

Mikro-sertlik Deneyi

Tanım: Mikro-sertlik ya da temel prensibi malzeme üzerine elmas bir ucun batması esasına dayandığı için mikro-batırma olarak adlandırılan deneyler aynı prensibe dayanan farklı makine tipleri ve özellikleriyle testi ve düzeneğini geliştiren kişilerin isimlerini taşıyarak literatürde yer bulmuştur. Farklı isimler olsa da malzemenin mikroskobik mesafelerdeki sertlik değişimlerinin ölçülmesine yarayan bu test düzenekleriyle yapılan işlerin tamamı mikro-sertlik testi olarak tanımlanır.

Amaç: Mikro-sertlik testinin spesifik bir test yöntemi olması sebebiyle mikroskobik mesafelerdeki sertlik değişimlerini tespit etmekteki faydası göz önünde bulundurularak, malzemelerle ilgili dayanım açısından geliştirilebilecek yaklaşımlara fayda sağlamak, yön göstermek ve sebeplerini irdeleyebilmek için bu test özellikle son zamanlarda malzeme bilimi ve madencilik ile ilgili konularda sıklıkla tercih edilmektedir. Buradaki amaç göreceli olarak esnek bir test tipi ile boyutu küçük numuneler üzerinden de yapılabilecek deneylerle mikroskobik boyutta sertlik tayini yaparak birçok açıdan malzemenin değerlendirilmesidir.

Literatür Bilgisi: Mikro-sertlik deneyleri görece pratik olması sebebiyle tercih edilen mikroskobik boyuttaki mesafelerdeki sertlik değişimlerini gözlemlemek için kullanılmaktadır. Özellikle kesilebilirlik konusu üzerine incelemeler yapan araştırmacıların son dönemlerde mikro-sertlikle ilgili çalışmalar yaptıkları bilinmektedir (10,11). Yüksek yüklemeler ile mikro-sertlik (mikro-batırma) testinin yapılabildiği en yaygın olarak kullanılan iki test yöntemi mevcuttur. Bunlar;

1. Vickers sertlik testi (HV = Hardness of Vickers)
2. Knoop sertlik testi (HK= Hardness of Knoop)

testleridir.

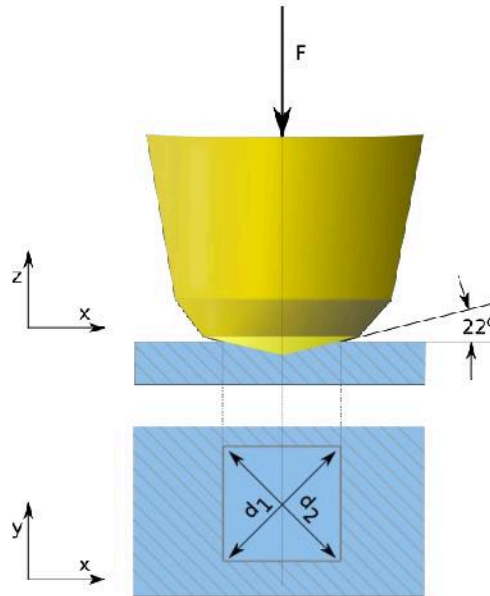
Her iki test tipinde de mikro-sertlik değeri numune üzerinde oluşan çentiğe göre belirlenir ve sertlik değeri kgf/mm^2 (kgkuvvet/mm^2) birimi ile ifade edilir. Burada kilogram-kuvvet, kütlesi 1 kg olan bir cismin, standart yerçekimi altında uyguladığı kuvvetin adı olup kgf ya da genellikle sadece kg veya kilopound (kp) olarak ifade edilir (7). Ancak mikro-sertlik deneylerinde fizik biliminin temel kabullerinden yola çıkarak kgf veya kg-f şeklinde deneyde kullanılan yük miktarı belirtilmektedir. Mikro-sertlik testinin pratikteki faydalarının dışında ne yazık ki ölçümlerin standardize edilememesi gibi güçlüklerde bulunmaktadır. Bunun

öncelikli sebebi ise ölçümü yapan kişinin küçük miktarlardaki ölçüm hatalarıdır. Özellikle seçilen düşük yüklemelerde oluşan şekillerin köşegen (Knoop) ya da köşegenlerinin (Vickers) kısılmasından dolayı ölçüm esnasında yapılabilecek küçük hatalar yüzdesel olarak daha büyük sapmalara sebep olabilmektedir. Bu sebeple de her testte mümkün olan en yüksek yük seçilmelidir (8). Ayrıca neredeyse tüm malzemelerin mikro-sertlik değerlerinin makro-sertlik değerlerinden (Tek Eksenli Basma Dayanımı) yüksek olduğunu unutmamak ve mikro-sertlik değerinin malzemenin yük ve bağlı olarak deformasyon sertleşmesi etkisi ile değişiklik gösterebildiğini bilmekte fayda vardır (1).

