



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

**DİĞER MEKANİK
ÖZELLİKLER**

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
www.caglaryalcinkaya.com

SERTLİK



- ✓ Cisimlerin en önemli mekanik özellikleri **basınç, çekme, kesme ve eğilme** dayanımlarıdır.
- ✓ İkinci derecede önem taşıyabilen bazı özellikler, çoğunlukla birinci derecedeki önemli özelliklere bağlıdır. Örneğin, basınç dayanımı yüksek olan bir malzemenin çoğunlukla sertlik derecesi de fazladır.
- ✓ Sertlik, malzeme yüzeyinin kalıcı şekil değiştirmeye gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir.
- ✓ Sert bir cisim, genellikle yumuşak olmayan ve başka bir cismin kuvvet altında o malzeme içine girmesine büyük direnç gösteren bir malzemedir.

SERTLİK



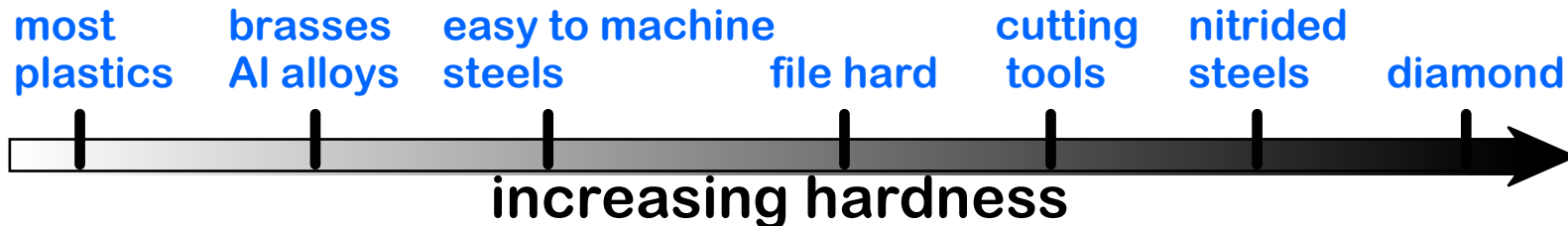
- ✓ Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeye, kesmeye ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir.
- ✓ Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir.
- ✓ Uygun olarak seçilen sert uç, uygulanan yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğüyle ters orantılıdır.

SERTLİK



Bir cismin sertliğinin bilinmesinde şu yararlar vardır :

- a) Malzemenin kökeni hakkında bilgi verir.
- b) Malzemenin diğer özellikleri hakkında fikir verir. Örneğin, sertlik malzemenin işlenebilme özelliğini gösterebilir. Genellikle sertlik ile işlenebilme özelliği arasında ters bağıntı vardır. Diğer bir deyişle, sert malzemeleri işlemek zordur.
- c) Sertlik deneyleri basit ve tahribatsız deneyler olduğundan, malzemenin diğer özellikleri hakkında, malzemeyi elden çıkarmadan bir fikir edinilebilir. Daha sonra örnek üzerinde diğer deneyler yapılabilir.



SERTLİK



Cisimlerin sertliği ölçme yöntemleri üç gruba ayrılabilir:

1) Malzeme yüzeyini sert bir cisim ile çizerek yapılan sertlik deneyleri.

2) Malzemeye sert bir cismi kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

3) Sert bir bilyayı malzeme üzerine düşürmek ve sıçratmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

SERTLİK



Çizerek yapılan sertlik deneyleri.

Sert bir malzeme kendisinden daha az sert olan bir malzemeyi çizer.



Bu faktörü göz önüne alarak bir seri mineral sertliğine göre sıralanarak, Mohs skalası olarak adlandırılan, yarı-kantitatif bir cetvel elde edilmiştir

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

1. TALK



2. JİPS (ALÇI TAŞI)



3. KALSİT



4. FLORİT



5. APATİT



6. ORTOKLAZ



7. KUVARS



8. TOPAZ



9. KORONDEN



10. ELMAS



SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

1. TALK

2. JİPS (ALÇI TAŞI)

3. KALSİT

4. FLORİT

5. APATİT

6. ORTOKLAZ

7. KUVARS

8. TOPAZ

9. KORONDEN

10. ELMAS

✓ Bu skalaya göre kuvars'ı çizebilen, topaz'ı çizemeyen bir maddenin sertliği Mohs skalasına göre 7-8 Mohs sertliğindedir.

✓ Örneğin, sert çelik 6.5, alüminyum 2, normal cam 5.5 Mohs sertliğindedir.

- ✓ Malzemenin Mohs skalasına göre sertliği belirlenirken bir mineralin diğerini çizdiğinden emin olunmalıdır.
- ✓ Yüzeyi tozlu, gevşek partiküller içeren malzemeler üzerinde yapılan çizme işlemi yanıltıcı olabilir.

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

1. TALK

2. JİPS (ALÇI TAŞI)

3. KALSİT

4. FLORİT

5. APATİT

6. ORTOKLAZ

7. KUVARS

8. TOPAZ

9. KORONDEN

10. ELMAS

✓ Mohs skalası lineer değildir.

✓ Örneğin, Kalsitten florite ilerleme yani Mohs skalasında 3'ten 4'e geçiş sertlikte yaklaşık olarak % 25'lik bir artışı gösterir.

✓ Koronden'den elmas'a ilerleme yani Mohs skalasında 9'dan 10'a geçiş sertlikte % 300'den daha fazla bir artışı gösterir.

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

2.5 SERTLİK



Tırnak



Fil dişi



Amber (kehribar)

2.5-3 SERTLİK



Altın



Gümüş



Bakır

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

3 SERTLİK



Bronz (tung)



mercan



İnci

4-4.5 SERTLİK



Platin

4-5 SERTLİK

Demir

5.5 SERTLİK



Bıçak ağzı

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

5.5 - 6 SERTLİK



Opal



Turkuaz

6 - 7 SERTLİK



Cam

6.5 - 7 SERTLİK



Lal taşı



Yeşim taşı



Peridot

SERTLİK



MOHS SERTLİK SKALASI

7.5 - 8 SERTLİK



aquamarine



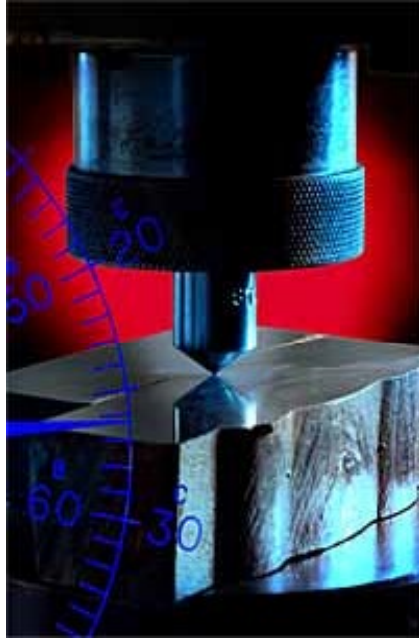
Zümrüt

8 SERTLİK

SERTLİK



Batırılarak yapılan sertlik deneyleri.

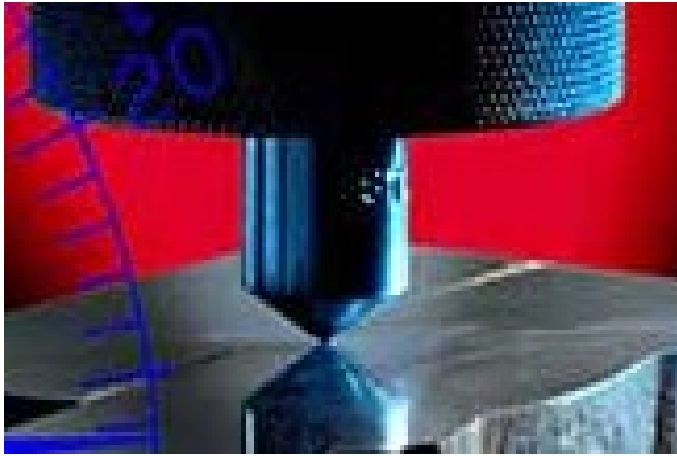


- ✓ Metal endüstrisinde genellikle **Rockwell, Brinell ve Vickers** sertlik deneyleri kullanılmaktadır.
- ✓ Bu deneyler belirli bir sürede belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin metal içine batma derinliğinin ölçülmesiyle yapılır.
- ✓ Farklı malzemeler için değişik deney yöntemleri olup, bunların sonuçları farklılıklar arzeder.
- ✓ Bu nedenle bir malzemenin sertliğinden söz ederken, deney yönteminin de belirtilmesi gerekir.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



✓ Rockwell sertlik deneyi (RSD), yapılmasının çok kolay olması ve özel bir ustalık gerektirmemesinden dolayı metallerin sertlik ölçümünde en yaygın kullanılan metottur.

✓ Birçok farklı skala, farklı yük ve çeşitli uç kombinasyonlarının kullanımıyla en sertten en yumuşağa kadar tüm metal ve alaşımların sertliğinin tayin edilmesine olanak sağlar.

✓ Rockwell deneyleri, örnek üzerine yapılan bir seri yükleme ve boşaltma sonucu örnek yüzeyinde oluşan derinliğin ölçülmesi ile gerçekleştirilir.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



✓ Batıcı Uç:

- ✓ Birçok farklı skala, farklı yük ve çeşitli uç kombinasyonlarının kullanımıyla en sertten en yumuşağa kadar tüm metal ve alaşımların sertliğinin tayin edilmesine olanak sağlar.

