

Ömer Baris AYTAR

Yüksek Lisans Tezi  
FİZİK ANABİLİM DALI  
ISPARTA-2004

**T.C.**  
**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fe TABANLI BAZI ALASIMLARIN MEKANİK DAVRANISLARININ**  
**İNCELENMESİ**

**ÖMER BARIS AYTAZ**

**Danismani : Prof. Dr. Nazim UÇAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**

**İSPARTA, 2004**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından FIZIK ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nazim UÇAR .....

Üye : Prof. Dr. Ali KÖKÇE .....

Üye :Yrd. Doç. Dr. Orhan UZUN.....

ONAY

Bu tez S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü yönetim Kurulu ....../...../2004 tarih ve ..... sayılı kararınca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../2004 tarihinde kabul edilmiştir.

...../...../ 2004

**S.D.Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**  
Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
TESEKKÜR .....	iv
SIMGELER DİZİNİ .....	v
SEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. TEORİK BİLGİLER .....	6
2.1. Giriş .....	6
2.2. Kristal Kusurları .....	6
2.3. Deformasyon .....	12
2.3.1. Elastik, Plastik Deformasyon ve Hooke Kanunu .....	12
2.3.2. Zor .....	13
2.3.3. Zorlanma .....	14
2.4. Deformasyon Karakteristikleri .....	18
2.4.1. Sıcaklığın Etkisi .....	19
2.4.2. Çekme Hızının Etkisi .....	21
2.4.3. Alasimlandırma .....	21
2.4.4. Kristal Kusurlarının Etkisi .....	22
3. DENEYSEL İŞLEMLER .....	23
3.1. Giriş .....	23
3.2. Deney Sistemi .....	23
4. TARTISMA VE SONUÇ .....	34
5. KAYNAKLAR .....	37
ÖZGEÇMİŞ .....	39

## ÖZET

Metal ya da alasimlarin kullanım amaçlarına uygun olarak mekanik davranislarinin önceden bilinmesi gerekir. Böylece amaca uygun olarak malzeme üretmek veya mevcut malzemeleri uygun alanlarda kullanmak mümkün olabilmektedir. Malzemelerin davranislarinin bilinmesi onların uygun sartlar altında test edilmesi ile mümkün olabilmektedir. Iste bu çalışma da Fe-Mn ikili alasimlarinin sıcaklık, çekme hizi ve konsantrasyon gibi deformasyon parametreleri altında mekanik davranisları arastirilmistir.

Alasimler önce uygun ebatlarda kesilmiş, sonra bazıları ısıtılma tabii tutularak malzemelerin deformasyon davranisları üzerine sıcaklığın etkisine bakılmistir. Ayrıca amaca uygun olarak değişik konsantrasyonlarda hazırlanan Fe-Mn ikili alasimleri, değişik çekme hizlarında da çekme işlemine tabii tutularak bu alasimların deformasyon davranisları üzerine konsantrasyon ve çekme hizinin etkisine de bakmak mümkün olabilmistir.

Alınan ölçüm sonuçları ve değerlendirmelerden sonra; alasimların akma zoru ve maksimum zor gibi temel deformasyon davranisları üzerine çekme hizi ile sıcaklığın ters etki yaptığı, diğer yandan konsantrasyonun da akma zoru ve maksimum zor gibi alasimların temel mekanik özellikleri üzerinde önemli etkisinin olduğu sonucuna varılmistir. Elde edilen sonuçlar kristal kusurları ile izah edilmistir.

**ANAHTAR KELIMELER:** Fe-Mn ikili alasimleri, çekme hizi, konsantrasyon, sıcaklık

## **ABSTRACT**

It is essential to know the mechanical behaviors of metal or alloys by their usage aims. So it will be possible to use the present materials in appropriate areas and produce materials as it is subjected. It is possible to know the behaviors of materials by testing them under the right conditions. In this research it has been searched the deformation parameters of Fe-Mn binary alloys such as temperature, strain rate and concentration.

Firstly, the alloys were cut in right size then some of them were subjected to temperatural work to see the effect of temperature over the deformation behaviors of materials. So, the Fe-Mn binary alloys that prepared in different concentrations appropriately, they subjected to different strain rates, it has been possible to see the effect of strain rate and concentration over the deformation behaviors of these alloys. After the results and assessment it has been understood that the strain rate and temperature make contrary effect over the main deformation behaviors such as yield stress and maximum stress of alloys, on the other hand; the concentration has a important effect on the main mechanical properties of alloys such as yield stress and maximum stress. The present results have been explained by crystal defects.

**KEY WORDS:** Fe-Mn binary alloys, strain rate, concentration, temperature

## TESEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Ana Bilim dalı yüksek lisans programı çerçevesinde hazırlamış olduğum " Fe Tabanlı Bazı Alasimların Mekaniksel Davranışlarının İncelenmesi" konulu bu tez için kaynaklarını esirgemeyen, büyük ilgi ve yardımlarını her daim sunan sayın hocam Prof. Dr. Nazim UÇAR'a en içten şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışma yaptığım süre içerisinde bana her türlü desteği ve imkanları tahsis eden Kirikkale Üniversite'den Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk AKTÜRK'e, Atatürk Üniversitesi Erzurum Sağlık M.Y.O Müdürü Yrd. Doç. Dr. Ercan EKİNCİ'ye, Süleyman Demirel Üniversitesi Fizik bölümünden Ars. Gör. Osman SAHİN'e ve Atatürk Üniversitesi Erzurum M. Y. O. Otomotiv Bölümü teknikerlerine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mesai arkadaşlarım Mehmet PARMAKSIZ'a, Bilgisayar formatörü Cumali BOZKURT'a, Mustafa KURTER'e, Ayşe SARP'a ve bana gece gündüz demeden destek veren Nuriye GÖÇER'e kocaman teşekkürler.

Son olarak beni bugünlere getiren ve sürekli olarak destek veren aileme en içten şükranlarımı sunarım...

Temmuz 2004

Ömer Barış AYTAR

## SIMGELER DIZINI

$n/N$	T sicakliginda atom basina düşen bosluk sayisi
A	Entropi terimi
E	Bir boslugun ortaya çıkması için gerekli olan enerji büyüklüğü
k	Boltzman sabiti
T	Sicaklik
$\theta$	Dislokasyon çizgisinin burgers vektörü ile yaptığı açı
$\vec{b}$	Burgers vektörü
$\epsilon_x$	x eksenini boyunca atomun $a_0$ dan a'ya gelmesi için gerekli zorlanma olup, sikisma veya gerilme durumları için pozitif veya negatif olabilir.
Y	Lineer esneklik (Young ) modülü
$\sigma$	Zor
$\epsilon$	Zorlanma
$a, a_0$	Mesafeler
$\Delta\sigma$	Ani sicaklik değişimlerinde akma zoru değişimini $\sigma'$ da sicaklik değişiminden önce veya sonra gösteren akma zorudur
C	Bir sabite
m	Exponent degeri



## SEKILLER DIZINI

	Sayfa
Sekil 2.1. Bosluk ve arayerde bulunan atom .....	7
Sekil 2.2. a. Schottky kusuru; b. frenkel kusuru .....	7
Sekil 2.3. a. Kayma, b. ikizleme türü hacimsel kusurlar .....	8
Sekil 2.4. a ve b. Makaslama zoru tesirinde kenar dislokasyonunun oluşumu; c. basit kübik yapıda kenar dislokasyonunun görünüsü .....	9
Sekil 2.5. a. Vida dislokasyonunun görünüsü; b. vida dislokasyonu etrafındaki atomların dizilisi, ABCD kayma düzlemi, AD dislokasyondur. İçi bos daireler kayma düzlemi üzerindeki, içi dolu daireler ayma düzleminin altındaki atomları göstermektedir .....	10
Sekil 2.6. a. Makaslama zorları tesirinde karışık dislokasyonun oluşumu; b. kaymış ve kaymamış bölgeler; c. Karışık dislokasyonda burgers vektörü .....	11
Sekil 2.7. Çekme zoru .....	13
Sekil 2.8. Çekme ve makaslama zorları .....	14
Sekil 2.9. a. Çekmeden önce, b. çekme etkisinde eksen boyunca ve yanal yer değiştirme .....	15
Sekil 2.10. Eksensel uzama ve yanal daralma ile ilgili olarak poisson oranı .....	16
Sekil 2.11. Genel bir zor-zorlanma eğrisi ve üzerindeki kritik noktalar .....	17
Sekil 2.12. Zor'un çeşitli aşamalarında malzemede meydana gelen fiziksel değişimler .....	18
Sekil 2.13. a. Yüzey merkezli kübik metallerde; b. hacim merkezli kübik metallerde gerilme uzama değişimleri .....	19
Sekil 2.14. Ni monokristalinde; a. zor-zorlanma eğrileri üzerine sıcaklığın etkisi b. zorlanmanın zaman ile değişimi .....	20
Sekil 3.1. Deney sistemi genel görünüsü .....	23
Sekil 3.2. Çekme testinin yapılabilmesi için Ekinci tarafından imal edilen sistemin genel görünüsü .....	25
Sekil 3.3. Çekme testinin yapıldığı sistemin görünüsü .....	26
Sekil 3.4. Çekme cihazının sematik resmi .....	27
Sekil 3.5. Programın açılış menüsü .....	28

Sekil 3.6. Test ile ilgili teknik veri giris menüsü .....	28
Sekil 3.7. Kuvvet-Yüzde uzama diyagramı .....	29
Sekil 3.8. Fe – 0.76 % Mn alasiminin 3 mm/dak.'lik çekme hizi ve 300 K' deki kuvvet-uzama grafiği .....	30

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	Sayfa
Çizelge 3.1. Fe-Mn alasimlarinin akma ve maksimum zor degerleri üzerine Mn konsantrasyonunun etkisi .....	31
Çizelge 3.2. Fe-0.34 % Mn alasiminda akma zoru üzerine sicakligin etkisi .....	31
Çizelge 3.3. Fe-0.34 % Mn alasiminda maksimum zor üzerine sicakligin etkisi ..	32
Çizelge 3.4. Fe-0.42 % Mn alasiminda akma zoru üzerine çekme hizinin etkisi ..	32
Çizelge 3.4. Fe-0.42 % Mn alasiminda akma zoru üzerine çekme hizinin etkisi ..	32
Çizelge 3.5. Fe-0.42 % Mn alasiminda maksimum zor üzerine çekme hizinin etkisi .....	33

## 1. GIRIS

Kristal cisimlerin plastik deformasyonu ve onunla birlikte vuku bulan sertlesme, çatlama gibi olaylar 20. yüzyilin baslarinda çok genis çalismalara konu oldugu halde, olaylarin atomsal ve moleküler seviyede anlasilmasi ancak son zamanlarda, teorik olarak mümkün olabilmistir. Bu yavas ilerlemenin nedeni olaylarin bünye itibari ile heterojen olusudur.. Dolayisiyla, elastisite ve plastisite teorisinde oldugu gibi malzemeyi, izotrop ve sürekli olarak kabul ederek tarif edilen gerilme, zorlanma ve zorlanma hizi gibi parametreler atomsal mertebede kifayetsiz kalmakta; bunlara ilaveten malzeme içindeki heterojenliklerin, miktar dagilim ve hareket hizlarinin bilinmesi gerekmektedir.

1912 yilinda Laue'nin x-isini difraksiyonu üzerindeki çalismalari ile metallerin kristal yapıya sahip olduklari anlasildi ve kristal yapı özellikleri deneysel olarak incelendi. 1930 lu yıllarda Born ve diger araştırmacılar mükemmel kristallerin teorisini (Read, 1953) geliştirdiler. Ancak bu teorinin, elastik sabitler, özgül isi, isil genlesme katsayisi, ergime noktası gibi kristal cisimlerin bazı özelliklerini izah ettiği ancak plastik deformasyon, yeniden kristallesme, kopma, elektriksel iletkenlik, yarı-iletkenlik gibi yapıya hassas özellikleri izah edemedigi görüldü. Burada bizi ilgilendiren plastik deformasyonu dikkate alırsak; mükemmel kristal teorisinden gidilerek hesaplanan malzemenin plastik deformasyona başlaması için gerekli gerilme (mukavemet) ile laboratuvar da deneysel olarak ölçülen gerilme arasında birkaç büyüklük mertebesinde farkın olmasıydı. Aradaki farkın kristalin mükemmel olmamasından kaynaklandığı düşünülerek, bir kısmi hipotez mahiyetinde olmak üzere çeşitli kristal kusurlarına dayanan teoriler ortaya atıldı. Nihayet 1934 yilinda Orowan, Taylor ve Polanyi birbirlerinden bagimsiz olarak dislokasyon denilen çizgisel kusurların kristallerin gerçek ve teorik mukavemetleri arasındaki farkı izah edebileceğini ileri sürdüler (Dogan, 1965). Böylece kristal plastisitesinin anlasilmasi yolunda önemli bir adım atılmış oldu. Ancak teorik olarak kristallerin plastik deformasyonuna tatbik edilen çizgisel kusurlar ancak 1955 yilinda ilk kez seffaf

iyonik kristallerde dekorasyon yöntemi ile gözlenmişlerdir. Daha sonra keşfedilen diğer gözleme teknikleri ve özellikle elektron mikroskopları ile dislokasyonlar teorik mevhumlar olmaktan çıkmış ve malzemelerin mekanik özelliklerini tayin eden unsurlar olarak bilim dünyasında gereken önemi kazanmışlardır.

