

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo ALAŞIMLARINDA MARTENSİTİK FAZ
DÖNÜŞÜMLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

MERVE SULTAN AKAY

TEMMUZ 2013

Fizik Anabilim Dalında Merve Sultan AKAY tarafından hazırlanan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%X Alaşımlarında Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Saffet NEZİR
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Yrd.Doç.Dr. Erdem YAŞAR

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan :Doç. Dr. Hakan GÜNGÜNEŞ

Üye (Danışman) : Yrd. Doç. Dr Erdem YAŞAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ YAĞCI

02/07/2013

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır

Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo ALAŞIMLARINDA MARTENSİTİK FAZ DÖNÜŞÜMLERİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

AKAY, Merve Sultan

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR

Temmuz 2013, 44 Sayfa

Bu çalışmada, Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo($X=0.8, 1.8$) alaşımında gözlenen atermal etkili martensitik faz dönüşümlerinin morfolojik, kristalografik ve manyetik özellikleri çeşitli fiziksel yöntemler kullanılarak araştırıldı. Isıl işlem uygulanarak alaşımlarda oluşan faz dönüşümlerinin kristalografik ve morfolojik özellikleri çeşitli fiziksel yöntemler kullanılarak araştırıldı. Alaşım içerisinde dönüşüm atermal olarak meydana geldi ve oluşan mikro yapılar Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Geçirmeli Elektron Mikroskobu(TEM) ile araştırıldı.

Alaşıma Co elementi eklenmesiyle tane boyutunun arttığı lenticular ve thin plate martensite yapılar oluştuğu gözlemlendi. Mössbauer spektrometresi kullanılarak austenite ve martensite yapının oluşum yüzdeleri, austenite fazın paramanyetik martensite fazın ferromanyetik veya antiferromanyetik olduğu ve ayrıca Co elementinin alaşımının manyetik özelliği üzerine etkisi olduğu, alaşımların iç manyetik alanının ve izomer kayma değerinin lineer olarak azaldığı gözlemlendi. DSC cihazı ile alaşımların Martensite başlama sıcaklıkları(M_s) 0.8 Co ve 1.8 Co için sırasıyla -91°C ve -94°C bulundu. Co miktarı arttığı zaman M_s sıcaklığının azaldığı bulundu.

Anahtar Kelimeler: Martensitik Faz Dönüşümü, atermal martensite, tane boyutu, SEM, TEM, Mössbauer Spektrometresi, DSC.

ABSTRACT

PHYSICAL PROPERTIES OF MARTENSITIC PHASE TRANSFORMATIONS IN Fe-%30Ni-%2.6Mo-XCo ALLOYS

AKAY, Merve Sultan

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, Msc.Thesis

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Erdem YAŞAR

July 2013, 44 pages

In this study, morphologic, thermal, magnetic and crystallographic properties of the athermal martensitic transformations, observing Fe-%30Ni-%2,6Mo-XCo (X=0.8, 1.8) alloys, have been investigated by using different physical characterisation methods respectively. Transformation in Fe-%30Ni-%2,6Mo-XCo alloy is occurring athermally. Microstructure of martensite structure in this alloy were investigated by scanning electron microscope (SEM) and transmission electron microscope (TEM).

By the increasing rate of cobalt (Co) in Fe-%30Ni-%2,6Mo-XCo alloy, it is observed that the grain size increase and lenticular and thin plate martensite formation. Mössbauer spectroscopy was used to determine volume fraction of athermal martensite structures in austenite phase and is found that while austenite phase has paramagnetic property, martensitic phase shows ferromagnetic or antiferromagnetic behaviour and mössbauer studies have shown that Co substitution greatly affects the magnetic properties of alloys. The value of the hyperfine field and isomer shifts linearly decreased.

By DSC method M_s temperatures are found. The M_s temperature of thermally-induced martensite was determined as $-91\text{ }^\circ\text{C}$ and $-94\text{ }^\circ\text{C}$ for Fe-%30Ni-%2,6Mo-XCo (as with the addition of 0.8% Co and 1.8% Co and the M_s temperature decreased as Co concentration increased).

Key Words: Austenite, Martensite, Martensitic Phase Transformation, Athermal Martensite, Grain Size, SEM, TEM, Mössbauer Spectroscopy, DSC.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca bilimde uzmanlığını, deneyimlerini, değerli fikirlerini özveri ile bana aktaran, her konuda desteğini esirgemeyen değerli tez danışmanı hocam Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR' a teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim esnasında her konuda benden yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Saffet NEZİR, Prof. Dr. Sedat AŐAN, Prof. Dr. İlhan AKSOY, Doç. Dr. Erdem Kamil YILDIRIM, Yrd. Doç. Dr. Nermin KAHVECİ YAŐCI, Yrd. Doç. Dr. Kutalmıő GÜVEN, Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜNGÜNEŞ ve Fizik bölümündeki diğer hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin hazırlanması aşamasında laboratuarda yardımını gördüğüm Uzman Ümit ERDEM, Uzman Hilal TOPBAŐ ve arkadaşım Alim BOZER ' e teşekkür ederim. Ayrıca tezimin hazırlanması esnasında desteklerini gördüğüm arkadaşlarım Esra DUDU, Selma KOŐ ve Fatih TOSUN' a teşekkür ederim. Son olarak büyük fedakarlıklarla bana maddi ve manevi destek olan AİLEM'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRAT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1. Austenite-Martensite Faz Dönüşümleri	3
1.2. Katı Cisimlerin Manyetik Özellikleri	4
1.3. Ferromanyetik Maddeler	5
1.4. Paramanyetik Maddeler	7
1.5. Diyamanyetik Maddeler.....	9
2.MATERYAL VE YÖNTEM	11
2.1. Numunelerin Hazırlanması	11
2.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması	12
2.3. Mössbauer Spektrometresi Ölçümleri Numunelerin Hazırlanması	12
2.4. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri İçin Numuneleri Hazırlanması	12
2.5. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması	13
2.6. Yöntem	13
2.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	13
2.6.2. Mössbauer Spektrometresi.....	16
2.6.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi (DSC).....	18
2.6.4. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM).....	19
3.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	23

3.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Oluşan Martensitik Faz Dönüşümleri	23
3.1.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co Alaşımının Martensite Yapısının Taramalı Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi	23
3.1.2. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co Alaşımının Martensite Yapısının Taramalı Elektron Mikroskobu İle İncelenmesi	25
3.2. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Oluşan Austenite-Martensite Faz Dönüşümünün Manyetik Özelliklerinin Mössbauer Spektrometrisi Yöntemi İle İncelenmesi	28
3.3. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Oluşan Austenite-Martensite Faz Dönüşümünün Termal Özelliklerinin DSC Yöntemi ile Belirlenmesi	31
3.4. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Martensitik Yapının Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) İle İncelenmesi	34
4.SONUÇ	38
KAYNAKLAR	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Üretilen Alaşımlar Ve Oranları	11
3.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8,1.8) alaşımında mössbauer spektrometrisi yöntemiyle elde edilen sonuçlar	31
3.2. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımlarında ortalama tane boyutu, M_s sıcaklığı ve martensite yüzdesi arasındaki ilişki.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması.....	5
1.2. Ferromanyetik maddenin mıknatıslanma eğrisi.....	6
1.3. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde içindeki mıknatıslanma	7
1.4. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldığında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi	8
1.5. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasındaki ilişki.....	9
2.1. Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar	14
2.2. Elektron-numune etkileşmesi	15
2.3. Mössbauer spektrometresinin şematik gösterimi	17
2.4. Mössbauer Spektrometresi	17
2.5. Geçirmeli elektron mikroskopunun (TEM) şematik yapısı	21
3.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında gözlenen tane boyutu	24
3.2. Fe-%30Ni-%2,6Mo-0,8Co alaşımında gözlenen lens (lenticular) martensite yapı.....	24
3.3. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında gözlenen sigma fazı.....	26
3.4. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen tane boyutu	27
3.5. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen thin-plate martensite boyutlar.....	27
3.6. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen kinked midrib yapılar	28

3.7.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında, (-196 °C) 'de austenite yapı içerisinde oluşan martensite yapının oda sıcaklığında Mössbauer Spektrumu.....	29
3.8.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında, (-196 °C) 'de austenite yapı içerisinde oluşan martensite yapının oda sıcaklığında Mössbauer Spektrumu.....	30
3.9.	1100 °C' de 12 saat ısıl işlem uygulanan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında gözlenen sıcaklığa bağlı ısı akışı değişimi (M _s)	32
3.10.	1100 °C' de 12 saat ısıl işlem uygulanan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen sıcaklığa bağlı ısı akışı değişimi (M _s)	33
3.11.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait aydınlık alan görüntüsü	34
3.12.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait karanlık alan görüntüsü	34
3.13.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite bölge üzerinde alınmış kırınım deseni ve diyagramı	35
3.14.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait aydınlık alan görüntüsü	36
3.15.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait karanlık alan görüntüsü	36
3.16.	Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite bölge üzerinde alınmış kırınım deseni ve diyagramı	37

SİMGELER DİZİNİ

γ	Yüz merkezli kübik yapı
α	Hacim merkezli tetragonal yapı
α'	Hacim merkezli kübik yapı
M_s	Martensite başlama sıcaklığı
M_f	Martensite bitiş sıcaklığı
A_s	Austenite başlama sıcaklığı
S	Entropi
T	Mutlak sıcaklık
M	Mıknatıslanma
H	Manyetik alan
$B_{iç}$	İç manyetik alan

1.GİRİŞ

Araştırmacılar metal ve metal alaşımların mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyerek daha dayanıklı ve kullanışlı hale getirilmesi için birçok çalışma yapmışlardır. Metal ve metal alaşımların fiziksel etkenler yardımıyla yumuşak demirin sertleşmesi faz dönüşümlerinin gerçekleşmesiyle olduğu anlaşılmıştır. Bazı fiziksel etkenlere maruz kalan atomik boyutta değişiklik gösteren malzemeler katıhal fiziğinin çalışma alanlarından biri olmuştur[1]. Alman bilim adamı Adolf Martens uzun süren çalışmalarında Karbon çeliklerde mikro yapılar olduğunu gözlemledi[2]. Martens yaptığı çalışmalarda demiri soğutarak yeni kristal yapılar oluştuğunu gözlemlemiş ve oluşan bu yapılara 'martensite' adını vermiştir. Bu fiziksel etkenlerle oluşan dönüşüme 'martensitik dönüşüm' denmiştir. Martensite dönüşüm aynı zamanda demir içermeyen sistemlerde de ortaya çıkar; Cu-Al, Au-Cd,SiO₂,ZrO₂ gibi[3,4,5]. Dönüşüm gerçekleşmeden önceki yapıya austenite (anafaz) ,dönüşüm gerçekleştikten sonraki yapıya martensite (ürünfaz) denir. Demir alaşımları üzerinde çalışmaları ilk olarak Bain yapmıştır[6]. Martensitik dönüşümler genellikle, austenite fazdayken yüz merkezli kübik (f.c.c.) yapıdan, martensite faza dönüşümünde hacim merkezli kübik (b.c.c.),hacim merkezli tetragonal (b.c.t.) veya sıkı paketlenmiş hegzagonal (h.c.p.) şeklinde ortaya çıkar[7]. Martensitik dönüşümler kısa sürede difüzyonsuz biçimde ortaya çıkar.

Fe-Ni alaşımlarında %30 civarında austenite yapıdan martensite yapıya dönüşüm olduğu görülmüştür[8,9].Birçok araştırmada Fe-Ni-X alaşımlarında martensitik dönüşüm genellikle fcc→bcc şeklinde olur[10].

Patterson ve Wayman[11],Fe-Ni alaşımı üzerine yaptıkları araştırmada kristallografik özelliklerini ve martensitelerin ikizlenmesini ve büyümesini incelemişlerdir. Ni oranındaki değişikliğin morfolojiyi değiştirdiği ve ikizlenme bölgelerini genişlettiği görülmüştür.

Zhang ve Kelly [12], Fe-Ni-C üzerinde yaptıkları araştırmada meydana gelen martensitelerin ikizlenmesini ve özelliklerini incelemişlerdir. Karbon oranının fazla olduğu bölgelerde ikizlenmenin olduğu gözlenmiştir.

Tanata [13], yaptığı araştırmada Fe-Ni-Si alaşımına Co eklenmesiyle oluşan martensitik değişimin etkisini ve austenite fazdaki yoğunluk etkisini incelemiştir. Co eklenmesiyle austenite fazdaki yoğunluğun artışı meydana gelmiş ve Co eklenmesi thin-plate (ince-plaka) martensite oluşumunun kolaylaştığını gözlemlemiştir.