- ✓ Rockwell deneyleri, örnek üzerine yapılan bir seri yükleme ve boşaltma sonucu örnek yüzeyinde oluşan derinliğin ölçülmesi ile gerçekleştirilir.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



✓ Batıcı Uç:



✓ 1/18, 1/8, 1/4 ve 1/2 inch çaplarında küresel, sert çelik toplar

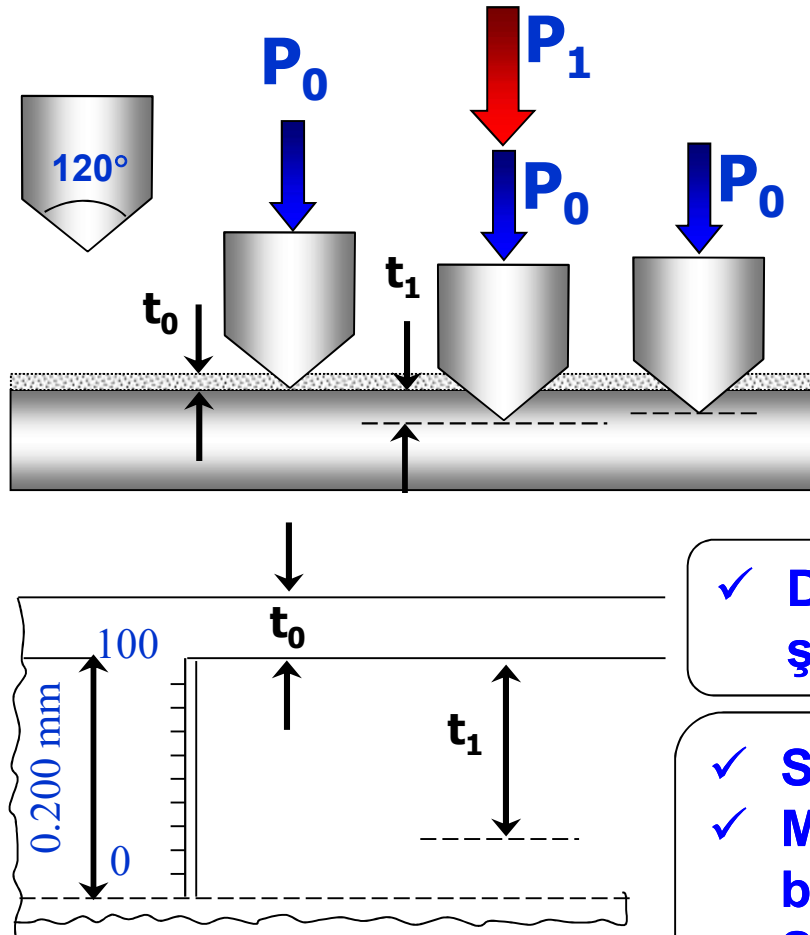
veya

✓ Tepe açısı 120° olan, uç kısmı 0.2 mm yarıçapında yuvarlatılmış çok sert malzemeler için kullanılan **brale** adı verilen **konik elmas uç**

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



✓ Bu yöntemde batma derinliği ölçüleceği için yüzey pürüzlülüğü sonuçları etkileyebilir.

✓ Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yük (P_0 = ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır.

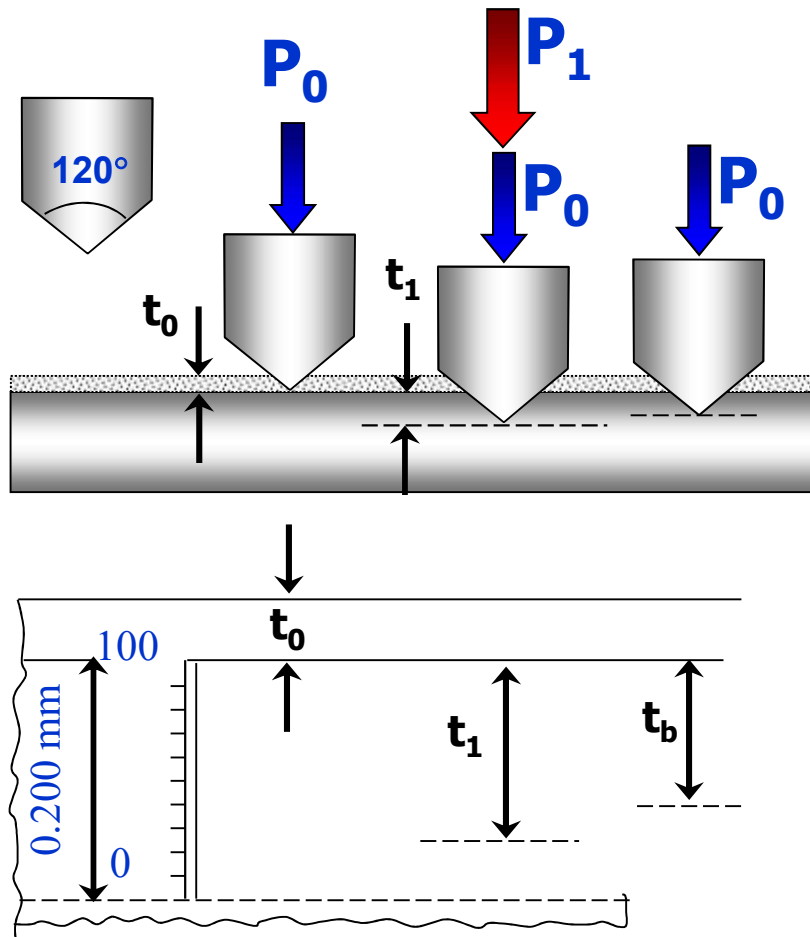
✓ Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük (P_1) uygulanır.

✓ Son olarak Ana yük (P_1) kaldırılır.
✓ Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell Sertlik değeri okunur.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



- ✓ Rockwell Sertlik değeri boyutsuzdur.
- ✓ Uçun malzeme içine her 0.002 mm batışı bir sertlik değerinin düşmesi olarak alınır.

- ✓ Ön yük uygulandıktan sonra uçun konumu ile ana yük kaldırıldıktan sonra uçun konumu arasındaki batma derinliği t_b olmak üzere RSD-C aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\text{RSD} - \text{C} = 100 - \frac{t_b}{0.002}$$

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi

- ✓ Hem ön yükün hem de toplam yükün büyüklüğüne göre iki tip deney vardır:
 1. Rockwell ve
 2. Yüzeysel (superficial) Rockwell.

1. Rockwell

Ön yük= 10 kgf

Toplam yük = 60 kgf $\Rightarrow R_A$

Toplam yük = 100 kgf $\Rightarrow R_B$

Toplam yük = 150 kgf $\Rightarrow R_C$

✓ R_A : İnce malzemeler; yüzeyi ince levha halinde sertleştirilmiş malzemeler;

✓ R_B : Yüzeyi orta kalınlıkta sertleştirilmiş çelik ve perlitik temper döküm;

✓ R_C : Çelik, sert dökme demirler, derin olarak sertleştirilmiş çelikler

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi

- ✓ Hem ön yükün hem de toplam yükün büyüklüğüne göre iki tip deney vardır:
 1. Rockwell ve
 2. Yüzeysel (superficial) Rockwell.

2. Yüzeysel Rockwell

Ön yük= 3 kgf

Toplam yük = 15 kgf

Toplam yük = 30 kgf

Toplam yük = 45 kgf

- ✓ Bu deney ince örnekler, hafifçe karbürlenmiş yüzeyler, küçük parçalar ve Rockwell deneyinin kullanılmasının uygun olmadığı durumlarda yapılır.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi

Rockwell sertlik skalası

Skala sembolü	Batıcı uç	Ana yük (kgf)
A	Elmas	60
B	1/16 inch küre	100
C	Elmas	150
D	Elmas	100
E	1/8 inch küre	100
F	1/16 inch küre	60
G	1/16 inch küre	150
H	1/8 inch küre	60
K	1/8 inch küre	150

Yüzeysel R. S. Skalası

Skala sembolü	Batıcı uç	Ana yük (kgf)
15N	Elmas	15
30N	Elmas	30
45N	Elmas	45
15T	1/16 inch küre	15
30T	1/16 inch küre	30
45T	1/16 inch küre	45
15W	1/8 inch küre	15
30W	1/8 inch küre	30
45W	1/8 inch küre	45

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



✓ Su verilmiş çok sert bir çeliğin Rockwell sertliği 60-65 Rc arasındadır.

- ✓ Deney sonuçları, sertlik değerinin yanında ölçümün yapıldığı skalayla birlikte gösterilir.
- ✓ Örneğin, 80 RSD B, B skalasında sertliğin 80 olduğunu,
- ✓ 60 RSD 30W, Rockwell sertliğinin 60 olduğunu skalanın ise 30W olduğunu gösterir.

- ✓ Örnek kalınlığı iz kalınlığının en az 10 katı olmalıdır.
- ✓ İzin kenarlara olan uzaklığı ve iz merkezleri arasındaki mesafe iz çapının en az üç katı olmalıdır.
- ✓ Deneyin yapıldığı yüzey pürüzsüz olmalıdır.

