

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fe - %15 Mn - %5 Mo ALAŞIMINDA TERMAL ETKİLİ MARTENSİTİK
DÖNÜŞÜMÜN VE MANYETİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

MUAMMER KURT

ŞUBAT - 2008

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

20/02/2008

Müdür V.

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

Prof. Dr. İhsan ULUER

Anabilim Dalı Başkanı

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

Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Sedat AĞAN

Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ

Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI

ÖZET

Fe - %15 Mn - %5 Mo ALAŞIMLARINDA TERMAL ETKİLİ MARTENSİTİK DÖNÜŞÜMÜN VE MANYETİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

KURT, Muammer

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI

Şubat 2008, 44 sayfa

Bu çalışmada Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında termal ve manyetik özelliklerle termal etkili $\gamma-\varepsilon$ martensitik dönüşümü gözlemlendi. Bu çalışmada ε ve α' martensitlerin mikro yapıları SEM ile incelendi. Bu çalışmada tavlama sıcaklığının artması ile tane boyutunun büyüdüğü ve martensite miktarının arttığı görüldü. Tavlama sıcaklığının martensite dönüşüm sıcaklığı üzerine etkisi DSC ölçümlerinde gösterildi. Bu çalışmada Fe-%15Mn-%5Mo alaşımının martensitik dönüşümün manyetik özelliği Mössbauer Spektroskopisi ile incelendi.

Anahtar Kelimeler: Austenite, Martensite, Austenite-Martensite Dönüşüm Sıcaklığı, Mössbauer Spektroskopisi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THERMAL INDUCED MARTENSITIC TRANSFORMATION AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe - Mn15% - Mo%5 ALLOY

KURT, Muammer

Kırıkkale University

Graduate School of Naturel and Applied Science

Department of Physics, Master of Science Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Talip KIRINDI

February 2008, 44 pages

In this study thermal and magnetic properties and thermal induced $\gamma-\varepsilon$ martensitic transformation of Fe - Mn15% - Mo5% alloys were observed. In this study micro structure of ε and α' martensites were investigated by Scanning Electron Microscopy (SEM). It was observed in this study that the austenite grain size and the amount of ε martensite and α' martensite were increased as heating temperature increased. It was also investigated by using Differential Scanning Calorimetry (DSC) that

martensitic transformation temperature increases with increasing heating temperature. Properties of magnetic susceptibility behaviour were investigated by Mössbauer Spectroscopy in Fe - Mn15% - Mo5% alloy.

Key Words: Austenite, Martensite, Austenite-Martensite Transformation Temperature, Mössbauer Spectroscopy

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının bütün safhalarında her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam ve danıőmanım sayın **Yrd. Doç. Dr. Talip KIRINDI'** ya en içten duygularım ile teşekkür ederim.

Yine alıőma süresince maddi manevi, cesaretlendirici ve teővik edici değerlendirmeleri ile destek olan değerli hocalarım **Doç. Dr. Sedat AĞAN** ,**Yrd. Doç. Dr. Uğur SARI** ve **Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ'** ye, çalıőmalarımızda aynı ortamı paylaőtığımız değerli arkadaşlarım **Mustafa YÜKSEL** , **Erhan ŐAHİN**, **Halil DEMİRCİ** ve **Levent ÖRTENE`** e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma süresince hep yanımda olduğunu gösteren ve bu zamana kadar hiçbir desteğini esirgemeyen eőim **İlkay KURT'** a en içten duygularım ile teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Literatür Özeti	3
1.1.1. Çalışmanın Amacı	4
2.MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Metal ve Metal Alaşımları.....	5
2.2. Austenite-MartensiteFazDönüşümleri.....	6
2.3. Martensitik Faz Dönüşümlerinin Oluşum Şekilleri.....	7
2.4. Demir Bazlı Alaşımların Martensitik Dönüşümleri.....	8
2.5. Martensitik Faz Dönüşümlerinde Termodinamik Etkiler.....	9
2.6. Martensitik Dönüşümlerde Örgü Kusurlarının Etkisi	12
2.6.1. Dislokasyonların etkisi.....	13
2.7. Martensitik Faz Dönüşümüne Manyetik Etki.....	14

2.7.1. Katı Cisimlerin Manyetik Özellikleri.....	14
2.7.2. Manyetizmanın Temeli.....	15
2.7.3. Manyetizmanın Türleri.....	15
2.7.4. Diyamanyetizma.....	16
2.7.5. Paramanyetizma.....	17
2.7.6. Ferromanyetizma.....	18
2.8.Gama Işınlarının Rezonansla Soğurulması ve Mössbauer Olayı	18
2.9. İzomer Kayma	22
2.10. Mössbauer Spektrumunun Elde Edilmesi	22
2.11. Deneysel Materyal ve yöntem.....	24
2.11.1.Taramalı Elektron mikroskobu.....	24
2.11.2. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi.....	25
2.11.3. Mössbauer SpektrometresiSistemi.....	25
2.11.4. Numunenin Hazırlanması.....	27
2.11.5.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri İçin Numunenin Hazırlanması.....	27
2.11.6.Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri İçin Numunenin Hazırlanması.....	28
2.11.7.Numunelerin Mössbauer Spektroskopisi incelemeleri için Hazırlanması.....	28
3.ARAŞTIRMA BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
3.1.Taramalı Elektron Mikroskobu.....	29

3.2.Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile Dönüşüm Sıcaklığının Ölçülmesi.....	32
3.3. Martensitik faz Dönüşümünün Manyetik Özelliklerinin Mössbauer spektrokopisi ile İncelenmesi.....	33
4.SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR.....	40

ŞEKİLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi	9
2.2. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi.....	9
2.3. Austenite (γ) ve martensite (α) fazların serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi.....	10
2.4. Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının sıcaklıkla değişimi....	17
2.5. Uyarılmış durumdan taban duruma geçiş.....	19
2.6. γ fotonu yayınlayan çekirdek eşit momentumla geri teper.....	20
2.7. Yayınlama ve soğurma çizgileri.....	21
2.8. Fe'nin taban ve uyarılmış düzenerlerinin manyetik alanda yarılması	24
3.1. 1000 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü.....	30
3.2. 1100 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü.....	30
3.3. 1200 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü.....	30
3.4. 1200 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü.....	31

3.5. 12 saat ısıtılma tabi tutulan numunenin 10°C/dk artış hızıyla DSC grafiği.....	33
3.6. 12 saat ısıtılma tabi tutulan alaşımın oda sıcaklığında mössbauer spektrumları.....	35

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

3.1. Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında Mössbauer Spektroskopisi Yöntemi ile Elde Edilen Sonuçlar.....	36
---	----

SİMGELER DİZİNİ

SİMGE

fcc (γ)	Yüz merkezli kübik yapı
bcc (α')	Hacim merkezli kübik yapı
bct (α)	Hacim merkezli tetragonal yapı
hcp (ϵ)	Sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı
M_s	Austenite-martensite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
M_f	Austenite-martensite faz dönüşümünün bitiş sıcaklığı
A_s	Martensite-austenite ters dönüşüm sıcaklığı
M_d	Plastik deformasyondan sonra soğutma ile oluşan martensite fazın başlama sıcaklığı
A_d	Plastik deformasyondan sonra ters dönüşüm başlama sıcaklığı
T_0	Austenite ve martensite fazın dengede bulunduğu sıcaklık
S	Entropi
P	Basınç
G	Gibbs serbest enerji
ΔG	$\alpha' \rightarrow \gamma$ Austenite ve martensite fazlar arasındaki Gibbs serbest enerji
M	Manyetizasyon

B	Toplam manyetik alan
B_0	İletkenin manyetik alanı
B_m	Maddenin oluşturduğu manyetik alan
H	Manyetik alan şiddeti
μ	Manyetik dipol moment
μ_0	Uzayın manyetik geçirgenliği
χ	Alınganlık
T_c	Kritik sıcaklık
T_n	Cuire sıcaklığı
τ	Tork
K_b	Bolzmann sabiti

1.Giriş

Metal ve metal alaşımları değişik fiziksel etkiler altında farklı özellikler göstermişlerdir ve birçok bilimsel çalışmaya konu olmuşlardır. Bazı metal ve alaşımlarında sıcaklık basınç ve dış zor alaşımın mikro yapısında büyük yapısal değişiklikler meydana getirir ⁽¹⁾ .

Metal alaşımındaki bu etkiler sonucu atomların komşulukları aynı kalarak sadece kristal yapının değiştiği dönüşümlere martensitik dönüşümler denir. İlk kez bu dönüşüm A. Martens tarafından gözleendiğinden bu bilim adamının adıyla anılır ⁽²⁾ .

Martensitik dönüşümlerde belli bir kristal yapıya sahip olan alaşım fiziksel etkiye maruz kaldığında düşük serbest enerjili düşük sıcaklık fazındaki yeni bir kristal yapıyı tercih eder. Yüksek sıcaklık fazına austenite, düşük sıcaklık fazına martensite adı verilir ⁽³⁾ .

Dönüşümden önceki yapı, Austenite veya ana faz olarak isimlendirilir. Austenite yapı sınırları sonsuza ulaşan kristal yapıya sahiptir. Dönüşüm sonrasındaki yapıya ise Martensite yapı veya ürün faz denilmektedir. Bozulmayla meydana gelen faz değişiminde, austenite yapı ile martensite yapı arasındaki tek farklılık aralarında bir yönelim ilişkisinin olmasıdır. Bu iki faz arasındaki yönelim ilişkisini ilk kez deneysel olarak Kurdjumov-Sachs ve Wasserman tarafından ortaya konmuştur. 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 (fcc) yapıdaki ana fazın, hacim merkezli kübik (bcc), hacim merkezli tetragonal (bct) veya sıkı paketlenmiş hegzagonal (hcp) yapılarıdaki martensite faza dönüşümü şeklinde ortaya çıkar. Martensite faz dönüşümü ilk çelikte gözlenmekle beraber daha sonraları yapılan araştırmalarla birlikte bazı saf metallerde ve alaşımlarda da gözlemlendiği görülmüştür⁽²⁾.