Shibata ve Murakama [14],yaptıkları araştırmada lenticular (merceksi) martensitelerdeki midrib bölgeleri incelemişlerdir. Fe-29Ni-0,2C alaşımında lenticular martensite, Fe-31Ni-10Co-3Ti alaşımında ise thin-plate martensite oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Ve thin-plate martensite yapıda branched (dallara ayrılma) ve kinked (bükölme)olduğunu gözlemlemişlerdir.

Brandi, Padilha[15] ve Maehara[16],yaptıkları çalışmalarda dubleks paslanmaz çeliklerde, çöktürme sırasında ferrit miktarı azaldıkça sigma faz miktarında artış olduğunu bulmuşlardır.

Shibata[17], yaptığı araştırmada demir içerikli alaşımlarda farklı lenticular martensite yapılardaki martensite başlama sıcaklıklarını incelemiştir. alışmaları sonucu Fe-33Ni alaşımında $M_s=171K$ ve lenticular martensitelerin düzgün olduğunu, Fe-31Ni alaşımında $M_s=223K$ midrib bölgelerin yanında çiftlenmiş bölgeler oluştuğunu ve Fe-33Ni alaşımına göre daha ince yapılar olduğunu, Fe-20,5Ni-35Co alaşımında $M_s=497K$ bu yapıdaki lenticular martensiteler tamamen değişime uğradığını ve oluşan midrib bölgelerin çöktüğünü, çiftlenmiş bölgelerin ise hafif görünür olduğunu gözlemlemiştir.

Yaşar v.d.[18,19,20], 2006,2007,2008 yıllarında Fe-30Ni-XMo (X=0.8, 1.8, 2.6, 3.6, 5) alaşımlarının izotermal ve atermal martensitik dönüşümlerini incelemişlerdir. Mo oranının artmasıyla M_s sıcaklığının azaldığını, martensite

oluşum yüzdesinin azaldığını ve Mo elementinin austenite stabilize bir element olduğunu göstermişlerdir.

Maksimova ve Nikonorova[21], çalışmalarında deformasyon, dengeleme ve tersinirlik üzerinde durmuşlardır. Fe-23.4Ni-0.5C alaşımında $M_s = -50^\circ\text{C}$, Fe-20.9Ni-0.5C alaşımında $M_s = -20^\circ\text{C}$, Fe-17.5Ni-0.8 alaşımında $M_s = -10^\circ\text{C}$, Fe-31.7Ni-5.5Co-0.02C alaşımında $M_s = -20^\circ\text{C}$ ve Fe-22.5Ni-3.3Mn-0.04C alaşımında $M_s = -40^\circ\text{C}$ bulmuşlardır.

Sarı v.d.[22], Fe-Mn alaşımlarına Mo ve Co eklenmesiyle manyetik özelliklerinin etkisini, martensitik dönüşümlerini, SEM, DSC ve Mössbauer spektrometrisi yöntemi ile incelemiştir. İnceleme sonucunda ϵ (h.c.p.) ve α (b.c.c.) martensitelerin oluştuğunu ve iç manyetik alanın azaldığını bulmuşlardır.

Bu çalışmadaki amaç, Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımlarındaki faz dönüşümlerini ve martensitik dönüşümlerin morfolojik, kristalografik, manyetik ve kinetik özelliklerini çeşitli fiziksel yöntemlerle incelemektir.

1.1. Austenite-Martensite Faz Dönüşümleri

Bir madde bağ kuvvetleri etkisi altında en düşük enerjili denge konumunda bulunan atomlar grubundan oluşur. Koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur, atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur [23]. Termodinamik özelliklerin kristalografik olarak bulunması hali 'faz' olarak adlandırılır. Fazlar arası geçişe de faz dönüşümü denir. Faz dönüşümleri malzemeye uygulanan fiziksel etkenler sayesinde oluşur. Bu etkenler kristale uygulanan sıcaklık değişimi, deformasyon ve mekanik zorlardır.

Faz dönüşümleri yüz merkezli kübik (fcc) yapıya sahip austenite fazının, hacim merkezli tetragonal (bct), sıkı paketlenmiş hekzagonal (hcp) veya hacim merkezli kübik (bcc) yapıya sahip martensite fazına dönüşmesi ile gerçekleşir [24]. Bir metal veya metal alaşımında atomlar, komşuluklarını koruyarak sadece atomlar arası uzaklıktan çok olmayan uzaklıklara yer değiştiriyorsa buna difüzyonsuz faz dönüşümü denir [25]. Martensite faz dönüşümü difüzyonsuz faz dönüşümüdür [26].

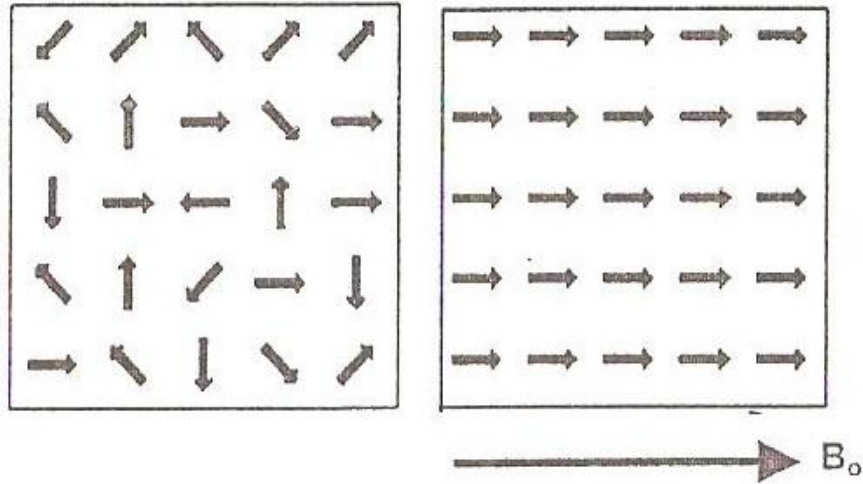
1.2.Katı Cisimlerin Manyetik Özellikleri

Manyetizma bütün maddelerin sahip olduğu bir özelliktir. Elektrik yükleri hareket ettiklerinde çevrelerinde manyetik alan oluşturmaktadır. Bazı materyaller doğal manyetik özellik gösterir bunlar mıknatıslardır. Demir, kobalt vb. bazı materyaller manyetik alan içerisine konduklarında, manyetik alanla aynı yönlü etkileşerek manyetik özellik gösterirler. Bu özelliklere sahip materyallere ferromanyetik materyaller denir. Mıknatıslanan bir materyalde toplam manyetik dipol moment sıfırdan farklıdır. Manyetik alan B ile gösterilir. Bir q yükü B manyetik alanına V hızıyla girdiğinde yüke Lorentz kuvveti etkir. Bu kuvvet $\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B}$ şeklindedir.

Maddelerin manyetik alanla etkileşim derecelerini belirleyen bağıl manyetik geçirgenliği μ_b dir. $\mu_b = B/B_0$ şeklindedir. Bağıl manyetik geçirgenliği 1'den biraz küçük olan maddeler diyamanyetik, 1'den biraz büyük olan maddeler paramanyetik, 1'den çok büyük olan maddelere ferromanyetik maddeler denmektedir. Maddelerin manyetik özellikleri onu oluşturan elektronların hareketlerine bağlıdır. Elektronların yörüngesel ve spin hareketleri atomda bir akım, dolayısıyla bir dipol moment oluşturur. Maddedeki net dipol momentin büyüklüğü onun manyetikliğini belirler.

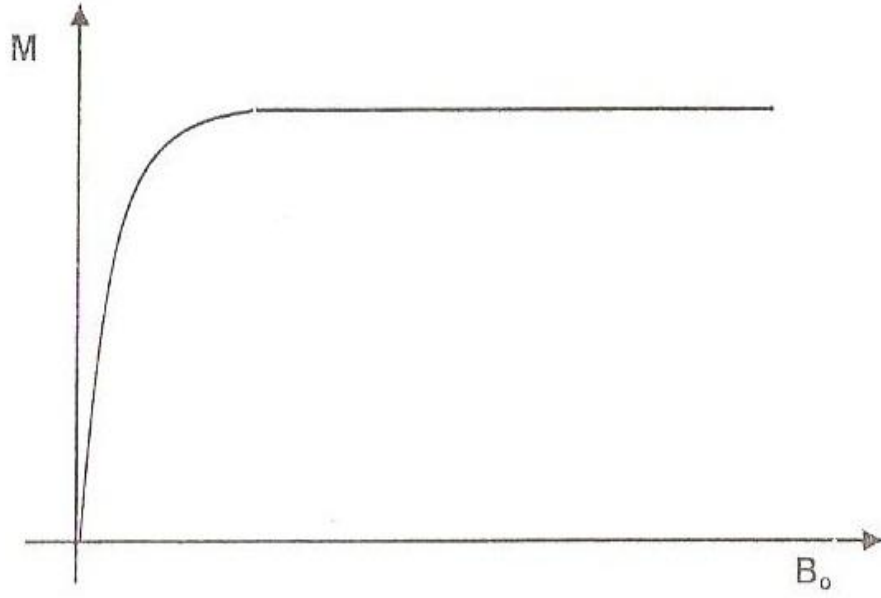
1.3.Ferromanyetik Maddeler

Sürekli manyetik momenti olan demir, kobalt, nikel elementlerine ve onların karışımını içeren birçok alaşımlardan meydana gelen yapılara 'ferromanyetik maddeler' denir. Bu tür maddeler zayıf bir dış manyetik alanın içinde olsa bile birbirine göre paralel yönelime sahip olan atomik manyetik momentler içerirler. Üstelik ferromanyetik maddelerde atomik manyetik momentler, aralarındaki kuvvetli etkileşmeler nedeni ile bir dış manyetik alanın yokluğunda bile manyetik domain olarak adlandırılan makroskobik bölgelerde birbirlerine paralel olarak yönelirler. Herhangi bir dış manyetik alan uygulanmadığı zaman, domain mıknatıslanması rastgele yönelmektedir. Fakat bir dış manyetik alanın varlığında domainler, uygulanan dış manyetik alan doğrultusunda yönelime meyillidirler ve bu dış manyetik alan etkisinde kalarak bu alana paralel olarak yönelirler[27].



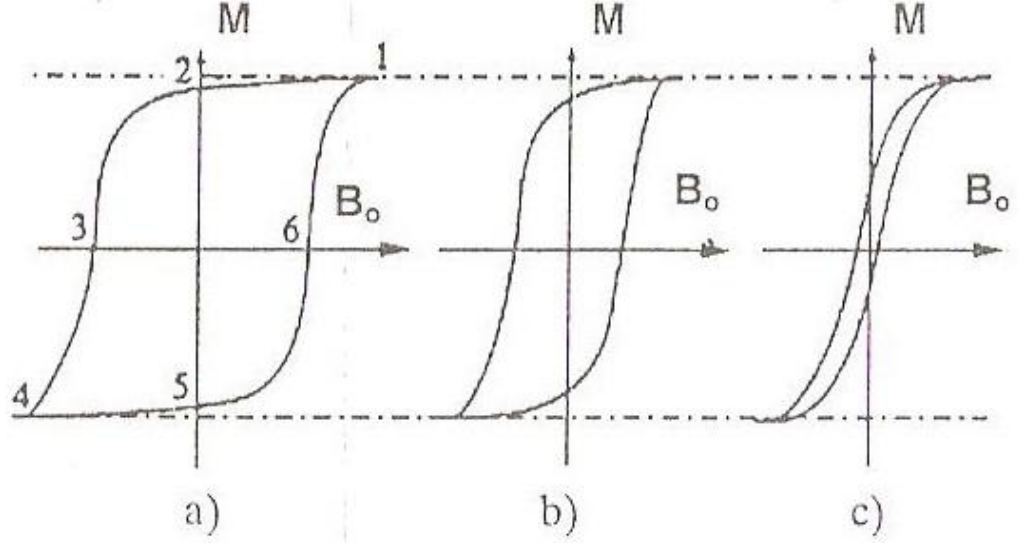
Şekil 1.1. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması.

Eğer dışarıdan uygulanan manyetik alan artırılmaya devam edilirse, bu alanın sınır bir değerinde ferromanyetik maddedeki tüm manyetik momentler alan doğrultusunda yöneleceklerdir. Bu sınır alan değerinden sonra dış manyetik alan artırılrsa bile mıknatıslanmaya katkı olmayacaktır.



Şekil 1.2. Ferromanyetik maddenin mıknatıslanma eğrisi.

