

155752

**PİRİNÇ VE BRONZ MALZEMELERİN
YÜKSEK SICAKLIKTAKİ DEFORMASYONU**

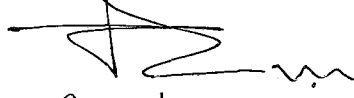
Şevket Tunç ALNIAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2004
ANKARA**

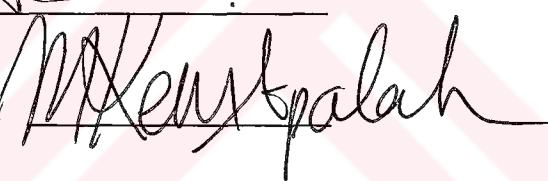
Şevket Tunç ALNIAK tarafından hazırlanan **PIRİNÇ VE BRONZ MALZEMELERİN YÜKSEK SICAKLIKTA DEFORMASYONU** adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Prof. Dr. Bedri TUÇ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Can ÇOĞUN 

Üye : Prof.Dr. Bedri TUÇ 

Üye : Prof.Dr. M.Kemal APALAK 

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
EKLERİN LİSTESİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. Malzeme Tanımları	4
2.1. Pirinç	4
2.2. Bronz	5
3. Malzemelerin Mekanik Özellikleri	7
3.1. Çekme Özellikleri	7
3.2. Basma Özellikleri	11
3.3. Sıcaklığın Özellikler Üzerindeki Etkisi	15
3.3.1. Sıcak dayanım ve sertlik	15
3.3.2. Rekristalizasyon sıcaklığı	16
3.3.3. Metal şekillendirmede davranışlar	17
3.3.4. Akma gerilmesi	18
3.3.5. Ortalama akma gerilmesi	18
3.4. Metal Şekillendirmede Sıcaklık	19
3.4.1. Soğuk şekillendirme	20

3.4.2. Orta Sıcaklıkta (Ilık) şekillendirme.....	21
3.4.3. Sıcak şekillendirme.....	21
3.5. İzotermal Şekillendirme.....	22
3.6. Deformasyon Hızı ve Etkileri.....	23
3.7. Şekil Değiştirme Esnasında Oluşan Sürtünme ve Yağlama.....	26
3.7.1. Metal şekillendirmede oluşan sürtünme.....	26
3.7.2. Kullanılan yağlayıcılar.....	26
3.8. Açık Kalıpta Dövme.....	27
3.9. Tane ve Tane Yapısı.....	30
3.9.1. Tane boyutu.....	30
3.9.2. Tane duvarlarının etkileri.....	31
3.9.3. Çok kristal yapıli metallerin plastik deformasyonu.....	32
3.9.4. Anizotropi.....	32
3.9.5. Tane büyümesi.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
4.1. Deneyde Kullanılan Düzenek (Bası Cihazı).....	35
4.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler.....	36
4.1.2. Deneyde kullanılan numunelerinin hazırlanması.....	37
4.1.3. Deney düzeneğinin hazırlanması.....	38
4.1.4. Deneyin Yapılışı.....	43
4.2. Elde Edilen Deney Sonuçları.....	46
4.2.1. Elde edilen gerçek gerilme-gerçek deformasyon eğrileri.....	51
4.2.2. Mikrofilmlerin incelenmesi ve tane yapıları.....	55

4.2.3. Farklı sıcaklık ve hızlardaki deformasyon sonucu yapılar.....	69
4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	72
4.3.1. Bronz ve pirinç alaşımlarının modellenmesi.....	73
4.3.2. Alaşımların deforme olmuş mikroyapısının incelenmesi.....	77
5. SONUÇLAR.....	82
KAYNAKLAR.....	85
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	103



**PİRİNÇ VE BRONZ MALZEMELERİN
YÜKSEK SICAKLIKTAKİ DEFORMASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Şevket Tunç ALNIAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2003**

ÖZET

Bu çalışmada, bakır alaşımlarından, pirinç ve bronz malzemeler, 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarda sabit deformasyon hızlarında bası deneyi ile deformasyona tabi tutulmuşlardır. Deformasyon hızlarına ve sabit deney sıcaklıklarına bağımlı olarak, belirlenen sabit deformasyon yüzdelerinde malzemelerin akma ve maksimum çekme mukavemetlerinin tespit edilmesi, plastik deformasyon için uygun dizayn karakteristiklerinin elde edilmesi, ılık ve yüksek deformasyon sıcaklıklarında sabit deformasyon hızlarına bağımlı olarak mikro yapı değişimlerinin incelenmesi, deformasyon hızının ve sıcaklıkların mikro yapı değişimlerine ve gerilmelere olan etkisi araştırılmıştır. Söz konusu malzemelerin deformasyon-gerilme ilişkilerini sağlayan parametreler elde edilerek, bünye denklemi oluşturulması ve tasarım çalışmalarında yararlanılmak üzere kullanıcıların istifadesine sunulmuştur.

Bilim Kodu :947
Anahtar Kelimeler :Pirinç, Bronz, Yüksek Sıcaklıkta Deformasyon, Bası Deneyi
Sayfa Adedi : 103
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Bedri TUÇ

**THE DEFORMATION OF BRASS AND BRONZE MATERIALS
AT HIGH TEMPERATURES
(M.Sc. Thesis)**

Şevket Tunç ALNIAK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2003**

ABSTRACT

In this research, copper alloys brass and bronze have been exposed by a compression test at 400 °C and 600 °C temperatures with constant deformation rates. Depending on the deformation rates and the constant testing temperatures, at defined constant deformation percentages, the flow and the ultimate compression strengths of materials are determined. The appropriate design characteristics for plastic deformation have been obtained. Depending on the constant deformation rates, the microstructure variations at warm and high deformation temperatures have been examined. The influences of deformation rates and temperatures on the microstructure alterations and compression stresses have been studied. The parameters that define the strain-stress relation of the materials have been provided along with essential data for users in order for them to benefit from in the field of design and in forming a constitutive equation for further research.

Science Code :947

**Key Words :Brass, Bronze, High Temperature Deformation,
Compression Test**

Page Number : 103

Adviser : Prof.Dr. Bedri TUÇ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren ve sabır gösteren Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Bedri TUÇ'a, tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Fevzi BEDİR'e, ayrıca "Yüksek Sıcaklıkta Deformasyon" konusundaki çalışmalarından yararlandığım Prof. Dr. M.Oktay ALNIAK' a, mikroyapı incelemelerinde deney seti ve imkanlarını kullanmamda yardımcı olan TÜBİTAK MAM(Marmara Araştırma Merkezi)'a, deneylerde kullanılan malzemelerin temininde kolaylık gösteren ve teknik analizleri gerçekleştiren PİRİNÇSAN A.Ş. ve MKE'ye ve bu çalışmada ve her zaman manevi destekleriyle beni hiç yalnız bırakmayan çok değerli annem Günay ALNIAK ve kardeşim Mehmet Dinç ALNIAK'a teşekkürü bir borç bilirim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Sıcaklıklara Göre Deformasyon Hızı Hassasiyeti Üssü ve Sürtünme Katsayısı Değerleri.....	25
Çizelge 4.1. Ms70 Pirinç Malzemeye Ait 600 °C Sıcaklık ve 10 mm/dak Basma Hızında Elde Edilen Parametreler.....	49
Çizelge 4.2. Deneylerin İşlem Parametreleri.....	73
Çizelge 4.3. Formülasyonda Kullanılan Katsayıların Değişimi.....	76



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Bir Metalin Çekme İşlemindeki Tipik Mühendislik Gerilme-Deformasyon Eğrisi.....	8
Şekil 3.2. Basma Deneyi	13
Şekil 3.3. Basmadaki Tipik Mühendislik Gerilme-Deformasyon Eğrisi	14
Şekil 3.4. Sıcaklığın Metallerin Özelliklerine Etkisi.....	15
Şekil 3.5. Çeşitli Malzemelerin Sıcaklık Sertlikleri.....	16
Şekil 3.6. Ortalama Akma Gerilmesi.....	19
Şekil 3.7. Akma Gerilmesi-Deformasyon Hızı İlişkisi.....	24
Şekil 3.8. Sıcaklığın Akma Gerilmesi Üzerindeki Etkisi.....	25
Şekil 3.9. Basma Esnasında Malzeme Boyundaki Radyal Akış	27
Şekil 3.10. Sıcak Parçaya Soğuk Kalıp Temasıyla Fıçılama	29
Şekil 3.11 Anizotropik Hal.....	33
Şekil 3.12. Anizotropik Hal-II	34
Şekil 4.1. Deney Akış Şeması	35
Şekil 4.2. Deney Düzeneği.....	38
Şekil 4.3. Instron 1115 Model Test Cihazı.....	39
Şekil 4.4. Instron 1115 Model Test Cihazı Fırını	40
Şekil 4.5. Aktif Haldeki Fırın	41
Şekil 4.6. Basma Deneyinde Kullanılan Basma Aparatları.....	42
Şekil 4.7. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Elde Edilen Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrisi.....	50
Şekil 4.8. Ms58 Pirinç Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	51

Şekil 4.9. Ms70 Pirinç Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	51
Şekil 4.10. Bronz Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	52
Şekil 4.11. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	53
Şekil 4.12. Bronz Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 2mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	53
Şekil 4.13. Ms58 Pirinç Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri.....	54
Şekil 4.14. Ms58 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	55
Şekil 4.15. Bronzun 600 °C'de ve 2mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	56
Şekil 4.16. Ms70 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 50X,100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	57
Şekil 4.17. Bronzun 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	58
Şekil 4.18. Ms70 Pirinç Malzemenin Sıcak Deforme Edilmeden Önceki Yapısı Sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	59
Şekil 4.19. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 20X, 50X,100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	60

Şekil 4.20. Bronzun 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	61
Şekil 4.21. Ms58 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri....	62
Şekil 4.22. Bronzun 400 °Cde ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu SonucuSırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	63
Şekil 4.23. Ms58 Pirinç Malzemenin Sıcak Deforme Edilmeden Önceki Yapısı Sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	64
Şekil 4.24. Ms58 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	65
Şekil 4.25. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri....	66
Şekil 4.26. Ms70 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	67
Şekil 4.27. Ms58 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri.....	68
Şekil 4.28. Ms58 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı	69
Şekil 4.29. M70 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı	70
Şekil 4.30. Bronzun Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı	71
Şekil 4.31. M58 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu X10 Büyütülmüş Mikroyapısı.....	78
Şekil 4.32. M70 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu X20 Büyütülmüş Mikroyapısı.....	79

Şekil 4.33. Bronzun Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu X50 Büyütülmüş Mikroyapısı.....	80
---	----



EKLERİN LİSTESİ**Ekler****Sayfa**

EK Deney Sonucu Elde Edilen Parametrelerin Excel Sonuçları.....87



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
σ_e	Mühendislik Gerilmesi (MPa)
F	Uygulanan Kuvvet (N)
A_o	Test numunesinin Orjinal Alanı (mm ²)
e	Mühendislik Deformasyonu (% Uzama)
L	Uzama esnasında herhangi bir noktadaki boy (mm)
L_o	Orjinal boy (mm)
E	Elastisite Modülü (MPa)
σ_{max}	Maksimum Çekme Gerilmesi
σ	Soğuk Deformasyon
K	Dayanım Katsayısı
n	Deformasyon Sertleşmesi Üssü
h	Basma esnasında herhangi bir andaki boy (mm)
h_o	Basma deneyi numunesi orjinal boyu (mm)
ϵ	Gerçek Deformasyon
Y_f	Akma Gerilmesi (MPa)
$\bar{Y}_f$	Ortalama Akma Gerilmesi (MPa)
ϵ	Maksimum Deformasyon Değeri
$\dot{\epsilon}$	Gerçek Deformasyon Hızı (m/s/m) ya da s ⁻¹
C	Dayanım Sabiti
A	Dayanım Katsayısı
m	Deformasyon Hız Hassasiyeti
μ	Sürtünme Katsayısı

<i>D</i>	Baskı tabakası ile temasta olan bölüm çapı (mm)
<i>V_k</i>	Kağıt Hızı
<i>V_t</i>	Basma test cihazının çene hızı
<i>T</i>	Deney sıcaklığı (°C)



1. GİRİŞ

Metalik malzemelerin plastik deformasyonu 1864'den bu yana birçok bilim adamının teorik ve pratik inceleme konusu olmuştur (1). Metallerin soğuk ve sıcak plastik deforme edilebilmeleri için büyük güç ve kuvvetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle plastik deformasyon tezgah ve sistem tasarımcıları, tezgaha etki edecek kuvvet ve basınç ile kullanacakları gücü hesaplamak zorundadırlar. Tasarımcıların ve kullanıcıların elde etmek istediği bu bilgiler, plastisite teorisinin sayısal yöntemlerle ve bilgisayar programları kullanılarak çözüme ulaştırılmasını sağlamaktır (2). Bu nedenle sıcak ve soğuk deformasyon, ekstrüzyon, dövme gibi işlemlerle malzemelerin birçok yönü araştırılarak, malzemenin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki eden parametreler tayin edilmekte ve malzemelerin kullanım alanları artırılmaktadır .

Günümüzde mühendislik malzemelerinin birçok uygulama alanı mevcuttur. Bu şartlar dikkate alındığında, her bir malzemeyi, uygulama esnasında tek tek denemek mümkün olmamaktadır. Tayin edilen şartlarda malzeme davranışlarının birbirlerine yakın özellikler gösterdiği bilinmektedir. Malzemelerin bu özellikleri onların karakteristik davranışlarının modellenmesine imkan sağlamaktadır. Ortam şartları değiştikçe malzeme davranışları da belirli kurallara uygun olarak değişmektedir. Sınır şartlarındaki davranışları belli olan malzemelerin ara şartlarındaki davranışlarını matematiksel modellerle tesbit etmek mümkündür. Yapılan araştırmalar sonucu malzemelerin keşfedilen yeni özellikleri, onun modelinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bu da deneysel çalışmalara süreklilik ve ivme kazandırmıştır (1).

Sıcak ve soğuk deformasyon, malzemelerin mekanik ve iç yapı özelliklerinden; çekme mukavemeti, akma mukavemeti, tokluk, rezilyans(esneklik), tane büyüklüğü, dislokasyon yoğunluğu gibi faktörleri önemli ölçüde etkilemektedir (3).

Bir malzeme yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda deformasyona maruz bırakıldığında soğuk deformasyona nazaran tamamen farklı mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Bu da malzemelerin mekanik özelliklerine etki eden sıcaklık parametresinin ve sıcak işlemin önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Sıcaklık faktörü iç yapıyı bu kadar etkilemesine rağmen, sıcak deformasyon ile ilgili daha az araştırma yapılmıştır. Malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki eden parametreler değiştikçe malzemeye kazandırılan özellikler de önemli ölçüde değişmektedir.

Malzemelerin yüksek sıcaklıklarda akma gerilmesini tayin etmek önemlidir. Yapılan araştırmalarda malzemelerin deformasyon hız hassasiyeti üssü m , deformasyon sertleşmesi üssü n ve σ - ϵ eğrilerinin yanında farklı özellikleri de dikkate alınmaktadır. Bakır alaşımları genel olarak ısıtılma işlemine yatkın olduğundan bu alaşımlara yüksek mukavemet kazandırmak mümkündür. Mukavemet, ısıtılma işleminin tesiri altında kalan mikroyapı dönüşümlerinden etkilenmektedir (1).

Bu çalışmanın yapılması aşamasında ODTÜ, CIU, SDÜ kütüphaneleri, TÜBİTAK, MKE PİRİNÇSAN metalurji arşivleri incelenmiş ve elektronik makale taramaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda, kitaplar, makaleler, tezler ve ASTM standartlarından yararlanılmıştır.

Bu araştırmaya konu olan pirinç ve bronzun aynı sıcaklıklarda sıcak deformasyonu ile ilgili yayımlanmış paralel bir yayın bulunmamakla beraber, benzer çalışmalar incelenmiş ve bunlardan faydalanılmıştır. Yararlanılan tüm yayınlar kaynakçada belirtildiği gibidir.

Deneylerde kullanılan bakır alaşımları belirtilen deney sıcaklıklarında ve gerçek deformasyon hızlarında ilk defa deneye tabi tutulmuş ve yapılan deneylerden homojen gerinmeyle ilgili olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma, bakır alaşımlarından pirinç ve bronz malzemelerin 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarda ve sabit deformasyon hızlarında bası deneyi uygulaması sonucu deforme edilmeleri esasına dayanır. Söz konusu alaşımlar, uygulamada makina imalat sanayiinde, geniş bir alanda basmaya çalışan yatak malzemesi, yüksek sıcaklık ve sürtünmeye dayanıklı mermi kovan malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Amaç olarak bu deneyden elde edilen verilere dayanarak, belirlenen sabit deformasyon yüzdelerinde malzemelerin akma ve maksimum gerilme dayanımlarının tespiti, plastik deformasyon için uygun dizayn karakteristiklerinin elde edilmesi, ılık ve yüksek deformasyon sıcaklıklarında sabit deformasyon hızlarına bağımlı olarak mikro yapı değişimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca deformasyon hızının ve sıcaklıkların mikro yapı değişimlerine ve gerilmelere olan etkisi de araştırılmıştır.

Araştırmanın sonunda ayrıca, söz konusu malzemelerin deformasyon-gerilme ilişkilerini tanımlayıcı bir bünye denklemi için gerekli verilerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Elde edilen bu veri ve parametrelerden amaç, ileride tasarım çalışmalarında yararlanılmak üzere bir bünye denklemi oluşturulması ve kullanıcıların istifadesine sunulmasıdır.

2. MALZEME TANIMLARI

2.1. Pirinç

Pirinç bir bakır ve çinko alaşıımıdır. Saf bakır ve çinkonun (bazen kurşun ilave edilerek) ergitilmesi ile elde edilir. Genellikle fazla miktarda temiz pirinç hurdası da katılır. Teknik yönden yalnız %54'den fazla bakır ihtiva eden pirinç alaşıımları önemlidir. Daha az bakır bulunması halinde alaşıımlar çok sert ve gevrek olurlar (4).

Bakırca zengin, Cu-Zn alaşıımlarına "Pirinç" (Sanayide Sarı) denilir. Alaşıım %70-90 Cu ihtiva ediyorsa, "Tombak" (Malezyaca'da Tambaga = Bakır) denilir (5).

Artan çinko miktarı ile bakırın kırmızılığı sarı renge döner (Örneğın Ms85) ve bu renk Ms63 alaşıımına kadar mufaza edilir. Bundan sonra meydana gelen β -KK'leri ile Ms58 kırmızı-sarı renge dönüşür.

Pirincin yoğunluğu Zn miktarına göre yaklaşık 8,5 g/cm³'dür. Bakırın elektriğı iletkenliğı; %10 Zn ile alaşıımlandırıldığında %60, %40 Zn ile alaşıımlandırıldığında ise %75 azalır (5).

Norm kısa işaretlerinde % Bakır miktarı verilir, (Örneğın Ms63), Özel pirinç alaşıımlarında ise Bakırdan sonra gelen en fazla olan elemanlar miktarları ile birlikte verilir (Örnek: SoMs58Al1) (6).

Pirinç paslanmaya dayanıklılığı nedeniyle denizcilik alanında ve soğuk-sıcak deformasyona müsait olması nedeniyle derin çekme işlerinde ve mühimmat sanayiinde kullanılır (7).

2.2. Bronz

Bileşiminin en az %60'ı Cu olan ve diğer alaşım elemanları içinde Zn fazla miktarda olmayan yani pirince benzemeyen alaşımlar "Bronz" olarak adlandırılır. Ana alaşım elemanları kısa işaretlerle şu şekilde verilir, Örneğin: SnBz4, G-AlBz9 gibi (5).

Bronzlar, pirinçten daha yüksek mukavemet değerlerine, aşınma direncine sahiptirler. Korozyona karşı daha fazla dayanım gösterirler ve daha iyi kayma özelliklerine sahiptirler (8).

%2-4 Sn içeren Bronzlar, genellikle civata imalatında, %6-8 Sn ihtiva eden alaşım elemanlı Bronzlar (Örnek:MSnBz4Pb herbiri yaklaşık %4 oranında olan Sn, Zn ve Pb ihtiva eder) çekilerek veya haddelenerek, 0,03 mm çapa kadar ince teller ve 0,05 mm'den daha ince bandlar imal edilirler. Tatbik edildiği yerler, tel örgüler, yaylar ve manometreler için "Bourdon" borularının imalidir.

Kalay bronzlarının büyük bir kısmı (G-SnBz10'dan G-SnBz20'ye kadar olanlar) döküm yapılarak şekillendirilebilir. Fakat sertlik değerleri hariç olmak üzere yüksek mukavemet değerleri, yalnız santrifüj döküm alaşımı GZ-SnBz12 (Z=Savurma Döküm) ile temin edilir (5). Korozyona dayanıklı ve kaygan parçalar, aşırı zorlanan sonsuz vida dişli çarkları gibi, kaymalı yataklar, asitlere dayanıklı aletler, su türbinlerinin iletme ve rotor kanatları gibi ürünlerin imalinde kullanılır (8).

Bir cins bronz da "Kızıl Döküm" olarak adlandırılır. Birçok alaşım elemanlı, kalay yerine bir miktar da çinko ihtiva eden bronzlardır. Genel de kurşun da ihtiva ederler. Örnek: GZ-Rg5 alaşımı (Rg=Rotguss kelimesinden kısaltmadır) %5 Sn, %7 Zn, %3 Pb ihtiva eder (5). Kızıl döküm rahat dökülebilir. Ancak sertliği azdır. Özellikle kayma hızı yüksek olmayan yataklarda, kalay bakımından zengin bronzlar gibi kullanılır (8).

En eski ve önemli bronzlar, kalay bronzlarıdır. Bunlara daha önce az miktarda fosfor ihtiva ettikleri için fosfor bronzları denirdi. Bu ve gene eski olan hadde bronzları deyimi bugün artık kullanılmamaktadır. Kalay bronzları, yüksek kimyasal dayanıklılıkları sebebiyle kimya endüstrisinde ve gemi inşaatında büyük ölçüde kullanılırlar. Kağıt endüstrisinde kağıt hamuru bıçak ve süzgeçleri, gemi inşaatında deniz suyuna dayanıklı mil kaplamaları, elektronikte yaylar, saat endüstrisinde zemberekler, makina endüstrisinde korozyona ve fazla yüke maruz dişli çarklar, akslar, conta yuvaları, bükülebilir borular ve yaylanma parçaları, bu alaşımlardan imal edilir. Kalay bronzları yatak malzemesi olarak da kullanılır. Ayrıca çan dökümü için dökme kalay bronzları kullanılır. İhtiva ettikleri kalay dolayısı ile bronzlarda titreşim sönümü çok azdır. Bu özellik bakımından başka hiçbir metal kalay bronzlarından üstün değildir (4).

Kalay bronzlarının en önemli özellikleri, başta yüksek mukavemet olmak üzere, korozyona karşı çok iyi dayanıklılık ve kalay miktarının %10'dan fazla olmaması şartıyla, iyi şekil değiştirme kabiliyetidir. Kalay fiyatının bakırinkinin yaklaşık 4 katı olması , bronz fiyatının yükselmesi ve dolayısı ile kullanılma yerlerinin artırılmaması sonucunu doğurur. Bunu önlemek amacıyla çok bileşenli kalay bronzlarında ve kızıl döküm alaşımlarında bir miktar kalay yerine ucuz çinko konulur. Böylece elde edilen alaşımlar yüksek mukavemete sahip olup, sadece kimyasal dayanıklılıkları biraz düşüktür (9).

Fiziksel özelliklerinden elektrik iletkenliği, en fazla kalay miktarına bağlı olarak değişir. Bakır-kalay alaşımlarının ergime noktaları da kalay miktarına kuvvetle bağlıdır.

Alaşımlardaki kalay, yüzeye iyi şekilde bağlı olan ve kimyasal etkilere karşı olağanüstü dayanıklılık sağlayan koruyucu bir tabaka meydana getirir. Bu dayanıklılık bakırinkine eşit ve bazı hallerde daha yüksektir (4).

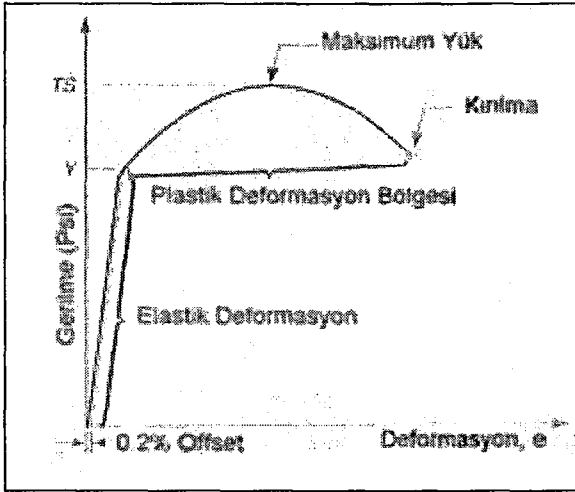
3. MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

3.1. Çekme Özellikleri

Malzemelerin mekanik özellikleri imalat ve konstrüksiyon için önemlidir. Tasarım esnasında mekanik özellikler büyük önem taşır. Bunun sebebi ise ortaya çıkacak olan ürünün görevi ve performansının, hizmet esnasında meydana gelen gerilmeler sonucunda oluşacak deformasyonlara karşı olan malzeme direncine dayalı olmasıdır. Malzemeden istenen, çalışma esnasında oluşacak gerilmelere karşı geometrisinde kayda değer değişiklikler göstermemesidir. Bu da elastiklik ve kırılma dayanımına bağlıdır.

Genelde tasarımda aranan sertlik gibi mekanik özellikler, üretim esnasında istenmeyen özellikler haline gelir. Bu durumda konstrüksiyon için bir ikilem oluşmaktadır. Yararlı olan malzeme dayanımı ve sertliği, imalat esnasında talaş kaldırma operasyonunda istenmeyen bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır (10).

Malzemelerde genel olarak üç çeşit statik gerilmeye rastlanmakta, bunlar, çekme, basma ve kayma olarak nitelendirilmektedir. Çekme gerilmeleri, malzemeyi germe, uzatma eğilimindedir. Basma gerilmeleri, malzemeyi sıkıştırma, ezme eğilimi gösterir. Kayma gerilmeleri ise malzemelerin atom dizilişlerinin geometrisinde ve düzlemlerinde kayma meydana getirmektedir. Gerilme-Deformasyon Eğrisi, bu üç tip gerilme durumunda malzemenin mekanik özelliklerini ifade eden temel ilişkidir. Şekil 3.1'de çekme durumuna ait bir gerilme-deformasyon eğrisi gösterilmiştir. Bu araştırmada, malzemelerin gerçek deformasyon ve gerçek gerilme ilişkisini ortaya çıkaran parametrelerin elde edilmesine ilişkin bir çalışma yapılmıştır.



Şekil 3.1. Bir Metalin Çekme İşlemindeki Tipik Mühendislik Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Bir malzeme elastik limitinin altında yüklendiği zaman deformasyon kalıcı olmaz. Gerilme tamamen kaldırıldığında ise cisim ilk boyuna geri döner (3). Bu durumda malzeme davranışı Hook kanununa uyar ve $\sigma = Ee$ bağıntısını sağlar (1). Hook kanununun geçerli olduğu bölge Şekil 3.1’de gösterilen elastik deformasyon bölgesidir. Eğer malzeme elastik limitinin ötesinde bir gerilme ile yüklenirse, plastik veya kalıcı deformasyon meydana gelir ve yüklenen parça ilk boyuna dönmez.

Delme, presleme, haddeme, dövme, çekme ve ekstrüzyon gibi plastik deformasyon işlemleri metallerin plastik değişimini oluşturur. Aynı zamanda frezeleme, tornalama, kesme ve delme gibi talaşlı imalat işlerinde de plastik deformasyon meydana gelir.

Gerilme-Deformasyon ilişkisinde oluşan farklı iki bölge dikkat çekmektedir. Bunlar *Elastik* ve *Plastik* bölgelerdir. Elastik bölgede, gerilme ve deformasyon arasındaki ilişki lineerdir. Malzeme elastik bir davranış gösterir. Yük ortadan kaldırıldığında, malzeme eski boyuna geri döner. Bu ilişki *Hooke Kanunu* olarak adlandırılmıştır (10).

E elastiklik modülü, e birim uzaman olmak üzere elemanda meydana gelen gerilme

$$\sigma_e = E e \quad [3.1]$$

olur.

Burada E , malzemenin doğasındaki dayanımın bir ölçüsüdür. Her malzeme için farklı olan bir sabittir. Bakır ve alaşımlarının, dökme demire yakın, Alüminyum alaşımlarının üç katı, kurşunun beş katı dayanım özelliklerine sahip olduğu görülmektedir (10). Gerilme arttıkça, lineer ilişki sona ermeye başlar (Şekil 3.1). Lineer ilişkinin sona erdiği ve malzemenin akmaya başladığı noktada elastik deformasyon son bulur. Bu nokta Y olarak ifade edilecek olursa, lineer bölgenin sona ermeye ve akmanın meydana gelmeye başladığı andır. Söz konusu akmanın meydana geldiği ise grafikteki Lineer bölgenin sonundaki eğimin değişikliğinden anlaşılır. Y , Şekil 3.1.'de de görünen 0.2%'lik deformasyona karşılık gelen noktadan plastik akma eğrisine çizilen paralel bir doğrunun Gerilme-Deformasyon Eğrisini kestiği nokta olarak tanımlanabilir. 0.2% lik offset deformasyona karşı gelen Y noktasındaki gerilme akma gerilmesidir.

Y noktası, plastik bölgeye geçişi işaret eder ve malzemenin plastik deformasyonunun başlangıcıdır. Y noktasının ötesinde yük arttıkça, numunenin uzaması sürer. Fakat bu artış daha öncesine kıyasla daha büyük oranda ve hızlı olarak gerçekleşir ve grafikte de görüldüğü gibi, eğrideki eğimde hissedilir bir değişim meydana gelir. Uzama, kesit alanındaki azalmayla beraber devam eder (10). Sonunda, uygulanan F yükü maksimum değere ulaştığında, bu noktada hesaplanan Mühendislik Gerilmesi, Çekme Dayanımı olarak da ifade edilir. Maksimum yükün etkisiyle numunede meydana gelen maksimum çekme gerilmesi

$$\sigma_{max} = F_{max} / A_o \quad [3.2]$$

olur.

σ_{max} ve Y noktasına karşılık gelen akma gerilmesi(σ_{akma}), tasarım hesaplamalarındaki önemli iki gerilmedir.

Deneye tabi tutulan numuneye uygulanan kuvvet düşüş göstermeye başladığında, deney numunesinde sınırlı bir bölgede içe doğru çentik şeklinde bir daralma meydana gelir ve bu kopma noktasının işaretidir. Artık düzenli bir deformasyonun yerini tek bir bölgede meydana gelen deformasyon almıştır. Bu bölge, belirgin bir şekilde içe doğru daralır ve son olarak kopma (kırılma) meydana gelir. Kırılmanın hemen öncesi ölçülen gerilmeye, Kırılma Gerilmesi veya Kopma Mukavemeti de denir.

Numunedeki Uzama, $\Delta L = (L_f - L_o)$ ise, meydana gelen birim deformasyon

$$e = (L_f - L_o) / L_o \quad [3.3]$$

olur.

Plastik bölgedeki deformasyon belirgin hale geldikçe, gerçek deformasyon ve mühendislik deformasyonu farklılığı ortaya çıkar. Gerçek Deformasyon ile Mühendislik Deformasyonu arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur,

$$\epsilon = \ln (1 + e) \quad [3.4]$$

Benzer olarak gerçek ve mühendislik gerilmeleri de aşağıdaki şekilde ilişkilendirilebilir,

$$\sigma = \sigma_e (1 + e) \quad [3.5]$$

Plastik bölgedeki gerilmenin, malzemenin kırılma noktasında içe doğru incilmesi hareketinin başladığı ana kadar sürekli olarak arttığını söyleyebiliriz. Burada metalin deformasyon arttıkça daha da güçlü bir yapıya kavuştuğu da söylenebilir. Bu özellik, *deformasyon sertleşmesi* olarak da

adlandırılır. Bir metalin bu özellik etkisi altındaki davranışı incelendiğinde, Gerçek Gerilme-Deformasyon eğrisinde plastik bölgede lineer ilişki gözlenir (1). Plastik bölgedeki Gerçek Gerilme ve Gerçek Deformasyon arasındaki ilişki de Soğuk Deformasyon Eşitliği denilen Eş.3.6 ile sağlanır,

$$\sigma = K \epsilon^n \quad [3.6]$$

Bu denklem *Akış Eğrisi* olarak adlandırılır. Plastik bölgede metallerin davranışları, deformasyon sertleşmesi de dahil olan bir yaklaşımla bu formülle ifade edilebilir. K sabiti *Dayanım Katsayısı* (MPa) olup, Gerçek Deformasyon değerinin 1 olduğu noktadaki Gerçek Gerilme değerine eşittir. n parametresi *Deformasyon Sertleşmesi Üssü*'dür ve Şekil 3.1'deki doğrunun eğimine eşittir. Bu değer doğrudan metalin soğuk deformasyon esnasındaki mukavemet artımı veya deformasyon sertleşmesi olarak isimlendirilebilen eğilimine bağlıdır (2).

