

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

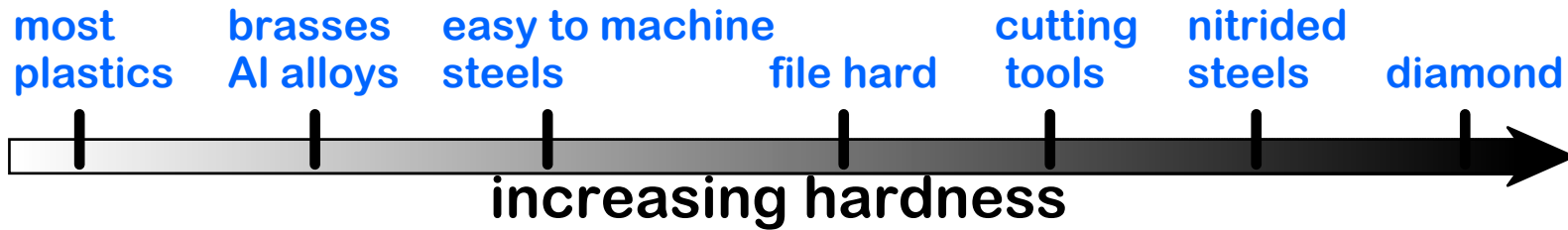


Bir cismin sertliğinin bilinmesinde şu yararlar vardır :

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 cisimi kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

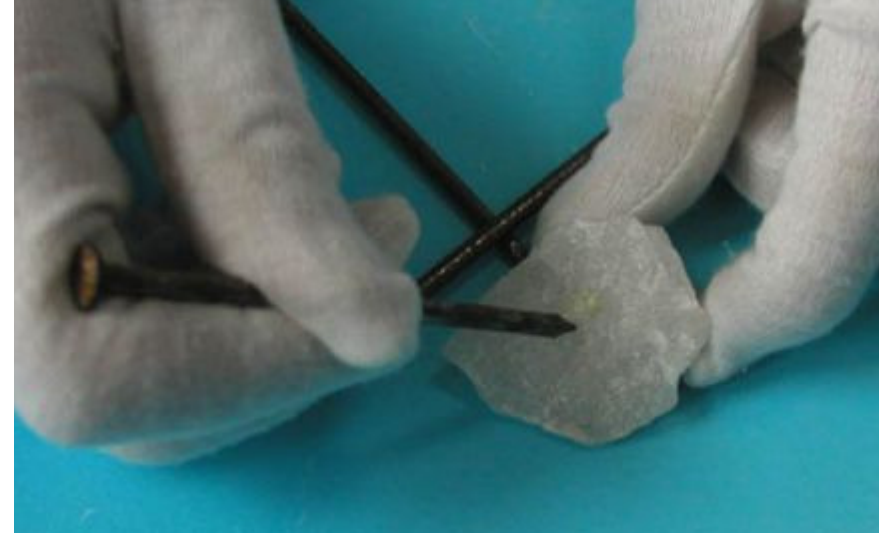
3) Sert bir bilyayı malzeme üzerine düşürmek ve sıçratmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.

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 ağız

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.

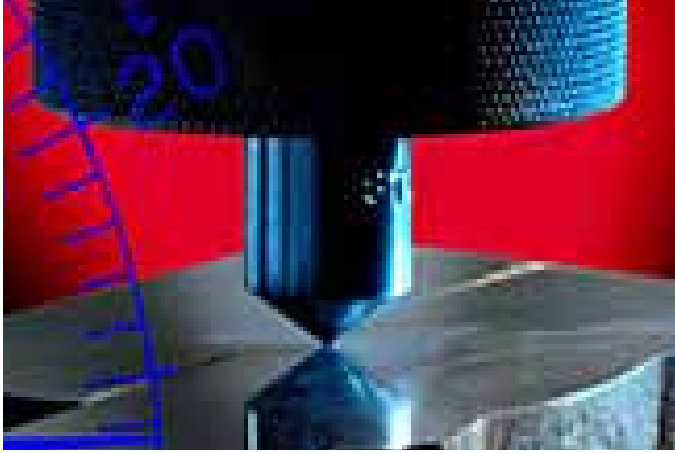


- ✓ Metal endüstrisinde genellikle **Rockwell, Brinell ve Vickers** sertlik deneyleri kullanılmaktadır.
- ✓ Bu deneyler belirli bir sürede belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin metal içine batma derinliğinin ölçülmesiyle yapılır.
- ✓ Farklı malzemeler için değişik deney yöntemleri 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



