

# **METAL ESASLI MALZEMELERİN MEKANİK TESTLERİ**

**Dr. Öğr. Üyesi Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN**

## **BURULMA DENEYİ**

**Metalik malzemelerin burulma deneyi, genelde malzemelerin büyük plastik gerilmelerde akma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır.**

**Burulma deneyinin çekme deneyi gibi çok geniş kullanım alanı yoktur ve tamamen standartlaştırılmamıştır.**

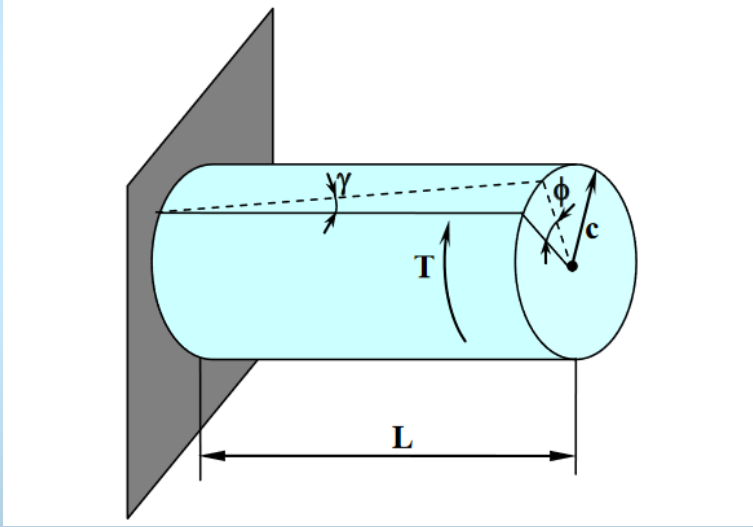
**Uygulamada malzemelerin genel mekanik özelliklerinin saptanmasında seyrek olarak kullanılır.**

**Bununla beraber plastik deformasyonla ilgili teorik çalışmalarda ve metallerin çekilebilme (tel ve çubuk) dövülebilme özelliklerinin belirlenmesi gibi mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan bir deneydir.**

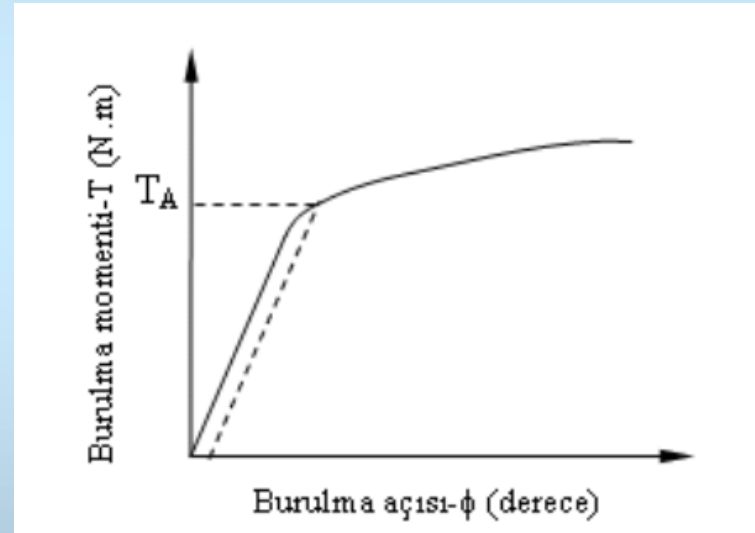
**Burulma deneyi, özellikle takım çelikleri gibi gevrek malzemelerin dövülebilme özelliğinin belirlenmesinde yüksek sıcaklarda da yapılır. Aynı zamanda kullanım yerlerinde burulma momentinin önemli olduğu şaft, dingil, matkap ucu gibi parçalara direk olarak uygulanabilen bir deneydir**

# Burulmada Mekanik Özellikler

- Burulma deneyi, iki ucundan sıkıştırılmış numuneye, bir ucu sabit olmak şartıyla diğer ucundan burulma momenti uygulanarak yapılır.
- Buruma momenti etkisiyle numunede kayma gerilmeleri oluşur. Deney sırasında uygulanan burulma momenti ( $T$ ) – burulma açısı ( $\Phi$ ) diyagramı elde edilir,(



Burulma deneyinin şematik görünüşü



Burulma momenti ( $T$ ) – Burulma açısı ( $\Phi$ ) diyagramı.