Termal etkiyle oluşan martensitik faz dönüşümleri alaşımın içeriğine göre atermal veya izotermal olarak 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 dönüşümlerinin yapılan çalışmalar sonucunda birçok metal ve metal alaşımında da gözlemlendiği ortaya çıkmıştır⁽⁴⁾.

Austenite fazdan martensite faza dönüşümler, sıcaklığın ani düşürülmesi veya dış zoru uygulayarak meydana gelebileceği gibi her ikisinin de birlikte uygulanmasıyla da gerçekleşebilir.

Basınç ile oluşan dönüşümler ise zor veya zorlanma etkili martensitik faz dönüşümleridir^(2,5). Bu çalışmada ağırlıkça Fe-%15Mn-%5Mo alaşımının martensitik faz dönüşüm sıcaklığı Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) kullanılarak, termal etki ile oluşan austenite - martensite faz dönüşümlerinin yüzey morfolojisi Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile, manyetik özellikler ise Mössbauer Spektroskopi yöntemi ile incelenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Fe-Ni-Mn alaşımlarında α' - γ faz geçitlerinde ikincil Austenite oluşumunu incelemiştir. Fe-Ni-Mn alaşımlarında atermal ve izotermal martensitik dönüşümlerde magnetik alanın dönüşüme etkisini araştırmışlardır^(6,7). Fe-Mn-Cr-Si-Ni alaşımında hcp - fcc ikilisinin oluşumunu ve Fe-Mn alaşımlarında fcc-hcp martensitik dönüşümünde faz kararlılığının deneysel ve termodinamik çalışmaları yapılmıştır⁽⁴⁾. M. Acet ve çalışma arkadaşları Fe-Mn alaşımlarında γ - α' ve γ - ϵ martensitik geçişlerinde magnetik etkileri araştırmışlardır^(8,9,10). G. U. Nanju ve arkadaşları Martensitik dönüşümlerde kristalografik çalışmalar yapmışlardır. S. Cotes ve diğerleri Fe-Mn-Si alaşımlarında termodinamik modelleme yöntemleri ve M_s ile A_s sıcaklıkları arasındaki sürükleyici kuvvetin modellenmesi için çalışmalar yapılmış, Joong-Hwan tarafından Fe-Mn alaşımında Mn içeriğinin mikro yapıya etkileri araştırılmıştır, P. Marinelli Fe-Mn alaşımlarında hcp-fcc martensitik dönüşümünde alaşım kompozisyonunun dönüşüme eşlik eden entalpi değişimine etkisini araştırmış ve yine aynı şekilde Fe-Mn-Mo alaşımlarının manyetik özellikleri incelenmiştir^(11,12,13,14,15,16).

1.1.1. Çalışmanın Amacı

Metal ve metal alaşımlarının sahip olduğu mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri büyük ölçüde alaşımı oluşturan elementlerin iç yapıları belirler. Termal etkiyle oluşan ve malzemenin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler ancak malzemenin mikro yapısı incelenilerek açıklanabilir. Termal etki alaşımın hem fiziksel hem de mekanik özelliklerini değiştireceği için bu olay bilimsel ve teknolojik uygulamaları açısından çok önemlidir⁽¹⁷⁾. Bu yüksek lisans çalışmasında geniş kullanım alanı olan Fe-Mn bazlı alaşımın termal, manyetik özellikleri ve martensitik dönüşümleri incelenmiştir.

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında termal etkiyle oluşan yüzey morfolojisindeki mikro yapılarda meydana gelen martensitik faz dönüşümü SEM ile incelenmiştir. Austenite - martensite başlama sıcaklığı DSC ile manyetik özellikler ise Mössbauer spektroskopisi ile incelenmiştir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1.Metal ve Metal Alaşımları

Metal ve metal alaşımları birçok incelemeler ve gelişimler sonucunda insanlığın hizmetine girmiştir. Alaşımlar günlük yaşamdan sanayiye, teknolojidenden tıbbaya birçok alanda kullanılan temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Metal ve metal alaşımları birçok fiziksel özelliklerinden dolayı akademik çalışmaların ilgi odağı olmuştur.

Verilen elektriksel yükün tamamı veya bir kısmını istenilen noktaya taşıyan katılara metal veya iletken, doğal haliyle iletkenliği olmayan yani valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki enerji aralığı olan ancak dışardan yapılan termodinamik etki ile veya materyal (malzeme ekleme) etkisiyle iletkenlik kazanan maddelere yarı iletken, en az biri metal olmak üzere iki veya daha fazla elementten oluşan ve metal özelliği gösteren maddeye ise alaşım denir^(18,19).

Alaşımlarda ktलेce en fazla kullanılan metale ise alaşımın bazı yapısında ktलेce en fazla demir kullanılan alaşımlara ise demir bazlı alaşım denir. Malzemenin kullanım amacına göre saf metaller yerine bunların alaşımları kullanılır. Bir metalin yapısına başka malzemeler karıştırılarak yeni amaçlara uygun fiziksel değişiklikler elde edilebilir. Bundan dolayı malzeme bilgisinde alaşımların önemli bir yeri vardır. Alaşım, mevcut malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirmek kaydıyla kullanma amacına daha yatkın malzemeler oluşturmak, oluşan farklı gereksinim ve ihtiyaçlara uygun

şartlarda cevap verebilecek malzemeler tasarlamak, daha ekonomik ve verimli malzemeler geliştirmek, malzemenin değişik ortam şartlarında ömrünü ve kararlılığını arttırmak için kullanılır⁽²⁰⁾.

2.2. Austenite-Martensite Faz Dönüşümleri

Sürekli bir maddede; kristal özellikleri ve atomların düzenlenmesi kendi içinde homojen olan ve fiziksel olarak maddenin diğer kısımlarından ayrılan her bölgeye bir faz denir⁽²¹⁾. Burada homojen olma, verilen fiziksel şartlar altında özel bir yapıda bulunma durumudur. Saf maddelerde fazlar arasında fiziksel farklılıklar olsa bile kimyasal özellikler aynıdır. Farklı maddelerin karıştırılmasıyla oluşturulan çözeletilerde fazlar hem kimyasal hemde fiziksel olarak farklı olabilir. Madde içersinde denge halindeki bir fazdan başka bir faza geçiş olayına faz dönüşümü denir. Faz dönüşümü termal etki ya da dışarıdan uygulana mekaniksel zorlamalar ile meydana gelir. Alaşım yapısındaki faz dönüşümleri sırasında atomlar yeni düzenlenmeye (faz yapısı) geçerken yer değiştirirler. Bu yer değiştirmede atomların komşulukları değişirse buna yayılmalı (difüzyonlu), atomların komşulukları değişmez ise yayılmasız (difüzyonsuz) faz dönüşümleri denir. Metal ve metal alaşımlarının sıcaklıkla atomların yayılmalı bir oluşumla yer değiştiremeyecekleri kadar hızlı bir şekilde değiştirilirse yayılmasız faz dönüşümü gözlenir ve bu tür dönüşümlere martensitik dönüşümler denir. Martensitik dönüşümler katı haldeki yapının atomlarının birlikte hareketlerini kapsadığı için difüzyonsuz faz dönüşümleridir^(2,22).

Yüksek sıcaklıktaki kristal yapıdaki numunenin, sıcaklık, basınç ve dış zorun etkisiyle kristal yapısı değiştirebilir. Yüksek sıcaklık fazındaki numune, daha düşük sıcaklıktaki serbest enerjiyi tercih ederek farklı bir kristal yapı oluşturur. Yüksek sıcaklıktaki fazına austenite (ana faz), düşük sıcaklıktaki fazına da martensite (ürün faz) denir. Sıcaklığın etkisiyle ana faz ve ürün faz arasındaki bu enerji farkı ise martensitik dönüşümün meydana gelmesine sebep olur. Metalik sistemlerdeki faz dönüşümleri çekirdeklenme ve büyüme dönüşümleri ile martensitik dönüşümler olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır. Çekirdeklenme ve büyüme dönüşümlerinde termal etki çok önemlidir. Çekirdeklenme ve büyüme sabit sıcaklıkta meydana geldikleri için izotermal özellik gösterirler^(21,23).