Birçok ferromanyetik maddenin mıknatıslanma özelliği, dışarıdan uygulanan manyetik alanın artması veya azaltılması durumunda farklılık gösterir. Bazı ferromanyetik malzemeler için dışarıdan uygulanan B_0 manyetik alanına karşı M mıknatıslanma ilişkisi şekil'de gözlenmektedir. Şekil 1.2. de görüldüğü gibi ferromanyetik maddeye uygulanan B_0 alan yavaş yavaş artırılarak tüm manyetik momentlerin alan içinde alan doğrultusunda yönelmesi sağlanırsa, mıknatıslanma doyum noktasına ulaşır (1 noktası). Bu noktadan itibaren dışarıdan uygulanan manyetik alan azaltılır ve değeri $B_0=0$ olması durumunda mıknatıslanmanın varlığı devam etmektedir (2 noktası). Bu noktadan sonra B_0 alanı ters yönde uygulanır yavaş yavaş artırılırsa 3 noktasına yaklaşırken mıknatıslanmanın azaldığı ve tam bu noktada $M=0$ değerini alır. Ters yönde B_0 alanı artırılmaya devam ettirilirse mıknatıslanma negatif yönde doyuma ulaşır (4 noktası). Ters yönde uygulanan B_0 azaltılarak 5 noktasına ulaşırsa ($B_0=0$) mıknatıslanmanın olduğu gözlenir. Şayet B_0 alanı orijin doğrultusunda uygulanır ve artırılmaya devam edilirse 6 noktasında mıknatıslanmanın sıfır olduğu gözlenir. Bu olay manyetik histerisis olarak bilinir.



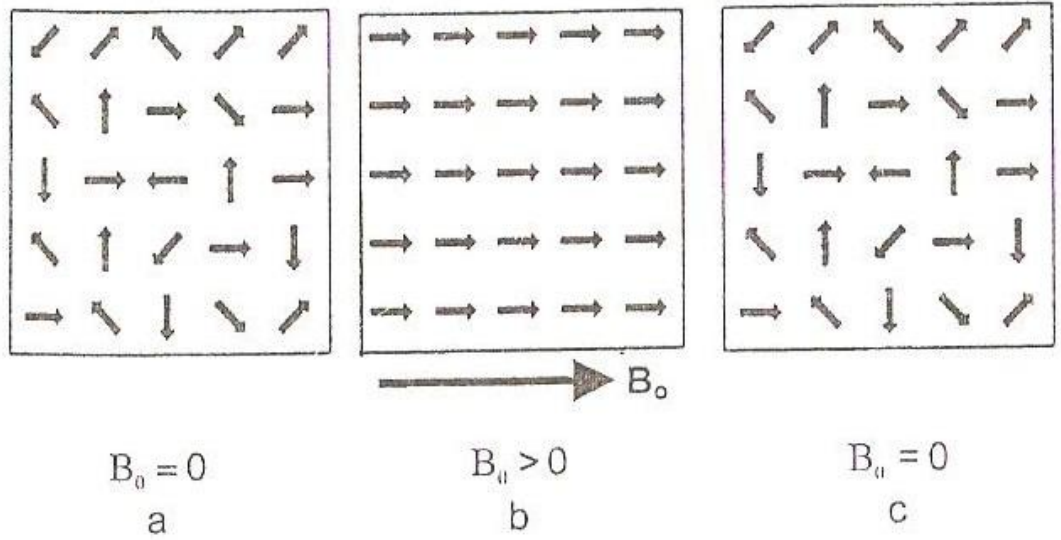
Şekil 1.3. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde içindeki mıknatıslanma.

Manyetik hysterisis, ferromanyetik bir maddenin mıknatıslanmasının dışarıdan uygulanan alanın şiddetine olduğu kadar daha önceki durumuna da bağlıdır. Manyetik hysterisis olayında faydalanılarak; manyetik bilgisayar diskleri, hard diskler, ses ve görüntü kayıt teyplerinde bilgi depolama olayı gerçekleştirilir [23].

1.4. Paramanyetik Maddeler

Paramanyetik madde, çok küçük manyetik alınganlığa sahip olduğundan bir manyetik alan tarafından oldukça zayıf bir kuvvetle çekilir. Bunun nedeni orbitallerdeki elektronların birer küçük mıknatıs gibi davranmalarıdır. Çoğu atom veya iyonları eşleşmemiş elektron içeren bir maddenin net bir manyetik momentinin olmasının nedeni, bir atomdaki elektronun manyetik momentinin olmasının nedeni, bir atomdaki elektronun manyetik momentinin diğer bir atomdaki elektronun manyetik momenti tarafından nötralleştirilemediği durumda, yörüngesel manyetik momentine ilave olarak elektronun spinin den kaynaklanan spin manyetik momente sahip olmasıdır. Bu yüzden, maddenin

paramanyetik olması özelliği, yapısında eşlenmemiş elektronu bulundurmasına bağlıdır. Eğer madde bir dış manyetik alan içine konulursa manyetik momentler alan yönünde yönelmeye çalışacaklardır ve sonunda alan doğrultusunda yöneleceklerdir. Bu durumda paramanyetik maddenin mıknatıslanması alan yönünde ve çok zayıf bir değerde olacaktır. Dış manyetik alanı etkisi kaldırıldığında manyetik momentler tekrar yapı içerisinde rastgele yönelerek eski haline dönecektir[23].



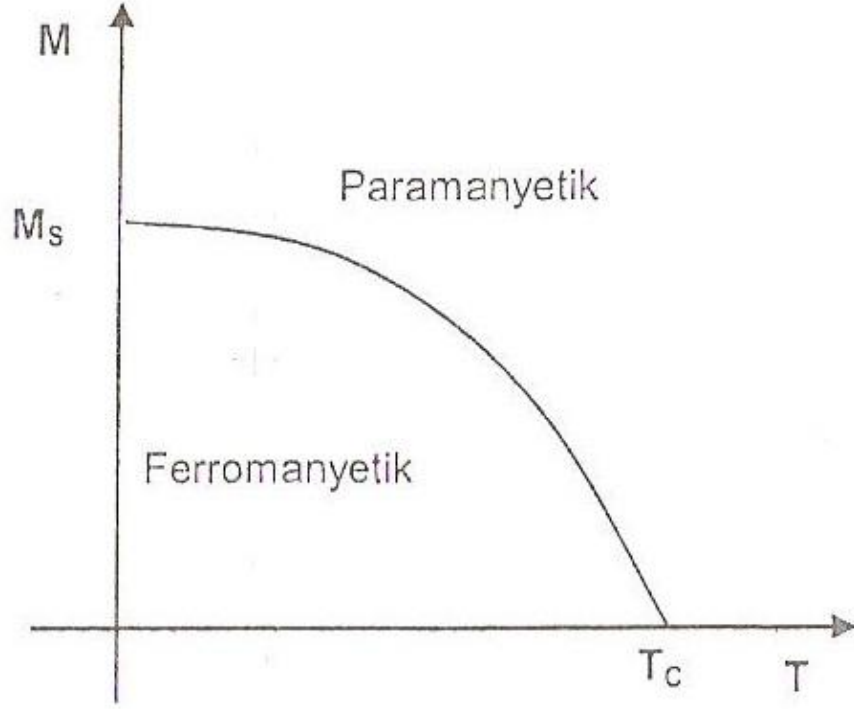
Şekil 1.4. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldığında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi.

Paramanyetik maddedeki atomik manyetik momentler, dış manyetik alanın etkisi ile alan yönünde yönelmeye çalışırken, maddenin içinde bulunduğu ortamın sıcaklığına bağlı olarak ısısal hareketler yüzünden bu yönelimlerin engellenildiği deneysel olarak bazı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur. Bunu ilk olarak P.Curie, paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının dışarıdan uygulanan manyetik alan B_0 doğru, ortamın sıcaklığı ile ters orantılı olarak değiştiğini bulmuştur. Bu ifade;

$$M = C \frac{B_0}{T}$$

biçimindedir ve Curie yasası olarak bilinen bu ifadeye C , Curie sabiti olarak adlandırılır[28].

Ferromanyetik bir maddenin M mıknatıslanması ile T mutlak sıcaklığı arasındaki ilişki şekil 'de verilmiştir.



Şekil 1.5. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasındaki ilişki.

1.5.Diyamanyetik Maddeler

Faraday yasasına göre, bir maddeye uygulanan manyetik alan değeri değiştirilirse, madde içinde elektronları ivmelendiren bir emk ya sebep olur. Lenz yasasına göre ortaya çıkan emk, dışarıdan uygulanan manyetik alanı azaltıcı yönde bir elektrik akımının oluşmasına neden olur. Bu ortaya çıkan akımlar, uygulanan alanı maddenin içinde azaltma eğilimindedir. Bununla birlikte dışarıdan uygulanan manyetik alan değeri sabit tutulduğunda akım

akmaya devam eder ve bu sebepten dolayı madde alana zıt doğrultuda bir mıknatıslanma kazanır. Bu fiziksel olaya diyamanyetizma denir. Burada birim hacim başına düşen manyetik moment miktarı mıknatıslanma olarak tanımlanır.

Bir atomik sisteme dış bir manyetik alan uygulandığında elektronlar $q\vec{V} \times \vec{B}$ ile verilen ek bir kuvvet ile etkileneceğinden elektronların göreceği merkezci kuvvetler eşit olmayacaktır. Uygulanan manyetik alan yönündeki elektronların hızları azalacağı için manyetik momentleri azalırken, alana zıt yönde hareket eden ve hızları artan elektronların manyetik momentleri artar. Ortaya çıkan bu durumda, elektronların manyetik momentleri birbirini yok edemezler ve madde uygulanan manyetik alana zıt yönde bir manyetik moment kazanır.

Her atom diyamanyetik özellikler içerir [27]. Ancak atom kendine özgü bir manyetik dipol momentine sahip ise, atomun bu özellikleri daha kuvvetli paramanyetik veya ferromanyetik etkiler nedeniyle perdelenir[24].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada incelenen alaşım % 98 saflıktaki Fe,Ni,Mo,Co elementleri kullanılarak Ankara Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği Laboratuvarlarındaki ark fırınında argon gazı atmosferinde ergitilerek hazırlandı. Üretilen alaşımlar 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Üretilen Alaşımlar ve Oranları

Numune	Fe	Ni	Mo	Co
A1	66.6	30	2.6	0.8
A2	65.6	30	2.6	1.8

Daha sonra malzemelere ısıl işlem uygulandı. Isıl işlem sırasında yüksek sıcaklıklarda malzemedeki oksitlenmeyi önlemek için yüksek sıcaklıklara dayanabilen kuartz cam tüplere konuldu. Numunelere 1100°C 'de 12 saat ısıl işlem uygulandıktan sonra su içerisinde soğutuldu. Elde edilen numuneleri incelemek için aşağıdaki yöntemler kullanıldı:

- a) Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)
- b) Mössbauer Spektrometrisi
- c) Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi (DSC)
- d) Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM)

2.2.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması

SEM ile yapılacak yüzey incelemeleri için ısıtma işlemi uygulanan ve hızla soğutulan alaşımlar 1cm çapında, 0.3 cm kalınlığında elmas bıçakla kesildi. Kesilen numunelerin üzerindeki pürüzler değişik kalınlıktaki su zımparaları ile ortadan kaldırıldı.90ml Percloric Asit ($HClO_4$),10ml Methanol(CH_3OH) 'den oluşan çözelti kullanılarak Jet-polishing de parlatıldı. Numunelerin yüzeylerinde oluşan mikro yapı karakteristikleri 30 kV gücünde JEOL JSM5600 SEM ile incelendi.

2.3.Mössbauer Spektrometresi Ölçümleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Mössbauer Spektrometresi deneyi için ısıtma işlemi uygulanarak homojenleştirilen austenite fazdaki alaşımlardan 150µm kalınlığında kesilerek hazırlanan numuneler, su zımparaları kullanılarak 70µm kalınlığına inceltildi. Daha sonra numunelerin martensite ve austenite fazına ait Mössbauer Spektrumları elde edildi.

2.4.Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümleri için Numunelerin Hazırlanması

DSC ölçümleri için ısıtma işlemi görmüş numuneler kullanıldı. Bu numunelerden 3 mm çapında 70µm kalınlığında numuneler hazırlandı. Bu ölçümlerde ısıtma hızı 5 °C/dk olarak alınmıştır. DSC ölçümleri ile ısı akışı (heat-flow) -sıcaklık eğrileri çizilmiştir. Co elementinin dönüşüm sıcaklığına etkisi incelenmiştir.