3.2. Basma Özellikleri

Basma deneyi, silindirik numunenin iki levha arasında uygulanan bir kuvvet sonucunda elde edilir. Numune sıkıştırıldıkça, boy kısalmaya ve kesit alanı artar. Küçük, silindirik metal parçaların tek eksenli basılmasında deformasyon sertleşmesi karakteristiğini elde etmek kolay gibi görülmesine rağmen basma deneyinde malzemenin homojen olarak deformasyonu, numune ile basma takımları arasındaki sürtünmeden dolayı zordur. Bu olay, Şekil 3.10'da görüldüğü gibi numunede yükün artması ile numunenin bombeleşerek fiçileşmesine sebep olur (11).

Deneysel olarak, metalik numunenin yüzeyinde akmaya karşı bir sınırlama olmasından dolayı her iki yüzeyinde de kısmen deforme olmamış bölge olduğu görülmektedir. Basma takımlarının konik yapılması halinde, iş parçasının alın yüzeyleri bu koniye uyacak şekilde torna edilirse basma kuvvetine dik doğrultuda meydana gelen ilave yan kuvvetlerin etkisiyle

malzemenin yanlara doğru akması sağlanmış olacaktır (12). Böylece numune ile koniler arasında üniform gerilme dağılımının sağlanabileceği Siebel ve Pomp (1927) tarafından teklif edilmiştir. Ancak bu durum daha fazla zorluk göstermiş ve yüzeyde seçilen koni açısı ve numune yüzeyinin işlenmesi malzemede daha fazla belirsizlikler oluşturmuştur (11).

Basma deneyinde homojen deformasyon, basma takımı ile numune yüzeyleri arasında iyi bir yağlama yapılarak elde edilebilir. Akma gerilmesi numuneyi deforme eden takımın üzerinden ölçülen basınçtan hesap edilir ve numunede meydana gelen gerçek deformasyon basma takımının üzerindeki yükün kaldırılmasından sonra doğru bir şekilde ölçülebilir. Bu gibi metodlar Taylor ve Quinney (1934) ve Johnson (1956) tarafından yaklaşık %40'lık bir logaritmik deformasyona kadar kullanılmıştır. Benzer bir teknik Loizou ve Sims (1953) tarafından saf kurşunun akma gerilmesini ölçmede kullanılmıştır. Son durumda numune yüzeyinde dönen eş merkezli yağlayıcı kanallar açılarak daha fazla yağlama elde edilmiş ve sürtünme azaltılarak dikey fıçılama yok edilmiştir (11).

Mühendislik Gerilmesi,

$$\sigma_e = F / A_o \quad [3.7]$$

σ_e = Mühendislik Gerilmesi (MPa)

F = Uygulanan Kuvvet (N)

A_o = Test numunesinin Orjinal Alanı (mm²)

Mühendislik Deformasyonu ise,

$$e = (h - h_o) / h_o \quad [3.8]$$

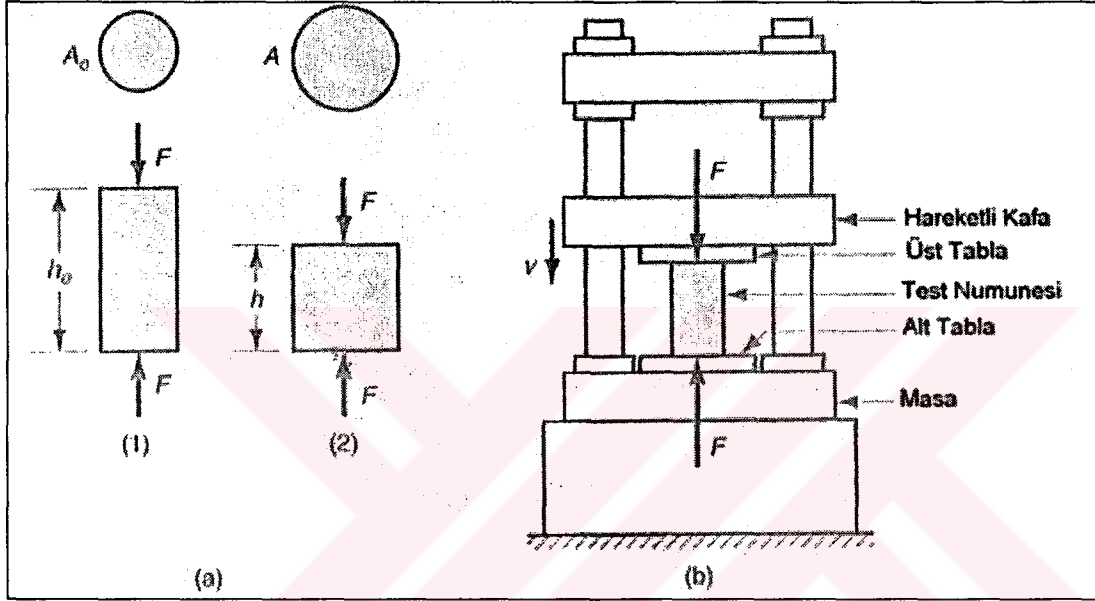
eşitlikleri ile ifade edilir.

e = Mühendislik Deformasyonu

h = Kısalma esnasında herhangi bir andaki boy (mm)

h_o = Orjinal boy (mm)

Mühendislik Deformasyonunda, genelde deneyin başladığı ve bittiği anlardaki numune boyu, ilk boy ve son boy olarak anılmaktadır.



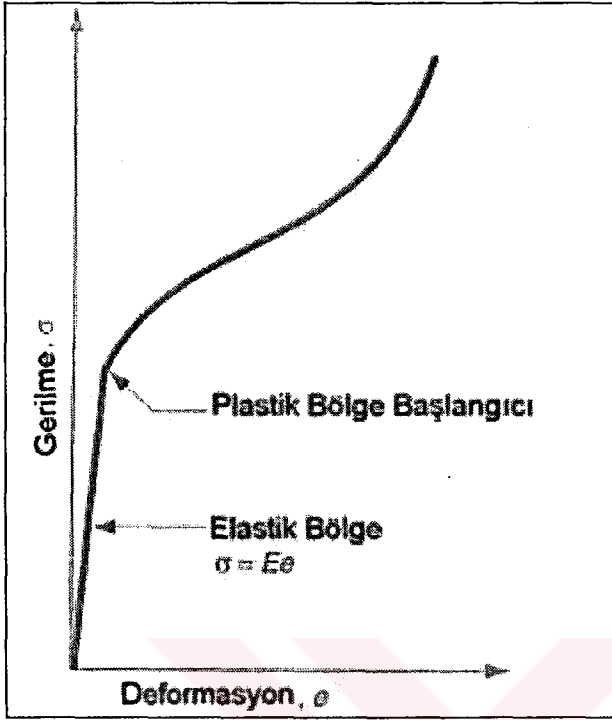
Şekil 3.2. Basma Deneyi

(a) Basma kuvvetinin numuneye uygulanması (1)'de ve boydaki değişim sonucu (2)'de görülmektedir,

(b) Deney düzeneği

Bu deneyde sıkıştırma esnasında boy kısaldıkça, e 'nin değeri negatif olacaktır. Negatif işaret, basma gerilmesi değeri ele alınırken yok sayılır ve ifade edilmez (10).

Şekil 3.2'den görüleceği gibi basma deneyinde, çekme deneyinin tersine kesit alanında bir artış olmaktadır. Çekme testine göre uygulanan yük daha çabuk artar, bu da Mühendislik Gerilmesini daha yüksek bir değere çıkartır (13).



Şekil 3.3. Basmadaki Tipik Mühendislik Gerilme-Deformasyon Eğrisi

Basma deneyinde oluşan diğer bir farklılık da gerilmedeki artışa nispeten bir katkıda bulunulmasıdır. Bu da silindirik numune sıkıştıkça plakalarla temasta olan yüzeylerdeki sürtünmenin artmasından kaynaklanır. Deney esnasında bu sürtünme sebebiyle ek bir enerji harcanmaktadır. Bu da daha fazla uygulama kuvvetine ihtiyaç doğurur.

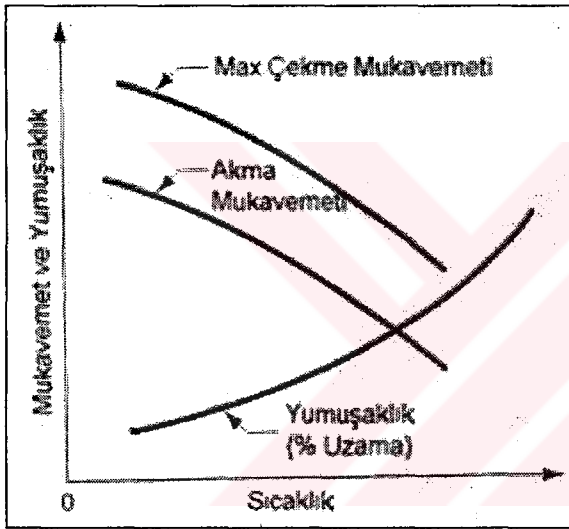
Aynı zamanda mühendislik gerilmesinde de artış meydana gelir. Bası deneylerinde ve derin çekme operasyonlarında, malzemenin yağlanmasıyla, sürtünme önlenmeye çalışılır (11).

Ayrıca numunenin tam merkezindeki kesit alanındaki artış, uçlardaki artıştan fazladır. Bu da malzemenin fiçi biçiminde bir ovallik almasına yol açar (10).

Bu iki deneyde, mühendislik gerilmesi-deformasyonu eğrilerinde her ne kadar farklılıklar olsa da, gerçek gerilme-deformasyon verileri ele alındığında, ilişkiler aşağı yukarı benzerlik göstermektedir.

3.3. Sıcaklığın Özellikler Üzerindeki Etkisi

Sıcaklık, malzemenin hemen hemen tüm özelliklerinde belirgin etkilere sahiptir. Ürünler tasarım aşamasında iken, ortaya çıkacak olan parçaların çalışacakları ortamdaki sıcaklık hesaplanarak gerekli düzenlemeler yapılmalıdır. Yüksek sıcaklıkta malzemeler, daha düşük dayanıma sahiptirler. Metaller için genel ilişki Şekil 3.4'de görülmektedir. Buna göre, çoğu metal sıcak ortamda çok daha rahat işlenebilir (10).



Şekil 3.4. Sıcaklığın Metallerin Özelliklerine Etkisi

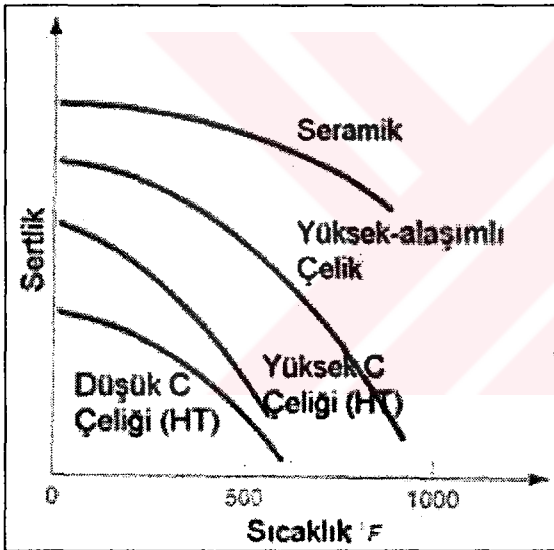
3.3.1. Sıcak dayanım ve sertlik

Yüksek sıcaklıkta dayanım ve sertliğin muhafaza edilmesi özelliği Sıcak Sertlik olarak adlandırılır. Sıcaklığa dayanım ve sertlik, malzemenin yükseltilen sıcaklıklarda dayanımını koruyabilme kabiliyetidir. Çelikler, sıcaklığa dayanım ve sertlik özelliklerinin geliştirilmesi için alaşımlı imal edilirler. Seramikler, yüksek sıcaklıkta üstün özellikler sergiler. Bu malzemeler yoğun olarak, türbin parçaları, kesici aletler ve ısıya dayanıklı uygulamalarda kullanılırlar. Örneğin uzay mekiklerinin gövdelerinde seramik

yapı kullanılır. Bu da atmosfere yüksek hızda giriş sağlanırken oluşan sürtünmeye dayanımı artırır (13).

İyi derecede sıcaklığa dayanım ve sertlik, üretim teknolojisinde kullanılan çeşitli aletler için de istenen özelliktir. Belirgin sayıda ısı enerjisi ve metal işleme operasyonlarında bu tip yüksek sıcaklığa dayanıklı aletler kullanılmaktadır (10).

Çalışma ortamında sıcaklık arttıkça malzeme sertliği azalır. Şekil 3.5.'de çeşitli malzemelerin sıcaklık ve sertliklerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Çeşitli Malzemelerin Sıcaklık Sertlikleri

3.3.2. Rekristalizasyon sıcaklığı

Çoğu metal, oda sıcaklığında akış eğrisindeki plastik bölgeye göre davranış gösterirler. Metal deforme olduğunda, deformasyon sertleşmesi prensibine göre dayanımında artış olur (deformasyon sertleşmesi üssü $n > 0$).

Eğer metal, yeterli sıcaklığa kadar ısıtılır ve daha sonra deforme edilirse, deformasyon sertleşmesi oluşmaz. Aksine yeni tane yapıları oluşur. Bu

Eğer metal, yeterli sıcaklığa kadar ısıtılır ve daha sonra deforme edilirse, deformasyon sertleşmesi oluşmaz. Aksine yeni tane yapıları oluşur. Bu taneler deforme olmamıştır ve metal mükemmel plastik malzeme özelliğinde davranış gösterir. Bu da deformasyon sertleşmesi üssü $n=0$ olduğu noktadır. Bu deformasyona uğramamış yeni tane yapılı oluşum *rekristalizasyon* olarak adlandırılır. Bu oluşumun meydana geldiği sıcaklık da yaklaşık olarak ergime noktasının yarısıdır. ($0.5 T_m$) Bu da *rekristalizasyon sıcaklığı* olarak adlandırılır. Rekristalizasyon zaman alır. Belirli bir metal için rekristalizasyon sıcaklığı, yeni tane yapılarının tamamen oluşumunun sağlandığı yaklaşık bir saatlik süreçteki sıcaklıktır.

Rekristalizasyon, sıcaklık bağımlı bir metal karakteristiğidir ve üretimde uygun olarak kullanılır. Metali rekristalizasyon sıcaklığına ısıtarak, dayanımı yeterli miktarda azaltılır ve yumuşaklığı artırılır. Şekillendirme sırasında uygulanacak güç ve kuvvetler belirgin oranda azalır. Metalleri rekristalizasyon sıcaklığı üstünde işlemek, *Sıcak Şekillendirme* olarak bilinir (10,13).

3.3.3. Metal şekillendirmede davranışlar

Tahmin edilen metal davranışları, Gerilme-Deformasyon eğrisinden elde edilebilir. Eğrideki plastik bölge esas olarak incelenmelidir. Çünkü metal, bu işlemler esnasında plastik olarak ve kalıcı bir deformasyona uğramaktadır.

Bir metal için gerilme-deformasyon ilişkisi, incelme noktasının altında bir elastisite ve bunun üzerinde bir deformasyon sertleşmesi sergiler (10).

Bu plastik bölgede, metalin davranışı Eş.3.9 ile ifade edilir,

$$\sigma = K \epsilon^n \quad [3.9]$$

K sabiti = *Dayanım Katsayısı* (MPa)

n = *Deformasyon Sertleşmesi Üssü*

ϵ = *Gerçek Deformasyon (True Deformation)*

Akış şemasındaki gerilme ve deformasyon, Gerçek Gerilme ve Gerçek Deformasyon'dur. Soğuk işlemde, Akış Şeması genel olarak metalin plastik davranışını belirten bir ilişkidir (10).

3.3.4. Akma gerilmesi

Akma gerilmesi, metali akma halinde tutabilmek için deformasyonunu devam ettirebilecek gerekli olan değerdeki ani gerilmedir (1). Bu aynı zamanda deformasyonun da bir fonksiyonu olarak metalin incelme dayanımı şeklinde Eş.3.10. ile sağlanır,

$$Y_f = K \epsilon^n \quad [3.10]$$

Y_f = Akma Gerilmesi (MPa)

Örneğin, dövme işlemlerinde basma esnasındaki ani kuvvet, akış gerilme değerinden faydalanılarak saptanabilir. Maksimum kuvvet, dövmenin son darbesindeki son deformasyon sonuçlarına dayanarak, akış gerilimi üzerine hesaplanabilir (13).

Diğer durumlarda, bu analizler deformasyon esnasındaki ani veriler yerine, Ortalama Gerilmeler ve Deformasyonlar üzerine yapılabilir. Ekstrüzyon bunun bir örneğidir. Metal yavaş yavaş deformasyon sertleşmesine uğrar. Buradaki deformasyonu analiz ederken ortalama akış gerilmesi üzerine çalışılmalıdır.

3.3.5. Ortalama akma gerilmesi

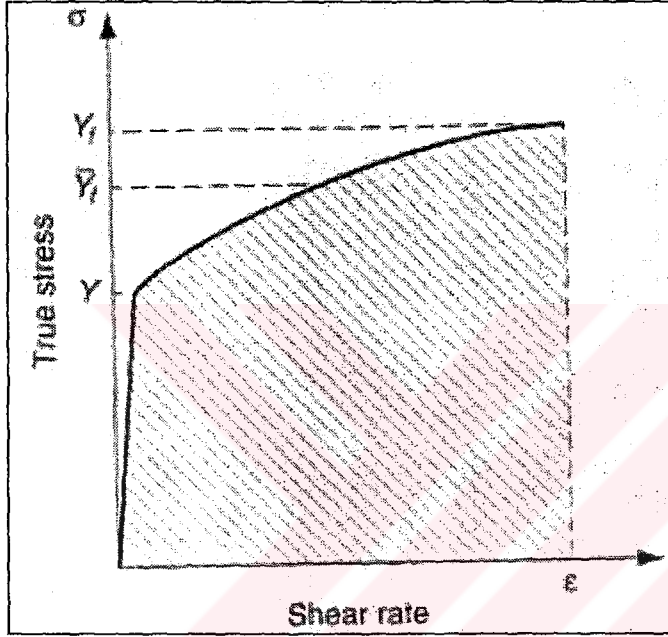
Bu gerilme, gerilme-deformasyon eğrisi üzerinde deformasyonun başlangıcından maksimum değere ulaştığı ana kadarki deformasyon ele alınarak ortalama olarak hesaplanır. Bu durum Şekil 3.6'da ifade edilmiştir.

$$\bar{Y}_f = (K \epsilon^n) / (1+n)$$

[3.11]

$\bar{Y}_f$ = Ortalama Akma Gerilmesi (MPa)

ϵ = Maksimum Deformasyon Değeri



Şekil 3.6. Ortalama Akma Gerilmesi

3.4. Metal Şekillendirmede Sıcaklık

Özellikle soğuk şekillendirme operasyonları için, akış eğrisi, plastik deformasyondaki metalin gerilme-deformasyon davranışının bir göstergesidir. Herhangi bir metal için, K ve n değerleri sıcaklığa bağlıdır. Hem dayanım hem de deformasyon sertleşmesi, yüksek sıcaklıkta azalma gösterir. Buna ek olarak, malzemedeki uzama oranı sıcaklık arttıkça artar. Bu özellik değişiklikleri önemlidir, çünkü herhangi bir işlem, daha düşük kuvvet ve güçle yükseltelen sıcaklıklarda gerçekleştirilebilir.

Malzeme üç çeşit sıcaklıkta şekillendirmeye tabi tutulabilir. Bunlar, soğuk, orta sıcaklıkta(ılık) ve sıcak şekillendirme olarak sıralanabilir. Diğer bir tabirle, malzemeler soğuk, ılık veya sıcak çekme ya da basma operasyonlarına tabi tutulabilirler (10,13).

3.4.1. Soğuk şekillendirme

Tanım olarak rekristalizasyon sıcaklığının altında yapılan şekil değişimler soğuk gerinme olarak bilinir.

Oda sıcaklığında ya da biraz üzerindeki sıcaklıklarda yapılan şekillendirme türüdür. Soğuk şekillendirmenin sıcak şekillendirmeye göre belirgin avantajları,

- Daha yakın tolerans değerlerine sahip, daha doğru sonuçlar elde edilmesi,
- Daha düzgün yüzey işlemi elde edilmesi,
- Deformasyon sertleşmesinin parçadaki dayanım ve sertliği artırması,
- Deformasyon sırasındaki tane akışının, elde edilecek ürünlerdeki istenilen özelliklere ulaşılmasında avantaj sağlaması,
- Isıtma işlemine gerek duyulmaması.

Dezavantajları ise,

- Daha yüksek kuvvet ve güce ihtiyaç duyulması,
- Çalışılacak olan parçanın yüzey temizliğinin ve pürüzsüzlüğünün sağlanması,
- Metalin esneklik derecesi ve deformasyon sertleşmesi, uygulanacak olan işlemi etkiler ve sınırlar.

3.4.2. Orta sıcaklıkta (ılık) şekillendirme

Rekristalizasyon sıcaklığının altında ve oda sıcaklığının üstünde yapılan işlemlerdir. Soğuk ve ılık şekillendirme arasındaki belirgin ayrım çizgisi, metal için, ergime noktası süreci olarak ifade edilebilir. Bu çizgi yaklaşık olarak, $0.3T_m$ 'dir (10).

Soğuk şekillendirmeye göre avantajları,

- Daha az kuvvet ve güce gereksinim duyulması
- Daha karmaşık geometrik çalışmaların mümkün olması

3.4.3. Sıcak şekillendirme

Rekristalizasyon sıcaklığının üstündeki işlemlere denir. Bu sıcaklık yaklaşık olarak $0.5 T_m$ 'dir. İşlenecek metal, sıcaklık $0.5 T_m$ 'nin ötesine geçtiğinde yumuşama gösterir. Bununla beraber, yüksek ısıda ergime gibi istenmeyen sonuçlar da ortaya çıkabilir. Bu sebeple bu sıcaklık genelde, $0.5 T_m$ ve $0.75 T_m$ arasında muhafaza edilmeye çalışılır. Sıcak işlemin diğerlerine göre en büyük avantajı, metalde plastik deformasyonu tam olarak gerçekleştirebilmektir. Bunun başlıca sebebi de, akış eğrisindeki dayanım katsayısının oda sıcaklığından yeteri kadar düşük olması, Deformasyon üssünün 0(sıfır) olması ve metalin esnekliğinin belirgin olarak artmasıdır (10, 13).

Buna göre soğuk şekillendirmeye oranla sağlanan avantajlar,

- Çalışılan parçanın şekli istenildiği gibi belirgin bir biçimde değiştirilebilir,
- Metali deforme edebilmek için çok daha düşük kuvvetlere ihtiyaç duyulur,
- Soğuk işlemde çatlama ve kırılma eğiliminde olan metaller işlenebilir,

- Dayanım özellikleri genellikle izotropiktir (koordinat eksenine göre aynı),
- İşlemdeki sertleştirmeden dolayı parçada herhangi bir dayanım söz konusu olmaz.

Genelde işlem yüksek hızda gerçekleştirilir. Bunun sebebi de tam rekristalizasyona müsaade etmemektir. Buna rağmen rekristalizasyon bazen engellenemez ve tane yapılarında değişiklik söz konusu olur. Fakat bu da beklenen sonuçlar arasındadır. Ve sıcak işlemin diğerlerinden ayrılmasının karakteristik unsurlarından birisidir.

3.5. İzotermal Şekillendirme

Bazı metaller alaşımlıdır. Bunlar, yüksek hız çeliği, titanyum alaşımları ve yüksek sıcaklıklı nikel alaşımları olarak örnek gösterilebilir. Bu tip malzemelerde uygulanan işlemlerde, malzeme sıcak iken uygulanan kuvvetlerde, kullanılan tezgah yüzeylerinin soğuk olması, temas yüzeylerinden ani ısı transferine ve bu yüzden de istenmeyen deformasyon ve çatlak tarzı bozulmalara yol açmaktadır. Bunun giderilmesi için yapılan işlem ise takımların da aynı işlem sıcaklığına kadar ısıtılmasıdır. Bu da izotermal işlemdir. Her ne kadar takım ömrünü kısaltsa da istenmeyen malzeme deformasyonlarını engellemek için bu yöneme başvurulur. En çok kullanıldığı alan ise sıcak dövmedir (10, 13).

Yüksek sıcaklıklarda yapılan basma deneylerinde, basma tablası olarak kullanılan malzemenin yüksek sıcaklığa mukavemetli ve yüksek sıcaklıkta deforme olmayan malzemelerden seçilmesi önem kazanır (7,10).

Titanyum-Zirkonyum-Molibdenum alaşımlı malzeme(TZM) veya Vanadyumlu çelikler yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygun olduklarından tercih edilirler (14).

3.6. Deformasyon Hızı ve Etkileri

Bir metalin, yüksek sıcaklıkta davranışı mükemmel plastik olarak bilinmektedir. Bu da deformasyon sertleşmesi üssü $n = 0$ olduğu noktadır. Bunun yanısıra, deformasyon esnasında metallerin davranışlarını belirleyen başka bir olgu vardır. Bu da deformasyon-oranı hassasiyetidir. *Deformasyon Hız Hassasiyeti* olarak da adlandırılır.

Deformasyon oranı, doğrudan deformasyon hızıyla ilişkilidir. Çoğu işlemden deformasyon hızı, tahrik ekipmanının hızına eşittir.

Deformasyon Hızı,

$$\dot{\epsilon} = v / h \quad [3.12]$$

v = Basma Hızı (m/s)

$\dot{\epsilon}$ = Gerçek Deformasyon Hızı (m/s/m) ya da s^{-1}

h = Deforme olan parçadaki anlık boy (m) (Deneyin yapıldığı herhangi bir andaki boy)

Akma gerilimi de, sıcaklığın bir fonksiyonudur. Akma gerilimi, deformasyon hızına bağlıdır. Deformasyon Hızının etkisi Şekil 3.7'de görülmektedir. Deformasyon Hızı arttıkça, deformasyona karşı olan direnç de artar.

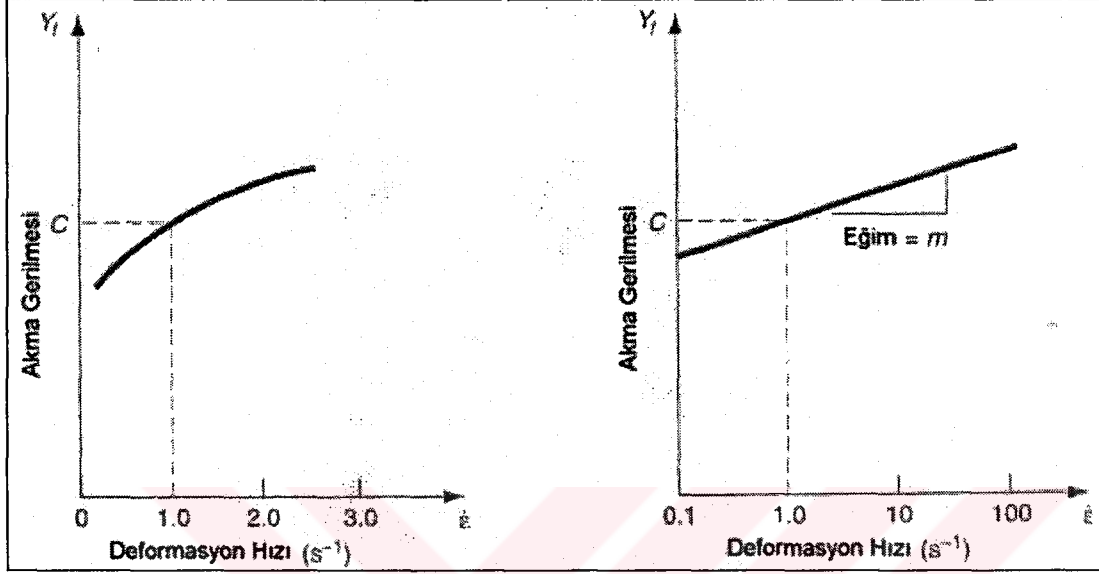
Sıcak Deformasyon,

$$Y_f = C(\dot{\epsilon})^m \quad [3.13]$$

C = Dayanım Sabiti (Akma eğrisi formülünde bulunan dayanım katsayısına benzer, ancak eşit değildir)

m = Deformasyon Hızı Hassasiyet Üssü

C 'nin değeri Şekil 3.7.'de de görüldüğü üzere, deformasyon oranının 1.0 olduğu noktadaki değerdir. m 'in de eğrideki eğimi ifade ettiği görülmektedir.



Şekil 3.7. Akma Gerilmesi – Deformasyon Hızı ilişkisi

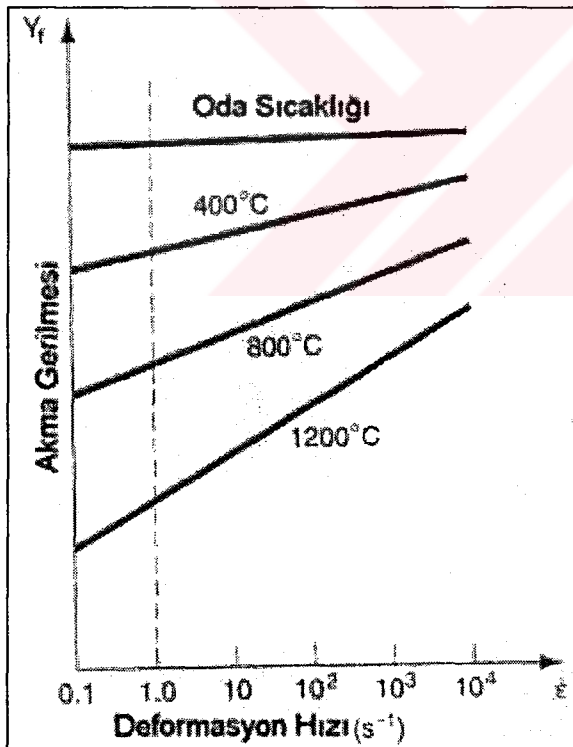
Sıcaklığın artması, C 'de azalmaya yol açar. Artan sıcaklıkla m değerinde artış olur. Oda sıcaklığında deformasyon hızı etkisi önemsiz denecek kadar azdır. Burada metalin davranışını akış eğrisi iyi bir şekilde göstermektedir. Sıcaklık arttıkça deformasyon hızı etkisi akış eğrisi belirlenirken önemli rol oynar. Sıcak işlemde malzemenin deformasyon direnci, deformasyon oranı arttıkça önemli ölçüde artar.

Sıcaklığa bağlı bazı işlem örnekleri, Sürtünme Katsayıları ve m değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sıcaklıklara Göre Deformasyon Hızı Hassasiyeti Üssü ve Sürtünme Katsayısı Değerleri [10]

Soğuk-Ilık-Sıcak İşlemlerde Tipik Sıcaklık, Deformasyon Hızı Hassasiyeti ve Sürtünme Katsayısı Değerleri			
Kategori	Sıcaklık Aralığı	Deformasyon Hızı Hassasiyeti Üssü	Sürtünme Katsayısı
Soğuk İşlem	$\leq 0.3T_m$	$0 \leq m \leq 0.05$	0.1
Ilık İşlem	$0.3T_m - 0.5T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.1$	0.2
Sıcak İşlem	$0.5T_m - 0.75T_m$	$0.05 \leq m \leq 0.4$	0.4-0.5

Şekil 3.8.'de sıcaklığın akma gerilmesi üzerindeki etkisi şematik olarak görülmektedir. Akma gerilmeleri, artan sıcaklıklarla beraber bir azalma göstermektedir.



Şekil 3.8. Sıcaklığın Akma Gerilmesi Üzerindeki Etkisi [10]

Hem deformasyon hem de deformasyon hızını içeren diğer bir akma gerilmesi formülü de Eş.3.14.'deki gibidir (7,10).

$$Y_f = A (\dot{\epsilon})^m \epsilon^n \quad [3.14]$$

A = Dayanım Katsayısı (K ve C değerlerinden ortaya çıkar)

A , n , m değerleri sıcaklığın fonksiyonlarıdır.

m = Deformasyon Hız Hassasiyeti

n = Deformasyon Sertleşmesi Üssü

3.7. Şekil Değiştirme Esnasında Oluşan Sürtünme ve Yağlama

3.7.1. Metal şekillendirmede oluşan sürtünme

Metal şekillendirmede kullanılan takımlar ve malzeme yüzeyleri arasındaki temas ve basınç sebebiyle sürtünme oluşur. Bunun etkileri şu şekilde sıralanabilir,

- Metal akışında sürtünmeden oluşan gecikme çeşitli gerilmelere ve bu da üründe çarpılma etkisine yol açmaktadır.
- İşlemi gerçekleştirmek için daha fazla kuvvet ve güce ihtiyaç duyulur.
- Takımlarda aşırı ve hızlı aşınma gerçekleşir, bu da ölçülerde hata oluşmasına sebep olur (10,11,13).

