

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**



**MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

MM 401 MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DENEYLER – I

SERTLİK DENEYİ FÖYÜ

Deney Sorumlusu: Dr. Öğr. Üyesi Muharrem TAŞDEMİR

SERTLİK DENEYİ

1. Giriş

Malzemeye hasar vermemesi ve yapılışının basit olması nedeniyle malzeme üzerinde yapılan en genel mekanik deneylerden biri sertlik deneyidir. Ayrıca, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişki de bulunmaktadır ve bu sayede diğer bazı özellikler hakkında da fikir edinilebilir. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik değeri ile orantılıdır. Dolayısıyla yapılan basit bir sertlik deneyi sonucunda o malzemenin mukavemet değerleri hakkında da fikir edinilebilir.

Sertlik izafi bir ölçü olup, malzemelerin sürtünmeye, kesilmeye, çizilmeye ve plastik deformasyona karşı direnci olarak tarif edilir. Bilimsel anlamda ise malzemelerin dislokasyon hareketine karşı gösterdiği direnç olarak tarif edilir.

2. Deneyin Prensibi

Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel standart bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Batıcı uçlar bilye, piramit veya koni biçiminde olup sertliği deney malzemesinin sertliğinden çok daha yüksektir. Uygun olarak seçilen batıcı uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır.

Sertlik ölçümünde dikkat edilmesi gereken hususlardan bazıları şunlardır:

- Sertlik numunesinin ölçüm yapılan yüzeyi ile oturma yüzeyini düzgün ve birbirine paralel olması gerekir.
- Sertlik numunesinin kalınlığı, iz derinliğinin en az 10 katı olmalıdır.
- Batıcı uç, numune kenarlarına yakın bölgelere uygulanmamalı ve izler arasında en az iz çapının veya ortalama köşegen uzunluğunun iki katı kadar bir uzaklık bulunmalıdır.

3. Sertlik Deneyleri

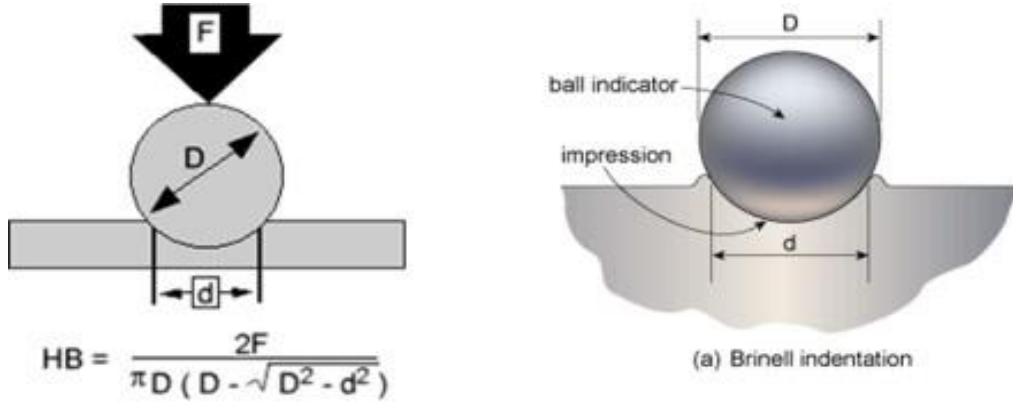
En genel sertlik ölçme deneyleri aşağıda verilmiştir. Bu ölçüler arasında matematiksel ilişkiler mevcut olup bir değerden diğerine geçmek mümkündür. Sertlik ölçümleri yapılırken, yöntem ne olursa olsun numune üzerinde birkaç ölçüm yapıp bunların ortalaması alınmalıdır.

- a) Brinell sertlik ölçme yöntemi,
- b) Vickers sertlik ölçme yöntemi
- c) Rockwell sertlik ölçme yöntemi,
- d) Mikro-sertlik ölçme deneyi.

3.a) Brinell sertlik ölçme yöntemi

Yüzeye belirli bir yükün, belirli çaptaki sert bir malzemeden yapılmış bir bilye yardımıyla belirli süre uygulanmasından ve sonuç olarak meydana gelen izin çapının ölçülmesinden ibarettir.

Birinell sertlik değeri (BSD): Belirli çapta bir bilye ile bir malzemenin yüzeyine belirli bir süre bastırmak suretiyle meydana getirilen kalıcı izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir. Birinell sertlik değeri, bilye üzerine uygulanan yükün numune yüzeyi üzerinde elde edilen küresel yüzey alanına bölünerek belirlenir.