✓ Baticı 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



✓ Baticı Uç:

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

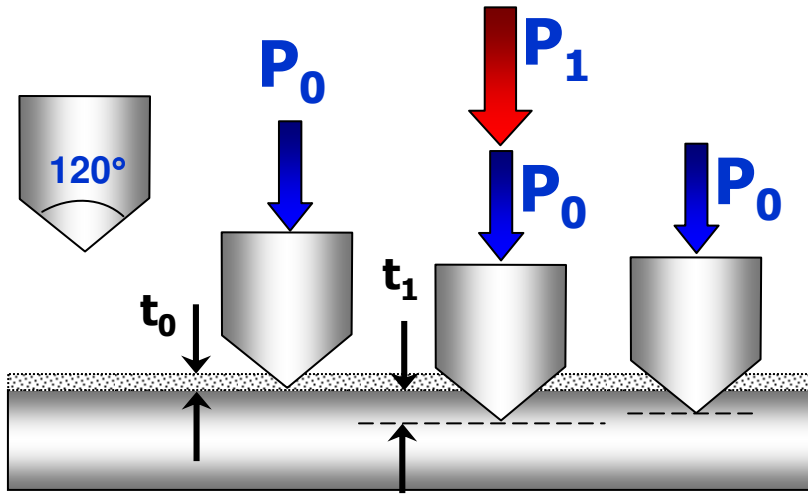
veya

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

SERTLİK

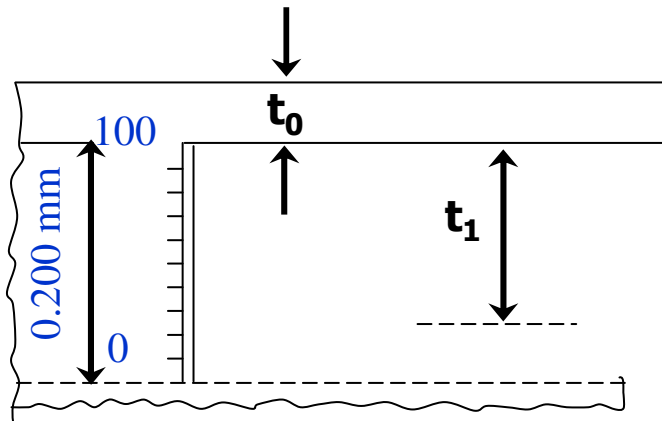


Rockwell Sertlik Deneyi



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

✓ Bu sakıncayı gidermek için önce batıcı uç küçük bir yük (P₀= ön yük) malzemeye daldırılarak alet sıfır düzeyine ayarlanır.



✓ Daha sonra toplam yüke tamamlanacak şekilde ana yük (P₁) uygulanır.

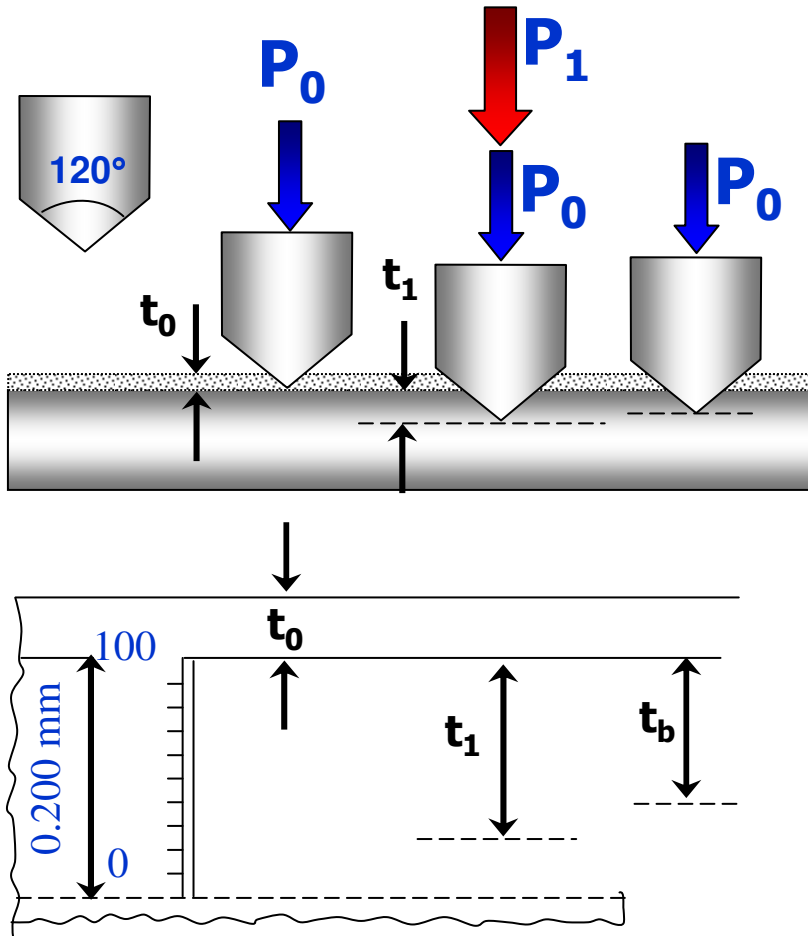
✓ Son olarak Ana yük (P₁) kaldırılır.