2.3. Martensitik Faz Dönüşümlerinin Oluşum Şekilleri

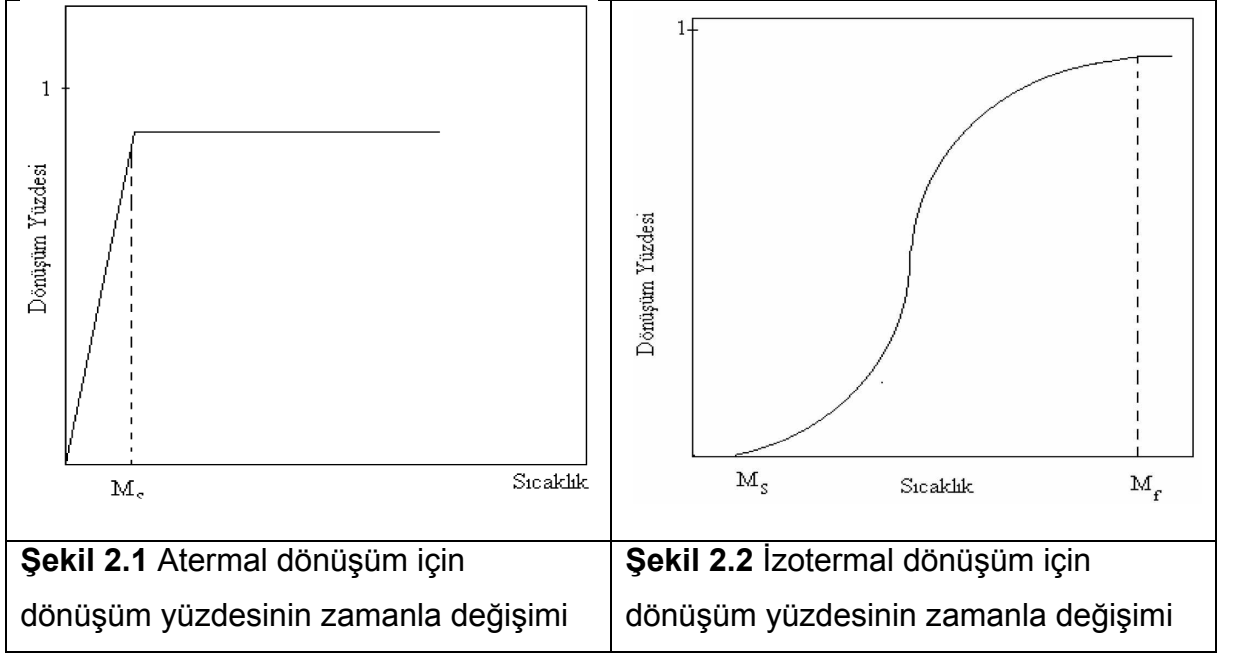
Austenite ve martensite yapı arasındaki serbest enerji farkı ile oluşan martensitik faz dönüşümlerinin, genelde üç tür fiziksel etki ile oluştuğu gözlenmiştir:

- İlk kez Bain modeli ile açıklanmış olan, soğutma ile oluşturulan ve oluşumunda yalnızca sıcaklığın etkisi olan martensitik dönüşümler,
- Martensitik fazın oluşmaya başladığı sıcaklık olan M_s sıcaklığının hemen altında uygulanan ve elastik sınırı aşmayan zorla etkilendirilerek, soğutma ile meydana getirilen martensitik dönüşümler,
- M_s sıcaklığının üzerinde zorlanma ile meydana getirilen martensitik dönüşümler.

Prensip olarak martensitik geçiş sıcaklığının alaşımın içeriğine (kompozisyonuna) bağımlılığını açıklamak için fcc-hcp ve fcc-bcc yapılarının Gibbs enerjisine göre bağıl kararlılıklarına bakılır.

2.4. Demir Bazlı Alaşımların Martensitik Dönüşümleri

Alaşımlarda kütlece en fazla kullanılan metale alaşımın bazı, yapısında kütlece en fazla demir kullanılan alaşımlara ise demir bazlı alaşım denir. Fe bazlı alaşımları yaklaşık olarak 1400 °C'de erir. Havasız ortamda oda sıcaklığına soğutulurken 900 °C civarında yüzey merkezli kübik (fcc) yapıda kristalleşir. Alaşımın bu fazına austenite (ana faz) 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 dönüşüm sonucu oluşan bu fazına ise martensite adı verilir^(4,24). Martensitik dönüşüm, zamana bağılı olmadan sadece sıcaklığa bağılı olarak gerçekleşirse atermal dönüşüm, hem zamana hem de sıcaklığa bağılı olarak gerçekleşirse izotermal dönüşüm olarak adlandırılır⁽²⁵⁾.



Martensite faz dönüşümlerinin diğer bir özelliği ise tersinir olmasıdır. Oluşan martensite kristalleri, M_s sıcaklığından daha yüksek bir A_s sıcaklığında yeniden austenite dönüşebilir. M_s ve M_f sıcaklıkları Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile tespit edilmektedir.

2.5. Martensitik Faz Dönüşümlerinde Termodinamik Etkiler

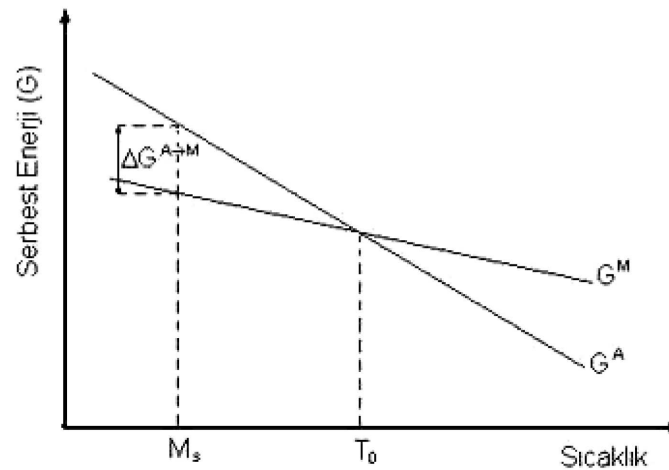
Difüzyonsuz faz dönüşümleri termal olarak incelendiğinde atermal ve izotermal özellikli iki değişik martensite oluşumu vardır. Bu iki değişimde dönüşüm sıcaklıkları ve dönüşüm sonrası ürünlerde farklılıklar gözlenir⁽²⁶⁾. Atermal dönüşümde austenite (ana faz) durumunda olan numune soğutulurken M_s sıcaklığına geldiğinde martensite ye (ürün faz) dönüşüme başlar. Numune soğutulmaya devam edilirse M_f sıcaklığına geldiğinde dönüşecek oranın tamamı martensite dönüşmüş olur. Sıcaklık değişimi ile oluşan martensite fazın oluşmaya başladıktan daha düşük sıcaklarda yeni

patlamalar oluşabilir. Ancak oluşan martensite düşük sıcaklarda büyüme göstermez⁽²⁷⁾. İzotermal martensite dönüşümlerde M_s sıcaklığından daha aşağı sıcaklarda yeni martensite kristalleri oluşacağı gibi oluşan martensite de büyüme gözlenmez. Dışarıdan uygulanan fiziksel etkinin martensitik dönüşümle sonuçlanabilmesi için, bu etki sonucunda dönüşümü tetikleyecek kadar serbest enerji farkının oluşması gerekir. Martensitik dönüşümlerin sürükleyici kuvveti de temelde bu serbest enerji farkıdır. 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. Fazlar arasında geçişin olabilmesi için sistemin mevcut son faza göre kararsız olması gerekir. Sabit sıcaklık ve basınçta sistemin kararlılığı ;

$$G = H - T \Delta S \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanan Gibbs Serbest Enerjisi'nin en küçük değeri ile belirlenir.

Eşitlik (2.1)'de; G: Gibbs serbest enerjisi, H: entalpi, T: mutlak sıcaklık, ΔS : istemler arasındaki entropi farkıdır^(2,12,13).



Şekil 2.3. Austenite (γ) ve martensite (α) fazların serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi

Termodinamikte minimum enerji kuralına göre; sistem en düşük serbest enerjili durumu tercih eder. Austenite ve martensite fazın kimyasal serbest enerjilerinin sıcaklık ve martensitik dönüşümle ilişkisi Şekil 2.3'de görülmektedir. Denge sıcaklığı olarak tanımlanan T_0 sıcaklığında iki fazın serbest enerjileri farkı sıfırdır. T_0 'ın üstündeki sıcaklıklarda ise martensite fazın serbest enerjisi daha büyük olduğundan austenite faz kararlıdır.

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 kararlıdır. T_0 'ın üstündeki sıcaklıklarda ise fark sıfırdan küçüktür ve ana faz daha kararlıdır ve Şekil 2.3'de verilmiştir. Fcc-hcp dönüşümünü sağlayan itekleyici kuvvet fazlar arasındaki Gibbs serbestlik enerjisi farkıdır⁽¹²⁾.

$$\Delta G_m^{fcc/hcp} = G_m^{fcc} - G_m^{hcp} \quad (2.2)$$

Bu bağıntıya göre dönüşümün olabilmesi için dönüşümü sağlayan kuvvetin yani iki faz arasındaki enerji farkının belirgin bir pozitif değerde olması gerekir. Bu enerjiye '*dönüşümünün başlaması için aşılması gereken direnç enerjisi*' (RSTE) denir. Benzer bağlantılar kullanılarak fcc-hcp dönüşümünün tersi olan hcp-fcc dönüşümü için de gerekli enerjiler hesaplanabilir⁽¹²⁾. Prensipde Gibbs enerjisi kullanılarak hesaplanan T_0 sıcaklığı ile deneysel olarak bulunan kesin bir termodinamik bağıntı yoktur. Buna rağmen M_s ve A_s sıcaklıkları arasındaki sıcaklık değerlerinde fcc-hcp dönüşümüne eşlik eden Gibbs enerjisi mutlak sıcaklıkla doğrusal değişmektedir. Buna göre ;

$$T_0 = \frac{A_s + M_s}{2} \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Ancak T_0 değerini A_s ve M_s 'ye bağlayan bu bağıntı doğrusal yaklaşım sonucu elde edildiğinden fcc-hcp yapıları arasında kaydadeğer bir ısı kapasitesi farkı varsa bu bağıntı geçerli olmaz. Fe bazlı sistemlerinde bu eşitliğin geçerliliğini yitirecek ısı kapasitesi farkının fcc fazın antiferromagnetik özellik göstereceği sıcaklık aralığında olabileceği öngörülmüştür ^(12,13).

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. 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 ^(2,28).

2.6.1. 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. 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. 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. Bir kristal yapı içerisindeki atomik düzlemlerin yığılım sıralanışında meydana gelen bir düzensizlik olarak ortaya çıkan yığılım kusurlarının da martensitik dönüşüm üzerinde dislokasyonlara benzer bir etkisi vardır^(2, 28).