Bir malzemenin uygulanan kuvvetlere karşı gösterdiği tepki mekaniksel davranış olarak tanımlanır. Bu davranış değişik tür zorlanmalar altında oluşan gerilme ve şekil değişimleri ölçerek veya gözleyerek saptanır. Malzemeler artan dış kuvvetler altında önce şekil değiştirirler, sonra dayanımını yitirerek kırılırlar. Düşük kuvvetler altında şekil değişimleri elastik yani tersinirdir. Uygulanan dış kuvvet elastiklik sınırını aşarsa kalıcı yani plastik şekil değişimi ortaya çıkar. Elastiklik, şekil değiştirmeye karşı direnç veya malzemenin esneklik modülü ile belirlenir. Kalıcı şekil değişimi ne neden olan zor değeri ise kritik zor yada akma zoru (mukavemet) olarak tanımlanır. Bu değerden sonra artık katı plastik deformasyon aşamasındadır. Kristallerdeki mukavemet hesaplamaları zor-zorlanma eğrileri üzerinden yapılır. Bu eğriler üzerinde lineerlikten sapma noktasına karşılık gelen zor değeri, çizgisel kusurun harekete geçmesi yani plastik deformasyonun başlangıcı olarak kabul edilir. Bu noktadan sonra kuvvet sıfırlansa bile artık kalıcı bir şekil değişimi ortaya çıkar. Kritik zor yada akma zoru olarak tanımlanan lineerlikten sapma noktasına karşılık gelen zor, mühendislik hesaplamalarında %0.02 lik zorlanmaya karşılık gelen zor değeri olarak da tanımlanmaktadır.

Plastik deformasyon ile ilgili çalışmalar ilk kez Elam (Elam, 1936), Schmid ve Boas (Schmid and Boas, 1936) tarafından başlatılmıştır. Adı geçen araştırmacılar kristallerin mukavemetlerinin ölçümü ve kayma bantlarının ortaya çıkarılması üzerine çalışmışlar ve kristallerin teorik ve gerçek mukavemetleri arasındaki farkın; kristallerdeki çizgisel kusurların mevcudiyeti yanında toplam kaymanın tüm kristal yüzeyi boyunca ortaya çıkması gerektiği gerçeği ile açıklamışlardır. Akma zoru olarak bilinen bu değer, malzemelerin geçmişi ile de ilgili olduğu unutulmamalıdır. Nitekim saf olan malzemelerin mukavemetlerinin daha az saf malzemelere göre daha düşük olduğu ya da zor uygulanmadan önce tavlama işlemine tabi tutulan malzemelerin, tavlama işlemine tutulmayan malzemelere göre daha düşük

mukavemete sahip olduğu çeşitli çalışmalarda vurgulanmaktadır. Diğer yandan malzemenin plastik şekil değiştirme yeteneğini ve dayanımını temsil eden süneklik, mukavemet ve sertlik gibi özellikler, iç yapıya ve deney şartlarına büyük ölçüde bağlıdır. Örneğin bir yapı çeliginin sünekliği oda sıcaklığında %35 iken  $-250\text{ C}^0$  de % 1 e düşer. Bu çelik oda sıcaklığında %35 lik bir şekil değiştirme sonunda kırıldığı halde uygun bir işlemle iç yapısı değiştirilirse (yapıya başka cins atomlar katma ya da su verme işlemine tabi tutulursa) bu değer % 1-2 ye düşürülebilirken, sertlik ve mukavemet ise 2-3 kat artırılabilir. Bütün hesaplamalar bir çizgisel kusurun, etrafında oluşan atmosferden (diğer çizgisel kusurlar, noktasal kusurlar) uygulanan dış kuvvet ile harekete geçmesi yani kayma hareketi yapmak üzere hareket etmesi üzerinedir. Çizgisel kusur atmosfer ile etkileserek akma zorunun yükselmesine neden olur. Aynı zamanda bu atmosfer bazı kristallografik doğrultularda diğer doğrultulara göre daha az etkili olabilir. Nitekim kristal doğrultu ve düzlemleri ile akma zoru arasındaki ilişkiyi gösteren bir çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar plastik deformasyonun anizotrop olduğunu ortaya koymaktadır. Çizgisel kusurların diğer kristal kusurları ile etkileserek akma mukavemetini yükseltmeleri ile ilgili olarak geniş bir çalışma Kocks (Kocks, 1965), Foreman ve Markin (Foreman and Markin, 1966) ve Düzgün (Düzgün, 1985) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar da kayma düzlemine rastgele dağılmış noktasal kusurlar ile karşılaşan çizgisel kusurlar ayrıntılı biçimde araştırılmış ve dislokasyon hareketine kitlenmiş dislokasyonlar ile ara yer atomlarının basamaklar oluşturarak bir engel teşkil ettikleri dolayısıyla kristalin akma zorunun yükselmesine neden olduğu gösterilmiştir. Buradan hareketle, çeşitli metal ve alaşım kristalleri üzerinde akma zoru ve kayma elemanlarının yönelimi arasındaki bağlantıyla ilgili yapılan çalışmalar, kaymanın başlaması için gerekli bir kritik zor değerinin olması sonucuna götürmüştür; diğer bir ifade ile kritik bir zor değerinin varlığına inanılmıştır. Ancak son yıllarda cisim merkezli kübik yapıda kristallesen metaller ve yüzey merkezli rombohedral kristal sınıfında yer alan civa üzerinde yapılan çalışmalar yönelimin de mekanik özellikler üzerinde etkili olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Böylece metal kristallerin elastik yada plastik şekil değiştirmelerinde sadece akma zor değerinin bir kritik degerde olması yanında zorlanmanın da bir kritik degerde olması gerektiği sonucuna götürmüştür.

Diger yandan akma zorunun amaçlara uygun olarak yüksek degerlere çekilmesi önemli bir mühendislik konusudur. Bu islemin zorlanma hizi yada sıcaklık işlemleri ile yapılabilecegi vurgulanmaktadır. Nitekim bununla ilgili olarak sıcaklığın artması ile akma zoru degerlerinin azaldığı, buna karsın zorlanma hizinin artması ile akma zorunun arttığı çeşitli çalışmalarda elde edilmistir. Bunun sonucu olarak, sıcaklığın artması ile enerji kazanan dislokasyonların, diger dislokasyonlar veya noktasal kusurların olusturduğu atmosferden rahat kurtulduğu düşünülerek akma zorunun azalması gerektiği vurgulanmıştır. Diger yandan zorlanma hizinin azalması ile dislokasyon hareketini engelleyen atmosferin kurulması için gerekli zamanın uzaması nedeniyle akma zorunun arttığı belirtilmiştir. Bunların bir sonucu olarak zorlanma hizi ve sıcaklık uygulamalarının, süneklik yada gevreklik gibi malzeme özellikleri üzerinde de etkili oldukları deneysel olarak bulunmuştur. Sıcaklık ve zorlanma hizinin malzemelerin akma zor degerleri üzerindeki etkisinden başka zor-zorlanma eğrilerini ikinci basamaklarında da etkili olduğu bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir. Nitekim Uçar tarafından yapılan bir çalışmada, düşük sıcaklık ve yüksek zorlanma hizi altında çekme işlemine tabi tutulan kristallerde, zor-zorlanma eğrilerinde akma zoru degerinin hemen ardından ciddi bir düşüşe müteakip tekrar bir toparlanma gözlenirken, sıcaklığın artması ve zorlanma hizinin düşmesi durumunda ise bu keskin düşüş davranışının yerini sürekli bir değişime bıraktığı bildirilmiştir. Bu keskin düşüş, bireysel dislokasyonların bloke edilmesi ve bu bloke olan dislokasyonların da atmosfer içindeki diger dislokasyonlar ile etkileserek kirlilik atomları gibi noktasal kusurları olusturduğu atmosferden ayırarak atmosferin etkisini azaltması neden olarak gösterilmiştir. Öte yandan bu konu da diger bir izah Kear-Wiltsdorf tarafından latis sürtünmesi olarak isimlendirilen Kear-Wiltsdorf mekanizması ile açıklanmıştır (Kear-Wiltsdorf, 1962)

Sıcaklık ve zorlanma hizi yanında katıların mekanik özellikleri üzerinde etkili olan bir diger parametre de konsantrasyondur. Nitekim alarımın mukavemetlerinin metallerden daha yüksek olması eriyik halindeki bir metale değişik tür de ki atomları katarak ve bu atomların örgüdeki varlığının korunması ile oluşan alarımın; katılan

atomların gerek ara yer gerekse yerine geçme kusuru gibi davranarak yapıda bazı düzensizlikler oluşturduğu ve bunun da dislokasyon hareketine engel teşkil ederek

akma zorunun artmasına neden olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla yüksek mukavemet gerektiren yapı elemanları olarak alaşımların tercih edilmesinin nedeni budur. Konunun önemi yüzünden; alaşım için katkı atomunun cinsi, bu atomun yapı içindeki davranışı, faz yapısına etkisi, ikili ya da üçlü alaşımlarda ki kritik sıcaklık gibi konular yoğun bir şekilde çalışılmıştır.

Fe-Mn alaşımları önemli bir mühendislik malzemesidir. Zira bu alaşımlar sertleştirilmiş çelik, magnetik ve magnetik olmayan çelik ve şekil hatırlamalı alaşımlar ve pek pahalı olmayan sönüm materyalleri olarak kullanılmaktadırlar. Pek çok araştırmacı Fe tabanlı alaşımlar üzerinde çalışmış ve bu yapıların sıcaklık ve zorlanma hızı ile mekaniksel özelliklerinin değiştiği gösterilmiştir (Lu vd., 2002; Zhang vd., 1998; Jun vd., 1997). Ancak beyan edilen bilgiler çoğu kez bir önce bulunan bilgiler ile üst üste çakışmamaktadır (Goune vd.,2002; Kopitsa vd., 2003; Bliznuk vd., 2002; Hanyaloglu vd., 2001; Zhang, M-X ve Kelly, P.M., 2001). Bu çalışmanın amacı; sıcaklık, zorlanma hızı ve Mn konsantrasyonunun Fe-Mn ikili alaşımlarının plastik davranışları üzerine etkisinin araştırılması üzerinedir.

Tez dört bölümden meydana gelmekte olup, birinci bölümde konu ile ilgili geniş bir kaynak araştırmasına yer verilmiştir. İkinci bölümde teorik bilgiler, üçüncü bölümde ise deney sistemi, alınan ölçüler, grafikler ve hesaplamalar verilecektir. Dördüncü ve son bölüm ise elde edilen sonuçların tartışılması ve yeni öneriler üzerine olacaktır.



## 2. TEORİK BİLGİLER

### 2.1. Giriş

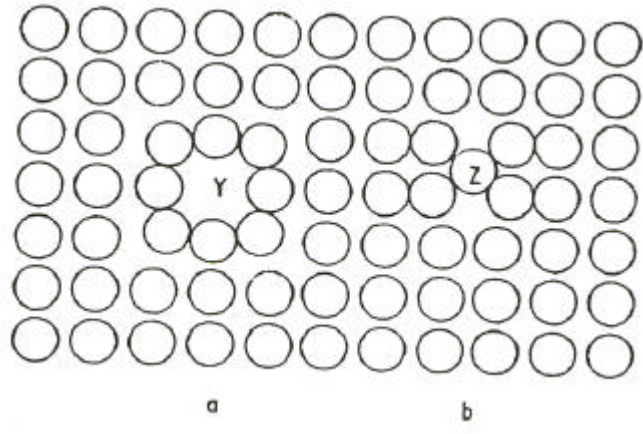
Kristal, belirli bir yerleşim düzeni içerisinde bir araya gelen atomların ortaya koydukları yerleşim düzeninin üç boyutta tekrarı ile oluşur. Ancak hiçbir zaman kristaller bu ideal tanıma uymazlar. Yani, bir kristal hacmi içerisinde atomlar yada atom grupları tanımlandığı gibi tümü ile düzgün bir sıralanmanın içinde bulunmazlar. Her şeyden önce bir kristal yapıyı oluşturan atomların hiçbir zaman durgun halde olmadıklarını akıldan çıkarılmamalıdır. Sıcaklığa bağlı olarak atomlar bir kristalin içerisinde bulunmaları beklenen noktanın etrafında titreşim hareketi yaparlar, iste bu durum bile hemen karşımıza yukarıda tanımlandığı gibi atomların sabit noktalarda ve birbirlerine göre belirli uzaklıkta olmadıklarını ortaya koyar. Hemen en kısa şekilde ortaya konulmak istenirse, gerçek bir kristaldeki atomların düzeni, tanımlandığı ideal sekilden çeşitli şekillerde ayrılabilir ve bu durum kristal kusurları olarak adlandırılır.

### 2.2. Kristal Kusurları

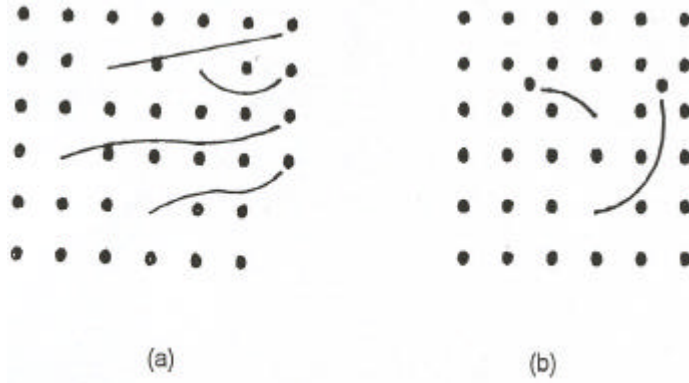
Bütün gerçek kristaller bir takım kusurlar ihtiva ederler. Bu kusurlar, atomların kristal yapı içerisindeki periyodik düzenini az veya çok bozarlar. Bir kristal yapı içerisindeki atomların düzeni, tanımlandığı ideal sekilden noktasal, çizgisel ve hacimsel kusur adı verilen üç kristal kusuru ile ayrılır ve bu kusurlar kristal yapı özelliklerinin tayin edilmesinde büyük önem tasir.

