilir. Çünkü alınganlığın sıcaklığa göre doğru bir değişimi vardır<sup>(31)</sup>.

## 2.9. METOD

### 2.9.1. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada incelenen Fe-%15Mn-%5Co alaşımı, TÜBİTAK Gebze Araştırma Merkezi'nde hazırlanmıştır. %99.9 saflık derecesinde toz halinde bulunan Fe, Mn ve Co elementleri bir araya getirilip yüksek sıcaklıkta eritilerek 1cm çapında, 10cm uzunluğunda silindirik çubuklar halinde dökülmüştür. Fe-%15Mn-%5Co Alaşımından oda sıcaklığında elmas kesici ile kesilen numuneler farklı ısı işlemlere tabi tutuldular. Bu ısı işlemler: 1000, 1100 ve 1200°C de 12 şer saat fırında tavlama ve buzlu suya atılarak hızlı soğutmadır.

Silindirik çubuk halinde bulunan alaşımdan, elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilen numuneler, termal etkili faz dönüşümü olayını incelemek üzere 1000, 1100 ve 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında bekletildikten sonra, buzlu su ile hızlı soğutma uygulandı. Isıl işlem sırasında, yüksek sıcaklıklarda malzemedeki oksitlenmeyi önlemek amacıyla, numuneler yüksek sıcaklıklara dayanabilen kuartz cam tüpler içine konuldu ve daha sonra ısı işlem uygulandı.

Manyetik alınganlık incelenmek için ise ise 1100 ve 1200 C sıcaklığındaki fırında 12 şer saat tavlanan Fe-%15Mn-%5Co numuneleri, buzlu suya atılarak hızlı soğutmaya tabi tutulduktan sonra, oda sıcaklığında elmas bıçaklı uygun kesicilerle 1 x 1 x 5 mm<sup>3</sup> boyutlarında dikdörtgen prizması şeklinde kesilerek hazırlandı. Farklı ısı ve işlemler uygulanarak elde edilen numuneleri incelemek için aşağıdaki teknikler kullanıldı;

a-) Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM) ile yüzey gözlemleri,

b-) Manyetik alınganlık Ölçümleri

### **2.9.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) gözlemleri için numunelerin hazırlanması**

Taramalı elektron mikroskobu ile yapılacak yüzey gözlemleri için; 1000,1100 ve 1200 °C sıcaklığında 12 şer saat fırında tavlansak buzlu su ile hızlı soğutma uygulanan numuneler, değişik kalınlıktaki su zımparaları ile kalından inceye doğru gidilerek zımparalandı ve bu şekilde yüzeydeki pürüzler ve kalın çizgiler ortadan kaldırılmış oldu. Daha sonra ise parlatma cihazı kullanılarak elmas pastalarla numune yüzeyleri parlatıldı. Mekanik olarak parlatılan yüzeyler asetikgliseriya (3 birim hidroklorik asit, 2 birim gliserin,1 birim nitrik asit) karışımından oluşan çözelti içerisinde oda sıcaklığında 1 dakika bekletilerek dağlandı. Numunelerin yüzeylerinde oluşan mikro yapı karakteristikleri 30 kV gücünde Jeol 5600 SEM ile incelendi.

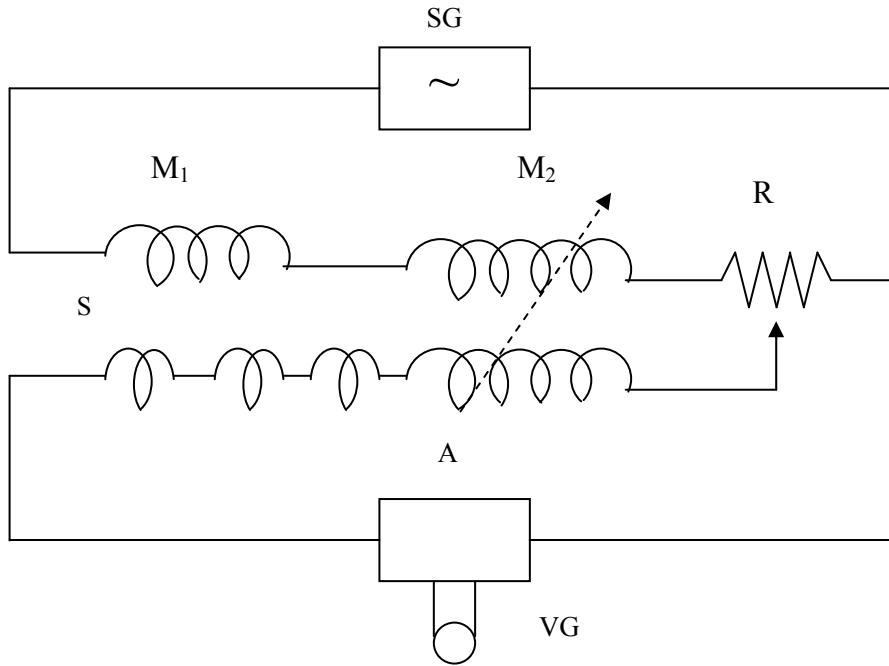
### **2.9.3. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)**

Elektrooptik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (SEM), birçok dalda araştırma geliştirme çalışmalarının kullanımı yanında, sanayi, fizik, biyoloji ve tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Katod ışınları tüpü mantığı ile çalışmaktadır. Numuneler havası alınmış bir tüpe yerleştirilir. Elektron demeti uygun potansiyel altında hızlandırılıp, numune üzerine düşürülür. Elektron demeti-numune etkileşiminden ortaya çıkan sinyallerin uygun algılayıcılar tarafından algılandıktan sonra çeviriciler tarafından görüntüye dönüştürülmesi yolu ile yüzey incelemesi yapılacak numunenin yüzey incelemesi yapılır.

## 2.9.4. Manyetik alınganlık ölçümleri

### 2.9.4.a Manyetik Duygunluk Ölçüm Yöntemleri

Manyetik duygunluk ölçümleri için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kuvvet yöntemi, kuvvet çifti yöntemi, Faraday yöntemi, indüksiyon yöntemi, SQUID yöntemi vb. gibi. AC duygunluk ölçümleri yapmak için, Hartshorn tipi karşılıklı indüktans köprüsü ayrıntılı olarak Klerck ve Hudson tarafından incelenmiştir.