2.7. Martensitik Faz Dönüşümüne Manyetik Etki

2.7.1. Katı Cisimlerin Manyetik Özellikleri

Manyetizma, katı fizikinin 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 dizilmelerinden 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 ise birim hacimdeki net manyetik momentin ölçüsüdür. Ferromanyetizma, kristalde

karşılıklı etkileşme değişiminden meydana gelmiştir. Bu manyetik momentlerin birbirlerine paralel olarak çizgisel sıralanmalarına sebep olur⁽²⁹⁾.

2.7.2. Manyetizmanın Temeli

Manyetizasyon, birim hacimdeki net manyetik momenttir. Bir maddedeki toplam manyetik alan, hem dışardan uygulanan 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 $\vec{B} = \mu\vec{M}$ olur. Burada H manyetik alan şiddeti olmak üzere tanımlanmalıdır.

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H}) \quad (2.4)$$

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

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 χ burada pozitiftir ($\mu > 1$) deneysel yönden paramanyetizma ve diyamanyetizma arasındaki fark alınganlığın işareti farkında yatmaktadır.

Ayrıca sıcaklığa bağılılığı 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 χ alan şiddetine bağımlı değildir. Ferromanyetizma, paramanyetizmanın (bütün elektronların manyetik momentlerinin paralellüğinden doğan) aşırı halinin uzatılmasıdır. Bu durumda katı olan sadece dış alan olmayıp manyetik dipollerden ileri gelen iç alanda da olabilir. Termal hareketler çok büyük değilse, manyetik momentlerin tamamının sıralanması mümkündür. Bu yüzden ferromanyetizma belli bir sıcaklığın altında görülür. Belli bir noktanın üstünde ferromanyetikler, paramanyetiklerdir. Oda sıcaklığında Fe, Ni ve Co ferromanyetiklerdir⁽³⁰⁾.

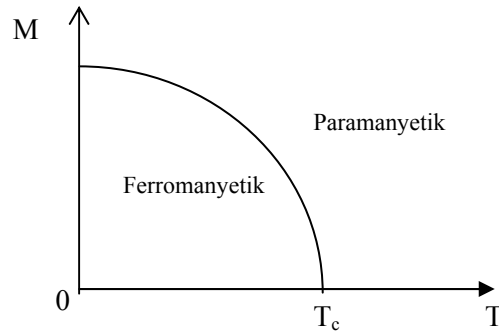
2.7.4. Diyamanyetizma

Atomları sürekli manyetik dipol momente sahip olmayan maddelere diyamanyetik denir. Manyetik alan uygulamasıyla elektriksel değişmeden oluşur. 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. 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. Süper iletkenler kritik sıcaklıkların altında öz direnci sıfır olan maddelerdir. Süper iletkenlerin mükemmel diyamanyetik özellik gösterdiklerini biliyoruz.

Sonuçta süper iletken içindeki manyetik alanı sıfır olacak şekilde uygulanan alanı dışlar^(29,30).

2.7.5. Paramanyetizma

Paramanyetizma pozitif fakat küçük manyetik duygunluğa sahiptir. Sürekli manyetik dipol momenti olan atomların varlığından kaynaklanır. Bu dipoller çok zayıf etkileşimde bulunur. Atomlar ancak çizgisel şekilde sıralandıklarında bir manyetik etki gösterebilir. Paramanyetik çok düşük sıcaklıklarda manyetik alan uygulaması sonucu çok kolay manyetik alan doğrultusunda dizilirler. Ferromanyetik bir maddenin kendiliğinden Curie sıcaklığı denen bir kritik sıcaklığa geçtiği zaman madde paramanyetik duruma geçer. Curie sıcaklığı altında, manyetik momentler paralel olarak dizildikleri için madde ferromanyetiktir. Curie sıcaklığının üstünde ısısal enerji dipolleri gelişigüzel yönelirler, bu yüzden madde paramanyetik olur⁽³⁰⁾.



Şekil 2.4.Ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının sıcaklıkla Değişimi

2.7.6.Ferromanyetizma

En çok bilinen ferromanyetik malzemeler oda sıcaklığında Fe, Ni ve Co gibi geçiş elementleridir. Bunlar ferromanyetik olup kritik sıcaklıklar altında düzenlendiklerinde negatif momente sahiptir. 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⁽²⁹⁾.

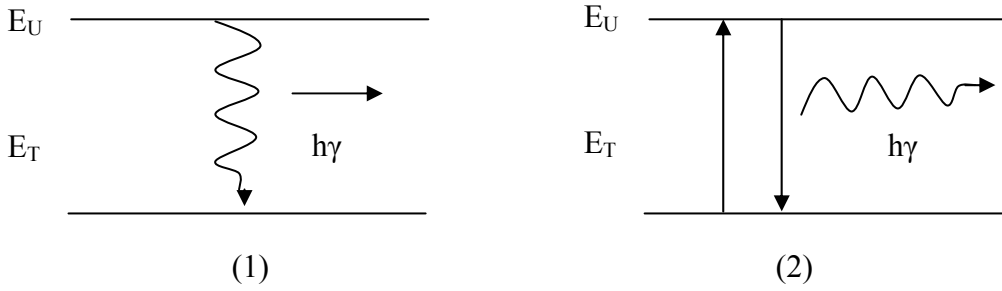
2.8.Gama Işınlınının Rezonansla Soğurulması ve Mössbauer Olayı

Genel olarak uyarılmış bir çekirdek, E_u uyarılmış enerji durumundan E_T taban enerji durumuna geçerken $h\nu = E_u - E_T$ bağıntısına göre, ν frekanslı bir γ fotonu yayınlar. Şekil 2.5'de görüldüğü gibi bu foton, taban durumunda bulunan başka bir çekirdek üzerine düştüğünde, onun E_T taban durumundan E_u uyarılmış durumuna çıkartmak üzere kolaylıkla soğurulması beklenir bu duruma rezonans adı verilir. Rezonansla uyarılan bu çekirdek tekrar taban durumuna geçerken aynı ν frekanslı ışınları bütün

doğrultularda yayınlar. Rezonansla soğurma olayının oluşabilmesi için birinci çekirdeğin yayınladığı fotonun ν frekansının ikinci çekirdek için

$$\nu = \frac{E_U - E_T}{h} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile verilen ν frekansına tam eşit olması gerekir.

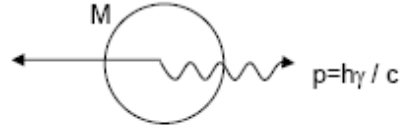


Şekil 2.5 Uyarılmış durumdan taban duruma geçiş

Gerçekte birinci çekirdek bir γ fotonu yayınlarken momentumun korunumu kanununa göre Şekil 2.6'da görüldüğü gibi aynı momentumla zıt yönde geri tepir. $E_G = E_U - E_T$ enerjisinden alacağı için yayınlanan fotonun enerjisi kütle merkezi sisteminde $E_U - E_T$ olduğu halde laboratuvar sisteminde;

$$h\nu_{\text{yay}} = h\nu_0 - E_G \quad (2.6)$$

olur ki burada $h\nu_0 = E_U - E_T$ geri tepme olmadığında yayınlanması beklenen foton enerjisidir.



Şekil 2.6 γ fotonu yayınlayan çekirdek eşit momentumla geri tepir.

Aynı şekilde, ikinci çekirdekten gelen fotonu soğurduğunda yine momentumun korunumu kanununa göre E_G enerjisi ile öteleneceğinden, bu çekirdeğin uyarılması için gerekli enerji;

$$h\nu_{\text{sog}} = h\nu_o + E_G \quad (2.7)$$

dir. Bu sebeple yayınlanma ve soğurulma çizgileri arasındaki frekans farkı;

$$\Delta\nu = \nu_{\text{sog}} - \nu_{\text{yay}} = \frac{2E_G}{h} \quad (2.8)$$

İkisi arasındaki enerji farkı ise;

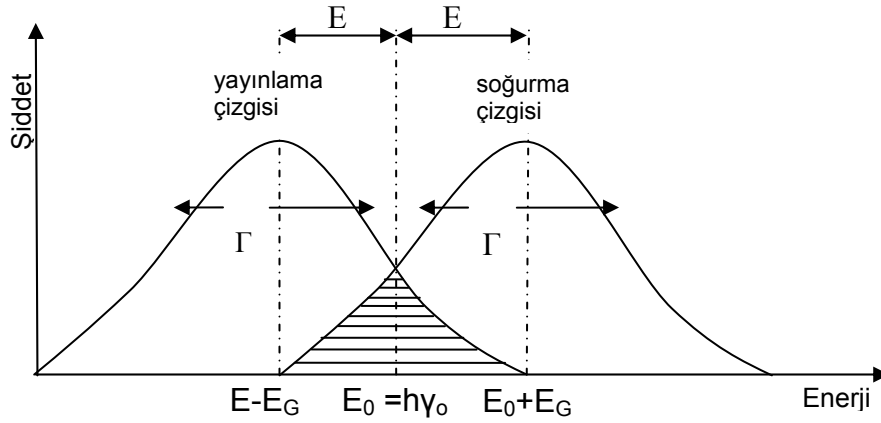
$$h\Delta\nu = 2E_G \quad (2.9)$$

olacaktır. Şekil 2.7'de yayınlanma ve soğurma çizgileri arasındaki $2E_G$ enerji farkından dolayı γ ışınları yayınlama ve soğurma çizgileri üst üste gelmez. Gama ışınlarının rezonansla soğurulmasını gerçekleştirmek için yayınlama ve soğurma çizgilerinin üst üste binmesini sağlamak üzere genellikle Doppler kaymasından yararlanır. Kaynağın çizgisel hızı v ise doppler olayı sonucu ışınım enerjisinde;

$$(\Delta E)_D = h(\Delta\nu)_D = h\nu_o \frac{v}{c} = E_o \frac{v}{c} \quad (2.10)$$

değerinde bir artma sağlanmış olur. $(\Delta E)_D = 2E_G$ olacak şekilde v hızı ayarlanırsa, geri tepme sonucu azalan enerji Doppler enerji artması ile karşılanmış olur ve böylece yayınlanma çizgisi üst üste gelmesi sonucu

rezonansla soğurma mümkün olur. Doppler kayması kaynağın yada soğurucunun birbirine göre hareket etmesini sağlar⁽³²⁾. Şekil 2.7'de Mössbauer olayında yayılma ve soğurulma çizgileri verilmiştir.