# Kayma Gerilmesi

Silindirik bir numunede  $c$  yarıçapından küçük herhangi bir  $\rho$  yarıçapında meydana gelen kayma gerilmesi ( $\tau$ ) şu şekilde ifade edilir:

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (1)$$

Burada

T: Burulma momenti

$\rho$ : Kayma gerilmesinin istendiği yarıçap

J: Polar atalet momenti

İçi dolu millerde polar atalet momenti:  $J = \frac{1}{2} \pi c^4$  (c mil kesitinin yarıçapıdır)

İçi boş shaftlarda ise:  $J = \frac{1}{2} \pi (c_2^4 - c_1^4)$  ( $c_2$  shaftın dış yarıçapı  $c_1$  ise iç yarıçapıdır)

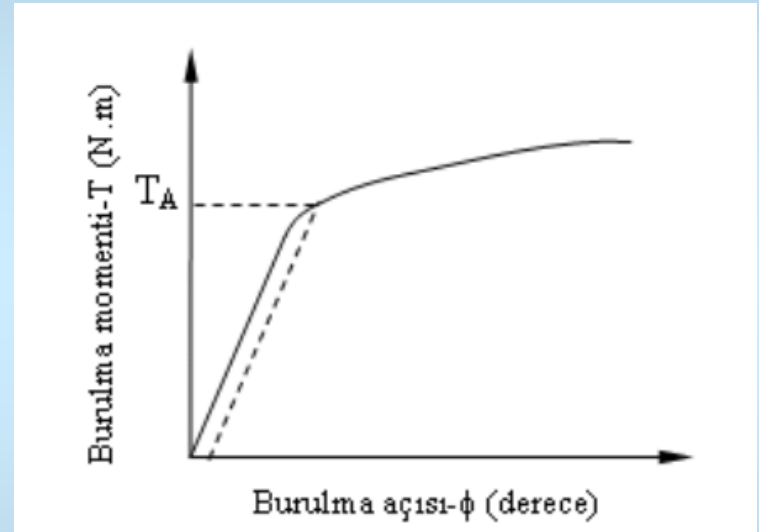
Maksimum kayma gerilmesi numunenin yüzeyinde oluşacağı için  $c$  olarak verilen değer numune yüzeyinde 1 nolu denklem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad (2)$$

# Kayma Akma Gerilmesi

Burulma deneyi ile elde edilen kayma akma gerilmesi, bu deneyden elde edilen buruma momenti (T) –burulma açısı ( $\Phi$ ) diyagramından elde edilir.

Belirgin akma gösteren malzemelerde diyagramın linear kısmından, Şekilde görüldüğü gibi belirgin akma göstermeyen malzemelerde ise  $\Phi = 0.002$  derece/mm burulma açısı değerinden diyagramın linear kısmına çizilecek paralelin diyagramı kestiği noktadaki burulma momentinden ( $T_A$ ) hesaplanabilir.



## Kayma Birim Şekil Değişimi

Kayma gerilmeleri etkisi ile numunede meydana gelen deformasyon, kayma birim şekil değişimi ( $\gamma$ ) olarak ifade edilir (Şekil 1). Buna göre kayma birim şekil değişimi  $\gamma$  :

$$\gamma = \frac{\phi c}{L} \quad (3)$$

$\phi$  : Burulma açısı (Radyan)

c: Numunenin yarıçapı (mm)

L: Numunenin boyu (mm)

## Kayma Elastisite Modülü

Kayma elastisite modülü (G), burulma diyagramının lineer kısmından (elastik bölgesinden) hesaplanır. Burulma diyagramının elastik bölgesinde kayma gerilmesi, kayma birim şekil değişimiyle orantılı olarak artar. Elastik bölgede, kayma gerilmesinin ( $\tau$ ), kayma birim şekil değişimine ( $\gamma$ ) oranı kayma elastik modülünü (G) verir.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (4)$$