SERTLİK



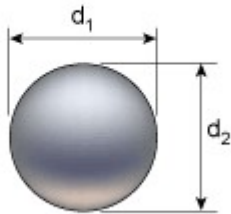
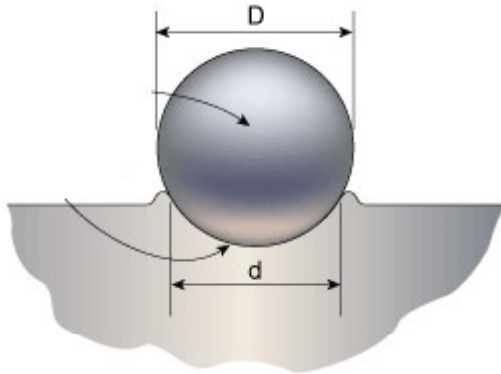
Rockwell Sertlik Deneyi

- ✓ Metalik malzemelerin yanında seramik malzemelerin sertliği de Rockwell deneyi ile belirlenebilir.
- ✓ Plastiklerin sertliği de en yaygın olarak Rockwell ve Shore (Durometer) sertlik deneyleri ile belirlenir.
- ✓ Rockwell sertliği genellikle naylon, polikarbonat, polyester gibi sert plastiklerin sertliğinin belirlenmesinde kullanılır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



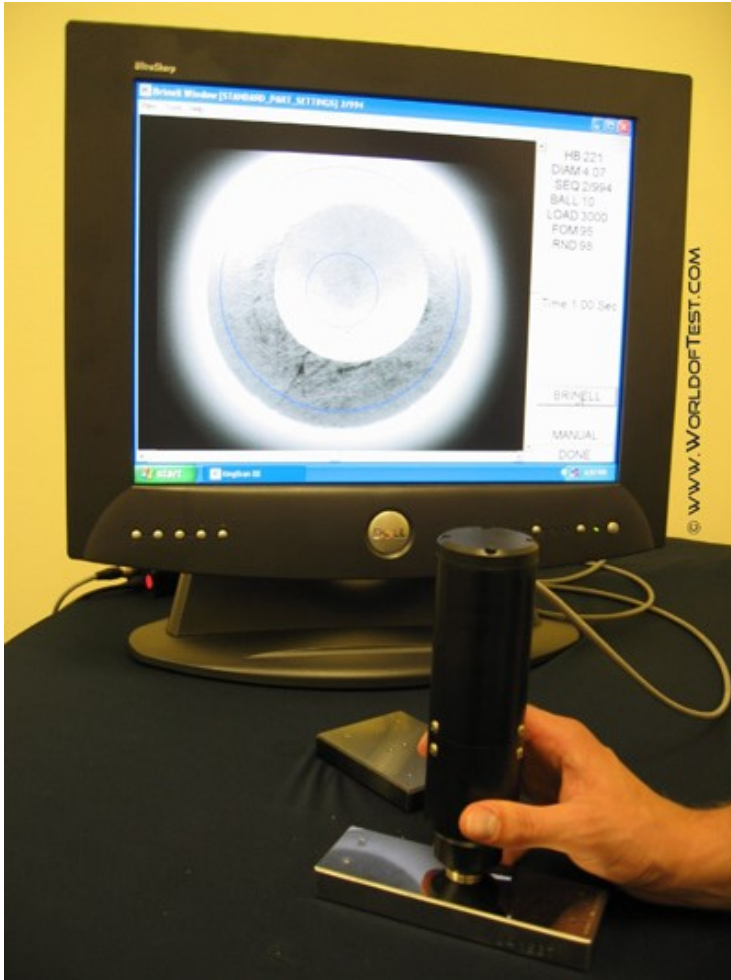
✓ D çapında sert, küre şeklinde bir bilya düşey doğrultuda sertlik değeri ölçülecek parçanın yüzeyine dik olarak belirli bir P kuvveti ile bastırılır

✓ Yük belirli bir süre uygulanır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



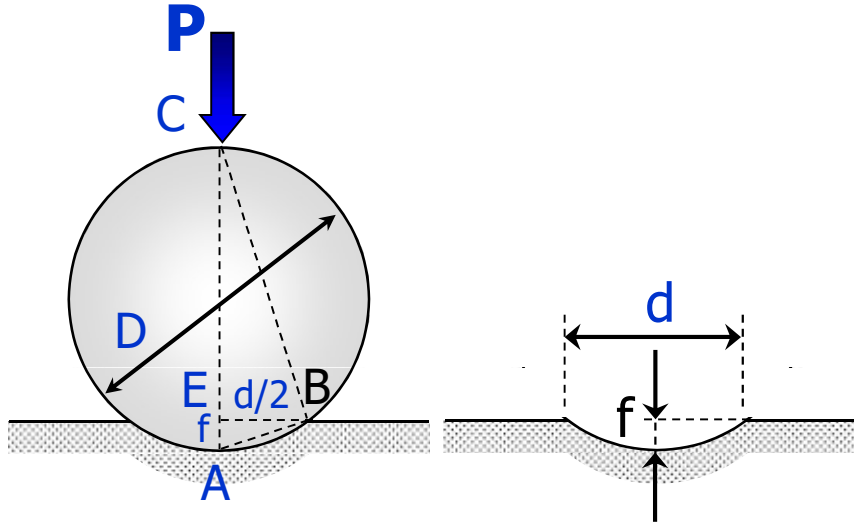
✓ Bilyanın kaldırılmasından sonra malzemede oluşan plastik şekil değişimi sonucunda yüzeyde küresel bir iz kalır.

✓ Metalin yüzeyindeki dairenin çapı (d), 0.02 mm duyarlıkta ölçülür.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



✓ S küresel izin alanı ise Brinell sertliği (BSD) şu şekilde tanımlanır :

$$BSD = \frac{P}{S}$$

✓ (f) izin en fazla derinliği ise,

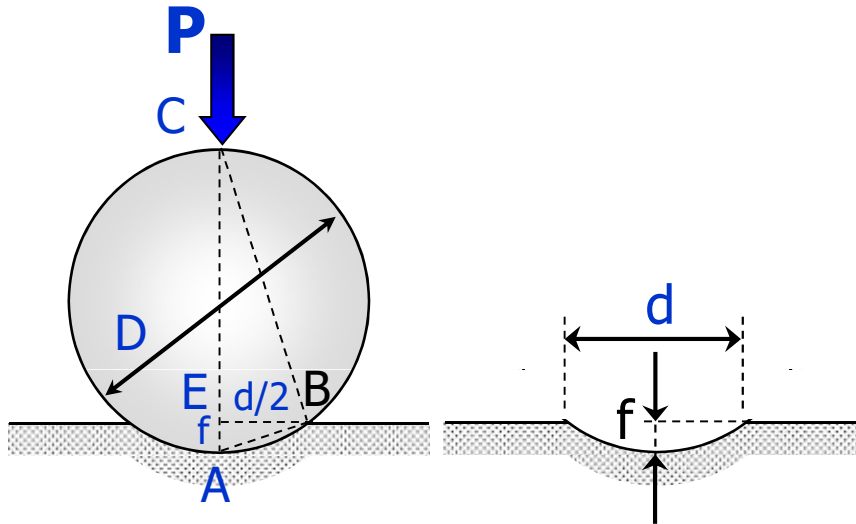
$$S = \Pi \times D \times f$$

✓ Ancak f'nin ölçümü çok zordur.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



✓ Üçgenlerin benzerliğinden
($\triangle AEB \approx \triangle CEB$)

$$\frac{f}{d/2} = \frac{d/2}{D-f}$$

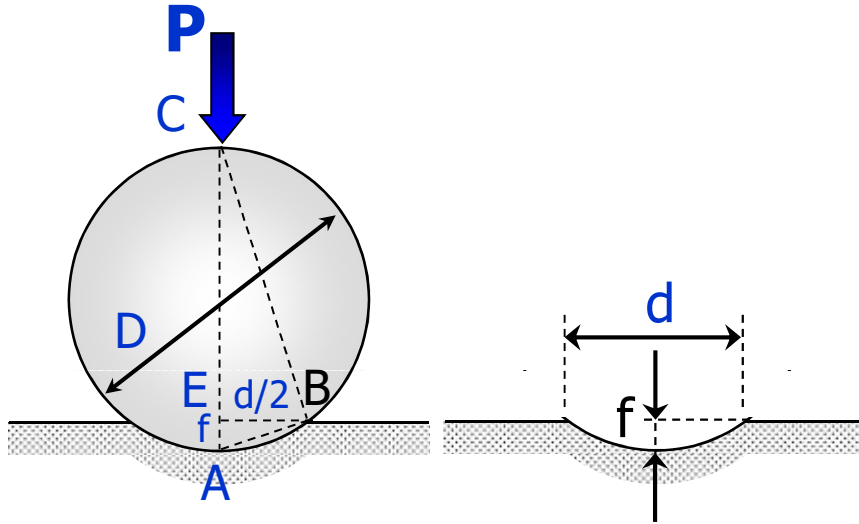
$$\Rightarrow f^2 - D.f + \frac{d^2}{4} = 0$$

$$\Rightarrow f = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2}$$

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



$$BSD = \frac{P}{S} = \frac{P}{\pi D f}$$

olduğundan

$$BSD = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

Bu formülde, P kg, D ve d mm olarak yerine konulmalıdır.

Esasen bu bir basınç ölçümüdür ve birimi kgf/mm^2 'dir. Ancak birimi nadiren kullanılır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi

Deneyde kullanılan bilyeler:

Brinell sertliği 450'den küçük olan malzemeler için sertliği en az 850 BSD olan çelik bilye.

sertliği $450 < \text{BSD} < 630$ ise metal karbür bilyedir.

$\text{BSD} > 630$ ise sertliklerin Brinell yöntemiyle ölçülmesi tavsiye edilmez.

- ✓ Standart bilye çapı 10 mm,
- ✓ Standart yükler 500 kgf ile 3000 kgf arasında (500 kgf artışla) dır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi

Sert malzemeler daha büyük yüklerin uygulanmasını gerektirir.