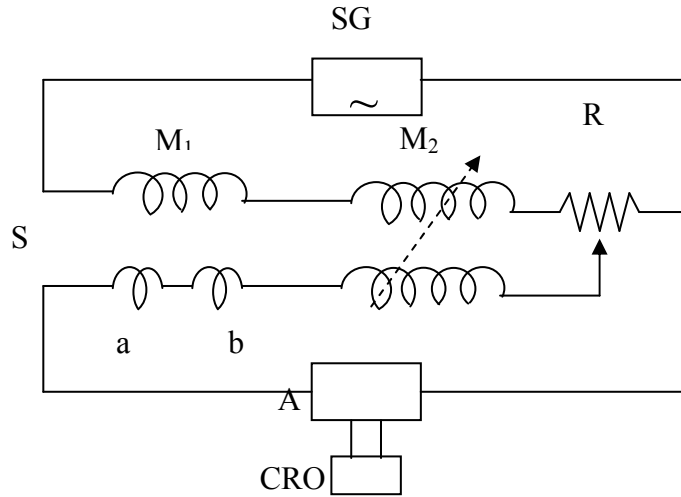


**Şekil 2.7** Duygunluk ölçümleri için kullanılan Hartshorn köprüsünün şematik devresi.

S numunesi  $M_1$  karşılıklı indüktans bobinlerinin merkezine, rijit olarak yerleştirilmiştir.  $M_1$  bobininin sekonderi üç kısma ayrılmıştır. Üçüncü sekonder ise tümünün karşılıklı indüktansı sıfır olacak şekilde, diğerlerinin tersi yönünde sarılmıştır. SG sinyal jeneratörü; bir düşük frekans (200 Hz) güç kaynağıdır. A amplifikatörü VG titreyen galvonometresi, diğer aletleri oluşturur. Ölçümlere başlamadan önce  $M_1$  bobininin indüktansı,  $M_2$  ve R kullanılarak denge konumuna

getirir. Numunenin sıcaklığı değiştiğinde,  $M_1$  indüktansı numunenin duygunluğundaki değişim ile orantılı olarak değişir. Bu değişim bobinlerin geometrisine de bağlıdır.  $M_1$  bobinlerinin geometrisi çevre ve manyetik çiftlenim minimum olacak şekildedir.  $M_1$ 'in sekonderindeki sargıların sayısını artırarak ve bobinleri numuneye mümkün olduğu kadar yakın tutarak, ölçüm duyarlılığını daha da artırmak mümkündür. Bu gerçek Mc Kim ve Wolf tarafından anlatılan köprüde ispatlanmıştır. Bu köprü son derece duyarlı ve 77K ile 1.8K arasında kullanışlıdır. Şematik devresi Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Şekil 2.10 da bir Hortshorn köprüsü kullanılmaktadır. S numunesi önce a bobininde sonra b bobininde iken iki ölçme yapılmaktadır. Mc Kim ve Wolf'un yöntemi 0.5 cm çaplı numuneler için %1 duyarlılıkta,  $\chi = 3 \times 10^{-6}$  emb/cm<sup>3</sup>'lük duygunlukları ölçmeye uygundur.



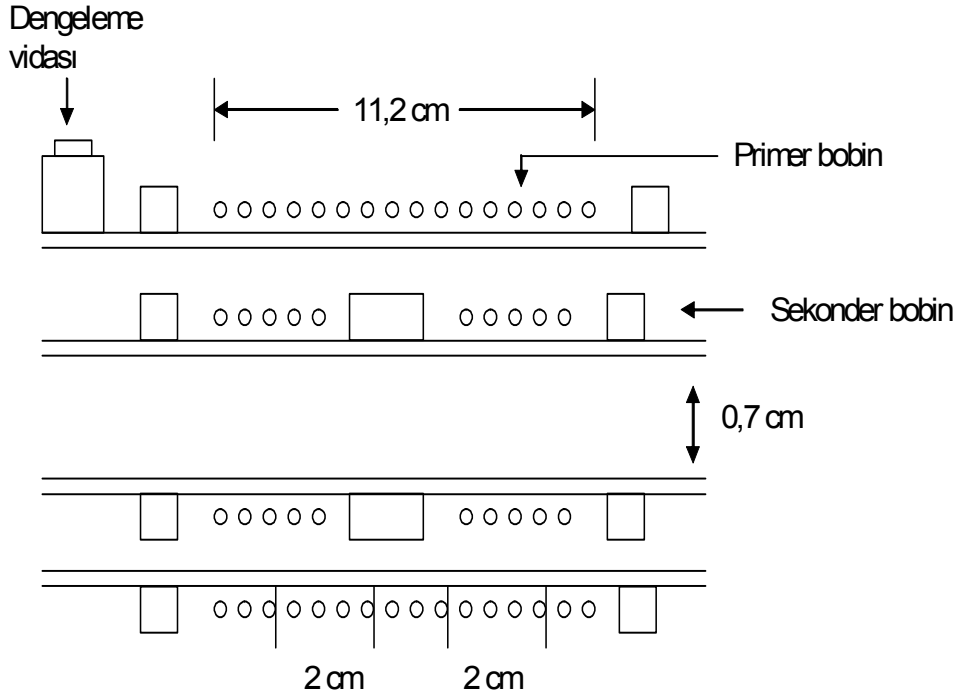
**Şekil 2.8** Numune konumu değiştirilebilir, Hortshorn köprüsü devresi.

Esas dezavantajlarından birisi, mekanik bir kolun numune ile birlikte hareket edecek şekilde yerleştirilmesidir. Ayrıca numunenin hareket sınırları, duyarlı bir şekilde kontrol edilmelidir. Anlatılan ölçüm için,  $M_1$ 'in sekonderlerinin her birisi

(a ve b) 5000 sarım içermelidir. Bu büyük sarım sayısı, köprüyü hem frekansa hem de akıma bağımlı kılmaktadır. AC duygunluk (alınanlık) ölçüm düzeneği iki kısımdan oluşur. Kriyostat ve elektronik ölçme düzeneği. Kriyostat; ölçme bölgesinin dış ortamlardan izole edilerek, istenilen fiziksel koşulların ölçme bölgesi içinde homojen bir şekilde meydana getirilmesini sağlar. Çalışılmak istenen bölge, oda sıcaklığı ile sıvı azot sıcaklığı arasında (300 K – 77 K) olduğundan, dış kap olarak pyrex tüp, ihtiyacı karşılamaya yeterli olmuştur. Pyrex tüpün üst kısmı pirinçten yapılmış bir kapakla kapatılmıştır. Bu kapağın üzerinde vakum borusu, elektriksel bağlantılar, numuneye hareket etme imkanı sağlayan bir başka kısım bulunur. Bu kısım 8 cm uzunluğunda bir pirinç boru olup, pirinç kapağın üst kısmına monte edilmiştir. Borunun içinde bir o- halkasının yerleşebileceği bir boşluk vardır. Bu boşluk, pirinç borunun bileziği kullanılarak, o- halkası ve cam çubuk koyulduktan sonra daraltılabilmektedir. Bu kısım numunenin sekonder bobinler içinde, rahatça aşağı yukarı hareket etmesine izin verir. Ölçüm düzeneği bobinleri ve ısıtıcı, daha homojen bir sarım elde etmek ve sarım karkaslarının meydana getireceği hacim kayıplarını önlemek için, cam üzerine sarılmıştır. Primer ve sekonder bobinlerin sarıldığı bakır tellerin kalınlığı 0,1 mm. olarak seçilmiştir. Deneye başlamadan önce, üzerindeki vida yardımı ile primer bobin, sekonderler üzerinde çıkış gerilimleri eşit olacak şekilde hareket ettirilerek, uygun nokta bulunduktan sonra sabitleştirilir.