3.7.2 Kullanılan yağlayıcılar

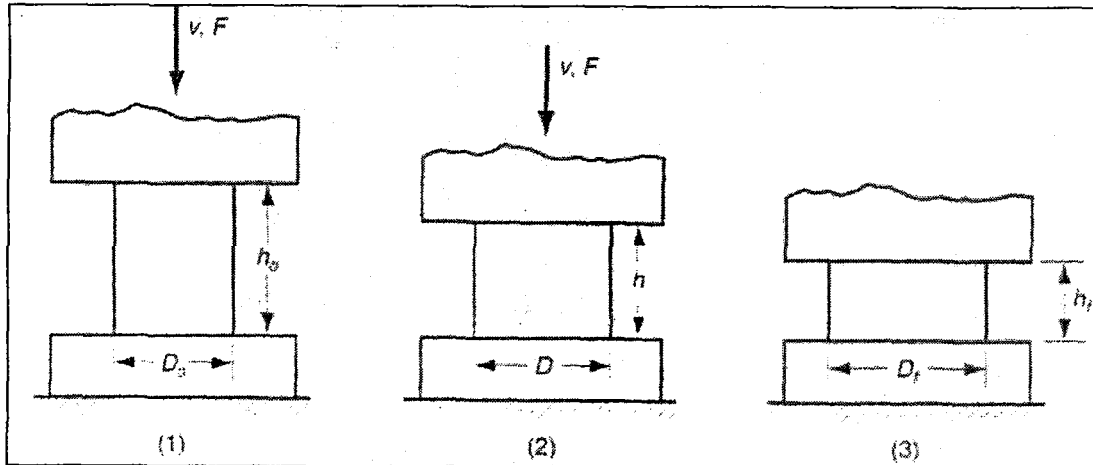
Aşınma ve sürtünmeleri minimuma indirmek amacıyla çeşitli yağlayıcılar kullanılmaktadır. Yağlayıcılar sayesinde, yapışma, yüksek kuvvet gereksinimi, takım aşınması, yüzey bozukluğu ve takım ile yüzeydeki ısınma azaltılmış olur. Homojen gerinme için yağlama önemlidir.

Her çeşit metal işlemesi için farklı yağlayıcılar seçilir. Bu da sürtünmenin azaltılması ile birlikte uygulamanın zorluk derecesi, yanıcı ya da parlayıcı olması, maliyet ve zehir faktörlerine dayanılarak bir seçim yapılmasını gerektirir.

Genelde soğuk işlemler için mineral yağlar, su bazlı emülsiyonlar, sabunlar ve benzerleri kullanılır. Sıcak işlem bazen, belirli malzemeler için kuru uygulanır. (Örneğin Alüminyumun ekstrüzyonu) Ancak sıcak işlemede kullanılan yağlayıcılar genelde mineral yağlar ve buna benzer patlama ve parlamaya sebep olmayan içerikli maddelerden oluşur. Su bazlı ve kimyasal olarak reaksiyona girmeyen özel yağlar kullanılır. Aynı zamanda cam tozu, söz konusu baronnitrat gibi malzemeler de deneylerde yağlama malzemesi olarak kullanılabilir (10,11,13,14).

3.8. Açık Kalıpta Dövme

Basma deneyinin özelliklerini taşır. Özünde aynısıdır. İdeal şartlarda gerçekleşen bir dövmede, yani numune ve baskı yüzeyleri arasında sürtünmenin olmadığı ortam oluştuğunda, homojen deformasyon gerçekleşir. Buna bağlı olarak da malzemedeki boyda radyal bir akış gerçekleşir (10,13).



Şekil 3.9. Basma Esnasında Malzeme Boyundaki Radyal Akış (10)

İdeal şartlarda oluşan *Gerçek Deformasyon* da Eş.3.15'deki gibi ifade edilir,

$$\epsilon = \ln (h / h_0) \quad [3.15]$$

h_0 = Parçanın başlangıç boyu (mm)

h = Parçanın işlem esnasında herhangi bir andaki boyu (mm)

Basma darbesi esnasında $h = h_f$ (Son değer)

Gerçek Deformasyon bu noktada maksimum değerine ulaşır.

Uygulanan Kuvvet

Verilen herhangi bir boydaki uygulanan kuvvet Eş.3.16'daki gibi sağlanır,

$$F = Y_f A \quad [3.16]$$

F = Kuvvet (N)

A = Kesit Alanı (mm²)

Y_f = Akma Gerilmesi (MPa)

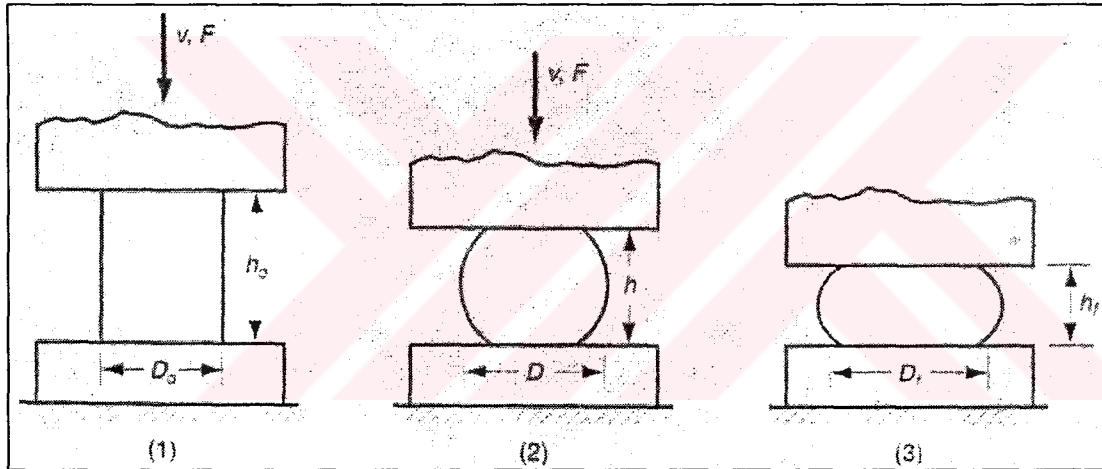
A sürekli artış gösterirken, h da düşüş gösterecektir. Bu sadece metalin mükemmel plastik olduğu durumlarda farklılık gösterebilir.(Örneğin Sıcak işlem) Bu durumda $n=0$, $Y_f = Y$ dir. Dövme darbesinin sonunda kuvvet maksimum değere ulaşırken, alan ve akış gerilmesi de maksimum değerlerine ulaşırlar.

Gerçek bir dövme ise bu şekilde gerçekleşmez. Pratik olarak ideal koşullar sağlamak mümkün olmaz. Sürtünme oluşacağına işlenen malzemede bir bombe meydana gelecektir. Sıcak parçaya soğuk kalıplar temas ettiğinde, fıçıyı andıran bu deformasyon oluşur.

Sebepleri ise,

- Sıcak işlemden oluşan yüksek sürtünme katsayısı
- Kalıp kenarlarında oluşan ısı transferi ve bunun metali soğutarak deformasyona direnç göstermesi olarak düşünülebilir.

Orta kısımdaki metal, uçlardaki malzemeye göre daha sıcak olduğu için daha rahat akış sağlar. Burada çap-boy oranının artışı ve parça-kalıp arayüzü alanının artışı, belirgin etkilerin görülmesini sağlar (10,11,13). Şekil 3.10'da yeni oluşum görülmektedir,



Şekil 3.10. Sıcak Parçaya Soğuk Kalıp Teması Sonucu Fıçılama

Bu durum için Eş. 3.17 ve Eş. 3.18 türetilmiştir (10),

$$F = K_f Y_f A \quad [3.17]$$

$$\text{Dövme Şekil Faktörü,} \quad K_f = 1 + ((0,4\mu D)/h) \quad [3.18]$$

K_f = Dövme Şekil Faktörü

μ = Sürtünme Katsayısı

D = Baskı tabakası ile temasta olan bölüm çapı (mm)

h = Parça boyu (mm)

3.9. Tane ve Tane Yapısı

Çeşitli ürünlerin imalatında kullanılan metaller, kendilerine has, özel ve rasgele düzenli kristallerden oluşur. Bunlar tanelerdir. Bunlar tek kristallerden değil birçok kristalden oluşmuştur. Yani *polikristal* olarak adlandırılırlar (10).

Ergimiş bir metal, katılaşmaya başladığında kristaller, birbirlerinden bağımsız olarak sıvı hacim içerisinde çeşitli yerlerde konuşlanırlar. Bu kristallerin herbiri kristal bir yapı ya da bir tane yapısı içerisinde gelişir. Tane boyut ve sayısı, nükleasyon(çekirdeklenme) anındaki orana, yani kristallerin oluşumundaki başlangıç anındaki safhaya bağlıdır (13).

Eğer kristal nükleasyon oranı yüksek ise, metal içerisindeki tane sayısı fazla olur. Sonuç olarak, tane boyutları küçük olacaktır. Bunun tam tersi de orantısal olarak doğrudur. Genel olarak ani soğutma küçük tane yapısına ve yavaş soğutma ise büyük tane yapısına sebep olur (6).

Büyüyen tanelerin birbirleri üzerinde etkisi olur. Bu taneleri birbirinden ayıran çizgiler, tane yapısı olarak adlandırılır. Saf metaller için bu tane yapıları tek kristalden oluşurken, alaşımlar için birden fazla kristal tane yapısını oluşturmaktadır. Tek kristal ya da tanenin davranışı anizotropiktir. Polikristal parçaların davranışları ise izotropiktir. Çünkü taneler rasgele kristalografik oryantasyon gösterirler. Özellikleri test yönü ile değişmez (2,10,11).

3.9.1. Tane boyutu

Tane yapısı belirgin bir biçimde metallerin mekanik özelliklerini etkiler. Oda sıcaklığında büyük tane yapısı, düşük dayanım ve düşük sertlik gibi özellikler karşımıza çıkar. Bu özellik metal levhalarda yüzey pürüzlülüğü olarak gözlenir (12).

Tane boyutu genellikle belli bir alanda yapılan sayıma göre, fotoğrafları çekilen malzemenin resmi üzerinde rasgele çizilen bir çizgi ile kesişme durumuna göre ya da standart grafiklerde saptanır. Bu standart ASTM (The American Society for Testing and Materials) tarafından belirlenmiştir. Tane boyutu n , tane sayısı N ile ilişkilidir. Bağntı Eş.3.19 şeklindedir (10),

$$N = 2^{n-1} \quad [3.19]$$

Genellikle tane yapıları çok küçüktürler. $5\mu\text{m}$ ile $8\mu\text{m}$ arası boyuttaki taneler ince taneler olarak adlandırılır. $7\mu\text{m}$ boyutundaki taneler metal plakalar için kabul edilir bir değerdir. Bunlar genelde otomobil gövdelerinde, mutfak gereçlerinde ve benzeri alanlarda tercih edilir. Taneler çok büyük yapıda olduklarında gözle de görülürler. Örneğin, galvanizlenmiş bir metal plaka yüzeyindeki çinko (1, 2). Toz metalurjisi süper alaşımlarında $2\sim 8\mu\text{m}$ ince, $60\sim 80\mu\text{m}$ kaba tane sayılır (14).

3.9.2.Tane duvarlarının (sınırları) etkileri

Tane duvarlarının(sınırları) dayanım ve esneklik gibi özellikler üzerinde önemli etkisi vardır. Çünkü bu sınırlar yer değişim(deformasyon) hareketlerini engellerler. Tane sınırları deformasyon sertleşmesini de etkilerler. Bu etkiler, sıcaklık, deformasyon hızı ve tane sınırları boyunca var olan metalik karbitler veya malzeme hatalarından kaynaklanır.

Tane sınırları, tanelere göre daha reaktiftirler. Bu etkinliğin sebebi ise sınırlardaki atomlar sırasız ve daha yüksek enerjiye sahiptirler.

Sıcaklık arttıkça tane sınırlarında kayma meydana gelir. Tane sınırlarında kırılgenlik da mevcuttur. Düşük ergime sıcaklığı olan metallerle atomik temas halinde bulunan normal esneklik ve sertlikteki metaller, düşük gerilmelerde dahi çatlama ve kırılgenlik durumuyla karşı karşıya gelirler. Örneğin, Civa-

Çinko amalgam ile temas eden Alüminyum, ya da yüksek sıcaklıkta Kurşunla temas eden Bakır.Bu olay, Katı-Sıvı Kırılmalığı olarak adlandırılır (10,6).

Sıcak Kısılma ise, metalin ergime noktası altındaki bir sıcaklıkta bir katkı maddesinin bölgesel olarak ergimesi sonucu oluşur. Plastik deformasyona göre yüksek sıcaklıkta, metal parçası ufalanır, parçalara ayrılır ve tane sınırları boyunca parçalanır. Örneğin, kurşunlu çelik ve kurşunlu pirinç. Sıcak kısalmayı engellemek için, metal düşük sıcaklıklarda işlenir ve yumuşama ve tane sınırları boyunca ergime engellenir. Alaşımli çeliklerdeki diğeri bir kırılma ise Tavlama Kırılmalığıdır. Sebebi ise katık maddelerin segregasyonu yani tane sınırlarına doğru hareket etmesi ve yer değıştirmesidir (10).

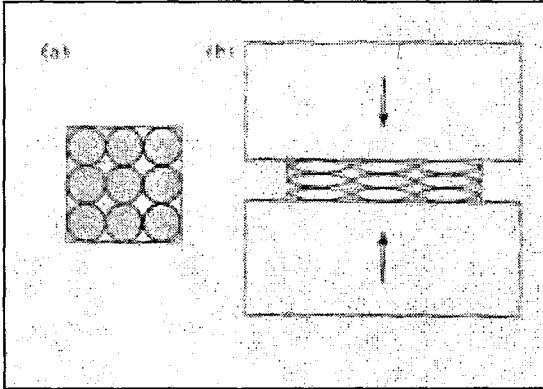
3.9.3.Polikristal yapıli metallerin plastik deformasyonu

Oda sıcaklığında plastik deformasyona uğrayan polikristal yapıli ve her yönde eş ölçülerde tane yapılarına sahip bir metalde, tane yapıları deforme olacak ve uzayacaktır. Bu bir basma ya da çekme işlemi vasıtasıyla gerçekleşebilir.

Plastik deformasyon esnasında, tane sınırları bozulmadan kalacaktır. Deforme olan metal daha dayanıklı olacaktır. Bununla beraber küçük tane yapıları ve metalin birim hacmine göre daha büyük tane sınırı alanı oluşur (10, 13).

3.9.4. Anizotropi

Plastik deformasyonun sonucu olarak, taneler bir yönde uzamaya müsaade edildiğinde, bu metal parçası, Şekil 3.11'de görüldüğü üzere anizotropik hal almıştır. Malzemenin dikey yöndeki özellikleri, yatay yöndeki özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Homojen gerinme malzemenin koordinat sistemine göre serbetçe hareket edebilmesi ile meydana gelir. Malzemenin izotropik özellikte olması tercih edilir (13).



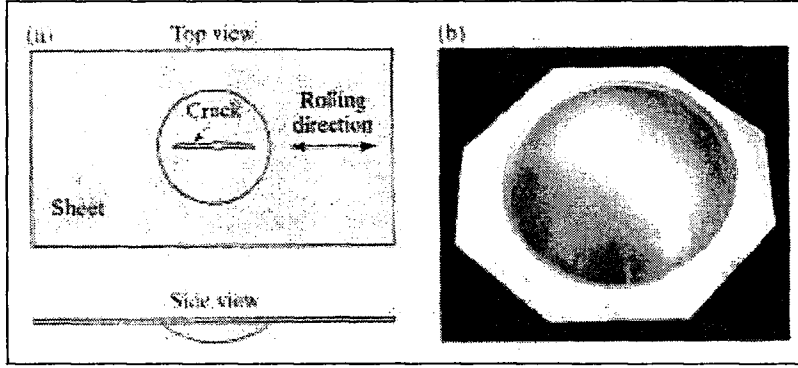
Şekil 3.11. Anizotropik Hal-I

(a) Deformasyon öncesi

(b) Deformasyon sonrası

Metal işleme teknikleri tarafından üretildikten sonra çoğu ürün, mekanik özelliklerdeki anizotropiyi geliştirmektedir. Anizotropinin derecesi, metalin nedimli düzgün deforme edildiğine bağlıdır. Şekil 3.12’de görüleceği gibi enine işlenen bir parçadaki çatlak da enine, boyuna oranla daha fazla ilerlemiştir ve şekillenmiştir (13).

Anizotropi, metallerin hem mekanik hem de fiziksel özelliklerini etkiler. Örneğin Elektrik transformatörleri için üretilen metal levhalar rulo haline getirilirken, deformasyonla plakaya anizotropik manyetik özellikleri verilmiş olur (13).



Şekil 3.12. Anizotropik Hal-II

- (a) Plakaya çelik bir küre ya da bilyenin basılması sonucu oluşan çatlak. Çatlağın oryantasyonu plakanın işlenirken çekildiği yönde olmuştur.
- (b) Alüminyum plakada bir çatlak (Merkezdeki dikey koyu çizgi) . Plakanın işlenme yönü diktir.

3.9.5. Tane Büyümesi

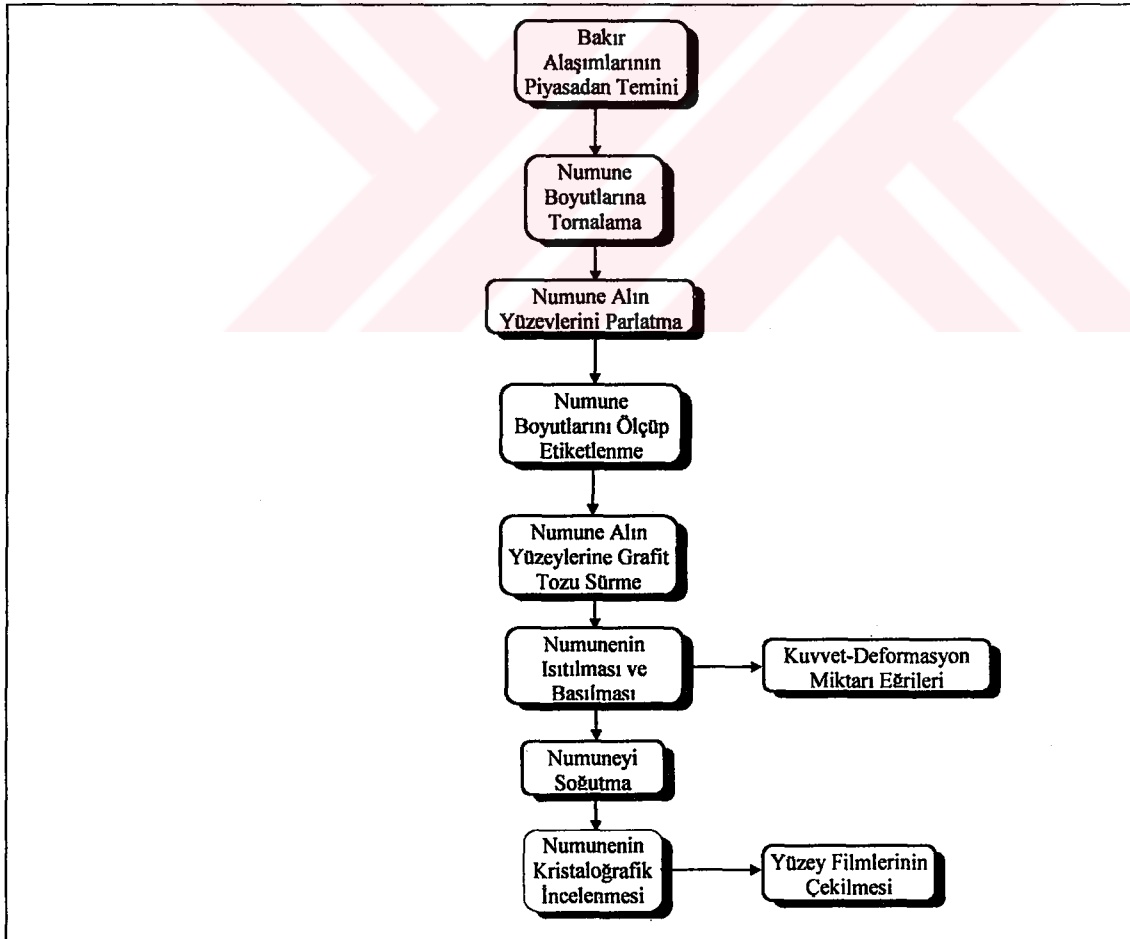
Metalin sıcaklığı artırılmaya devam edildikçe, taneler büyümeye başlar. Ve bu duruma bağlı olarak tane boyutları, orjinal tane boyutundan da büyük hale gelebilir. Bu olgu *Tane Büyümesi* olarak adlandırılır. Mekanik özelliklere de etkisi vardır. Büyük tane yapıları, metal plakalarda pürüzlü bir yüzey oluşmasına sebep olur (6,13).

Artan sıcaklıklarla malzeme içindeki kalıcı artık gerilmelerin azaldığı, malzemenin akma gerilmesinin azaldığı, sertliğin azaldığı, kırılma dayanımının azaldığı, tane boyutlarının rekristalizasyondan sonra büyüdüğü ve malzemenin yumuşadığı gözlenmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Deneyde Kullanılan Düzenek (Bası Cihazı)

Bakır alaşımlarından pirinç ve bronz malzemelerin plastik deformasyonunu gerçekleştirmek amacıyla üç grup bakır alaşımı kullanılmıştır. Bunlar Ms58, Ms70 pirinçleri ve bronzdur. Basma deneyleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde; Instron 1115 model test cihazında ve kapalı bir fırın içinde 400 °C ve 600 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Basma deneyleri test cihazının sabit çene hızında ve numunelerin yaklaşık % 70 miktarında deformasyona uğratılması şeklinde yapılmıştır. Deneylerin akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Deney Akış Şeması

4.1.1 Deneylerde kullanılan malzemeler

Deneyde kullanılan bakır alaşımları PİRİNÇSAN A.Ş.'den temin edilmiştir. Sıcak basma deformasyonu esnasında numune iç yapısında meydana gelen değişimleri incelemek amacıyla numuneler mikroyapı çalışmalarıyla incelenmiştir. Basma deney sonuçları test cihazının yazıcısından kuvvet-deformasyon miktarı eğrileri olarak elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

Ms58:

Cu% 56.4467, Zn% 41.04369, Pb% 1.94681, Fe% 0.14038, Sn% 0.31475, Al% 0.01966, Ni% 0.06315, Sb% 0.01833, As% 0.00464, Bi% 0.00001, Mg% 0.00004, Mn% 0.00001, P% 0.00137, S% 0.00044, Si% 0.00001, Diğerleri% 0.025

Genel Özellik ve Kullanım Yerleri

Otomatlarda imal edilen her türlü dönel parçalar için (civatalar, somunlar, rakorlar, flanşlar) faydalanan malzemedir. Çok iyi talaş kaldırma özelliğine sahip olması %2-3 kurşun ilavesi ile mümkündür. Sıcak şekil değiştirme kabiliyetinin iyi olmasından dolayı sıcak preslenmiş parçalar için uygun, soğuk şekil verme işlemine ise pek elverişli değildir [9] .

Ms70:

Cu% 68.9286, Zn% 31.06895, Pb% 0.00001, Fe% 0.00001, Sn% 0.00001, Al% 0.00001, Ni% 0.00001, Sb% 0.00034, As% 0.00001, Bi% 0.00020, Mg% 0.00001, Mn% 0.00001, P% 0.00179, S% 0.00001, Si% 0.00001, Diğerleri% 0.002

Genel Özellik ve Kullanım Yerleri

Ms63'e nazaran pahalı olmakla beraber şekil değiştirme özellikleri daha iyidir. İnce cidarlı boru imalinde, derin çekme, dövme işlemlerinde kullanılır. Nefesli sazlar, bilyalı kalem uçları, tel dokuma, kartuş ve fişek pirinci olarak kullanılır ve tanınır (9).

Bronz:

Cu% 89.0129, Sn% 7.92206, Zn% 1.86632, Pb% 0.88052, Fe% 0.03374, Al% 0.00097, Ni% 0.20993, Sb% 0.03184, As% 0.01076, Bi% 0.00001, Mn% 0.00001, P% 0.02667, S% 0.00262, Si% 0.00169

Malzeme analizleri PİRİNÇSAN A.Ş. Kırıkkale'de gerçekleştirilmiştir. Analiz kuruma bağlı Kalite Kontrol laboratuvarında mevcut bilgisayar kontrollü analiz cihazında yapılmıştır.

4.1.2 Deneyde kullanılan numunelerin hazırlanması

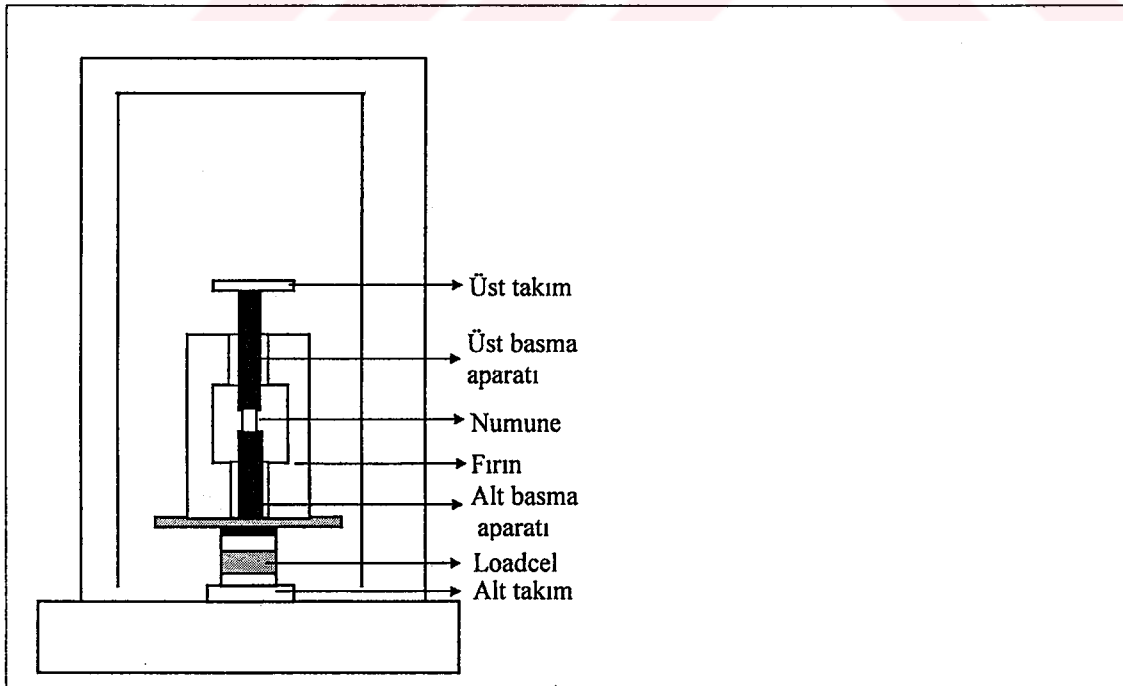
Çalışmada kullanılan malzemeler, pirinç Ms58, pirinç Ms70 ve Bronzdur. Deneylerde kullandığımız bu malzemelere ait numuneler Kırıkkale'de kurulu olan MKE'ne bağlı Pirinçsan A.Ş.'den temin edilmiş olup, malzeme analizleri de aynı kurumda gerçekleştirilmiş ve raporlanmıştır. Malzemeler silindirik çubuklar halinde kesilmiş ve bu kurumda imal edilmiştir.

Daha sonra OSTİM Sanayiinde 15 mm boyunda ve 10 mm çapında tornalanarak işlenen ve taşlanan silindirik parçalar, Gebze'deki TÜBİTAK MAM (Marmara Araştırma Merkezi)'nde Bası deneylerinde yüksek sıcaklıkta deforme edilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen deformasyon-gerilme (log-log) grafikleri neticelerine göre, yapılan deney yorumlanmıştır. Ayrıca deforme edilen numuneler malzeme içindeki mikroyapı en iyi şekilde görülebilecek bir kesit alanından kesilerek bagalit kalıplara gömülmüş ve mikroyapıları çekilerek tane yapıları incelenmiştir. Tane boyutları ve yapılarındaki değişiklikler yorumlanmıştır.

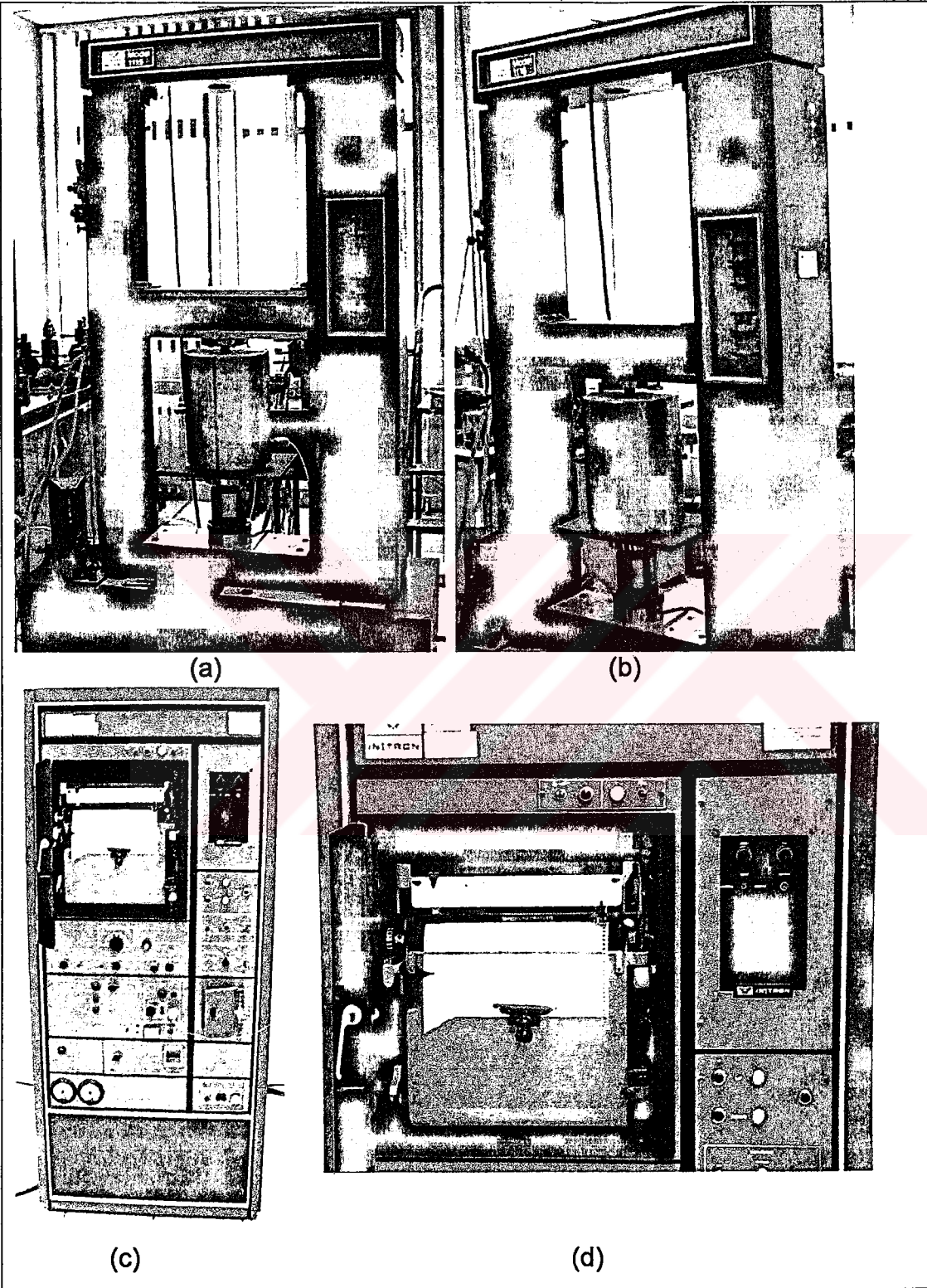
Bası deneyleri toplam 12 adet olarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler iki farklı hız ve iki farklı sıcaklıkta deneye tabi tutulmuştur. Değişik deney sıcaklıkları ve gerinme hızlarına ait mikroyapıların değişimine ait mikrofilmler elde edilerek sıcaklık ve gerinme hızlarının mikroyapıya olan etkileri ile mikroyapıların gerilmeye olan etkileri yorumlanmıştır.