1. Vickers sertlik testi:

Vickers sertlik testi 1921 yılında Vickers Ltd. Şirketinde Robert L. Smith ve George E. Sandland tarafından Brinell metoduna alternatif olarak malzemelerin sertlik değerini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (2). Vickers sertlik testi, sertliğin hesaplanmasında kullanılan denklemin çentik oluşturan ya da bir diğer deyişle batan ucun boyutlarından bağımsız olması ve test edilecek malzemenin sertliğine bakılmaksızın tüm malzemelerde kullanılabilmesinden dolayı muadili yöntemlere göre daha kolay bir işlem olduğundan diğer sertlik belirleme deneylerine göre daha çok tercih edilir. Bu testin temel prensibi, tüm yaygın sertlik ölçümlerinde olduğu gibi numunenin plastik deformasyona belirli bir kuvvet karşısındaki dayanma yeteneğinin belirlenmesidir. Düz bir yüzeye uygulanan bu yükün büyüklüğü test edilecek numunenin sertliğine bağlı olarak ölçüm işlemini sağlıklı bir şekilde yürütebilmek için değişiklik gösterebilir. Yani basitçe sert malzemelerde yüksek yüklemeler, sertliği düşük malzemelerde ise daha küçük yüklerin seçilmesi ölçme işlemini ve deneyin başarıya ulaşmasını kolaylaştırır.

Sertlik değeri yabancı kaynaklarda, HV= Vickers Piramit Numarası ya da DPH= Elmas Piramit Sertliği olarak adlandırılrsa da dilimizde Vickers Sertlik Değeri olarak ifade etmek yanlış olmayacaktır. Vickers sertlik testinde kullanılan elmas uç uzunlamasına kesişim açısı 136° ve her bir kenarının yatayla yapmış olduğu açı 22° olarak tasarlanmıştır (3) (Şekil 1).



Şekil 1. Vickers Sertlik Testi Şematik Görünümü (9)

Deneyin temelini ve hesaplama formülünün çıkış noktasına bakıldığında, Vickers sertlik (HV) değeri F = Force yani kuvvet ve A = Area yani alan olmak üzere F/A oranına bağlıdır.

Burada A değeri;

$$A = \frac{d^2}{2 \sin(136^\circ/2)},$$

formülünden türeyerek yaklaşık olarak,

$$A \approx \frac{d^2}{1.8544},$$

Şeklinde basitleştirilebilir. Burada d ortaya çıkan şeklin köşegenlerinin ortalama değerini ifade etmektedir. Böylelikle daha da basitleştirilen formül en nihayetinde,

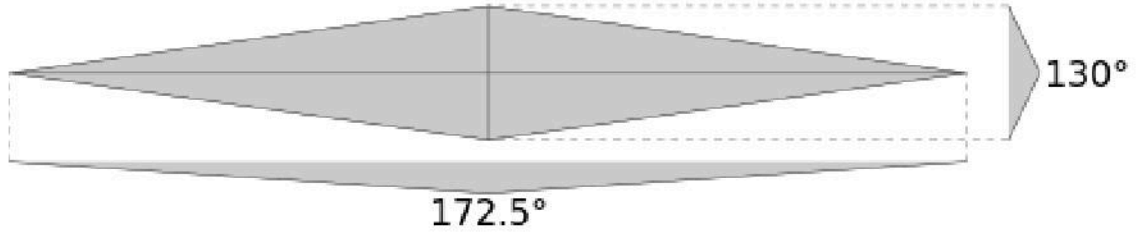
$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2}$$

şeklini alır. Buradaki F değeri kgf ve d^2 ise mm^2 birimine sahiptir (4).