✓ Meydana gelen kalıcı izdeki derinlik artışı bulunarak mevcut göstergeden Rockwell Sertlik değeri okunur.

SERTLİK



Rockwell Sertlik Deneyi



- ✓ Rockwell Sertlik değeri boyutsuzdur.
- ✓ Ucun malzeme içine her 0.002 mm batışı bir sertlik değerinin düşmesi olarak alınır.
- ✓ Ön yük uygulandıktan sonra ucun konumu ile ana yük kaldırıldıktan sonra ucun konumu arasındaki batma derinliği t_b olmak üzere RSD-C aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

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

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.

- ✓ Deneý 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.
- ✓ Deneýin yapıldığı yüzey pürüzsüz olmalıdır.

SERTLİK



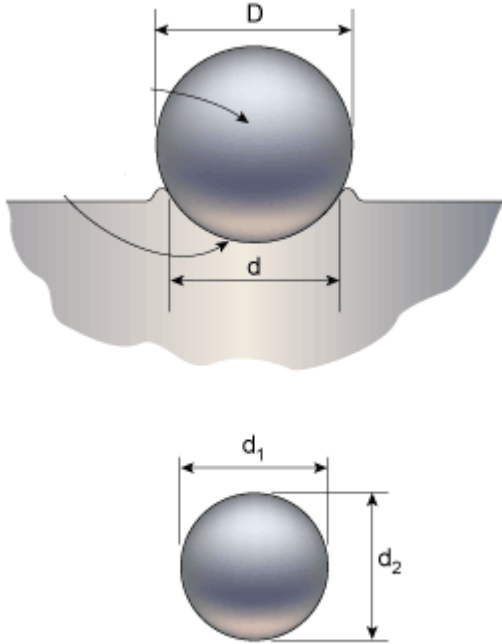
Rockwell Sertlik Deneyi

- ✓ 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



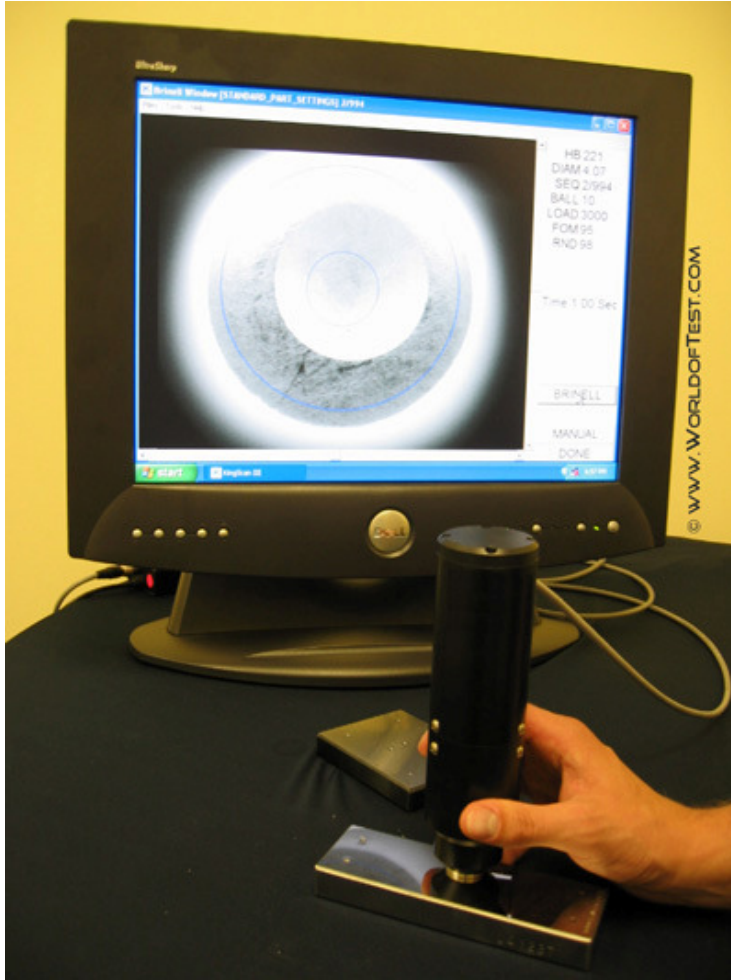
✓ D çapında sert, küre şeklinde bir bilya düşey doğrultuda sertlik değeri ölçülecek parçanın yüzeyine dik olarak belirli bir P kuvveti ile bastırılır

✓ Yük belirli bir süre uygulanır.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



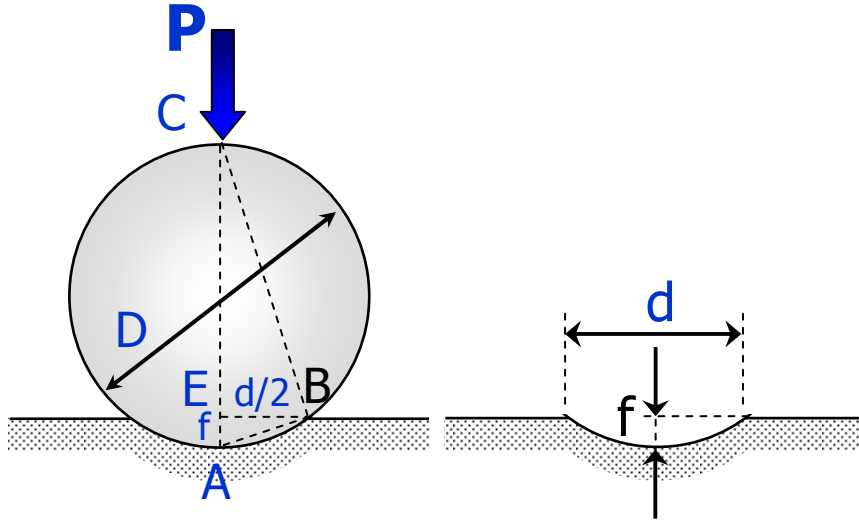
✓ Bilyanın kaldırılmasından sonra malzemede oluşan plastik şekil değişimi sonucunda yüzeyde küresel bir iz kalır.

✓ 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,

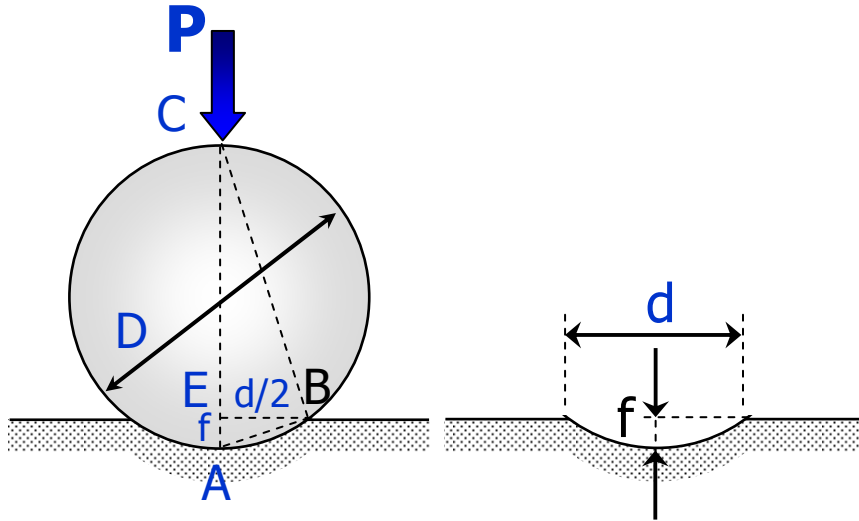
$$S = \Pi \times D \times f$$

✓ Ancak f'nin ölçümü çok zordur.