Noktasal kusurlar, kristal yapı içerisinde bir atomun bulunması gereken bir konumda bulunmaması ya da bulunmaması gereken bir konumda fazladan bulunmasıdır. Birinci tip **vacancy** olarak adlandırılan atomik boşluk, ikincisi ise **interstitial** adı verilen atom dizileri arasına yerleşmiş bir ara yer atomunun sebep olduğu noktasal kusurlardır (Şekil 2.1) ( Kelly and Croves, 1970 ).

Atomların bir kısmı geride atomik boşluklar bırakarak yüzeye sıçrayarak **Schottky**, bir kısmı da kristal içinde bazı ara yerlere geçerek hem boşluk hem de ara yer kusurunun birlikte oluşturulduğu **Frenkel** kusuru denilen noktasal kusurları meydana getirirler (Şekil 2.2.a. b.).



Şekil 2.1 Boşluk ve ara yerde bulunan atom



Şekil 2.2 a. Schottky kusuru , b. Frenkel kusuru

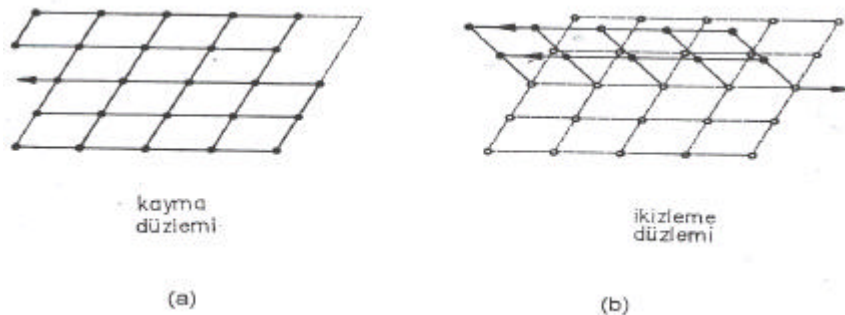
Noktasal kusurlar, kristal yapı içerisinde atomlar arası mesafenin birkaç kati mertebesinde olup, elastik zorlanmalardan bağımsız kusurlardır. Eğer noktasal kusuru atomların bulunması gereken konumda bulunmamlarından oluşan durum

olarak düşünürsek, mesela metallerde, T sıcaklığında N atom başına düşen boşluk sayısı (n );

$$n/N = A.e^{-E/kT} \quad (2.2.1.)$$

ifadesi ile verilir. İfade de, E bir boşluğun ortaya çıkması için gerekli olan enerjinin (aktivasyon enerjisi) büyüklüğü, k Boltzman sabiti, A' da entropi terimidir. Hemen görülebileceği gibi boşlukların sayısı sıcaklıkla birlikte artar. Metaller için ele alacak olursak; E , 1 eV civarındadır, erime noktası civarındaki bir sıcaklıkta ise, n/N oranı 10 veya 10 'da 1 civarında bulunur.

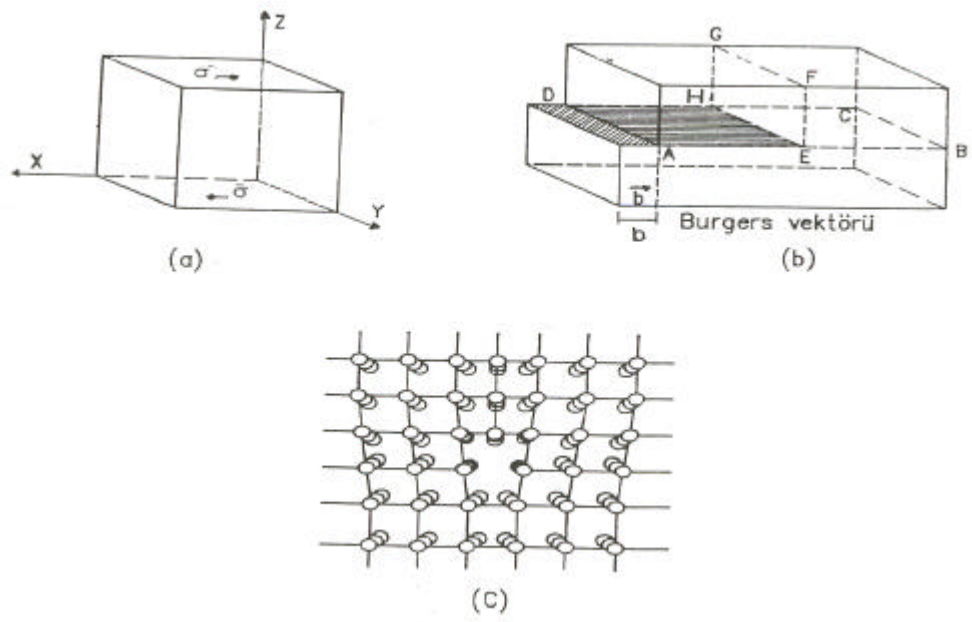
Kristallerde görülen hacimsel yapı bozuklarından en sık görülen iki türü kayma ve ikizlemedir. Kayma türü yapı bozuklukları, kristali oluşturan atomik düzen bozulmaksızın, kristalin iki bölümünün kayma düzlemi olarak bilinen bir düzlem üzerinde atomik uzaklıklar düzeyinde birbirlerine göre kaymaları şeklinde ortaya çıkarlar. Kayma oluşumu sırasında ortaya çıkan atomik yer değiştirme uzunlukları, atomlar arası uzaklığın tam katlarıdır (Şekil 2.3.a). İkizleme ise kristalin bir bölümü diğer bir bölümüne göre hacimsel olarak yer değiştirmiş olmakla birlikte atomik yer değiştirme atomlar arası uzaklığın tam katları değildir (Şekil 2.3.b). Bu tür yapı bozukluklarında kristalin bir miktar hacmi diğerine göre belirli bir açı altında döner, her iki hacimde aynı atomik düzeni korumakla birlikte birbirlerine göre bu açı kadar dönmüş olurlar. Kristal hacimlerinin ayrı ayrı incelenmesi sonucunda gözlenen en belirgin özellik ise her iki hacmin de kristalin ideal atomik yerleşim düzenini korumasıdır. Ancak sanki aynı kristal yapıda iki hacim birbirlerine göre belirli bir açı kadar döndürülerek bir kristal düzlemi içerisinde yapıştırılmış gibidirler. Bu düzleme de ikizleme düzlemi denir.



### Sekil 2.3. a. Kayma, b. ikizleme türü hacimsel kusurlar

Kristal içinde çizgisel yapı kusurları olarak bilinen dislokasyonlar, örgü içinde oldukça uzun atomik boyutlarda ortaya çıkarlar. Kristalin mekanik özellikleri üzerinde büyük değişikliklere yol açan dislokasyonlar, yapının zayıflık merkezleri olarak bilinip, bir kristalin kırılabilirliğini  $10^4$  kat artırabilirler.

Dislokasyon, kristal yapı içerisinde konumlarını değiştirmiş atomların oluşturduğu bir çizgi olarak tarif edilebilir. Sekil 2.4'de Orawan, Taylor ve Polanyi'nin ileri sürdüğü bir kenar dislokasyonu adı verilen bir dislokasyon tipi ile kayma olayının nasıl gerçekleştiği görülmektedir (Hirth and Lothe, 1982).

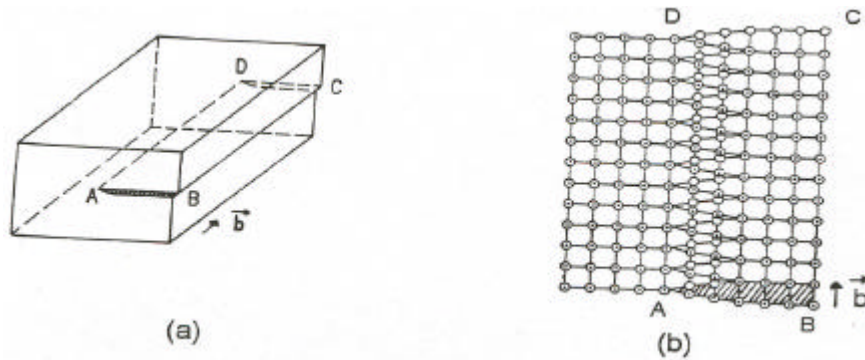


Sekil 2.4. a ve b Makaslama zoru tesirinde kenar dislokasyonun oluşumu, c. basit kübik yapıda kenar dislokasyonun görünüşü

Sekil.2.4.a'daki kristal alt ve üst yüzeyine etkiyen makaslama zoru tesirinde, Sekil.2.4.b'de görüldüğü gibi, kristalin ABCD kayma düzlemi üzerindeki kısmi, kayma düzleminin altında kalan kristal kısmına nazaran  $b$  doğrultusunda  $b$  kadar kaymıştır. Kayma henüz tamamlanmadığı için kayma düzlemi üzerinde EFGH fazladan yarı düzlemi oluşmuştur. Fazladan yarı düzlemin kristalin kayma düzlemi

üzerindeki izine kenar dislokasyonu denir. Esasinda burada yapılan tarif genel olup, kayma düzlemi üzerinde kaymış ve kaymamış bölgeleri ayıran sınır çizgiye, şekli ve doğrultusu ne olursa olsun dislokasyon denir (Read, 1953; Dogan, 1965; Hull, 1965; Wertman and Wertman, 1965; Durlu,1989). Sekil 2.4.b'de EH kenar dislokasyonu, fazla yarı düzlemin kayma düzlemi üzerindeki izi olup, kaymış ve kaymamış bölgeleri ayırmaktadır. Kayma düzleminin sol tarafındaki  $\bar{b}$  kadarlık kayma EH dislokasyonu üzerinde sifra düşmektedir.

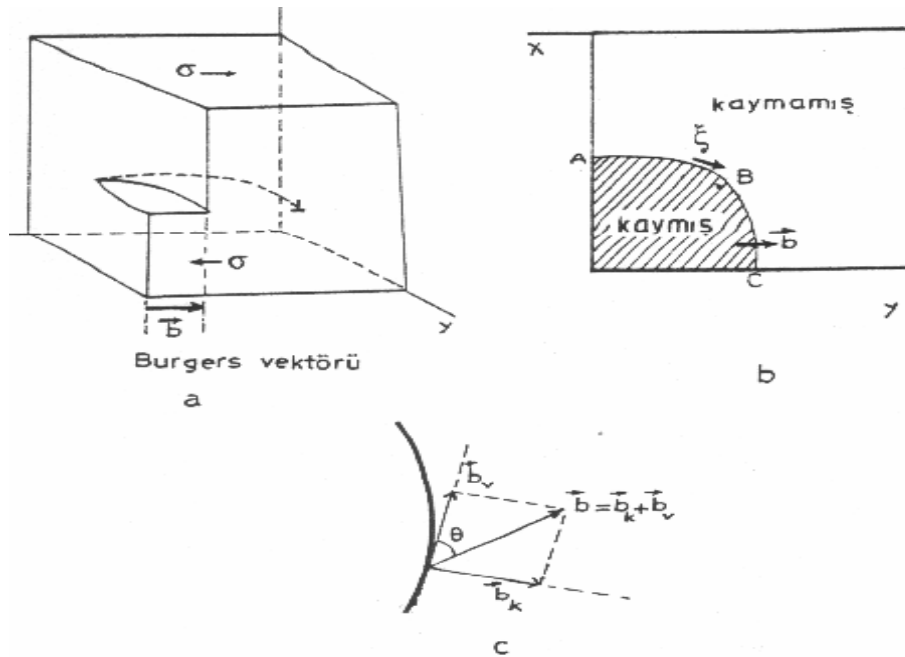
Kenar dislokasyonu, kayma düzleminin üzerinde ise pozitif kenar dislokasyonu, kayma düzleminin altında oluşmuş ise negatif kenar dislokasyonu adını alır. Sekil 2.4.c'de basit kübik yapıda kayma düzleminin üzerinde oluşmuş bir pozitif kenar dislokasyonu görülmektedir. Dislokasyonun kayma vektörüne Burgers vektörü denir. Kenar dislokasyonunda dislokasyon çizgisi Burgers vektörüne diktir fakat dislokasyon çizgisi, Burgers vektörü ile aynı yönde hareket eder. Burgers 1939 yılında kenar dislokasyonundan ayrı olarak vida dislokasyonu denilen bir dislokasyon tipinde kristallerde meydana gelebildiğini göstermiştir (Read, 1953). Sekil 2.5 .a'da kristalin burgers vektörü yönünde, gösterilen tarzda kayması ile vida dislokasyonunun meydana gelişini göstermektedir.



Sekil 2.5. a. Vida dislokasyonunun görünüşü, b. Vida dislokasyonu etrafındaki atomların dizilişi, ABCD kayma düzlemi, AD dislokasyondur. İçi boş daireler kayma düzlemi üzerindeki, içi dolu daireler kayma düzleminin altındaki atomları göstermektedir.

Kaymis ve kaymamis bölgeler arasindaki sinir tarif geregince yine dislokasyondur. Ancak bu kez AD dislokasyon çizgisi, Burgers vektörüne paralel olup, Burgers vektörüne dik hareket eder. Bu tip dislokasyona vida denilmesinin nedeni, dislokasyon etrafındaki kristal düzlemlerinin vida disi yüzeyi seklinde olmasindandir. Sekil 2.5.a'da görüldüğü gibi, dislokasyonun yönü ile Burgers vektörünün yönü aynıdır. Bu tip dislokasyona pozitif vida veya sag el vida dislokasyonu denir. Sag el vida dislokasyonu denilmesinin nedeni, dislokasyon civarındaki atom düzlemlerinin, dislokasyonun pozitif yönünde ilerleyen bir sag el vidanın dis düzlemlerine benzemesindedir. Vida dislokasyonunda kenar dislokasyonunda olduğu gibi fazladan yari düzlem bulunmaz. Sunu da belirtmek gerekir ki, kayma düzleminde kenar yada vida dislokasyonunda geçse kristalin nihai sekli aynı kalmaktadır.