Vickers sertlik değeri olarak adlandırılan ve kgf/mm^2 birimine sahip değer pascal'a birim olarak çevrilebilse de basınç ile ya da madencilikte yaygın olarak kullanılan Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Çekme Dayanımı kavramları ile karıştırılmamalıdır. Mikro-sertlik değeri çentik (batma) oluşan bölgeye uygulanan yükten türetilmekte olup, yükün uygulandığı normal kuvvet yani kesit yüzeyinin tamamına uygulanan bir kuvvetle ilgili değildir. Bu sebeple basınç olarak adlandırılmaz.

2. Knoop Sertlik Testi:

Knoop sertlik testi 1939 yılında A.B.D.'de Frederick Knoop ve Ulusal Standartlar Enstitüsü'nden çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiş ve ASTM E384 standardı olarak tanımlanmıştır (5). Knoop sertlik testi bir mikro-sertlik testi olarak özellikle küçük izlerin olduğu çok kırılğan malzemelerin ya da ince kesitlerin mekanik sertliğinin belirlenmesinde kullanılan bir deney/düzenektir. Knoop sertlik testi parlatılmış yüzeye piramit şeklinde bir elmasın bilinen bir yük ile genellikle de 100 gr'lık bir yük ile batırılması sonucunda oluşan izin mikroskop vasıtasıyla ölçülmesi esasına dayanır. Bu testte kullanılan piramit şeklindeki elmas uç boyuna uzatılmış bir geometride boy/genişlik oranı 7:1 olan ve sırasıyla uzun kenarı 172 derece kısa kenarı ise 130 derecelik bir yüzey açısına sahiptir (6) (Şekil 2). Yaklaşık olarak oluşan çentiğin derinliğinin uzunluğuna oranı 1/30 civarındadır.



Şekil 2. Knoop sertlik testi elmas uç temas açısı görüntüsü (6)

HK veya KHN olarak adlandırılan Knoop sertliği formülü:

$$HK = \frac{\text{load(kgf)}}{\text{impression area(mm}^2\text{)}} = \frac{P}{C_p L^2} \text{ şeklindedir.}$$

Burada:

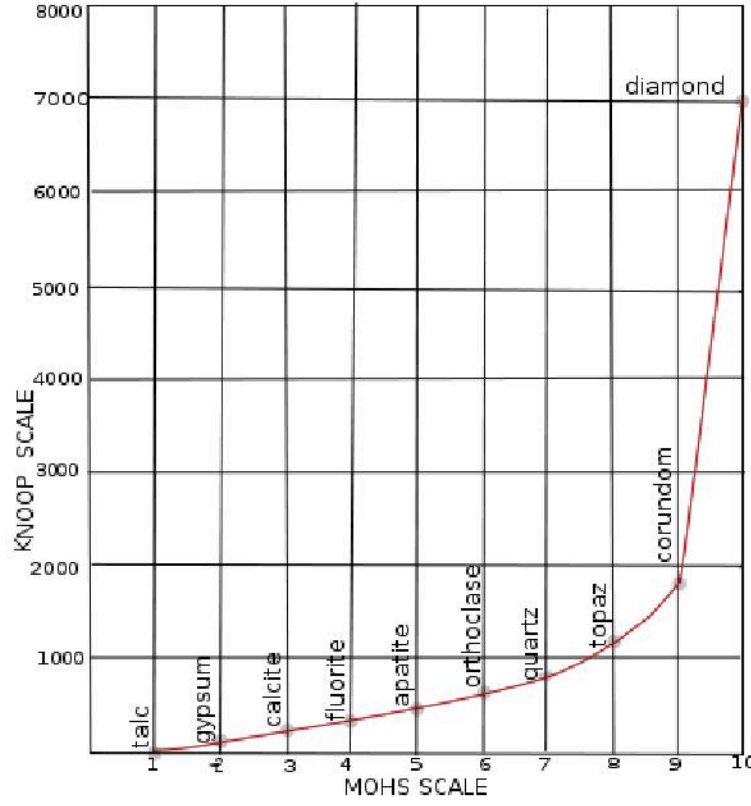
L = Çentiğin uzun köşegeninin uzunluğu

C_p = Çentiğin şekline bağlı düzeltme faktörü, ideal olarak = 0.070279

P = Kullanılan yük'tür.

Knoop sertlik testinde sadece uzun köşegen ölçülür ve hesaplamalar için kullanılır.