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



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

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

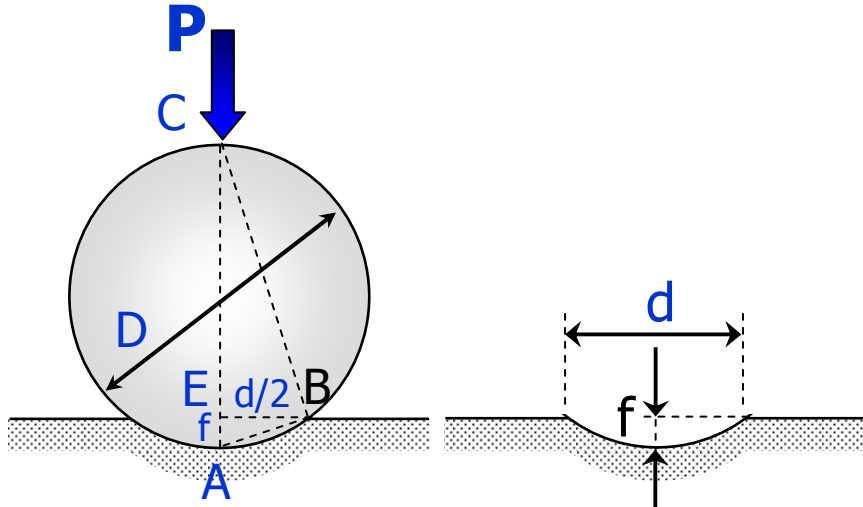
$$\Rightarrow f^2 - D.f + \frac{d^2}{4} = 0$$

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

SERTLİK



Brinell Sertlik Deneyi



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

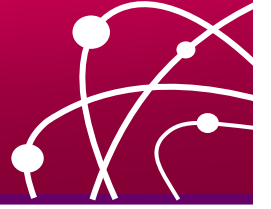
olduğundan

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

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 elik bilye.

sertliği $450 < BSD < 630$ ise metal karbür bilyedir.

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.

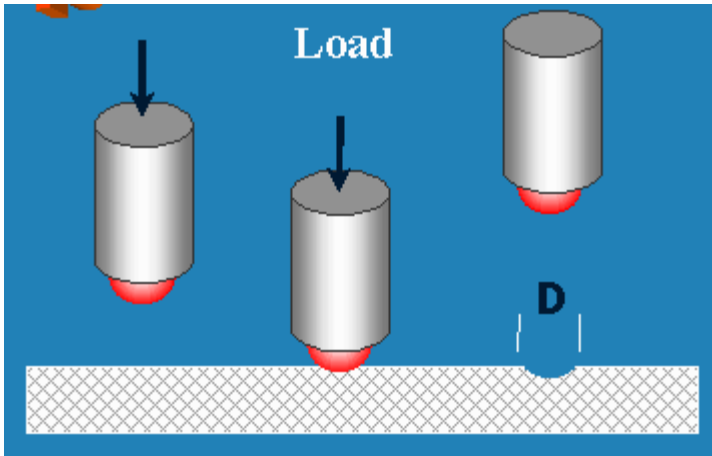
- ✓ Uygulanan yük bakır, pirinç gibi yumuşak metaller için **500 kgf**,
- ✓ dökme alüminyum için **1500 kgf** ve
- ✓ demir, çelik gibi sert metaller için **3000 kgf'dir**.

- ✓ 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.