Şekil 2.7 Yayılma ve soğurma çizgileri

Alman fizikçi Mössbauer, 1958 de yukarıdaki deneyleri tekrarlarken gama kaynağı olarak tek serbest atomlar yerine bir kristal örgüsüne bağlı atomlar alındığında geri tepmesiz γ yayınlanması ve soğurulması olacağını ve böylece rezonans soğurulmasının kolaylıkla gözlenebileceği keşfedilmiştir^(32,33). Bu olaya Mössbauer olayı adı verilir. Mössbauer izotopu olan $^{57}_{27}\text{Co}$; $^{57}_{26}\text{Fe}$ in bir elektron yakalaması ile oluşur. Bu durumda reaksiyon;



olur. Bu durumda ayrılmış halde bulunan ^{57}Fe 'nin taban duruma geçerken yaydığı 14.4KeV'luk γ ışınımı Mössbauer olayında kullanılır.

2.9. İzomer Kayma

Bir atomun kimyasal değerliğinin değişmesi sonucunda bu atom s- elektron yoğunluğunun da değişeceği gerçektir⁽³²⁾. İşte bu sebepten sıfırdan farklı bir değerlikte olan çekirdeği ile onun s-elektronları arasındaki Coulomp çekim kuvveti etkileşmesi sonucu atomun çekirdek enerji seviyeleri ile bir değişime uğrar bu olay Mössbauer spektrumunda izomer kayma olarak kendini gösterir. İzomer kaymanın değeri ;

$$\delta = \frac{4\pi}{5} Ze^2 R^2 \left(\frac{\sigma R}{R} \right) \left[|\psi(0)|_{\text{sogurucu}}^2 - |\psi(0)|_{\text{kaynak}}^2 \right] \quad (2.12)$$

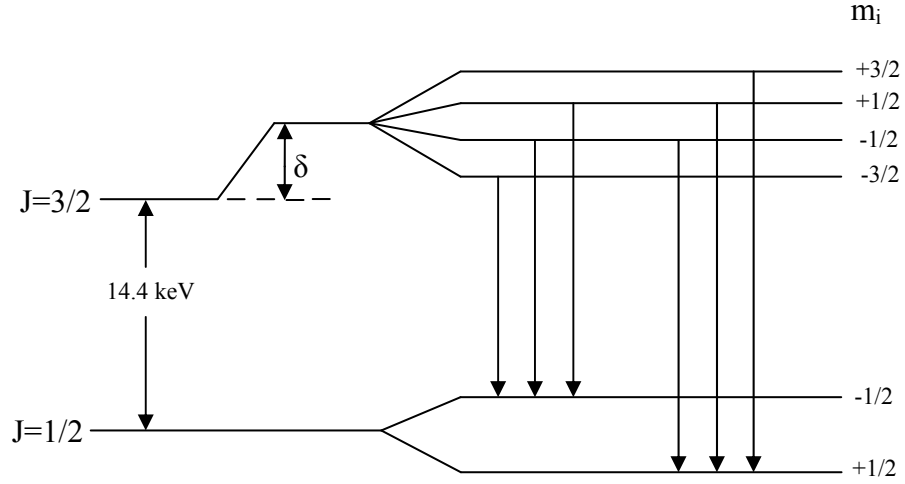
ile verilir. Burada $R_{\text{uyarılmış}} - R_{\text{temel}}$ şeklindedir.

Bu denklem iki çarpmadan meydana gelmiştir. Birinci durum nükleer parametreleri içerir özellikle uyarılmış durum ile temel durum arasındaki izomerik yarı çap farklıdır. İkinci durum çekirdekdeki yük yoğunluğunu içerir bu da atomun valans hali ile etkilenen atomik ve kimyasal bir parametredir. İzomer kayma kendini Mössbauer spektrumunda $v=0$ olası gereken maksimum rezonansta bir kayma olarak kendi gösterir. Mössbauer spektrumunda izomer kayması değerinin ölçülmesi ile Mössbauer izotopunun bağ durumları çeşitli bilgiler elde edilir^(34,35).

2.10. Mössbauer Spektrumunun Elde Edilmesi

Demir oda sıcaklığında ferromanyetik olduğu için aynı atomun dış elektronlarının çekirdekte meydana getirdiği H manyetik alan şiddeti büyüktür ve Zeeman olayı sonucu çekirdek enerji seviyelerinde yarıлма beklenir^(35,33).

J nin H doğrultusundaki izdüşümü m_j nin aldığı değere göre her enerji seviyesi $2J+1$ sayıda alt seviyeye yarılır. Fe^{57} de taban durum için $J=1/2$, 14,4 KeV'luk ilk uyarılış durum için $J=3/2$ olduğundan dolayı, H manyetik alan etkisi ile, taban durum 2 seviye ile ilk uyarılmış durum 4 seviyeye yarılabacaktır. $\Delta m_j = 0, \pm 1$ seçim kuralı göz önüne alınırsa farklı altı gama geçişi sonucu gama çizgisinin altı bileşene ayrılması beklenir. Fe^{57} beklenen enerji seviyesi yarılmaları sonucunda da Mössbauer spektrumunda çok sayıda çizgi görülür. Şekil 2.8'de ^{57}Fe için böyle bir durum sırasında çekirdek seviyelerindeki yarılmalar gösterilmiştir. Mössbauer spektrometresi metal ve metal alaşımlarında faz dönüşümlerinin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan metotlardan birisidir. Bu metotla austenite ve martensite yapıların manyetik düzenlenişleri, soğutma ve deformasyon sonucu oluşan martensite'lerin hacim oranları, oluşan martensite fazın için manyetik alanı austenite ve martensite fazların izomer kayma değerleri belirlenebilmektedir. Fe bazlı alaşımlar da austenite yapı paramanyetik olduğundan, bu faz tek bir soğurma çizgisi ile karakterize edilebilir. Ancak dönüşüm sonucu oluşan martensite'lerin ferromanyetik ve antiferromanyetik düzenlenmeleri karakteristik 6 çizgi spektrumu verir^(36,37). Ancak bazı Fe bazlı alaşımlarda austenite yapının ferromanyetik özellik gösterdiği de bilinmektedir.



Şekil 2.8 Fe'nin taban ve uyarılmış düzeneklerinin manyetik alanda yarılması.

2.11. Deneysel Materyal ve Yöntem

2.11.1.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Elektro optik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (SEM), birçok dalda araştırma-geliştirme çalışmalarının kullanımı yanında; sanayi, fizik, biyoloji ve tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır. SEM, Katot Işınları Tüpü mantığı ile çalışmaktadır. Numuneler havası boşaltılmış (vakum yapılarak) 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 düşürülmesi yolu ile yüzey incelemesi yapılacak numunenin yüzey görüntüsü elde edilir^(4,41).

2.11.2. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC)

Diferansiyel Tarama Kalorimetresinin çalışma prensibi verilen sıcaklık aralıklarında örnek içinde oluşan enerji değişimini referans numunenin enerji değişimi ile karşılaştırıp, enerji farkının dış devrede pikler şeklinde gözlenmesidir. DSC yönteminde numune ve referans maddeye aynı sıcaklık uygulanırken numunede değişiklik olması halinde, numune veya referansa bir elektriksel devre yardımıyla dışarıdan ısı eklenerek her ikisinde aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. Verilen ısının numune üzerinden akışı numunenin özgül ısısı ile doğrudan ilişkilidir. DSC eğrileri eklenen ısının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir. Numunedeki enerji değişimi endotermik veya ekzotermik reaksiyon şeklinde olup bu durum dış devrede pikler şeklinde görülür. Piklerin ısıtma hızlarına göre farklı yerlerde çıkması sonucunda aktivasyon enerjisi hesaplanabilir.

2.11.3.Mössbauer Spektrometresi Sistemi

1957`de R.L.Mössbauer tarafından keşfedilen Mössbauer olayı, kristal örgü içerisindeki bir çekirdek tarafından enerji kaybı olmaksızın γ fotonu salınması olayı olarak bilinir⁽³¹⁾. 1960`lı yıllarda ^{57}Fe `nin Mössbauer olayını gösterdiği bulunmasından sonra, Mössbauer olayı nükleer fizik

çalışmalarına ek olarak katıhal fiziği, kimya, biyoloji gibi bilimin geniş bir kullanım alanına sahiptir. Mössbauer olayı ile, çekirdekteki enerji düzeyleri arasındaki geçişler, uyarılmış seviyelerin enerji geçişleri ve bu seviyelerin yaşama zamanları, çekirdek elektrik quadrupol momentleri, çekirdek manyetik dipol momentleri belirlenirler. Genel bir Mössbauer deneyi yapmak için radyo aktif bir kaynak, bir soğurucu, bir γ sayıcısı, bir tek kanal diskriminatörü ve bir çok kanal analizatörü gereklidir. Ayrıca kaynak ve soğurucu arasında bağıl hızı sağlamak için bir düzenek kurulmalıdır.

