

**T. C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA
DEFORMASYON ETKİSİ İLE OLUŞAN MARTENSİ-
TENİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

İlyas GÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Emre GÜLER**

**NİSAN 2019
ÇORUM**

**Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA
DEFORMASYON ETKİSİ İLE OLUŞAN MARTENSİ-
TENİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

İlyas GÜL

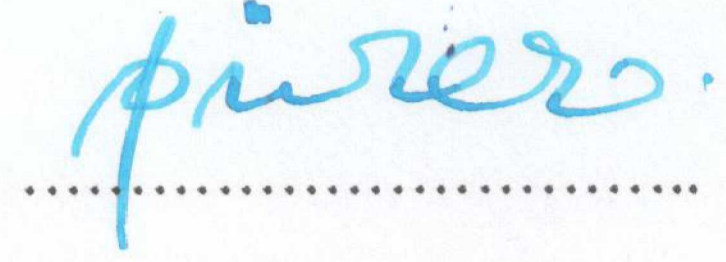
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Emre GÜLER**

**NİSAN 2019
ÇORUM**

İlyas GÜL tarafından hazırlanan “Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımındaki deformasyon etkisi ile oluşan martensitenin bazı fiziksel özellikleri” adlı tez çalışması ~~16.07/2019~~ 16.07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

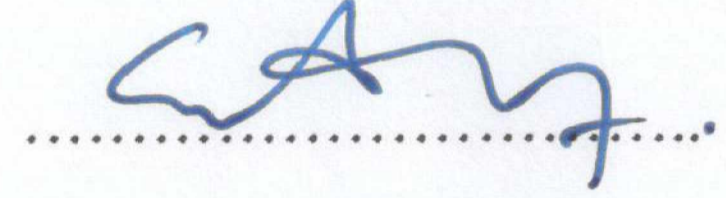
Danışman: Prof. Dr. Emre GÜLER



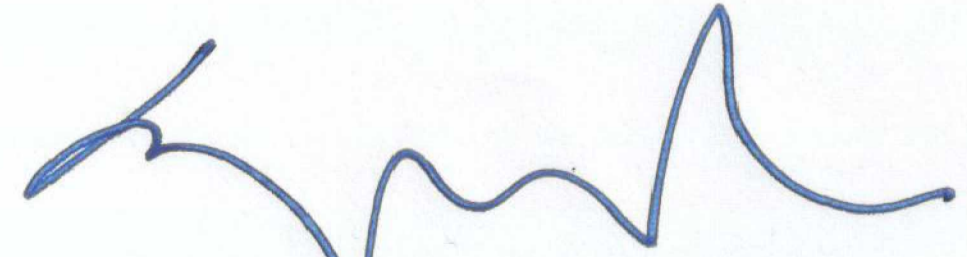
Üye: Doç. Dr. Melek GÜLER



Üye: Doç. Dr. Emine ALDIRMAZ



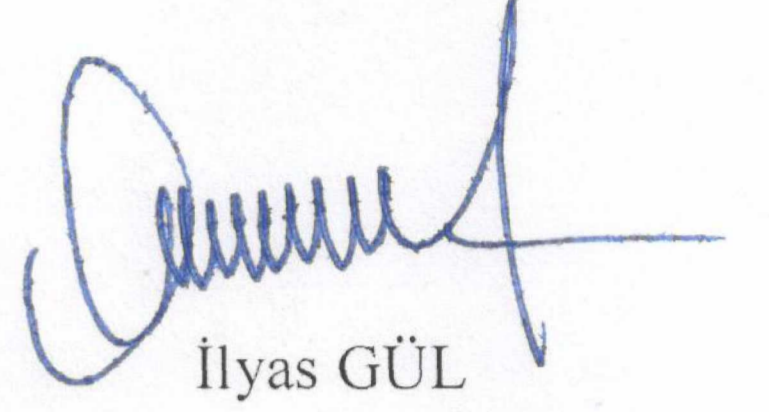
Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 17.05.2019... tarih ve 2019/94... sayılı kararı ile İlyas GÜL’ün Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.



Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.



İlyas GÜL

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA DEFORMASYON ETKİSİ İLE OLUŞAN MARTENSİTENİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

İlyas GÜL

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Bu çalışmada Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında deformasyon etkisi ile oluşturulan martensite yapı ve bu yapının bazı özellikleri araştırılmıştır. İncelemede oluşan martensit yapının yapısal (morfolojik) ve manyetik özelliklerini belirleyebilmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve titreşimli manyetometre (VSM) karakterizasyon teknikleri kullanıldı. Taramalı elektron mikroskobu gözlemleri, alaşımın austenite fazın içerisinde meydana gelen martensit yapının, deformasyona bağlı martensit yapının olduğunu gösterir. Curie sıcaklığı, VSM ölçümlerinden deformasyona uğramış martensit için yaklaşık 226 K'da tespit edildi. Manyetik doyma değerleri, deformasyona bağlı martensit için 23 emu g^{-1} olarak belirlenmiştir. Manyetik doygunluğun deformasyon etkisi ile arttığı tespit edildi. Öte yandan, VSM, deformasyona bağlı martensit için 47 Oe 'nin koersif değerleri ile yumuşak ferromanyetik özelliği önermiştir.

Deformasyondan kaynaklanan manyetik özellikler açıkça belirlenmiştir. Deformasyon Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında manyetik stabilizasyona neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fe-27%Ni-4%Mn-1%Zn, austenite, martensite, SEM, VSM, deformasyon, Curie Sıcaklığı.

**DEFORMATION IN Fe-% 27Ni-% 4Mn-% 1Zn ALLOY SOME PHYSICAL
PROPERTIES OF MARTENSITIS WITH EFFECT**

İlyasGÜL

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

In this study, some properties of this structure were investigated by the deformation effect of Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alloy. In order to determine the structural (morphological) and magnetic properties of the martensite structure, scanning electron microscopy (SEM) and vibrating magnetometer (VSM) characterization techniques were used. Scanning electron microscopy observations indicate that the martensite structure occurring within the austenite phase of the alumina is a martensite structure due to deformation. Curie temperature was determined at about 226 K for martensite deformed from VSM measurements. Manual saturation values were determined as 23 emu/g⁻¹ for deformation-dependent martensite. Man-power saturation increased with deformation effect. On the other hand, VSM proposed soft ferromagnetic property with coercive values of 47 Oe for deformation-dependent martensite.

Magnetic properties resulting from deformation are clearly determined. The deformation resulted in magnetic stabilization in the Fe-27% Ni-4% Mn-1% alloy.

Keywords: Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alloy, austenite, martensite, SEM, VSM, deformation, Curie Temperature.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan saygıdeğer hocam, Prof. Dr. Emre GÜLER'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada her türlü desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Melek GÜLER ve Doç. Dr. Emine ALDIRMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim Serap GÜL'e yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en önemli maddi ve manevi desteği sağlayan, emeklerinin ve haklarının karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, çalışma süresince beni hep destekleyen, güvenen ve maddi ve manevi desteğini esirgemeyen çok sevdiğim canım babam Mehmet GÜL'e, canım annem Suzan GÜL'e, tüm çalışmalarım da bana yol gösteren, yardımcı olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen hayat arkadaşım eşim Serap GÜL'e ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1.Kaynak Özetleri	3
1.2.Çalışmanın Amacı	6
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1.Malzemenin Fiziksel Özellikleri	7
2.1.1. Kristal Yapı Kusurları	10
2.2. Metallerin Manyetik Özellikleri	13
2.2.1. Diyamanyetik Maddeler	14
2.2.2. Paramanyetik Maddeler	15
2.2.3. Ferromanyetik Maddeler	16
2.3. Martensitik Faz Dönüşümleri	19
2.4.Martensitik Dönüşüme Dış Zorun Etkisi	21
3.DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM	24
3.1.Deneysel Materyal	24
3.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Hakkında Genel Bilgiler	24
3.1.2. Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM)	27
3.2. Numunelerin Hazırlanması	29

3.2.1. SEM incelemesi için Numune Hazırlanması	29
3.2.2. Zor-Zorlanma Deneyleri için Numune Hazırlanması	30
3.2.3. VSM Ölçümleri için Numune Hazırlanması	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımında Oluşan Martensite Yapının Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle İncelenmesi	31
4.2. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımında Oluşan Yapısal Değişimler Üzerine Deformasyonun etkisi	32
4.3. Zor-Zorlanma Deneyleri	32
4.4. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımının Deformasyon ile Oluşan Faz Dönüşümlerinin SEM ile incelenmesi	34
4.5. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımının VSM Yöntemi İle İncelenmesi	34
5. SONUÇLAR.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Metallerde en çok rastlanan hacim, kübik ve yüzey merkezli yapılar	8
Çizelge 4.1. Elastik modül, akma dayanımı, kırılma noktası ve verim gücü	32

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Fe elementinin alotropisi	2
Şekil 2.1. Basit, Yüzey merkezli, Hacim merkezli kristal yapılar	7
Şekil 2.2. Kristal örgüde eksenler ve açılar	8
Şekil 2.3. Bravais örgü yapıları	9
Şekil 2.4. Boş nokta kusuru	10
Şekil 2.5. Arayer kusuru	11
Şekil 2.6. Yeralan atom kusuru	11
Şekil 2.7. Frenkel kusuru	12
Şekil 2.8. Schottky kusuru	12
Şekil 2.9. Kenar dislokasyonunu gösteren şematik bir diyagram. Burgers vektörü siyah, dislokasyon çizgisi ise mavi renkte gösterilmiştir	13
Şekil 2.10. Manyetik moment	14
Şekil 2.11. Diyamanyetik malzemelerde manyetik alan yönü	15
Şekil 2.12. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldığında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi	16
Şekil 2.13. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması	16
Şekil 2.14. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde içindeki mıknatıslanma	17
Şekil 2.15. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasındaki ilişki	18
Şekil 2.16. a. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi b. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi	20
Şekil 3.1. Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar	25

Şekil 3.2. Elektron-numune etkileşmesi (Akay, 2013).....	26
Şekil 3.3. VSM sisteminde manyetik algılama yapısı	28
Şekil 3.4. Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM)	29
Şekil 3.5. Instron 8510 Basma-Çekme	30
Şekil 4.1 Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında oluşturulan austenite yapının SEM fotoğrafı.....	31
Şekil 4.2. Gerilme - % şekil değiştirme grafiği	33
Şekil 4.3. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında deformasyon yolu ile oluşturulan martensite morfolojisi	34
Şekil 4.4. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn Alaşımından elde edilen martensite yapının Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) Eğrisi	35
Şekil 4.5. Fe-27% Ni-% 4 Mn-% 1 Zn alaşımından elde edilen martensite yapıya ait (M-T) grafiği	36

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

γ	Yüz merkezli kübik yapı
α	Hacim merkezli tetragonal yapı
α'	Hacim merkezli kübik yapı
ϵ	Sıkı Paketlenmiş hegzagonal yapı
T_0	Austenite ve martensite fazların dengede bulunduğu sıcaklık
M_s	Austenite-martensite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
M_f	Austenite-martensite faz dönüşümünün bitiş sıcaklığı
A_s	Martensite-austenite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
$G_{\alpha-\gamma}$	Kimyasal serbest enerji değişimi
G_γ	Ana fazın kimyasal serbest enerjisi
G_α	Ürün fazın kimyasal serbest enerjisi
E	Sistemin kinetik ve potansiyel enerjileri toplamı
T	Mutlak sıcaklık
H	Entalpi
S	Entropi
E	İç Enerji
$^\circ\text{C}$	Santigrat Derece
dak	Dakika
a_γ	Austenite fazın örgü parametresi
c_ϵ	Martensite fazın örgü parametresi
a_ϵ	Martensite fazın örgü parametresi
δ_γ	Austenite Fazın İzomer Kayması

δ_e	Martensite Fazın İzomer Kayması
B_{hf}	Martensite Fazın İç Manyetik Alanı
h,k,l	Miller indisleri

Kısaltmalar

fcc	Yüzey merkezli kübik yapı
bct	Hacim merkezli tetragonal yapı
bcc	Hacim merkezli kübik yapı
hcp	Sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
VSM	Titreşimli Örnek Magnetometresi

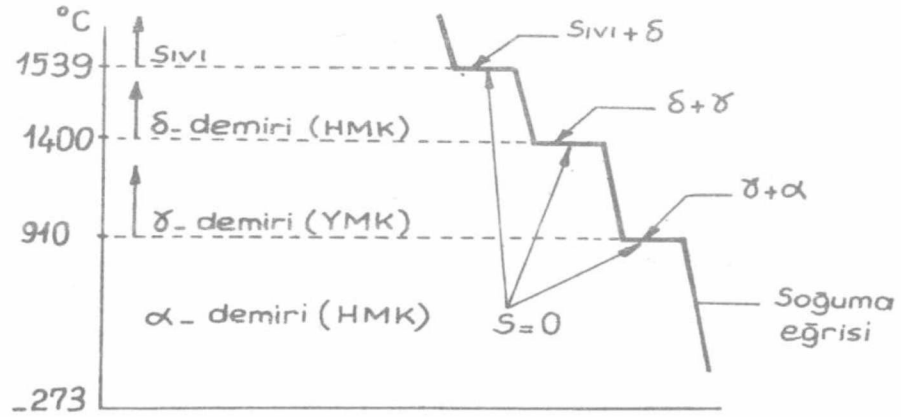
1. GİRİŞ

Malzemeler canlılığın varoluşundan bugüne çoğumuzun farkında olduğundan daha derin bir şekilde yaşamımızı etkilemişlerdir. Ulaşım, konut, giyim, iletişim ve gıda üretimi gibi günlük hayatımızın her alanı az ya da çok malzemelerin etkisi altındadır. Toplumların gelişmesi ve ilerlemesi için malzeme üretme ve malzemeyi kullanma becerileri çok önemlidir. İlk insanlar taş, tahta, kil ve deri gibi doğada kendiliğinden bulunan malzemeleri kullanıyorlardı. Zamanla doğada hazır bulunan bu malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip bazı metaller kullanılarak yeni malzemeler üretecek teknikler keşfedildi. Bununla ötesinde başka maddelerin eklenmesi ve ısı işlem yoluyla malzeme özelliklerinin değiştirilebileceği öğrenildi ve kullanım amaçlarına uygun olarak istenilen özelliklerini seçme işlemi ve geliştirme yapılmaya başlandı.

Katı malzemeler; geleneksel olarak metaller, seramikler ve polimerler olarak üç ana kategoriye ayrılır. Bunun yanında iki ya da daha fazla malzemenin birlikte kullanılması sonucu oluşturulan kompozit (karma) malzemelerde vardır. Diğer bir grup ise yarı iletkenler, biyo-malzemeler, akıllı-malzemeler ve nano mühendislik malzemeleri gibi ileri teknoloji uygulamalarında kullanılan ve ileri malzemeler olarak adlandırılan malzemelerdir. Metal; yüksek parlaklığa sahip, iyi elektrik ve ısı iletimi olan, ergime ile döküme uygun hale getirilebilen bir maddedir (Durlu, 1991). Metale belirli bir özellik kazandırmak için en az bir başka elementin (metal ya da ametal) eklenmesi ile elde edilen metal karakterli maddeye ise alaşım denir (Savaşkan, 1999). Metaller mekanik özellikleri açısından değerlendirildiklerinde yüksek elastiklik ve dayanıma sahip olmalarının yanında, süneklikleri (kırılmadan yüksek oranda şekil değiştirebilme kabiliyetleri) ve kırılmaya karşı dirençleri de yüksektir.