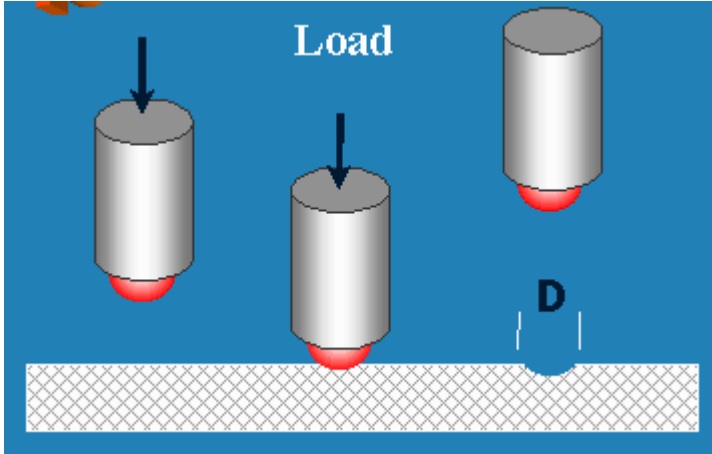
✓ Sert malzemeler, örneğin çelik için 15 s yükleme süresi yeterlidir.

✓ 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.

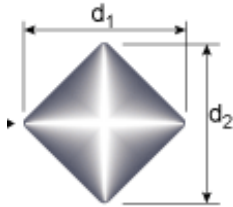
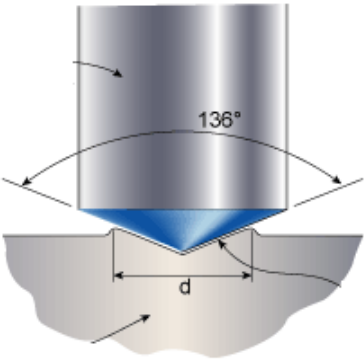
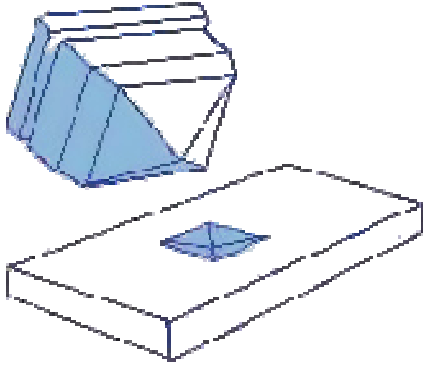
- ✓ Brinell deneyinde kullanılan batıcı uç diğer deneylerde kullanılanlara kıyasla daha büyük bir alanı kapsar

- ✓ 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 elik veya yapı çeliğinin muayenesinde kullanılır.

✓ Malzeme daha sert olunca deneyde kullanılan elik bilyanın şekil değişimi de önem kazanır.

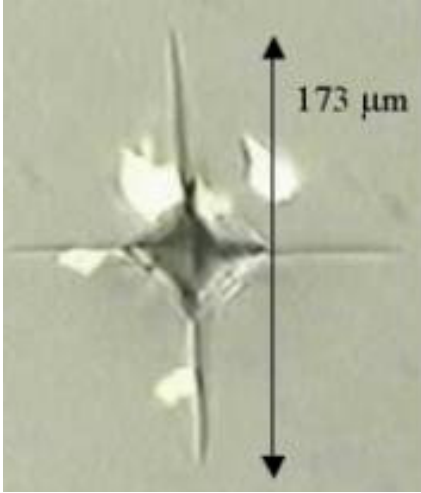
✓ Bu nedenle daha değişik yöntemler kullanmak gerekir. Bunların en önemlisi Vickers sertlik deneyidir.

✓ Bu yöntemde metal yüzeyine baticı 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 :

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

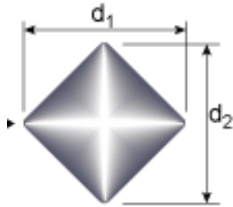
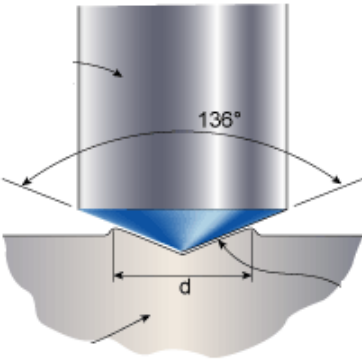
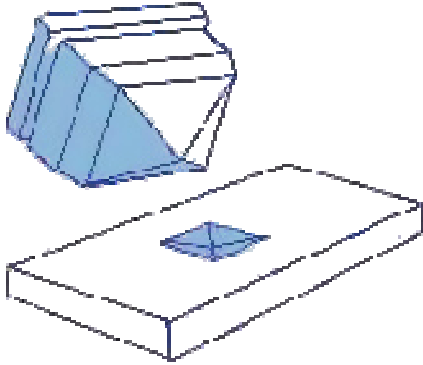
Piramidin tepe açısı = 136°
olarak alınırsa,

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

SERTLİK



Vickers Sertlik Deneyi



✓ Deney yükü 0.025-120 kgf arasında olabilir.