**Tablo-2.1** Bobinlerin Özellikleri.

Bobinler	Direnç ( $\Omega$ )	Sarım Sayısı	Ölçülen self
1.sekonder	52	1025	3.05 mH
2.sekonder	51	1025	2.87 mH
Primer	47	1497	2.35 mH



**Şekil 2.9** Primer ve sekonder bobinlerin konumu.

Ölçümlerde kapasitif etkileri en aza indirmek için, sarım sayısı az tutulmuştur. Diğer taraftan çıkış genlikleri ve faz farkının görülebilmesi için 2.2 kHz gibi yüksek frekansla çalışılmıştır. Tabloda 1.sekonder bobin (3.05 mH) ile ikinci sekonder bobin (2.87 mH'nin) toplamı 5.92 mH'dir. İki sekonder seri halde iken multimetre ile ölçülen selfi ise 5.91 mH'dir. Buradan sekonder iki bobinin karşılıklı indüktansının, ihmal edilebileceği sonucu orta çıkar. Tek bir kat bobinin self



indüktansı,  $L = 4\pi^2 r^2 n^2 / \ell$  formülü ile verilmiştir. Bu formül kullanılarak, her bir bobinin self indüktansı hesaplanabilir. Birincil ve ikincil sekonder bobinler için hesaplanırsa  $L = 10$  mH, primer bobin için hesaplanırsa,  $L = 21$  mH bulunur. Aradaki fark bobinlerin çok katlı olmasından ve çapına göre boyunun çok uzun olmamasından kaynaklanmıştır. Sekonderin, bobini tutan cam borunun genişliği, doluluk oranını artırmak için, numuneyi kaplayacak şekilde seçilmiştir. Böylece numune bobinler arasına koyulduğunda bobin-numune arasında minimum boşluk kalır. Bu durum ölçüm duyarlılığının artırılmasını sağlar. Sıcaklık kontrolü; kriyostat içinde iki termoçift bulunmaktadır. Her ikisi de bakır-konstant termoçiftlerdir. Biri numuneye değerek iyi bir sıcaklık ölçümü yapılmasını sağlar, diğeri ise bobinlerin alt kısmındaki sıcaklık durumunun gözlenmesine yardım eder. Kriyostat içerisindeki sıcaklık ısıtıcı yardımı ile yükseltilmiştir. İyi bir sıcaklık dağılımı olması içinde kriyostat içerisine 16 cm Hg He gazı basılmıştır. He gazı bobinlerin en alt ve en üst kısımları arasındaki sıcaklık farkı minimuma indirger. Diğer bir durumda termoçift referansı ile ilgilidir. Termoçiftin referansı 0 C değil de sıvı azot sıcaklığı (77 K) alınmıştır. Böylece daha geniş bir sıcaklık bölgesi, ayrıntılı olarak gözlenebilmektedir. Beş farklı süperiletken numunenin sıcaklıkla duygunluk değişimini incelemiştir. İncelenecek numune tutturucuya tutturulduktan sonra, numunenin sıcaklığını ölçen termo çiftle teması sağlanarak, kriyostat içine bobinlerden olabildiğince uzakta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bir rotary pompa ile kriyostatın içindeki hava oda sıcaklığında 3 cm Hg civarında boşaltılarak He gazı doldurulmaktadır. Daha sonra kriyostat, dewar kabı içindeki sıvı azota daldırılarak, gerek numunenin sıcaklığını ölçen termoçiftin, gerekse alt bobin hizasındaki termoçiftin çıkışı sıvı azot sıcaklığındaki referansa göre  $0.005 \pm 0.001$  mV oluncaya

kadar beklenmiştir. Sistem bu duyarlılık içinde sıvı azot sıcaklığına ulaşmış kabul edilerek, önce sekonder bobinlerin elektriksel dengelenmesi yapılmıştır. Daha sonra numune, üst bobin içine gerilim farkı maximum olacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece numunenin sekonder bobininin merkezinde, en etkin bölgede olması sağlanmıştır. Isıtıcıya, ortalama 1°C/dk.lik bir sıcaklık artışı sağlayacak şekilde akım verilmiştir. Bir xy yazıcısında yatay eksen numune sıcaklığını ölçen termoçiftin çıkışına, düşey eksen ise gerçel kısım ölçen devrenin veya sanal kısım ölçen devrenin çıkışına bağlanarak, numunenin duyunluğunun gerçel ve sanal kısımları sıcaklıkla nasıl değiştiği gözlenmiş.

Manyetizasyon ölçümü, malzemelerin elektronik ve manyetik özellikleri hakkında önemli bilgiler verir. Ac manyetik duyunluk metodları çok yaygın olarak üstüniletkenlerin, diyamanyetik tuzların paramanyetik duyunluklarını ölçmede kullanılır.

Deney düzeneği, düzenek tamamıyla bilgisayar kontrollüdür ve şu temel bölümlerden oluşur; kriyostat, örnek çubuğu, sıvı helyum banyosunda bulunan bobin sistemi ve mutual indüktans köprüsü. Kriyostat; deney süresince vakuma alınan paslanmaz bir çelik boru ve bunun dışına tutturulmuş olan sıvı helyum tankının transfer deliği çapındaki ikinci bir paslanmaz çelik borudan oluşmaktadır. İçteki paslanmaz çelik borunun alt ucuna bobin sistemi bağlanmıştır. İki paslanmaz çelik boru arasındaki boşluktan bobin sisteminin elektriksel bağlantıları geçirilmiştir. Düzeneğin en üstünde elektriksel bağlantı elemanları, örnek çubuğu tutucusu, helyum çıkış bağlantısı ve vakum vanası bulunmaktadır. Bu bağlantıların tamamı vakum ortamına bağlandığı için bu noktalar vakum tutacak şekilde yapılmıştır.

Helyum gazı çıkışı, direk olarak He gazı toplama ünitesine bağlıdır. Böylece deney süresine buharlaşan He gazı sisteme geri alınır. Aynı zamanda vakum vanası vakum ortamına termal iletkenliği artırmak için He gazı göndermek için kullanılır. Örnek Çubuğu; paslanmaz çelik boru ve bunun ucuna takılmış Al örnek tutucudan oluşmaktadır. Isıtıcı alüminyum parçanın üst kısmına toplam direnci 40  $\Omega$  olacak şekilde konstantan telden sarılmıştır. Isıtıcı ikincil sarımların dışında kalacak bir noktaya konulmuştur. Yüksek sıcaklık üstün iletkenlerin termal iletkenliklerinin düşük olması nedeniyle ölçüm esnasında sıcaklık artış hızının düşük olması gerekmektedir. Bu nedenle sıcaklık artış hızı ısıtıcıya verilen gerilim ile kontrol edilir. Örneğin bulunduğu ortamın sıcaklığı örnek tutucunun içerisine gömülmüş Pt direnç termometresiyle okunmaktadır. Platin direnç termometresinin kalibrasyonu AC dört nokta direnç ölçüm düzeneğiyle yapılmıştır. Isıtıcı ve platin direnç termometresinin bağlantı kabloları örnek çubuğu içerisinden üst kısımda yer alan elektriksel bağlantı elemanlarına taşınmıştır. Örnek çubuğu üzerinde radyasyon yoluyla ısı aktarımını engelleyecek bakır levhalar bulunmaktadır.