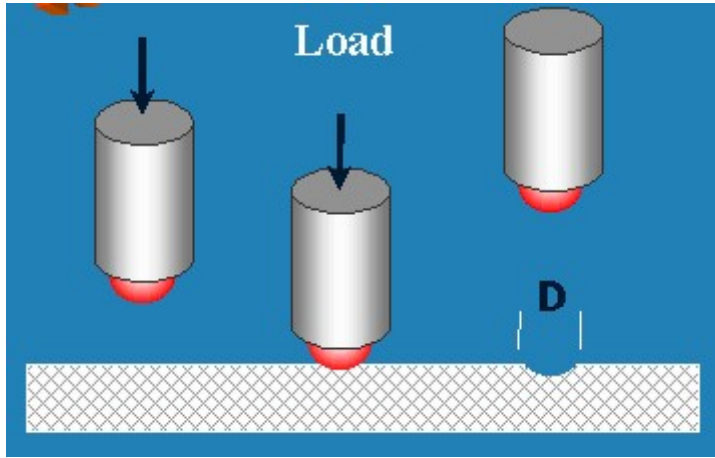
- ✓ Uygulanan yük bakır, pirinç gibi yumuşak metaller için **500 kgf**,
- ✓ dökme alüminyum için **1500 kgf** ve
- ✓ demir, çelik gibi sert metaller için **3000 kgf'dir.**

- ✓ 10 mm standart ölçü bilyesinin dışındaki bilye çapları 5 ve 2.5 mm'dir.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



✓ Deney esnasında, yük malzeme üzerinde belirli bir süre (genellikle 10 ile 30 saniye arasında) tutulur.

✓ Yük uygulandığında malzeme tepkisindeki değişiklikleri karşılamak için yükün uygulandığı süre belirlidir.

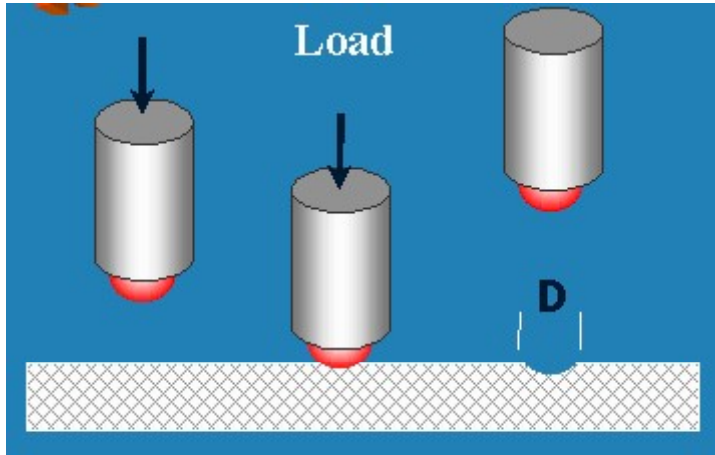
✓ Sert malzemeler, örneğin çelik için 15 s yükleme süresi yeterlidir.

✓ Yumuşak ve metal alaşımlar, örneğin pirinç alaşımları için 30 s ve magnezyum için yaklaşık olarak 2 dakikadır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



- ✓ Hesaplanan BSD yanında “bilya çapı/yük/yüklemeye süresi” (mm/kgf/s) sırasıyla bilgi olarak eklenir. Örnek 99 BSD 5/500/30.

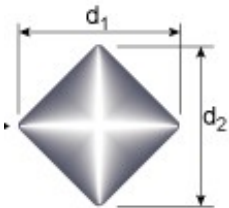
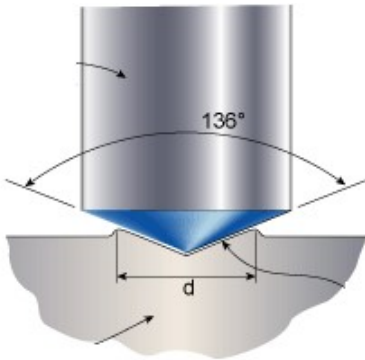
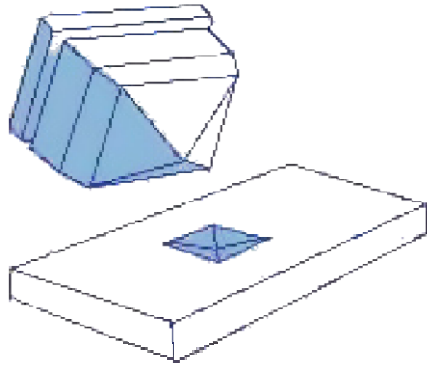
- ✓ Brinell deneyinde kullanılan batıcı uç diğer deneylerde kullanılanlara kıyasla daha büyük bir alanı kapsar

- ✓ Bu nedenle lokal heterojenliklere daha duyarlı olan küçük izlere göre malzemenin sertliğini genel olarak daha iyi temsil eder.

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi

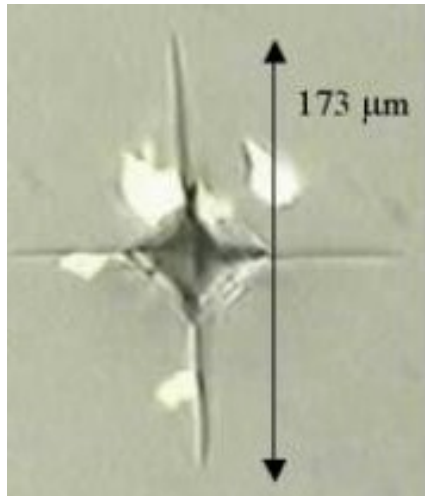


- ✓ Brinell sertlik deneyi, sertliği çoğunlukla 65-450 arasında olan yumuşak çelik veya yapı çeliğinin muayenesinde kullanılır.
- ✓ Malzeme daha sert olunca deneyde kullanılan çelik bilyanın şekil değişimi de önem kazanır.
- ✓ Bu nedenle daha değişik yöntemler kullanmak gerekir. Bunların en önemlisi Vickers sertlik deneyidir.
- ✓ Bu yöntemde metal yüzeyine batıcı olarak kare kesitli ve tepe açısı 136° olan elmas piramit bir uç kullanılır

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi



✓ Vickers deneyi ile Brinell deneyinde aynı cihaz kullanılır. Yalnızca batıcı uç değiştirilir.

✓ Piramidin bıraktığı izin köşegeni (d), her iki köşegen uzunluğunun milimetrenin 1/1000'i duyarlılıkta mikroskopla ölçülmesi ve ortalamasının alınması ile tespit edilir.

✓ Vickers sertliği (VSD) aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır :

$$VSD = \frac{P}{S} \quad VSD = \frac{2P \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2}$$

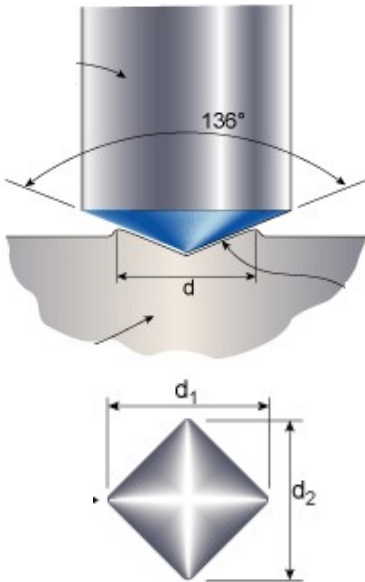
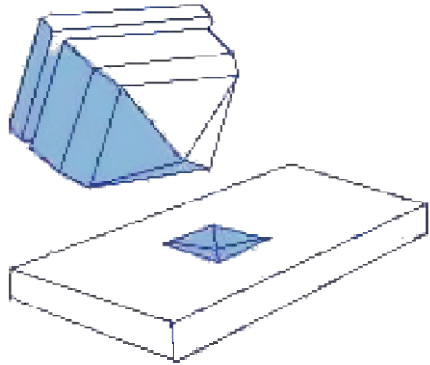
Piramidin tepe açısı = 136°
olarak alınırsa,

$$VSD = \frac{1.854 \times P}{d^2}$$

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi



✓ Deney yükü 0.025-120 kgf arasında olabilir.

✓ Uygulama süresi 10-15 saniyedir.

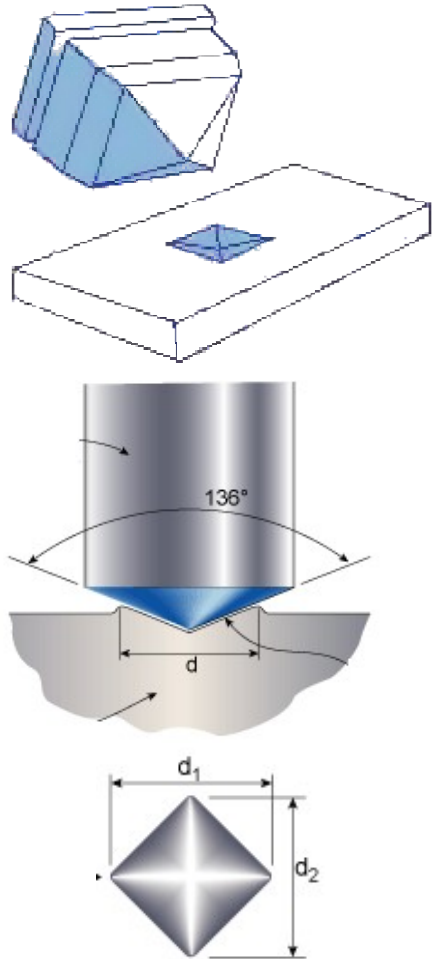
✓ Vickers deneyi mikrosertlik ölçümünde de kullanılır.

✓ Bu yöntemle en yumuşak malzemedен en sert malzemeye kadar geniş bir aralıkta sertlik ölçümü yapılabilir.

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi



✓ VSD'nin yanında gerektiğinde sırasıyla deney yükü ve uygulama süresi yazılır.

✓ Örneğin, 550 VSD/30/20;
deney yükünün 30 kgf,
Uygulama süresinin 20 saniye ve
Vickers sertliğinin 550 olduğunu
gösterir.