✓ Uygulama süresi 10-15 saniyedir.

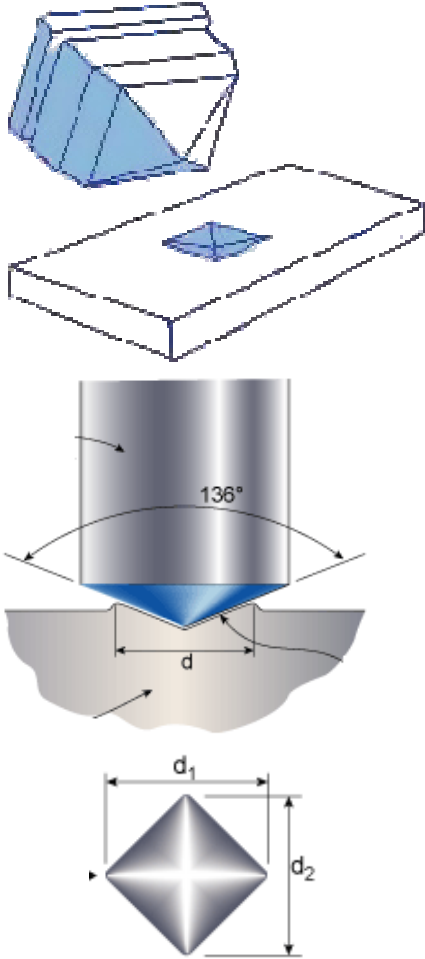
✓ Vickers deneyi mikrosertlik ölçümünde de kullanılır.

✓ 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.

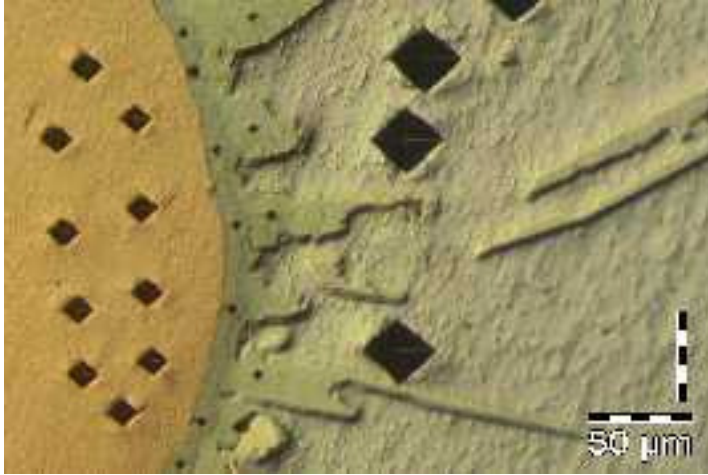
✓ Örneğin, 550 VSD/30/20;
deney yükünün 30 kgf,
Uygulama süresinin 20 saniye ve
Vickers sertliğinin 550 olduğunu
gösterir.

✓ 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 baticı ucun kullanılmasıdır.

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

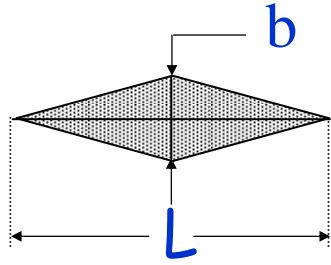
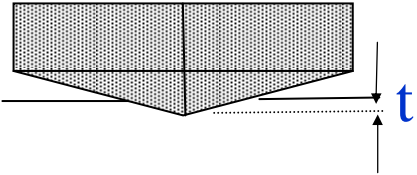
✓ Vickers sertliği ölçme yöntemi daha uzun zaman almakla beraber en duyarlı sertlik ölçüm yöntemidir.

✓ 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.