Fikir vermesi açısında mohs sertlik cetveli ile Knoop sertlik değerlerinin kıyaslamasını gösteren grafik Şekil 3.'te görülmektedir.



Şekil 3. Mohs sertlik cetveli ile Knoop sertlik değerleri kıyaslaması (6)

3. Vickers ile Knoop sertlik testlerinin kıyaslanması

- ✓ Vickers testinde elmas uę Knoop testine göre 2 kat daha fazla numune yüzeyine batar.
- ✓ Vickers testinde oluşan Şeklin köşegen uzunluğu Knoop testinde oluşan Şeklin uzun kenarının yaklaşık 1/3' kadardır.
- ✓ Vickers testi yüzey zelliklerine Knoop testine göre daha az duyarlıdır.
- ✓ Vickers testi lęm hatalarına Knoop testine göre daha hassastır.
- ✓ Vickers testi küçük dairesel alanlarda, Knoop testi ise küçük yayvan alanlarda daha iyi sonuęlar verir.
- ✓ Knoop testi çok sert ve kırılğan malzemeler ile çok ince kesitlerde iyi performans gösterir (6).

Denevin Yapılısı:

Mikro-sertlik deneyi bölümümüzde bulunan Shimadzu marka Vickers sertlik ölçüm cihazı ile yapılmaktadır. Bu deneyde numunenin hazırlanması kısmı deneyin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için azami önem taşımakta olduğundan Vickers sertlik testi yapmadan önce aşamalı olarak numune kesme ve parlatma işlemleri yapılmalıdır. Bu sebeple numune hazırlanması ve deneyi birlikte ele almak gereklidir.

1. Numune Kesme İşlemi

Numuneler eldeki malzemelerin boyutuna göre uygun görülen ve/veya imkân dâhilinde olduğu kadar şekil ve büyüklükte Metkon Metacut-250 markalı numune hazırlama (kesme) cihazında kesilir (Şekil 4). Numune kesme işlemi sırasında özellikle dikkat edilmesi gerekenler, eldeki numune miktarına ve boyutuna bağlı olarak yapılacak deneylerin tamamını (farklı deneylerde yapılacaksa) yapmaya imkân sağlayacak büyüklükte, özellikle alt ve üst yüzeyi mümkün olduğunca pürüzsüz numuneler kesmektir. Numune kesme işleminin önemi özellikle takip eden parlatma aşamasındaki kaliteyi artırma, düzlüğü ve pürüzlülüğü sıkıntılı numunelerin düzeltilmesi için gerekli zamanın artmaması, numune yüzeylerinde oluşabilecek çıkıntı, sivri uçlar vb. gibi olumsuzlukların parlatma cihazının keşesine verebileceği zararları elemine edebilmek gibi sebeplerden dolayı oldukça önemlidir. Ayrıca numune kesme işlemi esnasında kesici testerenin soğutma suyu/sıvısının açık olduğuna, kapalı devre çalışan cihazlarda soğutma sıvısı filtre sisteminin tıkanık olmadığına ve katkı maddeli soğutma sıvısı kullanılıyor ise gerekli oranda kimyasal katkının (bor, çeşitli yağlar ve kimyasal katkıları vb.) sıvı içerisinde bulunduğuna, kesim yapılacak numunenin doğru bir şekilde yerleştirildiğine ve sıkıştırıldığına, özellikle de parça kopması gibi durumların meydana getirebileceği yaralanmalardan kaçınmak için başta gözlük olmak üzere koruyucu ekipmanların kullanımına dikkat etmek gereklidir.