Metallerin günümüzde teknolojinin gelişmesi ile çok önemli olduğu görülmüş ve bunun sonucunda metaller üzerindeki çalışmalar artırılmıştır. Metale farklı bir ekleme ile alaşım oluşturmanın birçok sebepleri vardır; bunlar dayanımını ve sertliği artırmak, sertleşmeyi kolaylaştırmak, çekirdeğe kadar sertleşmeyi sağlamak, korozyona karşı dayanımı artırmak, mıknatıslanma özelliğini geliştirmek, elektrik direncini değiştirmek, aşınma direncini artırmak, ısı etkisi ile genleşmeyi değiştirmek şeklinde sıralayabiliriz (Savaşkan, 1999). Metaller; kristal yapıları, ısı iletkenlikleri,

elektriksel iletkenlikleri gibi özelliklerinden dolayı metal olmayan maddelerden ayrılırlar (Güner, 2006). Kristalli yapıda bulunmayan maddelere amorf denir. Amorf atomlar ve moleküller düzensizdir (Durlu, 1991). Metal alaşımlarında en sık rastlanan kristal yapılar; hacim merkezli kübik yapı (bcc), yüzey merkezli kübik yapı (fcc), sıkı düzenli hegzagonal (hcp) hacim merkezli tetragonal (bct) yapılarıdır (Nishiyama, 1978). Demir, tüm metaller içinde en çok kullanılan ve tüm dünyada üretilen metallerin ağırlıkça % 95'ini oluşturur. Düşük fiyatı ve yüksek mukavemet özellikleri demiri, otomotiv, gemi gövdesi yapımı ve binaların yapısal bileşeni olarak kullanımında vazgeçilmez kılar (Anonim, 2018). Alaşım oluşturmada, diğer metallerin yanı sıra demirin ana element olduğu, demir bazlı alaşımlar teknolojiye yaygın olarak kullanılmaktadır. Demir bazlı alaşımlarda faz dönüşümleri hakkında bir bilgi vermesi amacı ile; endüstriyel açıdan büyük önem taşıyan Fe elementinin allotropisi Şekil 1.1'deki gibidir (Güner, 2006).



Şekil 1.1. Fe elementinin allotropisi

Demir allotropik bir metaldir ve farklı sıcaklıkta farklı kristal yapılar gösterir. Saf demir ısıtılmaya başladığında α , β , γ , δ faz dönüşümü gösterir (Savaşkan, 1977). Oda sıcaklığında saf demir hacim merkezli kübik yapı (bcc)' ya ve manyetiklik özelliğine sahip olup α -Fe olarak adlandırılır. Demirin sıcaklığı arttırıldığında 768 °C'den sonra mıknatıslık özelliğini kaybeder ve β -Fe olarak adlandırılır. Manyetiklik sınırını kaybettiği bu sınır sıcaklığına Curi sıcaklığı denir. α -Fe ile β -Fe sadece mıknatıslık özelliğinden dolayı farklıdır. Çünkü α -Fe ferromanyetik iken β -Fe paramanyetikdir. 768 ve 910 °C 'lik sıcaklıkları arasında kristal yapı yine hacim merkezli kübik yapı

(bcc)'dir. 910°C'den 1400°C aralığında demir yüzey merkezli kübik yapı (fcc)'dir. γ -Fe olarak adlandırılan demir 1400°C ile 1535°C sıcaklık arasında yine hacim merkezli kübik yapıya (bcc) sahiptir ve δ -Fe olarak adlandırılır. 1535 °C sıcaklığın üstünde ise artık demir eriyerek sıvı duruma geçer (Nishiyama, 1978).

Saf demiri başka metallere alaşım haline getirdiğimizde saf demirde olduğu gibi farklı kristal yapı dönüşümleri meydana gelir. Ancak dönüşüm sıcaklıkları farklı olur. Alaşım oluşturmada atom gruplarının elektronik yapıları incelenerek, elektriksel özellikleri saptanmakta ve buna bağlı olarak elektrik ve elektronik malzemeler seçilebilmektedir. Pek çok uygulamada malzemelerin elektriksel davranışı mekanik davranışlarından daha önemlidir. Elektrik ve elektronik uygulamalar için malzeme seçmek ve kullanmak elektrik iletkenliği gibi özelliklerin nasıl üretildiğinin ve denetlendiğinin anlaşılmasını gerektirir. Elektriksel davranışın malzeme yapısından, malzemelerin işlenişinden ve malzemenin maruz kaldığı çevreden etkilendiği bilinmelidir. Katı metallerdeki bağda elektronlar belirli bir atoma bağlı olmayıp birçok atom tarafından paylaşıldığından metalik bağda değerlik elektronları serbestçe hareket eder. Hareketlilik atomik bağa, kafes düzensizliklerine, mikroyapıya ve iyonik bileşiklerde difüzyon hızına bağlıdır.

1.1. Kaynak Özeti

Austenite- martensite faz dönüşümleri difuzyonsuz yapılarından dolayı ortaya çıkan önemli ilgi çekici fiziksel özellikleri yanında; mekanik özelliklerinde yaptıkları büyük değişiklikler nedeni ile birçok araştırmaya konu olmuştur. Özellikle Fe-Ni-Mn bazlı alaşımların özel manyetik özelliklere sahip olması, şekil hatırlatma özelliği göstermesi, soğuk işlenebilmesi, yüksek elektrik dirence sahip olması ve maliyetinin ucuz olmasından dolayı teknolojik olarak tercih edilen alaşımlardır. Burada Fe-Ni ve Fe-Mn bazlı alaşımlarda yapılan bazı çalışmaları özetlersek;

Martensitik dönüşümlerin kristalografisi üzerine ilk olarak Bain çalışmalar yapmış ve sonrasında Weschler, Lieberman, Read (1953) ve Bowles ve Mckenzie (1954) bu konuda çalışmalar ortaya koymuşlardır. Kaufman ve Cohen (1956), Fe-Ni alaşımlarında Ni oranı değiştirildiğinde austenite-martensite faz diyagramında sıcaklığın bir

fonksiyonu olarak Ni miktarı artması ile M_s sıcaklığının azaldığı görülmüştür. Burada Ni miktarı % 9.5 iken M_s 525°C, % 33 iken M_s -223°C olarak bulunmuştur.

Patterson ve Wayman (1966), Fe-Ni ve Fe-Ni-C alaşımlarında meydana gelen martensitlerin ikizlenmesi, büyümesi ve kristallografisi üzerine araştırma yapmışlardır. Yaptıkları bu araştırmada Ni oranı değiştikçe morfolojinin değiştiğini ve meydana gelen ikizlenme bölgelerinin genişlediğini, ayrıca ikizlenmemiş bölgelerde meydana gelen dislokasyonların kayma doğrultularına paralel olduğunu, tamamen ikizlenmiş martensite plakaların daha düşük dönüşüm sıcaklıklarında oluştuğunu ve C miktarının ikizlenme üzerine etkisini göstermişlerdir.

Kakeshita ve arkadaşları (1993), Fe-%31.4Ni-%0.5Mn alaşımında martensitik dönüşümün atermal tipli ve dönüşüm sıcaklığını 195K olduğunu, Fe-%24Ni-%3.9Mn alaşımında ise dönüşümün izotermal tipli ve dönüşüm sıcaklığının ise 153K olduğunu bulmuşlardır.

Fe-%29 Ni alaşımına oda sıcaklığında uygulanan %4 deformasyon sonucu; oluşan martensitelerin kelebek (butterfly) şekilli ve çubuk (lath) tipli olduğu ve morfolojik özellikleri farklı olmasına rağmen, bunların habit düzlemlerinin $\{225\}_\gamma$ ve dönme bağıntılarının Kurdjumov-Sachs dönme bağıntılarına uyduğu gösterilmiştir (Durlu, 1996).

J. H. Jun, D. K. Kong ve C. S. Choi (1998) tarafından yapılan Fe-Mn-Co alaşımlarında mikroyapısal özellikler ve ısı işlemlerin martensitik faz dönüşümüne etkisini incelediler (Jun, 1998).

Bazı Fe-Ni bazlı alaşımlarda atermal ve izotermal tip dönüşümlerin her ikisi birden meydana gelebilir. Fe-%24Ni-%4Mo alaşımı üzerine yapılan çalışmada, izotermal dönüşümün başlama sıcaklığının -40°C ile -160°C aralığında olduğunu ve atermal M_s sıcaklığının -80°C olduğunu bulunmuştur (Golovin ve ark., 2000). Fe-Ni alaşımlarında deformasyon miktarının artması ile tersinir dönüşüm sıcaklığı A_s 'nin; Fe-%15Ni için hemen hemen sabit kaldığı, Fe-%31Ni için deformasyon arttıkça A_s 'nin arttığı bulunmuştur (Seo ve ark., 2001).

Cotes ve arkadaşları (2002), Fe-%13,7 Mn alaşımının manyetik özelliklerini X-ışınları kırınımı ve Mössbauer Spektrometresi ile incelemiştir. Fe-Mn alaşımında üçüncü elementin eklenmesi alaşımın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkiler. Bu nedenle Fe-Mn-X alaşımları yoğun şekilde çalışılmaktadır.

Himoro ve arkadaşları Fe-Ni-Si alaşımlarının şekil hatırlama özelliğini gösteren çalışmalarında; farklı sıcaklıklarda ve farklı sürelerde yaşlandırma etkisi sonucu; alaşımın M_s sıcaklığının azaldığı ve sertliğinin arttığı gözlenmiştir, bununda austenite yapıda oluşan çökelti fazdan kaynaklandığı belirtilmiştir (Himoro ve ark., 2001; Himoro ve ark., 2002). Aynı zamanda uzun süre yaşlandırma sonucu martensite morfolojisinin mercimek (lenticular) tipinden ince plaka (thin plate) tipine dönüştüğünü ve dönüşüm sıcaklığının azalması ile şekil hatırlama özelliğinin arttığı gösterilmiştir (Himoro ve ark., 2002).

2003 yılında P. Marinelli, A. Fernandez ve M. Sade Fe-Mn-Co alaşımlarında termal etkili martensitik alaşımları incelemiştir (Marinelli ve ark., 2004). Sarı ve arkadaşları Fe-Mn alaşımlarında Mo ve Co 'ın martensitik dönüşüm ve manyetik özelliklerine etkisini araştırmışlardır (Sarı ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda, Fe-Mn bazlı alaşımlarda meydana gelen γ (f. c. c.) ϵ (h. c. p.) faz dönüşümü ilave olunan elementin yüzde oranının dönüşümü nasıl etkilediği ve alaşım içinde oluşan kusurlara alaşımdaki elementlerin oranları değiştirildikçe yapısal değişikliğinde meydana geldiğini incelemiştir (Inagaki, 1992; Martinez ve ark., 2005).

Austenite-martensite faz dönüşümleri difuzyonsuz yapılarından dolayı ortaya çıkardıkları önemli ilgi çekici fiziksel özellikleri yanında; mekanik özelliklerinde yaptıkları büyük değişiklikler nedeni ile birçok araştırmaya konu olmuştur. Özellikle Fe-Ni-Mn bazlı alaşımların özel manyetik özelliklere sahip olması, şekil hatırlatma özelliği göstermesi, soğuk işlenebilmesi, yüksek elektrik direncine sahip olması ve maliyetinin ucuz olmasından dolayı teknolojik uygulamalarda tercih edilen alaşımlardır.

Fe-%24Ni-%0.45C alaşımında dönüşüm sıcaklığı civarında kısmen ikizlenmiş mercimek (lenticular) tipi ve dönüşüm sıcaklığının 20-30°C altında tamamen ikizlenmiş ince plaka (thin plate) tipi martensitelerin oluştuğu ve ince plaka martensitelerin

{112} α tipi dönüşüm ikizlerinden oluştuğu bulunmuştur. Ayrıca dislokasyonların martensite kristallerin kayma doğrultusuna paralel olduğu gözlenmiştir (Durlu, 1996).

Fe-%11, 15, 23, 31Ni alaşımları üzerine yapılan çalışmalardan; %31 Ni içeren alaşımda mercimek (lenticular) tipli martensite oluşurken diğerlerinde çubuk (lath) tipli martensite oluştuğu ve çubuk tipli martensitede dislokasyon yoğunluğunun daha fazla olduğu bulunmuş, bunun da mercimek tipi martensitede kısmen oluşmuş ikizlenmelerden kaynaklandığı belirtilmiştir (Morito, 2003).

Kakeshita ve arkadaşları atermal ve izotermal martensitikte manyetik bir alan Fe – Ni – Mn ve Fe – Ni – Cr alaşımlarında dönüşümler ve bu alaşımların izotermal bir martensitik sergilediğini buldu (Kakesita, 1993).

Fe-bazlı bazı alaşımlar hem atermal hem de izotermal martensit formasyonu tipi ortaya çıkabilir (Kakesita, 1999).

İzotermal martensit, yani izotermal oluşumu martensit, tutma esnasında soğuma esnasında oluşmuştur. Bu çalışmada izotermal martensit yapılarının gelişimi austenitik numunelerde sıvıda elde edildi (Güner ve ark 2004).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bir malzemeye uygulanan dış etkiler sonucunda malzemelerde meydana gelen fiziksel değişmelerin sebebi ancak bu malzemenin iç yapısı incelenerek açıklanabilir. Çalışmada deformasyon etkisine maruz kalan bazı Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımlarında gözlenen mikro yapı değişimlerinin atomik boyuttaki sebepleri açıklanmaya çalışılmıştır.

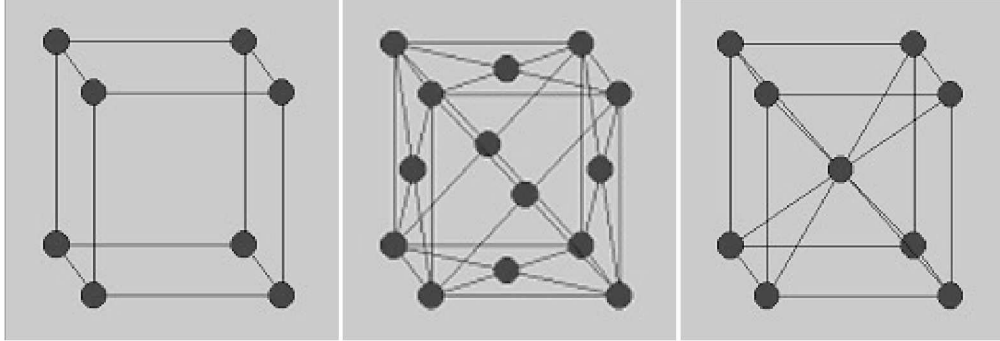
Deformasyon ve ısı etkileri alaşımlarda gözlenen martensitik dönüşümler ve manyetik özelliklerdeki değişimlerin ortaya çıkarılması uygulamalar açısından önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmadaki amacımız Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımında deformasyon etkisi ile oluşabilecek mikro yapı ve manyetik özellikleri SEM, VSM teknikleri ile incelemektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Malzemeler; kristal yapılı malzemeler ve kristal yapılı olmayan malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır. Herhangi bir kristal yapıya sahip olmayan malzemelere amorf malzemeler denir. Amorf malzemelerde bir düzen söz konusu değildir. Kristal yapıya sahip malzemelerde atomlar üç boyutlu olarak basit geometrik şekillere sahip dizilimden oluşmuş yapıya sahiptir. Kristal yapı olarak adlandırılan bu yapılar tablo 2.1'de verilmiştir (Savaşkan, 1999).