Kenar ve vida dislokasyonlari vasitasiyla dislokasyon kavrami genelleştirilebilir. Sekil 2.6 a ve b de görüldüğü gibi, kaymis ve kaymamis bölgeler arasindaki sinir çok sayıda kenar ve vida kademelerinden oluşabilir. Bu kademeler gittikçe çoğalir ve boylari atomik mertebeye indirilince bu sinir bir egri olabilir ( Sekil 2.6.b).



Sekil 2.6. a. Makaslama zorlari tesirinde karisik dislokasyonun olusumu, b. Kaymis ve kaymamis bölgeler, c. Karisik dislokasyonda Burgers vektörü

Sonsuz küçük bir dislokasyon çizgisinin Burgers vektörü ile  $\theta$  açısı yaptığını düşünelim.  $\theta = 0^\circ$  ise o parça vida doğrultusunda,  $\theta = 90^\circ$  ise kenar doğrultusundadır.  $\theta$  bu değerlerden farklı ise bu sonsuz küçük parça, vida ve kenar bileşenlerinin üstüste gelmesi ile meydana gelmiştir. Bu bileşenlerin Burgers vektörleri, karışık dislokasyona ait vektörün dislokasyon çizgisine teget ve normal bileşenleridir (Şekil 2.6.c). Böylece karışık dislokasyonda Burgers vektörü,

$$\vec{b} = \vec{b}_v + \vec{b}_k \quad (2.2.2.)$$

ifadesi ile verilir.

Önemine göre dislokasyonlar, noktasal kusurlardan iki yönden farklıdır. Bunlardan birincisi, noktasal kusurların gözlenmesinin zorluğu, ikincisi ise dislokasyonların termodinamik dengede olan kristallerde farkedilebilir konsantrasyonda olmalarıdır. Dislokasyonlar kristalin serbest enerjisini daima yükseltirler. Böylece dislokasyonların kristal içinde ortaya çıktığı bölgeler kristalin ideal halindeki bölgelere göre daha yüksek enerjili bölgelerdir. Mesala, Cu kristali için bu enerji atom düzlemi başına 6 eV civarındadır (Durlu, 1989). Noktasal kusurlar ise kristalin serbest enerjisini daima en az seviyeye indirmeye çalışırlar. Bunun nedeni noktasal kusurların çevreden sağladıkları entropi kazancıdır. Noktasal kusurların hareketliliği de önemli bir özelliktir. Zira bir düzlem üzerinde noktasal kusurların hareketi, dislokasyonun kaymasına sebep olurken, noktasal kusurların kristal içinde meydana getirilmeleri veya yok edilmeleri dislokasyonun tırmanmasına karşılık gelir. Dolayısıyla metallerdeki madde difüzyonu noktasal kusurların meydana getirilmeleri veya yok edilmeleri ile ilgilidir.

## 2.3. Deformasyon

### 2.3.1. Elastik, Plastik Deformasyon ve Hooke Kanunu

Kati bir cisme bir kuvvet uygulandığında şekil değişikliğine uğrar. Uygulanan kuvvet kritik değerin altında ise kuvvet kaldırıldığında cisim tekrar eski haline döner. Eğer zorun etkisi altında şekil değişikliğine uğrayan cisim zor kaldırılınca tekrar eski

halini alabiliyorsa bu tip deformasyonlara **elastik deformasyon** denir. Bu tip deformasyonda mekanik özelliklerin tersine dönüştürülebilmesi yanında, termodinamik özellikler de tersine döndürülür. Genel olarak % 0,0001'i aşmayan hacim ve şekil değişiklikleri gerçekleşir. Uygulanan zor belirli bir değeri aşınca uygulanan kuvvet ile uzama miktarı arasındaki lineerlik bozulur. Lineerliğin bozulduğu bir dönüm noktası vardır ki, bu değere **akma zoru** ya da **kritik zor** adı verilir. Cisimlerin temel özelliğini gösteren bu noktaya kadar olan bölgede zor ile zorlanma doğru orantılıdır. Bu bilinen Hooke Kanunudur ( Eroglu ve Işçi, 1988 ). Akma zoru geçilince kati üzerindeki kuvvet kaldırıldığında cisim ilk haline dönemiyorsa bu tip deformasyonlara **plastik deformasyon** denir. Bu tür deformasyonda mekanik ve termodinamik özellikler tersine çevrilemez. Hooke yasası geçerli olmayıp zor-zorlanma arasında önemli bağıntılar mevcuttur. Katının şeklinde bir değişim olmasına rağmen hacim değişmeden kalır. Cisimlerin herhangi bir zor altında elastik veya plastik deformasyona uğrayabilmeleri doğrudan doğruya cisimlerin Young Modülleri ile ilgilidir ( Nye, 1969 ).

### 2.3.2. Zor

Birim yüzeye düşen kuvvete zor denir ve;

$$\sigma = F/A \quad (2.3.1.)$$

ifadesi ile verilir.

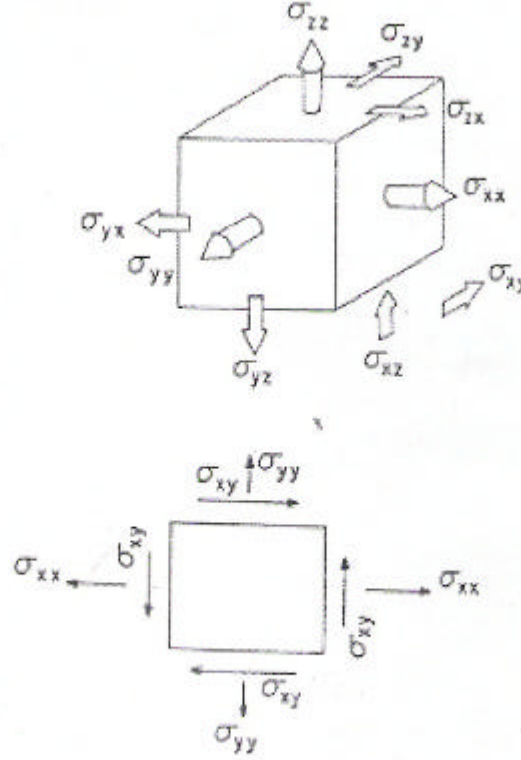


Sekil 2.7 Çekme zoru

Zor; çekme, sıkıştırma ve makaslama şeklinde olabilir. Sekil 2.7'de çekme zoru sematik olarak gösterilmiştir. Eğer kuvvetlerin yönü malzemeye doğru yönelmiş ise bu tip zorlara da sıkıştırma zoru adı verilir. Sekil 2.8'de çekme ve makaslama



zorların aynı şekil üzerinde gösterilmiştir. Her noktada aynı olan zora homojen zor denir. Homojen zoru, cismin bütün kısımlarının statik dengede olduğu ve cisimde hiçbir kuvvetin yada cisim momentinin olmadığı hallerle sınırlamak gereklidir (Nye,1969)



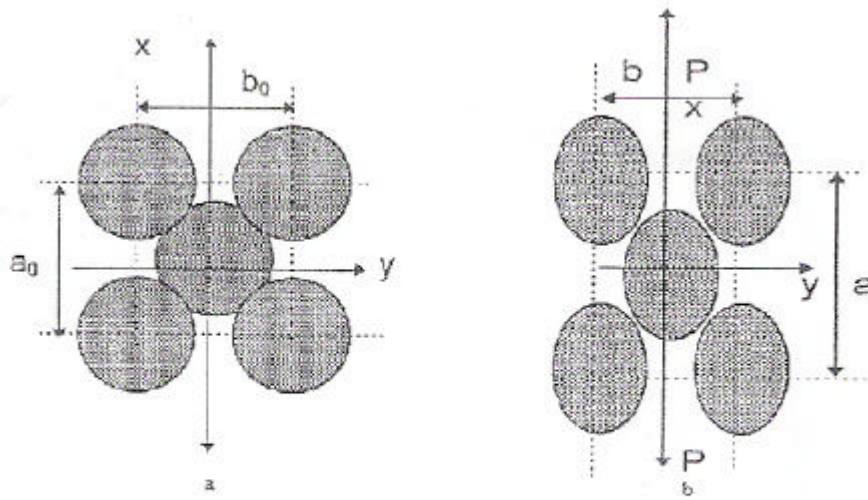
Şekil 2.8 Çekme ve makaslama zorları.

### 2.3.2. Zorlanma

Cisimde meydana gelen bağıl deformasyona veya zor uygulandığı zaman cismin boyutunda meydana gelen değişim miktarının zordan önceki boyutuna oranına Zorlanma denir. Bir zorun etkisi altında kalan bir cismin örneğin; x ekseninde boyunca zorlanırsa zorlanma;

$$\mathbf{e}_x = \frac{a - a_0}{a_0} \quad (2.3.2.)$$

ifadesi ile verilir.  $e_x$ , x eksenini boyunca atomun  $a_0$  dan  $a$ 'ya gelmesi için gerekli zorlanma olup, sıkışma veya gerilme durumları için pozitif veya negatif olabilir. Çekme halinde,  $\sigma$  zoru ile oluşan,  $e_x$  zorlanması arasındaki oran, lineer elastik cisimlerde sabittir ve bu sabite Y lineer esneklik (Young) modülü denir. Şekil 2.9.b.'de de görüldüğü gibi, aynı zor altında oluşan yanal zorlanma  $e_y$ , x eksenini boyunca zorlanma  $e_x$ , ile orantili olup, orantı sabitine Poisson oranı denir (Şekil 2.10) (Onaran, 1993).



Şekil 2.9. a. Çekmeden önce, b. çekme etkisinde eksen boyunca ve yanal yer değiştirme.

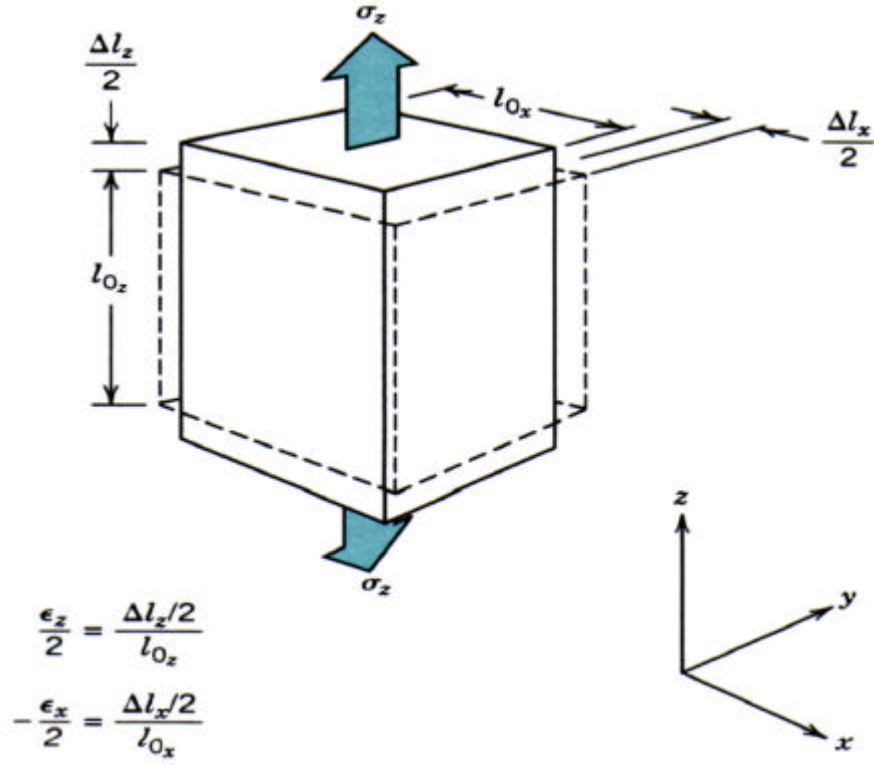
2.3.2

Poisson oranı artı işaretli bir malzeme sabiti olup çekmede yanal zorlanma (-) işaretli olduğundan aşağıdaki ifade de (-) işareti konmuştur.