Birincil ve ikincil bobinlerin özellikleri; kriyostatın alt ucunda bobin sistemi bulunmaktadır. Bobinler sıcaklığındaki küçük bir değişik ikincil bobinde elde edilen elektriksel gerilimin değişmesin enende olacaktır. Bunu önlemek için deney süresince bobinler sıvı He banyosunda tutulur. Her ikincil bobin 2 cm uzunluğunda ve 4000 sarımdan oluşmaktadır. Birincil bobinin 10 cm bir bölgeye sarım sayısı 1074 toplam olacak şekilde sarılmıştır. İkincil bobin çapı 0.0475 mm olan bakır telden sarılmıştır. Birincil bobinde kullanılan tel çapı ise 0.2 mm'dir. Sarım işlemi yapılırken öncelikle paslanmaz çelik üzerine uygun boşluklar fiber ile yapılmıştır. Daha sonra bu parçadaki boşluklar ikincil sarımlar sarılmıştır. İkincil bobinin üzerine

birincil bobin kaptonla yalıtıldıktan sonra sarılmıştır. Birinci ve ikinci bobinlerin oda sıcaklığındaki elektriksel dirençleri sırası ile  $20 \Omega$  ve  $1.4 \text{ k}\Omega$ 'dur. Her ne kadar ikincil sarımların eşit olmasına karşın sarımdaki düzensizlikler nedeniyle ikincil bobinler boş iken elektriksel gerilim gözlenmektedir. Bu gerilimin sıcaklığa ve manyetik alan şiddetine bağımlılığı ayrı deneylerle saptanarak bilgisayar programına dahil edilmiştir.

#### **2.9.4.b. AC Alınganlık Ölçme Düzeneği**

AC alınganlık numune içerisine manyetik akı girişiyle oluşan mıknatıslanmanın uygulanan alanın tepe sıfır noktasındaki değerleri ile ilişkilidir. En önemli özelliği, mıknatıslanma ile ilişkili sinyalin faz-dışı ( $\chi''$ ) ve faz-içi ( $\chi'$ ) bileşenlerinin harmonik alınganlıklar olarak ayrıştırılıp kolayca ölçülebilmesini sağlamasıdır. Burada deney sonuçlarının doğru olması için faz ayarı önemlidir.

AC alınganlık ve mıknatıslanma ölçme metodu, numunede karşılıklı indüktans nedeniyle indüklenen sinyalin bir Faz Duyarlı Dedektör (FDD) kullanılarak ölçülmesine dayanmaktadır. Normal olarak numuneye primer bobin yardımı ile küçük ac magnetik alan uygulanır. Numune içinde bu alana karşı mıknatıslanma oluşturacak şekilde bir akım indüklenir. Sekonder bir bobin ile indüklenen bu sinyal algılanır ve sinyal FDD'e gönderilir. Bu sinyal numunede oluşan akımların ürettiği mıknatıslanmanın türevi ile orantılıdır. Orantı katsayısı geometri bağımlı bir büyüklük olup, numune ile bobinlerin şekline bağlıdır. Bir  $H(t) = H_{ac}\sin(\omega t)$  şeklinde dış ac magnetik alana maruz kalan numunenin tepkisi, saf sinüsel fonksiyon tepkisi olmayabilir. Numunenin magnetik davranışına bağlı olarak, uygulanan bir dış AC alandan kaynaklanan mıknatıslanmanın zamana göre tepkisi,

$$M(t)=H_{ac} \sum_{x=1}^{\infty} [\chi'_{n} \sin (n \omega t) - \chi''_{n} \cos (n \omega t)] \quad (2.20)$$

şeklinde genelleştirilebilir. Burada  $\chi$  harmonik alınganlığın faz için bileşeni yeni reel kısım  $\chi'$  ise harmonik alınganlığın faz dışı bileşeni yani sanal kısmı olarak tanımlar. Bir AC suseptometer, gerçekte numunenin içine yerleştirildiği hassas algılama bobininden elde edilen çıkış gerilimin ölçer. Bu gerilimin manyetizasyonunun değişim hızıyla orantılıdır.

$$M(t)=H_{ac} \sum_{x=1}^{\infty} [v'_{n} \sin (n \omega t) - v''_{n} \cos (n \omega t)] \quad (2.21)$$

$$\infty \frac{dM(t)}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dm(t)}{dt} \quad (2.22)$$

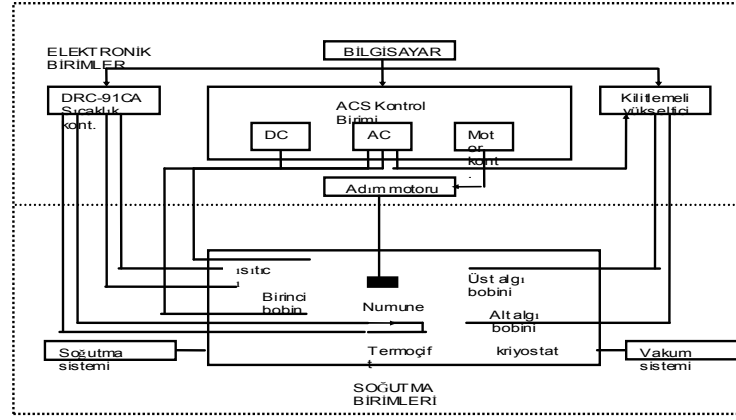
$$=H_{ac}n\omega \sum_{x=1}^{\infty} [\chi'_{n} \cos (n \omega t) - \chi''_{n} \sin (n \omega t)] \quad (2.23)$$

olur. Bu denklemler kullanılarak harmonik alınganlıklar Fourier katsayılar olarak,

$$\chi' = \frac{\alpha v'_{n}}{nVH_{ac} f} \quad (2.24)$$

$$\chi'' = \frac{\alpha v''_{n}}{nVH_{ac} f} \quad (2.25)$$

yazılır.



**Şekil 2.10** AC alınganlık ölçüm düzeneği.

Uygulanan H manyetik alanı içerisinde konulan numunenin mıknatıslanması M ise, numunenin mıknatıslanma ölçümü olan manyetik alınganlık;

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (2.26)$$

dır. Burada uygulanan H alanı DC manyetik alandır. Bir DC dönüşümde, numunenin manyetik momenti zamanla değişmez ancak bir AC sinyali algılanır. Bu sinyal, numunenin periyodik hareketinden kaynaklanır. Bu yüzden numunenin kendisine ait DC tepkisini göstermez.

Manyetizasyondaki değişimin (dM), V hacmi başına net manyetik moment sayısı (dm), olduğu düşünülerek AC alınganlık;

$$\chi = \frac{dm}{VH_{ac}} \quad (2.27)$$

yazılabilir.