Sir Laurence Bragg ilk kez kaya tuzu kristalinin yapısını incelemiş ve kristallerin atomik yapıları hakkında birçok önemli bilgilere ulaşmıştır. Araştırmacılar kristali oluşturan en küçük birimin Birim Hücre olarak adlandırıldığı ve bunun uzayda yayılarak ne şekilde kristali oluşturduğunu anlayabilmişlerdir (Durlu, 1989).



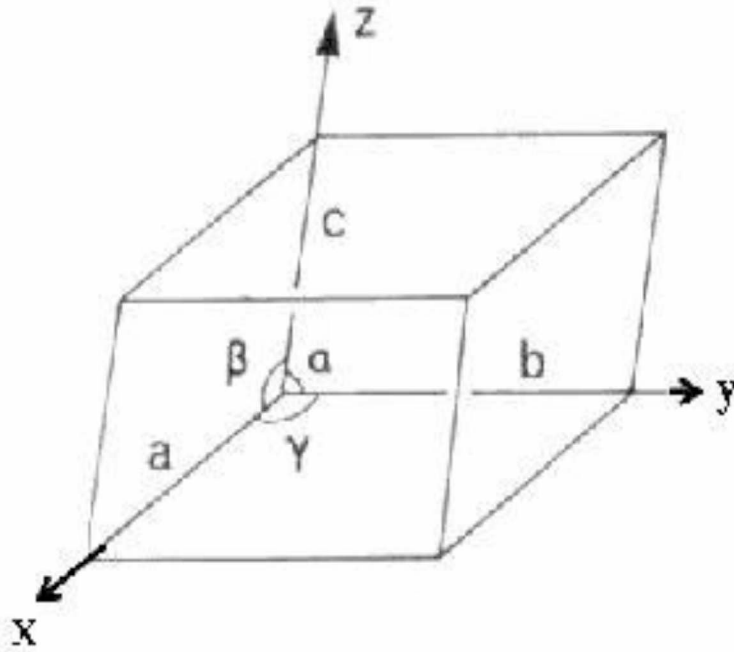
Şekil 2.1. Basit, Yüzey merkezli, Hacim merkezli kristal yapılar

Birim hücre bir üç boyutlu eksen üzerinde a, b, c atom uzaklıklarına sahip ve bu üç boyutlu x, y ve z eksenleri arasındaki açılar α , β , γ açıları olarak adlandırılır. Kristal örgüsü de bu basit geometrik şekillere sahip olup atomik boyutlarda yan yana gelerek bu yapıyı oluşturur (Küçük, 2004).

Metallerde en çok hacim merkezli kübik, yüzey merkezli kübik ve sıkı düzenli hekzagonal yapılara rastlanır.

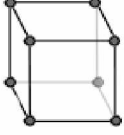
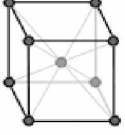
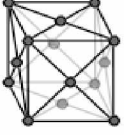
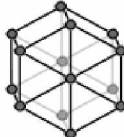
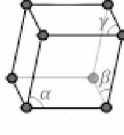
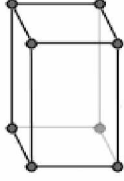
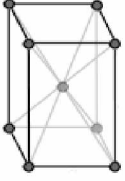
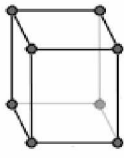
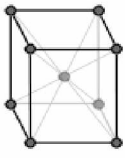
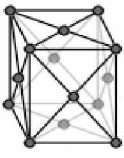
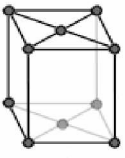
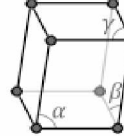

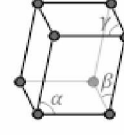
Çizelge 2.1. Metallerde en çok rastlanan hacim, kübik ve yüzey merkezli yapılar

Sistemler	Atom Uzaklıkları	Eksenler Arasındaki Açılar
Kübik Sistem	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal Sistem	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Hekzagonal Sistem	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$



Şekil 2. 2. Kristal örgüde eksenler ve açılar

Metaller toplam yedi farklı kristal yapı düzeninde karşımıza çıkıyorlar. Bu yapıların herbiri, üç boyutlu atom düzeninin indirgenebildiği en küçük simetriyi tarif ediyor. Bu indirgenmiş yapılara malzeme biliminde birim hücre adını veriyoruz. Bu kristal sistemlerden bazıları kendi içlerinde de ufak varyasyonlar gösterebiliyor. Bu varyasyonlara, bu yapıları ilk tarif eden Fransız fizikçi Auguste Bravais'e ithafen Bravais örgü yapı adını veriyoruz. Aşağıdaki resimde yedi ana kristal sistemi ve ondört Bravais örgü yapıyı görebilirsiniz.

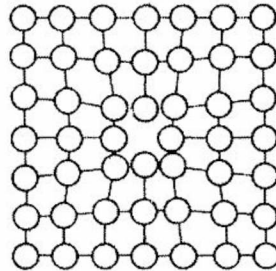
7 Kafes Sistemi	14 Bravais Kafes Yapı			
	Temel yapılar	Hacim merkezli yapılar	Yüzey merkezli yapılar	Taban merkezli yapılar
Kübik				
Hegzagonal (altigen)				
Rombohedral				
Tetragonal				
Ortorombik				
Monoklinik				
Triklinik				

Şekil 2.3 Bravais örgü yapıları

2.1.1. Kristal Yapı Kusurları

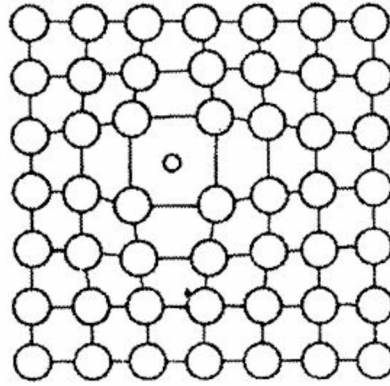
Kristallerin yapısında meydana gelen bozulma ve gerilmeler kristalin enerjisinin değişmesine yani artmasına neden olur. İki atom arasındaki denge durumu (x_0)' da eğer bağ enerjisi en küçük değere sahip ise kusursuz bir yapıdadır. Kusurları her zaman olumsuz anlamda değerlendirmemek gerekir. Malzemeleri işleme tabi tuttuğumuzda özellikle kusurlar oluşması istenir. Kristal yapı kusurlarının olması martensite yapı oluşturmada önemli bir özelliktir. Martensite yapıyı anlamlı kılan bu kusurlar çok önemlidir (Nishiyama, 1978). Kristolografik hatalar içeren birçok katı vardır. Katının kristal yapısında bazı sebeplerden dolayı meydana gelen değişim katının fiziksel özelliklerini etkiler. Katılarda çok önemli olan kusurların çeşitleri, meydana geliş sebepleri ve bunların neden olduğu sonuçlar incelenmelidir. Faz dönüşümleri boyunca atomların yeniden düzenlenmesi sürecinde ana fazdaki kusurlar önemlidir. Gerek katılaşma sürecinde gerekse ısı, dış zor ve basınç gibi sonradan etkilerle kusurlar ortaya çıkar. Kristal kusurlar, bozulmaya uğramış bölgelerin sıfır, bir, iki veya üç boyutlu olmasına göre; noktasal, çizgisel, yüzeysel ve hacimsel kusurlar olarak sınıflandırılır (Güner, 2006). Kristal yapı içerisindeki bir atomun olması gerektiği yerden daha farklı bir yerde olması ya da olmaması gereken bir yeri doldurması ile oluşan basit örgü düzensizliğine sahip kusurlardır. Bu kusurlar; boş nokta kusurları (boş kafes kusurları), arayer kusuru, yeralan atom kusuru, frenkel kusuru ve schottky kusuru olarak sıralanabilir (Savaşkan, 1999).

Atomun olması gereken yerde olmamasından kaynaklanan kusura boş nokta kusuru denir.



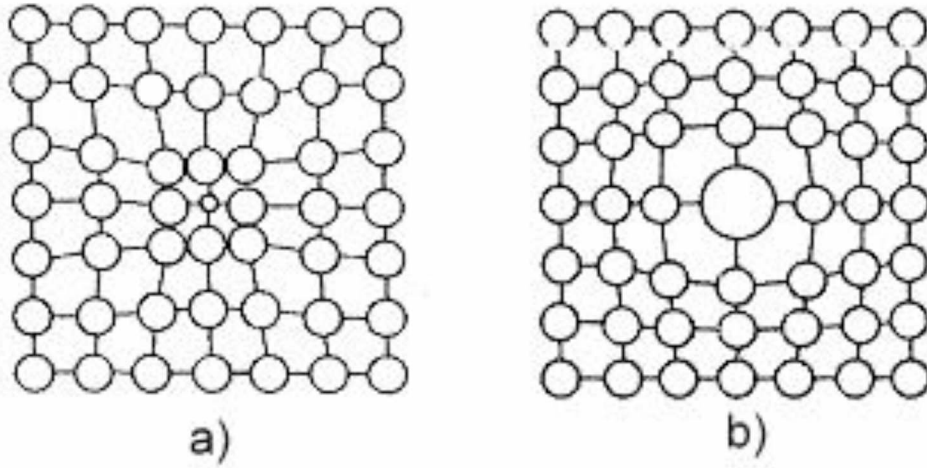
Şekil 2.4. Boş nokta kusuru

Atomik yarıçapı 10^{-8} cm' den küçük olan H, B, N, C, O atomlarının ana metalin atomları arasındaki aralara girmesiyle oluşan kusurda arayer kusuru olarak adlandırılır.



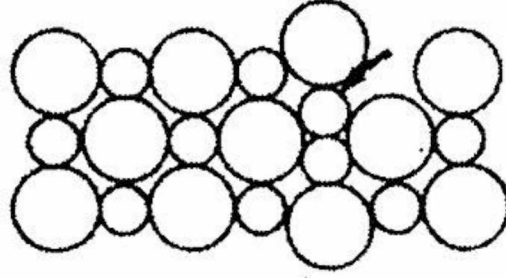
Şekil 2.5. Arayer kusuru

Yeralan atom kusuru ise çözünen metalin atomları çözücü metalin Kristal atomlarının bazılarının yerini alması ile oluşur.



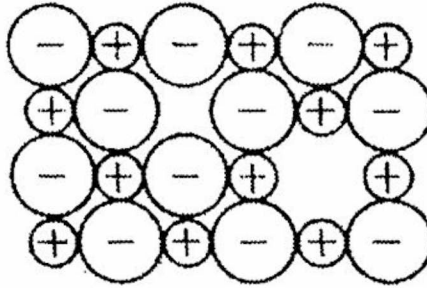
Şekil 2.6. Yeralan atom kusuru

Frenkel kusuru; Kristal örgü içinde bulunan bir atomun yerinden ayrılarak örgü arasında bir araya, atomların bulunmaması gereken bir yere geçmesiyle oluşan kusurdur.



Şekil 2.7. Frenkel kusuru

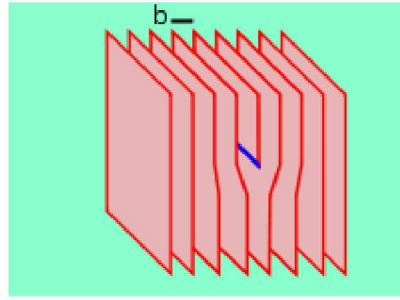
Kristal yapı içerisinde eşit elektriksel yükün korunması için örgü yapıdan bir anyon ve bir katyonun ayrılması gerekir ki bu durumda Schottky kusuru oluşur.



Şekil 2.8. Schottky kusuru

Metal ve alaşımların mekanik özelliklerini belirlemede dislokasyonlar çok önemli bir faktördür. Dislokasyon; bir kristal örgüdeki çizgisel kusurlardır (Durlu, 1991). Dislokasyon, kristalin mükemmel iki bölümü arasındaki yapı düzeni bozulmuş bölgedir (Savaşkan, 1999). Dislokasyonlar vida ve kenar yapı dislokasyonları olmak üzere ikiye ayrılır. Kenar dislokasyonu, mükemmel kristale yarım atom düzlem eklenmesi ile oluşturulabilir ya da bir veya iki sıra atom düzleminin çıkarılması ile de oluşabilir. Kenar dislokasyonunun oluşturduğu kusurun büyüklüğü ve yönü Burgers çevrimi

kullanılarak hesaplanır. Kusursuz bölgede bir çevrim sırasında paralel yönlerde, eşit aralıklarla ilerlenince çevrim kapanır. Eğer çember kusur içeriyorsa bu çevrimin uçları kapanmaz ve atomların arasındaki uzaklık kadar fazlalık kalır. Bu uzaklığa Burgers vektörü adı verilir (Onaran, 2006). Burgers vektörü kenar dislokasyonuna diktir (Savaşkan, 1999). Vida dislokasyon ise kristalin bozulması ile bir atom düzleminin spiral bir yüzey oluşturmasıdır. Burgers vektörü vida dislokasyonuna paraleldir.



Şekil 2.9. Kenar dislokasyonunu gösteren şematik bir diyagram. Burgers vektörü siyah, dislokasyon çizgisi ise mavi renkte gösterilmiştir.

Aynı örgü yapısına sahip fakat farklı doğrultularda yönlenmiş değişik bölgelere ayıran yüzeylerden oluşan kusurlar yüzeysel kusurlar olarak tanımlanır. Yüzey üzerinde bu kesit sınır olarak gözüktür. Malzemelerin aynı atom dizilişine sahip olan parçasına tane denir. Alaşımlar ve metaller tanelerden oluşur (Savaşkan, 1999).

Bir diğer kusur olan hacimsel kusurlar iki sebepten oluşur; malzemenin oluşumu sırasında ya da malzemenin döküm, dövme, hadde gibi şekillendirmesi sırasında oluşur.

2.2. Metallerin Manyetik Özellikleri

Manyetik özellikler malzemenin atom yapısına bağlıdır. Atomlar çekirdekten ve çekirdek etrafında ve kendi eksenini etrafında dönen elektronlardan oluşur. Elektronların hem kendi etrafında hemde çekirdek etrafında dönmesi yörünge manyetik dipol momenti ve spin manyetik dipol momenti kavramlarının ortaya çıkmasını sağlar. Yörünge ve spin manyetik momentlerin vektörel toplamlarına toplam manyetik moment

denir. Elektronların yörüngesel ve spin hareketleri atomda bir akım, dolayısıyla bir dipol moment oluşturur. Maddedeki net dipol momentin büyüklüğü onun manyetikliğini belirler. Malzemeler manyetik özelliklerine göre üç gruba ayrılır. Bunlar; paramanyetik, ferromanyetik ve diamanyetik maddelerdir (Güler,2005). Maddelerin manyetik alanla etkileşim derecelerini belirleyen bağıl manyetik geçirgenliği μ_b 'dir.