Mössbauer deney düzeneğinin çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir. Bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan belirli bir γ ışınının önüne bir soğurucu konur. Soğurucudan geçen γ ışınları sayaca gelir. Sayaçtan gelen atmalar bir çizgisel şiddetlendirici ile çift kutuplu hale getirilerek çok kanal analizatörüne gider. Bu analizatör, her biri farklı enerjilere karşılık gelen atmaları farklı kanallara yerleştirir. Maksimum kanal sayısı 512 olup çift kutuplu atmalar, (1-256) ile (256-512) kanalları arasında simetrik spektrumlar olarak gözlenir. Mössbauer araştırmalarının büyük bölümünde ^{57}Fe ve ^{199}Sn izotopları kullanılmaktadır. Bu olay sayıları 50'yi geçen izotop üzerinde gözlenmekle birlikte deneysel zorluklar nedeniyle bunların ancak 20 tanesi kullanılabilir. Mössbauer spektroskopisinin' de radyo aktif kaynaktan çıkan γ ışınım enerjisi kaynağa bir Doppler hızı vererek değiştirilir ve γ ışınları soğurucu tarafından rezonans durumunda soğurulur.

2.11.4. Numunenin Hazırlanması

Bu çalışmada incelenen %99.9 saflıkta toz halinde bulunan Fe, Mn ve Mo elementleri TÜBİTAK tarafından hazırlanmıştır. Alaşımın içeriği, IXRF sistemi kullanılarak EDS (Elektron Dispersion Spectroscopy) tekniği ile Fe-%15 Mn-%5 Mo (% ağırlık) şeklinde tespit edildi. Silindirik çubuk halinde bulunan alaşımdan, elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilen numuneler, termal etkili ve manyetik etkili martensite faz dönüşümü olayını incelemek üzere farklı ısıtma işlemi uygulandı. Isıtma işlemi sırasında, yüksek sıcaklıklarda malzemedeki oksitlenmeyi önlemek amacıyla, numuneler yüksek sıcaklıklara dayanabilen kuartz cam tüpler içine konuldu.

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımından martensitik faz dönüşümü üzerine termal etkiyi incelemek için 1000°C, 1100°C ve 1200°C 'de sıcaklıkta 12 saat fırında ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Numune buzlu suda hızlı soğutulmuştur.

2.11.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri İçin Numunenin Hazırlanması

Taramalı elektron mikroskobu ile yapılacak yüzey gözlemi için ısıtma işlemi tabii tutulan numune Fe-%15Mn-%5Mo alaşımından martensitik faz dönüşümü üzerine termal etkiyi incelemek için 1000°C, 1100°C ve 1200°C 'de sıcaklıkta 12 saat fırında ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Numune buzlu suda hızlı soğutulmuştur. Farklı kalınlıklardaki zımparalarda yüzeydeki pürüzler ve çizgiler ortadan kaldırıldı. Elmas pastalarla yüzey üzerinde hiç pürüz kalmayacak şekilde parlatıldı. Daha sonra hacimce %2 derişik nitrik

asit ile %98 metanol kullanılarak hazırlanan nital çözeltisinde numuneler oda sıcaklığında birkaç dakika bekletilerek dağlandı. Numunenin yüzeyinde oluşan makro yapı karakteristikleri Jeol 5600 Yüzey Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak incelendi.

2.11.6. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri İçin Numunenin Hazırlanması

Isıl işleme tabi tutulan Fe-%15Mn-%5Mo alaşımı termal etkinin martensite – austenite dönüşüm sıcaklığını incelemek amacıyla numuneden toz halinde 1 mgr. örnek alındı. Alınan bu örnek (DSC) ölçümü için kullanıldı. Bu ölçümde ısıtma hızı dakikada 10 °C olarak alınmıştır. (DSC) ölçümleri ile ısı akışı sıcaklık grafiği çizildi.

2.11.7. Numunelerin Mössbauer Spektroskopisi İncelemeleri için Hazırlanması

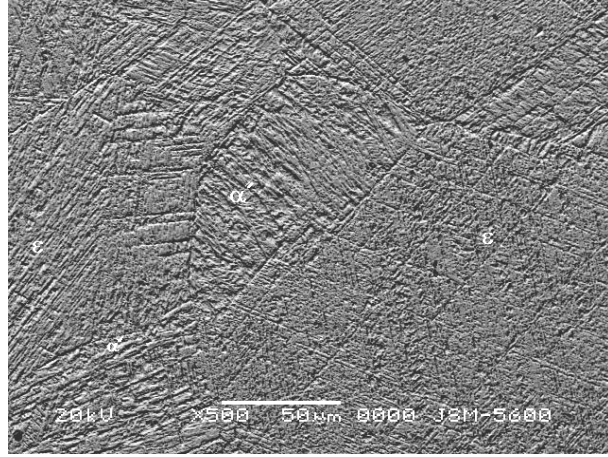
Mössbauer spektroskopisi incelemeleri için farklı fiziksel etkilere maruz bırakılmış alaşım gruplarından yaklaşık 0.5 cm olarak kesilen malzemeler SEM numunelerinin hazırlanmasına benzer biçimde yaklaşık 50 µm kalınlığına kadar indirildi. Spektroskopi için hazır hale gelen örnekler Fizik Bölümü bünyesinde bulunan Mössbauer Spektroskopisi kullanılarak ölçümleri alındı.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

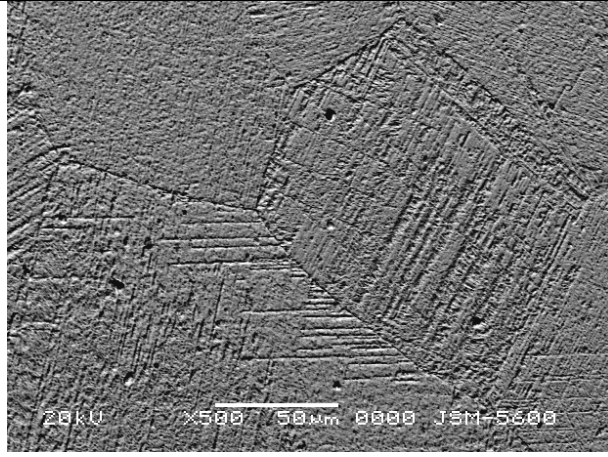
3.1. Termal Etkili Martensitik Dönüşümler

3.1.1. Termal Etkili Martensitik Dönüşümün Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenmesi

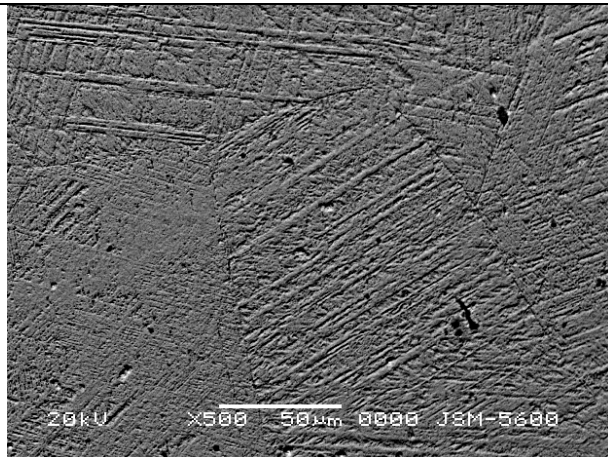
Isıl işleme tabi tutulan Fe-%15Mn-%5Mo alaşımı termal etki ile oluşan martensite fazların yüzey incelenmesi taramalı elektron mikroskobu ile yapıldı. Yüzey incelemesinde 1000°C, 1100°C ve 1200°C 'de sıcaklıkta 12 saat fırında ısıl işleme tabi tutulan ve buzlu suda hızlı soğutulan numune kullanıldı. Bu ısıl işlem sonucunda alaşımın yüzey incelemesinde austenite tanelerin oluştuğu ve bu tanelerde ϵ ve α' martensite'ler oluştuğu gözlenmiştir⁽⁴⁵⁾. Özellikle demir bazlı alaşımlarda ısıl işlem süresi ve sıcaklığının artması ile tane boyutunun ve martensite miktarının arttığı daha önceki çalışmalarda verildi^(2,38,39, 44,45,46).



Şekil 3.1 1000°C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü

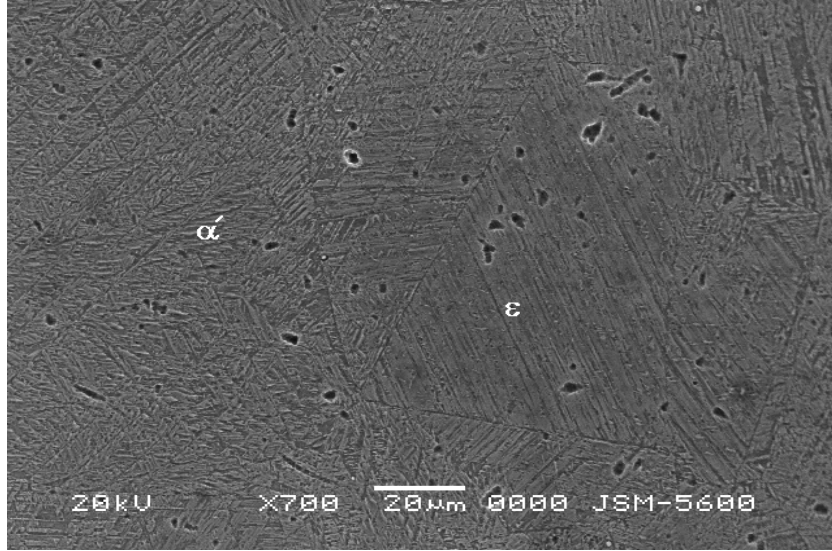


Şekil 3.2 1100°C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü



Şekil 3.3 1200 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü

Şekil 3.1 , Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te görüldüğü gibi hızlı soğutma ile alaşımda meydana gelen tanelerin kıyılarında ϵ martensite plakalar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda ϵ martensite'lerin kesişim bölgelerinde veya taneler içinde α' türü martensite'ler meydana gelmiştir.



Şekil 3.4. 1200 °C sıcaklığında 12 saat tavlanan ve hızlı soğutulmaya tabi tutulan numunenin yüzey görünümü.