F: uygulanan kuvvet (N,kg)
D: Bilye çapı (mm)
d: İz çapı (mm)

Şekil 1. Brinell sertlik deneyi

Standart deneylerde genellikle 10 mm çapında çelik bilye, 3000 kg yük ve 30 saniye bekleme süresi seçilir. Diğer deney şartları için BSD işaretinin yanına bilye çapı/yük/süre sırasına göre bilgiler eklenir. Örneğin; 60BSD5/500/30 şeklinde bir gösterimde, deneyin 5 mm çapında bir bilye üzerine 500 kg yükün 30 saniye süreyle tatbik edilmesi anlatılmaktadır. Ancak pratikte bu yükler çok büyük olduğu ve yüzeyde büyük ezilmeler yarattığı için daha küçük yük-bilye çapı kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu deneyin en önemli dezavantajı yük-çap kombinasyonlarının malzemeye özel olarak seçilmesi gereğidir. Örneğin çelik bir malzemenin sertliği ölçülecekse, deneyde 2.5 mm çapında bir bilye kullanılırsa uygulanması gereken kuvvet 187.5 kgf dir. Ancak bir Al alaşımının sertliği ölçülecekse bu durumda 31.25 kgf'lik bir kuvvet uygulanması yeterli olmaktadır.

Batıcı uç olarak kullanılan bilyeler sertleştirilmiş çelikten imal edilmektedir. Deney sırasında bilyenin de ezilebileceğini düşünerek, çelik bilyelerle en çok 400 BSD değerine kadar sertlik ölçülmelidir. 550 BSD'ye kadar sert metal (sinter tungsten karbür) bilye kullanılarak deney yapmak mümkündür. Daha yüksek sertliğe sahip metaller üzerinde Brinell deneyi yapmak uygun değildir. Bu durumda bilye ezilerek çapı büyür ve deformasyon geometrisinde yanlış ölçümlerin yapılmasına neden olur.

3.b) Vickers sertlik ölçme yöntemi

Bu yöntemde, serliği ölçülecek malzeme parçası üzerine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegen uzunluklarının ölçülmesi sağlanır.

Meydana gelen iz tabanı, köşegeni d olan bir kare piramittir ve tepe açısı batıcı ucun tepe açısının (136°) aynısıdır. Vickers sertlik değeri kg olarak ifade edilen deney yükünün mm² olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.

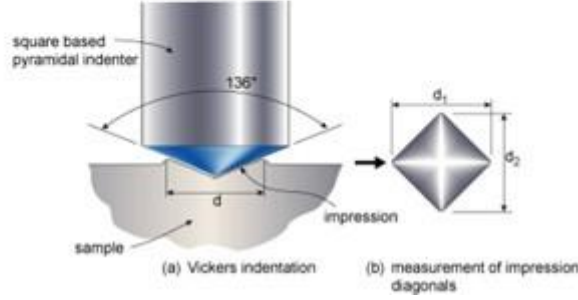
$$VSD = \frac{2P \sin(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2}$$

Burada:

P= kgf cinsinden uygulanan yük

α =Tepe açısı

d= Taban köşegen uzunluğu [(d₁ + d₂)/ 2]