G: Kayma elastik modülü

$\tau$  : Elastik bölgede herhangi bir noktadaki kayma gerilmesi

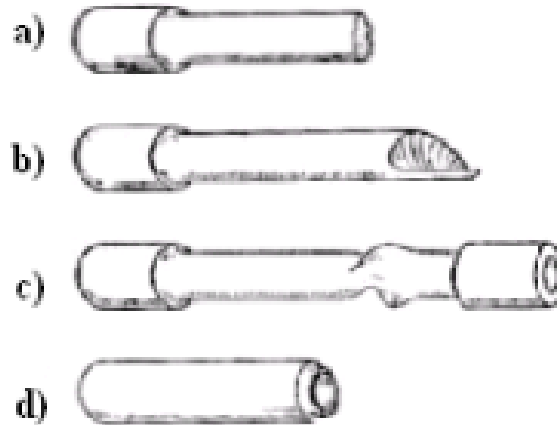
$\gamma$ : Elastik bölgede aynı noktadaki kayma birim şekil değişimi



**Burulma test cihazı**

## Burulmada Kırılma Şekilleri

Burulma deneyinde çeşitli malzemelerin kırılma şekilleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Burulma deneyinde sünek bir malzemenin kırılması, maksimum kayma gerilmeleri yönünde, genellikle numunenin düşey eksenini boyunca olur (Şekil 3a). Gevrek bir malzemenin kırılması ise, maksimum çekme gerilmesi doğrultusuna dik bir düzlem boyunca yani numune boyuna  $45^\circ$  lik açılı düzlemde olur (Şekil 3b). Boru şeklindeki sünek bir malzemenin kırılması ise, numunenin boyu uzun ise numunenin bükülmesi sonucunda şeklinin bozulmasıyla (Şekil 3c), eğer numunenin boyu kısa ise yine maksimum kayma gerilmesi yönünde (Şekil 3d) olur.



Şekil 3 Burulmada kırılma şekilleri a) Yuvarlak numunenin sünek kırılma şekli, b) Yuvarlak numunenin gevrek kırılma şekli, c) Sünek bir malzemenin boru şeklindeki, uzun numunesinin burulması, d) Sünek bir malzemenin boru şeklindeki, kısa numunesinin kopma şekli.



# Numuneler

Burulma deney numuneleri, gerilmelerin hesaplanmasında en basit şekil olan yuvarlak kesitli numunelerdir.

Burulma deneyinde uygulanan burulma momenti etkisiyle numunede kayma gerilmeleri oluşur.

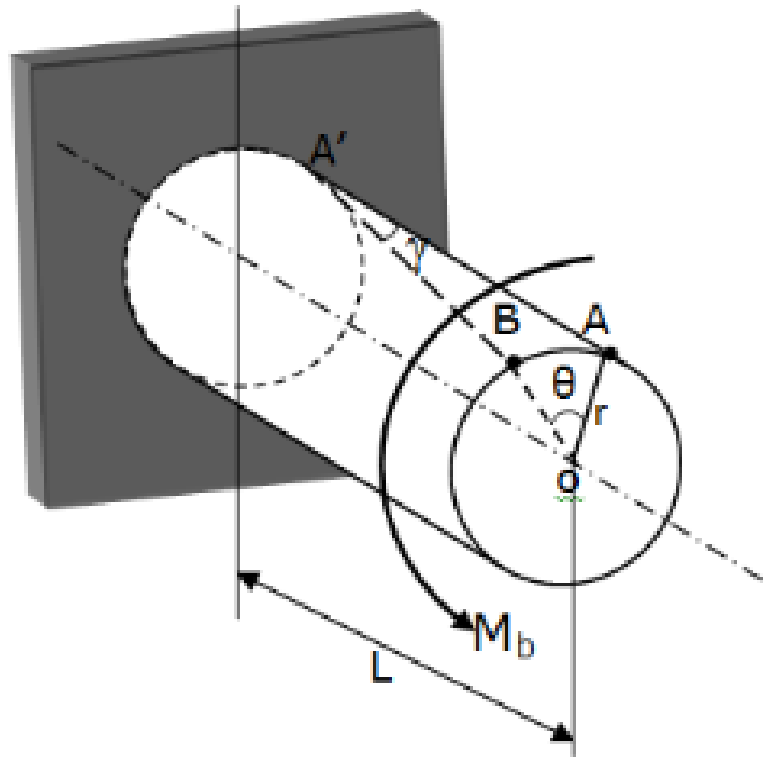
Kayma gerilmeleri numunenin merkezinden yüzeyine doğru doğrusal olarak artar.