Yapılan Taramalı Elektron Mikroskobu yüzey incelemelerinde özellikle Fe bazlı alaşımlarda, homojenleştirme süresi ve sıcaklığının artması ile tane boyutunun arttığı gözlenmiştir⁽⁴⁶⁾. Aynı zamanda Şekil 3.4'de görüldüğü gibi ϵ ve α' martensite'ler tane içlerinde meydana gelmiştir. Bu Şekilden de anlaşıldığı üzere α' martensite'lerin miktarının ϵ martensitelere göre fazla olduğu anlaşılmıştır. Alaşımdaki Mn oranına bağlı olarak ϵ ve α' martensite miktarının değiştiği daha önce yapılan çalışmalarda verilmiştir^(2,10,12,13).

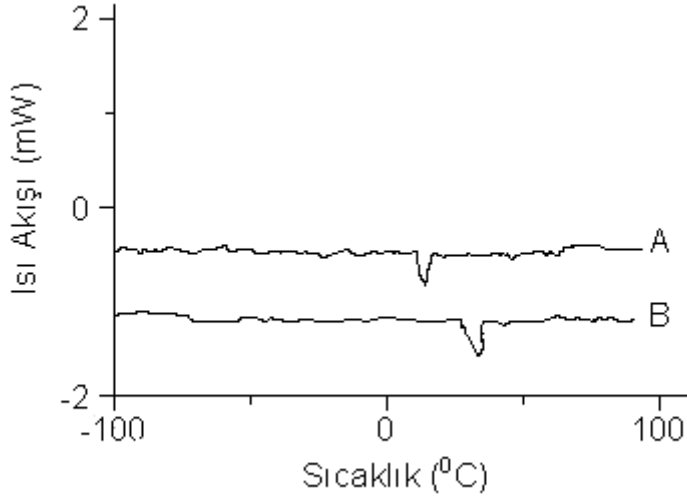
Numunenin hızlı soğutulması sonucu ortaya çıkan sıcaklık farkı, martensitik dönüşüm için gerekli olan sürücü kuvvetin oluşmasına sebep olmuştur. Şekillerden de görüldüğü gibi düşük sıcaklıkta tane boyutunun küçük, ϵ martensite plakaların kısa olduğu gözlenmiştir. Sıcaklık arttıkça tane boyutunun arttığı ve ϵ martensite plakaların arttığı SEM incelemelerinde gözükmemektedir. Tane sınırları, ϵ Martensite plakalarının düzeli bir şekilde sona erdiği bölgeler olarak ortaya çıkmıştır. ϵ martensite plakalarının artmasına bağlı olarak α' martensite miktarının da arttığı gözlenmiştir.

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. ϵ Martensite plakalarının tane içinde birbirine paralel plakalar halinde meydana geldiği daha önceki çalışmalarda ortaya konmuştur^(44,45,46).

3.2. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) ile Dönüşüm Sıcaklığının Ölçülmesi

Isıl işleme tabi tutulan Fe-%15Mn-%5Mo alaşımının dönüşüm sıcaklıkları M_s 'nin tayini için Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) tekniği kullanıldı. Fe-%15Mn-%5Mo alaşımının dönüşüm sıcaklıklarını tayin etmek için verilen numunelerin diferansiyel tarama kalorimetre eğrileri alınarak dönüşüm sıcaklıkları tayin edildi. Numunelerden alınan örneklerin, dakikada

10 °C lik değişim hızı ile DSC ölçümleri alındı. Elde edilen dönüşüm eğrileri Şekil 3.5'de verildi.



Şekil 3.5. A) 1100 °C'de 12 saat ısıtılma tabii tutulan numunenin DSC eğrisi

B) 1200 °C'de 12 saat ısıtılma tabii tutulan numunenin DSC eğrisi

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımasının dönüşüm sıcaklığının M_s nin Şekil 3.5 te Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) tekniğinde (A) eğrinde yaklaşık 22°C ve (B) eğrinde ise yaklaşık 38°C olarak gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sonuçlarının literatürle uyum içinde olduğu görülmektedir^(2,41,42,43).

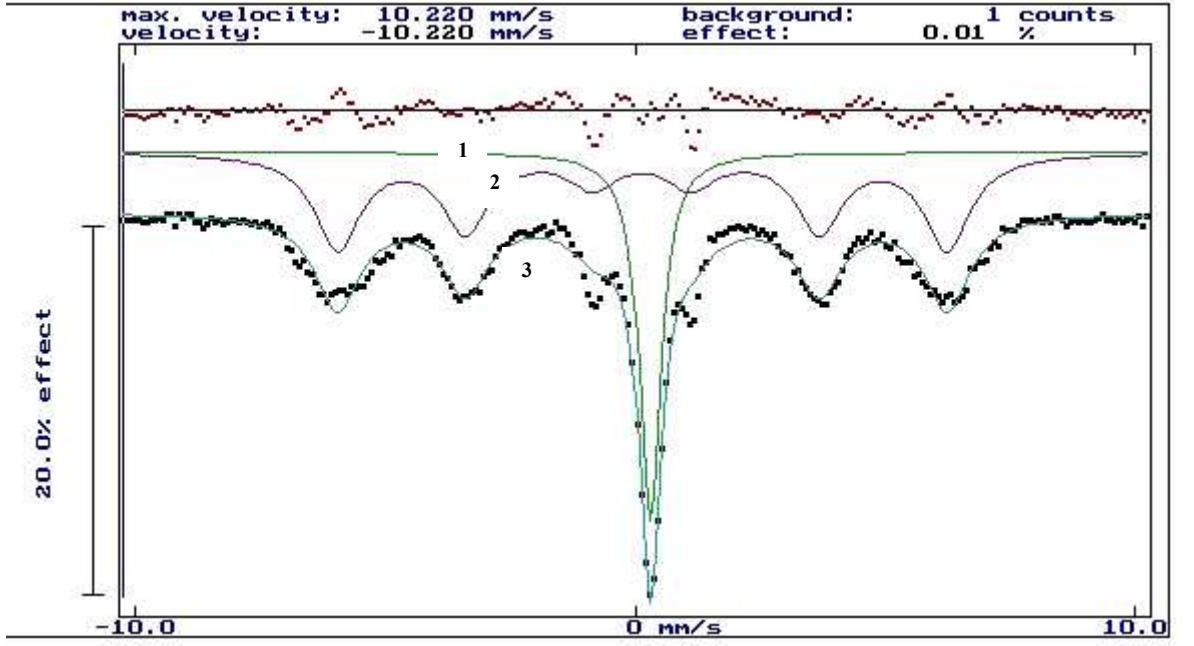
3.3.Martensitik faz Dönüşümünün Manyetik Özelliklerinin Mössbauer spektrokopisi ile İncelenmesi

Bu çalışmada Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında ısıtılma süresi, ısıtılma sıcaklığı ve soğuma hızının etkisi sonucu austenite ana yapı içerisinde

oluşan martensite yapının manyetik özelliğini incelemek amacıyla oda sıcaklığında Mössbauer spektrumları alınmıştır.

Mössbauer spektrokopisi metal ve metal alaşımlarında austenite-martensite gaz dönüşümlerinin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem austenite-martensite yapıların manyetik düzenlemeleri çeşitli fiziksel etkenler sebebiyle oluşan martensite kristallerin hacim yüzleri, martensite fazın iç manyetik alanı ve çekirdek ile s elektronları arasındaki etkileşimin değişimini gösteren izomer kayma kesin bir şekilde belirlenebilir⁽²⁾.

Fe bazlı alaşımlarında oda sıcaklığında austenite yapı ve epsilon (ϵ) martensite yapı paramanyetik olduğundan bu fazlar tek bir soğurma çizgisi ile karakterize edilir⁽¹²⁾. Ancak dönüşüm sonucu oluşan α' martensitelerin ferromanyetik ve antiferromanyetik düzenlemeleri karakteristik altı çizgi spektrumu verir^(36,37).



Şekil 3.6 12 saat 1200 °C ısıtılma tabii tutulan alaşımin oda sıcaklığında mössbauer spektrumları

Burada 1200 °C de 12 saat ısıtılma uygulanmış alaşımin Mössbauer spektrumları Şekil 3.6' da verilmiştir. Bu alaşımda alaşımında Mössbauer Spektroskopisi yöntemi ile elde edilen 1 numarada paramanyetik yapıya ait Austenite fazın ve ϵ martensite pikidir. 2 numarada antiferomanyetik yapıya ait α' martensite faza ait piktir. 3 numarada Austenite ve Martensite fazlara ait üst üste binmiş piklerdir^(2,10,12,13).

Çizelge 3.1 Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında Mössbauer spektroskopisi yöntemi ile elde edilen sonuçlar

	T(°C)	t(saat)	$\delta_F (mm/s)$	$\delta_p (mm/s)$	%F	%P	$B_{iç} (T)$
Martensite	1200	12	$0,29 \mp 0,16 \cdot 10^{-2}$	$0,145 \pm 0,47 \cdot 10^{-2}$	71,013	28,87	30,7

Bu çalışmada Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve soğuma hızının etkisi ile oluşan martensite faz dönüşümlerinin manyetik özellikleri Mössbauer spektroskopisi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Mössbauer spektroskopisi yöntemi kullanılarak elde edilen martensite ve austenite yapıların oluşum yüzdeleri martensite yapıya ait iç manyetik alan değerleri ile martensite ve austenite fazlara ait izomer kayma değerleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında austenite tane boyutunun oluşumu ile martensite miktarının arttığı Mössbauer spektroskopisi yöntemi kullanılarak gösterilmiştir^(2,42,43). Soğuma hızının artmasıyla çekirdeklenme bölgeleri artar, soğuma esnasında büyük termal zorlar oluşur⁽²⁾.