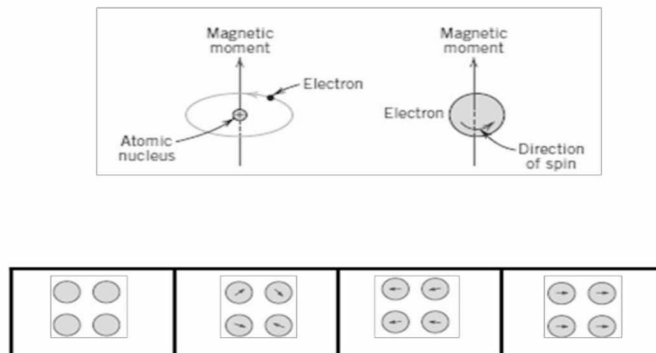
$$\mu_b = B/B_0$$

şeklindedir. Bağıl manyetik geçirgenliği 1'den biraz küçükolan maddeler diamanyetik, 1'den biraz büyük olan maddeler paramanyetik, 1'den çok büyük olan maddelere ferromanyetik maddeler denmektedir.

2.2.1. Diyamanyetik Maddeler

Diyamanyetiklik, manyetik kutupların ters yönelmesi olarak ifade edilebilir. Diyamanyetik maddeler, herhangi bir mıknatıs tarafından, o mıknatısın manyetik alanı içerisindeyken manyetik alan çizgilerine zıt yönde mıknatıslanmaya uğrayabilen Civa, Altın, Bakır, Bizmut, Elmas, Gümüş, Kurşun, Silikon gibi maddelere denir ve kendisini mıknatıslayan cisim tarafından itilirler. Manyetik alan yayılım frekansına göre moleküler çapta ters yönelme eğilimi gösterirler. Bir mıknatısa yaklaştırıldığında kuzey kutbu gören maddenin yakın tarafı kuzey kutbu olarak yönelecektir. İtkisel bir yapı oluşmasına sebep olan bu maddeler yeni bir fenomendir. Su bu özelliğe sahip maddelerden biridir (Bergman,1778).

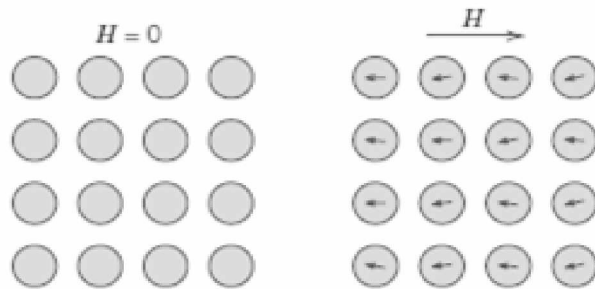
Manyetik Moment



Şekil 2.10. Manyetik moment

Manyetik alan elektrik yüklerinin yerdeğiştirmesi sonucu ortaya çıkar. Elektromanyetizma Lenz kanununa göre bir elektrik devresinde akım değiştirildiğinde bu değişmeye karşı koyacak şekilde yeni bir akım oluşur. Bu tip manyetizma diğer tip manyetizmaların tamamen yer almadığı Bi, Cu, Ag ve Au gibi malzemelerde görülr. Her çeşit maddede diyamanyetizma etkisi olmakla birlikte paramanyetizma veya ferromanyetizmaya göre zayıftır (Durlu, 1992).

İki elektronun manyetik momentlerinin büyüklükleri eşit fakat yönleri zıt olduğundan birbirlerini yok ederler ve atomun dipol momentini sıfır olur. Elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok etmezler ve madde manyetik alana zıt yönde net bir dipol moment edinir. Süper iletkenler kritik sıcaklıkların altında özdirenci sıfıra yakın olan maddelerdir. Süper iletkenlerin mükemmel diyamanyetik özellik gösterdiklerini biliyoruz. Sonuçta süper iletken içindeki manyetik alanı sıfır olacak şekilde uygulanan alanı dışlar. Bu olaya Meissner olayı denir. Diyamanyetik malzemelere bir manyetik alan uygulandığında çok küçük bir elektron hareketlenmesi oluşur. Diyamanyetik malzemelerde manyetik moment manyetik alana ters yönde oluşur (Günay, 2000).

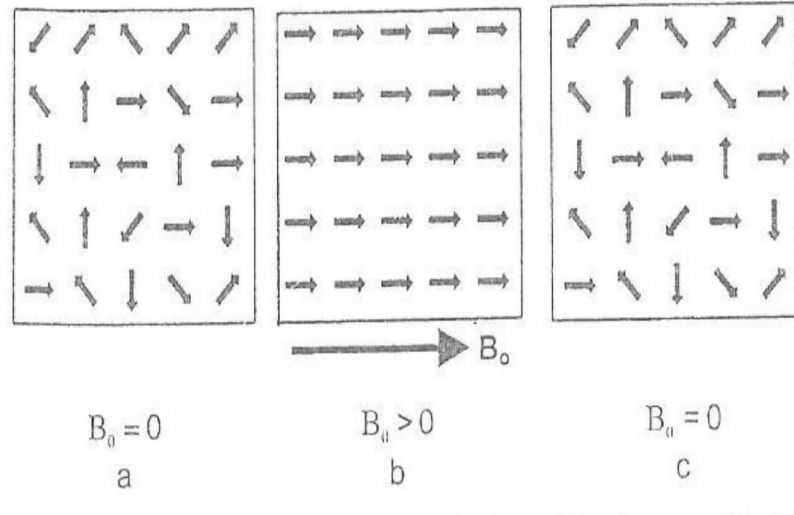


şekil 2.11. Diyamanyetik malzemelerde manyetik alan yönü

2.2.2. Paramanyetik Maddeler

Çoğu atom veya iyonları eşleşmemiş elektron içeren bir maddenin net bir manyetik momentinin olmasının nedeni, bir atomdaki elektronun manyetik momentinin diğer bir atomdaki elektronun manyetik momentini tarafından nötralleştirilemediği durumda,

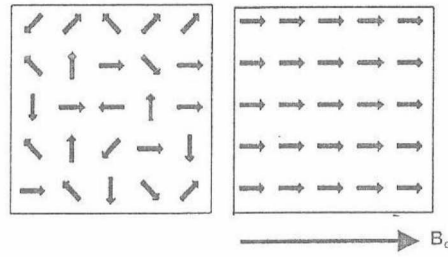
yörüngesel manyetik momentine ilave olarak elektronun spininden kaynaklanan spin manyetik momente sahip olmasıdır. Bu yüzden, maddenin paramanyetik olması özelliği, yapısında eşlenmemiş elektronu bulundurmasına bağlıdır. Eğer madde bir dış manyetik alan içine konulursa manyetik momentler alan yönünde yönelmeye çalışacaklardır ve sonunda alan doğrultusunda yöneleceklerdir. Bu durumda paramanyetik maddenin mıknatıslanması alan yönünde ve çok zayıf bir değerde olacaktır. Dış manyetik alanın etkisi kaldırıldığında manyetik momentler tekrar yapı içerisinde rastgele yönelerek eski haline dönecektir (Anonim, 2012).



Şekil 2.12. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldığında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi.

2.2.3. Ferromanyetik Maddeler

Sürekli manyetik momenti olan demir, kobalt, nikel elementlerine ve onların karışımını içeren birçok alaşımlardan meydana gelen yapılara 'ferromanyetik maddeler' denir. Bağlı manyetik geçirgenlikleri 1'den çok büyük olan maddelerdir. Sadece demir, nikel ve kobalt oda sıcaklığında ferromanyetiktir. Bunları içeren alaşımların çoğu da ferromanyetik davranış sergiler (Ör: Alnico, Sm-Co, Sm-Fe, NdFeB).



Şekil 2.13. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması.

Maddeler, Curie sıcaklığından (T_C) sonra ferromanyetik özelliklerini kaybederler ve paramanyetik özellik kazanırlar. Ferromanyetik maddelerde atomik manyetik momentler, bir dış manyetik alanın yokluğunda bile manyetik domain olarak adlandırılan makroskobik bölgelerde birbirlerine paralel olarak yönelirler (Halliday ve ark., 1923). Ferromanyetik maddeler, herhangi bir mıknatısın manyetik alanı içerisindeyken o mıknatısın manyetik alan çizgileri ile aynı yönde mıknatıslanabilen Demir, Kobalt, Nikel, Çelik, Alnico gibi maddelerdir. Ferromanyetik maddeler, kendisini mıknatıslayan cisim tarafından çekilirler. İleri derecede duyarlı olan maddelerde vardır.

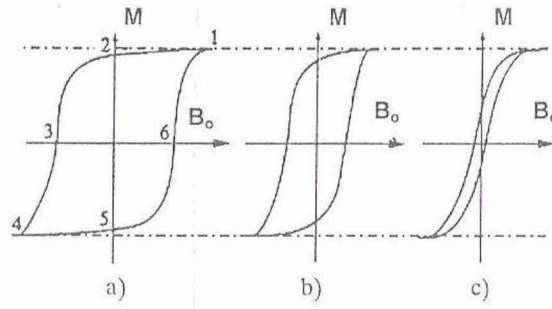
Bu maddeler, zayıf manyetik alan içerisinde dahi mıknatıs özelliği sergileyebilmektedir ve manyetik alan etkisinden çıkarılırsalar dahi bu mıknatıslık özelliği belli bir süre daha devam etmektedir. Bu tür maddeler mıknatıs, elektrik motoru, jeneratör, trafo ve sabit disk gibi araçların yapımında kullanılır.

Ferromanyetik maddeler kendi arasında yumuşak ve sert ferromanyetikler olarak iki gruba ayrılır. Manyetik dipol momentleri 'domain' denilen bir mikroskobik bölgelerde bulunan ferromanyetik malzemelerin sert ya da yumuşak manyetik özellikleri histerisis ölçümleri ile belirlenebilir (Jiles, 1991).

Birim kütle başına manyetik moment

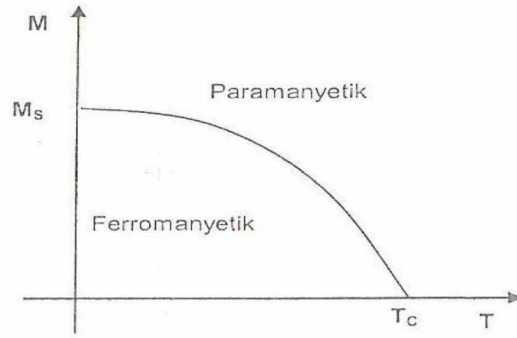
$$M = \mu/m$$

Mıknatıslanma olup dışardan uygulanan manyetik alanın bir eğrisi çizilir. Yumuşak, orta ve sert ferromanyetik malzemelerin histerisis eğrileri şekil 2.14'deki gibidir.



Şekil 2.14. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak

Ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde içindeki mıknatıslanma bazı ferromanyetik malzemeler için dışarıdan uygulanan B_0 manyetik alanına karşı M mıknatıslanma ilişkisi şekil 2.14’de gözlenmektedir. Şekil 2.14’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. Mıknatıslanmanın doyum noktası şekil 2.14’de 1 olarak gösterilmiştir. Bu noktadan itibaren dışarıdan uygulanan manyetik alan azaltılır ve değeri $B_0=0$ olması durumunda mıknatıslanmanın varlığı devam etmektedir. Şekilde 2 olarak gösterilmiştir. 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. Şekilde 4 olarak gösterilmiştir. 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 hysteresis olarak bilinir (Anonim, 2012). Yumuşak ferromanyetik malzemeler kolay mıknatıslanırlar ve mıknatıslıklarını kolayca da kaybedebilirler. Elektrik motoru, jeneratör, elektromıknatıslık ve benzeri aygıtların çekirdekleri bu tür malzemelerden yapılır. Endüstride kullanılan Alnico adıyla bilinen yarısı Fe, geri kalanları Al, Ni, Co ve bir miktar Cu olan alaşımlar önemli sert ferromanyetiklerdir. Elektrik sayaçları gibi hassas ölçüm yapan aletlerde ve yüksek ve kalıcı mıknatıslık özelliği isteyen alanlarda kullanılabilir (Callister, 2007; Jiles, 1991).



Şekil 2. 15. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasındaki ilişki

P. Curie, paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının dışarıdan uygulanan manyetik alan B_0 doğru, ortamın sıcaklığı ile ters orantılı olarak değiştiğini bulmuştur. Bu ifade;

$$M = CB_0 / T$$

biçimindedir ve Curie yasası olarak bilinen bu ifadede C, Curie sabiti olarak adlandırılır (Kırım, 1979). Ferromanyetik bir maddenin M mıknatıslanması ile T mutlak sıcaklığı arasındaki ilişki şekil 2.15’de verilmiştir. Kalıcı mıknatıslık; manyetik özelliklerini yıllarca sürdürebilen bir mıknatısa kalıcı mıknatıs adı verilir. Kalıcı mıknatıslar demir, kobalt ve nikelden yapılmıştır. Bu üç metal kolayca mıknatıslanabilir ve manyetik özelliklerini uzunca süre koruyabilirler. Mıknatıslar alaşımlardan da yapılabilirler. Çubuk bir mıknatıs ve atnalı mıknatıs, kalıcı mıknatıslardır (Kılıçkaya, 1996).

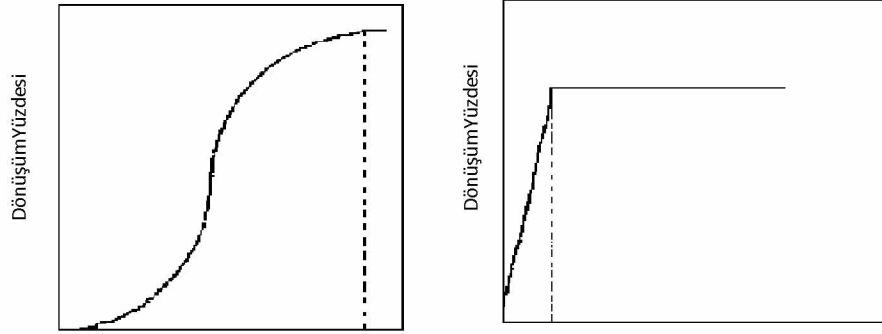
2.3. Martensitik Faz Dönüşümleri

Eski çağlardan beri metaller hayatımızda çok önemli yere sahiptir. Metal malzemelerin martensitik faz dönüşümünü 1895 yılında Adolf Martens demir bazlı alaşımlarda gözlemiştir (Günay, 2000). Demir alaşımından sonra Au, Cu, Zn, Sn, Al ve Ti gibi metal alaşımlarında da martensitik faz dönüşümleri olduğu çalışmalarda görülmüştür (Wayman, 1980). Malzemede iç yapı yönünden farklılık gösteren kısımlara faz denir.

Atomların homojen olarak dizilmesi sonucu oluşan belirli yapılarla değişik fazlar oluşur. Kararlı denge halinde olan bir fazın dışarıdan uygulanan fiziksel bir etki ile enerjisi değişir, dengesi bozulur. Atomlar tekrar denge durumuna gelmek için daha düşük enerji gerektiren yeni bir faz durumuna gelir. Denge durumundaki bir fazdan başka bir denge durumunda olan yeni faza geçişe “faz dönüşümü” denir (Onoran, 1997). Katı yapılarda gözlenen faz dönüşümleri sırasında atomlar yeni faz yapısını oluştururken yer değiştirir. Atomların komşuluklarını değiştirmeden meydana gelen faz dönüşümleri “difüzyonsuz”, komşuluklarını değiştirecek şekilde meydana gelen faz dönüşümlerine de “difüzyonlu” faz dönüşümleri denir (Porter, 1981 Christian, 1975). Martensite kristal yapı (ürün faz) oluşurken austenite kristal yapı (ana faz) tümü ile ürün faza dönüşmez. Austenite içerisinde serpilmiş olarak martensite kristalleri düzgün olmayan bir dağılımla bulunurlar. Austenite faza dışarıdan uygulanan; sıcaklık, zor, manyetik alan, hidrostatik basınç gibi dış etkilerin ayrı ayrı veya birlikte uygulanmasıyla martensite faz oluşur.