Şekil 4. Metkon Metacut-250 Numune Hazırlama (Kesme) Cihazı

2. Numune Parlatma İşlemi

Knoop ve Vickers Mikro-sertlik deneylerinde numunelerin parlaklığı deneyin yürütülebilmesi için gereklidir. Buradaki parlaklık normal hayattaki herhangi bir eşyanın parlaklığından ziyade numunenin mikroskopta rahatlıkla görülebilmesini ve varsa içindeki minerallerin ayırt edilebilmesini sağlayacak minerolojik bir terimdir. Işık varlığında parlamaya elverişli bazı metaller, mineraller ve bu tip mineralleri barındıran granit gibi kayalar gözle bakıldığında parlak gibi gözüksün de mikro-sertlik testi sırasında deneyin yapılabilmesini sağlayacak derecede parlak olmayabilirler. Buradaki parlaklık kriteri numunenin deney sonrası ölçüm sırasında piramit şeklinde oluşması beklenen şeklin görülebilmesini sağlayacak düzeyde olmasıdır. Numune parlatma işlemi en doğru şekliyle (özellikle minerolojik incelemelerde) kademeli olarak farklı keçelerin ve aşındırıcı taneler barındıran solüsyonların kullanıldığı Metkon marka parlatma cihazında kaba parlatmadan ince parlatmaya doğru kademeli olarak yapılmalıdır (Şekil 5). Böylelikle parlatma esnasında aşındırıcıların numune yüzeyinde oluşturabileceği mikron boyutundaki çukurlaşma ve çiziklerin önüne geçilmeye çalışılmaktadır. Fakat mikro –sertlik gibi fiziksel dayanımın tespit edildiği bir deneyde zamandan tasarruf etmek için kademe sayısı azaltılabildiği gibi Al_2O_3 tozu suyla karıştırılarak istenen yoğunlukta bir solüsyon hazırlanmak suretiyle de yapılabilir.



Şekil 5. Metkon Numune Parlatma Cihazı

3. Mikro-sertlik Ölçüm İşlemi

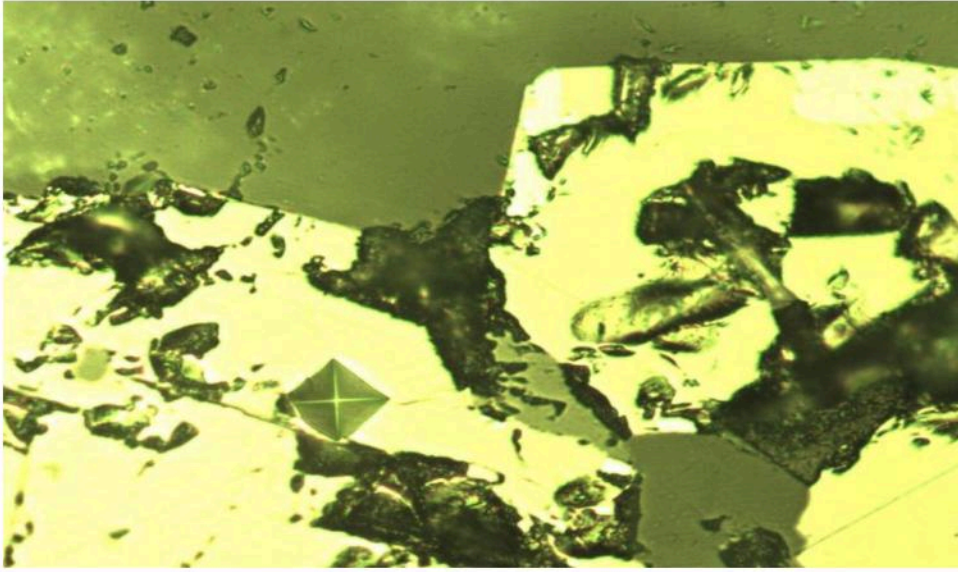
Mikro-sertlik deneyi için bölümümüzde bulunan Shimadzu marka cihaz kullanılmaktadır (Şekil 6). Bu deneyde mikro-sertlik tespiti için Vickers sertlik testi ölçümleri yapılacak ve Vickers formülü kullanılarak sertlik değeri elde edilecektir.



Şekil 6. Shimadzu marka mikro-sertlik cihazı

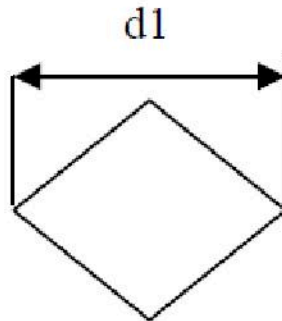
Ölçüm işlemine başlamak için öncelikle 20X büyütme merceği ile malzemenin netliği cihazın yan tarafında bulunan kol yardımıyla tablayı yukarı veya aşağı hareket ettirip netlik sağlanır. " L+ " ve " L- " tuşlarına basarak ışığın şiddeti artırılabilir ve azaltılabilir. Netlik ayarlandıktan sonra mikroskop bölümünde bulunan sol taraftaki mikrometre vasıtasıyla malzemenin üzerinde birbirine paralel 2 çizgiyi üst üste getirerek " CLR " tuşu ile d1 sıfırlanır. Mikroskoptan bakıldığında malzemenin üzerinde beliren + işareti, mikroskobun sağ tarafında bulunan mikrometre üzerindeki çentik işaretinin çizgiyle birleşmesi yardımıyla sıfırlama işlemi yapılır. Bu işaret ucun malzeme üzerinde nereye geleceğini gösterir. Bu işlemlerin sonucunda merceklerin ve ucun bulunduğu döner mekanizma (Taret) + yönünde çevrilerek ucun malzeme üzerine gelmesi sağlanır. " START " tuşuna basılarak ucun malzeme üzerine batması sağlanır. Bu sırada " Loading " yazısının ışığı yanacaktır. Uç