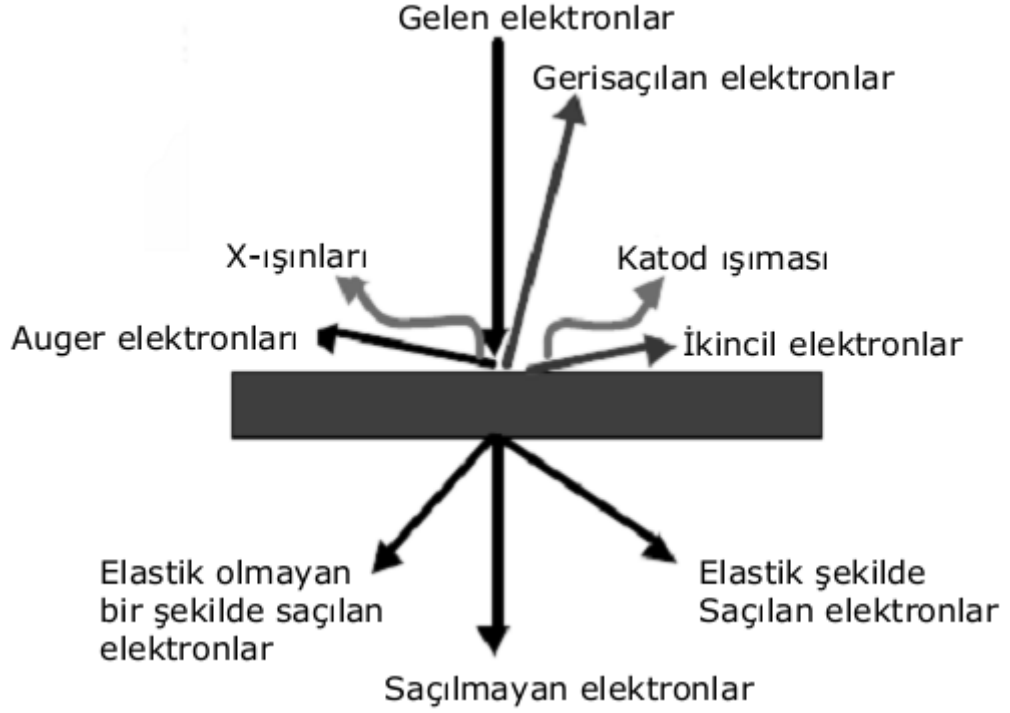
2.5.Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması

TEM incelemeleri için numuneler elmas kesici ile 3mm kalınlığında kesilmiştir. Kesilen numuneler değişik kalınlıklardaki su zımparaları kullanılarak 60µm inceltilmiştir. Elde edilen numuneler son olarak 90ml Percloric Asit (HClO₄),10ml Methanol(CH₃OH) 'den oluşan çözelti içerisine kısa süreli daldırılarak Jetpolishing de parlatma işlemi yapılmıştır. Bu numuneler 300 kV gerilimine sahip Jeol 3010 geçirmeli elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Geçirmeli Elektron mikroskobunda yapılan incelemelerde austenite ve martensite fazlara ait“aydınlık alan” ve “karanlık alan” görüntüleri elde edildi.

2.6.Yöntem

2.6.1.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Bu yöntemde elektron demeti kullanılır. Bir elektron demeti bir numuneye çarptığı zaman bir takım elektronlar ve ışınlar (radyasyon) yayar [29].



Şekil 2.1. Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar.

Elektron-numune etkileşmesi sonucu yayılan ışınlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

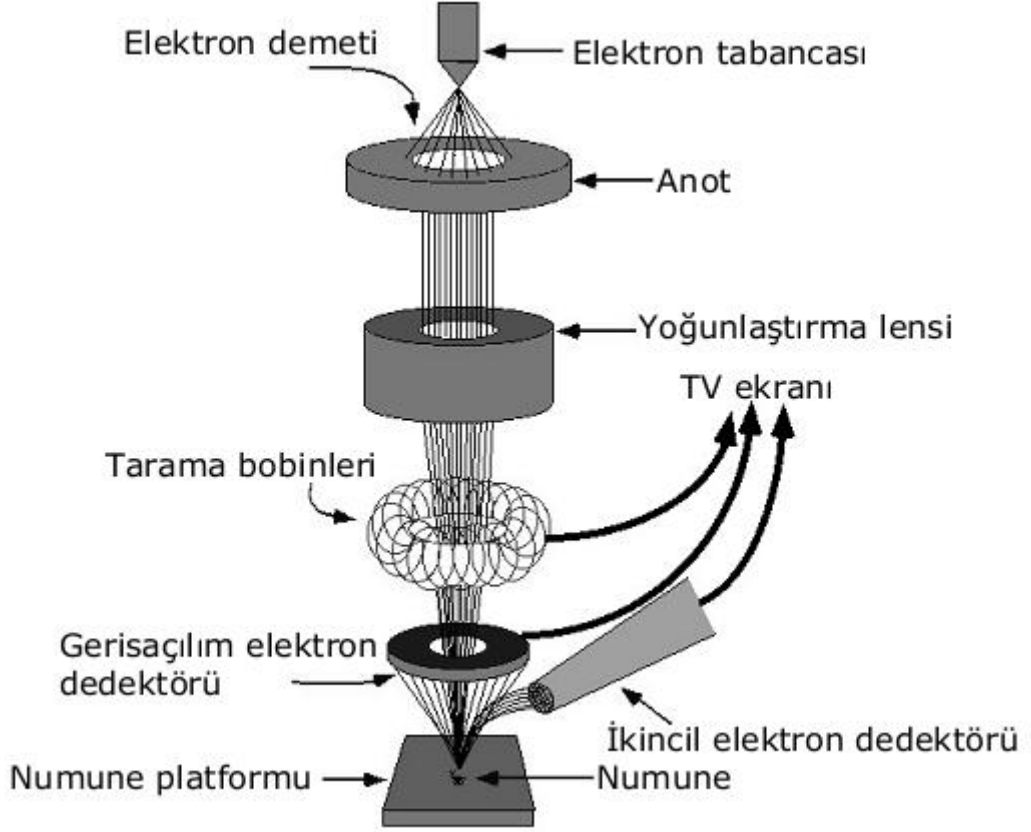
X ışınları: Numune atomları hakkında bilgi verir.

Katod Işıması: Numune atomlarının valans (dış kabuk) elektronlarının geçişleri sonucunda oluşan ışınlardır.

Auger Elektronları: Numune atomlarının iç kabuklarından gelen elektronlardır.

Birincil Geri Saçılan Elektronlar: Elektron demetine ait elektronlardır, numune atomları ve yüzey yapısı hakkında bilgi verir.

İkincil Elektronlar: Numune atomlarından gelen elektronlardır, numune yüzeyi hakkında bilgi verir.



Şekil 2.2.Elektron-numune etkileşmesi.

Elektron demetindeki elektronların enerjisi 1-40 kilovolt civarında değişebilir. İncelenecek malzeme vakumlu ortamda bulunmalıdır. Elektron kaynağından çıkan elektron demeti birtakım manyetik merceklerden geçtikten sonra odaklanmış olarak malzeme üzerine gönderilir. Gelen elektronlar ile malzeme arasında esnek olmayan çarpışma sonucu malzemedan birtakım elektronlar çıkar, bu tür malzemedan çıkan elektronlara ikincil elektronlar denir. İkincil elektronlar algılayıcılarla (dedektör) tespit edilir. Algılayıcıya gelen elektronların oluşturduğu sinyal görüntüye dönüştürülür, böylece incelenen malzemenin yüzeyi hakkında bilgi edinilir.

Bu yöntemin uygulanabilmesi için malzemenin iletken olması, topraklanması ve yüzeyin çok temiz olması gerekir. Bu yöntemle ağır atomlardan oluşmuş malzeme yüzeyleri çok iyi görüntülenebilir, ancak hafif atomlardan oluşmuş malzemeler için görüntüler pek iyi olmaz.

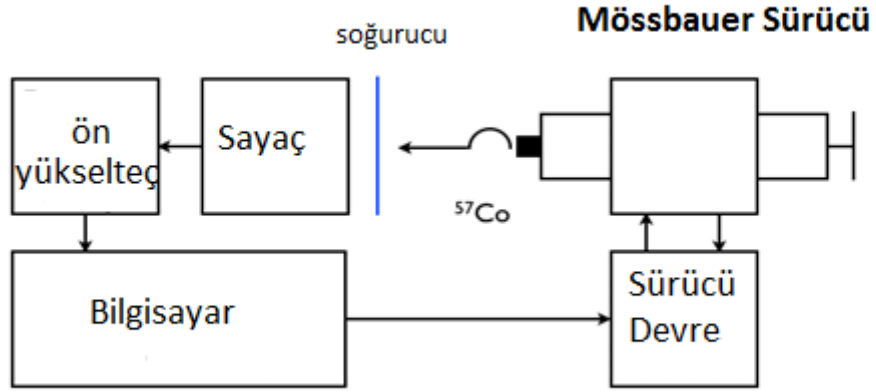
Bu yöntemde görüntü hassasiyeti oluşturacak elektron demetinin hassasiyeti ile orantılıdır, çok dar bir bölgede oluşturulan elektron demeti (1 nanometre ölçüsünde olabilir) ile hassas görüntü elde edilir. Ayrıca elektron demetindeki elektronların enerjisi de görüntüyü etkiler. Vakum sistemindeki kirlilik de (bunlar genellikle vakum pompasının yağlarından gelen hidrokarbonlar olabilir) görüntünün iyi olmamasını etkileyebilir.

Taramalı elektron mikroskopunun iki türü vardır; bunlardan birisi geri saçılan elektronları dikkate alır, diğeri ikincil elektronları dikkate alır. İkincil elektronlar malzemeden gelir, geri saçılan elektronlar ise elektron demetinden gelir, malzemeye ait değildir, ancak malzeme hakkında sınırlı da olsa bilgi verebilir. Ayrıca ikincil elektronlar malzemeden çıkarken onlarla beraber X-ışını da yayar, X-ışınlarının da ayrıca dedektör yardımı ile incelenmesi sonucu malzeme hakkında ilave bilgiler de edinilir.

2.6.2.Mössbauer Spektrometresi

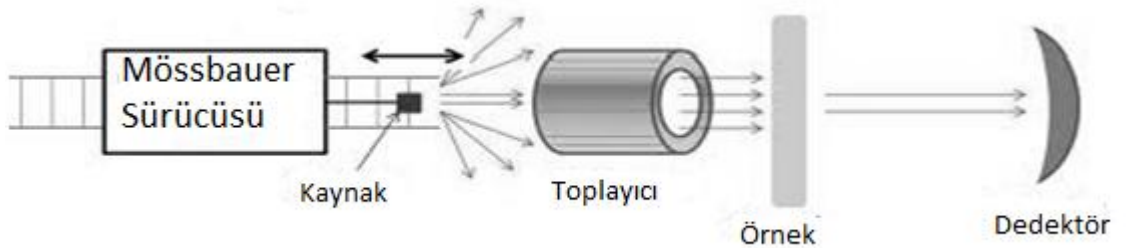
Mössbauer Spektroskopisi, ilk kez 1958-1959 yılında Rudolf Ludwig Mössbauer tarafından deneysel ve teorik olarak çalışılmaya başlanmıştır. γ Spektroskopisi olarak da anılan Mössbauer Spektroskopisi; kristal örgüsü içindeki bir atom tarafından enerji kaybı olmaksızın gama fotonu salınması olayıdır. 1960' larda ^{57}Fe ' de Mössbauer olayının gözlenmesi ile birlikte çekirdek fiziğinin ölçüm metodu olarak düşünülen Mössbauer Spektroskopisi daha sonra fizikten kimyaya, biyolojiden jeolojiye, metalurjiden astronomiye kadar geniş bir alana yayılmıştır [30].

Mössbauer deneyi yapmak için, radyoaktif bir kaynak, bir soğurucu, bir μ sayıcısı tek bir kanal diskriminatörü ve birçok kanal analizatörü gerekir. Ayrıca kaynak ile soğurucu arasında bağıl hızı sağlamak için bir düzenek kurulmalıdır.



Şekil 2.3. Mössbauer spektrometresinin şematik gösterimi.

Bir radyoaktif kaynaktan yayınlanan belirli bir gama ışınımının önüne bir soğurucu konulur. Soğurucudan geçen gama 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.



Şekil 2.4. Mössbauer Spektrometresi.