Araştırmacılar martensitik dönüşümü farklı şekillerde tanımlamışlardır. Nishiyama'ya göre (1978), atomların toplu hareket edebildikleri bir faz geçişidir. Christian (1965), martensitik dönüşümü; basit oluşum mekanizması nedeniyle, atomik difüzyonun gerekmediği, serbest enerjinin net bir azalımı ile gerçekleşen hızlı bir yeni oluşumu olarak tanımlanır. Clapp'ın (1985) yaptığı tanım ise bir atom takımının, şekil değişimi ortaya çıkaracak şekilde, bir ara yüzey boyunca topluca hareketi ile oluşan bir faz geçişidir.

Austenite-martensite faz dönüşümünde soğutma ile oluşturulan dönüşüme başlama sıcaklığı olarak M_s sıcaklığında, dönüşümün tamamlanması da M_f sıcaklığında gerçekleşir. Dönüşüm atermal ya da izotermal olarak gerçekleşir. Atermal dönüşüm; sıcaklığa bağlı olarak değişen zamandan bağımsız bir dönüşümdür. İzotermal dönüşüm ise hem zamana hemde sıcaklığa bağlı olarak değişen dönüşümdür (Kakeshita ve ark., 1993; Wayman, 1964). Bunshah ve Mehl (1953), Fe- bazlı alaşımlarda ısısız etki ile oluşan atermal özellikli martensite kristallerinin 10^{-7} s gibi kısa bir zamanda ortaya çıktığını ölçmüşlerdir.



Şekil 2.16. a. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi

b. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi

Martensite başlama sıcaklığı (M_s sıcaklığı)'ı etkileyen faktörler ise;

1. Yapının kimyasal kompozisyonu
2. Zor ve zorlanma
3. Kristal kusurlar ve çökelti
4. Soğutma hızı
5. Austenitenin tane büyüklüğü
6. Uygulanan manyetik alan
7. Hidrostatik basınç
8. Austenitlenme sıcaklığı

olarak sıralayabiliriz (Güner, 2006).

Austenite fazdan martensite faza geçerken austenite fazda bulunan bir kristale fiziksel etkenler ile oluşan martensite kristalleri yapı ve görünüşlerine göre üç gruba ayrılabilir. İlk gruptaki martensite oluşumu yalnızca sıcaklığın etkisindedir. Numunenin sıcaklığı hızla düşürülerek soğutulur. Bunu ilk kez Bain Modeli açıklamıştır (Christian, 1965). İkinci grupta ise numunenin sıcaklığı hızla düşürülürken dışarıdan uygulanan bir mekanik zorun etkisiyle austenite faz martensitik dönüşüme uğramaktadır.

Üçüncü grupta ise M_s sıcaklığının üzerinde bir mekanik zorlama meydana getirilerek martensitik dönüşüm sağlanır (Otte, 1957).

2.4. Martensitik Dönüşüme Dış Zorun Etkisi

Martensite oluşumu sırasında austenite yapıya dışardan uygulanan mekanik zor faz dönüşümü için etkilidir. Yapılan deneysel çalışmalar ısı değişimi olmadan yalnızca zor etkisi ile martensite faz dönüşümünün olabileceğini göstermiştir (Christian, 1975; Porter ve ark., 1981).

Bir martensitik dönüşüm için zorun uygulanma sıcaklığı, M_s sıcaklığının üstünde bir sıcaklık aralığıdır. M_s sıcaklığın üzerinde bir sıcaklık aralığında austenite faza veya austenite-martensite her iki fazın karışımına uygulanan zor, dönüşüm için bir tetikleme görevi yapar. Bu şekilde oluşan bir dönüşüm, termal etkiyle önceden oluşmuş çekirdeklenme yerlerinde fakat zor etkisiyle gerçekleşir. Yani, uygulanan zor ile yeni çekirdeklenme oluşmaz ancak zor öncesi varolan çekirdeklenme noktalarında oluşum gerçekleşir. Bu şekilde oluşan martensite, zor-etkili martensite (stress-induced) olarak isimlendirilir. M_s dönüşüm sıcaklığının üstünde bir sıcaklıkta austenite fazda bulunan bir alaşıma dış zor uygulanırsa dönüşüm için gerekli sürücü kuvvet sağlanmış olur. Dışardan uygulanan bu zor ile alaşım içinde bazı bölgelerde dönüşüm meydana gelir (Karaman ve ark., 1998). Zor etkili martensitenin kinetiği; M_s sıcaklığına, alaşımın kompozisyonuna, austenite miktarına, austenite ve martensite sertliğine ve uygulanan zorun etkisine bağlıdır. (Gall ve ark., 1998; Güler ve ark., 2010).

M_s sıcaklığının üzerinde bir zor uygulandığı zaman, sıcaklık çok yüksek olmasına rağmen martensite oluşur. Zor uygulanarak martensite'nin oluşabileceği bu yüksek sıcaklık M_d olarak isimlendirilir (Christian, 1975). Şayet dönüşüm, plastik deformasyon ile ve yeni çekirdeklenmeler oluşarak meydana geliyorsa bu durumda oluşan martensite, zorlanma-etkili martensite (strain-induced) olarak adlandırılır. Zor-etkili ve zorlanma-etkili martensiteler birbiriyle kıyaslandığında her ikisi de zor etkisi ile oluşmasına karşılık çekirdeklenmelerinin farklı olduğu görülür (Read, 1970; Gall ve ark., 1998).

Bugüne kadar birçok alaşım sisteminde zor etkisi incelenmiştir. Bunlardan en yaygınını çeliklerdeki dönüşümdür. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımında martensite miktarının zorlanmaya göre değişimi incelenerek zorlanma miktarı arttıkça martensite miktarının arttığı ortaya konmuştur. Fe-bazlı birçok alaşımında uygulanan plastik deformasyon altında zorlanma-etkili (strain-induced) martensite gözlenmiştir (Nishiyama, 1978; Karaman ve ark., 1998; Durlu, 2001). Öte yandan zorlanma-etkili martensite morfolojisinin genel olarak termal-etkili martensitelerden farklı olduğu görülmüştür. Bunun nedeni deformasyon etkisi ile M_s sıcaklığının artması sonucu oluşumun daha yüksek dönüşüm sıcaklığına sahip martensite karakteristiğine benzer morfolojilerde ortaya çıkmasıdır. Ayrıca zorlanma etkili martensitenin, mekanik özellikleri etkilediği bilindiği için böyle bir morfolojik değişimin beklenmesi doğal olacaktır (Kahveci, 1997). Uygulanan dış zor altında martensite oluşmuş alaşımlarda yüksek zor etkisi nedeniyle sık sık kırılma yüzeyi görülür. Bu yüzeyde austenite tamamen martensite dönüşmüştür (Kahveci, 1997).

Bazı alaşımlarda dış zorun uygulaması ile oluşturulan martensite'lerin tersinir özellik gösterdikleri bulunmuş ve bu tür martensiteler elastik martensite şeklinde sınıflandırılmıştır (Gall, 1998; Durlu, 2001). Bu tür martensite oluşumu özellikle şekil hatırlama olayında büyük rol oynar. Şekil hatırlama, martensite fazda iken deforme edilen bir malzeme daha sonra austenite faz sıcaklığına kadar ısıtıldığında, austenite fazda iken sahip olduğu ilk şeklini hatırlamasıdır. Dış zorun etkisi ile meydana gelen plastik deformasyonun termal etki ile yok edilmesi dönüşümün tersinir olma özelliğinin bir sonucudur. Örnek vermek gerekirse; Cu-Al-Ni alaşımlarında sabit bir sıcaklıkta uygulanan zor ile martensitik faz dönüşümü gerçekleştiğinde kristal A_s sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa ısıtılırsa, martensite kristalleri ters doğrultuda zorlanmanın etkisi ile austenite faza dönüşebilir. Fe-Al-Ni, Au-Cd, Cu-Al, Fe-Pt, Fe-Mn-Si alaşımları buna örnektir (Nishiyama, 1978). Fe-%30 Ni-%5 Cu alaşımının austenite fazındaki deformasyona bağlı martensit, birçok demir alaşımında olduğu gibi %40 deformasyondan sonra uzatılmış ve uzatılmış şekillerle ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, sıkıştırma deformasyon etkisi sadece martensit oluşumuna neden olmuştur. (Güler ve ark. 2011).

3. DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; zor etkisi ile oluşturulan martensite fazın morfolojik, manyetik ve kristalografik özelliklerini belirlemek amacı ile Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ve Zor etkisi incelemeleri için alayımın hazırlanma aşamaları ile kullanılan sistemler hakkında da genel bilgiler verilmiştir.

3.1. Deneysel Materyal

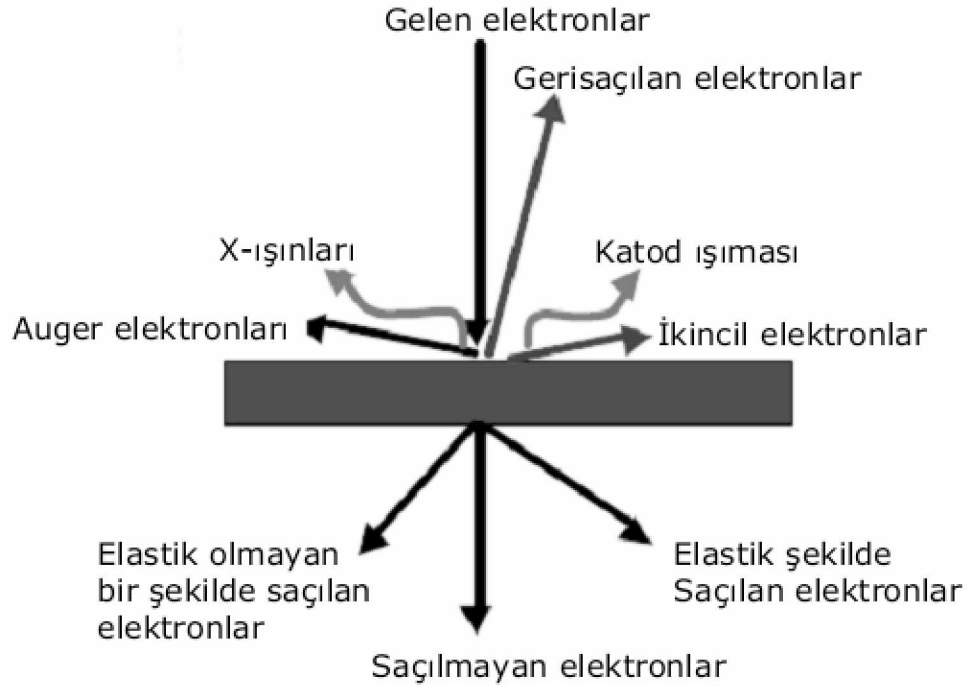
Bu kısımda; SEM, VSM sistemleri ile ne tür çalışmaların yapılabileceği ve sözü geçen sistemlerin çalışma prensipleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

3.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Hakkında Genel Bilgiler

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda elektron demeti kullanılır. Elektron demeti numuneye çarptığında elektronlar ve ışınlar (radyasyon) yayar (Erkoç, 2010). Birincil elektronların numuneye çarpması ile numune yüzeyinden fırlatılan ikincil elektronlar bir dedektör yardımıyla toplanır. Numune yüzeyi çok ince bir elektron ışını demeti ile satırsal olarak taranır. Işını oluşturan birincil elektronların çarpması ile numune yüzeyinden fırlatılan ikincil elektronlar bir dedektör yardımıyla toplanır. Gelen sinyaller dönüşüm ve kuvvetlendirme aşamalarından geçirilerek bir bilgisayar ekranına aktarılır (Güner, 2006). Yüzeyin çıkıntılı yerlerinden çok sayıda ikincil elektronlar saçıldığında bu bölgeler açık, daha derinde bulunan bölgeler koyu olarak görülür. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nun odaklanma derinliğinin büyük olması nedeniyle kırılma yüzeylerini ve yüzeyin diğer ayrıntılarını incelemeye oldukça elverişlidir (Güner, 2006).

Minitom (kesme) cihazla büyüklüğü uygun olmayan numuneler Alüminyum ve Elmas uçlu bıçakla büyüklüğü uygun hale getirilir. Kalıplama cihazla (numune tutucu) parlatma işleminde veya mikroskoba monte etme işleminde zorluk çekilecek küçük numuneler kalıplanarak hem otomatik parlatma diskine sığacak hale getirilir hem de daha kolay monte işlemi sağlanır. Parlatma cihazı ile analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri 1 mm mertebesinde parlatılabilir ve daha pürüzsüz bir yüzey elde edilebi-

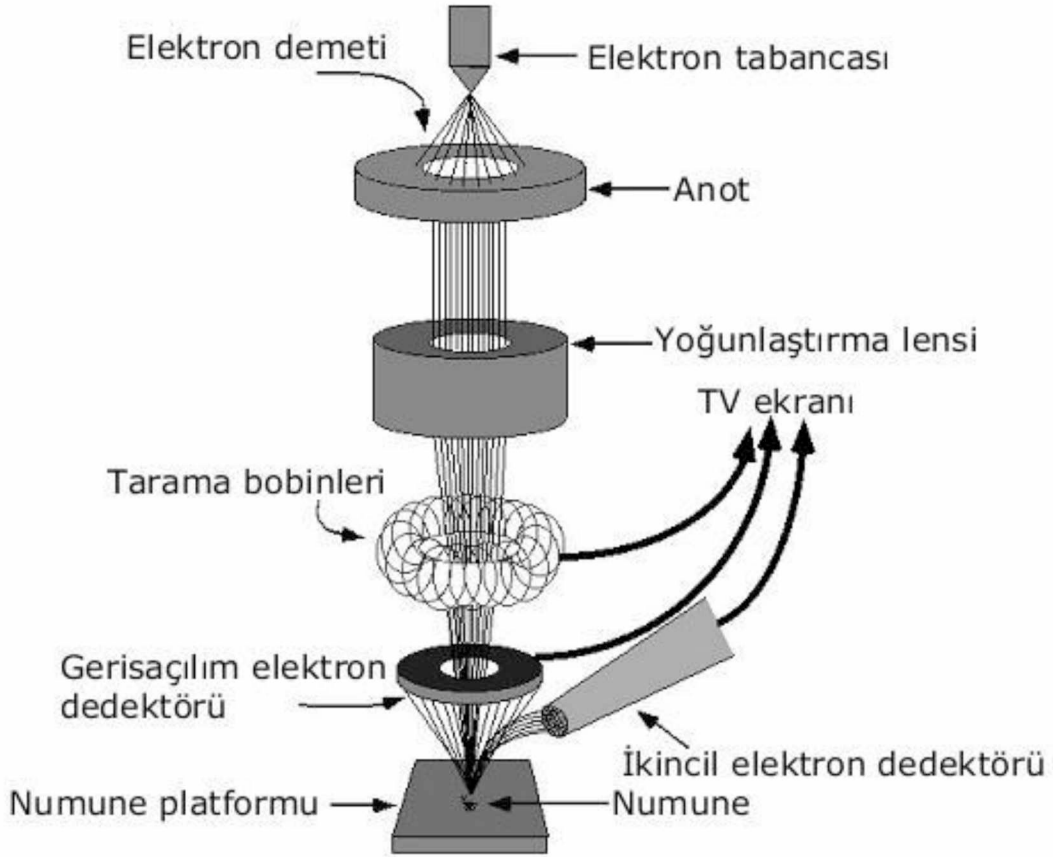
lır. Püskürtme (Sputtering) cihazı ile iletken olmayan numuneler iletken bir tabaka (C, Au-Pd) ile kaplanır. Critical point drier cihazı ile biyolojik numunelerin şeklini ve yapısını bozmadan ve kurutularak SEM’de incelenecek hale getirilir.