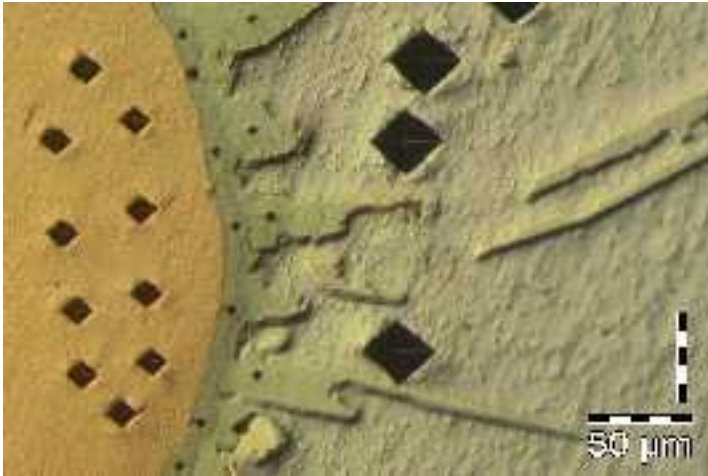
✓ 600'e kadar Brinell sertliği yaklaşık
olarak Vickers sertliğine eşittir.

✓ Vickers sertliğinin birimi kgf/mm^2 'dir.

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi



✓ Vickers sertliğinin avantajı, oldukça doğru okumalar yapması ve tüm metal ve işlem görmüş yüzeyler için sadece bir tip batıcı ucun kullanılmasıdır.

✓ Vickers sertliği metallerin yanında seramik malzemelerin sertliğinin ölçümünde de güvenilir bir sertlik ölçüm metodudur.

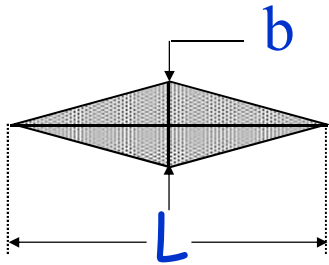
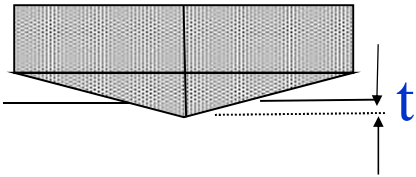
✓ Vickers sertliği ölçme yöntemi daha uzun zaman almakla beraber en duyarlı sertlik ölçüm yöntemidir.

✓ Malzeme sertliğini temsil edecek ortalama bir d değeri için çok sayıda izin ölçülmesi gerekir.

SERTLİK



Knopp Sertliği



$$L/b = 7.11$$

$$b/t = 4.00$$

✓ Bir malzemenin göreceli mikrosertliği Knoop batma deneyi ile belirlenebilmektedir

✓ Bu deneyde tepe açısı 130° ve $173^\circ 30'$ olan piramit şekilli elmas bir uç malzeme üzerine bastırılır.

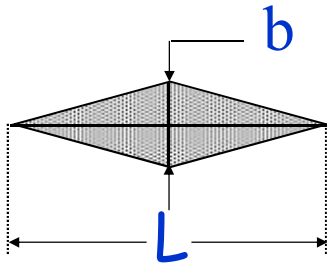
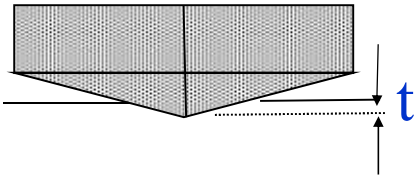
✓ Bir boyutu diğerinin yaklaşık olarak 7 katı olan bir iz oluşur.

✓ Malzemenin sertliği izin derinliği ölçülerek bulunur.

SERTLİK



Knopp Sertliği



$$\frac{L}{b} = 7.11$$

$$\frac{b}{t} = 4.00$$

✓ Vickers sertlik ölçme deneyine göre daha düşük kuvvetler uygulanır.

✓ Knoop deneyi, cam ve seramik gibi gevrek malzemelerin sertliğinin test edilmesini sağlar.

✓ Malzeme üzerine uygulanan yük genellikle 1 kgf'den daha azdır. Batıcı uç yaklaşık olarak 0.01 ile 0.1 mm arasında dört yanlı bir iz bırakır.

$$KSD = \frac{14.2P}{L^2}$$

SERTLİK



Shore Sertliği

- ✓ Bu yöntemde bir düşey tüp içinde düşürülen bir çekicinin cisme çarpıp geri sıçraması ile ulaştığı yükseklik ölçülür.
- ✓ Metalin sertliği ile bu sıçrama yüksekliği orantılıdır.

SERTLİK



Shore Sertliği

- ✓ Lastiklerde kullanılan yöntemde ise lastiğin içine batmaya çalışan bir uç kullanılır.
- ✓ Uçun gerisinde bulunan yay lastiğin sertliğine göre gerilir ve yayın gerilmesine bağlı olarak lastiğin sertliği belirlenir.
- ✓ Ancak burada elde edilen sonuçlar yalnız sertliğe değil malzemenin elastisite modölüne ve plastik şekil değişim yapabilmesine de bağlı olduğundan diğer deneylerden farklı sonuçlar verebilir.

SERTLİK



Beton Test Çekici



✓ Beton tabancası adı da verilen bu aygıttaki bir yay aracılığıyla çelik bir bilya beton yüzeyine fırlatılır.

✓ Bilya beton yüzeyine çarptıktan sonra geri sıçrar. Bu sıçrayış yüksekliği ne kadar büyük ise betonun sertliği ve dayanımı o kadar büyüktür.

✓ Yapıların yerinde muayenesinde basitliği nedeniyle sık kullanılır.

✓ Bu deneyin amacı sertlikten giderek betonun dayanımını saptamaktır.

✓ Betonun yüzeyden itibaren zamanla sertleştiği için, eski binalarda yanıltıcı sonuçlar vermektedir.

SERTLİKLE MUKAVEMET ARASINDAKİ İLİŞKİ

SERTLİK



Sertlikle Mukavemet Arasındaki İlişki

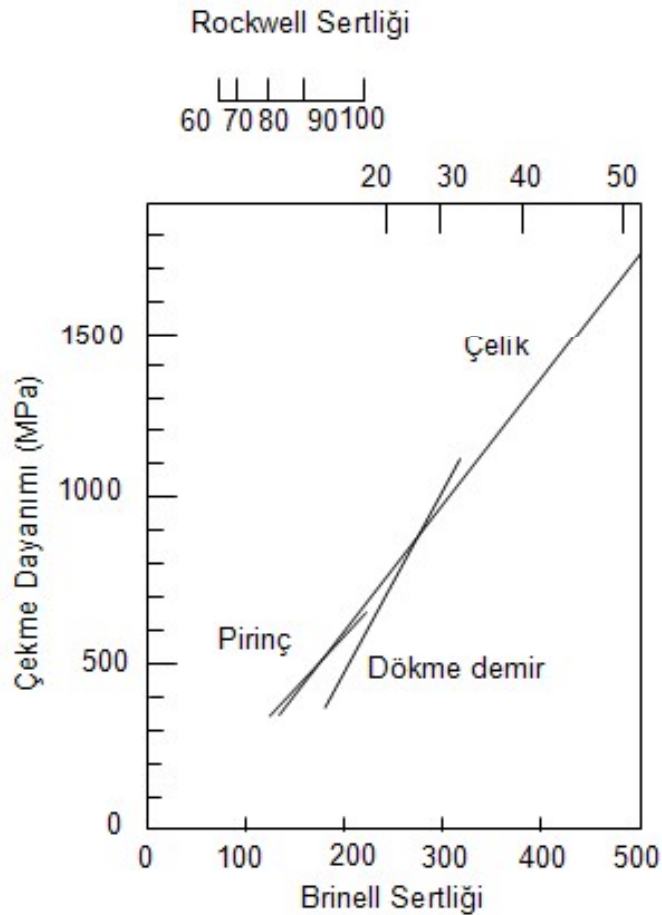


- ✓ Hem sertlik hem de çekme dayanımı metallerin plastik deformasyona karşı direncini gösterir.
- ✓ Sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır.

SERTLİK



Sertlikle Mukavemet Arasındaki İlişki



✓ Dökme demir, çelik ve pirincin çekme dayanımı Brinell sertliğinin bir fonksiyonudur.

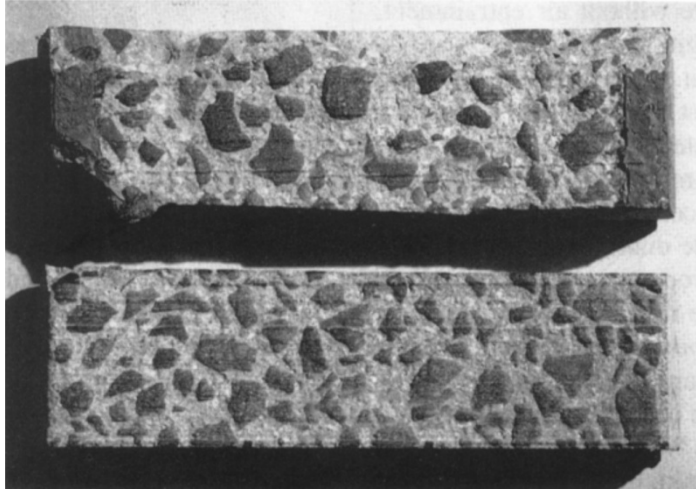
✓ Aynı oransal ilişki tüm metaller için kurulamaz.

✓ Çoğu çelik için pratik olarak, Brinell sertliği ve çekme dayanımı arasındaki ilişki şu şekildedir.

$$\text{ÇD}(\text{MPa}) = 3.45 \times \text{BSD}$$

AŞINMAYA DAYANIKLILIK

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



✓ Aşınma sürtünen yüzeylerden malzeme kaybı olarak tanımlanır.

✓ Aşınma miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır.