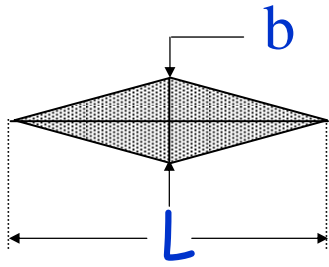
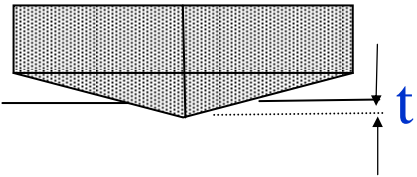
✓ Bir boyutu diğerinin yaklaşık olarak 7 katı olan bir iz oluşur.

✓ Malzemenin sertliği izin derinliği ölçülerek bulunur.

SERTLİK



Knopp Sertliği



$$L/b = 7.11$$

$$b/t = 4.00$$

✓ 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 tñp içinde düşürñlen bir çekicin cisme çarpıp geri sıçraması ile ulaştığı yükseklik ölçñlñr.

✓ 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 modülüne 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.

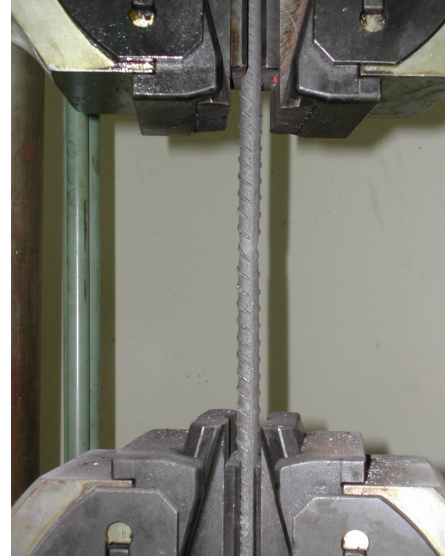
✓ Betonun yüzeyden itibaren zamanla sertleştiği için, eski binalarda yanıltıcı sonuçlar vermektedir.

SERTLİKLE MUKAVEMET ARASINDAKİ İLİŞKİ

SERTLİK



Sertlikle Mukavemet Arasındaki İlişki

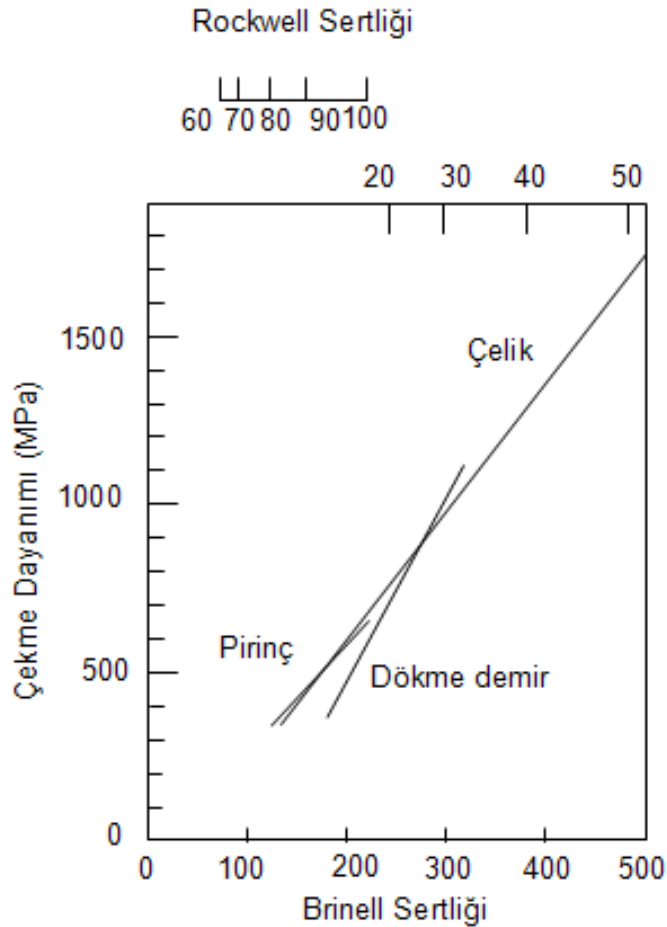


- ✓ Hem sertlik hem de çekme dayanımı metallerin plastik deformasyona karşı direncini gösterir.
- ✓ Sonuç olarak bu iki değer kabaca orantılıdır.

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.

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