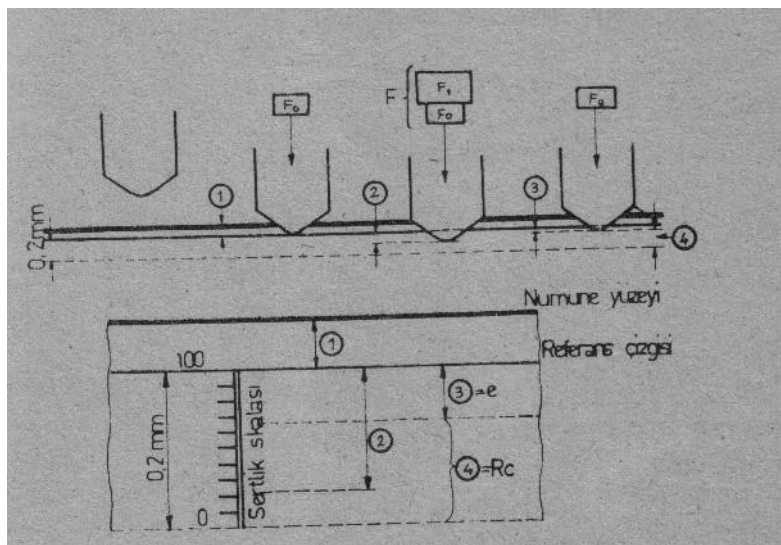


Şekil 2. Vickers sertlik deneyi

3.c) Rockwell sertlik ölçme yöntemi

Rockvel sertlik değeri (RSD), malzeme üzerine batıcı bir uç yardımıyla önce sabit belirli küçük bir yükle bastırıldığında meydana gelen izin dip kısmı başlangıç notası alınarak, yük daha yüksek bir değere artırılıp daha sonra tekrar önceki yüke dönmek suretiyle, başlangıçtaki ize nazaran meydana gelen iz derinliğindeki net artışla ters orantılı bir sayıdır.

Bu deney için önce 10 kgf değerindeki küçük yük (ön yük) uygulanarak ilk yükleme yapılır. Bu suretle uç, malzeme üzerine oturur ve onu yerinde tutar. Ekran üzerinde kadran bu konumda sıfıra ayarlanır. Daha sonra büyük yük uygulanır. Bu büyük yük uygulanacak toplam yük olup, derinlik ölçümü sadece küçük yükten büyük yüke kadar artıştan ileri gelen derinlik artışına bağlıdır. Büyük yük uygulandıktan ve kaldırıldıktan sonra, standart işleme göre küçük yük hala uygulanır durumda iken, kadranın gösterdiği değer okunur. Batıcı uç olarak çelik bilye kullanıldığı zaman büyük yük 100 kg olarak alınır. Küresel konik elmas uç kullanıldığı zaman ise bu değer 150 kg olarak seçilir.



Şekil 3. Rockwell sertlik değerinin belirlenmesi. 1: Ön yüklemede ucun batma derinliği; 2: İlave yüklemede ucun batma derinliği; 3: İlave yük kaldırıldığında ucun batma derinliği; 4: Rockwell sertliği

Rockwell deneyi için kullanılan batıcı uçlar, belirli çaplardaki çelik bilyeler ile, özel konik elmas uçlardır. Rockwell sertlik değeri daima bir sembol harfle gösterilir ki, bu sembol harf batıcı ucun tipini, kullanılan yük miktarını ve kadran üzerinde okunacak bölümü belli eder.

Bu deneyde, sertliği ölçülecek malzemenin sertlik değerine göre uç seçilmelidir. Bu nedenle plastik malzemelerden metallere kadar çok geniş bir uygulama imkânını bize veren çok değişik ölçüm skalaları vardır. Bu skalalardan en çok kullanılanlar C ve B skalalarıdır. C skalasında genellikle sert metallerin sertlikleri ölçülür. Bu skalada uygulanan yük 150 kgf, batıcı uç ise 120° tepe açısına sahip elmas konidir. Batma derinliği sertlik değeri cinsinden kalibre edildiğinden doğrudan ölçüm yapma imkanı vardır. Daha yumuşak metallere B skalasında deney uygulanır. Bu skalada 100 kgf deney yükü 1/16 inç çapındaki sert bilye üzerinden malzemeye tatbik edilmektedir. Sertlik ölçülecek yüzeyin çok temiz ve düzgün olması gerekmektedir. Ayrıca izlerin birbirlerine çok yakın basılmaması, kenarlara yakın ölçüm yapılmaması ve en az üç değerin ortalaması alınarak sertlik değerinin belirlenmesi gerekmektedir.

3.c) Mikro-sertlik sertlik ölçme yöntemi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince sacların sertliklerinin ölçülmesinde elverişlidir. Sertleştirilmiş ve kaplanmış yüzeylerin sertlikleri de bu yöntemle belirlenebilir. Ayrıca, malzeme iç yapısında bulunan çeşitli fazların ve bölgelerin sertlikleri de bu yöntemle ölçülür. Bu yöntemde batma derinliği genellikle mikronu geçmez.

Mikro sertlik ölçüm cihazı hassas bir cihaz olup, kontrolü otomatik olarak yapılır. Makro sertlik ölçüm cihazlarından farkı, sistemin komple bir metal mikroskobu içermesidir.

Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerden net görüntü alınmaya kadar tabla hareket ettirilir. Daha sonra, sertlik ölçülecek bölge seçilir ve düğmeye basılarak otomatik olarak yükleme yapılır. Böylece numune üzerinde bir iz elde edilir. İz boyutları genellikle el ile ayarlana bir sistemle belirlenir.