malzemeye battığında bekleme süresi başlayacaktır. " **Dwell** " ışığı yanar. Belirlenen süre içinde uç malzeme üzerinde duracaktır. Süre sonunda uç malzeme üzerinden kalkacaktır. Bu sırada ekranda " **Unloading** " ışığı yanacaktır. Bu işlemin sonucunda sesli uyarı ile bize işlemin bittiği belirtilecektir. Bu işlemin devamında ölçüm işlemini yapmak için 40X büyütme merceğini taretı yönünde çevirerek malzeme üzerine getirilir. Cihazın yan tarafında bulunan kol yardımıyla tablayı yukarı veya aşağı hareket ettirip netlik sağlanır. Mikroskoptan bakıldığında Şekil 7'deki gibi baklava dilimi şeklinde bir iz görülecek. Bu izin köşegenlerinin ölçüsü (d_1 ve d_2) alındığında sonuç olarak malzemenin sertliğini verecektir.



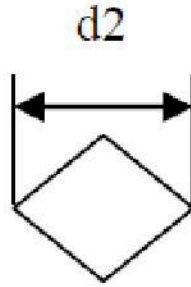
Şekil 7. Yük uygulaması sonucu numune üzerinde oluşan baklava dilimi şekli (12)

d_1 için iki paralel çizgiyi çıkan şeklin sağ tarafındaki ucuna getirerek mikrometre ile çizgilerin arası açılır. Böylelikle çizgiler malzemenin uçlarına getirilmiş olur. Paralel çizgiler arasındaki mesafe, izin uçları arasındaki uzunluğunu gösterir. Mikroskopta bulunan küçük düğme ayarlanan mesafe onaylanır.



Daha sonra d_2 için mikroskop 90° döndürülür ve oluşan izin diğer tarafının ölçüsünün alınması için hassas bir şekilde paralel çizgiler sağ köşeye getirildikten sonra mikrometre vasıtasıyla çizgilerin arası açılarak köşelerde olması sağlanır.

Çizgiler arası mesafe, ölçüm işleminin sonucunu vereceği için oldukça hassas ayarlama yapılmalıdır. Bu işlemin sonucunda mikroskop ta bulunan onaylama tuşu ile d2 boyutu belirlenir.

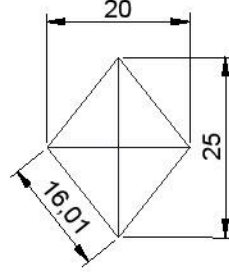


Bu belirlemenin sonucunda ekranda ölçülen sertlik skalasında sonuç belirlenir. İlk ölçümden sonra paralel çizgileri sıfırlamaya gerek yoktur. Tüm ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra cihaz literatür kısmında verilen formülasyonu otomatik olarak işletir ve ekranında hesaplanmış Vickers sertlik değerini verir. Hesaplamaları otomatik yapmayan cihazların kullanılması durumu ve kontrol hesabı yapabilmek için ilerleyen kısımda örnek bir soru çözümünüyle birlikte verilmiştir.

Shimadzu Mikro-sertlik ölçüm cihazı ile ilgili özellikle dikkat edilmesi gereken hususlar :

- ✓ Cihaz düzgün bir zeminde sabitlenerek teraziye alınmalı.
- ✓ Yükler takılı iken asla taşınmamak.
- ✓ Elektrik bağlantısı doğru bir şekilde yapılmalı
- ✓ Elmas uç asla zedelenmemeli.
- ✓ Ölçüm esnasında asla malzeme ve cihazda oynama yapılmamalı.
- ✓ Cihazın üst kapağındaki sabitleyici vidalar çıkarılmalı.
- ✓ Yük kolu doğru bir şekilde ayarlanmalı. Uygun yük seçilmeli.
- ✓ Tabla yerine tam oturtulmalı.
- ✓ Merceklerin ve ucun bulunduğu kısım (Taret) düzgün çevrilmeli. Zorlama yapılmamalı.
- ✓ Malzeme yüzeyinin temiz ve pürüzsüz olmaması gerekir.