$$\text{Poisson oranı } \nu = -\frac{e_y}{e_x}, \quad \nu > 0,$$

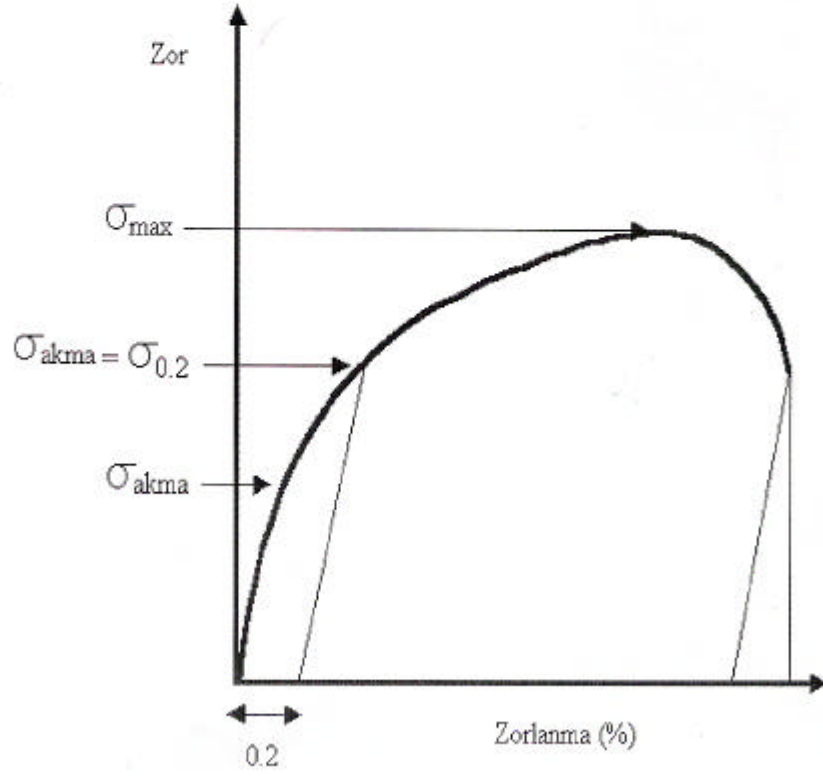
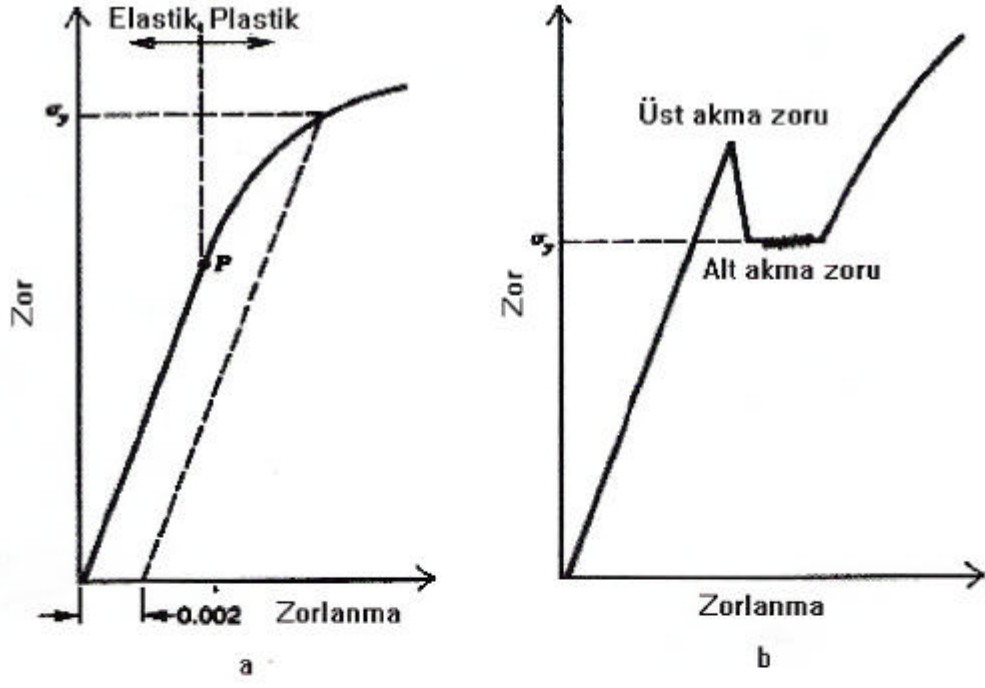
$$\text{Lineer esneklik modülü } Y = \frac{S}{e_y} \quad \text{dir.} \quad (2.3.3)$$

Sayet göz önüne alınan sistemde Hooke kanunu geçerlikte ise veya uygulanan zor küçük degerlerde ise zor ile zorlanma lineer bir sekilde orantilidir ( Onaran, 1993).

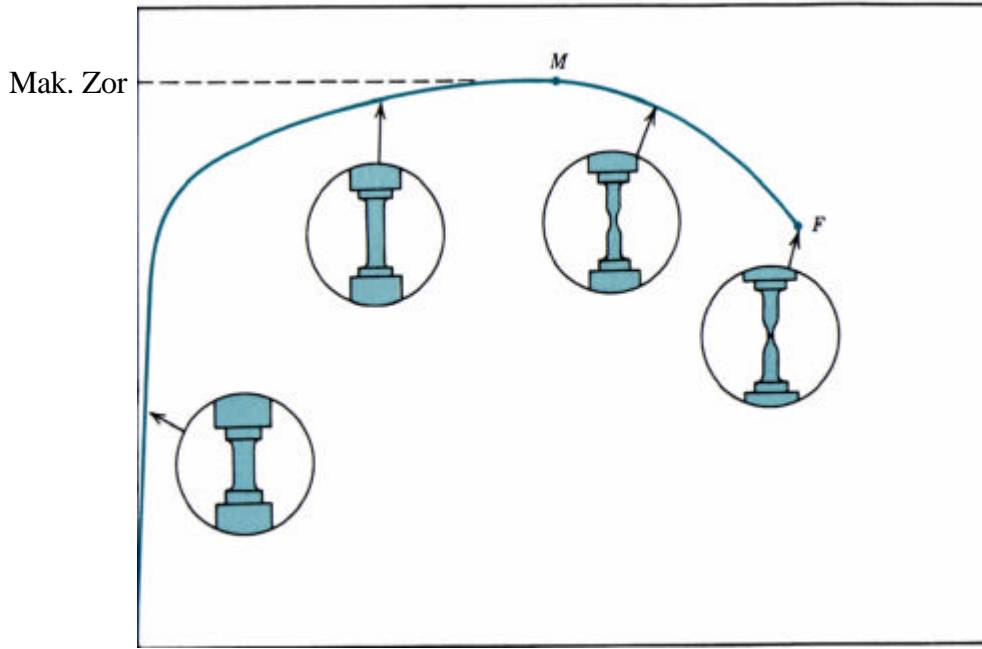


Sekil 2.10. Eksensel uzama ve yanal daralma ile ilgili olarak poisson oranı

Sekil 2.11.a, b, c' de genel zor-zorlanma grafikleri verilmiş olup, malzemenin deformasyon özelliklerine karşılık gelen kritik noktalar bu grafikler üzerinde ayrıca gösterilmiştir. Sekil 2.12' de ise zor' un çeşitli aşamalarında malzemenin fiziksel görünümündeki değişimler sematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Genel bir zor-zorlanma eğrisi ve üzerindeki kritik noktalar



Zorlanma

Sekil 2.12. Zor' un çeşitli aşamalarında malzeme de meydana gelen fiziksel değişimler.

#### 2.4. Deformasyon Karakteristikleri

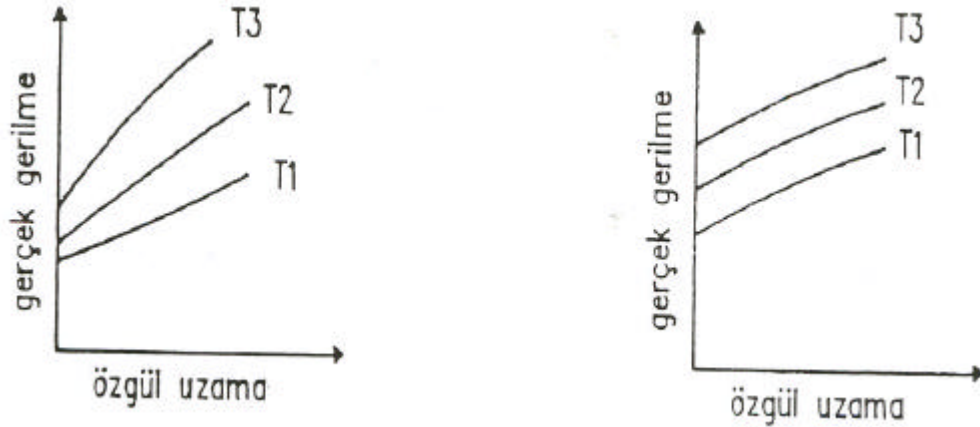
Tek ve polikristallerin deformasyona uğraması iki ayrı aşamada incelenebilir (Onaran, 1993). Birinci aşamada kristallerin birer sürekli ortam olduğu varsayılır. Bu sürekli ortamların, uygulanan dış kuvvetlere karşı tepkisi, uygula-gözle yöntemi ile deneysel olarak belirlenir. Bu aşamada, atomların nasıl davrandıkları ve iç yapıda ne gibi değişimlerin olduğu göz önüne alınmaksızın uygulanan zora karşı şekil değişimleri ölçülür. Böylece belirli şartlar altında elde edilen gerilme-şekil değişim bağlantıları malzemelerin karakteristik özellikleri hakkında pek çok bilgi verir.

İkinci aşamada ise şekil değiştirme ve kopma süreçlerinde, atomların nasıl davrandığı, iç yapıda ne tür değişikliklerin olduğu, iç yapılarla mekanik özellikler

arasında ne gibi ilişkilerin bulunduğu, diğer bir deyişle şekil değiştirme ve kopmadaki karakteristikleri göz önüne alınır (Onaran, 1993). Bir metalin mekanik tutumunun karakterize edilmesinde akma sınırı, çekme mukavemeti(maksimum zor), kopma uzaması ve kopma büzülmesi önemli karakteristiklerdir. Şimdi de deformasyonda etkili olan parametrelere kısaca bir göz atalım.

#### 2.4.1. Sıcaklığın Etkisi

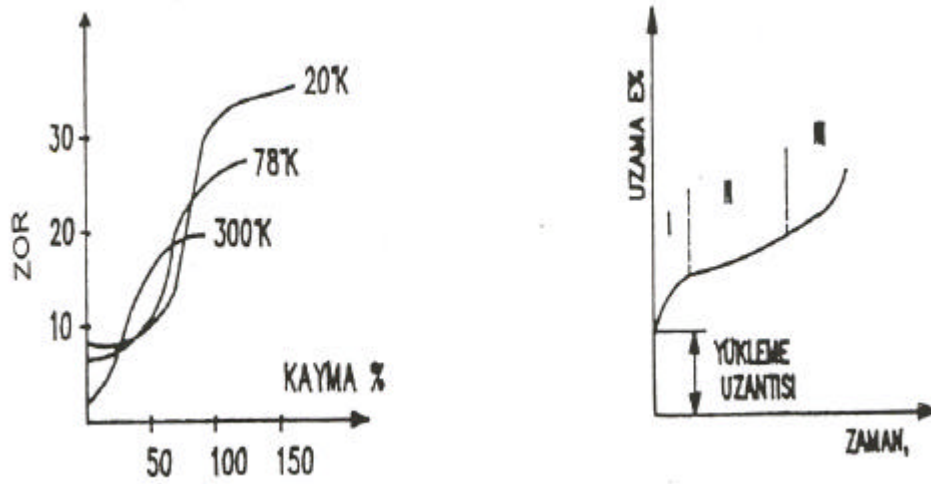
Sıcaklığın deformasyon olayında ve özellikle normal şartlarda belirlenen akma sınırı, çekme zoru ve kopma uzaması değerleri üzerine önemli ölçüde etkisi vardır. Ergime sıcaklığı  $T_s$  olmak üzere, sıcaklığın etkisi  $\sim 0,5 T_s$ ' ye kadar olan durum için göz önüne alınacaktır (Tükel, 1984). Daha yüksek sıcaklıklarda deformasyon olayları kısmen difüzyon olaylarına aittir. Genel olarak bütün numunelerde artan sıcaklıkla akma sınırı, çekme zoru ve sıkışma değerleri düşmekte, buna karşılık kopma uzaması değerleri artmaktadır. Genel olarak bütün numunelerde artan sıcaklıkla, akma birbirine göre farklı şekiller sergilemektedirler. Örneğin yüz merkezli kübik kristallerde sıkışma  $d_s/$  de artan sıcaklıkla çok fazla düşüş göstermektedir (Şekil 2.13.a).



Şekil 2.13.a. Yüzey merkezli kübik metallerde, b. hacim merkezli kübik metallerde gerilme-uzama değişimleri ( $T_3 > T_2 > T_1$ ).

Buna karşılık, hacim merkezli kübik yapıdaki metaller daha az etkilenmektedir. Yani toplam akma eğrisi düşen sıcaklıkla yüz merkezli kübik yapıli metallere göre daha yüksek değer alır (Sekil 2.13.b).

Yüzey merkezli kübik kristallerin zor-zorlanma diyagramları üzerine sıcaklığın etkisi ve uygulanan dış zorlar altında kristalin zorlanmasının zaman ile değişimi aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Sekil 2.14. Ni monokristalinde; a. zor-zorlanma eğrileri üzerine sıcaklığın etkisi, b. zorlanmanın zaman ile değişimi.

Sekil 2.14.a ve b de görüleceği üzere zorlanma eğrisinin II. bölgesi düşen sıcaklıkla daha yüksek zor değerlerine ulaşır ve aynı zamanda III. nolu bölgedeki zorlanma değerini de yükseltir. Her iki halde düşen sıcaklıkta enine bir kaymanın zorlastığına işaretler. Yüzey merkezli kübik metallerin zorlanma eğrilerinin sıcaklıkla bağıntısı yatay kaymalara bağlıdır (Tükel, 1984). Zor-zorlanma eğrisinin sıcaklıkla değişmesinde iki olayı birbirinden ayırmak gerekir.

1. Numunenin hali hazır belli bir yapısında akma zorlanması üzerine olan sıcaklık etkisi,
2. Değişik sıcaklıkta, eşit değerdeki deformasyonda yapının farklı değişmesi.