Şekil 3.1.Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar.

Elektron-numune etkileşmesi sonucu yayılan ışınlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- X ışınları: Numune atomları hakkında bilgi verir.
- Katot Işması: 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 3.2. Elektron-numune etkileşmesi (Akay, 2013).

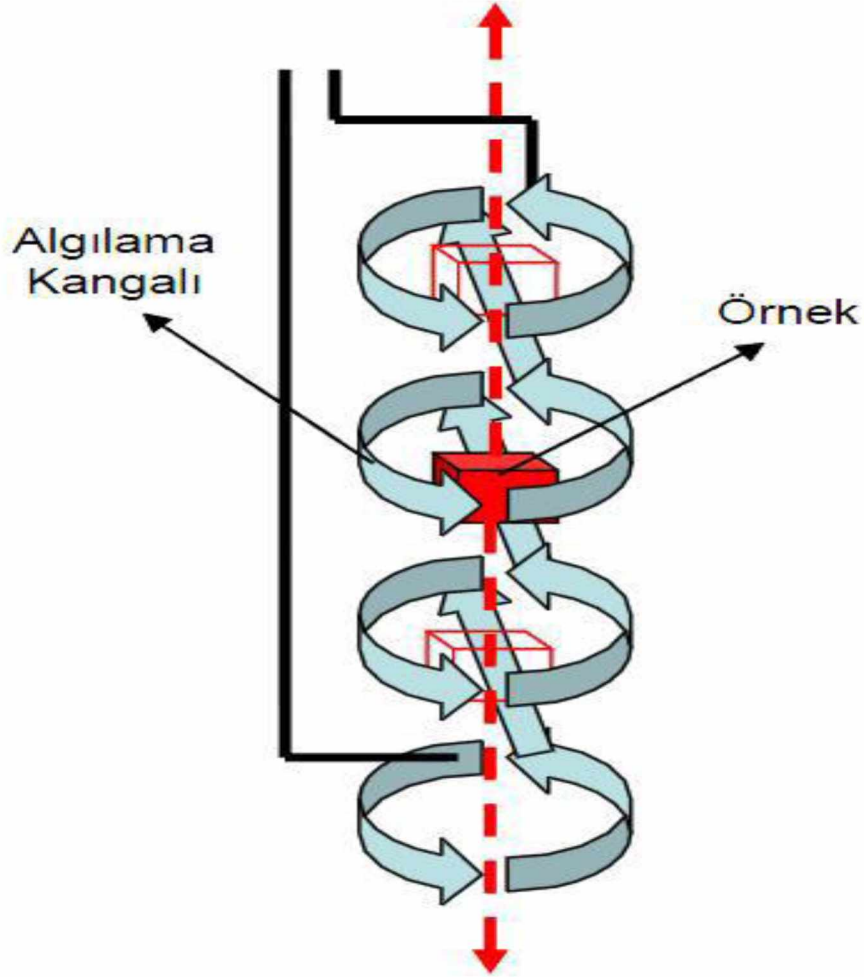
Elektron demetindeki elektronların enerjisi 1-40 kilovolt civarında değişebilir. İncelenen malzeme vakumlu ortamda bulunmalıdır. Elektron kaynağından çıkan elektron demeti birtakım manyetik merceklerden geçtikten sonra odaklanmış olarak malzeme üzerine gönderilir. Gelen elektronlar ile malzeme arasında esnek olmayan çarpışma sonucu malzemedan birtakım elektronlar çıkar, bu tür malzemedan çıkan elektronlara ikincil elektronlar denir. İkincil elektronlar algılayıcılarla (detektör) 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 malzemedan gelir, geri saçılan elektronlar ise elektron demetinden gelir, malzemeye ait değildir, ancak malzeme hakkında sınırlı da olsa bilgi verebilir. Ayrıca ikincil elektronlar malzemedan çıkarken onlarla beraber X-ışını da yayar, X-ışınlarının da ayrıca detektör yardımı ile incelenmesi sonucu malzeme hakkında ilave bilgiler de edinilir.

3.1.2. Titreşimli örnek magnetometresi (VSM)

Malzemelerin manyetik ölçümleri, en az elektriksel ve kristalografik ölçümleri kadar önemlidir (Emen, 2005). Dışarıdan uygulanan manyetik alana karşı tüm malzemeler tepki vermektedir. Uygulanan bu manyetik alan malzeme içerisinde bir manyetizasyona sebep olmaktadır. Malzemenin susebtibilitesi olarakta bilinen bu durum malzemeye uygulanan alana karşı göstermiş olduğu duyarlılıkla ilgilidir (Bulun, 2010). Duyarlılığın ölçüsüne malzemenin manyetik duyunluğu denmektedir. Yani manyetizasyonun, uygulanan alana göre değişim hızı dM/dH , malzemenin duyarlılığının yani uygunluğunun bir ölçüsüdür. Bu durumda dışardan uygulanan alanın malzeme de manyetizasyonun oluşumuna neden olduğunu söyleyebiliriz. Dışarıdan uygulanan manyetik alanın hangi sıcaklıkta gerçekleştiğide önem taşımaktadır. Kritik T sıcaklığının altında ve üstünde malzeme farklı özelliklere sahiptir ve bu T sıcaklığı faz dönüşümünün olduğu sıcaklıktır (Emen, 2005). Titreşimli örnek magnetometresi (VSM) ile incelenen malzemenin manyetik karakterini ortaya koyan manyetizasyon eğrisi deneysel olarak elde edilmektedir. VSM, Forner tarafından geliştirilen elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışmaktadır. Manyetik akı değişiminin indüklenen elektromotor kuvveti (e.m.k.)' ne eşit olduğu kabul edilerek açıklanan elektromanyetik indüksiyon bu metod da örnek sabit manyetik alan içerisine titreştirilir. Manyetik alan içerisinde titreşimli örnek içerisindeki manyetik momentler titreşimin

frekansına paralel olarak salınırlar. Bu titreşimlerin sonucunda algılama bobinlerinde titreşimle orantılı bir gerilim indüklenir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. VSM sisteminde manyetik algılama yapısı

Faz kilitlemeli yükselteç (lock-in amplifier) kullanılarak indüklenen gerilim ölçülmektedir. Ölçüm sonucunda yalnızca titreşim frekansıyla aynı frekansa sahip gerilim okunmaktadır. Okunan bu gerilimin değeri bilinen bir malzeme ile kalibre edilmesi suretiyle örneklerin manyetizasyonu belirlenebilir (Bulun, 2010).

Örnek tutucunun istenen açılarla döndürülmesi ile farklı yönlerde uygulanan manyetik alan altında ölçüm yapılarak, istenen değerler arasında istenen aralıklarla uygulanan manyetik alana karşı ölçülen manyetik moment değerleri ile örneğin histeresis eğrisi elde edilmektedir (Bulun, 2010).



Şekil 3.4. Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM)

3.2. Numunelerin Hazırlanması

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımı, Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü hazırlanmıştır. Fe, Ni, Mn ve Zn elementler %99, 9 saflık derecesinde toz halinde bulunan bu elementler bir araya getirilip yüksek sıcaklıkta eritilerek 1 cm çapında, 10 cm uzunluğunda silindirik çubuklar halinde dökülmüştür. Elde edilen alaşımın kompozisyonu, IXRF sistemi kullanılarak EDS (Elektron Dispersion Spectroscopy) tekniği ile Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn (% ağırlık) şeklinde tespit edildi. Silindirik çubuk şeklindeki alaşım, CNC torna tezgahında elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilerek (5mm) hazırlanan numune ısıtma sırasında, yüksek sıcaklıklarda malzemedeki oksitlenmeyi önlemek amacıyla yüksek sıcaklıklara dayanabilen kuartz cam tüpler içine konuldu ve daha sonra ısıtma işlemi uygulandı.

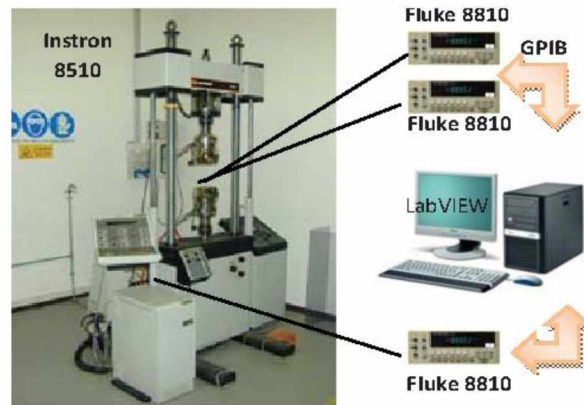
3.2.1. SEM İncelemeleri İçin Numune Hazırlanması

Çubuk halde hazırlanan Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımından, elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilen örnek vakumlanmış kuartz tüpler içine konularak 1100 °C'de 12 saat ısıtma işlemine tabi tutuldu. Daha sonra ısıtma işlemi görmüş alaşım fırından alınarak oda sıcaklığında suda soğutuldu ve CNC torna tezgahında kesici ile 5mm kalınlığında kesilerek 800, 1200, 1800, 2000 ve 2400'lük kalınlıklarındaki su zımparaları ile yüzey pürüzsüzleştirilip 6, 3 ve 1'lik elmas pastaları ile yüzey mekanik olarak parlatılmıştır. Daha sonra yüzeyde oluşan tane sınırlarını, kristal yapılarını göz-

lemleyebilmek için %3 nital (%3 Nitrik asit, %97 Metanol) çözeltisi içerisinde dağlama yapılarak Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda yüzey incelemeleri yapılmıştır.

3.2.2. Zor-Zorlanma Deneyleri için Örneklerin Hazırlanması

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımından, austenite ve deformasyon etkisini incelemek için örneklerden, elmas bıçaklı kesicilerle $4 \times 4 \times 8 \text{ mm}^3$ boyutlarında dikdörtgen prizma şeklinde parçalar kesilerek hazırlandı. Daha sonra bu örnekler üzerine oda sıcaklığında Instron 8510 marka Basma-Çekme test makinesi yardımı ile 0,2 mm/dak. hızla sıkıştırılarak, üzerlerine basma zoru uygulandı.



Şekil 3.5. Instron 8510 Basma-Çekme

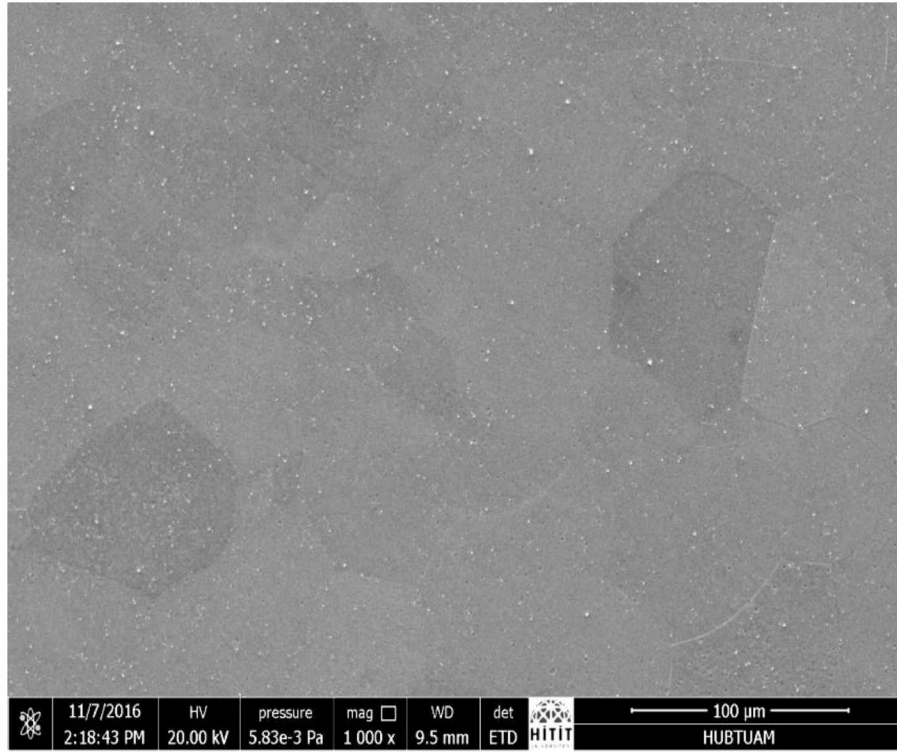
3.2.3. Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) Ölçümleri için Numune Hazırlanması

Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn Alaşımından elde edilen numunelerin Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) ölçümleri Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM) kullanılarak alındı. Alaşımın M-H ölçümleri -10 ile +10 Tesla manyetik alan değerleri arasında 300 K' de yapıldı. Sıcaklığa bağlı mıknatıslanma (M-T) ölçümleri 0.499 kOe sabit manyetik alanda yapıldı. Bu ölçümler sonucunda mıknatıslanma ve histerisis eğrileri elde edilmiştir (Emen, 2005).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn Alaşımında Oluşan Martensite Yapının Tara- malı Elektron Mikroskobu (SEM) ile İncelenmesi

Deformasyon yolu ile elde edilen Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında austenite yapıdan martensite yapıya geçiş atermal özellik göstermiştir. Atermal martensite yapının özelliği çok kısa zaman içerisinde patlama şeklinde meydana gelmesidir. İzotermal yapıdan morfolojik olarak farklı olarak meydana gelen bu yapının morfolojisi ve manyetik özellikleri çıkarılmaya çalışılmıştır. Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında atermal martensite incelemeleri için alaşımlar 1100 °C' de 12 saat ısıtım işlem uygulandıktan sonra bu sıcaklıktan alınarak oda sıcaklığındaki su içerisinde soğutulmuştur. Hazırlanan numunenin oda sıcaklığında yapılan mikroskop incelemelerinde alaşımın austenite yapıda olduğu gözlenmiştir ve numuneye ait austenite yapı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında oluşturulan austenite yapının SEM fotoğrafı

4.2. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn Alaşımında Deformasyonun Etkisi ile Oluşturulan Martensite Fazın İncelenmesi

Austenite yapıda bulunan örnek üzerine deformasyonun etkisini incelemek için örnek üzerine basma zoru uygulanarak, zor-zorlanma deneyleri yapıldı.