Örnek soru: Numune üzerine 150 gr yükleme yapıldığında oluşan şekil ve şekle ait uzunluklar (mikron) aşağıda verilmiştir. Buna göre sertlik değeri hesaplanmak istenen noktanın Vickers Sertlik değerini bulunuz.



$VSD = 1,8544 \times \frac{F}{D^2}$, $D = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$, F= Uygulanan Kuvvet = kg, d_1 = Birinci Köşegen (mm), d_2 = İkinci Köşegen uzunluğu (mm)

Gerekli birim çevirmeler yapıldıktan sonra,

$$VSD = 1,8544 \times \frac{F}{\left(\frac{d_1+d_2}{2}\right)^2} = 1,8544 \times \frac{0,15}{\left(\frac{0,02+0,025}{2}\right)^2} = 549,45 \sim 550 \text{ kgf/mm}^2$$

Deney Raporu Soruları:

1. Mikro-sertlik deneyinin yapılışını numune hazırlama evrelerine de değinerek kendi cümlelerinizle anlatınız.
2. Gerek numune hazırlama gerekse de Mikro-sertlik deneyi sırasında özellikle dikkat edilmesi gereken hususları sebepleri ile irdeleyiniz.
3. Hesaplamalara örnek olması için yukarıda verilen soruyu yükleme miktarını öğrenci numaranızın son iki hanesini 100 ilave ederek çöztünüz (Örneğin numarasının son iki hanesi 24 olan birisi yük olarak 124 gr kullanacaktır).
4. Mikro-sertlik değerinin madencilikteki uygulamalarını araştırarak örnekler veriniz ve size göre muhtemel faydalarını sıralayınız.

Not 1: Raporlarınızı elle yada bilgisayarla yazabilirsiniz. Raporlarınızı yazarken bu bilgi föyü ve/veya başka kaynaklardan yararlanabilirsiniz fakat kesinlikle kendi anlatımınız/cümleleriniz ile yazınız. Aynı yazılan raporlar '0' olacaktır. Aynı kaynağı kullanmak bir mazeret değildir.

Not 2: Deney gününü takip eden Salı saat: 13:00-15:00 arası yapmış olduğunuz raporları göstererek eksikliklerini sorabilirsiniz.

Not 3: Raporlarınızı son teslim tarihi deneyin yapıldığı günden bir hafta sonraki Cuma günüdür. GEÇ GELEN RAPORLAR KESİNLİKLE KABUL EDİLMEYECEKTİR.

Kaynaklar:

1. Meyers and Chawla (1999): "Mechanical Behavior of Materials", 162–168.
2. Smith R.L. & Sandland G.E., "An Accurate Method of Determining the Hardness of Metals, with Particular Reference to Those of a High Degree of Hardness," [Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers](#), Vol. I, 1922, p 623–641
3. <http://www.ukcalibrations.co.uk/vickers.htm.html>
4. ASTM E384-10e2 , ASTM E384: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials
5. The test was developed by Frederick Knoop^[2] and colleagues at the National Bureau of Standards (now [NIST](#)) of the [USA](#) in 1939, and is defined by the [ASTM](#) E384 standard.
6. <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/microhardness.htm>
7. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kilogram-kuvvet>
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Indentation_hardness
9. http://en.wikipedia.org/wiki/Vickers_hardness_test#cite_ref-3
10. Xie J., Tamaki, J. Parameterization of micro-hardness distribution in granite related to abrasive machining performance. [J. Mater. Process. Technology](#) 2007; 186: 253-258
11. Delgado N. S., Rodriguez-Rey A., Suarez del Rio L. M., Sarria I.D., Calleja L., Ruiz de Argandona V. G., The influence of rock microhardness on the sawability of Pink Porrino granite (Spain). [International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences](#) 2005; 42-1: 161-166
12. İnal S., Aşındırıcı Katkılı Su Jeti İle Kesmede Çalışma Parametreleri ve Kayaç Özelliklerinin Kesme Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011