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında yapılan çalışmalarda Ferromanyetik madde miktarının artmasıyla iç manyetik alanın azaldığı Mössbauer spektroskopisi yöntemi kullanılarak bulunmuştur^(21,22). Bu çalışmada bulunan sonuçlar literatür ile uyum içindedir.

Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında ısıtma işlem sıcaklığı, ısıtma işlem süresi ve soğuma hızı ile oluşan martensite miktarının ve izomer kayma değerlerinin

arttığı buna karşın martensite fazın iç manyetik alanının azaldığı görülmektedir.

4.SONUÇ

Bu çalışmada, Fe-%15Mn-%5Mo alaşımında meydana gelen martensite faz dönüşümünün termodinamik ve manyetik özellikleri açıklandı. Bu alaşımda, atermal özellik gösteren Martensitik dönüşümün karakteristik özellikleri üzerine termal etki Elektron Mikroskop teknikleri kullanılarak incelendi. Alaşımda meydana gelen tane boyutlarının ısıtma işlemi göre değişimleri incelendi. Isıtma işlem sonunda numunenin hızlı soğutulması sonucu numunede meydana gelen sıcaklık değişiminin martensitik dönüşüm için gerekli sürükleyici kuvveti oluşturduğu gözlemlendi. Sonuç olarak aynı sıcaklık değişimi sonucu meydana gelen enerji farkının alaşımda $\gamma-\epsilon$, $\epsilon-\alpha'$ veya $\gamma\rightarrow\alpha'$ türü martensitik dönüşümlere sebep olduğu anlaşıldı.

Uygulanan ısıtma işlemde sıcaklık arttıkça tane boyutunun arttığı ve tane sınırında oluşan ϵ türü martensite plakaların boyunun ve α' taneciklerin sayısının arttığı ve plakaların tane sınırını geçmediği gözlemlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada termodinamik etkinin austenite ve martensite dönüşüm sıcaklıkları üzerine etkisi incelendi. Yapılan DSC ölçümlerinde numunelere alaşıma uygulanan ısıtma işlemde sıcaklık arttıkça M_s dönüşüm sıcaklığının da arttığı gözlemlendi. M_s sıcaklığındaki bu değişimin, sıcaklığı artırılan numunelerin iç yapılarında meydana gelen kusurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Alaşımda oluşan bu kusurlar martensite fazdan austenite faza dönüşüm için gerekli olan enerjiyi düşürür. Yapılan Mössbauer spektroskopisi incelemelerinde, austenite martensite faz dönüşümü oranı verilmiştir. Bu incelemeler sonucu izomer kayma değeri bulunmuştur. Antiferromanyetik veya ferromanyetik yapılar için manyetik alan değeri bulunmuştur. Bu olay

termal etki sonucu manyetik özelliklerin değiştiğini göstermiştir. Bu değişimden yararlanılarak bu olayın manyetik anahtar olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. L. Kaufman and M. Cohen, Prog. Metal Phys.,**7**, 165 (1958).
2. Z.Nishiyama,Martensitic Transformations, Academic pres,London,1978
3. Clapp, P.C., How would we recognize a Martensitic Transformation if it Bumped into us on a Dark & Austty Night? J.De Physique, **5**, C8,11-19 (1995)
4. T. Kırındı, Fe-%12,5Mn-%5,5Si-%9Cr-%3,5Ni Alaşımında Martensitik Dönüşümler Üzerine Termal ve Zor Etkilerinin İncelenmesi,Doktora Tezi,Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Kırıkkale,2004
5. J.W. Christian,The Theory of Transformation in Metals and Alloys,Pergamon Pres,London,(1975)
6. J.Singh and C.M. Wayman Material Science and Engineering,**93**(1987) 227-233
7. T.Kakeshita,K.Kuroiwa,K.Shimizu,T.Ikeda,A.Yamagishi and M.Date, Mater.Trans.,JIM, Volume **34**, No.5 (1993).pp 415 to 422
8. S.Matsumoto,A.SATO,and T.MORI, Acta metal.mater. Vol. **42**, pp. 1207-1213 (1994)
9. S.Cotes, M.Sade, and A.Fernandez Guillermet, Metallurgical and Materials Transactions A Volume **26A**, August(1995) 1957-1968
- 10.M.Acet, T.Schneider, B.Gehrmann, and E.F. Wassermann, J. De Physique Colloque C8 Volume **5**, decembre,1995

11. GU Nanju, SONG Xiaoyan, MA Zhihong, WANG Ruixiang, and YIN Fuxing, *ISIJ International*, Vol.37(1997), No.9, pp.914-920
12. S.Cotes, A.Fernandez Guillermet and M.Sade, *Journal of Alloys and Compounds* 278(1998) 231-238
13. S.Cotes, A.Fernandez Guillermet and M.Sade, *Journal of Alloys and Compounds* 280(1998) 168-177
14. Joong-Hwan Jun, Chong-Sool Choi, *Material Science and Engineering A252* (1998) 133-138
15. P.Marinelli, A.Baruj, J.Pons, M.Sade, A.Guillermet, E.Cesari, *Material Science and Engineering A335-275*(2002) 137-146
16. E.Yaşar, H.Gungunes, A.Kılıç, T.N.Durlu *Journal of Alloys and Compounds* 424(2006) 51-54
17. J.W Christian, *The Teory of Transformation in Metals and Alloys*, Pergamon Pres, London, 1975
18. M. Dikici, *Katıhal Fiziğine Giriş*, 19 Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun, (1993).
19. T. Savaşkan, *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Derya Kitabevi, Trabzon, (1999).
20. F. Yılmaz, *Alaşımın Yapı ve Özellikleri*, Sakarya Üniversitesi Basım Evi, Adapazarı, (1996).
21. D.A. Porter, K. E. Easterling, *Phase Trasformations in Metals and Alloys*, Chapman and Hall, London , 1981.
22. James, R:D: and Hane, K.F., "Martensitic Transformation and Shape Memory Materials". *Acta Mater.*, 48:197-222, (2000)

- 23.**D.A. Porter, K. E. Easterling, Phase Transformations in Metals and Alloys, Chapman and Hall, London , 1981.
- 24.**YAŞAR Erdem , Doktora Tezi
- 25.**T. Kakeshita, K. Kuriowa, K. Shimizu, T. Ikeda, A. Yamagishi and M.Date, Mater. Trans. JIM, **34**, 415(1993).
- 26.**T. Kakeshita, K.Kuroiwa, K. Shimizu, T. Ikeda, A. Yamagishi and M.Date, Mater. Trans. JIM, **34**, 423(1993).
- 27.**Durlu, T.N.,Scripta Metallurgical,**2**,865(1978)
- 28.** U. Sarı Şekil Hatırlamalı Cu-%11.92Al-%3.78 Ni Alaşımında Martensitik Dönüşümler Üzerine Termal ve Mekanik Etkiler, Doktora Tezi,Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Kırıkkale,2004
- 29.**C. Kittel, Çeviri: B. Karaoğlu, Katıhal Fiziğine Giriş, Bilgitek yayıncılık, İstanbul, 1996
- 30.**S. Kırım, Faraday Sistemi ve Manyetik Alınganlık Ölçümü, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1979.
- 31.**D.Hull, Introduction to Dislocation, Pergamon Pres, London, 1995.
- 32.**A. Gedikoğlu Atom ve Çekirdek Fiziğine Giriş. Ekonomist Yayınevi, Ankara, 1978.
- 33.**B.Tanyel, Nükleer Fizik, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, 1994.
- 34.**N. D. H. Ross and A. G. Crocker, Acta Metall., **18**, 405 (1970).
- 35.**G. K. Wertheim, Mössbauer Effect, Principles and Application, Academic Press, Newyork, 1964.
- 36.**T. N. Durlu, J. Mater. Sci. Lett., **11**, 702(1992)
- 37.**İ. Akgün, A. Gedikoğlu, T. N. Durlu, J. Mater. Sci. **17**, 3479(1982).

- 38.** T.Kırındı, M.Dikici, 'Effect of heat treatment on martensitic transformation in Fe-12.5%Mn-5.5%Si-9%Cr- 3.5%Ni alloy', Bull.Mater.Sci., **28**(2), 87-90 (2005).
- 39.** T.Kırındı, M.Dikici, 'Microstructural analysis of thermally induced and deformation induced martensitic transformations in Fe-12.5 wt.% Mn-5.5 wt.% Si-9 wt.% Cr-3.5 wt.% Ni alloy', Journal of Alloys and Compounds, **407**, 157-162 (2006).
- 40.** E.Güler, T. Kırındı, H.Aktaş, 'Comparison of thermally induced and deformation induced martensite in Fe-29% Ni-2% Mn alloy', Journal of Alloys and Compounds, **440**, 168-172, (2007).
- 41.** T. Kırındı, E. Güler, M. Dikici 'Effects of homogenization time on the both martensitic transformations and mechanical properties of Fe-Mn-Si-Cr-Ni shape memory alloy', Journal of Alloys and Compounds, **433**, 202-206, (2007).
- 42.** H.Y. Ocak, Fe-%31.5Ni-%10Mn Alaşımında Austenite – Martensite Faz Dönüşümünün Kristolografik, Kinetik ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 1999
- 43.** A. Ceylan, E. Kaynak, Ş. Özcan ve T. Fırat, 8. Yoğun Madde Fiziği Ankara Toplantısı, $YBa_2Cu_3O_7$ Üstüniletken İnce Filmlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Ankara, 2003
- 44.** T. Kikuchi, S. Kajiwara and Y. Tomota, Mater. Trans., JIM, **36**, 719(1995).
- 45.** D.A Porter and K.E. Easterling, Phase Transformation in Metals and Alloys, Chapman and Hall, London, 1981.

46.B.H.Jiang, L. Sun, R.Li, and T.Y. Hsu, *Scripta Metall.Mater.*,
33,63(1995)