AC manyetik alınganlık ölçüm tekniği, karşılıklı indüktans tekniğine dayanır. Kullanılan bobin sistemi, eş eksenli iç içe geçmiş bobinlerden oluşur. Bir  $H_{ac}$  alanı uygulamak için kullanılan birincil bobin içerisinde indüklenen akıyı algılamaya yarayan ikincil bobin vardır. Birbirine ters bağlanmış iki özdeş bobinden oluşmaktadır. Bu bobinler ne kadar özdeş yapılırsa yapılsın, numune olmadığı anda sarımlardaki farklılıklardan kaynaklanan dengesiz sinyal elde edilir. Bu istenmeyen sinyalin yok edilebilmesi için numune her iki bobinin merkezinde iken ölçümler yapılır. Her ölçümde numune adım motoru sayesinde üst algı bobinin merkezi  $S_1$  ile alt algı bobinin merkezi  $S_2$  arasında hareket ettirilerek buralarda gerilimlerin okunmasına imkan verir.  $S_1$  ve  $S_2$  deki gerilimler sırası ile

$$v_1 = v + v_0 \quad (2.28)$$

$$v_2 = -v + v_0 \quad (2.29)$$

şeklinde. Burada  $v$  numunenin oluşturduğu akı değişiminden kaynaklanan gerilimi,  $v_0$  ise sistemden kaynaklanan istenmeyen gerilimi göstermektedir. Sadece numuneden kaynaklanan istenmeyen gerilim;

$$v = \frac{v_1 - v_2}{2} \quad (2.30)$$

bağıntısından bulunur.

AC alınganlık ölçümlerinde ölçüm yapılacak numunenin şekline göre manyetik alınganlık ölçülebilir. Numunenin hacmi yaklaşık hatasız hesaplanabiliyorsa, hacim alınganlığı;

$$\chi = \frac{\alpha \cdot v}{V \cdot f \cdot H_{ac}} \quad (2.31)$$

yazılabilir. Diğer taraftan hacim hesaplanabiliyorsa, numunenin yoğunluğu işin içine sokularak kütle alınlanlığı;

$$\chi = \frac{\alpha \cdot v \cdot \rho}{m \cdot f \cdot H_{ac}} \quad (2.32)$$

şeklinde yazılabilir. Burada v gerilim, V numune hacmi, m numunenin kütlesi, ρ numunenin yoğunluğu, H uygulanan AC alan, f frekans ve α kalibrasyon sabitidir. Kalibrasyon sabiti; N sarım sayısı (birim uzunluk başına), L bobinin uzunluğu, d bobinlerin çapı olmak üzere;

$$\alpha = \frac{10^8}{8\pi^2 NL} \sqrt{L^2 + d^2} \quad (2.33)$$

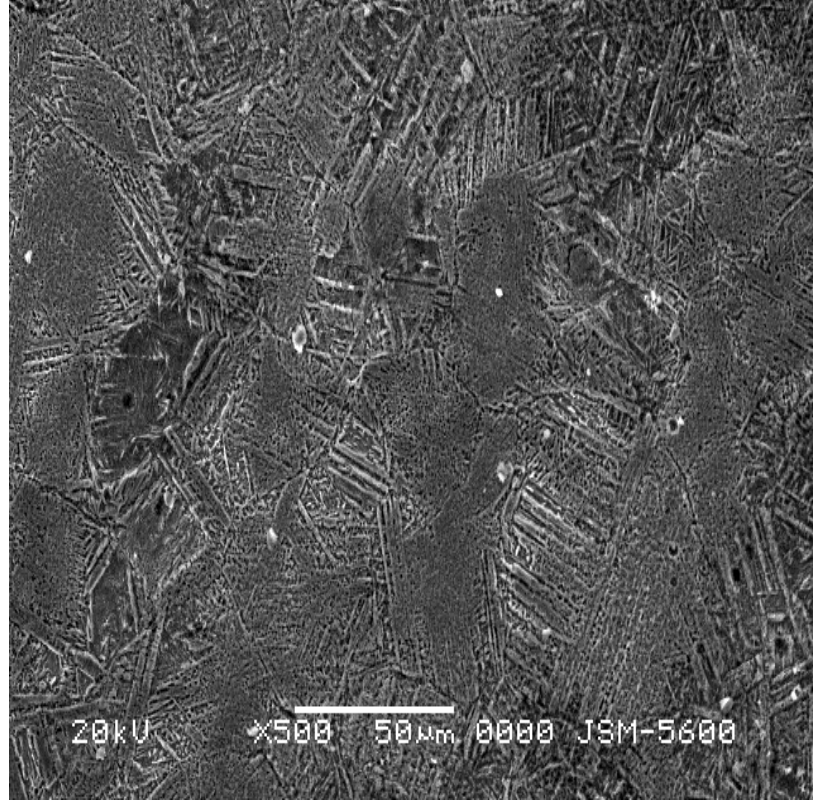
yazılabilir.



### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Termal etkili Martensitik Dönüşümlerin taramalı elektron mikroskobu ile (SEM) incelenmesi.

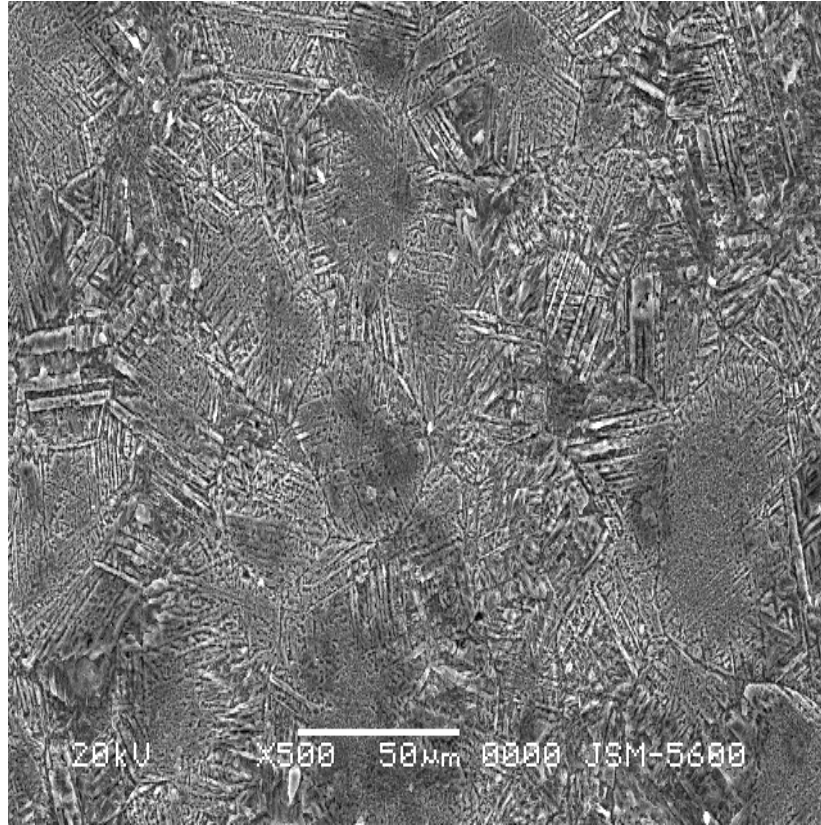
Bu bölümde Fe-%15Mn-%5Co alaşım numunelerin yüzeysel mikro analizi SEM (taramalı elektron mikroskobu) yardımıyla referansı belirtilen çalışmanın sonuçları incelenmiştir. SEM mikrografları incelenerek numunelerin yapısal özellikleri hakkında bilgi sağlandı. Numuneler, 1000, 1100 ve 1200°C de 12 saat fırında tavlama ve buzlu suya atılarak hızlı soğutma ısıl işlemlerine tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutuldu.