Mössbauer araştırmalarının büyük bölümünde ⁵⁷Fe ve ¹¹⁹Sn izotopları kullanılmaktadır. Bu olay sayıları 50'yi geçen izotop üzerinde gözlenmekle birlikte, deneysel zorluklar nedeniyle bunların ancak 20 tanesi kullanılabilir. Mössbauer spektroskopisinde, radyoaktif kaynaktan çıkan γ ışınım enerjisi, kaynağa bir Doppler hızı verilerek değiştirilir ve γ ışınları soğurucu tarafından rezonans durumunda soğurulur.

Fe-bazlı alaşımlarda austenite yapı genellikle paramagnetik bir özelliğe sahiptir. Bu paramagnetizma tek soğurma çizgisi ile temsil edilir. Martensite fazı ise Mössbauer spektroskopisinde altı soğurma çizgisi ile temsil edilir ve bu altı soğurma çizgisi ferromagnetik ya da antiferromagnetik özelliktedir[31]. Fe-bazlı alaşımlarda genel olarak ferrite yapı ferromagnetik ve austenite kristal yapı paramagnetik bir özellik göstermektedir[32]. Ancak bazı Fe-bazlı alaşımlarda austenite kristal yapının ferromagnetik özellik gösterdiği de bilinmektedir[33,34,35].

2.6.3. Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi (DSC)

Termal analiz yöntemi ile incelenen bir numuneye ait fiziksel özelliğin sıcaklığın fonksiyonu olarak ölçüldüğu veya bir tepkimede soğurulan ya da açığa çıkan ısı izlenir.

Termal analizler, genellikle sabit basınç altında yürütüldüğünden, geçerli olan termodinamik eşitlik;

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S$$

Gibbs-Helmholtz ifadesidir. Burada G sistemin serbest enerjisi, H sistemin entalpisi, S sistemin entropisi ve T Kelvin sıcaklığıdır. Sıcaklığın bağımsız

değişken olduğu TG, DTA ve DSC yöntemlerinde T.ΔS terimi önemlidir. Gibbs-Helmholtz denkleminin sıcaklığa göre türevi alınır;

$$\frac{d(\Delta S)}{dT} = -\Delta S$$

İfadesi elde edilir. Bu denklem tepkimenin olmadığı bir durumdan ($\Delta G > 0$), tepkimenin olacağı bir duruma ($\Delta G < 0$) nasıl geçileceğini gösterir. ΔS pozitif ise, sıcaklığın artması ile sonuç negatif olacaktır, ΔS negatif ise, sıcaklığın azalması ile kendiliğinden olan tepkime elde edilecektir.

DSC yönteminde malzeme ve referans maddesine aynı sıcaklık programı uygulanırken malzemede bir değişiklik olması halinde, malzeme veya referansa bir elektrik devresi yardımı ile dışarıdan ısı eklenerek her ikisinin de aynı sıcaklıkta kalması sağlanır. DSC eğrileri ısı akışının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir. Grafikte elde edilen pikin altında kalan alan tepkimede emilen veya açığa çıkan ısı ile pik yükseklikleri de tepkime hızı ile doğrudan orantılıdır. ΔH pozitif ise endotermik, malzeme ısıtıcısına ısı eklenir ve pozitif bir sinyal elde edilir. ΔH negatif ise ekzotermik, referans ısıtıcısına ısı eklenir ve bir negatif sinyal elde edilir. Bu piklerin integrali numunenin aldığı veya verdiği ısı miktarına bağlıdır. DSC yalnız entalpi değişiminin olduğu olaylara karşı değil, aynı zamanda numune ile referansın ısı kapasiteleri arasındaki farka karşıda çok duyarlıdır.

DSC ile bir numunenin; entalpi, kristalleşme sıcaklığı, camsı geçiş sıcaklığı, ısı kararlılık, saflık ve curie sıcaklığı gibi özellikleri incelenmektedir.

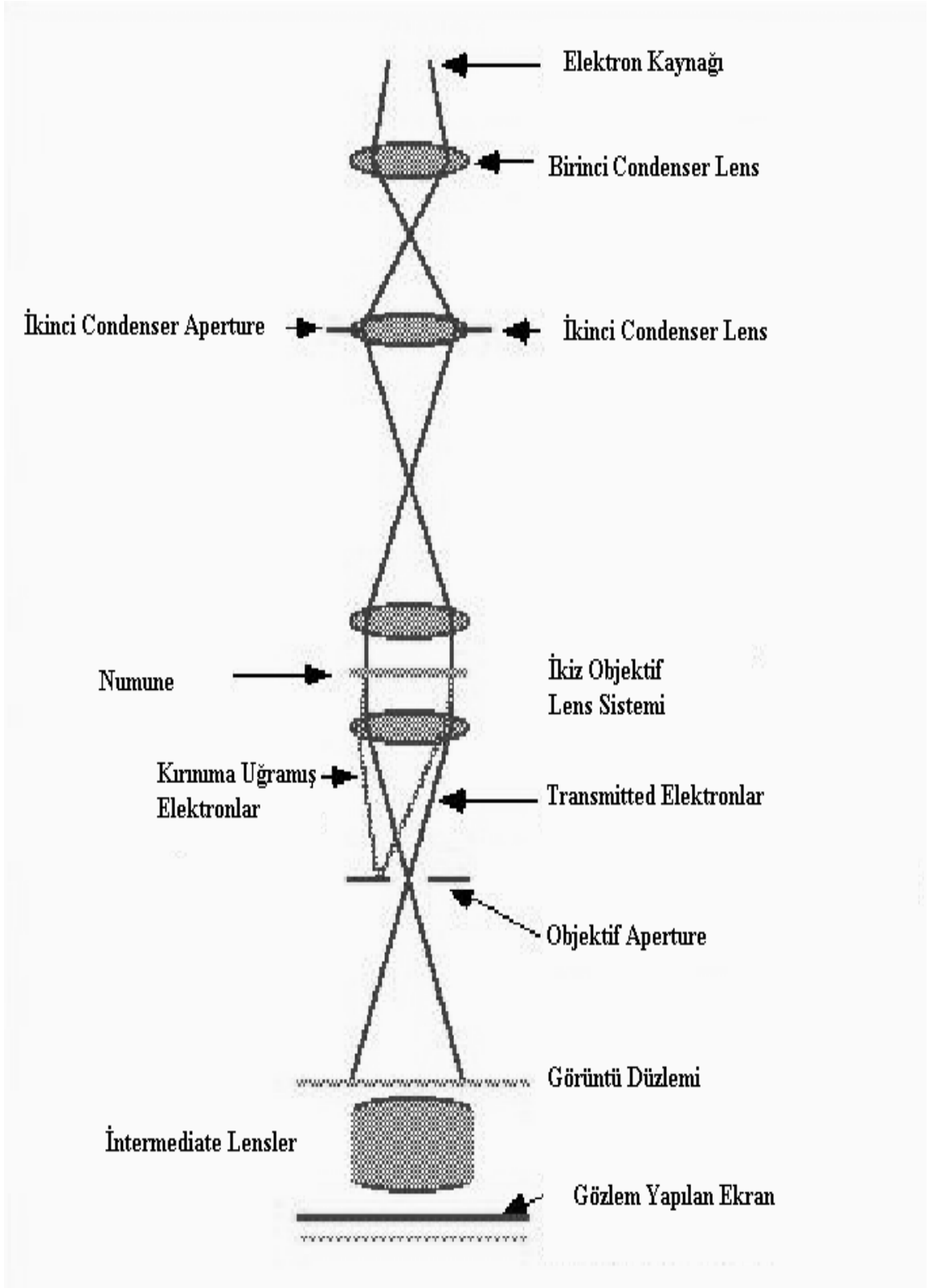
2.6.4. Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM)

TEM atom seviyesinde görüntü elde edebilen hassas bir yöntem ve cihazdır. Bu yöntemin “taramalı elektron mikroskobundan farkı (her iki yöntemde de

elektron demeti kullanılır) TEM' de elektron demetinin malzeme içinden geçerek yol almasıdır. Malzemenin içinden geçen elektronlar bir ekranda izlenerek malzemenin yapısı ile ilgili görüntü oluştururlar."Transmission" kelimesinin Türkçe karşılığı "gelip-geçen" olarak verilebilir, yöntemin adı kullandığı elektron demetinin nasıl iş gördüğü ile doğrudan bağlantılıdır[36].

Bu yöntemde kullanılan elektron demetindeki elektronların enerjisi 100-500 kilovolt civarındadır. Yüksek enerjili elektron demeti, bir takım mercekle sistemlerinden geçtikten sonra numune üzerine odaklanır, malzemedan geçtikten sonra yine birtakım mercekle sistemlerinden geçer ve ekrana yansıtılır.

TEM ile görüntü alabilmek için malzemenin ince olması gerekir, çünkü elektronlar içinden geçip gidecektir. Malzeme kalınlığı birkaç yüz nm' yi geçmemelidir. Dolayısı ile TEM görüntüsü alınacak numuneler özenle hazırlanmalıdır.



Şekil 2.5. Geçirmeli elektron mikroskobunun (TEM) şematik yapısı.

TEM' in birkaç çeşidi vardır. Bunlardan birisi elektron enerjisi kaybını dikkate alan spektroskopi yöntemidir ki bu yöntemde malzemedan geçip giden elektronların enerjisine bakılarak numunenin elektronik yapısı hakkında bilgi edinilir. Diğer bir yöntem de Lorentz mikroskobu olarak adlandırılır, numuneden geçip giden elektronların dağılımına bakarak (girişim vs.) malzemenin manyetik yapısı hakkında bilgi edinilir.

Kristal yapıdaki maddelerin TEM incelemelerinde en çok dört çeşit temel görüntü kullanılır. Bunlar, elektron kırınım görüntüsü, aydınlık alan, karanlık alan ve yüksek rezolüsyonlu karanlık alan görüntüleridir.

3.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

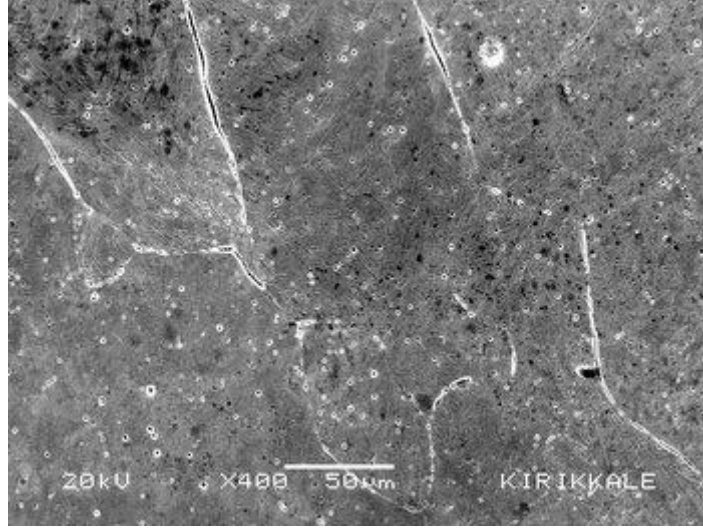
3.1.Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Oluşan Martensitik Faz Dönüşümleri

3.1.1.Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co Alaşımının Martensite Yapısının Taramalı Elektron Mikroskobu İle incelenmesi

Fe-%30Ni-%2.6Mo-0.8XCo alaşımının austenite yapıdan martensite yapıya geçiőı atermal özellik göstermektedir. İnceleme süresince meydana gelen yapının morfolojik ve kristalografik özellikleri araştırılmıştır.

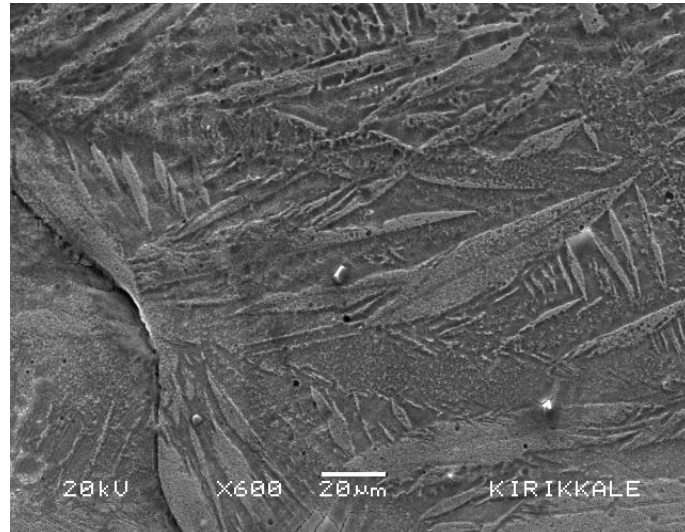
Alaşımlarda martensite faz dönüşümlerinin incelenmesi için üretilen alaşımlar 1100 °C ' de 12 saat ısıtım uygulandıktan sonra direk suyun içine alınarak soğutulmuştur. Taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) numune incelenmiştir.