4.1.3 Deney düzeneğinin hazırlanması

Deneylerin, istenilen deformasyon hızlarını ve deney esnasında sabit sıcaklık ortamını temin eden en az 10 ton yük kapasiteli bir deney sisteminde yapılması planlanmıştır. Yapılan araştırmalarda numuneyi sabit gerçek gerinme hızında test edecek logaritmik üstel fonksiyon üreticili bir deney sistemi ile karşılaşılmadığından yerine sabit çene hızlarında hareket eden Instron marka 1115 model test cihazı kullanılmıştır. Bu sistem Tübitak-MAM Malzeme ve Kimya Enstitüleri Mekanik Deneyler Laboratuvarında bulunmaktadır. Deney düzeneği Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Deneylerde kullanılan Instron 1115 Model Test Cihazı Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Deney Düzeneği



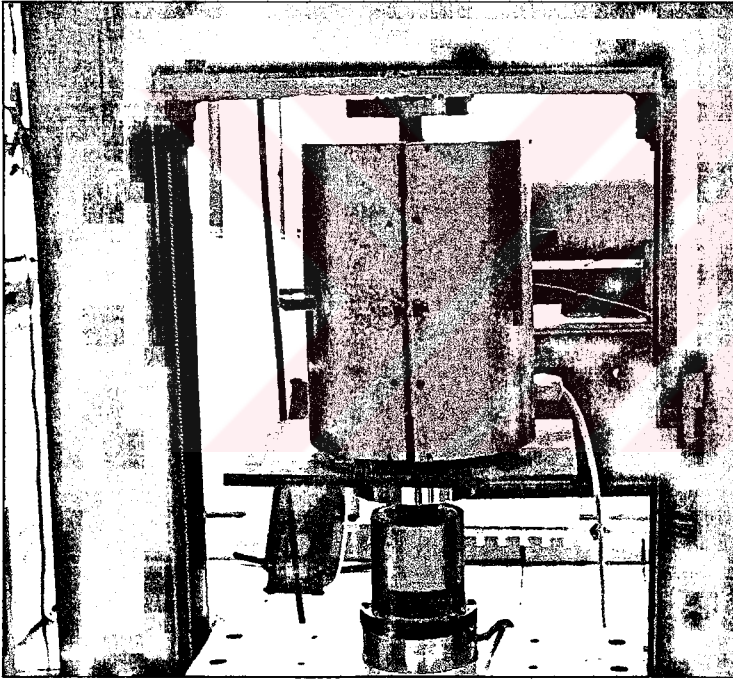
Şekil 4.3. Instron 1115 Model Test Cihazı

(a),(b) Hidrolik Pres ve Fırın

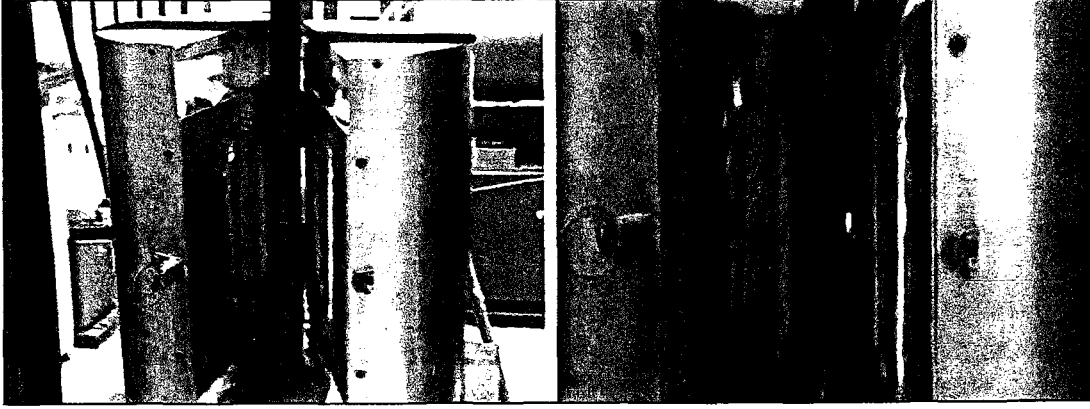
(c) Yük, deformasyon miktarı ve sıcaklık ayarlayıcı gç nitesi sabit değerlerle kontrol edilebilmektedir

(d) Kayıt edici (recorder) Yük-Gerinim miktarını (kg-mm) olarak kayıt edebilmektedir.

Şekil 4.4' ve 4.5'de Instron 1115 model test cihazına akuple edilmiş fırın ve bu fırının çalışır durumdaki hali görülmektedir.



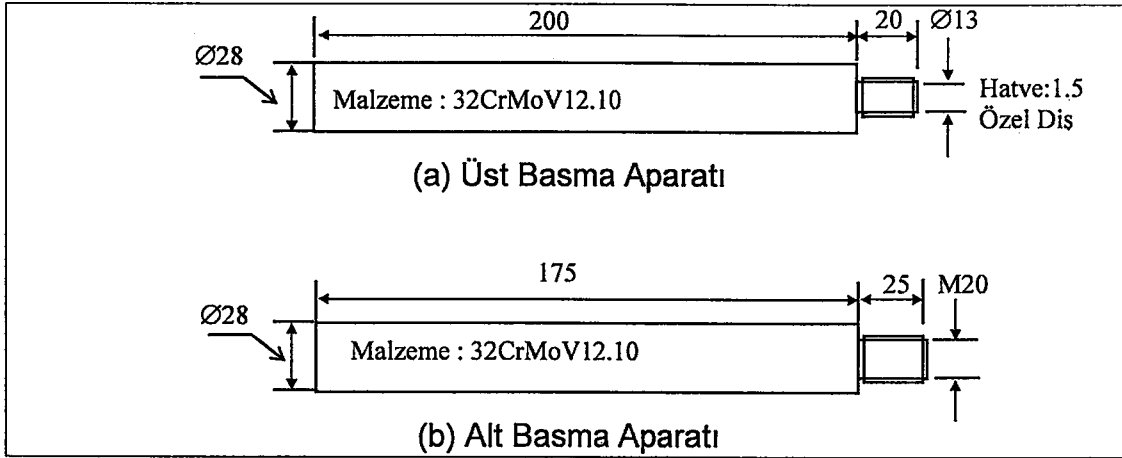
Şekil 4.4. Instron 1115 Model Test Cihazı Fırını



Şekil 4.5. Aktif Haldeki Fırın

Sabit takım hızında yapılan deneyler, sabit deformasyon hızında yapılan deneylere göre farklılık gösterirler. Sabit takım hızlarında yapılan basma deneylerinde küçülen numune boylarına karşılık takım hızlarında bir değişiklik meydana gelmez. Yani takım hızlarının azalan numune boylarına oranı artan bir değer alırken sabit deformasyon hızlarında bu oran sabit kalmaktadır. Dolayısı ile kullanılan bu metodun elde edilen sonuçlar üzerine etkisi, sabit deformasyon hız deneylerinden elde edilen sonuçlara göre farklılıklar göstermektedir.

Basma deneyi esnasında numuneyi deney sıcaklığında sabit tutmak için sisteme ısıtıcı bir fırın ilave edilmiştir. Basma deneyi fırının kapalı ortamı içinde yapılmıştır. Bu sebeple numune boyutlarına uygun olarak test cihazının üst ve alt basma takımlarına monte edilen ve fırının içine girebilecek çap ve uzunlukta basma aparatları imal edilmiştir. Böylece hem numune fırının tam ortasına gelecek şekilde sabitlenmiş, hem de numunede homojen bir sıcaklık dağılımı sağlanmıştır. Fırının içinde basma yapmak üzere imal edilen basma aparatları genleşme minimum olacak malzemeden seçilmiş olup Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Basma Deneyinde Kullanılan Basma Aparatları

Sıcaklık kontrolü, fırının tam ortasına gelecek şekilde ve numune ile aynı seviyede yerleştirilen termo-kupl yardımıyla yapılmıştır. Fırının dış yüzeyinden içeriye doğru açılmış bir delikten termo-kuplun elektrotları sokularak ortam sıcaklığı kontrol edilmiştir. Termo-kuplun diğer ucu da gerekli elektrik donanımının yapılmasından sonra Elimko marka kontrol cihazına bağlanmıştır. Yapılan ısıtılarda sıcaklık ± 4 °C tolerans sınırlarında kontrol edilmiştir.

Deneyde kullanılan fırın silindirik formda olup iç orta kısmında yine silindirik şekilde tuğlalar yerleştirilmiştir. Tuğla kanallarına istenilen sıcaklığa erişebilecek tarzda helezon sarımlı direnç telleri monte edilmiştir. Ateş tuğlaları ile dış çeper arasında ısı yalıtımını sağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Fırın, şehir şebekesinden 220 volt potansiyelle beslenmektedir.

Deney sisteminin esas kısmını Instron 1115 model test cihazı oluşturmaktadır. Cihaz, ana gövde ve kumanda panelinden oluşmaktadır (Şekil 4.3.). Numune ana gövde üzerindeki "loadcell" üzerindeki alt takıma yerleştirilmektedir. Esasen bu kısım deney esnasında sabit kalmaktadır. Hareketli ve basma deneyini yapan üst takım sabit hızda aşağıya doğru hareket etmektedir. Üst basma takımı üç kademeli redüktör yardımıyla tahrik

edilmekte ve böylece farklı basma hızları elde edilmektedir. Deney esnasında numunenin gösterdiği direnç alt takıma yerleştirilmiş elektronik bir kumanda ile kontrol paneli yazıcısının yatay eksenine 'ton' olarak iletilmekte, üst hareketli takımın sabit hızlı hareketi ise aynı yazıcının düşey eksenine kağıdın ilerleme hızı olarak kaydedilmektedir. Böylece üst tabla tarafından numuneye uygulanan deformasyon miktarı kolayca hesap edilebilmektedir.

4.1.4. Deneyin Yapılışı

Basma deneylerine başlamadan önce numunelerin deformasyondan önce ve deformasyondan sonraki boy ölçüm değerleri el ile yapılan ayarlamalar ile test cihazının stoper düğmelerine veri olarak girilmiştir. %70 gerçek deformasyona denk olan numune son boyu yaklaşık olarak $h=7.5$ mm olmaktadır. Deney esnasında test cihazının çeneleri arasındaki açıklık bu değere ulaştığı zaman test cihazı, stoperi tarafından otomatik olarak durdurulmaktadır. Daha önce belirlenen sıcaklık ve deformasyon hızlarında test edilmek üzere çap ve boy ölçümleri yapılmış olan deney numuneleri iki farklı hız ve iki farklı sıcaklıkta teste tabi tutulmak üzere gruplandırılmıştır.

Deney esnasında numune ile basma takımları arasında meydana gelecek sürtünmeyi minimuma indirmek için numune yüzeylerine yüksek sıcaklığa dayanıklı ve yüksek kayıcılık özelliğine sahip grafit tozu sürülmüştür. Böylece silindirik numunenin deformasyon esnasında homojen gerinmesi amaçlanmış ve fıçılşması minimuma indirilmiştir.

Test cihazı üzerinde numune ile ilgili gerekli ayarlamaların yapılmasından sonra fırın, basma deneyinin yapılacağı ilk sıcaklık olan $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'e ısıtılmış ve bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Daha sonra alın yüzeylerine grafit tozu sürülmüş olan deney numunesi fırının tam ortasına gelecek şekilde alt basma takımının üzerine yerleştirilmiş ve fırının kapağı kapatılmıştır. Her 50 mm kalınlık için bir saatlik ısıtma süresi genel kaidesince 10 mm çapındaki numune için gerekli süre 12 dakikadır (15). Bu süre, fırın içindeki numunenin

homojen sıcaklık dağılımını sağlamak için yapılan bir ön ısıtma işlemidir. Deneylerde kullanılan fırın Şekil 4.4. ve Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

Numune, deney sıcaklığına ulaştıktan sonra test cihazının kontrol panelinden deformasyon hızı, milimetrik kağıdın ilerleme hızı ve kuvvet skalası ayarlanarak basma işlemine geçilmiştir.

Deney numulerine %70'lik gerçek deformasyon miktarı uygulanmıştır. Numune başlangıç boyları $h_0=15$ mm'den %70'lik gerçek deformasyonla $h=7.5$ mm'ye indirilmiştir. Malzeme boyut parametreleri; ASTM E 9'a uygun seçilmiştir (16).

Basma işlemi tamamlandıktan sonra test cihazının hareketli üst takımının numune ile teması mekanik bir kumanda ile ayrılmıştır. Fırın bu esnada numuneyi deney sıcaklığında tutmaya devam etmektedir. Numune fırından bir maşa yardımıyla alınarak daha önce hazırlanmış olan soğutma suyu banyosuna sokulmuştur. Numunenin soğutma banyosuna alınmasına kadar geçen süre yaklaşık 2 saniyedir. Böylece sıcak basma esnasında numunede meydana gelen iç yapı dönüşümleri muhafaza edilmeye çalışılmıştır.

Deney esnasında deforme edilen numune iç sürtünmelerden dolayı bünyesinde bir miktar sıcaklık artışı meydana getirmektedir. Bu artış basma deneyi esnasında sıcaklık kontrolörünün ± 4 °C tolerans sınırları arasında kaldığından modellemede dikkate alınmamıştır.

Deney sonuçları kontrol panelindeki yazıcının milimetrik kağıdına kuvvet-deformasyon eğrileri olarak çizilmiştir.

Sıcak basma deneyleri tamamlanan alaşım numunelerinin deney esnasında meydana gelen iç yapı değişimlerini araştırmak için mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

Mikroyapı incelemesinde, sıcaklık ve deformasyon hızına bağlı olarak numunelerde tane büyüklüklerinin nasıl bir değişim gösterdiği araştırılmıştır. Plastik deformasyona uygun bir şekilde gerçekleştiği kanaatiyle deforme olmuş numunelerde numune yüzeylerinin mikroyapılarının tespiti ile yetinilmiştir.

Bilindiği üzere söz konusu numunelerin kesitinin mikroyapılarının tespiti tercih edilmektedir. Deney numunelerinin mikroyapı incelemesi TÜBİTAK MAM Gebze ve PİRİNÇSAN A.Ş. Kırıkkale'de yapılmıştır.

Sıcak basma deneylerinden sonra numune yüzeylerinin önce kaba zımparalaması yapılarak deney esnasında numune yüzeylerine yapışan grafit tozu ve yabancı maddeler temizlenmiştir. Kaba zımparalamadan sonra daha düzgün bir yüzey elde etmek için numune yüzeylerinin ince zımparalaması yapılmıştır. Zımparalama işlemleri sulu bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra temizlenen numune yüzeyleri keçe ile parlatılmıştır.

Numune yüzeylerinden daha iyi görüntü alabilmek ve tane sınırlarını daha net görebilmek için numune yüzeyleri özel olarak hazırlanan kimyasal sıvıya daldırılarak dağlanmıştır. Numune yüzeylerinin dağlanmasında kullanılan dağlayıcı,

90 ml saf H₂O (Saf su)
10 ml HF (Hidroflorik asit)
1.5 gr MoO₃ (Molibdentioksit)

miktarlarında kimyasal maddelerin karışımından elde edilmiştir.

4.2. Elde Edilen Deney Sonuçları

Tamamlanan deneyler sonucunda elde edilen grafik, kağıdın ilerleme hızı mm/dak ve uygulanan kuvvet kg cinsinden oluşmaktadır. Amacımız bu grafikleri gerçek gerilme-gerçek deformasyon eğrilerini tespit edeceğimiz grafiklere dönüştürmektir.

Alaşım Numunelerinin İşlem Parametreleri

Deneylerde toplam olarak 12 adet numune kullanılmıştır. Her bir numuneye ait kuvvet-deformasyon miktarı eğrisi test cihazının yazıcısından elde edilmiştir. Test cihazının üst basma takımı deney esnasında sabit bir hızda v_t (mm/dakika) olarak ilerlemektedir. Yazıcıdan çıkan kağıdın da belirli bir ilerleme hızı vardır. Takım hızı ile kağıdın ilerleme hareketi arasında bir doğru orantı kurularak numune boyunda meydana gelen deformasyon miktarı hesaplanabilmektedir. Milimetrik ölçekli kağıdın yatay eksenini kuvvet eksenini olarak tanımlanmış ve kuvvet cihazın alt tablasına yerleştirilmiş uygun elektronik bir devre (Load Cell) ile ölçülmektedir. Elektronik devre, ölçekli kağıdın kuvvet eksenini en fazla 10 tona kadar ölçeklendirmektedir.

Gerçek gerilme-gerçek deformasyon eğrilerini elde etmek için bazı ara işlemlerin yapılması gerekmektedir. Deneylerden elde edilen eğrilerden belirli aralıklarla gözle okuma yapılarak deney esnasında numuneye uygulanan gerçek kuvvet (F) ölçülmüştür. Kağıdın ilerleme hızı (v_k) ile, basma takımının hızı (v_t) arasında orantı kurularak basma esnasında uygulanan kuvvete karşılık gelen numune boyundaki kısalma miktarı ve gerekli diğer parametrelerin (ortalama kuvvet, boydaki kısalma, anlık çap, anlık kesit alanı, gerçek gerilme, gerçek deformasyon oranı, mühendislik deformasyon oranı, dayanım katsayısı ve deformasyon sertleşmesi üssü) elde edilmesi için sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir,

Aşağıdaki çözümlemede örnek olarak Numune No:16 Ms70 ele alınmıştır.

a) Kağıt İlerleme Hızı, $V_k=60$ mm/dak

Takım İlerleme Hızı, $V_t=10$ mm/dak

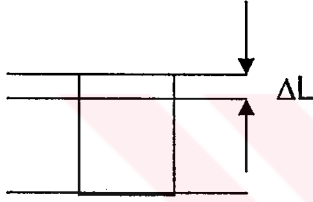
Sıcaklık, $T= 600$ °C

Numune İlk Boyu, $L_o= 15,3$ mm

Grafik üzerinde okunan değerler:

İlerleme y: 46 mm

Kuvvet : $1400 \text{ kg} \times 9,81 = 13734 \text{ N}$



Kağıt Hızı 60 mm/dak

Takım Hızı 10 mm/dak

Kağıt İlerlemesi 46 mm

Takım İlerlemesi = ?

Buradan Takım İlerlemesi ΔL ,

$$\Delta L = \frac{v_t}{v_k} y \quad \text{eşitliğinden,}$$

$$\Delta L = (46 \times 10) / 60 \quad \dots \quad \Delta L = 7,66 \text{ mm} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Numunenin o anki son boyu L_{son} ise,

$L_{son} = L_o - \Delta L$ eşitliği ile bulunur.

$$L_{son} = 15,3 - 7,6666 \quad \dots \quad L_{son} = 7,6333 \text{ mm} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Gerçek Deformasyon Miktarı ϵ , Eşitlik [3.15]'den,

$$\epsilon = \ln (h_o / h) = \ln (15,3 / 7,6333) \quad \dots \quad \epsilon = 0.695328 \text{ olarak bulunur.}$$

Burada anlık $A_{(alan)}$ 'ı bulmak için plastik deformasyonda başlangıçtaki ve deney sonundaki hacimler sabit kabul edileceğinden, $(A_0 h_0 = A h)$ hacim sabitliği prensibinden yararlanabiliriz.

Yani örnek aldığımız noktada, D(Yarıçap kabul edersek),

Son Hacim = İlk Hacim ($A_0 h_0 = A h$)

$$(\pi D_s^2 / 4) L_s = (\pi D_o^2 / 4) L_o$$

$L_s = 7,6333$ mm, $L_o = 15,3$ mm, $D_o = 10$ mm olduğuna göre,

$D_s = 14,157$ mm olarak bulunur.

Buradan da $A_s = 157,4226$ mm² olarak bulunur.

Deney esnasında uygulanan kuvvet (F), numunenin gerçek alanına (A) bölünürse gerçek gerilme miktarı hesaplanır.

$\sigma = F / A$ eşitliğinden,

$$\begin{aligned} \sigma &= (1400 \text{ kg} \times 9.81) / 157,4226 \\ &= 13734 \text{ N} / 157,4226 \text{ mm}^2 = 13734 \text{ N} / 157,4226 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = 87242872,91 \text{ Pa}$$

$$\sigma = 87,242 \text{ MPa}$$

Yapılan bu işlemler deneyden elde edilen kuvvet-deformasyon eğrisinin tamamı için hesaplanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmektedir.

Verilen örnekte hesaplanan parametreler tüm deney numuneleri için ayrı ayrı excel programı kullanılarak elde edilmiştir. Bu değerlerin tamamı Ek'de bulunmaktadır.

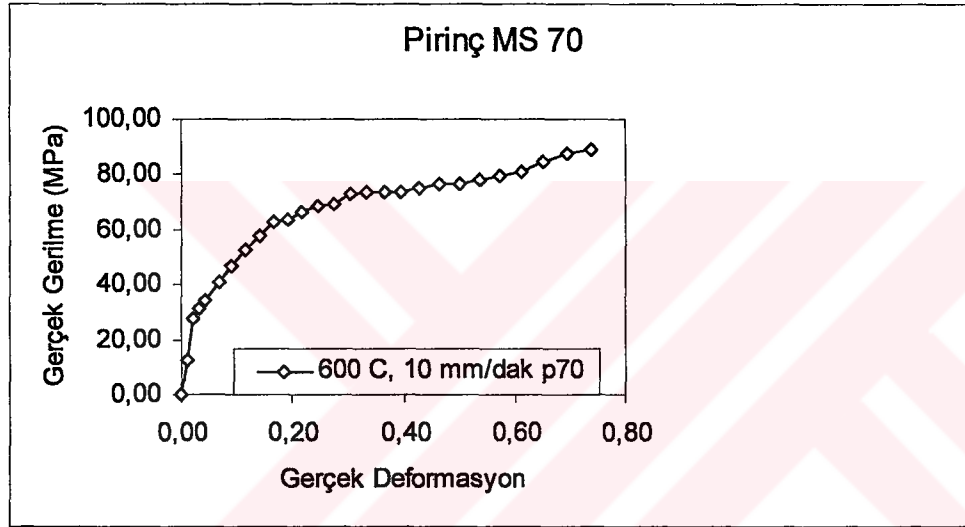
Çizelge 4.1. Ms70 Pirinç Malzemeye Ait 600 °C Sıcaklık ve 10 mm/dak. Basma Hızında Elde Edilen Parametreler

v_k Yönünde Ölçülen	Ortalama Kuvvet	Boydaki Kısalma	Son Boy	Gerçek Çap	Gerçek Kesit Alanı	Gerçek Gerilme	Gerçek Defrmasyon Oranı	Mühendislik Deformasyon Oranı
Mesafe (mm)	F (kN)	Δh (mm)	h (mm)	D (mm)	A (mm ²)	σ (kPa)	ϵ	e
0	0	0	15,3	10	78,53	0	0	0
1	0,98	0,16	15,13	10,05	79,40	12354,42	0,01	0,01
2	2,20	0,33	14,96	10,11	80,28	27491,3	0,02	0,02
3	2,55	0,5	14,8	10,16	81,19	31413,97	0,03	0,03
4	2,84	0,66	14,63	10,22	82,11	34644,07	0,04	0,04
6	3,43	1	14,3	10,34	84,03	40859,38	0,06	0,06
8	3,82	1,33	13,96	10,46	86,03	44467,74	0,09	0,08
10	4,61	1,66	13,63	10,59	88,14	52310,35	0,11	0,10
12	4,90	2	13,3	10,72	90,35	54288,69	0,14	0,13
14	5,78	2,33	12,96	10,86	92,67	62455,12	0,16	0,15
16	6,03	2,66	12,63	11	95,11	63427,96	0,19	0,17
18	6,52	3	12,3	11,15	97,69	66775,09	0,21	0,19
20	6,86	3,33	11,96	11,30	100,41	68384,7	0,24	0,21
22	7,16	3,66	11,63	11,46	103,29	69328,97	0,27	0,23
24	7,74	4	11,3	11,63	106,34	72877,46	0,30	0,26
26	7,99	4,33	10,96	11,81	109,57	72965,9	0,33	0,28
28	8,09	4,66	10,633	11,99	113,00	71616,17	0,36	0,30
30	8,33	5	10,3	12,18	116,66	71473,3	0,39	0,32
32	9,07	5,33	9,96	12,38	120,56	75262,63	0,42	0,34
34	9,51	5,66	9,63	12,60	124,73	76284,45	0,46	0,37
36	9,90	6	9,3	12,82	129,21	76681,75	0,49	0,39
38	10,49	6,33	8,96	13,06	134,01	78325,38	0,53	0,41
40	11,08	6,66	8,63	13,31	139,18	79642,46	0,57	0,43
42	11,77	7	8,3	13,57	144,77	81310,58	0,61	0,45
44	12,75	7,33	7,96	13,85	150,83	84548,85	0,65	0,47
46	13,73	7,66	7,63	14,15	157,42	87242,87	0,69	0,50
48	14,71	8	7,3	14,47	164,61	89392,65	0,73	0,52
50	15,94	8,33	6,96	14,81	172,48	92420,03	0,78	0,54

Ortam sıcaklığında (21°C), tavllanmış kartuş (cartridge) pirincin 365 MPa, sertleştirilmiş pirincin ise 524 MPa çekme mukavemetine sahip olduğu bilinmektedir (16). Ms70 pirinç malzemenin ortam sıcaklığındaki 365 MPa. maksimum çekme gerilme değeri, yaklaşık olarak %76 lik bir kayıpla, 600 °C'de 10 mm/dak sabit çene hızında 87,2 MPa değerine düşmektedir.

Bununla beraber; 600 °C'deki malzemenin yumuşaması nedeniyle deney çubuğunda ortam sıcaklığında 50 mm boyda ölçülen %54 oranındaki uzama oranının ise artacağı, sertleştirilmiş pirinçte görülen %7 oranındaki uzama oranının ise önemli ölçüde artış göstereceği düşünülmektedir.

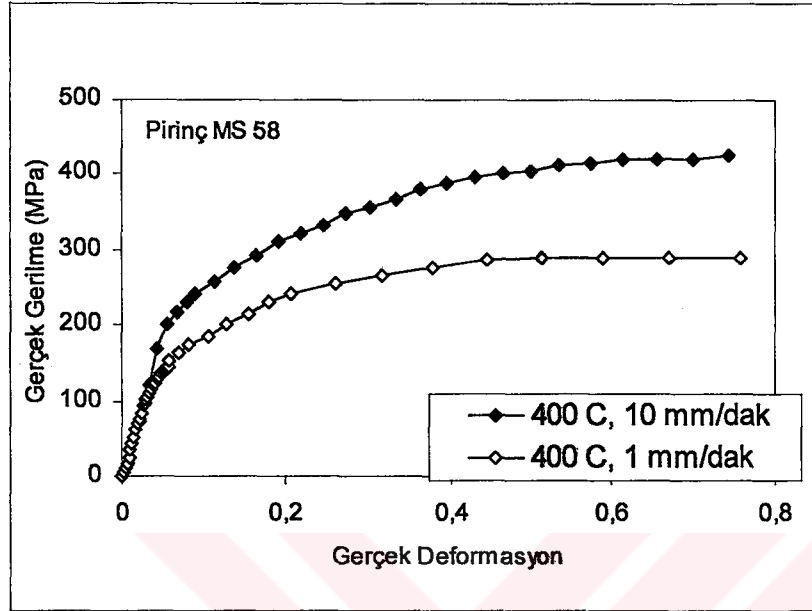
16 Nolu numune Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C Sıcaklık ve 10 mm/dak. hızda yapılan basma deney sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir.



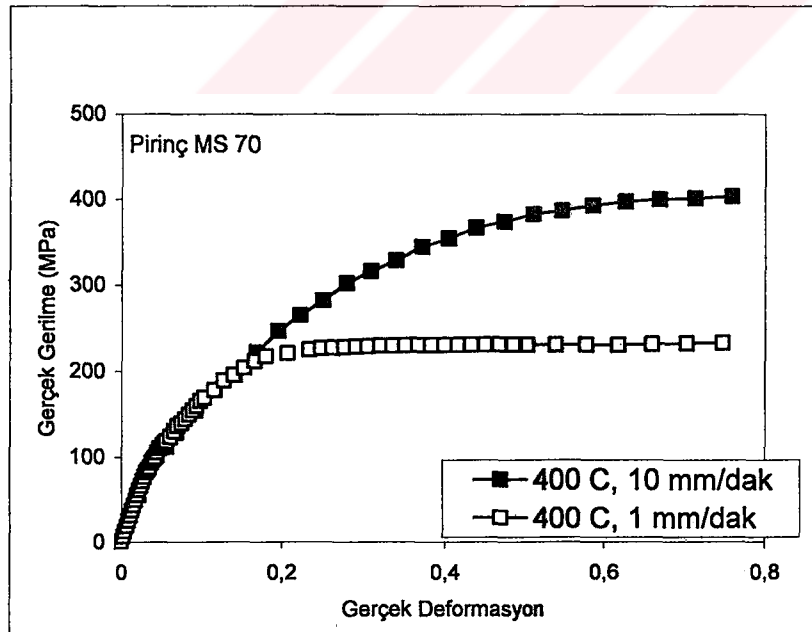
Şekil 4.7. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Elde Edilen Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrisi

Diğer numuneler için bulunan gerilme ve deformasyon değerleri Şekil 4.7'dekine benzer grafikler halinde elde edilmiştir.

4.2.1. Elde edilen gerç k gerilme-gerç k deformasyon eğrileri



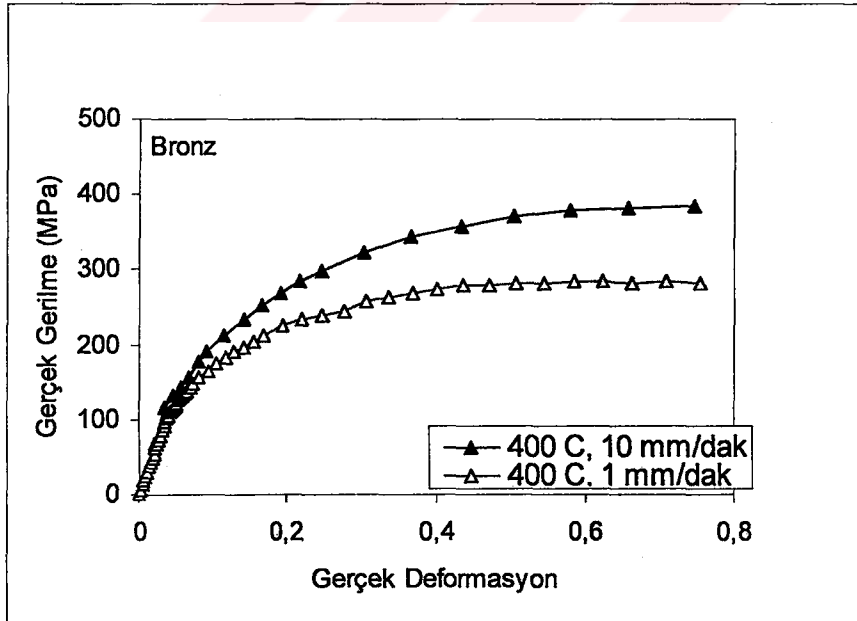
Şekil 4.8. Ms58 Piriç Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri



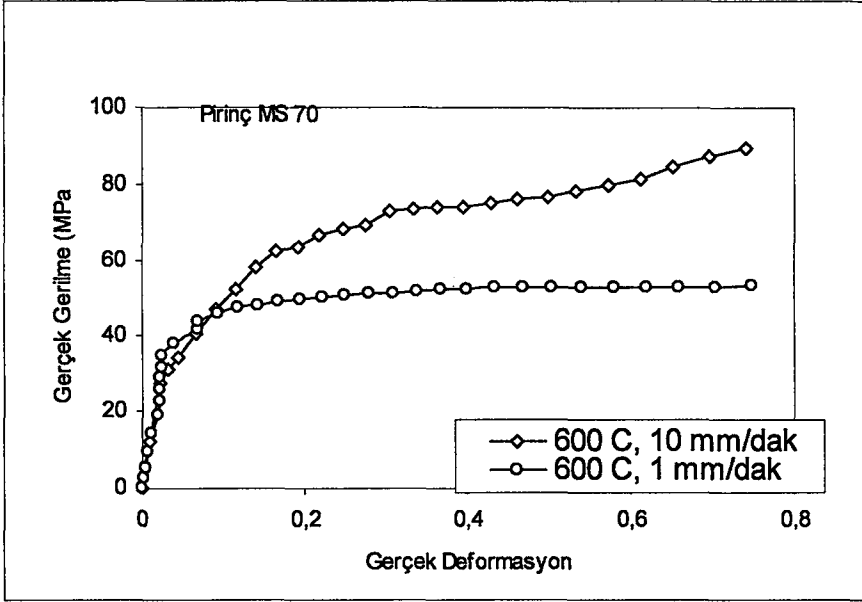
Şekil 4.9. Ms70 Piriç Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri

Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'daki eğrilerden görüldüğü üzere Ms58 ve Ms70 pirinç malzemeler 400 °C sıcaklıkta, 1 mm/dak ve 10 mm/dak'lık çene basma hızlarında benzer davranış sergilemişlerdir. Gerek Ms58 gerekse Ms70 pirinç malzemelerde, deformasyon hızı arttığında, 10 mm/dak'lık çene basma hızında 1 mm/dak'lık hıza oranla gerçek gerilmenin yaklaşık iki kat daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bu oran deformasyon oranı arttıkça belirginleşmiştir. Elastik bölgede, başlangıçta aynı seyreden eğriler deformasyon oranına bağlı olarak farklılık göstermiştir.