Kayma gerilmeleri numunenin merkezinde sıfır, yüzeyinde ise maksimum değerdedir.

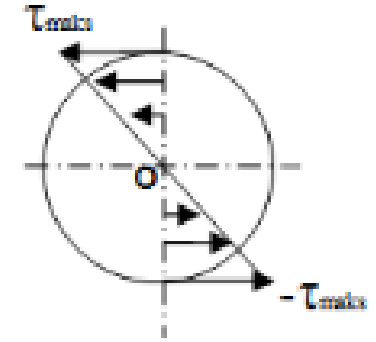
Bu nedenle yuvarlak kesitli numunelerde gerilme dağılımı homojen değildir.

Burulma deneyinde ince et kalınlığında ve boru şeklindeki numuneler kullanılarak kesitte daha üniform bir gerilme dağılımı sağlanabilir. Boru şeklindeki burulma deneyi numunelerinde et kalınlığının az olması istenir, fakat numunenin et kalınlığının çok az olması numunenin burulmadan şeklinin bozulmasına neden olabilir.

Kayma akma gerilmesi ( $\tau_A$ ) ile kayma akma modülünün ( $G$ ) belirlenmesinde kullanılan boru şeklindeki numunelerde, ölçü uzunluğunun ( $L$ ), numunenin dış çapına ( $D$ ) oranı yaklaşık  $L/D=10$  olmalıdır. Kırılma modülünün belirlenmesinde kullanılan boru şeklindeki numunelerde ise ölçü uzunluğu kısa olup yaklaşık  $L/D=0.5$  olmalıdır. Aynı zamanda numune çapı ile et kalınlığı arasındaki oran ise, yaklaşık  $D/t=10-12$  olmalıdır.



(a)



(b)

Burulma momentine maruz bir çubuk

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ), burulma momenti ( $M_b$ ) ve burulma mukavemet momentinden ( $W_b$ ) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{M_b}{W_b} \quad (2.1)$$

## İLGİLİ STANDARTLARDAN BAZILARI

- TS EN ISO 80369-1 Sağlık hizmeti uygulamalarında sıvılar ve gazlar için küçük sonda bağlantı elemanları
  - Bölüm 1: Genel özellikler
- TS ISO 7800 Metalik malzemeler - Tel - Basit burulma deneyi
- TS EN 10305-5 Çelik borular - Hassas uygulamalar için - Teknik teslim şartları
  - Bölüm 5: Soğuk ölçülendirilmiş, dikişli, kare ve dikdörtgen kesitli borular
- ISO 6475 Cerrahi implantlar - Asimetrik yivli ve küresel yeraltı yüzeyli metal kemik vidaları
  - Mekanik gereksinimler ve test yöntemleri
- ASTM A938-18 Tel burulma testi için standart test yöntemi
- ASTM D1043-16 Bir burulma testiyle sıcaklığın bir fonksiyonu olarak plastiklerin sertlik özellikleri için standart test yöntemi
- ASTM D5279-13 Plastikler için standart test yöntemi - Dinamik mekanik özellikler - Burulma
- ASTM E2207-15 İnce duvarlı boru örnekleriyle gerilme kontrollü aksenal-burulma yorulma testi için standart uygulama
- ASTM F383 İntramedüller çubuklarda statik bükülme ve burulma testi
- ASTM F543-17 Metalik tıbbi kemik vidaları için standart şartname ve test yöntemleri

## KAYNAKÇA

- 1) Chandler, H; Hardness Testing, Second Edition, ASM International, United States of America, 1999.
- 2) Kayalı, E.S.; Ensari, C. ve Dikeç, F.; Metalik malzemelerin mekanik deneyleri, İ.T.Ü. Kimya Metalürji Fa. Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
- 3) Güleç, Ş. ve Aran, A.; Malzeme bilgisi, Cilt 1, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Gebze, 1988.