Kristal tanecikleri içeren numune 10 s sıvı azot (-196 °C) içerisinde soğutulmuştur. Daha sonra SEM ' de inceleme yapılmıştır. İnceleme sonucunda numunede martensite yapılar oluştuğu gözlenmiştir. Bu martensite yapılarda tane boyutu olduğu ve tane boyutu 83 µm olduğu gözlenmiştir.



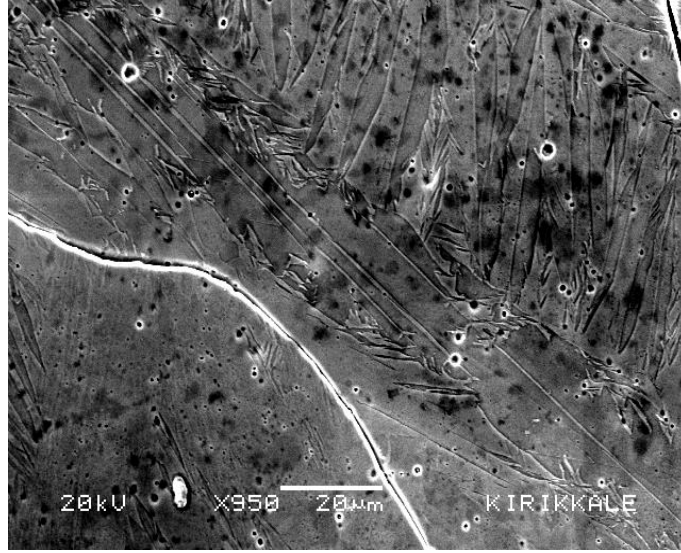
Şekil 3.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımda gözlenen austenite tane boyutu

Bu martensite yapılar şekil 3.2.'deki Fe-%30Ni-%2,6Mo-0,8Co alaşımda lens (lenticular) ve iğnemsı (lath) martensite yapıları olarak gözlenmiştir.



Şekil 3.2. Fe-%30Ni-%2,6Mo-0,8Co alaşımda gözlenen lens (lenticular) ve lath martensite yapıları.

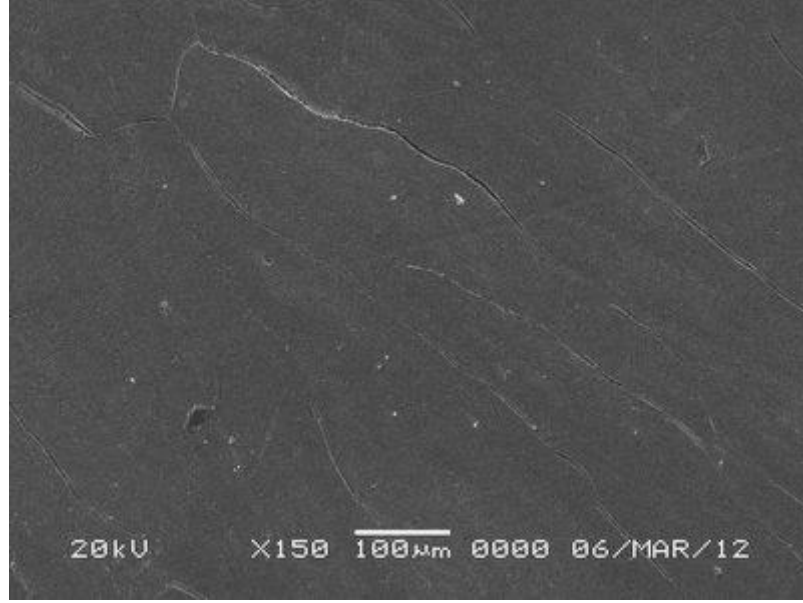
Alaşımın diğer bir b3lgesinde g3zlemlenen martensite yapı Şekil 3.3 'de g3sterilmiŐtir.



Şekil 3.3. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında g3zlenen martensite yapı

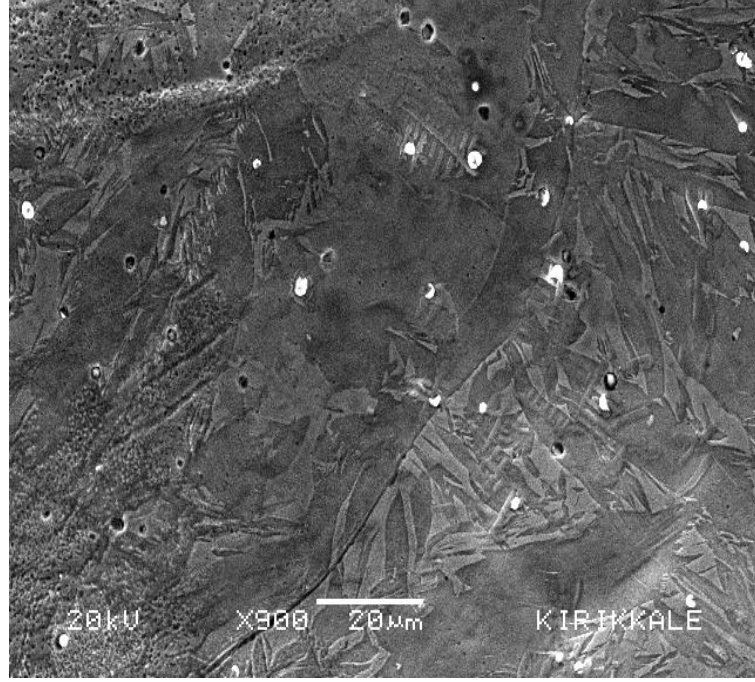
3.1.2. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co Alaşımının Martensite Yapısının Taramalı Elektron Mikroskobu İle incelenmesi

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımının austenite yapıdan martensite yapıya d3n3Őm3 atermal 3zellik g3stermektedir. Alaşımın martensite yapıları 3ok kısa s3rede oluşmuştur. Bu alaşımda da SEM incelemeleri sonucu Şekil 3.3. de g3sterildiği gibi austenite fazda kristal tanecik yapıları g3zlendi. Bu tane boyutunun 120µm olduğu g3zlenmiŐtir.



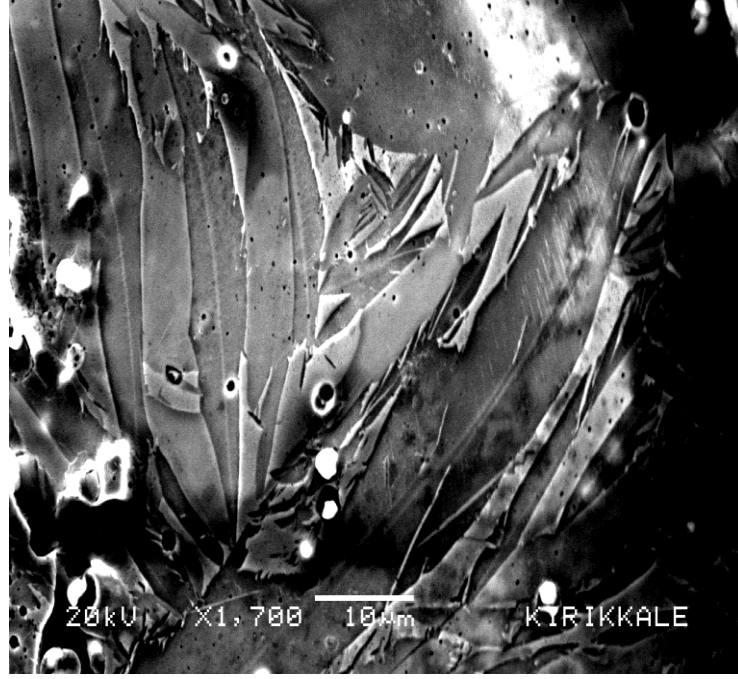
Şekil 3.4. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen tane boyutu

Kristal tanecikli numune sıvı azot içerisinde soğutulmuştur. Numune SEM de incelenmiştir ve inceleme sonucu martensite yapılar olduğu gözlenmiştir. Fakat martensite yapıların Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımına göre incelendiği gözlenmiştir. Ve bu alaşımda thin-plate (ince-plaka) martensite yapılar oluşmuştur (şekil 3.5.). Cobalt eklenmesi thin-plate formasyonun oluşumunu kolaylaştırır[13]. Cobalt oranının artması ile martensite yapılarının boyutları değiştiği gözlemlendi.



Şekil 3.5. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen thin-plate martensite yapılar

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında midrib yapılarında kinked midrib olduğu gözlenmiştir (şekil 3.6).Branched midrib ve kinked midrib gibi morfolojik özellikler thin-plate (ince-plaka) martensite yapılarda sık sık gözlemlenmesi Maki tarafından rapor edilmiştir. Lenticular martensite ve thin plate martensite arasındaki farklılık yalnızca ortaya çıkış şekillerindedir[13].



Şekil 3.6. Fe-30Ni-2.6Mo-1.8Co alaşımında gözlenen kinked midrib yapılar

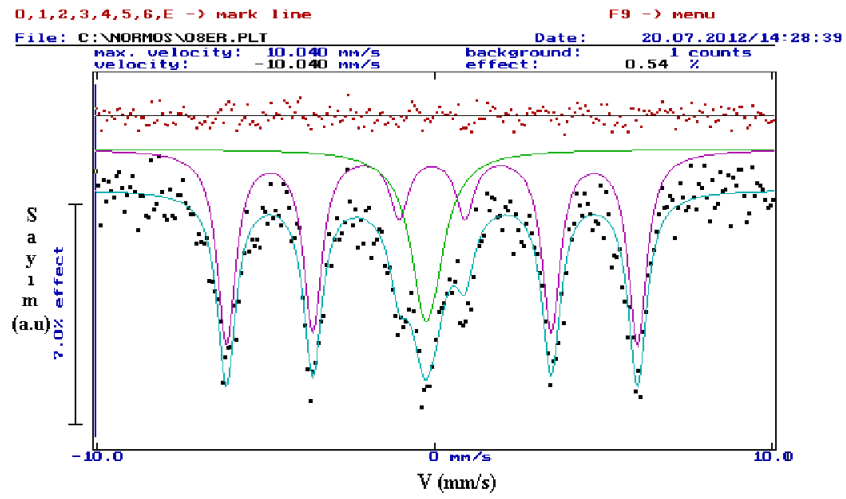
3.2 Fe-30Ni-2.6Mo-XCo Alaşımlarında Oluşan Austenite-Martensite Faz Dönüşümünün Manyetik Özelliklerinin Mössbauer Spektrometrisi Yöntemi İle İncelenmesi

Mössbauer spektrometrisi yöntemi ile metal alaşımlarındaki austenite ve martensite yapıların manyetik düzenlenimleri, fazların hacim oranları ve martensite fazların iç manyetik alanları belirlenebilmektedir.

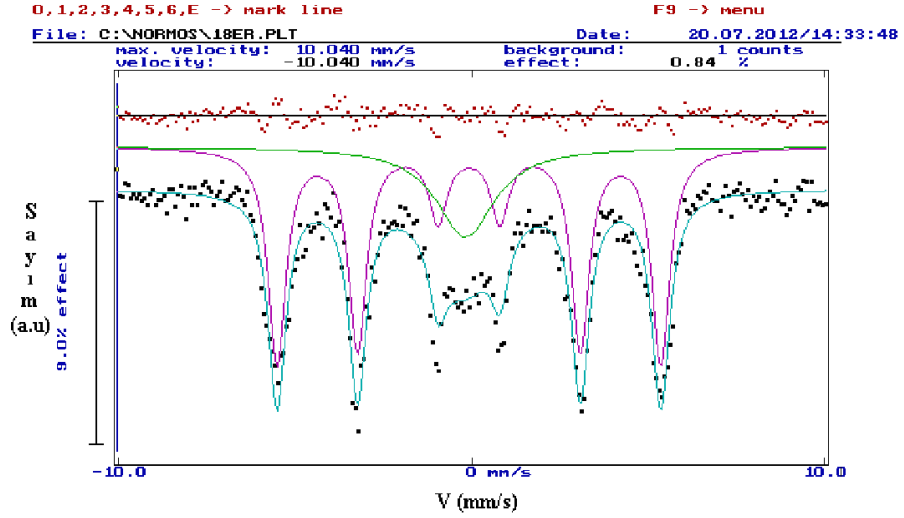
Fe bazlı alaşımlarda austenite yapı paramanyetik olduğundan bu faz tek soğurma çizgisi ile gösterilmektedir. Fakat dönüşüm sonucu oluşan martensite yapıların ferromanyetik ve antiferronmanyetik düzenlenimleri altı soğurma çizgisi ile gösterilir [10].