Mikro-sertlik deneylerinde iki standart uç kullanılır. Bunlardan biri 136° tepe açısına sahip tabanı kare olan piramit uç (Vickers ucu) dur. Diğeri ise, Knoop ucu olarak bilinen 172°30' lık piramit uçtur. Vickers ucu numune üzerinde kare şeklinde iz bırakırken, Knoop ucu eş kenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır.

Knoop sertlik değeri;

$$\text{Knoop sertliği (KS)}=14.229 \cdot F/l^2$$

Mikro-sertlik cihazlarında genellikle 1-10.000 g arası yük değerleri kullanılmaktadır. 1 g altında yük kullanan ultra-sertlik ölçüm cihazları da vardır. Öte yandan son yıllarda geliştirilen ve nano-sertlik ölçüm cihazları olarak bilinen cihazlarla μN seviyelerinde yükler kullanılarak nm ölçüsünde iz derinlikleri de elde edilebilmektedir.

Endüstriyel sertlik ölçüm yöntemleri

Şimdiye kadar incelenen sertlik ölçme yöntemleri laboratuvar tipi olup, “statik sertlik ölçme yöntemleri” olarak adlandırılır. Bu yöntemlerde numunenin sertlik ölçümü için özel olarak hazırlanılması gerekir. Bazı hallerde ise parçadan numune çıkarmanın imkânı olmayabilir veya sertliğin çok büyük parçalar üzerinde ölçülmesi gerekir. Bu tipteki sertlik ölçümleri için endüstriyel tipte cihazlar geliştirmiştir. Endüstriyel sertlik ölçme yöntemleri genellikle “dinamik sertlik ölçme yöntemleri” diye anılır. Bu amaçla geliştirilen cihazları iki grupta toplamak mümkündür.

- a) Darbe etkisi ile sertlik ölçen cihazlar,
- b) Sıçrama miktarı ile sertlik ölçen cihazlar.

Birinci grupta, Brinell deneyine benzer bir yol izlenir. Ancak burada kuvvet darbe şeklinde uygulanır. Çelik bilye şeklindeki batıcı uç darbe etkisi ile yüzeyde bir iz bırakır. Bu gruptaki cihazların en tanınmış Poldi çekici sertlik ölçme yöntemidir. Bu yöntemde, sertliği bilinen bir mastar kullanılır. Elde edilen izin boyutları, aynı zamanda mastarda elde edilen iz ile karşılaştırılarak sertlik değeri belirlenir.

İkinci grupta ise numune üzerine, belirli bir yükseklikten düşürülen küçük bir ağırlık, numune üzerinde daha çok elastik bir deformasyon yaparak geriye sıçramaktadır. Sıçrama miktarı, düşen cismin numuneye çarptıktan sonraki elastik enerji miktarı ile orantılı olup, bu durum yöntemin prensibini oluşturmaktadır. Bu açıklamaya göre, yumuşak malzemelerde sıçrama daha az, sert malzemelerde daha fazla olacağı açıktır. Bu cihazda batıcı uç olarak sertleştirilmiş çelik bilye veya küresel elmas uç kullanılır ve bunlar düşen ağırlığın alt yüzeyine tutturulur. Sıçrama miktarının kolay ölçülebilmesi için gösterge üzerinde hareket edebilen seyyar ibreler kullanılır. Sıçrama esasına göre çalışan cihazların en çok tanınanı “Shore Skleroskobu” dur. Bu tip cihazların en önemli avantajı, iz bırakmadan sertlik ölçmesi ve çok geniş bir yüzeyde sertlik dağılımını ölçebilme kolaylığı sağlamasıdır.

Sertlik-çekme dayanımı ilişkisi

Metalik malzemeler için sertlik değerleri ile çekme dayanımları arasında deneysel olarak farklı kantitatif ilişkiler bulunmasın rağmen, bütün metalik malzemelerde sertlik arttıkça çekme dayanımının da arttığı görülmüştür. Aşağıda, çelik malzemelerde geçerli olan bağıntılar verilmiştir.

$$\begin{aligned}\text{Çekme dayanımı (kg/mm}^2\text{)} &= 0.35 \text{ BSD (kg/mm}^2\text{)} \\ \text{Çekme dayanımı (kg/mm}^2\text{)} &= 3.5 \text{ RSD-C (kg/mm}^2\text{)}\end{aligned}$$