Bu olaylari birbirinden ayirt edebilmek için, numune  $T_1$  sicakliginda belirli bir zora tabi tutulur ve müteakiben  $T_2$  'de gerekli akma gerilmesi degeri belirlenmesi yapilir. Burada yüzey merkezli kübik metallerde akma zoru oranlari iki sicaklik degerinde de büyük bir bagil uzama alaninda degismez haldedir. Bu sonuç Cottrell- Stokes kaidesi olarak bilinir ve genellikle  $\sigma_s/\sigma = \text{sabittir}$ . Burada  $\sigma_s$ , ani sicaklik degismelerinde akma zoru degisimini  $\sigma'$  da sicaklik degisiminden önce veya sonra etki gösteren akma zorudur. Hacim merkezli kübik metallerde sicaklik degisiminde bu degismezlik yoktur.

#### 2.4.2. Çekme Hizinin Etkisi

Çekme hizinin zor-zorlanma egrisi üzerinde olan etkisi sicaklik etkisine belirli ölçülerde paralellik gösterir (Tükel, 1984). Deformasyon hizi arttiginda, sicaklik düsüsündeki ayni etkilere rastlanir. Çekme hizi ile yüz merkezli kübik metallerde, sikismada bir artma ve hacim merkezli kübik metallerde akma egrisinde yüksek degerlere dogru bir kayma meydana gelir. Yüzey merkezli kübik metallerde artan çekme hizi ile akma sinirinda hissedilir bir degisme görülmedigi halde çekme zorunda bir artis söz konusudur. Bir çok durumda degismeyen sicaklikta ve uzamada  $\sigma$  akma zorunun,  $e$  çekme hizi ile bagintisi, Zener ve Hollomon bagintisi ile;

$$\sigma = C \cdot e^m \quad (2.4.1.)$$

açiklanabilir. C; bir sabit, m ise çekme hizinin degismesine karsilik akma zoru için bir ölçü degeridir (Tükel, 1984).

#### 2.4.3. Alasimlandirma

Saf metallar genellikle yumusak ve düşük mukavemetli olurlar ve kolay sekil degistirirler. Bununla beraber isil ve elektriksel iletkenlikleri yüksek ve korozyona daha dayanikli olduklarindan önemli uygulama alanlarına sahiptirler. Saf metallere katilan alasim elemanlari mekanik özellikleri önemli ölçüde degistirir. Bunun yaninda isil ve elektriksel iletkenlik azalir, dislokasyonlari hareketi zorlasir,



dolayısıyla sertlik ve mukavemet artar, fakat süneklik azalır. Alasimlarda mukavemeti arttırıcı iki ana etken vardır. Birincisi kafes yapıda homojen dagılmış yabancı atomlar, ikincisi iç yapıda dagılmış halde bulunan baska bir sert fazdır. Belirli bir bileşim için sertlik ve mukavemet bileşenlerin saf haldeki değerlerinin bileşime göre entropole ortalamasının üstünde, süneklik ise altındadır. Entropole ortalamadan fark, kati elemanın dislokasyonlarla etkilesmesinden ileri gelir. Endüstride bu temel ilkedен yararlanılarak çeşitli özellikte yüksek mukavemetli alasimler geliştirilmiştir. Bazı alasimlarda katkı elemanı az miktarda da olsa, özellikleri büyük ölçüde değiştirir. Örneğin demire katılan %0.8 oranında karbon mukavemeti yaklaşık üç kat artırır. Burada şekil değiştirme direncini arttıran ikinci faz demir karbürdür (Onaran, 1995).

#### 2.4.4. Kristal Kusurlarının Etkisi

Kristallerin deformasyonunda noktasal kusurların dislokasyon hareketi üzerine büyük etkileri vardır. Noktasal kusurlar dislokasyon civarında ki distorsiyonu çevreden sağladıkları entropi kazancından dolayı minimuma indirip, dislokasyonların enerjilerini düşürürler.

Noktasal kusurlar ile dislokasyon girişiminin başka bir özel durumu da küçük noktasal kusurların kenar dislokasyonun veya karışık dislokasyonun kenar bileşeninin altındaki çekme zorlanması bölgesinde toplanarak deformasyon enerjisini azaltmalarıdır. Dislokasyon boyunca bu şekilde toplanan küçük noktasal kusurlar topluluğu **dislokasyon atmosferi** veya **Cottrell atmosferini** oluşturur. Dislokasyonun hareketi için bu atmosferden kurtulması gerekir. Dislokasyonlar bu atmosferden kurtulduğu zaman, zor-zorlanma eğrilerinde ani bir düşüş meydana gelir, gerilme artar. Bu durumda üst akma sınırı ve zor artmadan malzemenin süresiz akması olayı meydana gelir (Şekil.2.11.b). Bundan başka boş köşeler ve ara yer atomları da basamaklar meydana getirerek dislokasyonların hareketini güçleştirir ve akma zorunun yükselmesine sebep olurlar. Diğer dislokasyonlarla girişim de akma zorunun artmasına sebep olan önemli bir faktördür.

### 3. DENEYSEL ISLEMLER

#### 3.1. Giris

Bu alısmada kullanılan Fe-Mn ikili alasımları % 0.94, % 0.76 ve % 0,42 oranında Mn ihtiva etmektedir. Alasımlar elmas kesici ile dikdörtgenler prizması seklinde ince dilimler halinde kesilmişler daha sonra bu alasımların bir kısmı, kesilme anında ortaya çıkan iç gerilmeleri ortadan kaldırmak için isil isleme tabii tutulmuştur. Alasımlar değisik sıcaklık ve zorlanma hızı değerlerinde çekme testlerine tabi tutularak zor-zorlanma eğrileri elde edilmiştir.

#### 3.2. Deney Sistemi

Kristallerin ekme ve mekanik şekil değistirmeleri Şekil 3.1’de ki fotoğrafta görülen Hounsfield Test Equipment firmasının masa üstü tasarımı 2 çeneli, çeneleri mekanik ve pnomatik olan, çekme hızı 0.5 mm/dk’dan 250 mm/dk’ ya 50 kN’luk, 25 mm/dk’ dan 500 mm/dk’ ya 25 kN’luk çekme ve sıkıştırma kuvvetleri kapasitesine sahip dijital elektro-mekanik test makinesi ile yapılmıştır.



Şekil 3.1 Deney sisteminin genel görünüşü

Test cihazının kuvvet hücreleri 0-5 N, 050 N, 0500 N, 0-5000 N ve 0-50 kN seklindedir. Kuvvet hücresinin kuvveti okumada hata payı, %0.005 olup test makinasının bulunduğu ortamın sıcaklığı -15 °C ile 70 °C arasında olduğunda yapılan deneylerde kesin sonuç vermektedir. Makinanın çeneleri arasındaki açıklığı ayarlama hassasiyeti  $\pm$  % 0.2 ve sıfırlama hassasiyeti  $\pm$  % 0.25'dir.

Kuvvet göstergesinde 5 aralıkta % 100, % 50, % 20, % 10 ve % 5 kuvvet yüzdeleri görülmektedir. Kuvvet kaydetme çıkış değeri  $\pm$  1 V olup, kuvvet göstergesi 1 / 10000'e kadar okunabilmektedir. Kuvvet göstergesi ünitesinden kuvvet birimi olarak Newton, kgf ya da lbf seçilebilme imkanı vardır.

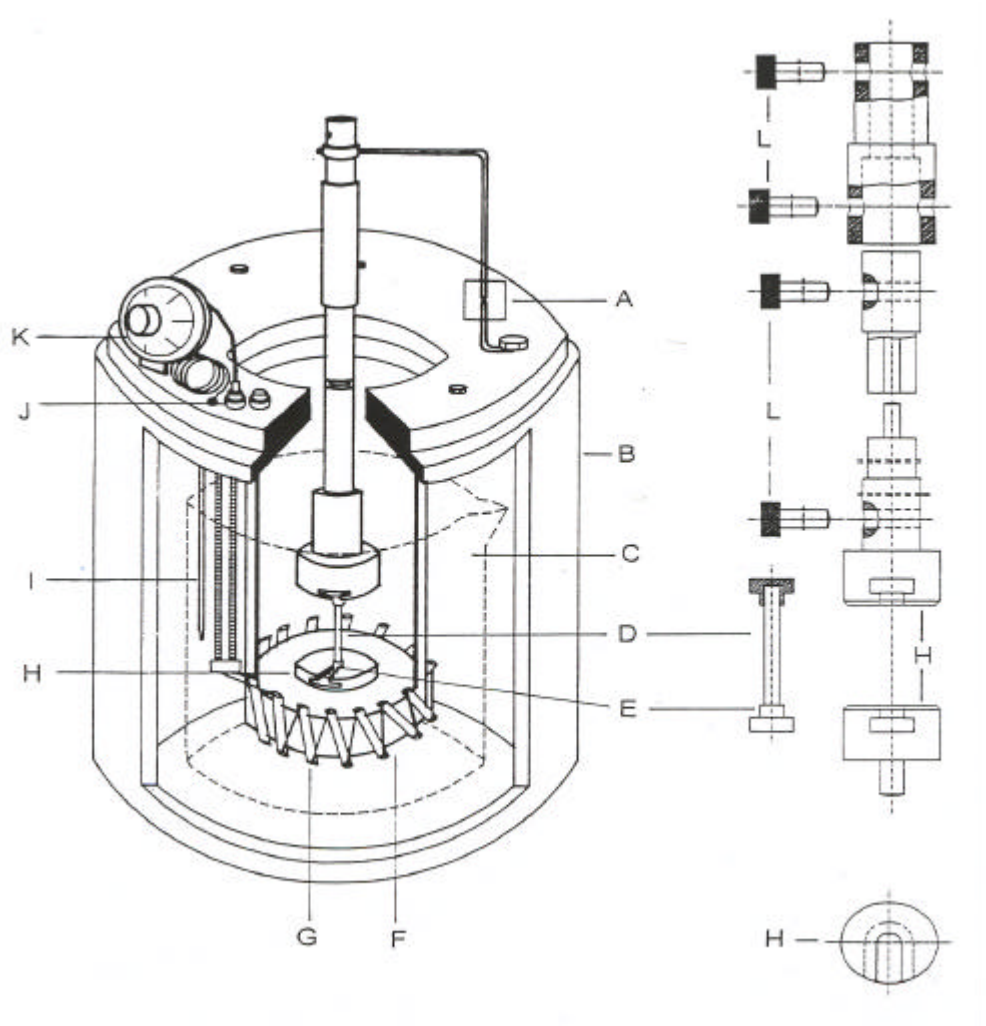
Uzama kaydetme aralıkları, 1000 mm, 500 mm, 100 mm, 50 mm ve 10 mm değerlerini alabilme özelliğine sahiptir. Kaydedilen uzama çıkış aralığı hassasiyeti  $\pm$  0.2'dir. Uzama göstergesi 1 / 10000 hassasiyetle okunabilmektedir. Uzama göstergesi ünitesinden uzama birimi olarak mm veya inç seçilebilmektedir.

Otomatik geri dönüş özelliği ile test sonucunda, hareketli olan üst çenenin makinanın uzama hizıyla başlangıç konumuna dönmesi sağlanabilmektedir. Makinanın, numuneye uygulanan maksimum kuvveti hafızasında muhafaza etmesi sayesinde malzemenin kopma anındaki karakteristikleri görülebilmektedir.

Ara güç birimi , çıkış voltajı 220 / 250 V veya 110 / 125 V ve frekansı da 50 veya 60 Hz olarak seçilebilmekte olup, cihaz manuel olarak kullanılabilmesine karşılık bir interface vasıtasıyla IBM uyumlu kişisel bilgisayarlarla da kontrol edilebilmektedir. H. T. E. cihazının RS 232 ara birimi, mikro işlemci tabanlı bir sistem olup RS 232 portundan aldığı komutları H. T. E. cihazının kontrol paneline iletir. Bu ara birim aynı zamanda 4 kanal olup analog-dijital dönüştürücü vazifesi görür. Bu kanallardan birincisi kuvvet kaydedici çıkışına, ikincisi ise uzama kaydedici çıkışına bağlanmıştır. Diğer üçüncü ve dördüncü kanal ise dış komut girişi için makina arkasındaki iki BNC portuna bağlanmıştır.

Makinaya enerji verildiğinde makina iç mikro işlemcisi kendini her defasında sıfırlamaktadır. İkinci (Ekinci, 1996) tarafından kullanılan " Tensile and Stress for

PS and XHead on HTE-M-Series, plus front check program” i vasitasiyla gerekli olan veriler girildikten sonra elimizdeki dikdörtgen seklindeki kristal malzemeler için kuvvet-uzama grafikleri çizdirilip gerekli hesaplamalar yapılarak sonuçları yazıcıdan alınabilmektedir. Numunelerimizi farklı sıcaklıktaki çekme işlemine tabi tutmak için tasarımı ve imalatı Ekinci (Ekinci, 1996) tarafından yapılan sistem Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2 Farklı sıcaklıklarda çekme testi yapmakta kullanılan sistemin sematik gösterimi.