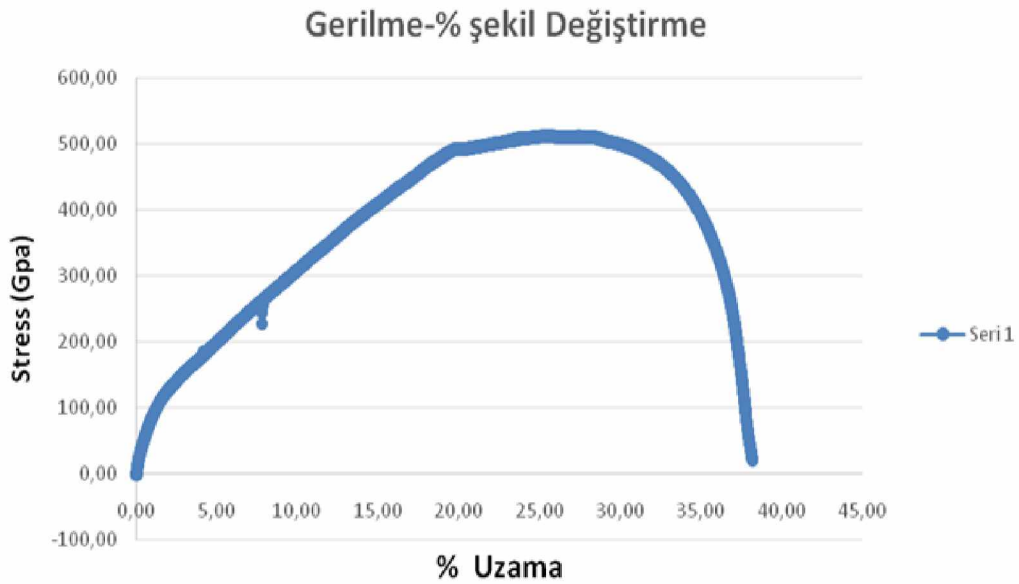
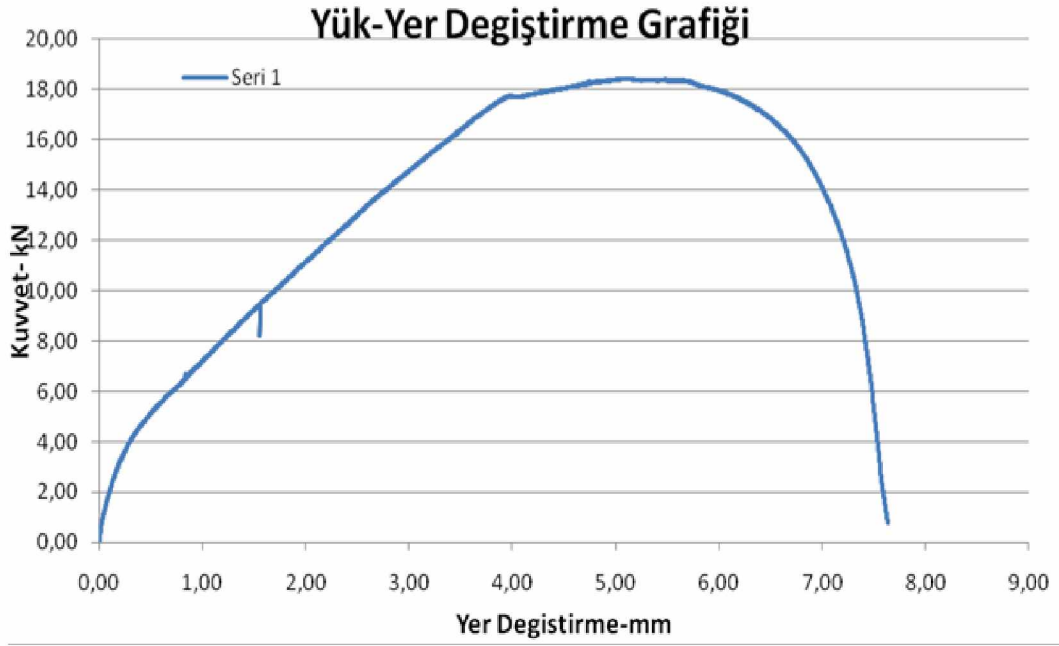
4.3. Zor-Zorlanma Deneyleri

Örneğe ait basma zoru davranışını gösteren zor-zorlanma eğrisi şekil 4.2' de verildi. Demir bazlı alaşımlarda martensitik dönüşümün önemi bilindiğinden austenite fazda bulunan örnek koparılanaya kadar basma zoruna maruz bırakıldı ve maksimum zorlanma değerlendirildi. Alaşımdan elde edilen Örnek yaklaşık % 35 deformasyon oranına kadar elastiklik özelliği gösterdi. Zorun 500 GPa' ı aşması halinde elastiklik sınırının aşıldığı gözlemlendi. Elastiklik sınırı aşıldığında malzeme plastik davranış sergiler. Zorun artması ile dislokasyonlar hareket etmeye başlar ve kayma meydana gelir. Kaymanın neden olduğu şekil değişimi kalıcıdır. Kaymanın başladığı nokta elastik ve plastik davranışı ayıran noktadır (Nishiyama, 1978.; Askeland 2003).Yapılan deneyde maksimum %38 uzama görülmüştür. Dayanımımız ise 500 Gpa'dır. Bu değer malzemenin dayanabileceği en yüksek değerdir. Ama deformasyon başlangıcı dayanımın en yüksek olduğu yerde % uzama 25'ten itibaren başlamaktadır. Burdan sonra alaşım artık deformasyona uğruyor.

Çizelge 4.1. Elastik modül, akma dayanımı, kırılma noktası ve verim gücü

Elastik Modül	Kırılma Noktası	Akma Dayanımı	Yüksek Verim Gücü	Enerji
N/mm ²	mm	kN	kN	Joule
8587,61	7,62492	3,53111	9,47479	102,102

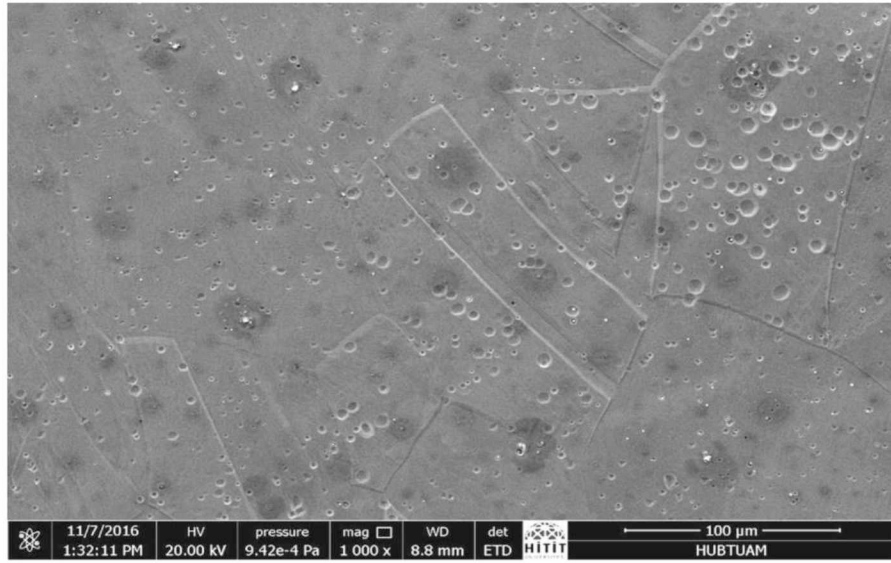
Çizelgede elastik modülü $8587,61 \text{ N/mm}^2$ kırılma noktası $7,62492 \text{ mm}$, akma dayanımı $3,53111 \text{ kN}$, yüksek verim gücü $9,47479 \text{ kN}$ olarak bulundu. Bu değerler ideal değerlere çok yakın değerlerdir.



Şekil 4.2. Gerilme - % şekil değiştirme grafiği

4.4. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn Deformasyon ile Oluşan Faz Dönüşümlerinin SEM ile İncelenmesi

Deformasyon yolu ile oluşturulan martensite plakaları Şekil 4.3’de verilmiştir. Alaşımında deformasyon etkisi ile oluşmuş martensite morfolojisinin “lath martensite” şeklinde ortaya çıktığı da bu deneylerle belirlenmiş oldu.



Şekil 4.3. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında deformasyon yolu ile oluşturulan martensite morfolojisi.

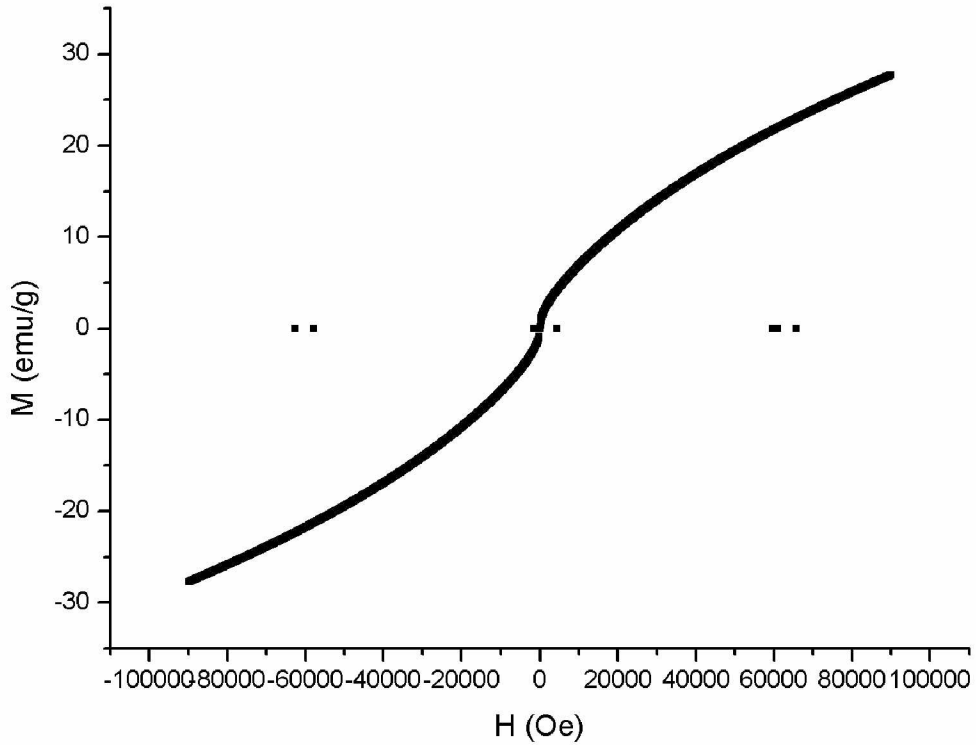
4.5. Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımının VSM Yöntemi İle İncelenmesi

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımından elde edilen numunenin Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) ölçümleri Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM) kullanılarak alındı. Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) ölçümleri -10 ile 10 T alan değerleri arasında 300 K’ de alındı. Zor uygulanmış numunenin Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) grafiği Şekil 4.4’de verilmiştir.

Numunenin Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) eğrisi incelendiğinde ferromagnetik bir davranış meydana geldiği gözlenmiştir. Numunenin doyum mıknatıslanma değeri yaklaşık 23 emu/g bulunmuştur.

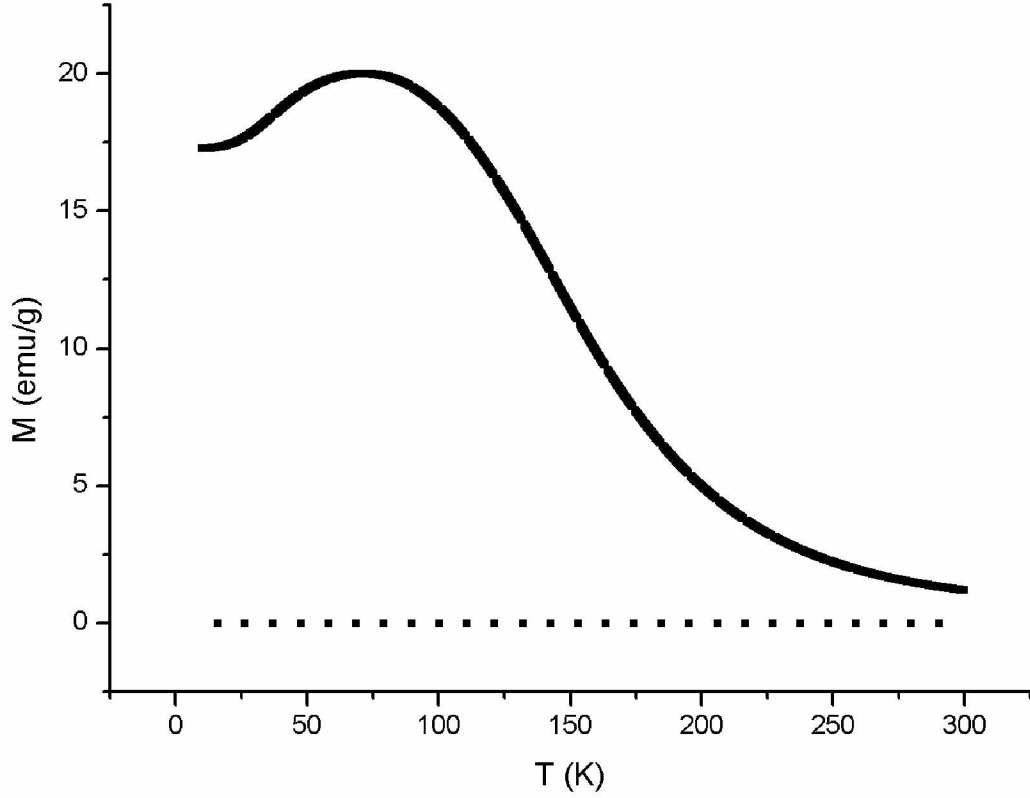
Numunenin (M-H) grafiğinden görüldüğü gibi uygulanan dış manyetik alanla numunenin toplam mıknatıslanma değeri artmıştır. Bu sonuç, dış alanın daha fazla atomik manyetik momenti düzenlemesinden kaynaklanır (jilles). Örneğin M-H eğrisinden elde edilen diğer bir değerde zorlayıcı alan değeridir. Bu değer yaklaşık 47 Oe olarak elde edilmiştir. Bu değer oldukça yüksektir. Bu sonucun yüksekliği uygulanan deformasyona bağlanmıştır.

Manyetik malzemelerin çoğunda, doygunluk mıknatıslanması ve zorlayıcı alan değeri; mikro yapı, tane büyüklüğü, yapı ve kusurlar gibi özelliklerin etkisi ile en üst düzeye çıkarılabilir (Güler ve ark., 2017; Chaturvedi ve ark., 2014.; Lucis ve ark., 2014).



Şekil 4.4. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn Alaşımından elde edilen martensite yapının Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) Eğrisi.

Birçok manyetik malzemede, tane ve yapı kusurları içeren mikroyapı; zorlayıcı alan ve doyum mıknatıslanması gibi özellikleri maksimum değere ulaştırmada kritik bir rol oynamaktadır. (Chaturvedi ve ark., 2014; Lucis ve ark., 2014).



Şekil 4.5. Fe-27% Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımından elde edilen martensite yapıya ait (M-T) grafiği.

Şekil 4.5 Numunenin sabit manyetik alan 0.499 kOe' de alınan sıcaklığa bağlı grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde; 75 K'de pik yaptığı yaklaşık 226 K sıcaklığında net bir azalma göstererek sabit duruma geçme davranışı sergilediği görülmüştür. Bu sıcaklık örneğin ferromagnetik davranıştan çıkıp paramagnetik davranış sergilediği Curie sıcaklığıdır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada Fe-27% Ni-%4 Mn%1 Zn alaşımının belirli bir sıcaklık ve ısıtma işlemi sonrası alaşımın %35 deformasyon uygulanması ile mekanik, manyetik ve morfolojik özellikleri incelendi.