**Şekil: 3.1** 1000°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlanan ve hızlı soğutmaya tabi tutulan numuneye ait taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı.

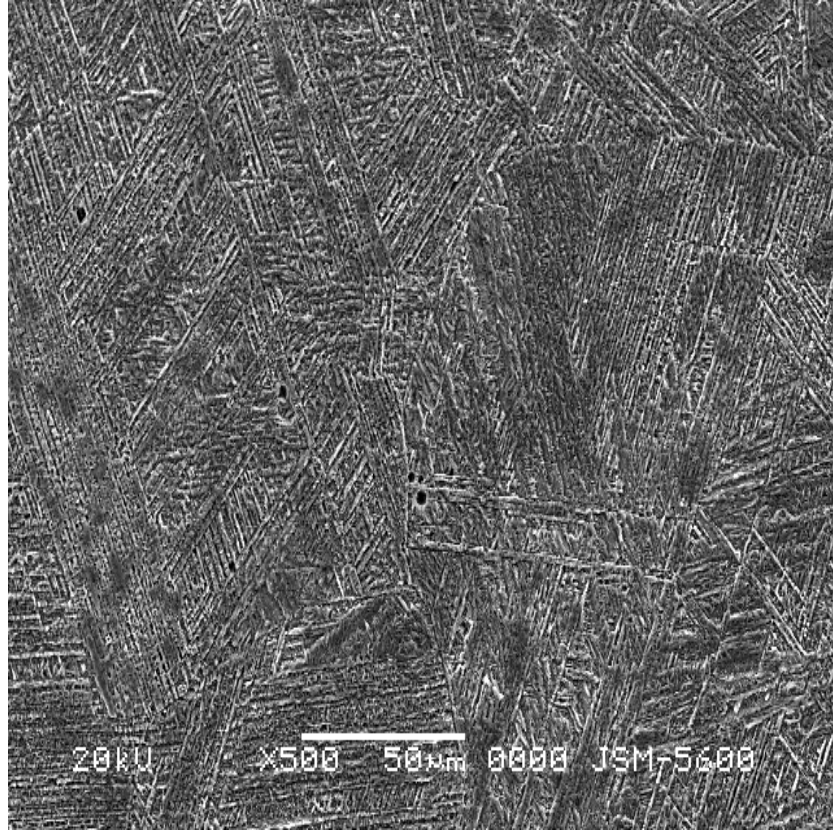
1000°C sıcaklıkta 12 saat ısıl işleme tabi tutulduktan sonra oda sıcaklığında buzlu suya atılarak hızlı soğumaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü Şekil 3.1 de verildi.

Hızlı soğutma ile alaşımda meydana gelen tanelerin içerisinde  $\epsilon$  Martensite plakalarının az sayıda olduğu gözlemlendi. Numunenin hızlı soğutulması sonucu ortaya çıkan sıcaklık farkı, martensitik dönüşüm için gerekli olan sürücü kuvvetin ortaya çıkmasına sebep olmuştur<sup>(1,32)</sup>. Numunenin Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile elde edilen yüzey görüntüsünde tane boyutlarının küçük olduğu gözlemlendi.



**Şekil: 3.2** 1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin Taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı.

1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra buzlu suya atılarak hızlı soğumaya tabi tutulan numunede ısıl işlemin sıcaklık derecesinin artmasıyla numune yüzeyinin Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmesi sonucu (Şekil 3.2.) de gözüktüğü gibi tane boyutlarının küçük olduğu ve Martensite dönüşümlerin tam olmadığı görülmüştür. Fakat tane boyutlarının 1000°C sıcaklığında eşit süre tavlama tabi tutulan numuneden daha büyük olduğu, Ayrıca  $\epsilon$  plakaların kısa olduğu gözlemlendi.



**Şekil: 3.3** 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin Taramalı elektron mikroskobunda çekilen (SEM) tane yapısı.

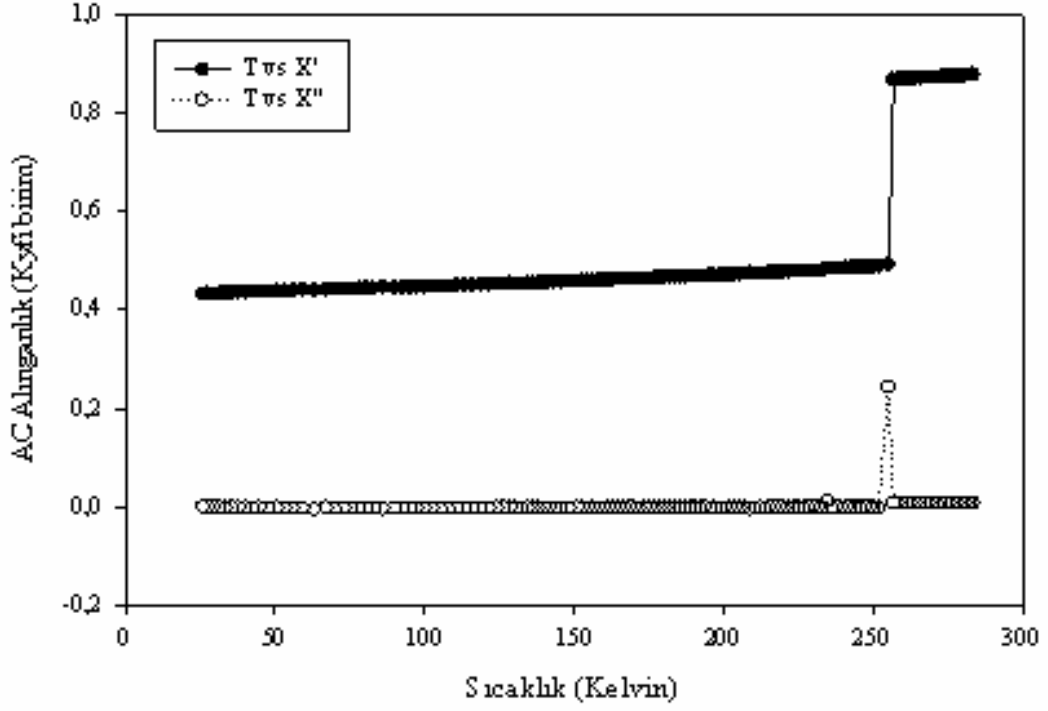
Tane boyutunun çok büyük,  $\epsilon$  martensite miktarlarının çok fazla olduğu gözlemlendi.  $\epsilon$  Martensite plakaların hızlı soğutma sonucunda tane sınırında başladığı ve yine tane sınırında sona erdiği Şekil 3.3’de görülmektedir. Tane sınırları,  $\epsilon$  Martensite plakalarının düzeli bir şekilde sona erdiği bölgeler olarak ortaya çıkmıştır. Yapılan Taramalı elektron mikroskopu (SEM) yüzey incelemelerinde Özellikle Fe bazlı alaşımlarda, homojenleştirme süresi ve sıcaklığının artması ile tane boyutunun arttığı gözlemlenmiştir<sup>(15,33)</sup>.