Bu çalışmada Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo alaşımının faz dönüşüm özellikleri Mössbauer tekniği ile incelenmiştir. Alaşımların mössbauer spektrumları ve martensite kristallerinin hacimce büyüklükleri bulunacaktır.

Austenite fazda olan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8,1.8) alaşımları paramanyetik olduğundan tek soğurma çizgisiyle gösterilir. Değişik yöntemler kullanılarak austenite fazdan martensite faza dönüşen alaşımların mössbauer spektrumları şekil 3.7 ve şekil 3.8 ' de altı soğurma çizgisiyle gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında, (-196 °C) 'de austenite yapı içerisinde oluşan martensite yapının oda sıcaklığında Mössbauer Spektrumu.



Şekil 3.8. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında, (-196 °C) 'de austenite yapı içerisinde oluşan martensite yapının oda sıcaklığında Mössbauer Spektrumu.

Bu spektrumlarda paramanyetik ve ferromanyetik fazların her ikisi de görülmektedir. Spektrumda yeşil çizgiyle gösterilen austenite faz, mor çizgiyle gösterilen martensite faz çizgileri verilmektedir. Fe bazlı alaşımlarda austenite faz paramanyetik olduğundan bu faz spektrumda görüldüğü gibi tek soğurma çizgisi ile karakterize edilmişken dönüşüm sonucu martensite yapıların ferromanyetik olduğundan bu fazda altı soğurma çizgisi ile verilmiştir.

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8,1.8) alaşımlarının mössbauer spektrometrisi ile elde edilen sonuçları için bir çizelge oluşturulmuştur. Bu çizelgede (çizelge 3.1.) hacim yüzdeleri (austenite- %A, martensite- %M), izomer kayma değerleri (martensite δ_A) ve martensite faz için iç manyetik alan ($B_{iç}$) değerleri kaydedilmiştir.

Çizelge 3.1. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8,1.8) alaşımında mössbauer spektrometresi yöntemiyle elde edilen sonuçlar.

Numune	%A	%M	$\delta_M(\text{mm/sn})$	$B_{iç} (T)$
Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co	24,810	75,190	0,070	37,6968
Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co	22,997	77,003	0,067	33,6616
Fe-%30Ni-%2.6Mo	46,38	53,62	0,051	31,8808

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo alaşımlarında mössbauer yöntemi kullanılarak Co oranının artmasıyla martensite miktarının arttığı görülmüştür (çizelge 3.1.). Ayrıca Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımına Co eklenmesiyle martensite faza ait iç manyetik alanın ciddi oranda arttığı bulunmuştur. Fakat Co oranının artması iç manyetik alanı düşürdüğü gözlenmiştir. Bu sonuca göre az da olsa Co oranının artması malzemenin iç manyetik alanını düşürdüğü gözlenmiştir.

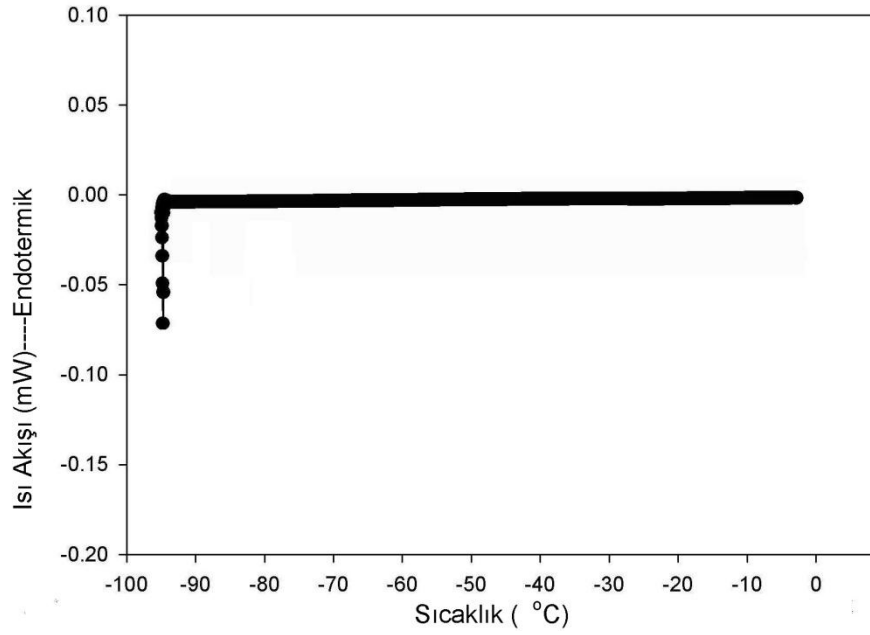
3.3.Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Oluşan Austenite-Martensite Faz Dönüşümünün Termal Özelliklerinin DSC Yöntemi ile Belirlenmesi

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8)alaşımlarında görülen atermal martensite'lerin başlama sıcaklığını (M_s) belirlemek için DSC (Differential Scanning Calorimetry) ölçümleri yapıldı. Yüksek enerjili austenite fazdan

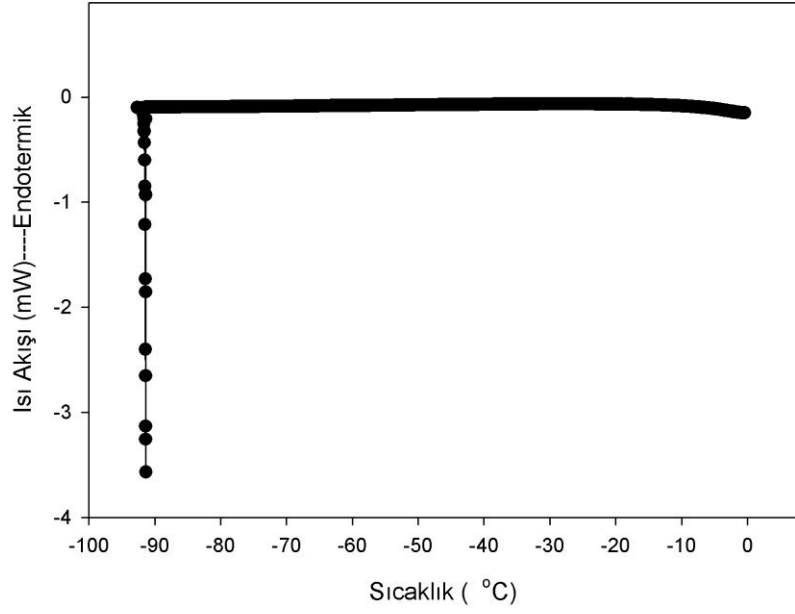
düşük enerjili martensite faza dönüşüm olayı ekzotermik (ısı veren) bir durumdur.

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo alaşımlarında martensite başlama sıcaklığını bulmak için 25 °C 'den -100 °C 'ye kadar dakikada 10 °C olacak şekilde soğutuldu. Martensite başlama sıcaklığı şekil 3.9. da Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımı için -93 °C, şekil 3.10. da Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımı için -91 °C olarak belirlendi.

Alaşımların Tane boyutu, M_s sıcaklığı ve martensite yüzdesi arasındaki ilişki Çizelge 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.9. 1100 °C' de 12 saat ısıl işlem uygulanan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında gözlenen sıcaklığa bağlı ısı akışı değişimi (M_s)



Şekil 3.10. 1100 °C' de 12 saat ısıtılma uygulanan Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında gözlenen sıcaklığa bağlı ısı akışı değişimi (M_s).

Çizelge-3.2. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımlarında ortalama tane boyutu, M_s sıcaklığı ve martensite yüzdesi arasındaki ilişki.

Numune	Ortalama Tane Boyutu (μm)	M_s (°C)	Martensite Yüzdesi
Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co	83	-91	75,190
Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co	120	-94	77,003
Fe-%30Ni-%2.6Mo*	80	-177	53

*Yaşar, ERDEM, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, 2005, sf.99

3.4. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Martensitik Yapının Geçirmeli Elektron Mikroskobu (TEM) İle İncelenmesi

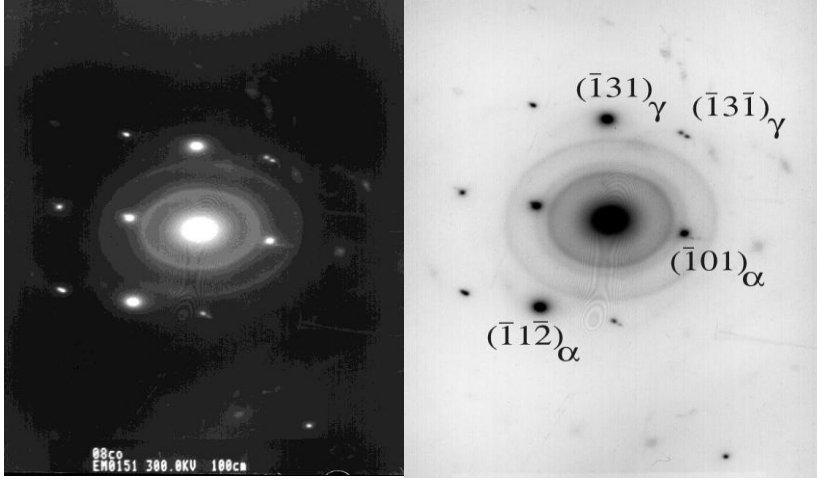
Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında oluşan martensitik faza ait aydınlık alan ve karanlık alan görüntüsü Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 de gösterilmiş olup austenite ve martensite fazın ikisinin de olduğu bölgeden alınmiş elektron kırınım deseni ve bunların indislenmiş diyagramı ise Şekil 3.13 de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait aydınlık alan görüntüsü.

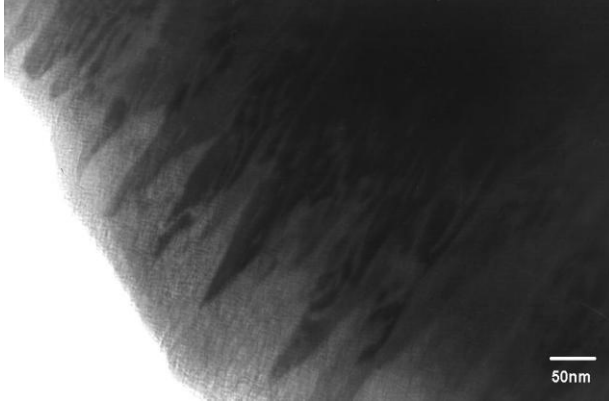


Şekil 3.12. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait karanlık alan görüntüsü.

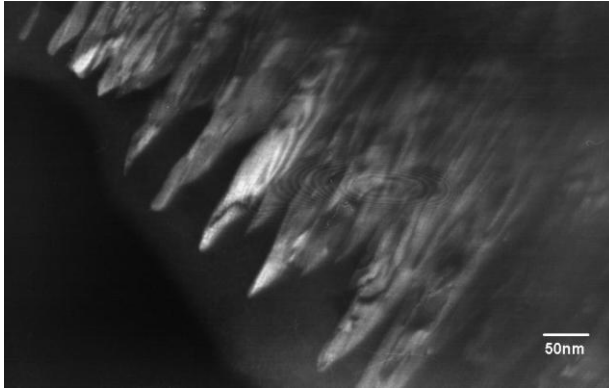


Şekil 3.13. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite ve martensite bölge üzerinde alınmış kırınım deseni ve diyagramı.
 $[310]_{\gamma} // [131]_{\alpha}$

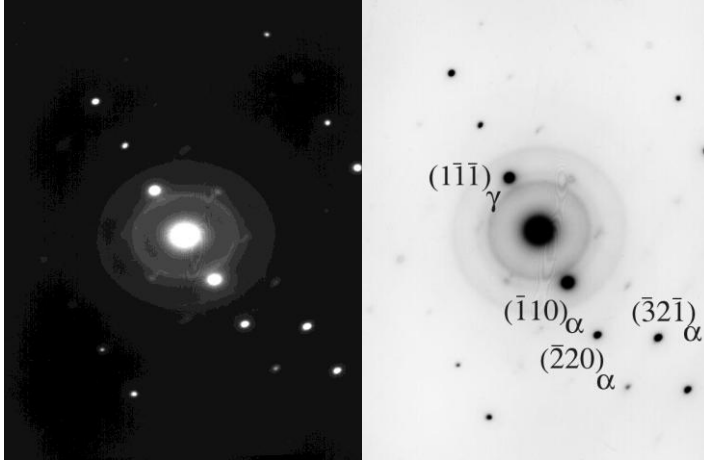
Kristalografik dönme bağıntısı Kurdjomov-Sachs türü bağıntısına sahip olduğu bulunmuştur. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında oluşan martensitik faza ait aydınlık alan ve karanlık alan görüntüsü şekil 3.14 ve şekil 3.15 de gösterilmiş olup austenite ve martensite fazın ikisinin de olduğu bölgeden alınmış elektron kırınım deseni ve bunların indislenmiş diyagramı ise şekil 3.16 da gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait aydınlık alan görüntüsü.