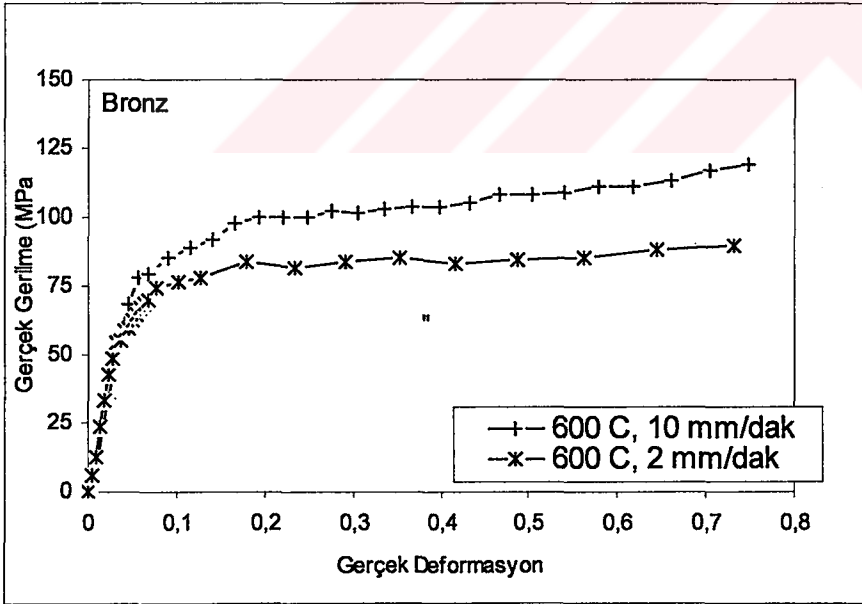
Şekil 4.10'da görülen bronz malzemede de basma hızı faktörü deformasyon süresince gerçek gerilmeyi aynı şekilde etkilemiştir. Eğriden de görüldüğü üzere 10 mm/dak basma hızında 1 mm/dak basma hızına göre yaklaşık iki kat gerçek gerilme görülmektedir. Bu oran maksimum gerilmeye ulaşılırken daha doğru bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Öncesinde ise bu oran daha düşüktür. Burdan da anlaşılabacağı gibi artan deformasyon hızlarında malzemenin gerçek gerilmesi de yükselmektedir.



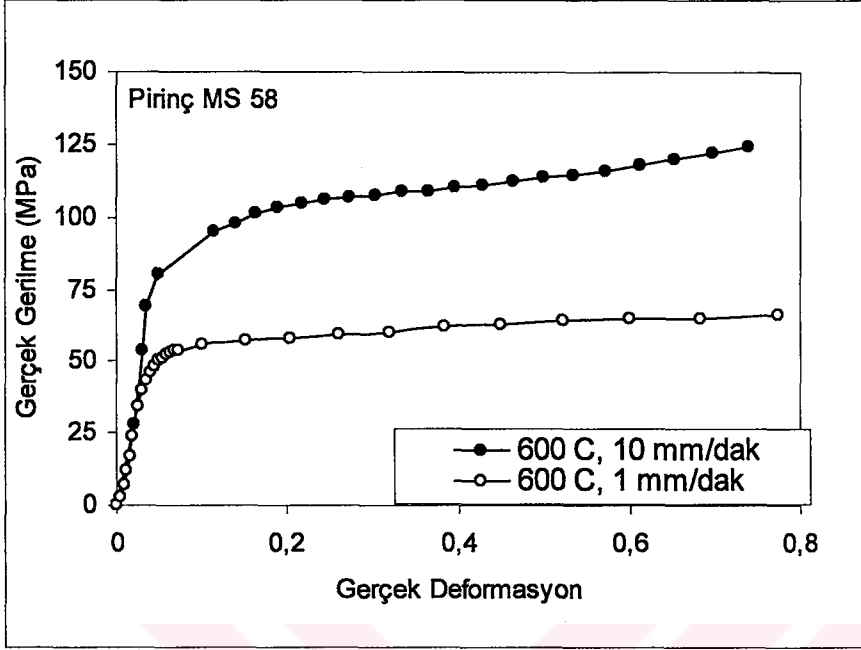
Şekil 4.10. Bronz Malzemenin 400 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri



Şekil 4.11. Ms70 Piriç Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri



Şekil 4.12. Bronz Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 2mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri



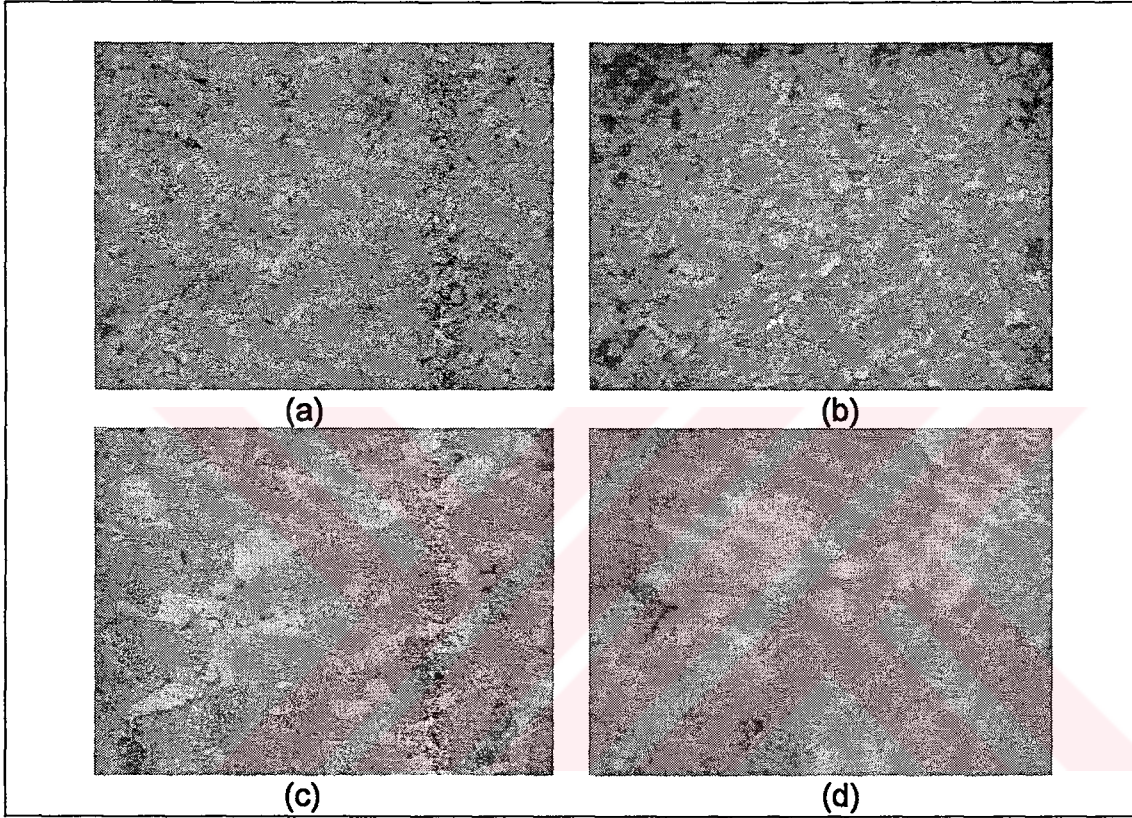
Şekil 4.13. Ms58 Piriç Malzemenin 600 °C'de, 10mm/dak ve 1mm/dak Hızlardaki Gerçek Gerilme-Gerçek Deformasyon Eğrileri

Şekil 4.11., 4.12. ve 4.13'de gözlenen fark ısıya dayalıdır. Eğrilerden de görüldüğü gibi deney sıcaklığının 400 °C'den 600 °C'ye yükseltilmesi, malzemelerde yumuşama meydana getirmiş ve gerçek gerilme değerleri 400 °C sıcaklıktaki değerlerine göre yaklaşık olarak %55 ile %80 arasında düşüş göstermiştir. Burdan da gerçek gerilmenin ılık deformasyondan sıcak deformasyona geçildiği zaman ne denli azaldığı anlaşılmaktadır.

Sıcaklığın artması ile elastik deformasyon bölgesinden plastik deformasyon bölgesine geçiş de daha düşük gerçek gerilme değerlerinde ve gerçek deformasyon oranlarında meydana gelmiştir. Yani malzemenin kristal yapısında oluşan değişim ve yeni oluşum gerilme-deformasyon ilişkisini de etkilemiştir. Plastik deformasyona geçiş süreci kısalmıştır. Malzemedeki dayanım düşmüştür.

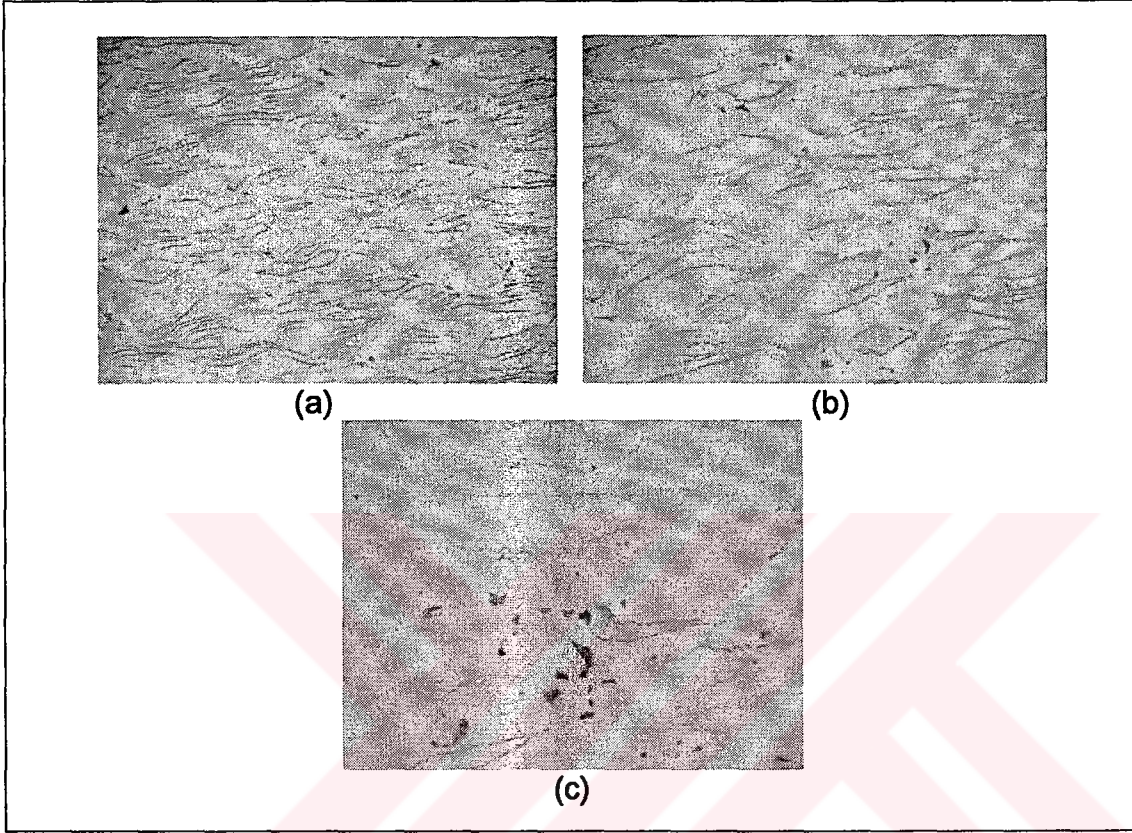
4.2.2. Mikrofilmlerin incelenmesi ve tane yapıları

8 Nolu numune Ms58 pirincin sırasıyla 10X, 10X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.14'deki gibidir.



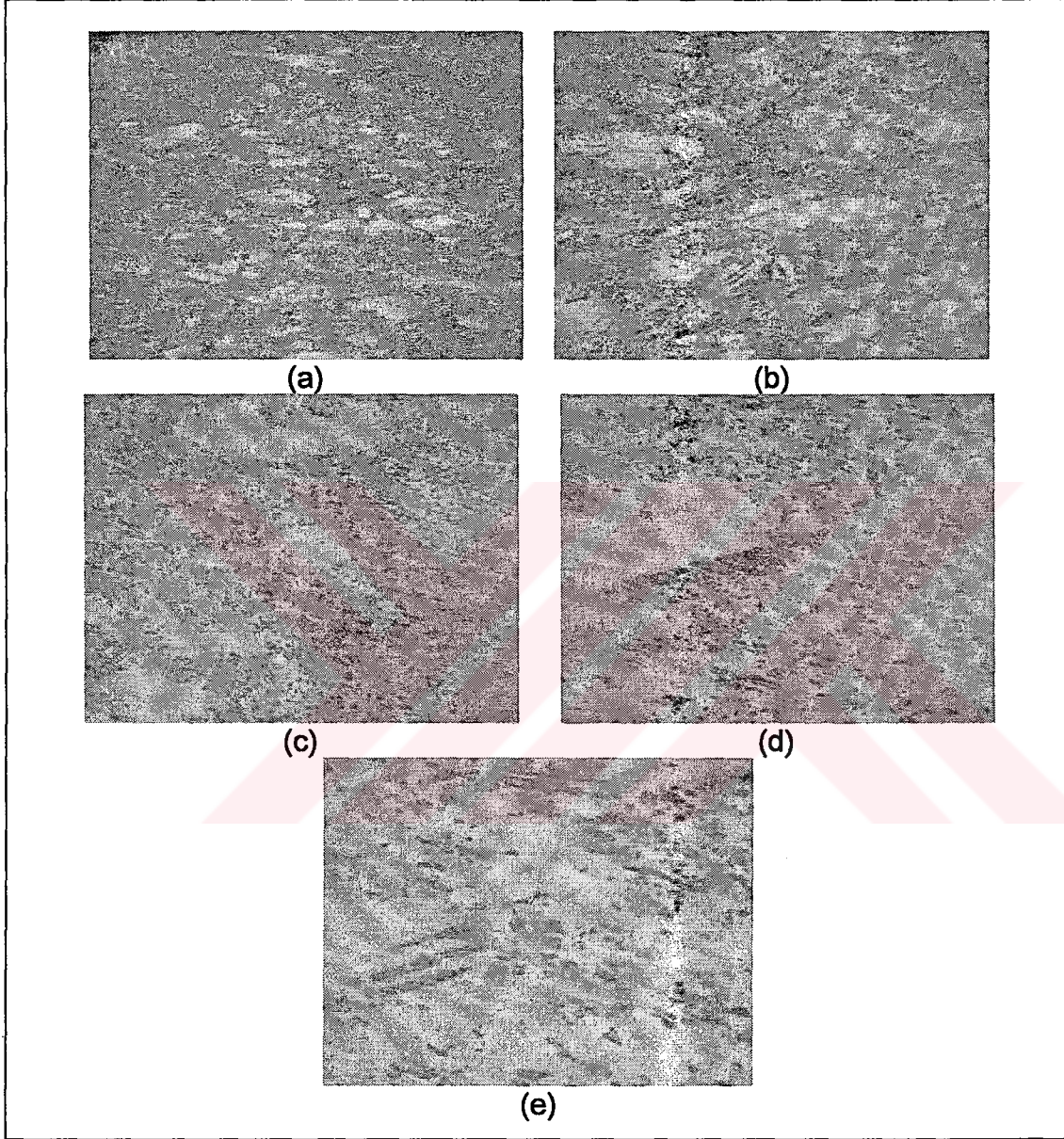
Şekil 4.14. Ms58 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

12 Nolu numune bronzun sırasıyla 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.15'deki gibidir.



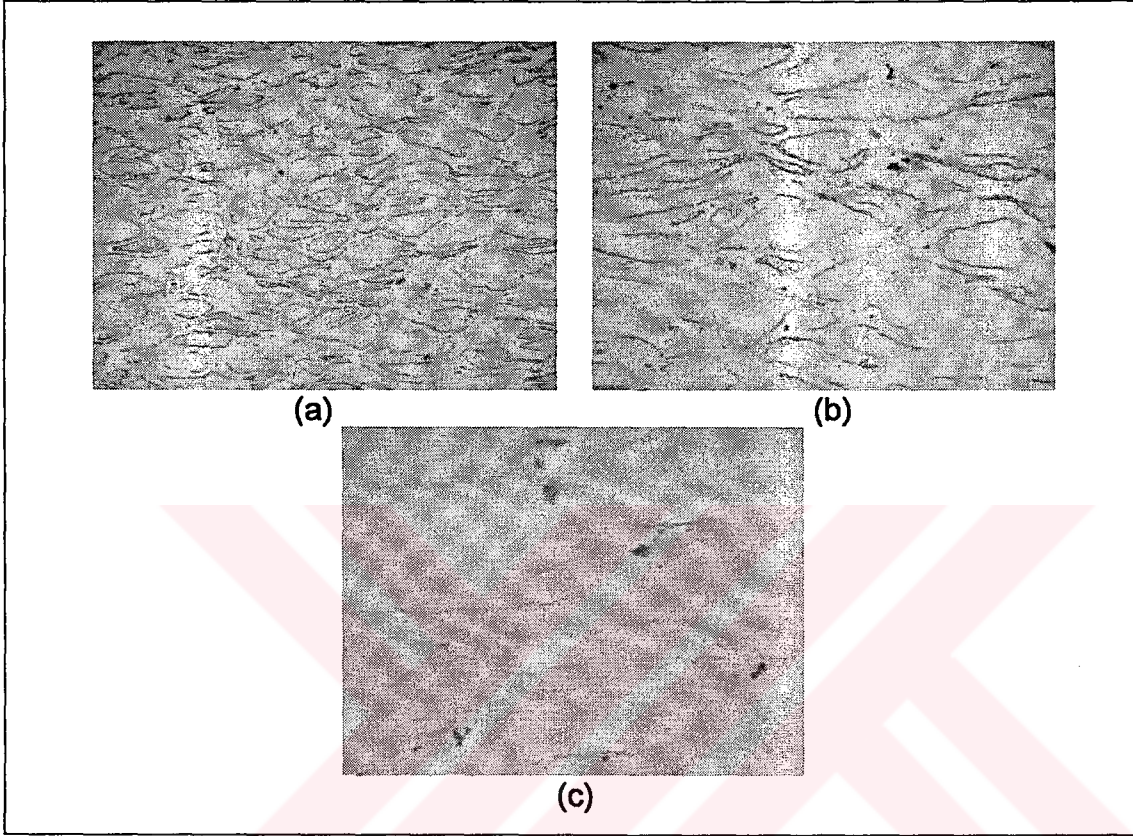
Şekil 4.15. Bronzun 600 °C'de ve 2mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

5 Nolu numune Ms70 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X, 50X,100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.16'daki gibidir.



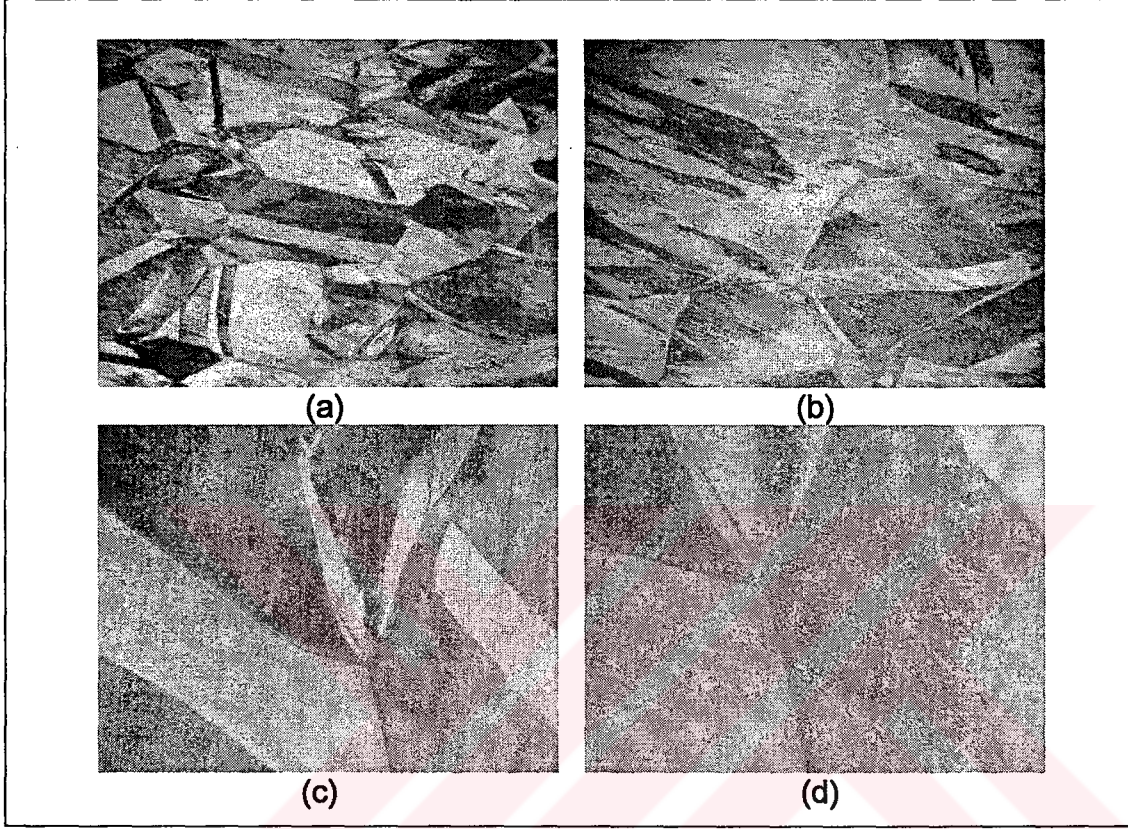
Şekil 4.16. Ms70 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 50X,100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

15 Nolu numune bronzun sırasıyla 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.17'deki gibidir.



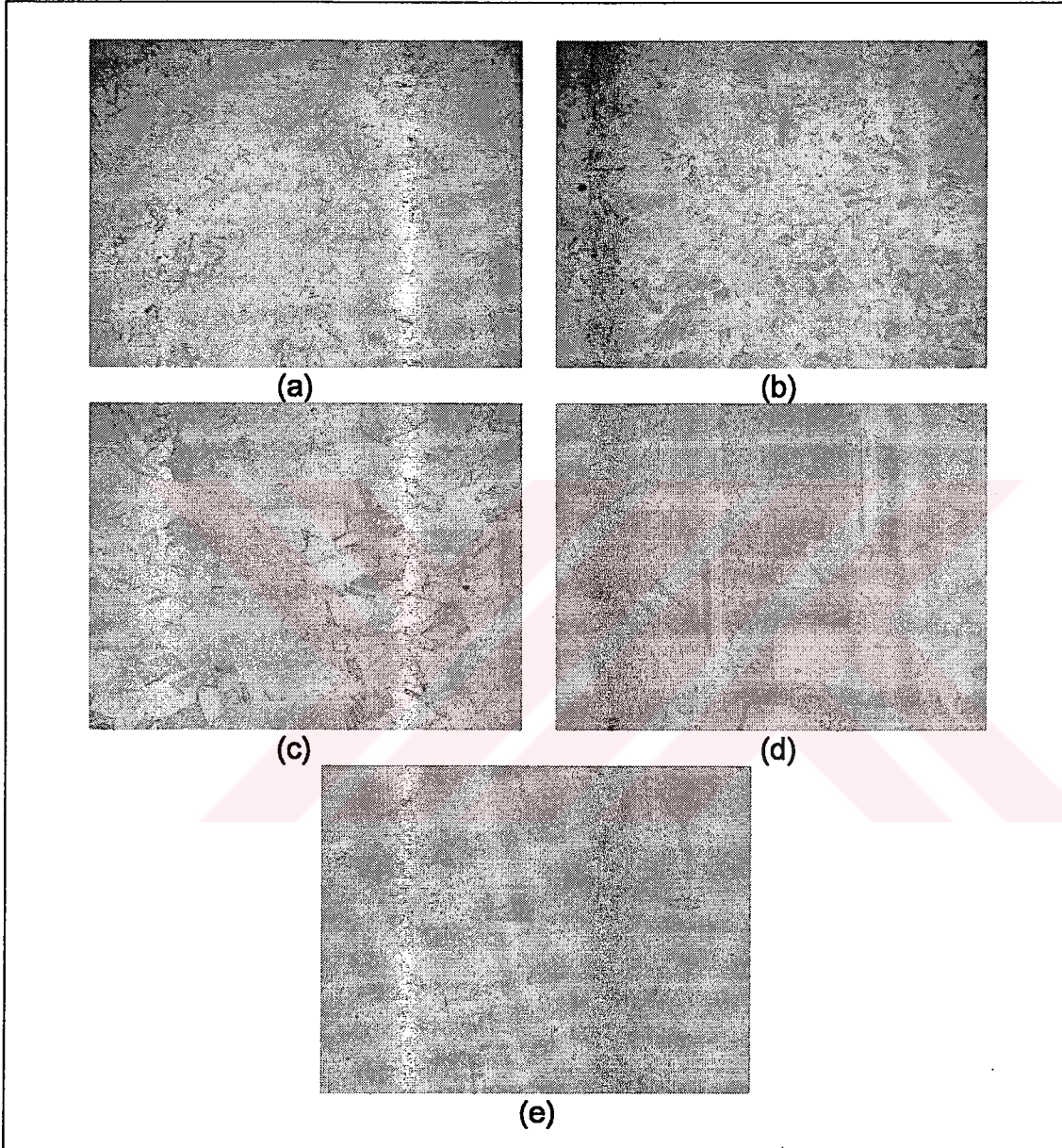
Şekil 4.17. Bronzun 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

10 Nolu numune Ms70 pirincin sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.18'deki gibidir.



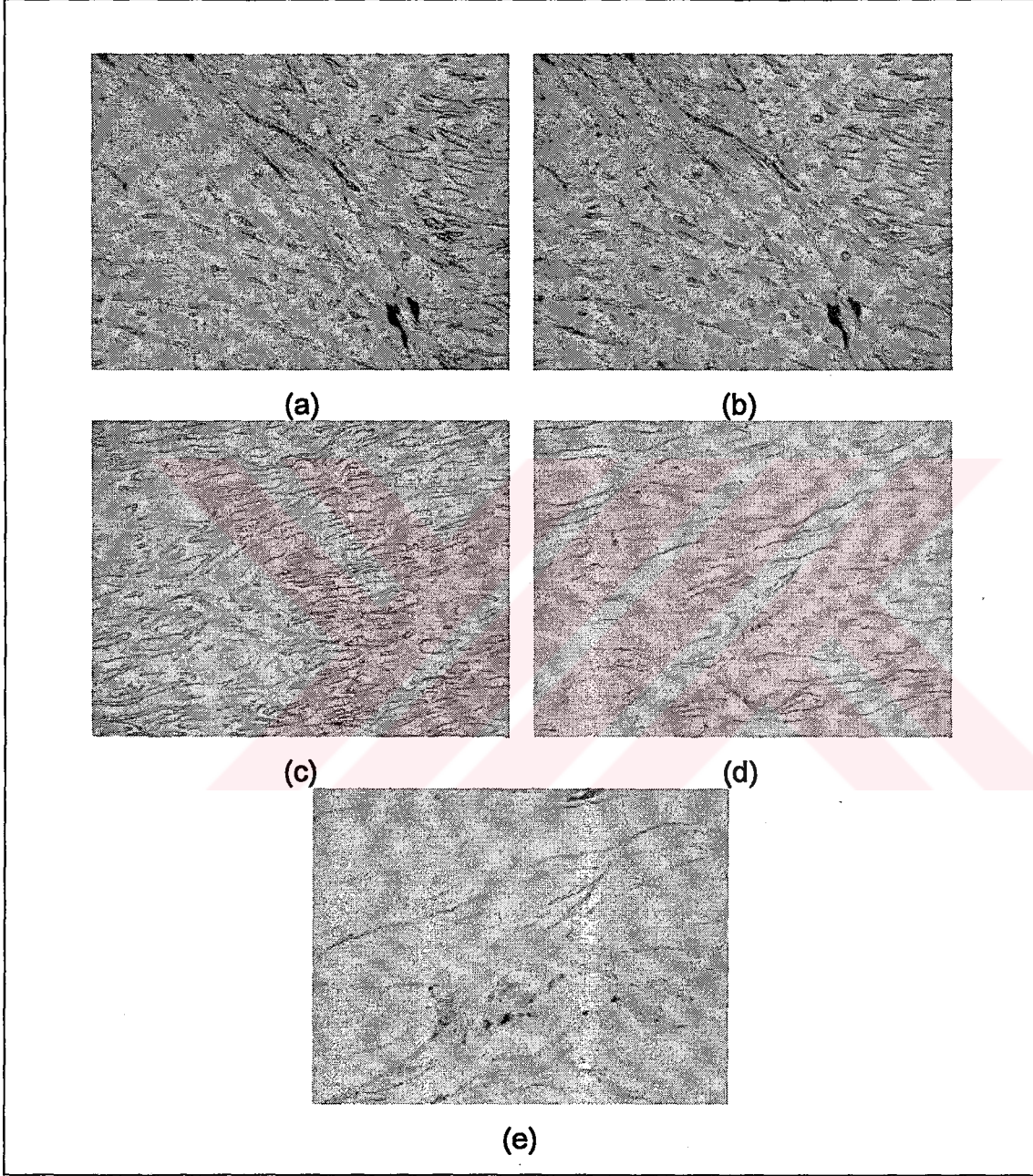
Şekil 4.18. Ms70 Pirinç Malzemenin Sıcak Deforme Edilmeden Önceki Yapısı Sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

11 Nolu numune Ms70 pirincin sırasıyla 10X, 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.19'daki gibidir.



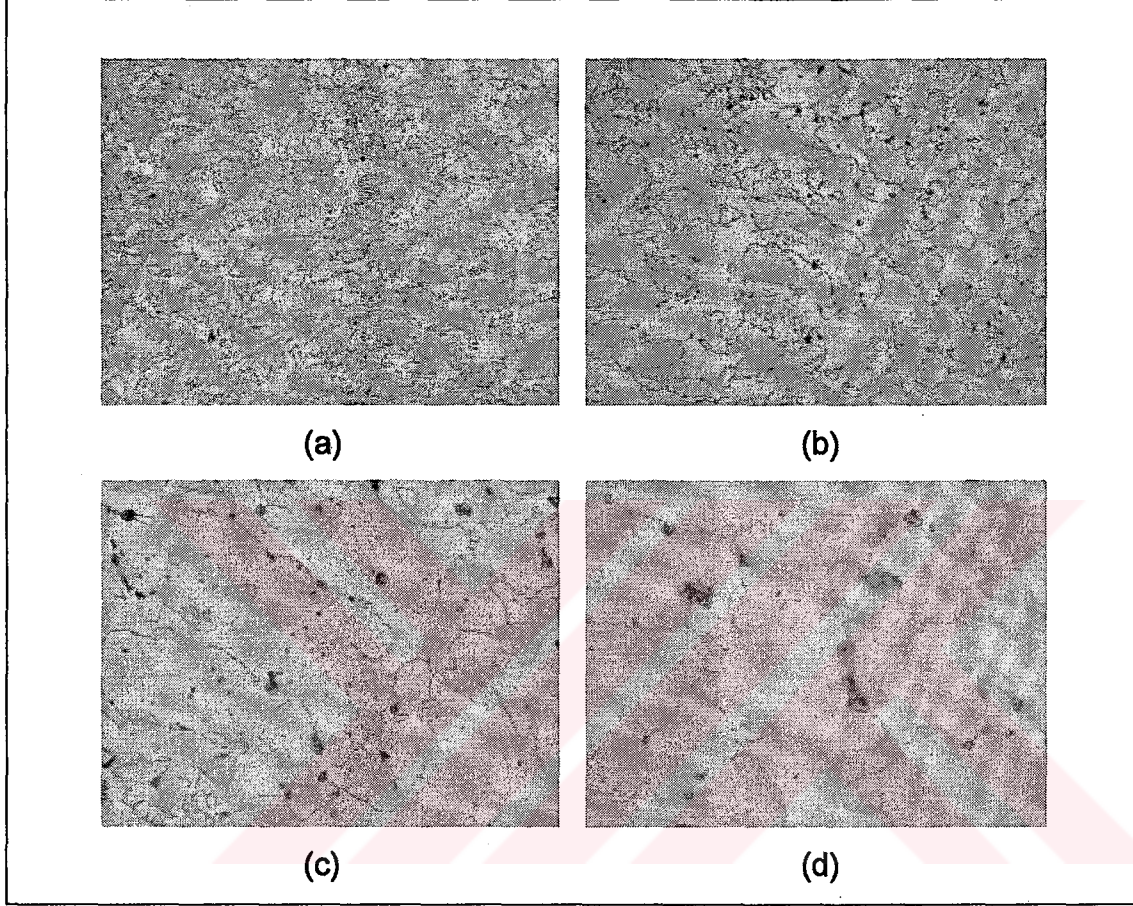
Şekil 4.19. Ms70 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 20X, 50X,100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