✓ Sürtünen hareketli parçaların bulunduğu aletler, üzerinden hareketli cisimlerin geçtiği yol, döşeme vb. malzemeler zamanla aşınma etkisine girerler.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Adezif Aşınma

- ✓ Cisimlerin yüzeylerine mikroskopla bakıldığı zaman, gözle çok düzgün görünen yerlerin aslında girintili çıkıntılı olduğu anlaşılır.
- ✓ Böylece iki cismin sürtünmesi ile cismin yüzeyindeki belirli tepe noktalarda gerilme yığılmaları oluşur.
- ✓ Şekil değişimlerinin ve sıcaklığın artımı ile sürtünen iki cisimden kesme dayanımı küçük olandan bazı parçalar kopar.
- ✓ Bu tip aşınmaya **adezif** aşınma denir.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Abrazif Aşınma

- ✓ Sürtünen cisimlerden biri yumuşak diğeri sert ise, sert cisim yumuşak olanı çizerek ve kazıyarak aşınmaya neden olabilir.
- ✓ Bu tip aşınmaya **abrazif** aşınma denir.
- ✓ Endüstride üretim teknolojisinde taşlama ve parlatma işlemleri bu aşınma türüne dayanır.
- ✓ Çok iyi parlatılmış ve sertleştirilmiş yüzeylerde abrazif aşınma en düşük düzeydedir.
- ✓ Sertlik yanında malzemenin aşınmasını etkileyen diğer faktörler, malzemeye uygulanan basınç ve aşındırma süresidir.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Korozif Aşınma



✓ iki cisim arasında suyun veya başka bir sıvının bulunması, bunlarla katı cisimler arasında bazı kimyasal reaksiyonların oluşmasına neden olur.

✓ Bu reaksiyonlar sonunda oluşan maddelerin cisimlerden ayrılması ile cisim aşınır.

✓ Bu tip aşınmaya **Korozif** aşınma denir.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Metallerde aşınma olayı ve deneyi

✓ İnşaat Mühendisliğinde metallerde aşınma olayına, demiryolu raylarında rastlanır.

✓ Metalik malzemelerin aşınmaya dayanıklılık deneyi zor bir deneydir.

✓ Genellikle deney belirli bir basınç ile malzeme yüzeyine temas ettirilen ve bir eksen etrafında dönen millerle yapılır.

✓ Malzeme örneği, deney öncesi ve sonrası tartılıp, ağırlıktaki azalma deney süresine bölünerek, aşınmaya dayanıklılık g/dak cinsinden tanımlanır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



✓ Yapı mühendisliğinde özellikle taş bünyeli elemanlar aşınma olayının etkisinde kalırlar.

✓ Bu nedenle beton yol, hava meydanı, merdiven basamakları, döşemeler gibi yerlerde kullanılan malzeme aşınmaya dayanıklı olmalıdır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



- ✓ Bu tür malzemenin deneyi, bir düşey eksen etrafında ve yatay düzlem içinde dönen 60 cm çaplı madensel bir tabladan oluşan **Dorry (Böhme) aygıtı** ile yapılır.

- ✓ Tablanın üzerine dönüş sırasında belirli özelliklere sahip aşındırıcı toz akıtılmaktadır.

- ✓ Bu şekilde pürüzlü yüzeyde, malzeme dönen ağırlıkların altında aşınır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapıli cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



✓ Tabla dakikada 28-30 devirlik hızla döner.

✓ 440 devir sonra malzeme tartılarak veya hacmi ölçülerek aşınma miktarı saptanır.

✓ Bu deneyin ıslak yapıldığı cihazlarda vardır.

✓ Bu tip deneyler daha çok karo plak gibi yüzeysel elemanlar üzerinde yapılır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



✓ Ahşap, linolyum, plastik gibi döşeme kaplamalarının aşınma miktarı **Taber aleti** ile bulunur.

✓ Bu deneyde, dönen yatay bir tabla üzerine tespit edilen deney numunesi üzerine malzeme türüne göre seçilen bir çift aşındırıcı disk belirli bir yükte bastırılır.

✓ Yatay tabla döndürülerek belirli bir süre sonunda ağırlık kaybı ölçülür. Birim mesafede aşınan miktar aşınma direnci olarak tanımlanır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



- ✓ Yollarda kullanılan beton veya asfalt gibi kaplama malzemelerinin iskeletini oluşturan çakıl veya kırmataşların aşınma deneyleri için ise **Los Angeles** deneyi uygulanır.

- ✓ İçerisinde bir raf bulunan standart boyutlardaki bir silindirik tamburun içine belirli ağırlıkta (P) ve tane dağılımında deney örneği konulur.

- ✓ Tamburun içine ayrıca deney örneği tipine bağlı olarak belirli sayıda çelik küre yerleştirilip, silindir kapatılır.

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



✓ Tambur dakikada 30-33 devirlik hızla 500 devir döndürülür.

✓ Kürelerin ağırlığı ve dinamik etkisi ile parçalanan malzeme 12 no'lu elekten elenir.

✓ Bu eleğin üstünde kalan malzeme P_u ağırlığında ise, aşınma yüzdesi U şöyle bulunur:

$$U = \frac{P - P_u}{P} \times 100$$

AŞINMAYA DAYANIKLILIK



Taş yapılı cisimlerde aşınma olayı ve deneyi



✓ Hesaplanan aşınma yüzdesi (U) ne kadar küçük ise, agreganın aşınma dayanımı o kadar yüksektir.

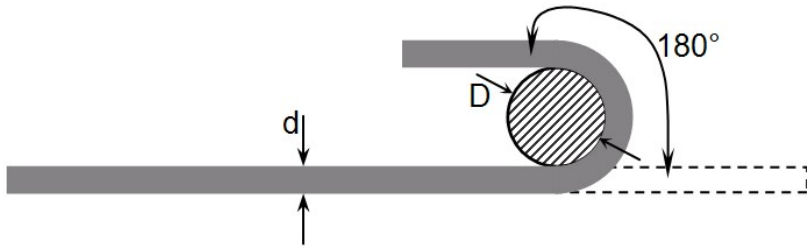
✓ ASTM standartlarına göre bu kayıp yüzdesinin beton agregasında 100 devir için % 10'u, 500 devir için % 50'yi, yol agregası için 500 devirde % 30'u geçmemesi istenir.

İŞLENEBİLİRLİK

İŞLENEBİLİRLİK



Metalik Malzemelerde İşlenebilirlik



✓ Bazı malzemeler yapıda kullanılmadan önce bazı mekanik işlemlere tabi tutulabilir.

✓ Örneğin, betonarmede kullanılan donatının, betona yapışmasının (aderansın) sağlanması amacıyla uçlarına kanca yapılır.

✓ Eğer deney örneği bu işlemler sırasında, çatlıyorsa veya düktilite, dayanım gibi özelliklerini kaybediyorsa, o malzemeyi yapıda kullanmak sakıncalı olabilir.

✓ Mekanik işlemler sonucunda, malzemenin özelliklerinde önemli bir değişiklik olmaması haline işlenebilme özelliği denir.

✓ Metalik malzemenin bu özelliği **pilyaj** deneyi sonucunda belirlenir

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK

TOKLUK ve DARBEME DAYANIKLILIK



Tokluk Ve Darbeme Dayanıklılık



✓ Tokluk bir malzemenin kırılmadan önce sönümlediği enerjinin bir ölçüsüdür.

✓ Bir malzemenin kırılmadan bir darbeme dayanması yeteneği söz konusu olduğunda önem kazanan bir mühendislik özelliğidir.

✓ Tokluğun en basit ölçme yöntemlerinden birisi **darbe** deneyidir.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Tokluk Ve Darbeye Dayanıklılık



✓ Bir yapı veya yapı elemanı statik denge konumundan uzaklaştırılarak bırakıldığında bir titreşim hareketi yapar.

✓ Dış bir zorlama olmadığı takdirde bu hareket **doğal titreşim hareketi** olarak tanımlanır.

✓ Bu harekette hareketin kendini bir kere tekrarı için geçen zaman **doğal titreşim periyodu** olarak tanımlanır.

✓ . Bir yapıya veya elemana uygulanan dış yük, doğal titreşim periyodunun üçte birinden daha kısa zamanda uygulanır ise bu yüklemeye **darbe** denilir.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Tokluk Ve Darbeye Dayanıklılık



✓ Yapı malzemeleri bazı koşullarda, örneğin ağır bir cismin düşmesi ile darbe etkisinde kalırlar.

✓ Çok yüksek hızla uygulanan kuvvet malzemede ani büyük gerilmelere yol açmaktadır.

✓ Cisimlerin darbeye dayanıklılığı malzemenin atom bağları (kohezyon dayanımı) ile yakından ilişkilidir.

✓ Malzemelerin darbeye dayanıklılıkları, karmaşık bir olgu olup, ancak özel deneylerle saptanabilir.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Tokluk Ve Darbeye Dayanıklılık



✓ Darbe etkisinde malzeme dış kuvvetlerin yapmış olduğu bir iş etkisinde kalmaktadır.

✓ Bu işi dengelemek için, malzeme şekil değiştirerek iç iş oluşturur.

✓ Eğer bu şekil değişim işi belirli bir kritik değeri aşarsa malzeme darbe tesiriyle göçer.