Şekil 3.15. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite faza ait karanlık alan görüntüsü.



Şekil 3.16. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite ve martensite bölge üzerinde alınmış kırınım deseni ve diyagramı.
 $[\bar{0}\bar{1}1]_{\gamma} // [\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha}$

4.SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımlarında oluşan martensite faz dönüşümünün, morfolojik ve kristallografik özellikleri açıklandı. Fe içerikli alaşımlarda faz dönüşümlerinin gerçekleşmesi için numunelerin çeşitli fiziksel etkenlere maruz kalması gerekmektedir. Bunlar; deformasyon etkisi, hidrostatik basınç, termal etkiler ve numuneye uygulanan yüksek manyetik alan gibi etkenler örnek verilebilir.

1100 °C ' de 12 saat ısıtılma gören Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımlarına aynı termal etkiler uygulandı. Isıtılma gören numuneler su içerisinde soğutuldu. Numuneler 10 s sıvı azot (-196 °C) içerisinde bekletildikten sonra Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) ' de incelendi.

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımının Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) incelemelerinde austenite tane boyutu ortalama 83µm olduğu gözlemlendi(şekil 3.1.). Numunenin Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) incelemeleri sonucu atermal dönüşüm gerçekleştiği gözlemlendi. Gözlem sonucunda martensite yapıların oluştuğu görüldü. Bu martensite yapıların lens (lenticular) martensite olduğu gözlemlendi. Bu alaşımın Mössbauer spektrometresi ile yapılan hacim ölçümünde dönüşüm sonrası oluşan martensite yapıların miktarlarının % 75 olduğu bulundu. Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında martensite oranı % 53 iken 0.8Co eklendiğinde martensite oranı % 22 artmıştır. Mössbauer incelemelerinde austenite fazın paramanyetik (tek soğurma çizgisi), martensite fazın ferromanyetik (altı soğurma çizgisi) olduğu gözlemlendi. Alaşımın martensite fazdaki iç manyetik alanı $B_{iç} = 37,6968$ T bulundu (çizelge 3.1.). Martensite fazın iç manyetik alanının Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında 31 T iken 0.8 Co eklenmesiyle iç manyetik alan 37 T 'ya yükselmiştir. Buda gösteriyor ki bu alaşım manyetik bir alaşımdır. Fakat Co oranının artmasıyla iç manyetik alan düşmüştür. Alaşımın martensite başlama sıcaklığını (M_s) ölçmek için DSC ölçümü alındı. Ölçüm sonucunda Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımının M_s sıcaklığı -91 °C olduğu belirlendi.

Yaşar'ın [37] Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında bulunduğu M_s sıcaklığı $-177\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Alaşım içerisine eklenen 0.8 Co elementi M_s sıcaklığını $86\text{ }^\circ\text{C}$ arttırmıştır.

Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımının SEM incelemelerinde austenite tane boyutu $120\text{ }\mu\text{m}$ olduğu bulundu. Numune sıvı azot içerisinde 10 s bekletildi ve Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) de incelendi ve martensite yapılar oluştuğu görüldü. Bu inceleme sonucunda martensite yapıların ince-plaka (thin-plate) martensite yapıya dönüştüğü gözlemlendi. Daha önce yapılan çalışmalarda da Co ilavesi ince-plaka (thin-plate) martensite oluşumunu kolaylaştırdığı düşünülmekteydi [13]. Ve oluşan midrib yapılarda bükülen (kinked) midrib oluştuğu gözlemlendi. Bu özellikler bu çalışmanın ilgi çekici noktalarıdır. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımının mössbauer spektrometresi ölçümüyle martensite yapıların % 77 olduğu bulundu. Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında martensite oranı % 53 iken 1.8 Co eklendiğinde martensite oranında % 24 artış olduğu görüldü. Mössbauer incelemelerinde austenite fazın paramanyetik (tek soğurma çizgisi), martensite fazın ferromanyetik (altı soğurma çizgisi) olduğu gözlemlendi. Alaşımın martensite fazdaki iç manyetik alanı $B_{iç} = 33,6616\text{ T}$ bulundu (çizelge 3.1.). Martensite fazın iç manyetik alanının Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında 31 T iken 1.8 Co eklenmesiyle iç manyetik alan 33 T 'ya yükselmiştir. Alaşımın martensite başlama sıcaklığını (M_s) ölçmek için DSC ölçümü alındı. Ölçüm sonucunda Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımının M_s sıcaklığı $-94\text{ }^\circ\text{C}$ olduğu belirlendi. Yaşar'ın [37] Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımında bulunduğu M_s sıcaklığı $-177\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Alaşıma eklenen 1.8 Co elementi M_s sıcaklığını $83\text{ }^\circ\text{C}$ arttırmıştır.

TEM incelemelerinde elektron kırınımı yöntemleri kullanılarak Fe-%30Ni-%2.6Mo-%0.8Co alaşımında austenite fazın γ (fcc), martensite fazın ise α (bcc) olduğu belirlendi. Bu sonuçlarla düzlemler arasında K-S (Kurdjumov ve Sachs) türünde yönelim bağıntısı $[310]_\gamma // [131]_\alpha$ olduğu ortaya çıktı. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%1.8Co alaşımında austenite fazın γ (fcc), martensite fazın ise α (bcc) olduğu belirlendi. Bu sonuçlarla düzlemler arasında K-S (Kurdjumov ve Sachs) türünde yönelim bağıntısı $[0\bar{1}1]_\gamma // [\bar{1}\bar{1}1]_\alpha$ olduğu belirlendi.

Sonuç olarak, Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo (X=0.8, 1.8) alaşımında oluşan martensite faz dđnüşümlerinin alaşıma eklenen Cobalt oranına göre özellikleri şunlardır:

- Co oranı arttıkça martensite yapılar lens (lenticular) martensite den ince-plaka (thin-plate) martensitelere dđnüşmüřtür.
- Co elementi malzemenin manyetik özelliğini değiştirmiştir.
- Fe-%30Ni-%2.6Mo alaşımına Co eklenmesi iç manyetik alanı ciddi oranda arttırmıştır fakat alaşımda Co elementi arttıkça iç manyetik alan azalmıştır.
- Co elementi malzemenin dđnüşüm sıcaklığını oda sıcaklığına yaklaştırmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Kaufman, L. and Cohen, M., Prog. Metal Phys.,7,165,1958
- [2] Osmond, F. Methode generale pour l'analyse micrographique des aciers Au Carbone,Bulletin de la societe d'Encouragement pour l'Industrie National,Vol 10,p 480,1895
- [3] Wayman, C.M., Introduction to the Crystallography of Martensite Transformations, MacMillan, New York, 1964
- [4] Kingery, W.D., Introduction to Ceramics, John Wiley & Sons,New York,1960
- [5] Bansal, G.K. and Heuer, A.H. On a Martensitic Phase Transformation in Zirconia –I. Metallographic Evidence,Acta Metall.,vol 20,p 1281-1289,1972
- [6] Bain, E.C., Durkirk N.Y., The nature of martensite.Transactions American Instute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, 70:25,1924
- [7] Oslon, G.B. and Choen, M. Metal trans A,7A,1987(1976)
- [8] Krauss, G., Fine Structure of Austenite Produced by the Reverse Martensitic Transformation, Acta Metall.vol 11,p 499-509,1963
- [9] Apple, C.A. and Krauss, G., The Effect of Heating Rote on the Martensite to Austenite Transformation in Fe-Ni-C Alloys,Acta Metall.vol 20,p 849-856, 1972

- [10] Güleler, N. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XPd alaşımlarında austenite-martensite faz dönüşümlerinin karakteristik özelliklerinin incelenmesi, 2011
- [11] Patterson, R.L., Wayman, G.M., The crystallography and growth of partially-twinned martensite plates in Fe-Ni alloys, Acta Metall.,14(3):347-369,1966
- [12] Zhang, M.X., Kelly, P.M., Deformation Twinning of Martensite in an Fe-Ni-C alloys, Australia, 2000
- [13] Tanaka, Y., Himuro, Y., Omori, T., Sutou, Y., Kainuma, R., Ishida, K., Martensitic Transformation and Shape Memory Effect in Austenitized Fe-Ni-Si-Co alloys, Japan, 2005, 2006
- [14] Shibata, A., Murakami, T., Morito, S., Furuhashi, T., and Maki, T., The Origin of Midrib in Lenticular Martensite, Japan, 2007, 2008
- [15] Brandi, S.D.; Padilha, A.F. Proceedings of Brazilian Seminar on Stainless Steels. Brazil, p.135-152, 1990
- [16] Maehara, Y., Koike, M., Jujiro, N., T. Trans, Iron Steel Japan, v.23, n.3, p.240-246, 1983
- [17] Shibata, A., Morito, S., Furuhashi, T., Maki, T., Substructures of Lenticular Martensites with different Martensite Start Temperatures in Ferrous Alloys, Japan, 2008
- [18] Yasar, E., Gungunes, H., Akturk, S., Durlu, T.N., New Observations On the Formation of the Athermal Martensite in Fe-Ni-Mo Alloys, Journal of Alloys and Compounds, 428:125, 2007.

- [19] Yasar,E., Gungunes, H.,Akturk, S.,Durlu,T.N.,New Observations On the Formation of the Athermal Martensite in Fe-Ni-Mo Alloys, Journal of Alloys and Compounds, 424:51,2006.
- [20] Yasar,E., Gungunes, H.,Akturk, S.,Durlu,T.N., Some Characteristics of Thermally Induced Martensite in Fe-%30Ni-%3.6Mo Alloys,37. Materials Characterisation,59:769,2008
- [21] Maksimova, O.P., Nikonorova, A.L., Microsturctural Investigation of Martensitic Transformation, Problem of Metallography and Physics of Metals, Forth Symposium, Moscow, p.69,1955.
- [22] Sarı, U., Kırındı, T., Yüksel, M., and Ağan, S., Journal of Alloys and Compounds, 476, 160, 2009.
- [23] Malzeme Bilgisi, RÜ. Faz Diyagramları, p.1,2012.
- [24] Z. Nishiyama, Martensitic Transformations, Academic Press, London, 1978.
- [25] Kasap, E., Fe-%17.1Ni-%85C Alaşımında Faz Dönüşümü ve Birim Hücre Şekil Değişimi, Eylül,1986.
- [26] Aldırmaz, E. Cu-%9,97Al-%4,62Mn ve Cu-%13,81Mn-%3,78AlAlaşımalarında Termal Mekanik Etkiler İle Oluşan Yapısal Değişimlerin İncelenmesi, Ocak, 2009.
- [27] D. Halliday, R. Resnick, (Cengiz Yalçın trans.), Fiziğin Temelleri, 1923.
- [29] Erkoç, Ş., Nanobilim Ve Nanoteknoloji, Ocak, 2010.
- [28] Kırım, S., Faraday Sistemi ve Manyetik Alınganlık Olcumu, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum, 1979.

- [30] D. Hull, Introduction to Dislocation, Pergamon Pres, London, 1965.
- [31] Durlu T.N., J. Mater. Sci, 11, 702, 1992.
- [32] Kittel,C., Çeviri: Karaoğlu, B., Katıhal Fiziğine Giriş, Bilgitek Yayıncılık, İstanbul, 1996.
- [33] Hesse, J., Böttger Ch., Wukfe A., J. Sievert and H. Ahlers, Physica Status Solidi,135, 343,1993.
- [34] Kakeshita, T., Sato Y., Saburi, T., Sihimizu, K., Matsuoka, Y., and Kinda, K., Materials Transactions, JIM, 40, 2, 100-106,1999.
- [35] Gürü, H. ve Yalçın, M. Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.
- [36] Özkan, O.T., Yörücü, H., Onurlu, S., Özen, S., Mısırlı, Z., Malzeme Biliminde Geçirim Elektron Mikroskopunun Uygulanmasına Giriş, Eylül,1986.
- [37] Yaşar, E., Fe-%30Ni-%2.6Mo Alaşımlarında Atermal Ve İzotermal Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Temmuz,2005