6 Nolu numune bronzun sırasıyla 10X, 10X, 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.20'deki gibidir.



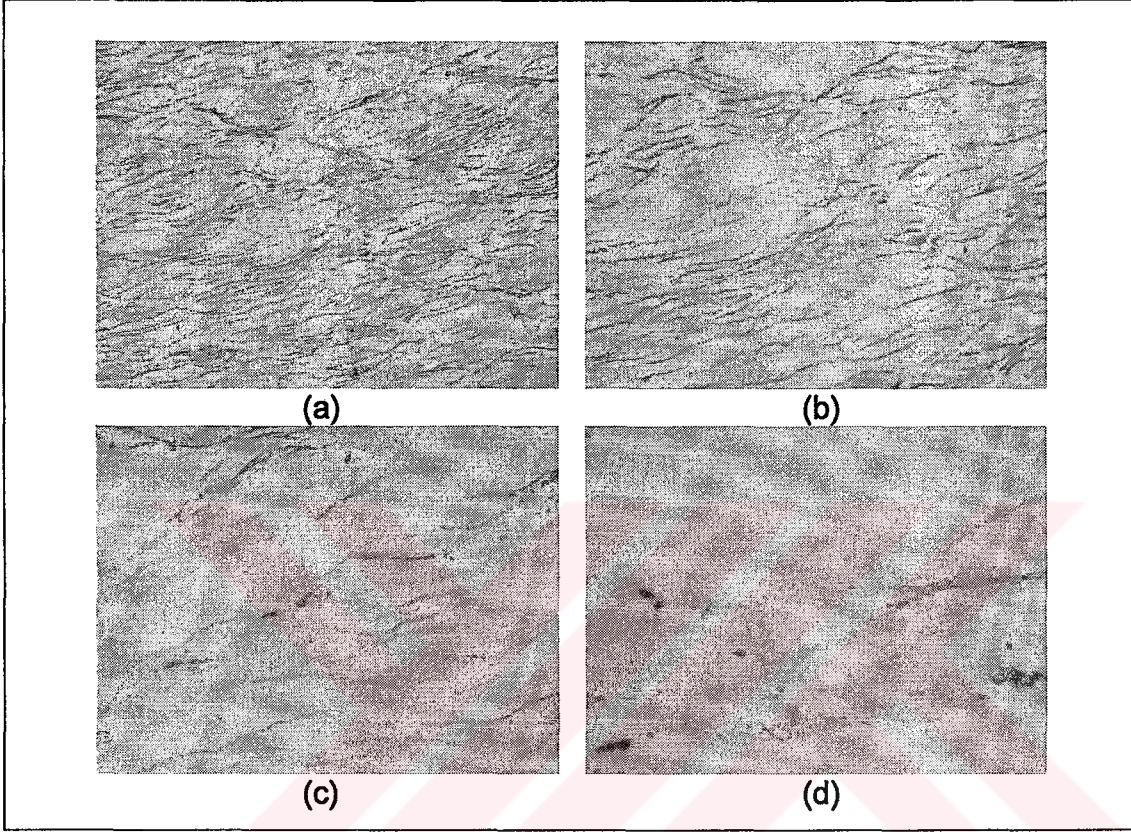
Şekil 4.20. Bronzun 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 10X, 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

13 Nolu numune Ms58 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.21'deki gibidir.



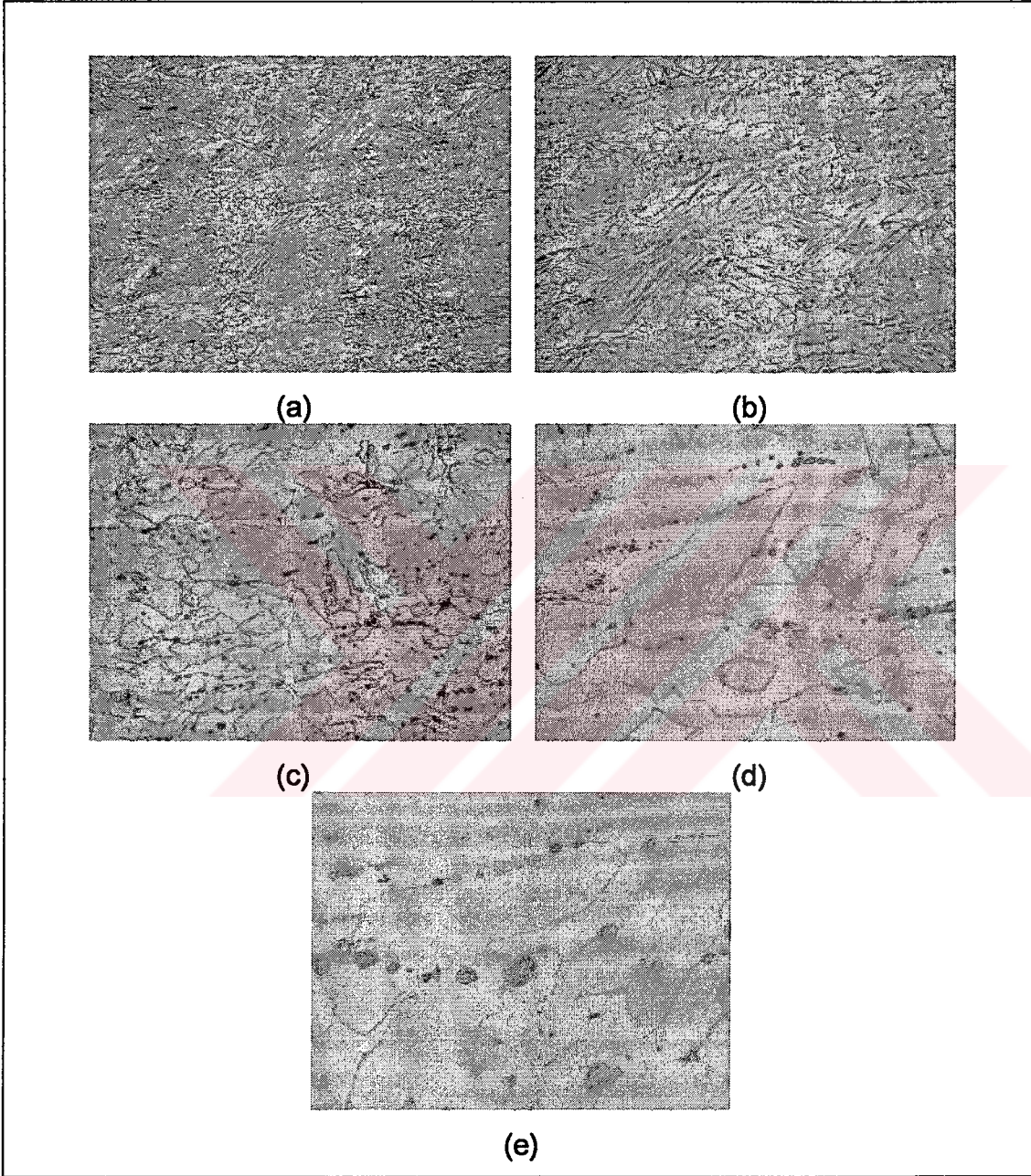
Şekil 4.21. Ms58 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

7 Nolu numune bronzun sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.22'deki gibidir.



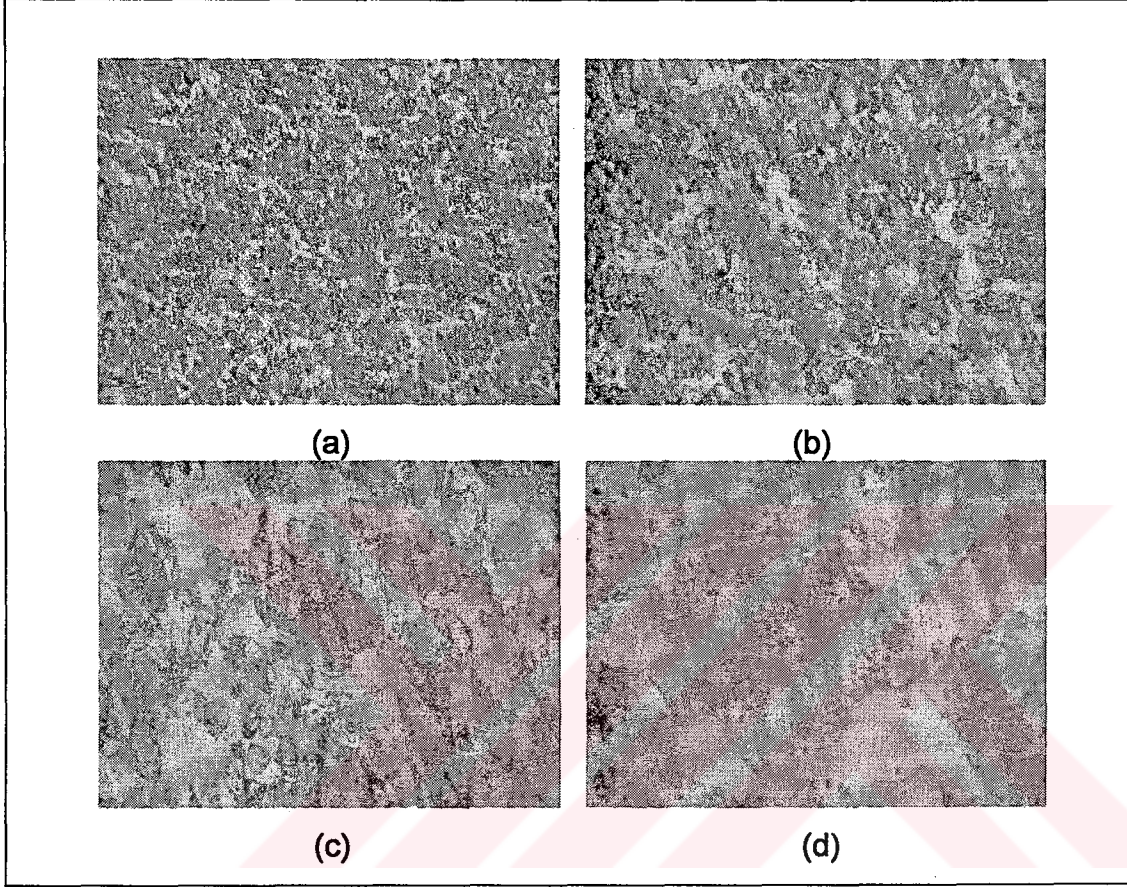
Şekil 4.22. Bronzun 400 °Cde ve 1mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

9 Nolu numune Ms58 pirincin sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofimleri Şekil 4.23'deki gibidir.



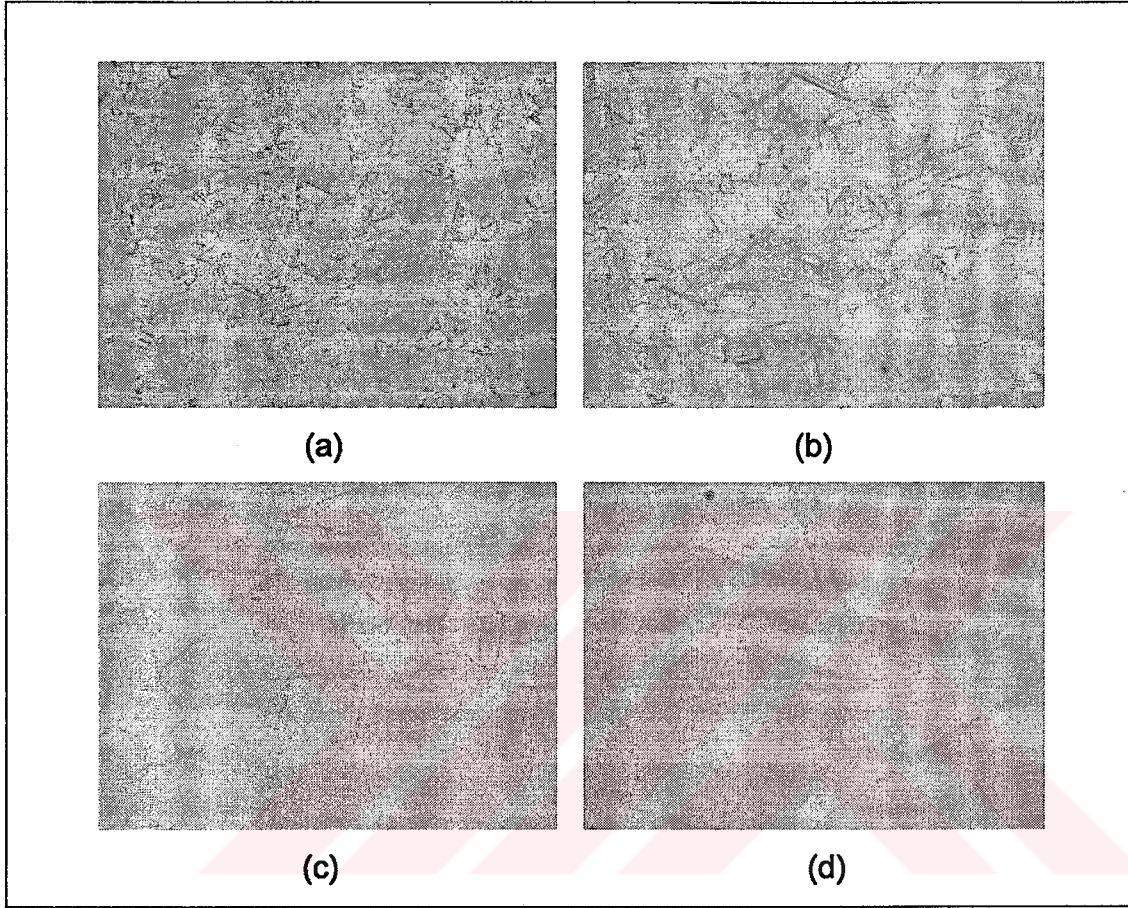
Şekil 4.23. Ms58 Pirinç Malzemenin Sıcak Deforme Edilmeden Önceki Yapısı Sırasıyla 5X, 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofimleri

3 Nolu numune Ms58 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.24'deki gibidir.



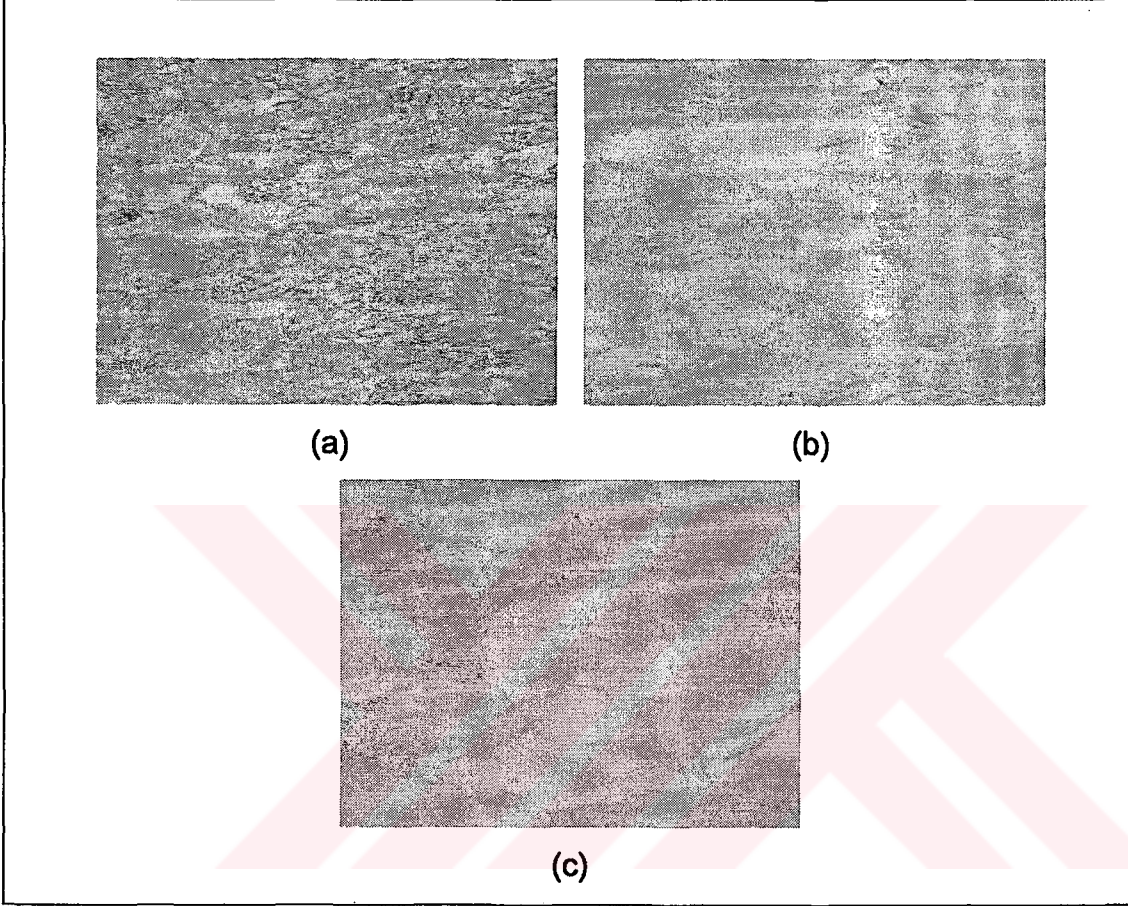
Şekil 4.24. Ms58 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

16 Nolu numune Ms70 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.25'deki gibidir.



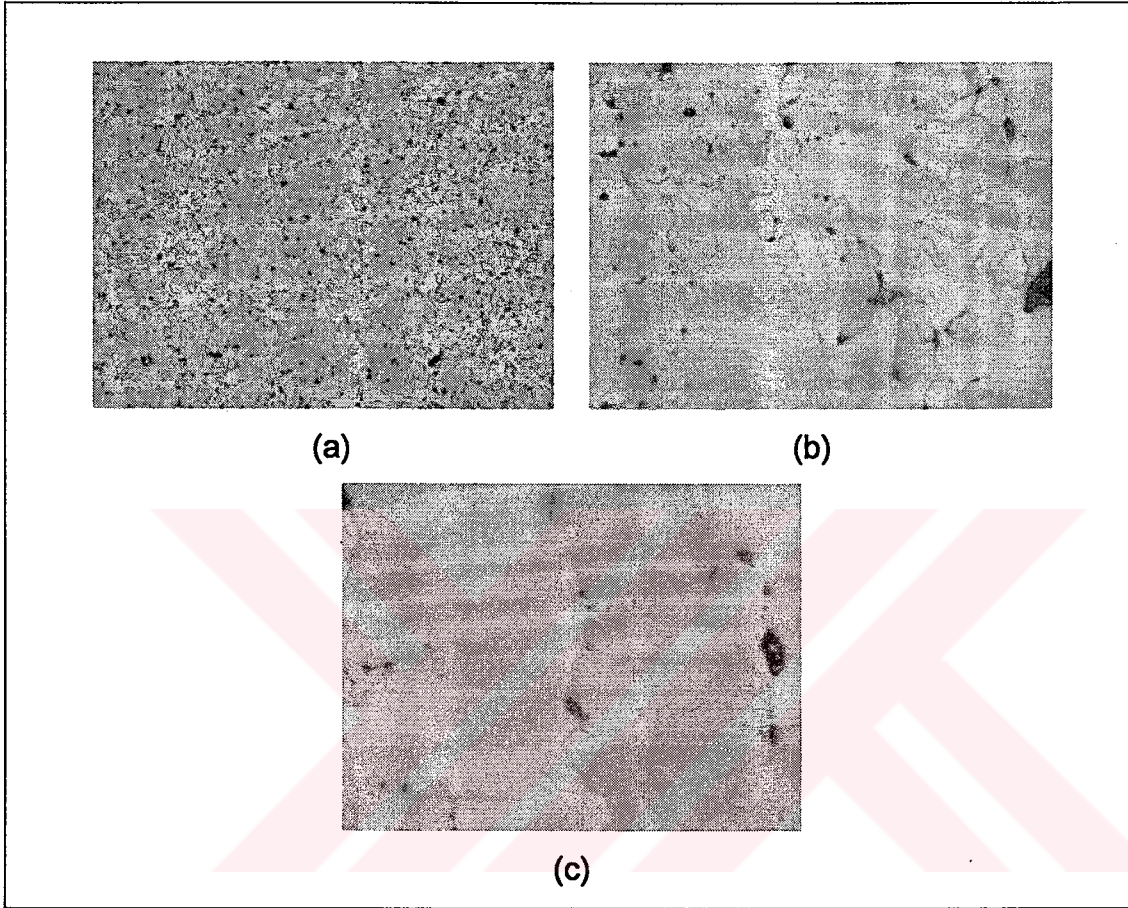
Şekil 4.25. Ms70 Piring Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X, 100X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

4 Nolu numune Ms70 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.26'daki gibidir.



Şekil 4.26. Ms70 Pirinç Malzemenin 400 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

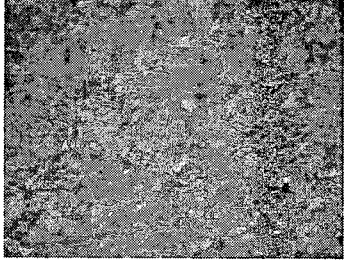
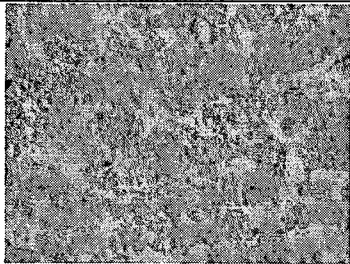
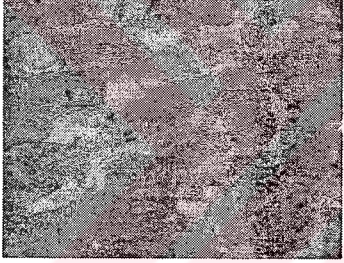
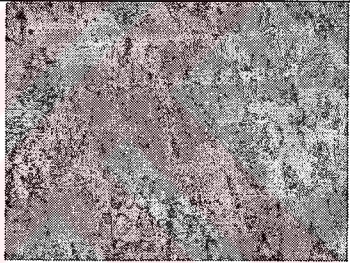
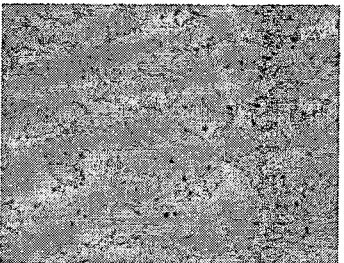
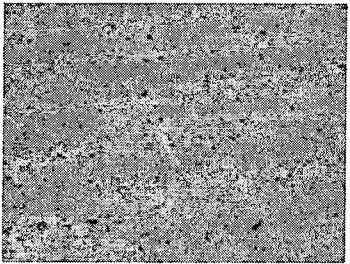
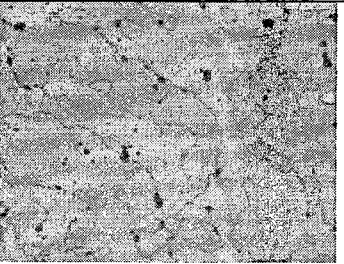
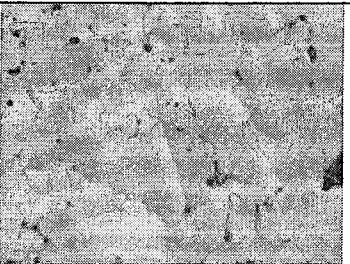
14 Nolu numune Ms58 pirincin sırasıyla 10X, 20X, 50X objektif büyütmeli mikrofilmleri Şekil 4.27'deki gibidir.



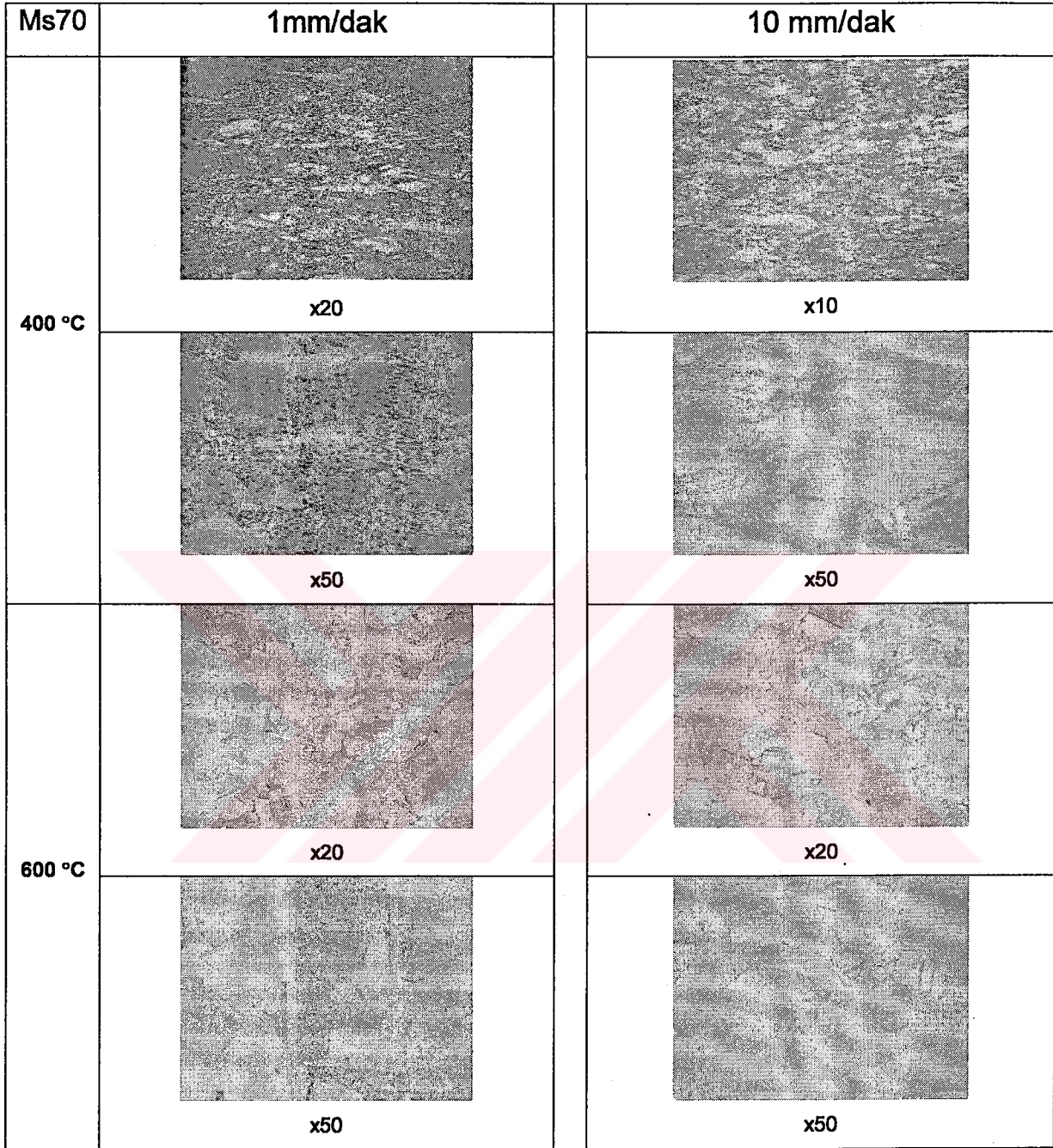
Şekil 4.27. Ms58 Pirinç Malzemenin 600 °C'de ve 10mm/dak Hızda Deformasyonu Sonucu Sırasıyla 10X, 20X, 50X Objektif Büyütmeli Mikrofilmleri

4.2.3. Farklı sıcaklık ve hızlardaki deformasyon sonucu yapılar

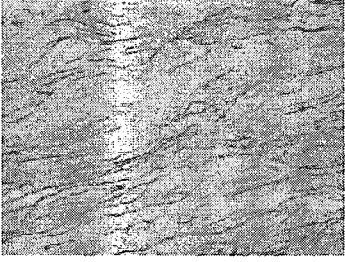
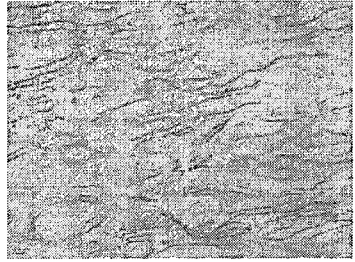
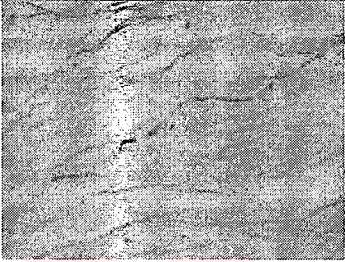
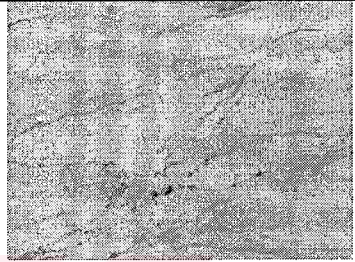
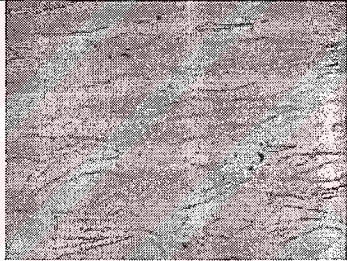
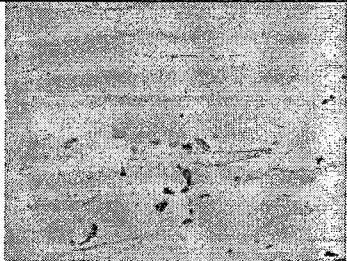
Şekil 4.28., Şekil 4.29. ve Şekil 4.30'da numunelerin deneyler sonucu farklı basma hızı ve farklı sıcaklıklarda deformasyonları neticesinde, değişen mikroyapılarının birbirleriyle olan farkları gösterilmektedir.

Ms58	1mm/dak	10 mm/dak
400 °C	 x20	 x20
	 x50	 x50
600 °C	 x20	 x10
	 x50	 x50

Şekil 4.28. Ms58 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı



Şekil 4.29. Ms70 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı

Bronz	1mm/dak	2 mm/dak	10 mm/dak
400 °C	 x20		 x20
	 x50		 x50
600 °C		 x20	 x20
		 x50	 x50

Şekil 4.30. Bronzun Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu Mikroyapısı

4.3. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Malzemeler sahip oldukları bir çok özelliklerinden dolayı çok yönlü sistemler olarak ele alınmaktadırlar. Bronz ve Pirinç alaşımlarının belirlenen şartlar altında plastik deformasyonunu, bir sistem içinde ele alıp modellemek mümkündür.

Bu çalışmada deneysel veriler kullanılarak plastik deformasyonu tanımlayan üç boyutlu ampirik matematiksel modelleme gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

Holloman ve Lubahn (1947), sabit deformasyon hızı ve sabit oda sıcaklığı ile orta derecedeki yüksek sıcaklıklarda genellikle yumuşak çelikler ve metalik malzemelerin plastik deformasyon bölgesinde

$$\sigma = A\epsilon^n \quad [4.1]$$

ampirik ifadeyi teklif etmişlerdir (8). Birçok araştırmacı da bu ifadeyi kullanarak deformasyon sertleşmesi bölgesinde modellemiştir (15). Bu denklemde A katsayısı, K katsayısı olarak da ifade edilebilir. Daha önce belirtilen Eş. 3.9. ile aynı eşitliktir.

Bakır alaşımlarının ılık ve sıcak basma deneyleri tamamlandıktan sonra test cihazının yazıcısından, kuvvet-deformasyon miktarı (veya şekil değişim miktarı) eğrileri elde edilmişti. Bu çalışmada, bu eğriler yardımıyla sabit basma hızına bağlı olarak gerilme ifadesindeki n, deformasyon sertleşmesi üssü ve A deformasyon sabiti değerleri sıcaklığa ve sabit basma hızına bağlı olarak nasıl bir değişim gösterdiği araştırılmıştır.

4.3.1. Bronz ve pirinç alaşımlarının modellenmesi

Bronz ve pirinç alaşımlarının ana alaşım elemanı bakır olup, alaşımın içerisinde bakır malzemenin mekanik özelliklerini belirler. Bronz ve pirinç alaşımları ile yapılan deneylerin işlem parametreleri Çizelge 4.2'de toplu halde verilmektedir.

Çizelge 4.2. Deneylerin İşlem Parametreleri

Sıra No	Numune No	Malzeme cinsi	d_0 (mm)	l_0 (mm)	Sıcaklık (°C)	Basma Hızı v_t (mm/dak)
1	3	Pirinç MS 58	10.0	15.25	400	10
2	4	Pirinç MS 70	10.0	15.04	400	10
3	5	Pirinç MS 70	10.0	15.20	400	1
4	6	Bronz	10.0	15.20	400	10
5	7	Bronz	10.0	15.10	400	1
6	8	Pirinç MS 58	10.0	15.50	400	1
7	11	Pirinç MS 70	10.0	15.24	600	1
8	12	Bronz	10.0	15.02	600	2
9	13	Pirinç MS 58	10.0	15.08	600	1
10	14	Pirinç MS 58	10.0	15.30	600	10
11	15	Bronz	10.0	15.18	600	10
12	16	Pirinç MS 70	10.0	15.30	600	10

Basma deneyi esnasında iç sürtünmelerden dolayı malzeme iç yapısında bir miktar sıcaklık artışı meydana geldiği bilinmektedir. Ancak bu artışın sıcaklık kontrolörünün toleransları içinde kaldığı düşünülerek ihmal edilebilir. Çapının 1.5 katı büyüklükte boya sahip numunelerle yapılan basma deneylerinde numunelerin homojen deforme edileceği kabul edilmektedir (2,17). Bütün bu şartlar altında deneylerden hesaplanan gerçek gerilme, gerçek deformasyon değerleri yardımı ile malzemenin karakteristik eğrileri çizilebilir.

Modellemede gerekli ön çalışmaların yapılmasından sonra basma deneylerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek yatay ekseninde gerçek deformasyon miktarı, dikey ekseninde gerçek gerilme gelecek şekilde eğriler çizilmiştir.

Pirinç Ms58 alaşımı için gerçek gerilme-gerçek deformasyon miktarı eğrileri Şekil 4.8. ve Şekil 4.13'de, Pirinç Ms70 alaşımı için gerçek gerilme-gerçek deformasyon miktarı eğrileri Şekil 4.9. ve Şekil 4.11'de, ve Bronz alaşımı için gerçek gerilme-gerçek deformasyon miktarı eğrileri Şekil 4.10. ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Gerçek gerilme-gerçek deformasyon eğrilerinde sıcaklık sabit tutulmuştur. Deneylerde iki farklı sıcaklık kullanılmış ve sıcaklıkların deney sonuçları üzerine etkileri görülmektedir. Buna göre, elde edilen eğrilerde artan deformasyon hızlarında malzeme gerilme değerlerinin arttığı, buna karşın artan sıcaklıklarla bu değerlerin azaldığı görülmektedir.