✓ Bu tip göçmelere daha çok köprü, yol ve havaalanlarında kullanılan malzemelerde rastlanır.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Tokluk Ve Darbeye Dayanıklılık

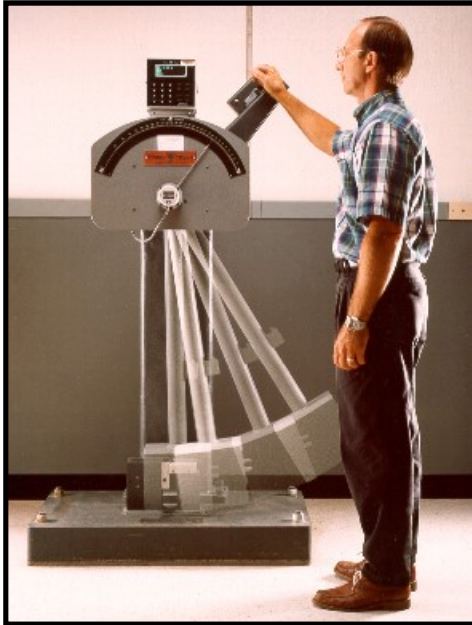
- ✓ **Malzemenin darbeye dayanıklılığına**
örneğin şekli ve boyutu,
kuvvetin uygulama hızı,
gerilme yığılmasının şiddeti (çentik
derinliği ve keskinliği) ve
sıcaklık
etki eder.



TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK

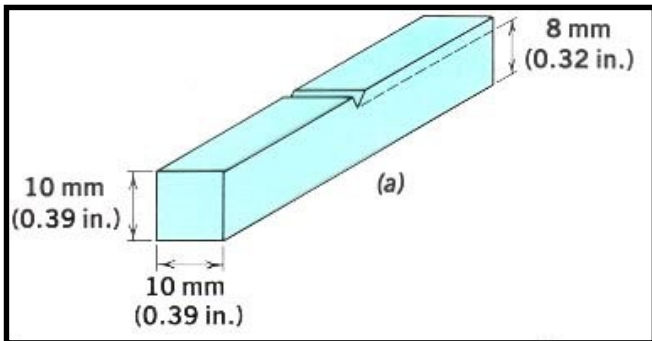


Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)



✓ Malzemelerin darbeye dayanımını belirlemek için çentik darbe deneyi olarak da adlandırılan deneyler kullanılmaktadır.

✓ Deneylerde kullanılacak örnekler üzerinde gerilme yığılmasını sağlamak üzere çentik açılır.

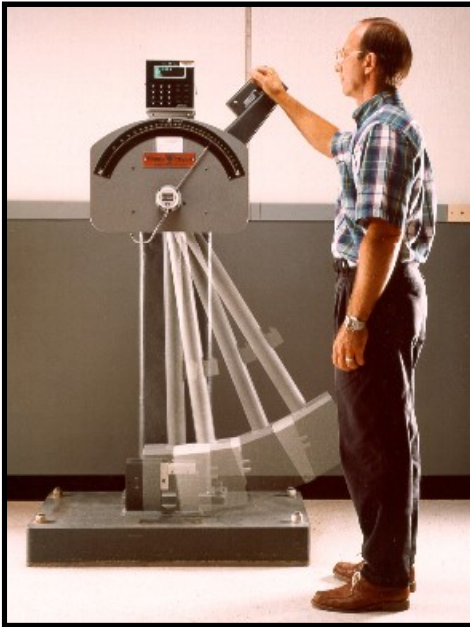


✓ Uygulamada metaller için en çok kullanılan darbeye dayanıklılık deneyi **Charpy** deneyidir.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)

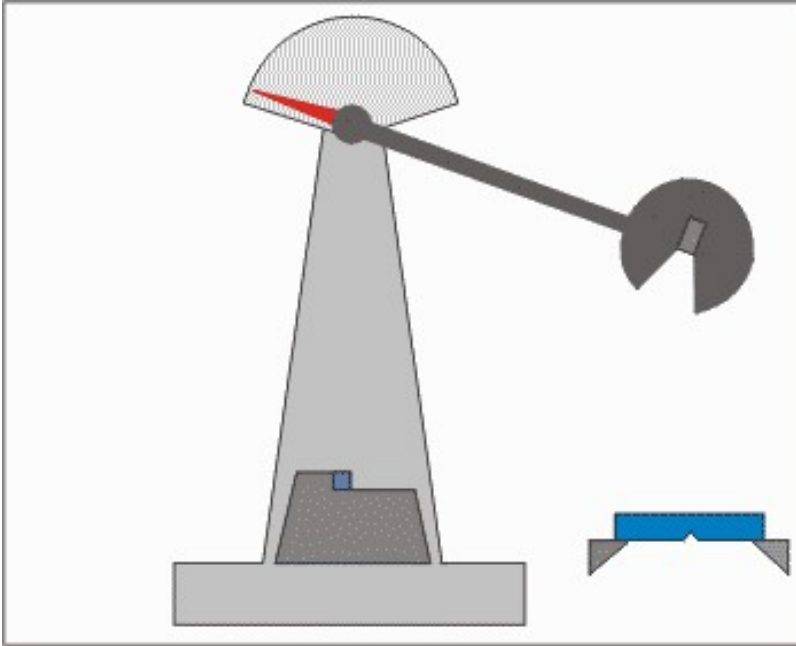


- ✓ Charpy darbe deneyi, büyük ani bir darbe nedeniyle malzemenin absorbe ettiği enerjinin miktarını ölçer ve malzemenin gevrekliğini değerlendirmede kullanılır.
- ✓ Hatalı ısıtma işlemi veya başka nedenlerden doğan kırılganlığı çekme deneyi ile tespit etmek mümkün olamayabilir.
- ✓ Çentik darbe deneyi ile bu kırılganlık rahatlıkla gözlemlenebilir.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)



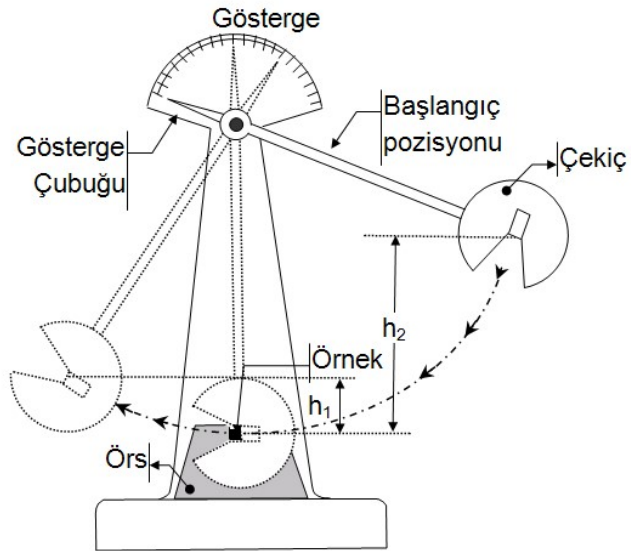
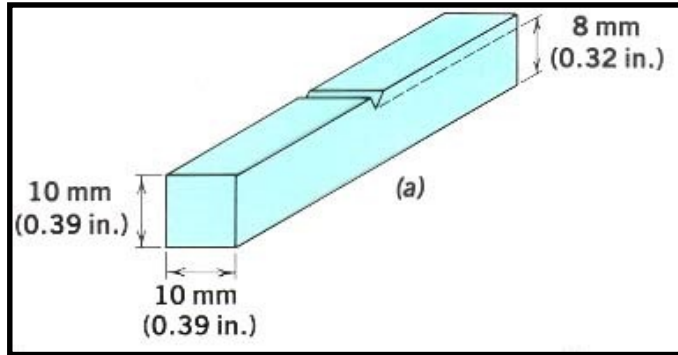
- ✓ Deneyde belirli ağırlıktaki tokmaklı bir pandül belirli bir h_2 , yüksekliğinden serbest olarak daha aşağıda mesnet üzerine konmuş, malzeme örneği üzerine düşürülür.

- ✓ Tokmak yörüngesi üzerindeki örneği zayıflatılmış kesitinden kırarak yoluna devam eder ve çarpma nedeniyle potansiyel enerjinin bir kısmını kaybettiğinden h_2 den küçük bir h_1 yüksekliğine çıkar.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)

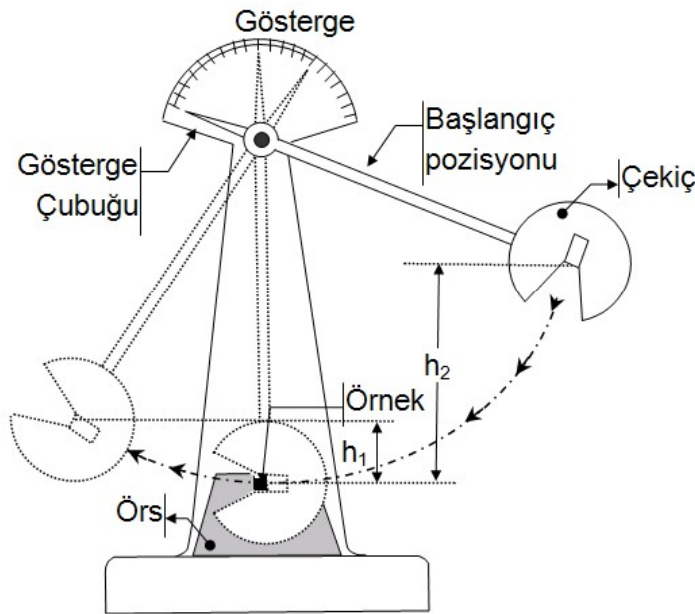


- ✓ Zayıflatılmış kesitin (çentik) derinliği, açısı deney sonuçlarını etkilemektedir.
- ✓ Genellikle çentik 2 mm derinlikli ve 45° açılıdır. Çentik dibi eğrilik yarıçapı 0.25 mm'dir.
- ✓ Tokmağın çıktığı yükseklik yutulan enerji arttıkça azalacaktır.
- ✓ Deney sırasında yutulan enerji birim alana düşen enerji ile ifade edilir.
- ✓ Sünek malzemeler gevrek malzemelere kıyasla çok daha fazla enerji yutarlar.