Easterlig ve Porter tarafından Martensite plakalarının büyümesinin tane sınırlarında engellendiği ve martensite çekirdeklerinin sayısının tane boyutuna bir etkisinin olmadığı ama oluşan martensite plakaların şeklinin ve büyüklüğünün tane boyutunu bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir.  $\epsilon$  Martensite plakalarının tane içinde birbirine paralel plakalar halinde meydana geldiği daha önceki çalışmalarda ortaya konmuştur<sup>(34,35,36,37,38)</sup>.

$\epsilon$  Martensite plakalarının hızlı soğutma sonucunda tane sınırında başladığı ve yine tane sınırında sona erdiği görülmektedir. Tane sınırları  $\epsilon$  Martensite plakalarının düzenli bir şekilde sonra erdiği bölgeler olarak ortaya çıkmaktadır.

Uygulanan farklı ısı işlemler sonunda numunelere yapılan taramalı elektron mikroskopu (SEM) yüzey incelemelerinde elde edilen tane boyutlarının sıcaklığın artmasıyla arttığı, bu tanelerin şekli ve büyüklüklerinin literatür ile uyum içinde olduğu görülmüştür<sup>(2)</sup>.

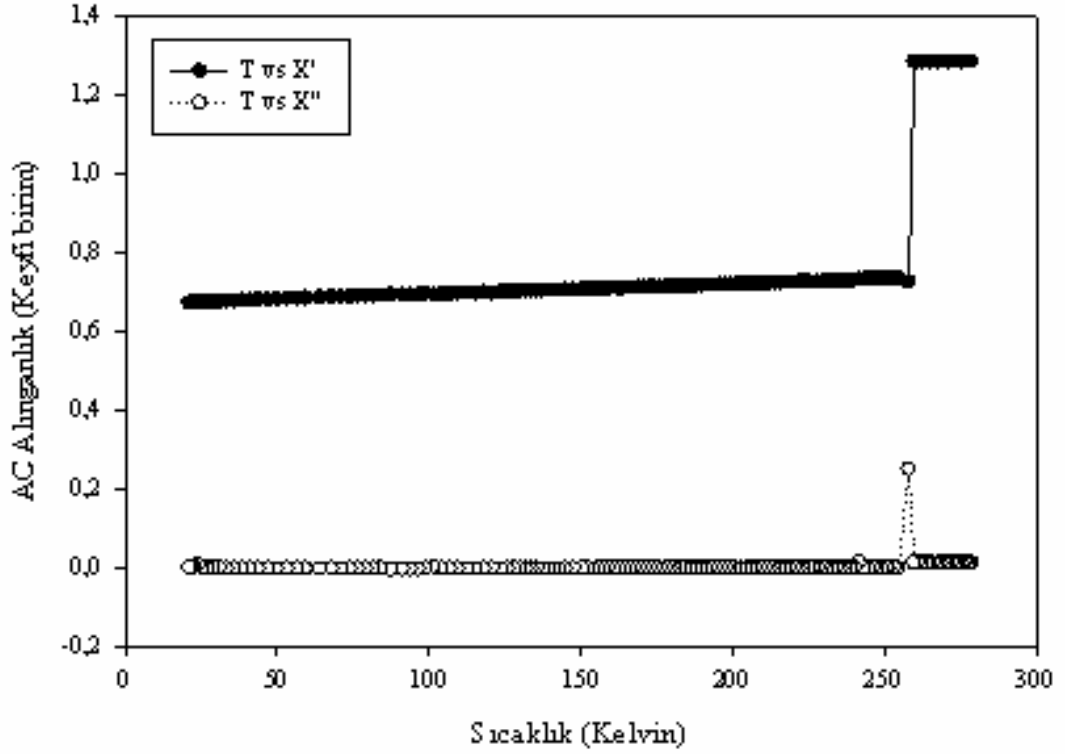
### 3.2. AC Manyetik alınganlığın sıcaklığa bağlı değişiminin incelenmesi



Şekil 3.4 1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlık değişimi.

1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan alaşımın sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlığı incelenmiştir. Uygulanan AC manyetik alanın büyüklüğü  $H = 80$  A/m ve frekansı ise 111 Hz olarak sabit değerler alınmıştır.  $\chi'$  ve  $\chi''$  'nün sıcaklığa bağlı grafikleri genellikle geçiş sıcaklıklarının ölçümlerinde kullanılır.

Manyetik alınganlıklardaki keskin artış 255 K sıcaklık civarında gözlenmektedir. 255 K in üstündeki sıcaklık değerlerinde ferromanyetik faz, altındaki sıcaklık değerlerinde ise paramanyetik faz gözlenir<sup>(31, 39,40)</sup>.



**Şekil 3.5** 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan numunenin sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlık değişimi.

1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan alaşımın sıcaklığa bağlı olarak manyetik alınganlığı incelenmiştir. Uygulanan AC manyetik alanın büyüklüğü  $H = 80$  A/m ve frekansı ise 111 Hz olarak sabit değerler alınmıştır.

Manyetik alınganlıklardaki keskin artış 258 K sıcaklık civarında gözlenmektedir. 258 K in üstündeki sıcaklık değerlerinde ferromanyetik faz, altındaki sıcaklık değerlerinde ise paramanyetik faz gözlenir<sup>(31, 39,40)</sup>.

#### 4.SONUÇ

Bu çalışmada Fe-%15Mn-%5Co Alaşımları ısıl işlemlere tabi tutularak, 1000, 1100, 1200°C sıcaklığında 12 şer saat fırında tavlama işleminden sonra buzlu suya atılarak hızlı soğumaya tabi tutulmuşlardır. Termal etkili martensitik dönüşümde, ısıl işlem sıcaklığının numunenin makro ve mikro yapıları üzerine etkileri Taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla incelendi.