Eğriler, elastik ve plastik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Eğrilerin lineer kısmı elastik bölgeyi göstermektedir. Malzemeler akma bölgesinden sonra plastik deformasyon göstermişlerdir.

Ancak bakır esaslı alaşımlarda belirgin bir akma bölgesi göstermediği elde edilen eğrilerden görülmektedir. Bunun yerine % 0.2 deformasyona karşılık gelen akma gerilmesi dikkate alınmaktadır. Her bir eğrinin akma gerilmesi ve karşılık gelen toplam gerçek deformasyon miktarı farklı sıcaklık ve deformasyon hızlarında farklı değerlerdedir.

Bu nedenle bütün eğrilerde geçerli olmak üzere modelleme deformasyon sertleşmesi görüldüğü elastik bölgeden sonraki plastik bölge dikkate alınmıştır.

Metalik malzemeler için sabit deformasyon ve sıcaklıkta, gerçek gerilme ifadesinin gerçek deformasyona bağlı olarak değişimi, Eş.4.1'de verilmiştir.

Bu çalışmada sabit deformasyon hızı yerine, ε deney şartlarına bağlı olarak sabit basma hızı v_t dikkate alınmıştır. Buna göre Eş.4.1'deki ifade edilen gerilme değişimini;

$$\sigma = f(\varepsilon, A, n) \quad [4.2]$$

şeklindeki gibi bir fonksiyonla göstermek mümkündür. A sabiti ve n deformasyon sertleşmesi üssü değişkenlerinin sabit basma hızına ve sıcaklığa göre nasıl bir fonksiyonel değişim gösterdiği araştırılmıştır.

Buna göre bu büyüklükleri,

$$\begin{aligned} A &= f(v_t, T) \\ \text{ve} \\ n &= f(v_t, T) \end{aligned} \quad [4.3]$$

şeklinde ifade etmek mümkündür.

Bunun için önce elde edilen deney eğrilerinden yararlanarak plastik bölge içinde kalan ve ortalama maksimum gerilmeye erişildiği bölge, deformasyon sertleşmesinin son bulduğu bölgelere kadar, eğriler EXCEL programı yardımı ile eğri uyarlama menüsü kullanarak (curve fit) en uygun eğri yaklaşımı yapılmaya çalışılmıştır.

Eğrilerin uygunluğu korelasyon katsayıları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen değişim katsayıları Çizelge 4.3'de oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3. Formülasyonda Kullanılan Katsayıların Değişimi

Pirinç MS 58						
Basma Hızı, mm/dak	Sıcaklık, °C					
	400			600		
	A	n	R ²	A	n	R ²
1	361743	0,3118	0,93	85311	0,1673	0,8708
10	505462	0,3285	0,9985	101821	0,2522	0,873

(a)

Pirinç MS 70						
Basma Hızı, mm/dak	Sıcaklık, °C					
	400			600		
	A	n	R ²	A	n	R ²
1	329831	0,3748	0,9	60343	0,1739	0,8447
10	528375	0,4704	0,9685	95914	0,2652	0,9628

(b)

Bronz						
Basma Hızı, mm/dak	Sıcaklık, °C					
	400			600		
	A	n	R ²	A	n	R ²
1 ve 2	341256	0,3079	0,9437	97640	0,1428	0,9
10	467862	0,374	0,9549	122717	0,2411	0,8

(c)

Çizelge 4.3'den, deney alaşımının modellemesinden elde edilen gerilme değerleri ile deneylerden elde edilen gerilme değerleri arasında genel olarak iyi bir uyum olduğu korelasyon katsayılarından anlaşılmaktadır. Bununla beraber %10-20 aralığında hata payı tespit edilmiştir. Meydana gelen bu farklılığın nedeni deney esnasında numune ile basma takımı arasındaki sürtünmenin tamamen yok edilememesinden kaynaklanabilir.

Ayrıca numunenin kapalı ortamda ısıtılması esnasında homojen sıcaklık dağılımının meydana gelmesi için gerekli sürenin verilmesine rağmen hem fırının besleme akımındaki küçük değişimlerden hem de malzemenin mamul üretiminden sonra herhangi bir ısıtma işlemi alınmamasından dolayı farklı iç yapı özelliklerinin oluşmasına sebebiyet verebilir. Bu da sıcak basma deneyi esnasında bazı bölgelerde, beklenenden farklı olarak gerilme dağılımı oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Üretim esnasında oluşan farklı iç yapı dağılımının, aynı zamanda homojen sıcaklık dağılımını da olumsuz yönde etkilediği düşünülebilir.

4.3.2. Alaşımların deforme olmuş mikroyapısının incelenmesi

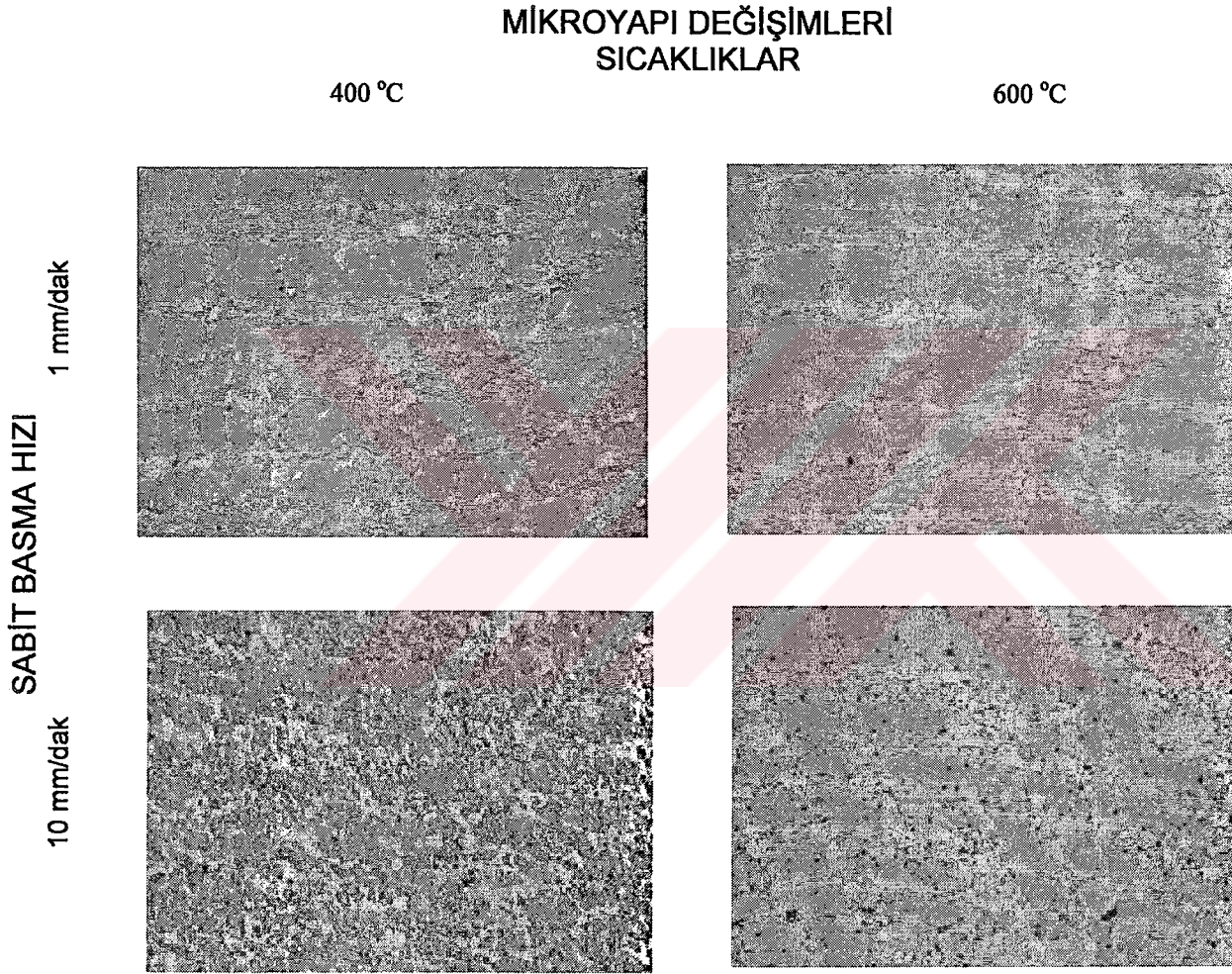
Deney esnasında %70 oranında gerçek deformasyona maruz bırakılmış numunelerin akma gerilmeleri ve plastik davranışlarındaki değişimler numune mikroyapılarına bağlı olarak incelenmiştir. Yeniden kristalleşme sıcaklığının tayin edilmesi büyük oranda malzemenin üretim aşamalarına ve gerilme geçmişine bağlı olmakla beraber genel olarak bronz ve pirinç alaşımlarının erime sıcaklıklarının 1000-1100 °C olduğu bilindiğinden, bu alaşımların yeniden kristalleşme sıcaklığının 500-550 °C civarında olduğu söylenebilir.

400, 600 °C sıcaklıklarda ve 1, 2 ve 10 mm/dak. sabit basma hızlarında test edilmiş numuneler farklı gerilme-deformasyon davranışları ve farklı tane büyüklükleri oluşturmuştur.

Sıcak basma deneylerinden sonra numunelerdeki kristalografik değişimleri incelemek üzere numune yüzeylerinden mikroyapı filmleri çekilmiştir. Bu amaçla deney numunelerinin gerekli yüzey zımparalama, parlatma ve dağıtma işlemleri yapılmıştır. Numune yüzeyinden alınan filmler optik mikroskopta çekilmiştir. Farklı sıcaklıklarda ve farklı deformasyon hızlarında şekil değiştirmiş alaşımların optik mikroskopta çekilmiş mikroyapı filmleri Şekil 4.31, Şekil 4.32. ve Şekil 4.33'de verilmektedir.

Mikroyapı filmlerinden görüldüğü gibi tane sınırları net olarak ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.31, Şekil 4.32. ve Şekil 4.33 mikroyapı filmlerinde ortalama tane büyüklüklerinin basma hızı ve sıcaklıklarına göre değişimi gösterilmiştir.

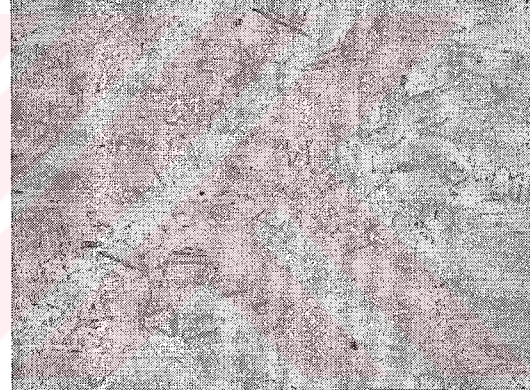
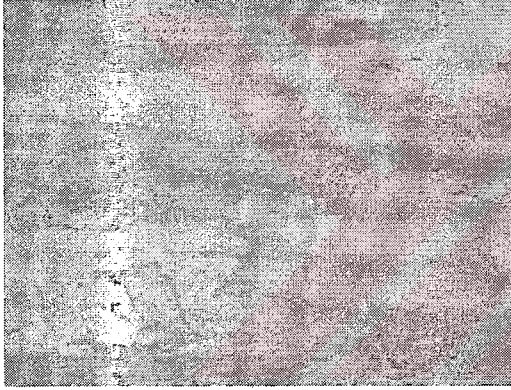
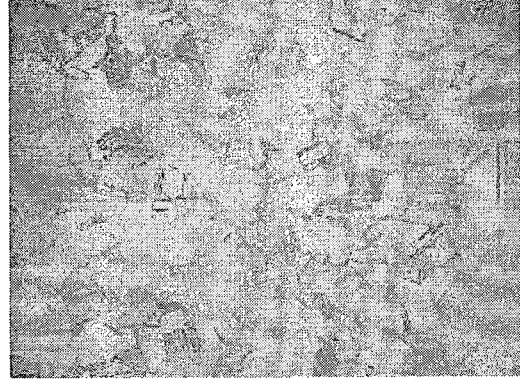
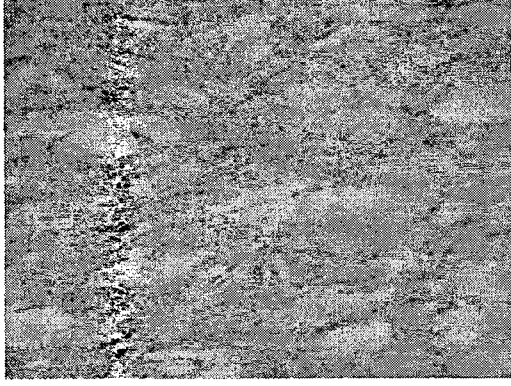


Şekil 4.31. M58 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu
X10 Büyütülmüş Mikroyapısı

MİKROYAPI DEĞİŞİMLERİ SICAKLIKLAR

400 °C

600 °C



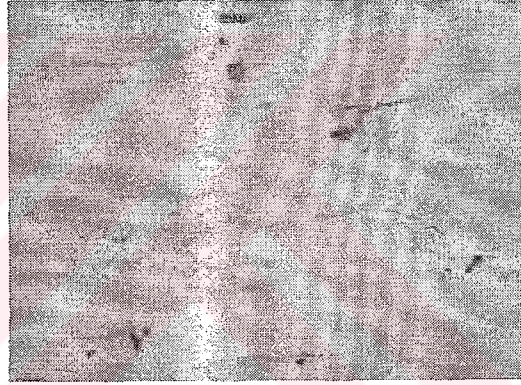
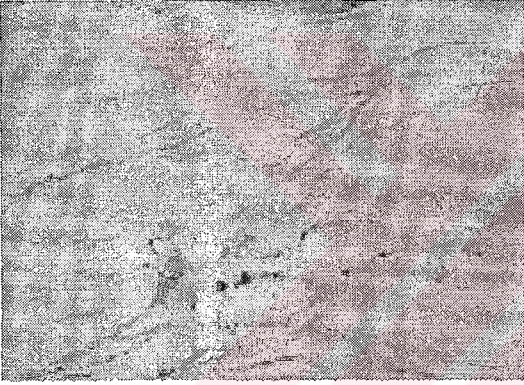
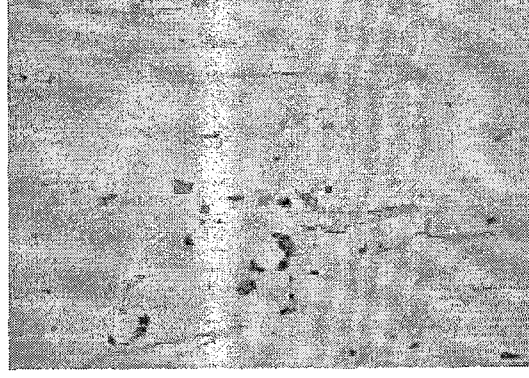
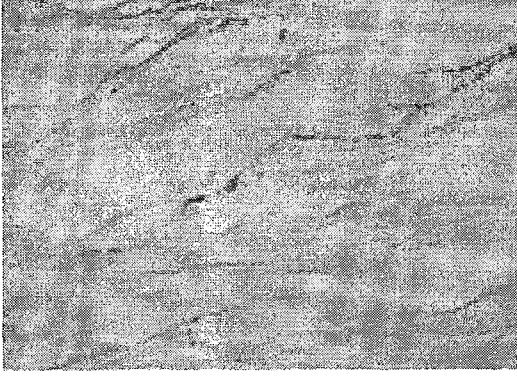
Şekil 4.32. M70 Pirincin Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu
X20 Büyütülmüş Mikroyapısı

MİKROYAPI DEĞİŞİMLERİ SICAKLIKLAR

400 °C

600 °C

SABİT BASMA HIZI
1 mm/dak
10 mm/dak



Şekil 4.33. Bronzun Farklı Sıcaklık ve Basma Hızı Sonucu
X50 Büyütülmüş Mikroyapısı

Mikroyapı filmlerinden görüldüğü gibi Pirinç Ms58'in tane sınırlarının net olarak ortaya çıktığı gözlenmektedir. Bu değişim, deney sıcaklığı ve basma hızına bağlı olarak oluşmuştur. 400 °C ve 1 mm/dak basma hızındaki mikroyapı filmlerinde tane sınırları nispeten daha belirgin görülebilmekte iken, 600 °C ve 10 mm/dak basma hızındaki oluşan mikroyapının daha ince taneli olduğu gözlenmiştir. Genel olarak çekirdeklenme hızı ve tane büyüme hızlarının sıcaklık ve deformasyon hızından etkilendiği değerlendirilebilir.

Şekil 4.32'de Pirinç Ms70 alaşımının mikroyapı filmlerinde de bu durumu gözlemek mümkündür. Ancak 400 °C'de 1 ve 10 mm/dak basma hızlarındaki mikroyapı filmlerinde tane yapılarının 20X büyütme ile net olarak ortaya çıkmadığı bu durumun aynı zamanda bronz malzemesi için de meydana geldiği gözlemlenmiştir. Esasen bunun nedeninin numunelerin iyi temizlenmemesinden dolayı ve dağlama yapılmasından sonra yeterli süre beklenmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bakır, alüminyum ve toz metalurjisi alaşımlarının tane boyutlarının tespiti demir esaslı alaşımlara nazaran daha zordur (18).

Pirinç Ms58 ve Ms70 mikroyapı filmlerinde anayapıyı oluşturan bakır esaslı matriks yapı içinde koyu renkli ve nispeten dentritik görüntüye sahip çinko esaslı ikinci faz taneleri görülmektedir. Mikroyapı filmlerinde görülen renk farklılıkları ışığın farklı kırınım açılarından dolayı oluşan spektrumlarıdır. Ayrıca mikroyapı filmleri deforme olmuş numunelerin maksimum çap, orta eksenlerinden basma eksenine paralel bir kesitte kesilerek elde edilen yüzeyin filmi çekilmiştir. Bu resimlerde tanelerin nispeten basma eksenine dik doğrultularda uzama gösterdiği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.33'de Bronz malzemenin anayapısı bakır ve kalayın meydana getirdiği fazdan meydana gelmektedir. Mikroyapı filmlerinden tane yapılarının değişimleri net olarak görülmemekle birlikte yapının deformasyona dik doğrultuda uzama ve bir çeşit akma temayülü anlaşılmıştır. Bu da yukarıda benzer olarak ifade edildiği gibi deformasyonun etkisini ortaya koymaktadır.

5. SONUÇLAR

- Çene basma hızının tane boyutlarını nispeten küçülttüğü ve birim yüzeye daha çok tane isabet ettiği anlaşılmaktadır. Deformasyon hızının artırılması ile rekristalizasyon meydana geldiği ve daha ince tane boyutlu malzeme elde edildiği, aynı zamanda gerilme değerlerindeki artışın bu rekristalizasyona olan dirençten kaynaklandığı düşünülebilir.

Bunun yanı sıra her iki gerinme hızında da sıcaklık arttıkça nisbeten tane boyutlarında büyüme görülmektedir.

- Ms58 pirinçte %19 ve Ms70 pirinçte %7 oranında görülen boydaki uzama yüzdelерinin söz konusu 400 °C ve 600 °C deney sıcaklıklarıyla daha yüksek oranlara yükseltilebileceği tespit edilmiştir.
- 600 °C'de, $V_t=10$ mm/dak hızda, Ms70 malzemesinin bası deneyinde, tane sayısının gerinme sonunda arttığı ve malzemenin gerinme esnasında rekristalizasyona uğradığı değerlendirilebilir. Tane boyutları aynı zamanda sıcaklık etkisiyle büyümüş olabilir. 400 °C'de tane boyutları tam olarak gözlenememiştir.
- Bakır alaşımlarının plastik deformasyonunu modellemek amacıyla farklı üç grup alaşım kullanılmıştır. Alaşımlar pratikte oldukça geniş uygulama alanlarına sahiptirler. Deneylerde kullanılan alaşımların tamamı ısıtılma işlemine yatkın olup Ms58 orta mukavemetli, Ms70 ve Bronz ise genel olarak yüksek mukavemetli malzemelerdir.
- Basma deneylerinde; deformasyon, gerçek deformasyon hızı ve sıcaklık değişken olarak kullanılmıştır. Bu değişkenlere bağlı olarak alaşımların plastik bölgedeki gerilme-gerinme akış eğrileri Eş.4.1 $\sigma=A\epsilon^n$ denklemi ile sağlanmaktadır. Gerilme, gerinme, sıcaklık, gerinme sertleşmesi, gerinme

hızı gibi değişkenlerin tespiti sonucu oluşturulan bu eşitliğin deneylerden elde edilen eğrilerle genel olarak iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür.

- Modellemeden elde edilen eğrilerle deneylerden elde edilen veriler arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Ancak deney ile modelleme eğrileri arasında sapmalar mevcuttur. Bu sapmalar; deney esnasında numune ile basma takımı arasında sürtünmeden oluşan fıçılasmadan, homojen sıcaklık dağılımının tamamen elde edilememesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Modellemede kullanılan deformasyon hızları ortalama büyüklüktür. Gerçekte ise deney boyunca basma takım hızı sabit kalmaktadır. Bu da modellemede sabit kabul edilen ortalama deformasyon hızlarının deney esnasında artan bir değer aldığı bilinmektedir. Oluşan bu fark modellemeden elde edilen eğriler ile deneylerden elde edilen eğriler arasında beklenen sapmaları meydana getirmiştir.

- Pirinç Ms58 ve Ms70 mikroyapı filmlerinde anayapıyı oluşturan bakır esaslı matriks yapı içinde koyu renkli ve nispeten dentritik görüntüye sahip çinko esaslı ikinci faz taneleri görülmektedir. Mikroyapı filmlerinde görülen renk farklılıkları ışığın farklı kırınım açılarından dolayı oluşan spektrumlarıdır.

Ayrıca mikroyapı filmleri deforme olmuş numunelerin maksimum çap, orta eksenlerinden basma eksenine paralel bir kesitte kesilerek elde edilen yüzeyin filmi çekilmiştir. Bu resimlerde tanelerin nispeten basma eksenine dik doğrultularda uzama gösterdiği anlaşılmaktadır. Basma yüzeyine yakın alt ve üst tabla ile malzemenin orta bölgesindeki tane boyutlarının aynı olması homojen deformasyona yorumlanabilirler.

- Bronz metalinin anayapısı bakır ve kalayın meydana getirdiği fazdan meydana gelmektedir. Mikroyapı filmlerinden tane yapılarının değişimleri net olarak görülmemekle birlikte yapının deformasyona dik doğrultuda uzama ve bir çeşit akma temayülü anlaşılmıştır. Bu da deformasyonun etkisini ortaya koymaktadır.
- 400 °C ve 600 °C sıcaklıkta ve 1 mm/dak basma hızlarında malzemenin homojen bir gerinmeye uğradığı, malzemede gerinmeden kaynaklanan dislokasyon, malzeme boşluğu, hava boşluğu gibi yapı bozukluklarıyla karşılaşılması ve malzemede gerinmeden kaynaklanan bir çatlak bulunmadığı yapılan mikroyapı çalışmalarıyla tespit edilmiştir.
- Ayrıca yapılan deney sonucunda, Ms70 pirincin soğuk derin çekme işlemlerinde yırtılmasına karşın malzemenin 400 veya 600 °C sıcaklıklarda derin çekme operasyonuna tabi tutulmasının mümkün olabileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Lubahn J.D., Felgar R.P., "Plasticity and Creep Of Metals", **John Willey & Sons Inc.**, New York, 92-137, (1961).
2. Johnson W., Mellor P.B., "Engineering Plasticity", **Van Nostrand Reinhold Company Ltd.**, London, 21-38, (1973).
3. Anver S.H., "Introduction to Physical Metallurgy 2nded", **Mc Graw-Hill Company, Özgün Publishing Inc.**, Ankara, 44-111, (1984).
4. Ersümer A., "Bakır Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri", **İTÜ Gümüşsuyu Matbaası**, İstanbul, 67-230, (1976).
5. Gürleyik M.Y., "Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi 7.Baskı", (Domke W.'nin çevirisi), **KTÜ**, Trabzon, 143-200, (1988).
6. Tekin E., "Demirdışı Metaller ve Alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi", **SEGEM Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Yayınları**, Ankara, 239-340, (1982).
7. Alniak M.O., "Deformasyon Prensipleri ve Uygulamaları Ders Notları", **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 17-59, (1998).
8. Zeyveli M., "Bronz Yataklar ve Deformasyon İlişkisi", Doktora Programı Projesi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 44-56, (1999).
9. Tulgar H.E., "Demirden Gayri Metaller Metalurjisi", (DENNIS W.H.'nin çevirisi), **İTÜ Gümüşsuyu Matbaası**, İstanbul, 96-222, (1974).
10. Mikell P.G., "Fundamentals Of Modern Manufacturing", **Prentice-Hall International, Inc**, New Jersey, 43-463, (1996)
11. Bedir F., "Alüminyum Alaşımlarının Plastik Deformasyonunun Modellenmesi", Doktora Tezi, **SDÜ Süleyman Demirel Üniversitesi**, Isparta, 24-125, (1998)
12. Çapan L., "Plastik Şekil Verme Teori ve Uygulamaları", **Birsen Kitabevi Yayınları**, İstanbul, 136-174, (1984)
13. Kalpakjian S., Schmid S.R., "Manufacturing Engineering and Technology 4thed.", **Prentice-Hall International, Inc**, New Jersey, 45-428, (2001)

14. Alniak M.O., "Malzemelerin Plastik ve Süperplastik Davranışlarında Bünye Denklemleri, Toz Metalurjisi Süper Alaşımı Rene95'in Sabit Dövme Sıcaklığındaki Deformasyonu ile Mikroyapısal Değişikliklerinin Modellenmesi" Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 48-106, (1990)
15. Kayalı E.S., Ensari C., "Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları", **İTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi**, İstanbul, 63-89, (1986)
16. Degarmo E.P., "Materials and Processes in Manufacturing 9thed", **WILEY International**, New York, 120-129, (2003)
17. Horath L., "Fundamentals of Materials Science for Technologists, Properties, Testing and Laboratory Exercises", **Prentice-Hall, Inc**, New Jersey, 349-354, (2001)
18. Alniak M.O., Bedir F., "Changes of Mechanical Properties of AA 2014 and AA 6063 Aluminum Alloys At High Temperatures in Various Strain Rates", **Turkish Journal of Engineering Env.Sci.**, TÜBİTAK, Ankara, 59-64, (2003)



EKLER

EK

DENEY SONUCU ELDE EDİLEN PARAMETRELERİN EXCEL SONUÇLARI

Numune-3	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15-dL	D	gerç.alan	kuwet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 58	0	0,00	0,00	15,25	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	2	600,00	0,33	14,92	10,11	80,29	5,89	0,02	73,30	0,02
T=400	3	1000,00	0,50	14,75	10,17	81,20	9,81	0,03	120,81	0,03
	4	1400,00	0,67	14,58	10,23	82,13	13,73	0,04	167,22	0,04
	5	1700,00	0,83	14,42	10,28	83,08	16,68	0,06	200,73	0,05
	6	1850,00	1,00	14,25	10,34	84,05	18,15	0,07	215,92	0,07
	7	2000,00	1,17	14,08	10,41	85,05	19,62	0,08	230,70	0,08
	8	2100,00	1,33	13,92	10,47	86,06	20,60	0,09	239,37	0,09
	10	2300,00	1,67	13,58	10,60	88,18	22,56	0,12	255,88	0,11
	12	2550,00	2,00	13,25	10,73	90,39	25,02	0,14	276,74	0,13
	14	2750,00	2,33	12,92	10,87	92,73	26,98	0,17	290,93	0,15
	16	3000,00	2,67	12,58	11,01	95,18	29,43	0,19	309,19	0,17
	18	3200,00	3,00	12,25	11,16	97,77	31,39	0,22	321,07	0,20
	20	3400,00	3,33	11,92	11,31	100,51	33,35	0,25	331,85	0,22
	22	3650,00	3,67	11,58	11,47	103,40	35,81	0,28	346,29	0,24
	24	3852,71	4,00	11,25	11,64	106,47	37,80	0,30	355,00	0,26
	26	4093,63	4,33	10,92	11,82	109,72	40,16	0,33	366,02	0,28
	28	4383,99	4,67	10,58	12,00	113,17	43,01	0,37	380,02	0,31
	30	4623,71	5,00	10,25	12,20	116,85	45,36	0,40	388,17	0,33
	32	4862,74	5,33	9,92	12,40	120,78	47,70	0,43	394,96	0,35
	34	5101,01	5,67	9,58	12,61	124,98	50,04	0,46	400,39	0,37
	36	5338,43	6,00	9,25	12,84	129,48	52,37	0,50	404,45	0,39
	38	5624,92	6,33	8,92	13,08	134,33	55,18	0,54	410,80	0,42
	40	5910,35	6,67	8,58	13,33	139,54	57,98	0,57	415,51	0,44
	42	6194,61	7,00	8,25	13,60	145,18	60,77	0,61	418,58	0,46
	44	6477,54	7,33	7,92	13,88	151,29	63,54	0,66	420,01	0,48
	46	6758,97	7,67	7,58	14,18	157,94	66,31	0,70	419,81	0,50
	48	7138,69	8,00	7,25	14,50	165,20	70,03	0,74	423,90	0,52

Numune-4	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,04-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 70	0	0	0,00	15,04	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	1	250	0,17	14,87	10,06	79,42	2,45	0,01	30,88	0,01
T=400	2	450	0,33	14,71	10,11	80,32	4,41	0,02	54,96	0,02
	3	700	0,50	14,54	10,17	81,24	6,87	0,03	84,53	0,03
	4	850	0,67	14,37	10,23	82,18	8,34	0,05	101,46	0,04
	5	950	0,83	14,21	10,29	83,15	9,32	0,06	112,08	0,06
	6	1100	1,00	14,04	10,35	84,13	10,79	0,07	128,26	0,07
	8	1350	1,33	13,71	10,48	86,18	13,24	0,09	153,67	0,09
	10	1600	1,67	13,37	10,60	88,33	15,70	0,12	177,70	0,11
	12	1800	2,00	13,04	10,74	90,59	17,66	0,14	194,93	0,13
	14	2100	2,33	12,71	10,88	92,96	20,60	0,17	221,61	0,16
	16	2400	2,67	12,37	11,03	95,47	23,54	0,20	246,62	0,18
	18	2650	3,00	12,04	11,18	98,11	26,00	0,22	264,97	0,20
	20	2900	3,33	11,71	11,33	100,90	28,45	0,25	281,94	0,22
	22	3200	3,67	11,37	11,50	103,86	31,39	0,28	302,25	0,24
	24	3450	4,00	11,04	11,67	107,00	33,84	0,31	316,31	0,27
	26	3700	4,33	10,71	11,85	110,33	36,30	0,34	328,99	0,29
	28	4000	4,67	10,37	12,04	113,87	39,24	0,37	344,60	0,31
	30	4250	5,00	10,04	12,24	117,65	41,69	0,40	354,37	0,33
	32	4550	5,33	9,71	12,45	121,69	44,64	0,44	366,79	0,35
	34	4800	5,67	9,37	12,67	126,02	47,09	0,47	373,65	0,38
	36	5100	6,00	9,04	12,90	130,67	50,03	0,51	382,89	0,40
	38	5350	6,33	8,71	13,14	135,67	52,48	0,55	386,85	0,42
	40	5650	6,67	8,37	13,40	141,07	55,43	0,59	392,90	0,44
	42	5950	7,00	8,04	13,68	146,92	58,37	0,63	397,29	0,47
	44	6250	7,33	7,71	13,97	153,27	61,31	0,67	400,02	0,49
	46	6550	7,67	7,37	14,28	160,20	64,26	0,71	401,09	0,51
	48	6900	8,00	7,04	14,62	167,79	67,69	0,76	403,42	0,53