Martensite yapının morfolojik özelliklerini SEM’de incelemek için, alaşıma 1100°C’ de 12 saat ısıtma işlemi uygulanmış ve fırın içerisinden alınarak oda sıcaklığındaki su ile soğutulmuştur. Fe-27% Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımından elde edilen numunenin austenite fazda olduğu SEM görüntülerinde bulunmuştur. Diğer taraftan ise %35 deformasyon uygulanan numunede oluşan deformasyon etkili martensite yapı elde edildi. Bu tip bir morfolojinin Fe bazlı alaşımlarda sık görüldüğü, Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımının %35 deformasyon etkiyle lath martensite morfolojisine uygun bir yapı elde edilmiştir. Deformasyon etkisi sonucu oluşan martensitin manyetik özelliklerini Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında gözlemlemek için numune bir Quantum tasarım PPMS-9t fiziksel özellik ölçüm sistemi kullanılarak ölçülmüştür.

Bu ölçümler sonucunda mıknatıslanma ve histeresis eğrileri elde edilmiştir. Fe çekirdeğinin sahip olduğu iç manyetik alan değerleri, ona komşu olan atomların sayısına ve uzaklığına bağlı olarak değişir. Fe çekirdeğine her komşu olan Fe atomu, Fe çekirdeğinin iç manyetik alan değerini yükseltirken; Fe çekirdeğine komşu olmayan her Fe atomu bu iç manyetik alan değerini azaltır (Gruverman, 1967; Gütllich ve ark.,1978).

Fe-27% Ni-% 4 Mn% 1 Zn alaşımında numunenin Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) eğrisi incelendiğinde ferromagnetik bir davranış meydana geldiği gözlenmiştir. Numunenin doyum mıknatıslanma değeri yaklaşık 23 emu/g bulunmuştur. Numunenin (M-H) grafiğinden görüldüğü gibi uygulanan dış manyetik alanla numunenin toplam mıknatıslanma değeri artmıştır. Bu sonuç, dış alanın daha fazla atomik manyetik momenti düzenlemesine bağlandı. Örneğin M-H eğrisinden elde edilen diğer bir değerde zorlayıcı alan değeridir. Bu değer yaklaşık 47 Oe olarak elde edil-

miştir. Bu değer oldukça yüksektir. Bu sonucun yksekligi uygulanan deformasyona bağlanmıştır.

Bu tez çalışmasının orijinalligi literatürde Fe, Ni, Mn elementlerine Zn elementinin etkisi hatta bu etkinin deformasyon karakterizasyonun ortaya konulmasıdır. İlerleyen çalışmalarda gerek dördüncü element olarak Zn elementinin yüzdeleri değiştirilebilir ya da Zn elementi yerine farklı türdeki (Cr, Mo, V) gibi dördüncü alaşımlama elementi ile çalışma genişletilebilir. Isıl işlem koşulları değiştirilerek yani 1000 °C derecede 1 hafta bekletilerek, birden sıvı azotta soğutulularak değişik etkiler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akay M. S., 2013. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Amar K. DE., David C. Murdock, Martin C. Matarya, John G. Speer and David K., 2004. Quantitative measurement of deformation-induced martensite in 304 stainless steel by X-ray diffraction. Scripta Materialia, p 1444-1449.
- Anonim, 2012. Malzeme Bilgisi, RÜ. Faz Diyagramları, https://rahmiunal.net/dersler/malzeme/mb_07_fazlar.pdf (04.05.2017)
- Anonim, 2018. Los Alamos National Laboratory – Demir (İng.) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir> (25.03.2017).
- Askeland Donald R. 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Aydoğdu, A., 1995. Şekil Hatırlamalı Cu- Al-Ni Alaşımlarındaki Martensitik Dönüşümler Üzerinde Termal Yaşlandırma Etkileri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâziğ.
- Bergman, S. J. 1778. Bizmut ve Antimon ile yaptığı deneylerde manyetik alanları ittiğini görmüştür.
- Bikas, C. M., Krishnan M. ve Rama Rao V. V., 2003. Metall. Mater. Trans. , 34A, 1029.
- Bowles, J. S., Maackenzie, J. k., 1954. The crystallography of martensite transformations III. Face centered cubic to body centered tetragonal transformation Acta Metallurgica, 2:224.
- Bulun, G., 2010. 3d- Geçiş Metali Ni Katkılı Zn_{1-x}Ni_xO ve 4f-Lantanit Gd Katkılı Zn_{1-x}Gd_xO Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Callister, J. W. D., 2003. Materials Science and Engineering: An Introduction, 6th Edition, John Wiley and Sons Inc.
- Callister, Willam D. Jr., 2007. Materials Science and Engineering: An Introduction. (İngilizce).

- Chaturvedi, A., Yaqub, R., Baker, I., 2014. Microstructure and Magnetic Properties of Bulk Nanocrystalline MnAl. *J. Phys. Cond. Matter* 26, 064201.
- Christian J.W., 1975. *The Theory of Transformations in Metals and Alloys*, Pergamon Press, London.
- Christian, J.W., 1965. *The Theory of Transformations in Metals and Alloys*, I. Edition, Pergamon Press, Oxford.
- Clapp, P. C., 1985. *Proceedings ICOMAT 95*, C.8-11, Lausanne.
- Cotes S. M., Cabrera A. F., Damonte L. C., Mercader R. C., Desimoni J., 2002. *Physical B: Condensed Matter*, 320, 274.
- Durlu T.N., 1992. *J. Mater. Sci. Lett.* 11, 702.
- Durlu, T. N., 1989. *Katıhal Fiziğine Giriş*, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü.
- Durlu, T. N., 2001. *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi* 13(1), 1.
- Durlu, T.N., 1991. *Metal Fiziğine Giriş*, Ders Notu, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara.
- Emen, F., 2005. +3 değerli demir ve nikel iyonları içeren $\text{Fe}_1\text{-xNi}_x\text{O}_2$ bileşiklerinin manyetik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Erkoç Ş., Ocak 2010. <https://www.scribd.com/document>. Nanobilim ve nanoteknoloji.
- Gall K., Sehitoglu H., Maier H. J. and Jacobus K., 1998. Stress-induced martensitic phase transformations in polycrystalline CuZnAl shape memory alloys under different stress states. *Metall. Mater. Trans. A*, 29A, 765.
- Georgiyeva, I. Ya., Izotov, V. I., Utevskiy, L. M. ve Khandarov, P. A., 1971. Structural and crystallographic characteristics of isothermal martensite in Fe-24Ni-3Mn alloys. *Fiz. Metal. Metalloved.*, 32, 3, 623-631.
- Golovin, I. S., Nilsson J. O., Serzhantova, G. V., Golovin, S. A., 2000. *J. Alloys and Comp.*, 310, 411.
- Greninger, A. B. and Troiano, A. R., 1949. The Mechanism of Martensite Formation, *Trans AIME* 185, 590.

- Guner, M., Akturk, S., Aktas H., 2004. Department of Physics, Science and Arts, Faculty of Kırıkkale University, Yahsihan 71450, Kırıkkale, Turkey.
- Güler, E., 2005. Fe-%29Ni-%2Mn Alaşımında Farklı Etkilerle Oluşan Martensitenin Bazı Fiziksel Özellikleri. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Günay, E., 2000. Erciyes Üni. Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü Ders Notları.
- Güner, M., 2006. Fe-%30 Ni-%5 Cu Alaşımında farklı etkilerle oluşan martensitenin bazı fiziksel özellikleri. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Güngüneş H., 2005. Fe-%24.5Ni-%4.5Si Alaşımında Austenite Martensite Faz Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Halliday, D., Resnick, R., 1923. (Cengiz Yalçın trans.), Fiziğin Temelleri.
- Himuro, Y, Kainuma R., and Ishida K., Ikeda, O., 2001. J. de Phys IV., 11, 205.
- Himuro, Y., Kainuma R., and Ishida K., 2002. ISIJ Int., 42, 184.
- Inagaki, H., Z., 1992. Shape Memory Effect of Fe-14%Mn-6%Si-9%Cr-6%Ni Alloy Polycrystal Metallkd. 83,90.
- Jiles, D., 1991. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials 1st. Edition, Champmann and Hall, London.
- Jun, J.H., Kong, D.K., Choi, C.S., 1998. The influence of Co on damping capacity of Fe–Mn–Co alloys. Materials Research Bulletin Vol. 33, No. 10 1419–1425. Doi:10.1016/S0025-5408(98)00145-7.
- Kahveci N., 1997. İnhomojen Ortamdaki Elipsoidal Bölgelerin Esneklik Alanları ve Enerjileri, Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kajiwarra, S., 1992. Mater. Trans., JIM, 33 No:11,1027.
- Kakeshita T., Kriowa K., Shimizu K., Ikeda T., Yamagishi A. And Date M., 1993. Effect of Magnetic Fields on Athermal and Isothermal Martensitic Transformations in Fe-Ni-Mn alloys. Mater, Trans. JIM, 34, 415.

- Kakeshita, T., Sato Y., Saburi, T., Sihimizu, K., Matsuoka, Y., and Kinda, K., 1999. Materials Transactions, JIM, 40, 2, 100-106.
- Kakeshite, T., Sato, Y., Sabura, T., Matsuako Y. and Kinda, K., 1999. Mat. Trans. JIM 34 (5), 415.
- Karaman, I., Şehitoğlu H., Maier, H. J., Balzer, M., 1998. Metall. Mater. Trans. A, 29A, 427.
- Kaufman L. and Cohen M., 1958. Thermodynamics and kinetics of martensitic transformations, in Progress in Metal Physics, Vol. 7, B. Chalmers and R. King, eds., Pergamon Press, New York, pp. 165–246.
- Kaufman L. and Cohen, M., 1956. Ins. Metals Monograph, No 18, p. 187 London.
- Kılıçkaya, M. S. 1996. Editör: Yrd. Doç. Dr. Ali Cemalcılar, “Temel Fizik”, T.C. Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 674, Açıköğretim Fakültesi Yayınları No: 331, ISBN 975 – 492 – 348 – 5.
- Kırım, S., 1979. Faraday Sistemi ve Manyetik Alınganlık Ölçümü, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Kittel, C., Çeviri: Karaoğlu, B., 1996. Katılmal Fiziğine Giriş, Bilgitek Yayıncılık, İstanbul.
- Köksal, M., 2012. Fe-%18,79Mn-%4,53Ni Alaşımında Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Küçük, Ş., 2004. Fe-%15Mn-%2Cr Alaşımında Gözlenen Difüzyonsuz Faz Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Lucis, M.J., Prost, T.E., Jiang, X., Wang, M., Shield, J.E. 2014. Phase transitions in mechanically milled Mn-Al-C Permanent magnets. Metals 4, 130.
- Marinelli P., Fernandez A., Sade M., 2004. The Enthalpy Change of Hcp to Fcc Transformation in Fe-Mn-Co Alloys: Composition Dependence and Thermal Cycling Effects, Materials Science and Engineering A373, 1- 9.

- Martinez, J., Cotes, S.M., Cabrera, A.F., Desimoni, J., Fernandez Guillermet, 2005. On the relative fraction of ϵ martensite in γ -Fe-Mn alloys. *Materials Science and Engineering: A* 408, 26-32.
- Nagy, E., Mertinger, V., Tranta F. and Solyom, J., 2004. Deformation induced martensitic transformation in stainless steels. *Material Sci. And Eng: A*, 378, 308-313.
- Nishiyama Z., 1934. Mechanism of transformation from face-centred to body-centred cubic lattice. *Sci Rep Tohoku Imp Univ.* 23, 637-664.
- Nishiyama, Z., 1978. *Martensitic Transformation*, Academic Press, London, 304.
- Onaran, K., 2006. *Malzeme Bilimi*. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 47.
- Otte, H. M. 1957. *Acta Met*, 5, 614.
- Özcan, R., 2006. Fe-%3,1Ni-%0,6Cr-%0,2Si-%0,2Mn Alaşımındaki Kristalografik Faz Dönüşümlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Porter D.A., Easterling K. E., 1981. *Phase Transformations in Metals and Alloys*, Chapman and Hall, London, 393.
- Rao C. N. R., Rao K. J., 1982. *Phase Transition in Solids*, Mc Graw-Hill Inc., New York.
- Read R.E., 1970. *Physical Metallurgy Principles*, International Student Edition, NewYork, USA.
- Sarı U., Kırındı T., Yüksel M. and Ağan S., 2009. Influence of Mo and Co on the magnetic properties and martensitic transformation characteristics of a Fe-Mn alloy *Journal of Alloys and Compounds*, (476) 160-163.
- Savaşkan, T., 1977. *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Birsen Yayınları, İstanbul, 175.
- Savaşkan, T., 1999. *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Derya Kitabevi, Trabzon, 212.
- Seo, S. B., Leem, D. S., Jun J. H. ve Choi, C. S., 2001. *ISIJ Int.*, 41, 350.
- Sun, E. X., Yang, D. Z., Hsu, T. Y., Yang, F. M., Zhao, Y. W., 1989. Pulsed Magnetic Field-induced Martensitic Transformation in an Fe-21Ni-4Mn Alloy. *ISIJInt.*, (29), No:2, 154-157.

- Takaki, S., Nakatsu, H., Tokunaga, Y., 1999. Effects of Austenite Grain Size on ϵ Martensitic Transformation in Fe-15mass%Mn Alloy. *Materials Transactions, JIM*, (34), No:6, 489-495.
- Wayman, C. M., 1990. The Growth of Martensite Since E. C. Bain (1924)-Some Milestones, *Material Science Form*, (56-58), 1-32.
- Wayman, C.M., 1980. Some Applications of shape-memory Alloys, *JOM: the Journal of the Minerals, Metals and Material Society*, 32(2), 129-137.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : İlyas GÜL
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.02.1972 – Kahramanmaraş/Türkoğlu
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 5223016
 e-mail : ilyasser@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi/ Fen-Ede Fizik Böl.	1997
Lise	Yakacık Lisesi	1989

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
03/1997- ...	Milli Eğitim Bakanlığı	Fizik Öğretmeni-Yönetici

Yabancı Dil

İngilizce

Yayımlar

Güler Melek, Aldırmaz Emine, Gül S, Gül İ, Güler Emre (2018). Structural and Magnetic Properties of Thermal- and Deformation-Induced Martensite in an Fe-27Ni-4Mn-1Zn Alloy. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 31(2), 381-386., Doi: 10.1007/s10948-017-4215-1.

Gül, İ. 2017. Deformation effect on magnetic properties of ferromagnetic Fe27%Ni-4%Mn-1%Zn Alloy Turcmos- (Uluslararası Fizik Kongresi Sunum), 26-29.August 2017. Muğla Sıtkı Koçman University, Bodrum.

Gül, İ., Güler, M., Aldırmaz, E., Güler, E., 2017. Magnetic properties of deformation induced martensite in a Fe-27%Ni-4%Mn-1%Zn (wt.%) alloy Turcmos- (Uluslararası Fizik Kongresi Poster), 26-29. August 2017. Mugla Sıtkı Koçman University, Bodrum