Yukarıdaki gösterilen ve değişik sıcaklıklarda malzemeleri test etme işlemi yapabilen Ekinci tarafından imal edilen ve HTE cihazına modifiye edilen sistemde;

A = Extensometre

B = Gövde

C = Cam Beher

D = Numune

E = Prinç Baslik

F = Direnç Teli

G = Seramik Yalitkan

H = Prinç Tutucu

I = Gazli Sensör

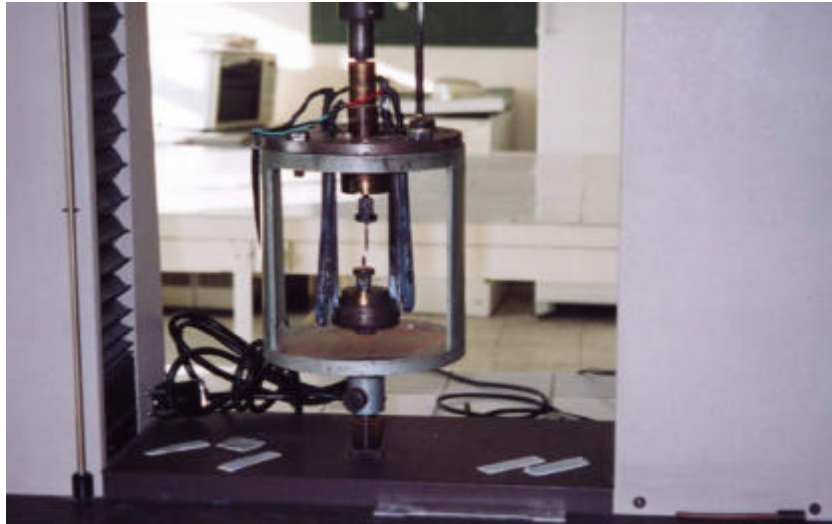
J = G Giriş Jakları

K = Termostat

L = Pim

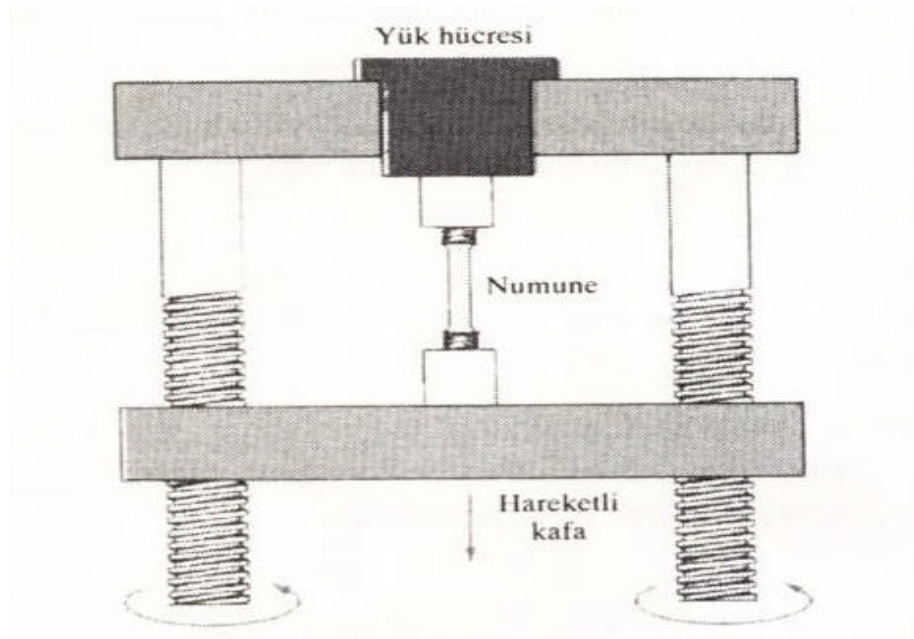
ile temsil edilmektedir.

Aynı zamanda farklı çekme hızları için yapılan deneylerde de aynı kafes yapı kullanılmaktadır. İlk etapta numunelerin yerleştirileceği aparatların içini oksijen kaynağı yardımıyla boşaltılmakta ve bu aparatlar H.T.E. makinasının çenelerine monte edilebilecek şekilde yuvası kızaklı, pirinç aparatlar şeklinde olup (Şekil 3.3.) diğer uçlarına numuneler rahat bir şekilde girebilecek şekildedir. Üst çeneye monte edilmiş pirinç aparata aynı zamanda vida dişi açılmış, yuvalara dik olarak yerleştirilen numunenin, deney başlamadan önce bu vida dişi sayesinde boşluğu alınmış, bu sayede hem numunenin burulması önlenmiş hem de uzamadaki hassasiyet en üst düzeye çıkarılmıştır.



Şekil 3.3 Çekme testinin yapıldığı sistemin görünüşü

Bilgisayar kontrolü ile çekme testine yapılırken, numunedeki uzama miktarlarını bilgisayarına gönderen ve numune üzerine takılan extensometrenin Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere alt ucu sabit gövdeye, üst ucu hareketli olan aparata L şeklindeki metal çubukların montajı yapılmıştır. Bu metal çubukların eksenleri tam çakışık olup extensometrenin alt ve üst tabakaları, bu metal çubuklara takılarak numunedeki uzama miktarları çok hassas bir şekilde bilgisayar gönderilmiştir. Aşağıdaki şekilde ise çekme aletinin sematik resmi gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Çekme sisteminin sematik gösterimi

Deneyin başlangıcında çalıştırılan bilgisayar programı test cihazının kuvvet ve uzama göstergesini otomatik olarak sıfırlamış ve Şekil 3.5'deki menüyü görüntülemiştir. Bilgisayarda çıkan menüye numunenin cinsi, yapısı, tarihi, görünümü, kullanıcı, sıcaklık ve bağıl nem gibi genel bilgiler girilmiştir.

===== Dummy UTS & 0.2%2 Proof on 25 mm =====

Product ( Numune ) ----- :

Description ( Tanim ) ----- :

Batch ( Numune grubu ) ----- :

Operator ( Kullanici ) ----- :

Date ( Tarih ) ----- :

Temp ( Sicaklik ) ----- :

R.H. (%) ( Yüzde bagil nem orani ) ----- :

### Sekil 3.5 Programin açilis menüsü

Bu bilgiler girildikten sonra test ile ilgili teknik veri giris menüsü karsimiza çikmistir. Bu menüye girilecek bilgiler test esnasinda uygulanacak kuvvet, test hizi, uzama yüzdesi gibi teknik bilgilerdir.

==H5000M =====Dummy UTS & 0.2 % Proof on 25mm =====

Loadrange for 0.2 % Proof ( 0.2 % Ger.Kuv.Ara. ) ---- : ( + - )

Proof Speed ( Gerçek hiz ) ----- : ( 0.5-20 )

Extension Display ( Uzama göstergesi ) ----- : ( 0.4-10 )

Loadrange for Test ( Test kuvvet araligi ) ----- : ( + - )

Extension Range ( Uzama araligi ) ----- : ( + - )

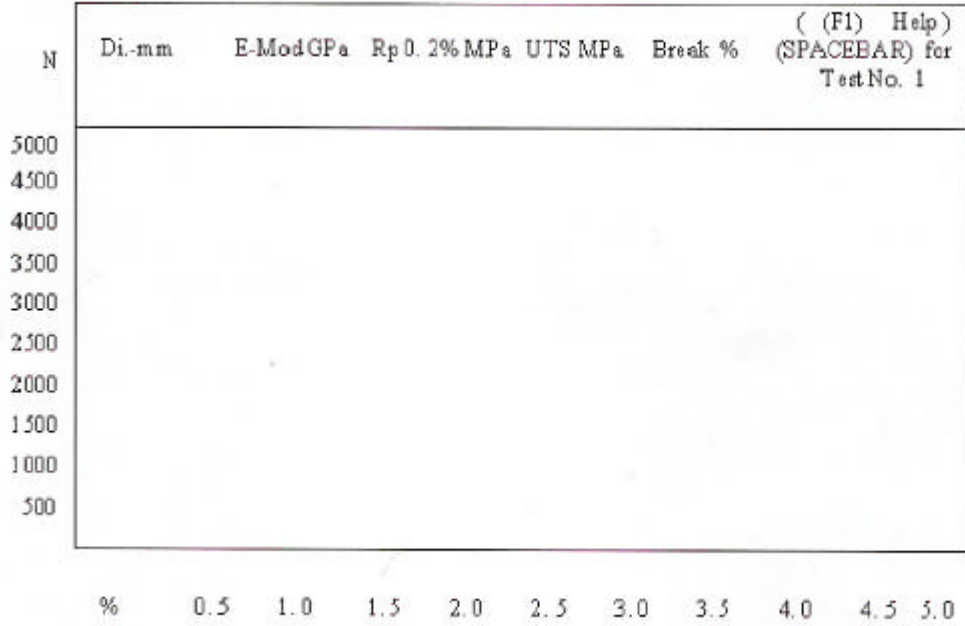
Test Speed (Test hizi ) ----- : ( 0.5-100 )

OK. Y / N / Q

=====

### Sekil 3.6 Test ile ilgili teknik veri giris menüsü

Daha sonra ekrana gelen ve Sekil 3.7’de görülen kuvvet–yüzde uzama diyagraminin sol üst köşesinde bulunan dikdörtgen ve silindirik malzemelerin hangisinin test edileceği seçeneğinden, kullanacağımız seçenek belirlenip numunenin ölçüleri mm. olarak girilerek enter tusuna basılmıştır. Bu işlemden sonra bilgisayar ve H.T.E. makinesi teste hazır hale getirilmiştir.



Sekil 3.7 Kuvvet –yüzde uzama diyagramı

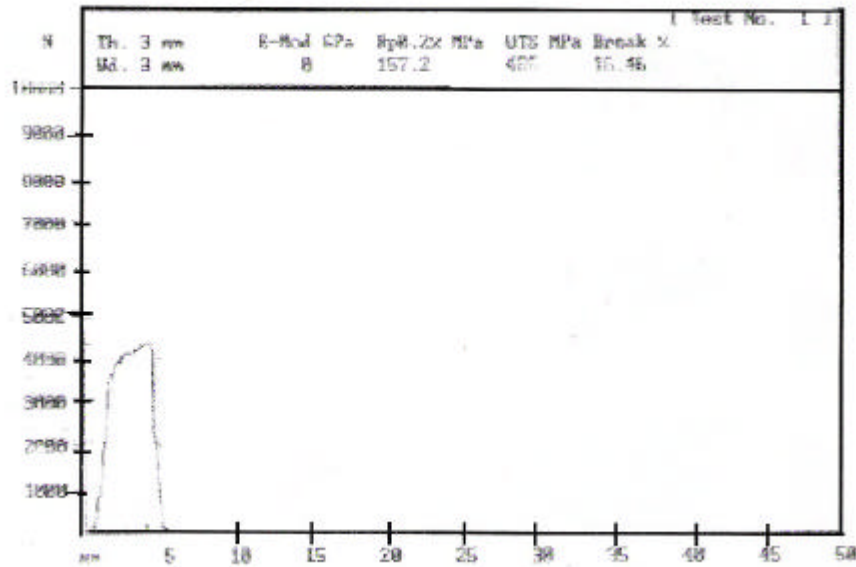
Bilgisayarın spacebar tusuna basılarak, deneylerin yapıldıkları sistem içerisindeki kızaklara yerleştirilebilen kristaller büyüme doğrultularında 3mm/dak, 10mm/dak, 15mm/dak ve 20mm/dak hızla çekilmiştir. Numune çıkma sınırına gelince programın özelliğinden dolayı deney durmuş ekranda “kuvvet/uzama” grafiği çizdirilmiştir. Kristale ait grafikler bilgisayarın F1 tusuna basılarak gelen menüden F7 tusu ile bilgisayara bağlı yazıcıdan alınmıştır.

Daha sonra ısıtma işleminin Fe-Mn ikili alaşımlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini gözlemek için ısıtma işlemi görmemiş ve görmüş numuneler ayrı ayrı tekrar aparatlara monte edildi ve bu numuneler sırasıyla belirli değerlerdeki kuvvet altında 5mm/dak’lık hızlarla çekme deneyine tabi tutuldu ve daha önce elde edildiği üzere bu numunelerinde kuvvet-uzama grafikleri yazıcıdan alındı. Yapılan ısıtma işlemi,



yapı içinde var olan bir takım distorsiyonlardan kurtulma, dislokasyon ve noktasal kusur yoğunluğunun azaltılması için yapılmaktadır. İyi bilinir ki mekanik özellikler malzemelerin geçmişi ile doğrudan ilişkilidir.

Bu çalışmada Fe-Mn ikili alaslamlarının mekaniksel özellikleri üzerine ısıl işlemin etkisinden başka, alaslamlarının mekaniksel özelliklerinin tayinine olanak veren zor-zorlanma değerleri üzerine sıcaklık etkisi araştırmak için numuneler tekrar pirinç aparatlara yerleştirildi ve mevcut kafes düzenegi çıkarılıp yerine bir beherglass yerleştirdi. Beherglass'in içine termocouple konularak ortamın sıcaklığı ölçüldü ve numuneler 5mm/dak. lik bir çekme hızı ile oda sıcaklığı, 100 °C, 150 °C ve 200 °C sıcaklıklarda çekme işlemine tabi tutuldu ve kuvvet-uzama eğrileri yazıcıdan alındı. Son olarak Fe-Mn alaslamların mekaniksel özellikleri üzerine çekme hızının etkisini gözlemek için alaslamlar farklı çekme hızlarında yeniden çekme testlerine tabi tutularak kuvvet-uzama eğrileri elde edildi. Şekil 3.8'de Fe-0.76 % Mn alaslamlarının 3 mm/dak.'lik çekme hızı ve 300 K'deki kuvvet-uzama grafiği görülmektedir.



Sekil 3.8 Fe-0.76 % Mn alaslamlarının 3 mm/dak.'lik çekme hızı ve 300 K'deki kuvvet-uzama grafiği

Gerek ısıl işlem, gerekse değişik sıcaklık ve zorlanma hızlarında elde edilen kuvvet uzama eğrilerinden hareketle alaşımların maksimum zor ve akma zoru (zorlanmanın % 0.2 sine karşılık gelen değer, Şekil 2.11.c) değerleri hesaplandı. Elde edilen deneysel sonuçların hesaplamaları aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir.