Hızlı soğutmalar sonucunda, numunelerde meydana gelen difüzyonsuz faz oluşumları yüzey incelemeleri sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu oluşumların Martensite faz da oldukları yapılan taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri ile görülmüştür. Alaşımlarda oluşan tane boyutlarının ısıl işlemlere göre değişiklikler gösterdiği ortaya çıkmıştır. Isıl işlem sırasında numunenin hızlı soğutulması sonucu numunede meydana getirilen sıcaklık değişiminin martensitik dönüşüm için gerekli olan sürücü kuvveti oluşturduğu görüldü. Sonuç olarak; ani sıcaklık değişimi sonucu meydana gelen enerji farkının bu alaşımda görülen martensitik dönüşüm için yeterli olduğu anlaşıldı.

Termal etkili martensitik dönüşümün SEM incelemelerinde meydana gelen ürün fazın  $\epsilon$  türü martensite olduğu gözlenirken,  $\epsilon$  plakalarının birbirine paralel bantlar şeklinde meydana geldiği görüldü. Sonuç olarak; alaşımda oluşan tane sınırlarının  $\epsilon$  martensite plakalarının başladığı veya sona erdiği bölgeler olduğu SEM gözlemleri ile ortaya kondu.

Fe-%15Mn-%5Co alaşımına aynı sürede ısıl işlemler uygulanarak, buzlu suya atılarak hızlı soğumaya tabi tutulmasına rağmen, Isıl işlem sıcaklığının artması ile oluşan tane boyutlarının büyüdüğü ve  $\epsilon$  Martensite plakaların boylarının büyük olduğu SEM gözlemleri ile ortaya konmuştur.

1100°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan alaşımın Manyetik alınganlıklardaki keskin artış 255 K sıcaklık civarında gözlenmektedir. 1200°C sıcaklığında 12 saat fırında tavlama ve su ile hızlı soğutmaya tabi tutulan alaşımın manyetik alınganlıklardaki keskin artış 258 K sıcaklık civarında gözlenmektedir. Alaşımın ısıl işlem sıcaklığının artması sonucu manyetik özelliğinin değiştiği kritik sıcaklık değerinin de arttığı gözlenmiştir. Ayrıca elde ettiğimiz grafik, malzemenin kritik bir sıcaklık değerinden sonra manyetik özellik gösteren, manyetik anahtar olarak kullanılabilereğini göstermektedir.



## KAYNAKLAR

1. L. Kaufman and M. Cohen, Prog. Metal Phys.,7, 165(1958).
2. Z.Nishiyama, martensitic Transformations, Academic pres,London,1978.
3. S. Kırım, Faraday Sistemi ve Manyetik Alınganlık Ölçümü, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1979.
4. G.B.Oslon and M.Choen, Metal trans.A, 7A 1897(1976)
5. G.B.Oslon and M.Choen, Metal trans.A, 7A 1905(1976)
6. P.Marinelli, A.Fernandez, M.Sade,Materials science and engineering A373 (2004) 1-9.
7. J.H.Jun, D.K.Kong, C.S.Choi, Materials Research bulletin, Vol 33, No.10
8. G.Pourroy, N.Viart, S.Lakamp, Journal of magnetism and magnetic materials 203 (1999) 37-40.
9. B.M.Passi-Mabiala, S.Meza-Aguilar, C.Demangeat, Journal of magnetism and magnetic materials 272-276 (2004) 1217-1218
10. W.D.Callister, Jr., Materials Science and Engineering an Introduction, 4<sup>th</sup> ed., Jhon Willey & Sons, Inc., New York, (1996).
11. D.A.Porter, K. E. Easterling, Phase Trasformations in Metals and Alloys, Chapman and Hall, London, 1981.
12. J.W.Cristian, The Theory of Transformations in Metals and Alloys, Pergamon Press, London, 1975.
13. Sarı Uğur, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2004.
14. Kırındı Talip, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2004.

15. T.Shimming, L. Jinhai and Y. Shiwei, Scripta Metall. Mater., **25**,2613(1991)
16. T.N.Durlu Fe-Ni-C Alaşımlarının Tek ve İnce Austenite Kristallerindeki Martensitik Evre Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Doçentlik tezi, Ankara 1979.
17. T.Kakeshita, K. Kuriowa, K. Shimizu, T. Ikeda, A. Yamagishi and M.Date, Mater. Trans. JIM, **34**, 415(1993)
18. C.M. Wayman Introduction to the Crystallography of Martensitic Transformations, The Macmillan Company, New York, 1964.
19. J.S.Bowles and J.K. Mackenzie, Acta Metallurgica, **2** , 224(1954).
20. R.E.Read, Physical metallurgy Principles, International Student Edition, New York, USA, 1970.
21. Yaşar Erdem, Doktora tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2005.
22. T. Kikuchi, S. Kajiwara and Y. Tomota, Mater. Trans., JIM, **36**, 719(1995)
23. T.N.Durlu, J. Mater. Sci., **36**,5665(2001).
24. T.N.Durlu, J. Mater. Sci., **31**, 2585(1996).
25. C.Kittel, Çeviri: B. Karaoğlu, Katıhal Fiziğine Giriş, Bilgitek yayıncılık, İstanbul, 1996.
26. A.Mydosh, Disordered Magnetism and Spin Glasses,).J. Magn. Magn. Mater, **157/158**, 606 (1996)
27. C.M.Bikas, M.Krishnan and V. V. Rama Rao, Metall. Mater. Trans., **34A**, 1029(2003).
28. T.Jhonson, K. Jonason, P. Jonsson, and P. Nordblad, Nonequilibrium Dynamics in a Three-Dimensional Spin Glasses, Phys. Rev. **B59**, 8770 (1999).

29. W.F.Brown, Thermal Fluctuation of a Single Domain Particle, Phys. Rev. **130**, 1677 (1963).
30. R.Ballau, J. Departes, R. Lemaire, B. Ouladdiaf and P. Rouault, Procee. of the fifth Symp. on Magne. and Magne. Mater., Instability of Itinerant Antiferromagnetizm in Manganese Laves Phases, World Scientific , Singapore, 1990.
31. H.Y.Ocak, Fe-%31.5Ni-%10Mn Alaşımında Austenit – Martensite Faz Dönüşümünün Kristolografik, Kinetik ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1999.
32. Y.T.Hsu and X Zuyao, Mater.Sci.Eng., A273-275, 494(1999)
33. B.H.Jiang, L.Sun, R.Li and T.Y.Hsu, Scripta Metall.Mater., 33, 63(1995)
34. N.Bergeon, G.Guenin and C.Esnouf, Mater Sci.Eng. A242, 87(1998)
35. J.Arruda, V.T.L.Buono and M.S.Andrade, Mater.Sc., Eng., A273-275, 528(1999)
36. B.C.Maji and M.Krishnan, Scripta Mater., 48, 71(2003)
37. B.H.Jiang, L.Sun, R.Li and T.Y.Hsu, Scripta Metall.Mater., 33, 63(1995)
38. M.M.Reyhani and P.G.McCorbick, Mater.Sci.Eng., A160, 57(1993)
39. J.Duan, P.Huang, H.Zhang, Long, G.Wu, R.Ye, R.Chang, F.Wan Journal of magnetism and magnetic Materials 309 (2007) 96-99.
40. A.Engin Çalık, yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi (2002)