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)



- ✓ **P ile pandülün ağırlığı, W ile malzemenin kırılması için harcanan iş gösterilirse ve sürtünme gibi diğer etkiler ihmal edilirse;**

$$P \times h_2 = P \times h_1 + W$$

$$\Rightarrow W = P (h_2 - h_1)$$

- ✓ **Deney aletindeki özel bir düzenek ile W doğrudan doğruya ölçülür.**

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe deneyi (Charpy Deneyi)



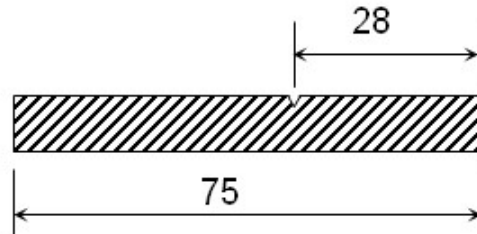
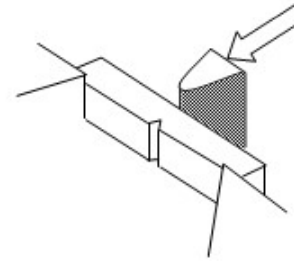
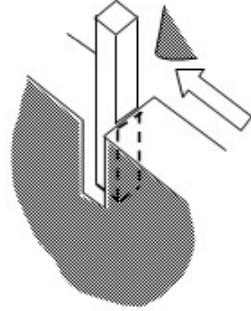
- ✓ Hazırlanan örnek darbe etkisi ile kırılırken ;
- ✓ Bazen tamamen kopabilir.
- ✓ Bazen de tamamen iki parça haline gelmez

TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK

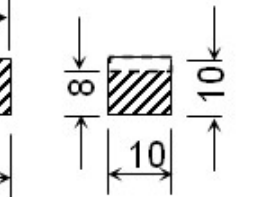


İzod deneyi - Charpy Deneyi

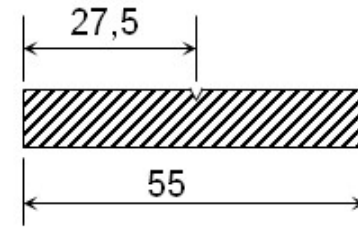
- ✓ Benzer bir darbeye dayanıklılık deneyi de **İzod** deneyidir.
- ✓ İzod ve Charpy deneyleri arasındaki fark, **deney örneğinin boyutu, örneğin mesnetleniş ve yükleniş şeklidir.**



İZOD DENEYİ ÖRNEĞİ



Ölçüler mm'dir.



CHARPY DENEYİ ÖRNEĞİ

TOKLUK ve DARBeye DAYANIKLILIK



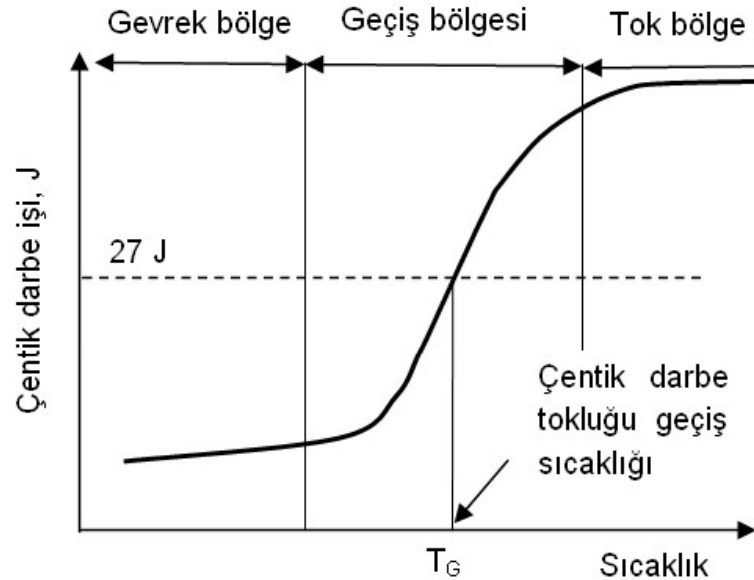
Çentik darbe tokluğunun sıcaklıkla değişimi

- ✓ **Malzemelerin (özellikle hacim merkezli kübik kristal yapılı cisimler) çentik darbe toklukları sıcaklıkla değişir.**
- ✓ **Malzeme yüksek sıcaklıklarda tok iken, düşük sıcaklıklarda gevrek hale gelir.**
- ✓ **Normal yumuşak (hacim merkezli kübik kristal yapılı) çelik yapıların çentik darbe dayanımı genellikle atmosfer sıcaklığının altında aniden azalır.**
- ✓ **Örneğin tipik bir çeliğin sünekliği sıcaklık 27°C den - 40°C düştüğünde çentik darbe dayanımı 95 Nm'den 14 Nm'e düşebilir.**

TOKLUK ve DARBEME DAYANIKLILIK



Çentik darbe tokluğunun sıcaklıkla değişimi



✓ malzemenin tokluğunu kaybederek gevrekleştiği sıcaklığa çentik darbe tokluğu geçiş sıcaklığı denir.

✓ Düşük sıcaklıklarda çalışacak malzemeler için bu özellik önem kazanmaktadır.

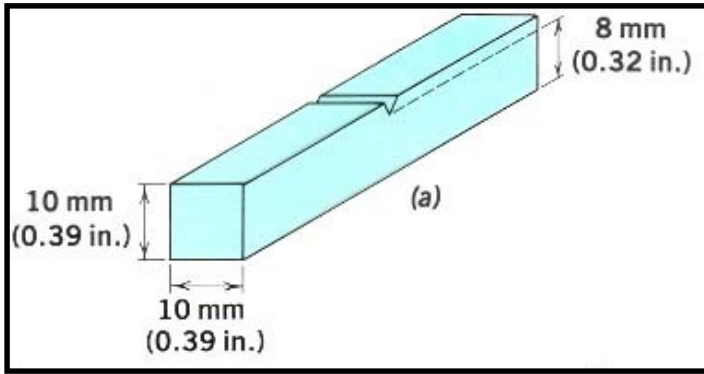
✓ Örneğin, sıcak iklim şartlarında kullanılacak şekilde tasarlanmış bir petrol tankeri Kuzey Buz Denizinde dalgaların veya rüzgarın oluşturduğu darbe etkisiyle hasar görebilir



TOKLUK ve DARBEME DAYANIKLILIK



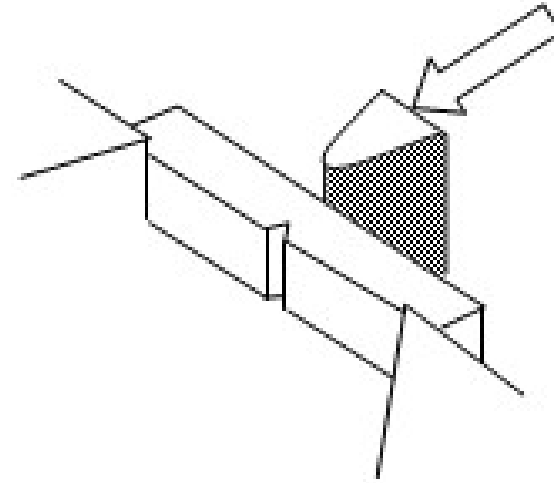
Çentik darbe tokluğunun sıcaklıkla değişimi



✓ Malzemelerin davranışı kesitlerinde ani bir değişiklik olması durumunda farklıdır.

✓ Çentik hassasiyeti olarak bilinen bu davranışın incelenmesinde çentik darbe deneyi iyi bir metottur.

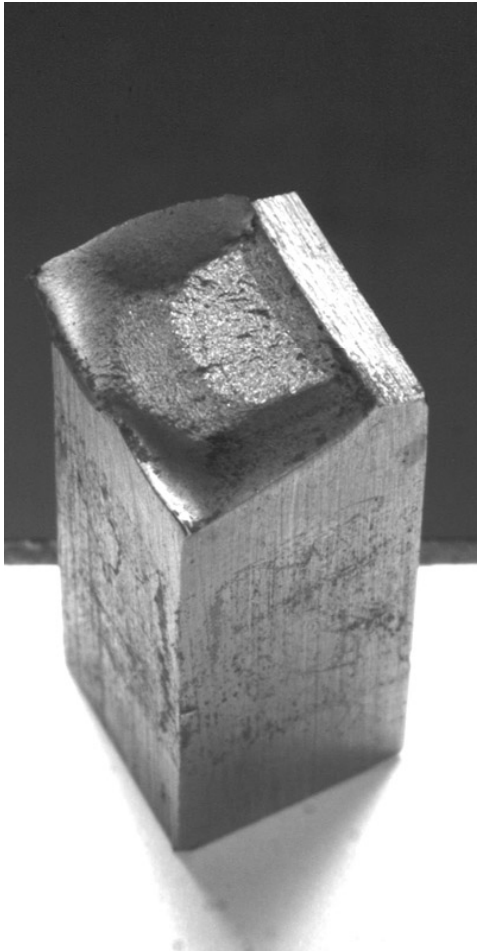
- ✓ Bazı malzemeler bu etkiye karşı daha duyarlıdır.
- ✓ Böylece farklı malzemelerin çentik hassasiyeti de bu deney ile kıyaslanabilir.



TOKLUK ve DARBEYE DAYANIKLILIK



Çentik darbe tokluğunun sıcaklıkla değişimi



- ✓ Kırılma sonuçları çıplak gözle de incelenmelidir.
- ✓ Genellikle iki farklı bölge gözlenmektedir.
- ✓ Düz ipeksi bölgede düktil kırılma başlamıştır.
- ✓ Kaba taneli bölgede ise gevrek kırılma oluşmuştur



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

DİĞER MEKANİK ÖZELLİKLER

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
www.caglaryalcinkaya.com