Numune-5	kagıt-yatay(mm)	kagıt-yük(kg)	dl	L=15,2-dL	D	gerç.alan	kuvet(kN)	gerç.def.	gerİme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 70	0	0	0,00	15,20	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=1	2	50	0,03	15,17	10,01	78,71	0,49	0,00	6,23	0,00
T=400	4	100	0,07	15,13	10,02	78,89	0,98	0,00	12,44	0,00
	6	150	0,10	15,10	10,03	79,06	1,47	0,01	18,61	0,01
	8	200	0,13	15,07	10,04	79,23	1,96	0,01	24,76	0,01
	10	250	0,17	15,03	10,06	79,41	2,45	0,01	30,88	0,01
	12	300	0,20	15,00	10,07	79,59	2,94	0,01	36,98	0,01
	14	350	0,23	14,97	10,08	79,76	3,43	0,02	43,05	0,02
	16	400	0,27	14,93	10,09	79,94	3,92	0,02	49,09	0,02
	18	450	0,30	14,90	10,10	80,12	4,41	0,02	55,10	0,02
	20	500	0,33	14,87	10,11	80,30	4,91	0,02	61,08	0,02
	22	540	0,37	14,83	10,12	80,48	5,30	0,02	65,82	0,02
	24	590	0,40	14,80	10,13	80,66	5,79	0,03	71,75	0,03
	26	630	0,43	14,77	10,15	80,84	6,18	0,03	76,45	0,03
	28	680	0,47	14,73	10,16	81,03	6,67	0,03	82,33	0,03
	30	700	0,50	14,70	10,17	81,21	6,87	0,03	84,56	0,03
	32	725	0,53	14,67	10,18	81,40	7,11	0,04	87,38	0,04
	34	775	0,57	14,63	10,19	81,58	7,60	0,04	93,19	0,04
	36	800	0,60	14,60	10,20	81,77	7,85	0,04	95,98	0,04
	38	830	0,63	14,57	10,22	81,95	8,14	0,04	99,35	0,04
	40	880	0,67	14,53	10,23	82,14	8,63	0,04	105,10	0,04
	42	920	0,70	14,50	10,24	82,33	9,03	0,05	109,62	0,05
	44	930	0,73	14,47	10,25	82,52	9,12	0,05	110,56	0,05
	46	960	0,77	14,43	10,26	82,71	9,42	0,05	113,86	0,05
	48	980	0,80	14,40	10,27	82,90	9,61	0,05	115,96	0,05
	50	1000	0,83	14,37	10,29	83,10	9,81	0,06	118,06	0,05
	54	1050	0,90	14,30	10,31	83,48	10,30	0,06	123,38	0,06
	58	1110	0,97	14,23	10,33	83,87	10,89	0,07	129,83	0,06
	62	1170	1,03	14,17	10,36	84,27	11,48	0,07	136,20	0,07
	66	1200	1,10	14,10	10,38	84,67	11,77	0,08	139,04	0,07
	70	1250	1,17	14,03	10,41	85,07	12,26	0,08	144,15	0,08
	74	1300	1,23	13,97	10,43	85,48	12,75	0,08	149,20	0,08
	78	1350	1,30	13,90	10,46	85,89	13,24	0,09	154,20	0,09
	82	1400	1,37	13,83	10,48	86,30	13,73	0,09	159,14	0,09
	86	1460	1,43	13,77	10,51	86,72	14,32	0,10	165,16	0,09

	90	1500	1,50	13,70	10,53	87,14	14,72	0,10	168,87	0,10
	100	1600	1,67	13,53	10,60	88,21	15,70	0,12	177,93	0,11
	110	1720	1,83	13,37	10,66	89,31	16,87	0,13	188,92	0,12
	120	1800	2,00	13,20	10,73	90,44	17,66	0,14	195,25	0,13
	130	1900	2,17	13,03	10,80	91,60	18,64	0,15	203,49	0,14
	140	2000	2,33	12,87	10,87	92,78	19,62	0,17	211,46	0,15
	150	2080	2,50	12,70	10,94	94,00	20,40	0,18	217,07	0,16
	160	2120	2,67	12,53	11,01	95,25	20,80	0,19		0,18
	170	2175	2,83	12,37	11,09	96,53	21,34	0,21	221,03	0,19
	180	2200	3,00	12,20	11,16	97,85	21,58	0,22		0,20
	190	2275	3,17	12,03	11,24	99,21	22,32	0,23	224,96	0,21
	200	2325	3,33	11,87	11,32	100,60	22,81	0,25	226,72	0,22
	210	2400	3,50	11,70	11,40	102,03	23,54	0,26	227,00	0,23
	220	2475	3,67	11,53	11,48	103,51	24,28	0,28	228,00	0,24
	230	2520	3,83	11,37	11,56	105,03	24,72	0,29	228,50	0,25
	240	2580	4,00	11,20	11,65	106,59	25,31	0,31	229,00	0,26
	250	2650	4,17	11,03	11,74	108,20	26,00	0,32	229,50	0,27
	260	2700	4,33	10,87	11,83	109,86	26,49	0,34	229,75	0,29
	270	2750	4,50	10,70	11,92	111,57	26,98	0,35	230,00	0,30
	280	2825	4,67	10,53	12,01	113,34	27,71	0,37	230,25	0,31
	290	2890	4,83	10,37	12,11	115,16	28,35	0,38	230,35	0,32
	300	2930	5,00	10,20	12,21	117,04	28,74	0,40	230,50	0,33
	310	3000	5,17	10,03	12,31	118,98	29,43	0,42	230,55	0,34
	320	3080	5,33	9,87	12,41	120,99	30,21	0,43	230,60	0,35
	330	3120	5,50	9,70	12,52	123,07	30,61	0,45	230,65	0,36
	340	3160	5,67	9,53	12,63	125,22	31,00	0,47	230,70	0,37
	350	3200	5,83	9,37	12,74	127,45	31,39	0,48	230,73	0,38
	360	3230	6,00	9,20	12,85	129,76	31,69	0,50	230,75	0,39
	380	3350	6,33	8,87	13,09	134,64	32,86	0,54	230,80	0,42
	400	3500	6,67	8,53	13,35	139,90	34,34	0,58	230,85	0,44
	420	3600	7,00	8,20	13,61	145,59	35,32	0,62	230,90	0,46
	440	3700	7,33	7,87	13,90	151,75	36,30	0,66	231,65	0,48
	460	3850	7,67	7,53	14,20	158,47	37,77	0,70	232,30	0,50
	480	4000	8,00	7,20	14,53	165,81	39,24	0,75	233,00	0,53

Numune-6	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,2-dL	D	gerç.alan	kuvet(kN)	gerç.def.	gerilme(Mpa)	Müh.def.
Bronz	0	0	0,00	15,20	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	1	250	0,17	15,03	10,06	79,41	2,45	0,01	30,88	0,01
T=400	2	550	0,33	14,87	10,11	80,30	5,40	0,02	67,19	0,02
	3	950	0,50	14,70	10,17	81,21	9,32	0,03	114,76	0,03
	4	1100	0,67	14,53	10,23	82,14	10,79	0,04	131,37	0,04
	5	1200	0,83	14,37	10,29	83,10	11,77	0,06	141,67	0,05
	6	1340	1,00	14,20	10,35	84,07	13,15	0,07	156,36	0,07
	7	1550	1,17	14,03	10,41	85,07	15,21	0,08	178,74	0,08
	8	1680	1,33	13,87	10,47	86,09	16,48	0,09	191,43	0,09
	10	1900	1,67	13,53	10,60	88,21	18,64	0,12	211,30	0,11
	12	2150	2,00	13,20	10,73	90,44	21,09	0,14	233,21	0,13
	14	2400	2,33	12,87	10,87	92,78	23,54	0,17	253,75	0,15
	16	2600	2,67	12,53	11,01	95,25	25,51	0,19	267,78	0,18
	18	2850	3,00	12,20	11,16	97,85	27,96	0,22	285,72	0,20
	20	3050	3,33	11,87	11,32	100,60	29,92	0,25	297,42	0,22
	24	3500	4,00	11,20	11,65	106,59	34,34	0,31	322,12	0,26
	28	3980	4,67	10,53	12,01	113,34	39,04	0,37	344,50	0,31
	32	4400	5,33	9,87	12,41	120,99	43,16	0,43	356,75	0,35
	36	4900	6,00	9,20	12,85	129,76	48,07	0,50	370,44	0,39
	40	5400	6,67	8,53	13,35	139,90	52,97	0,58	378,66	0,44
	44	5900	7,33	7,87	13,90	151,75	57,88	0,66	381,40	0,48
	48	6500	8,00	7,20	14,53	165,81	63,77	0,75	384,58	0,53

Numune-7	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,1-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Bronz	0	0	0,00	15,10	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=1	2	50	0,03	15,07	10,01	78,71	0,49	0,00	6,23	0,00
T=400	4	100	0,07	15,03	10,02	78,89	0,98	0,00	12,44	0,00
	6	150	0,10	15,00	10,03	79,06	1,47	0,01	18,61	0,01
	8	200	0,13	14,97	10,04	79,24	1,96	0,01	24,76	0,01
	10	250	0,17	14,93	10,06	79,42	2,45	0,01	30,88	0,01
	12	300	0,20	14,90	10,07	79,59	2,94	0,01	36,98	0,01
	14	350	0,23	14,87	10,08	79,77	3,43	0,02	43,04	0,02
	16	400	0,27	14,83	10,09	79,95	3,92	0,02	49,08	0,02
	18	450	0,30	14,80	10,10	80,13	4,41	0,02	55,09	0,02
	20	500	0,33	14,77	10,11	80,31	4,91	0,02	61,07	0,02
	22	550	0,37	14,73	10,12	80,49	5,40	0,02	67,03	0,02
	24	600	0,40	14,70	10,14	80,68	5,89	0,03	72,96	0,03
	26	650	0,43	14,67	10,15	80,86	6,38	0,03	78,86	0,03
	28	700	0,47	14,63	10,16	81,04	6,87	0,03	84,73	0,03
	30	750	0,50	14,60	10,17	81,23	7,36	0,03	90,58	0,03
	32	800	0,53	14,57	10,18	81,42	7,85	0,04	96,39	0,04
	34	840	0,57	14,53	10,19	81,60	8,24	0,04	100,98	0,04
	36	880	0,60	14,50	10,20	81,79	8,63	0,04	105,55	0,04
	38	910	0,63	14,47	10,22	81,98	8,93	0,04	108,90	0,04
	40	950	0,67	14,43	10,23	82,17	9,32	0,05	113,42	0,04
	42	970	0,70	14,40	10,24	82,36	9,52	0,05	115,54	0,05
	44	1000	0,73	14,37	10,25	82,55	9,81	0,05	118,84	0,05
	46	1030	0,77	14,33	10,26	82,74	10,10	0,05	122,12	0,05
	48	1070	0,80	14,30	10,28	82,93	10,50	0,05	126,57	0,05
	50	1100	0,83	14,27	10,29	83,13	10,79	0,06	129,81	0,06
	52	1130	0,87	14,23	10,30	83,32	11,09	0,06	133,04	0,06
	54	1150	0,90	14,20	10,31	83,52	11,28	0,06	135,08	0,06
	56	1175	0,93	14,17	10,32	83,71	11,53	0,06	137,69	0,06
	60	1220	1,00	14,10	10,35	84,11	11,97	0,07	142,29	0,07
	64	1270	1,07	14,03	10,37	84,51	12,46	0,07	147,42	0,07
	70	1350	1,17	13,93	10,41	85,12	13,24	0,08	155,59	0,08
	80	1450	1,33	13,77	10,47	86,15	14,22	0,09	165,12	0,09
	90	1550	1,50	13,60	10,54	87,20	15,21	0,10	174,37	0,10
	100	1650	1,67	13,43	10,60	88,28	16,19	0,12	183,35	0,11

	110	1750	1,83	13,27	10,67	89,39	17,17	0,13	192,04	0,12
	120	1820	2,00	13,10	10,74	90,53	17,85	0,14	197,22	0,13
	130	1910	2,17	12,93	10,81	91,70	18,74	0,15	204,34	0,14
	140	2020	2,33	12,77	10,88	92,89	19,82	0,17	213,32	0,15
	160	2200	2,67	12,43	11,02	95,38	21,58	0,19	226,26	0,18
	180	2350	3,00	12,10	11,17	98,01	23,05	0,22	235,21	0,20
	200	2450	3,33	11,77	11,33	100,79	24,03	0,25	238,46	0,22
	220	2600	3,67	11,43	11,49	103,73	25,51	0,28	245,89	0,24
	240	2800	4,00	11,10	11,66	106,84	27,47	0,31	257,09	0,26
	260	2950	4,33	10,77	11,84	110,15	28,94	0,34	262,73	0,29
	280	3100	4,67	10,43	12,03	113,67	30,41	0,37	267,54	0,31
	300	3280	5,00	10,10	12,23	117,42	32,18	0,40	274,03	0,33
	320	3450	5,33	9,77	12,43	121,43	33,84	0,44	278,72	0,35
	340	3600	5,67	9,43	12,65	125,72	35,32	0,47	280,91	0,38
	360	3750	6,00	9,10	12,88	130,32	36,79	0,51	282,28	0,40
	380	3900	6,33	8,77	13,12	135,28	38,26	0,54	282,81	0,42
	400	4075	6,67	8,43	13,38	140,63	39,98	0,58	284,27	0,44
	420	4250	7,00	8,10	13,65	146,41	41,69	0,62	284,76	0,46
	440	4400	7,33	7,77	13,94	152,70	43,16	0,66	282,68	0,49
	460	4620	7,67	7,43	14,25	159,55	45,32	0,71	284,07	0,51
	480	4820	8,00	7,10	14,58	167,04	47,28	0,75	283,08	0,53

Numune-8	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,5-dL	D	gerç. alan	kuvet(kN)	gerç. def.	gerilme(MPa)	Müh. def.
Pirinç 58	0	0,00	0,00	15,50	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=1	2	40,00	0,03	15,47	10,01	78,71	0,39	0,00	4,99	0,00
T=400	4	80,00	0,07	15,43	10,02	78,88	0,78	0,00	9,95	0,00
	6	120,00	0,10	15,40	10,03	79,05	1,18	0,01	14,89	0,01
	8	201,89	0,13	15,37	10,04	79,22	1,98	0,01	25,00	0,01
	10	283,26	0,17	15,33	10,05	79,39	2,78	0,01	35,00	0,01
	12	348,76	0,20	15,30	10,07	79,57	3,42	0,01	43,00	0,01
	14	422,68	0,23	15,27	10,08	79,74	4,15	0,02	52,00	0,02
	16	496,92	0,27	15,23	10,09	79,91	4,87	0,02	61,00	0,02
	18	571,49	0,30	15,20	10,10	80,09	5,61	0,02	70,00	0,02
	20	613,65	0,33	15,17	10,11	80,27	6,02	0,02	75,00	0,02
	22	688,81	0,37	15,13	10,12	80,44	6,76	0,02	84,00	0,02
	24	764,29	0,40	15,10	10,13	80,62	7,50	0,03	93,00	0,03
	26	798,93	0,43	15,07	10,14	80,80	7,84	0,03	97,00	0,03
	28	833,72	0,47	15,03	10,15	80,98	8,18	0,03	101,00	0,03
	30	868,66	0,50	15,00	10,17	81,16	8,52	0,03	105,00	0,03
	32	912,05	0,53	14,97	10,18	81,34	8,95	0,04	110,00	0,03
	34	955,64	0,57	14,93	10,19	81,52	9,37	0,04	115,00	0,04
	36	999,42	0,60	14,90	10,20	81,70	9,80	0,04	120,00	0,04
	38	1026,70	0,63	14,87	10,21	81,89	10,07	0,04	123,00	0,04
	40	1070,84	0,67	14,83	10,22	82,07	10,50	0,04	128,00	0,04
	42	1106,79	0,70	14,80	10,23	82,25	10,86	0,05	132,00	0,05
	44	1142,90	0,73	14,77	10,25	82,44	11,21	0,05	136,00	0,05
	46	1170,76	0,77	14,73	10,26	82,63	11,49	0,05	139,00	0,05
	48	1181,85	0,80	14,70	10,27	82,81	11,59	0,05	140,00	0,05
	50	1209,92	0,83	14,67	10,28	83,00	11,87	0,06	143,00	0,05
	52	1229,64	0,87	14,63	10,29	83,19	12,06	0,06	145,00	0,06
	54	1291,94	0,90	14,60	10,30	83,38	12,67	0,06	152,00	0,06
	64	1401,44	1,07	14,43	10,36	84,34	13,75	0,07	163,00	0,07
	74	1504,79	1,23	14,27	10,42	85,33	14,76	0,08	173,00	0,08
	94	1647,67	1,57	13,93	10,55	87,37	16,16	0,11	185,00	0,10
	114	1824,92	1,90	13,60	10,68	89,51	17,90	0,13	200,00	0,12
	134	2001,73	2,23	13,27	10,81	91,76	19,64	0,16	214,00	0,14
	154	2206,84	2,57	12,93	10,95	94,13	21,65	0,18	230,00	0,17
	174	2363,70	2,90	12,60	11,09	96,62	23,19	0,21	240,00	0,19

	214	2641,34	3,57	11,93	11,40	102,01	25,91	0,26	254,00	0,23
	254	2918,79	4,23	11,27	11,73	108,05	28,63	0,32	265,00	0,27
	294	3219,43	4,90	10,60	12,09	114,85	31,58	0,38	275,00	0,32
	334	3572,92	5,57	9,93	12,49	122,55	35,05	0,44	286,00	0,36
	374	3860,10	6,23	9,27	12,93	131,37	37,87	0,51	288,25	0,40
	414	4170,15	6,90	8,60	13,43	141,55	40,91	0,59	289,00	0,45
	454	4536,23	7,57	7,93	13,98	153,45	44,50	0,67	290,00	0,49
	494	4952,40	8,23	7,27	14,60	167,53	48,58	0,76	290,00	0,53

Numune-11	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,24-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 70	0	0	0,00	15,24	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=1	2	20	0,03	15,21	10,01	78,71	0,20	0,00	2,49	0,00
T=600	4	40	0,07	15,17	10,02	78,88	0,39	0,00	5,20	0,00
	6	55	0,10	15,14	10,03	79,06	0,54	0,01	9,30	0,01
	8	70	0,13	15,11	10,04	79,23	0,69	0,01	14,50	0,01
	10	80	0,17	15,07	10,06	79,41	0,78	0,02	19,07	0,01
	12	90	0,20	15,04	10,07	79,58	0,88	0,02	23,00	0,01
	14	100	0,23	15,01	10,08	79,76	0,98	0,02	26,00	0,02
	16	105	0,27	14,97	10,09	79,94	1,03	0,02	29,00	0,02
	18	110	0,30	14,94	10,10	80,12	1,08	0,02	32,00	0,02
	20	115	0,33	14,91	10,11	80,30	1,13	0,03	35,00	0,02
	22	120	0,37	14,87	10,12	80,48	1,18	0,04	38,00	0,02
	42	160	0,70	14,54	10,24	82,32	1,57	0,07	42,00	0,05
	62	200	1,03	14,21	10,36	84,25	1,96	0,07	44,00	0,07
	82	250	1,37	13,87	10,48	86,28	2,45	0,09	46,00	0,09
	102	280	1,70	13,54	10,61	88,40	2,75	0,12	47,50	0,11
	122	300	2,03	13,21	10,74	90,63	2,94	0,14	48,25	0,13
	142	320	2,37	12,87	10,88	92,98	3,14	0,17	49,00	0,16
	162	320	2,70	12,54	11,02	95,45	3,14	0,20	49,80	0,18
	182	320	3,03	12,21	11,17	98,06	3,14	0,22	50,50	0,20
	202	320	3,37	11,87	11,33	100,81	3,14	0,25	51,00	0,22
	222	350	3,70	11,54	11,49	103,72	3,43	0,28	51,25	0,24
	242	370	4,03	11,21	11,66	106,81	3,63	0,31	51,40	0,26
	262	390	4,37	10,87	11,84	110,08	3,83	0,34	52,00	0,29
	282	390	4,70	10,54	12,02	113,56	3,83	0,37	52,30	0,31
	302	440	5,03	10,21	12,22	117,27	4,32	0,40	52,50	0,33
	322	490	5,37	9,87	12,42	121,23	4,81	0,43	52,70	0,35
	342	550	5,70	9,54	12,64	125,47	5,40	0,47	52,65	0,37
	362	610	6,03	9,21	12,87	130,01	5,98	0,50	52,80	0,40
	382	700	6,37	8,87	13,11	134,89	6,87	0,54	52,75	0,42
	402	815	6,70	8,54	13,36	140,16	8,00	0,58	52,65	0,44
	422	960	7,03	8,21	13,63	145,85	9,42	0,62	52,65	0,46
	442	1070	7,37	7,87	13,91	152,03	10,50	0,66	52,75	0,48
	462	1150	7,70	7,54	14,22	158,75	11,28	0,70	52,90	0,51
	482	1250	8,03	7,21	14,54	166,09	12,26	0,75	53,50	0,53

Numune-12	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,02-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(Mpa)	Müh.def.
Bronz	0	0	0,00	15,02	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=2	2	50	0,07	14,95	10,02	78,89	0,49	0,00	6,22	0,00
T=600	4	100	0,13	14,89	10,04	79,24	0,98	0,01	12,38	0,01
	6	190	0,20	14,82	10,07	79,60	1,86	0,01	23,42	0,01
	8	270	0,27	14,75	10,09	79,96	2,65	0,02	33,13	0,02
	10	350	0,33	14,69	10,11	80,32	3,43	0,02	42,75	0,02
	12	400	0,40	14,62	10,14	80,69	3,92	0,03	48,63	0,03
	14	450	0,47	14,55	10,16	81,06	4,41	0,03	54,46	0,03
	16	460	0,53	14,49	10,18	81,43	4,51	0,04	55,42	0,04
	18	490	0,60	14,42	10,21	81,81	4,81	0,04	58,76	0,04
	20	500	0,67	14,35	10,23	82,19	4,91	0,05	59,68	0,04
	22	525	0,73	14,29	10,25	82,57	5,15	0,05	62,37	0,05
	24	550	0,80	14,22	10,28	82,96	5,40	0,05	65,04	0,05
	26	570	0,87	14,15	10,30	83,35	5,59	0,06	67,09	0,06
	28	585	0,93	14,09	10,33	83,74	5,74	0,06	68,53	0,06
	30	600	1,00	14,02	10,35	84,14	5,89	0,07	69,95	0,07
	34	640	1,13	13,89	10,40	84,95	6,28	0,08	73,91	0,08
	44	680	1,47	13,55	10,53	87,04	6,67	0,10	76,64	0,10
	54	710	1,80	13,22	10,66	89,23	6,97	0,13	78,05	0,12
	74	800	2,47	12,55	10,94	93,97	7,85	0,18	83,51	0,16
	94	825	3,13	11,89	11,24	99,24	8,09	0,23	81,55	0,21
	114	900	3,80	11,22	11,57	105,14	8,83	0,29	83,97	0,25
	134	970	4,47	10,55	11,93	111,78	9,52	0,35	85,13	0,30
	154	1010	5,13	9,89	12,33	119,32	9,91	0,42	83,04	0,34
	174	1100	5,80	9,22	12,76	127,95	10,79	0,49	84,34	0,39
	194	1200	6,47	8,55	13,25	137,92	11,77	0,56	85,35	0,43
	214	1340	7,13	7,89	13,80	149,58	13,15	0,64	87,88	0,47
	234	1500	7,80	7,22	14,42	163,39	14,72	0,73	90,06	0,52

Numune-13	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,08-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 58	0	0,00	0,00	15,08	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=1	2	24,12	0,07	15,01	10,02	78,89	0,24	0,00	3,00	0,00
T=600	4	56,54	0,13	14,95	10,04	79,24	0,55	0,01	7,00	0,01
	6	97,36	0,20	14,88	10,07	79,60	0,96	0,01	12,00	0,01
	8	138,55	0,27	14,81	10,09	79,95	1,36	0,02	17,00	0,02
	10	196,49	0,33	14,75	10,11	80,32	1,93	0,02	24,00	0,02
	12	279,62	0,40	14,68	10,14	80,68	2,74	0,03	34,00	0,03
	14	330,47	0,47	14,61	10,16	81,05	3,24	0,03	40,00	0,03
	16	356,88	0,53	14,55	10,18	81,42	3,50	0,04	43,00	0,04
	18	383,54	0,60	14,48	10,21	81,79	3,76	0,04	46,00	0,04
	20	402,07	0,67	14,41	10,23	82,17	3,94	0,05	48,00	0,04
	22	420,77	0,73	14,35	10,25	82,55	4,13	0,05	50,00	0,05
	24	431,19	0,80	14,28	10,28	82,94	4,23	0,05	51,00	0,05
	26	441,70	0,87	14,21	10,30	83,33	4,33	0,06	52,00	0,06
	28	452,32	0,93	14,15	10,32	83,72	4,44	0,06	53,00	0,06
	30	458,75	1,00	14,08	10,35	84,12	4,50	0,07	53,50	0,07
	32	465,24	1,07	14,01	10,37	84,52	4,56	0,07	54,00	0,07
	44	496,64	1,47	13,61	10,52	87,00	4,87	0,10	56,00	0,10
	64	536,21	2,13	12,95	10,79	91,48	5,26	0,15	57,50	0,14
	84	570,23	2,80	12,28	11,08	96,45	5,59	0,21	58,00	0,19
	104	613,36	3,47	11,61	11,40	101,98	6,02	0,26	59,00	0,23
	124	661,75	4,13	10,95	11,74	108,20	6,49	0,32	60,00	0,27
	144	728,15	4,80	10,28	12,11	115,21	7,14	0,38	62,00	0,32
	164	791,20	5,47	9,61	12,52	123,20	7,76	0,45	63,00	0,36
	184	870,40	6,13	8,95	12,98	132,38	8,54	0,52	64,50	0,41
	204	947,77	6,80	8,28	13,50	143,04	9,30	0,60	65,00	0,45
	224	1030,77	7,47	7,61	14,07	155,57	10,11	0,68	65,00	0,50
	244	1147,07	8,13	6,95	14,73	170,50	11,25	0,78	66,00	0,54

Numune-14	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,3-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(MPa)	Müh.def.
Pirinç 58	0	0	0,00	15,30	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	2	40	0,33	14,97	10,11	80,29	0,39	0,02	28,00	0,02
T=600	4	50	0,67	14,63	10,23	82,12	0,49	0,03	54,00	0,05
	6	55	1,00	14,30	10,34	84,03	0,54	0,04	69,00	0,07
	8	70	1,33	13,97	10,47	86,04	0,69	0,05	80,00	0,09
	10	90	1,67	13,63	10,59	88,14	0,88	0,12	95,00	0,11
	12	95	2,00	13,30	10,73	90,35	0,93	0,14	98,00	0,13
	14	95	2,33	12,97	10,86	92,67	0,93	0,17	101,00	0,15
	16	95	2,67	12,63	11,00	95,12	0,93	0,19	103,00	0,17
	18	95	3,00	12,30	11,15	97,70	0,93	0,22	105,00	0,20
	20	95	3,33	11,97	11,31	100,42	0,93	0,25	106,00	0,22
	22	96	3,67	11,63	11,47	103,29	0,94	0,27	107,00	0,24
	24	97	4,00	11,30	11,64	106,34	0,95	0,30	107,50	0,26
	26	98	4,33	10,97	11,81	109,57	0,96	0,33	108,50	0,28
	28	100	4,67	10,63	12,00	113,01	0,98	0,36	109,00	0,31
	30	102	5,00	10,30	12,19	116,67	1,00	0,40	110,00	0,33
	32	103	5,33	9,97	12,39	120,57	1,01	0,43	111,00	0,35
	34	103	5,67	9,63	12,60	124,74	1,01	0,46	112,00	0,37
	36	104	6,00	9,30	12,83	129,21	1,02	0,50	113,50	0,39
	38	110	6,33	8,97	13,06	134,01	1,08	0,53	114,50	0,41
	40	130	6,67	8,63	13,31	139,19	1,28	0,57	116,00	0,44
	42	175	7,00	8,30	13,58	144,78	1,72	0,61	118,00	0,46
	44	190	7,33	7,97	13,86	150,84	1,86	0,65	120,00	0,48
	46	200	7,67	7,63	14,16	157,42	1,96	0,70	122,00	0,50
	48	250	8,00	7,30	14,48	164,61	2,45	0,74	124,00	0,52

Numune-15	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,18-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(Mpa)	Müh.def.
Bronz	0	0	0,00	15,18	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	1	100	0,17	15,01	10,06	79,41	0,98	0,01	12,35	0,01
T=600	2	275	0,33	14,85	10,11	80,30	2,70	0,02	33,59	0,02
	3	450	0,50	14,68	10,17	81,21	4,41	0,03	54,36	0,03
	4	575	0,67	14,51	10,23	82,15	5,64	0,04	68,67	0,04
	5	660	0,83	14,35	10,29	83,10	6,47	0,06	77,91	0,05
	6	680	1,00	14,18	10,35	84,08	6,67	0,07	79,34	0,07
	8	750	1,33	13,85	10,47	86,10	7,36	0,09	85,45	0,09
	10	800	1,67	13,51	10,60	88,23	7,85	0,12	88,95	0,11
	12	850	2,00	13,18	10,73	90,46	8,34	0,14	92,18	0,13
	14	925	2,33	12,85	10,87	92,80	9,07	0,17	97,78	0,15
	16	970	2,67	12,51	11,01	95,28	9,52	0,19	99,87	0,18
	18	1000	3,00	12,18	11,16	97,88	9,81	0,22	100,22	0,20
	20	1025	3,33	11,85	11,32	100,64	10,06	0,25	99,91	0,22
	22	1080	3,67	11,51	11,48	103,55	10,59	0,28	102,31	0,24
	24	1100	4,00	11,18	11,65	106,64	10,79	0,31	101,19	0,26
	26	1150	4,33	10,85	11,83	109,92	11,28	0,34	102,64	0,29
	28	1200	4,67	10,51	12,02	113,40	11,77	0,37	103,81	0,31
	30	1240	5,00	10,18	12,21	117,12	12,16	0,40	103,87	0,33
	32	1300	5,33	9,85	12,42	121,08	12,75	0,43	105,33	0,35
	34	1380	5,67	9,51	12,63	125,32	13,54	0,47	108,02	0,37
	36	1430	6,00	9,18	12,86	129,87	14,03	0,50	108,02	0,40
	38	1500	6,33	8,85	13,10	134,77	14,72	0,54	109,19	0,42
	40	1580	6,67	8,51	13,35	140,04	15,50	0,58	110,68	0,44
	42	1650	7,00	8,18	13,62	145,75	16,19	0,62	111,06	0,46
	44	1750	7,33	7,85	13,91	151,94	17,17	0,66	112,99	0,48
	46	1890	7,67	7,51	14,21	158,68	18,54	0,70	116,84	0,51
	48	2020	8,00	7,18	14,54	166,05	19,82	0,75	119,34	0,53

Numune-16	kagit-yatay(mm)	kagit-yük(kg)	dl	L=15,3-dL	D	gerç.alan	kuvvet(kN)	gerç.def.	gerilme(Mpa)	Müh.def.
Piring 70	0	0	0,00	15,30	10,00	78,54	0,00	0,00	0,00	0,00
V=10	1	100	0,17	15,13	10,05	79,40	0,98	0,01	12,35	0,01
T=600	2	225	0,33	14,97	10,11	80,29	2,21	0,02	27,49	0,02
	3	260	0,50	14,80	10,17	81,19	2,55	0,03	31,41	0,03
	4	290	0,67	14,63	10,23	82,12	2,84	0,04	34,64	0,04
	6	350	1,00	14,30	10,34	84,03	3,43	0,07	40,86	0,07
	8	390	1,33	13,97	10,47	86,04	3,83	0,09	47,00	0,09
	10	470	1,67	13,63	10,59	88,14	4,61	0,12	52,31	0,11
	12	500	2,00	13,30	10,73	90,35	4,91	0,14	58,00	0,13
	14	590	2,33	12,97	10,86	92,67	5,79	0,17	62,46	0,15
	16	615	2,67	12,63	11,00	95,12	6,03	0,19	63,43	0,17
	18	665	3,00	12,30	11,15	97,70	6,52	0,22	66,78	0,20
	20	700	3,33	11,97	11,31	100,42	6,87	0,25	68,38	0,22
	22	730	3,67	11,63	11,47	103,29	7,16	0,27	69,33	0,24
	24	790	4,00	11,30	11,64	106,34	7,75	0,30	72,88	0,26
	26	815	4,33	10,97	11,81	109,57	8,00	0,33	73,50	0,28
	28	825	4,67	10,63	12,00	113,01	8,09	0,36	74,00	0,31
	30	850	5,00	10,30	12,19	116,67	8,34	0,40	74,00	0,33
	32	925	5,33	9,97	12,39	120,57	9,07	0,43	75,26	0,35
	34	970	5,67	9,63	12,60	124,74	9,52	0,46	76,28	0,37
	36	1010	6,00	9,30	12,83	129,21	9,91	0,50	76,68	0,39
	38	1070	6,33	8,97	13,06	134,01	10,50	0,53	78,33	0,41
	40	1130	6,67	8,63	13,31	139,19	11,09	0,57	79,64	0,44
	42	1200	7,00	8,30	13,58	144,78	11,77	0,61	81,31	0,46
	44	1300	7,33	7,97	13,86	150,84	12,75	0,65	84,55	0,48
	46	1400	7,67	7,63	14,16	157,42	13,73	0,70	87,24	0,50
	48	1500	8,00	7,30	14,48	164,61	14,72	0,74	89,39	0,52

ÖZGEÇMİŞ

Şevket Tunç ALNIAK, 1975 Üsküdar doğumludur. İlkokul öğrenimini TED Ankara Koleji'nde tamamladıktan sonra Orta öğrenime Kanada'da başlamış ve 1988 yılında Ankara'ya dönerek Orta ve Lise öğrenimini Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 1992 yılında Akdeniz Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümüne başlamış ve 1996 yılında mezun olmuştur. Aynı sene özel sektörde çalışmaya başlamış ve 1997 yılında Gazi Üniversitesi Makina Mühendisliği Yüksek Lisans Programına katılmıştır. 1998 yılında Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesinde "Mühendisler için İşletme Yönetimi" programını tamamlamış ve daha sonra 1999 yılında Başkent Üniversitesi İşletme Yüksek Lisans Programına dahil olmuştur. 2001 yılında Başkent Üniversitesi'nden mezun olmuştur. Halen özel sektörde çalışmaktadır.