Çizelge 3.1. Fe–Mn alaşımlarının akma ve maksimum zor değerleri üzerine Mn konsantrasyonunun etkisi

Çekme Hızı 5mm/dk  T=273 K	Isıl işlem görmüş		Isıl işlem görmemiş	
	Akma zoru (MPa)	Maksimum zor (MPa)	Akma zoru (Mpa)	Maksimum zor (MPa)
Fe-0.42 % Mn	406.0	465.1	551.6	628.3
Fe-0.76 % Mn	436.8	471.3	584.0	807.4
Fe-0.94 % Mn	482.7	485.9	658.2	850.4

Çizelge 3.2. Fe – 0.34 % Mn alaşımında akma zoru üzerine sıcaklığın etkisi

Çekme Hızı 5mm/dk  (Isıl işlem görmüş)	T=373 K	T=423 K	T=423 K
	Akma zoru (Mpa)	Akma zoru (Mpa)	Akma zoru (Mpa)
Fe-0.34 % Mn	483.3	436.3	342.3

Çizelge 3.3. Fe – 0.34 % Mn alasiiminda maksimum zor üzerine sicakligin etkisi

Çekme Hizi 5mm/dk (Isil islem görmüs)	T=373 K	T=423 K	T=423 K
	Maksimum zor (MPa)	Maksimum zor (MPa)	Maksimum zor (MPa)
Fe-0.34 % Mn	516.0	494.1	387.2

Çizelge 3.4. Fe – 0.42 % Mn alasiimi üzerine çekme hizinin etkisi

T=273 K Isil islem görmüs	Çekme hizi 3 mm/dk	Çekme hizi 10 mm/dk	Çekme hizi 15mm/dk	Çekme hizi 20 mm/dk
	Akma zoru (MPa)	Akma zoru (MPa)	Akma zoru (MPa)	Akma zoru (MPa)
Fe-0.42 % Mn	382.4	408.1	464.8	512.6

Çizelge 3.5. Fe – 0.42 % Mn alasimi üzerine çekme hizinin etkisi

T=273 K Isil islem görmüs	Çekme hizi	Çekme hizi	Çekme hizi	Çekme hizi
	3 mm/dk	10 mm/dk	15mm/dk	20 mm/dk
	Maksimum zor (MPa)	Maksimum zor (MPa)	Maksimum zor (MPa)	(MPa)
Fe-0.42 % Mn	424.3	496.8	524.6	698.6

#### 4. TARTISMA VE SONUÇ

Metaller çok degisik türde üstün özellikleri nedeni ile endüstride çok geniş çalışma alanlarına sahiptirler. Özellikle üstün mekanik özelliklere sahip olduklarından en önemli yapı ve makine malzemesi sayılırlar. Ari halde yumusak ve düşük mukavemetli olmalarına karsilik alasimlandirma, soguk sekil verme ve isil islemlerle sertlik ve mukavemetleri birkaç kat artirilabilir. Ayrica üretim sirasinda döküme, plastik sekil vermeye, kesmeye ve diger bazi makine elemanlari yapmaya elverislidirler. Ancak pahali olmalari ve korozyona karsi dirençlerinin düşük olması metaller açısından bir dezavantajdır.

Endüstride kullanılan metallerin ve metal alasimlariinin türleri binlerin üzerindedir. Bunlariin her biri belli bir amaç için gelistirilmislerdir. Metaller demir esasli ve demir disi metaller olarak iki gruba ayrilir. Demir esasli metallerde ana eleman demirdir, bunun yaninda karbon daima bir alasim elemani olarak bulunur. Demire karbondan baska elemanlar katilariarak üstün nitelikli çeşitli alasimli çelikler elde edilir. Demir disi metaller içerdikleri ana elemana göre adlandırilir. Ana elemanlariin yanina bir veya birden fazla alasim elemani katarak degisik türde demir disi alasimler elde edilir. Demir disi metallerden en önemli olanlari Alüminyum ve alasimlari ile bakir ve alasimlariidir. Endüstride kullanılan metallerin yaklasik %90'i demir esasli metaller olup, ülkelerin gelismislik düzeyleri artik kullanmis olduklari demir ve demir disi alasim miktarlari ile ölçülmektedir.

Demir esasli metaller demir-karbon alasimlari ve alasimli çelikler olmak üzere iki gruba ayrilir. Demir karbon alasimlariinda sadece demir ve karbon bulunur. Alasimli çeliklerde ise demir ve karbon yaninda ayrica Mn, Cr, Ni, Si, Mo gibi diger alasim elemanlari vardir. Bu çalışmada da üç degisik Mn konsantrasyonuna sahip Fe-Mn ikili alasimlariinin mekanik özellikleri üzerine sicaklik, çekme hizi ve Mn konsantrasyonu gibi parametrelerin etkisi arastirildi. Fe-Mn alasiminda temel eleman olan Fe ari halde çok yumusak ve düşük mukavemetlidir. Ancak içine katilan Mn oranini arttikça mukavemet yani akma ve buna bagli olarak maksimum zor artar. Gerçekten de Çizelge 3.1'e bakildiginda Mn miktarinin artmasi ile Fe-Mn ikili alasimlariinin akma ve maksimum zor degerleri artmaktadır. Iyi biliniir ki mekanik

özellikler büyük ölçüde bileşime ve iç yapıya bağlıdır. İç yapının değiştirilmesinin bir yolu da alaslamlandırma değildir. Bir metale katılan alaslamlama elemanları genellikle dislokasyonların hareketini engelleyerek malzemenin mukavemetini artırır. Ayrı metaller içine katılan alaslamlama elemanlarının atomları, yapı içinde distorsiyona neden olur ve bu durum gerilme alanı ve enerjini değiştirir. Bu bölgede hareketi durdurulan dislokasyon bu yabancı atomlardan kaynaklanan çökelmiş parçacıklar arasından geçmeye çalışır. Bu geçiş için gerekli enerji  $\sigma=2Gb/l'$  dir. İfadeden açıkça görüleceği üzere çökelmiş parçacıklardan oluşan fazın belli bir hacim oranı için parçacıkların boyutu ne kadar küçük ise parçacıklar arası uzaklık o kadar küçük, dolayısıyla gerekli gerilme o kadar büyük olur. Parçacıklar arasından geçen dislokasyon çeşitli kıvrımlar çizeceğinden dolayı, dislokasyonlar arası etkileşimlerin olma olasılığını artırır, basamaklar oluşur, dislokasyon enerjileri artar ve bunları ayırmak için gereken enerji artacağından alaslamlama sert bir görünüme dönüşür. Unutulmamalıdır ki, katkı atomlarının etkinliği bunların miktarına ve atom çapları arasındaki farklara bağlıdır. Alaslamlama ile sağlanan bu mukavemet artışına kati eriyik sertleşmesi adı verilir.

Diğer yandan ısıya tabi tutulan alaslamlarda, ısıya tabi tutulmayan alaslamlara nazaran akma ve maksimum zor değerlerinin daha düşük olduğu, dolayısıyla bunların daha yumuşak oldukları söylenebilir. Ayrıca artan sıcaklıkla birlikte Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3' den görüleceği üzere akma zoru ve maksimum değerleri azalmaktadır. Bunun nedeni ısıya tabi tutulma sonucu dislokasyonların kazandıkları enerji ile harekete geçmeleri ve diğer dislokasyonlar veya noktasal kusurların oluşturduğu atmosferden daha rahat kurtulmaları şeklinde izah edilebilir. Ayrıca, zıt işaretli dislokasyonların da bu hareket esnasında birbirlerini yok ederek alaslamlama içindeki dislokasyon yoğunluğunu düşürecekleri, dolayısıyla atmosferin etkisinin azalacağı da unutulmamalıdır.

Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5' de çekme hızı ile maksimum ve akma zorunun değişimi verilmiştir. Bu tablodaki değerlerden görüleceği üzere sıcaklık ve çekme hızı Fe-Mn alaslamlarının mekaniksel özellikleri üzerine ters etki oluşturmaktadır. Yani sıcaklık artarken akma ve maksimum zor değerlerini azaltırken, çekme hızı artarken akma ve

maksimum zor degerleri artmaktadır. Zaten alasimleri gevrek yada sünek yapmanın bir yolu da sıcaklık yada çekme hızının değiştirilmesi ile mümkündür. Eğer çekme hızı yüksek olursa atomların hareketi için yeterli zaman kalmaz ve az bir şekilde değiştirme meydana gelir, zor yükselir. Aksine, çekme hızı düşülürse atomların hareketi için yeterli süre vardır. Bu süre dislokasyon hareketine engel teşkil eden atmosferin kurulması için yeterli süre olursa akma mukavemeti yükselir ve bu durum alasimların sertleşmesine neden olur.

Değişik Mn konsantrasyonlarına sahip Fe-Mn alasimlarının mekaniksel özellikleri üzerine sıcaklık, konsantrasyon ve çekme hızı gibi deformasyon parametrelerinin etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar özellikle metal kristaller için verilen teorik deneysel sonuçlar ile uyum içinde gözükmektedir. Bu durum Mn konsantrasyonunun az olması, homojen olarak yapıya dağılması ve kafes yapılarının matris yapısına uygun olması neden olarak gösterilebilir. Ancak yine de sağlıklı sonuçlara ulaşmak için geniş aralıkta Mn konsantrasyonuna sahip alasimler üzerinde geniş sıcaklık ve çekme hızı deneylerinin yapılması gereklidir.

**KAYNAKLAR**

Bliznuk, V.V., Glavatska, N.I., Söderberg, O., Lindroos, V.K., 2002, Effect of Nitrogen on Damping, Mechanical and Corrosive Properties of Fe-Mn Alloys, 2002, Materials Science and Engineering A338 (2002) 213-218

Durlu, T.N., 1989, Katihal Fizigine Giris, Ankara Üni. Fen Fak., Ankara

Ekinci, E., 1996, Doktora Tezi, Atatürk Üniv. Fen Bil. Enst., Erzurum, s.53

Elam, C.F., 1936, The Distortion of Metal Crystals, Pergamon Press, Oxford, s. 47

Eroglu, A. ve Isçi, Ç., 1988, Katihal Fizigi Ders Notlari, Ege Üni. Fen Fak. Yayinlari, Izmir, s. 56

Foreman, A.J.E. and Markin, M.J., 1966, Phill. Mag., 14, 911

Goune, M., Belmonte, T., Redjaimia, A., Weisbecker, P., Fiorani, J.M., Michel, H., 2002, Thermodynamic and Structural Studies on Nitrided Fe-1.62%Mn and Fe-0.56%V Alloys, Materials and Engineering A351 (2003) 23

Gücer, D., 1965, Sürekli Ortamlar Mekanigi, I.T.Ü. Yayınevi, Istanbul, s. 15

Hanyaloglu, C., Aksakal, B., Bolton, J.D., 2001, Production and Indentation Analysis of WC/Fe-Mn Alloys an Alternative to Cobalt-Bonded Hardmetals, Materials Characterization 47 (2001) 315-322

Hull, D., 1965, Introduction to Dislocations, Pergamon Press, Oxford, s. 22, 34, 79, 134, 254

Jun, Joong-Hwan and Choi, Chong-Sool, 1997, The Influence of Mn Content on Microstructure and Damping Capacity in Fe-(17-23)%Mn Alloys

Kear, B.H. and Wilsdorf, H.G.F., Trans. MS AIME 224, 382

Kelly, A. and Croves, G.W., 1970, Crystallograph and Crystal Defects, Clarendon Press, London, s. 161



Kocks, U.F., 1965, *Phill. Mag.*, 12, 541

Kopitsa, G.P., Runov, V.V., Grigoriev, S.V., Bliznuk, V.V., Gavriljuk, V.G., Glavatska, N.I., 2003, The Investigation of Fe-Mn-Based Alloys With Shape Memory Effect by Small-Angle Scattering of Polarized Neutrons, *Physica B* 335,134-139

Lu, X., Zhang, B., Qin, Z., Zhang, Y., Ding, B., Hu, Z., 2002, Microstructure and Mechanical Properties of Fe-Mn-Ge Alloys, *Materials Science and Engineering A347 (2003)* 258-264

Nye, J.F., 1969, *Physical Properties of Crystals*, Clarendon Press, Oxford, s. 82, 131

Onaran, K., 1993, *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 26, 186, 207

Read, W.T., 1953, *Dislocations in Crystals*, Mc Graw-Hill Press, New York, s.7, 29

Schmid, E. and Boas, W., 1936, *Kristalplastizitat*, Springer Verlag, Berlin, s. 17

Takasugi, T., Kishino, J. and Hanada, S., 1993, *Acta Metal Mater.*, 4.1009

Tükel, N., 1984, *Malzeme Bilgisi I*, Yıldız Üniv. Yayınları, İstanbul, s. 241

Uçar, N., 1994, Plastic Behaviour of Cd Crystals, *Phys. Stat. Sol. (a)* 142, K13

Wertman, J. and Wertman, J., 1965, *Elementary Dislocation Theory*, New York

Zhang, J., Chen, S., Li, L. and Hsu, T.Y., 1998, Analysis of the Stress-Strain Curves of a Fe-Mn-Si Shape Memory Alloy, *Materials Characterization* 40:37-41

Zhang, M-X. and Kelly, P.M., 2001, Deformation twinning of Martensite in an Fe-Ni-C Alloy, *Scripta Mater.* 44 (2001) 2575-2581

**ÖZGEÇMİS**

Adi Soyadi : Ömer Baris Aytar

Dogum Yeri : Siverek

Dogum Yili : 20/12/1978

Medeni Hali : Bekar

Egitim ve Akademik Durumu :

Lise 1992-1994 Mersin Tevfik Sirri Gür Lisesi

Lisans 1996-2000 Harran Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce

İs Deneyimi :

2002 – 2003 Sanliurfa Anadolu Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi

2003 – 2004 Sanliurfa Davut Zeki Akpınar Lisesi