

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2024-2025 BAHAR DÖNEMİ
MADEN İŞLETME LABORATUVARI-II DERSİ
MİKRO-SERTLİK DENEYİ

TALİMATLAR

- Dairesel testereyi kullanarak, deney yapılacak olan kayaç örneğinden küçük bir numune hazırlayın,
- Hazırlanan küçük numunenin iki yüzeyini de aşındırarak temizleyip düzleştirin,
- Düzleştirilen yüzeylerden ölçümün yapılacağı yüzeyi parlatın,
- Parlatılan numuneyi Vickers mikro-sertlik aletinde numuneye uygun – Bu deney için 1 kg (9,81 N) - yük altında yükleyin,
- Yükleme sonrasında oluşan oyuğun köşegenlerini ölçün,
- Alınan ölçümleri kullanarak, formül yardımı ile kayacın Vickers sertliğini bulun,
- Hata payını azaltmak için aynı işlemi, aynı numune üzerinde en az 10 kez tekrarlayın,
- Daha sonra numuneyi ilerideki araştırmalar için kayıt altına alarak saklayın.

STANDARTLAR

- Vickers mikrosertlik deneyinde ASTM E384-17 (2017) [1] standartları kullanılmaktadır.

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.

Ders Koordinatörü: Arş. Gör. Dr. Melek Hanım BEŞER
Deney Sorumlusu: Dr. Öğr. Üyesi Serkan İNAL
TRABZON - 2025

Literatür Bilgisi: Mikro-sertlik deneyleri görece pratik olması sebebiyle tercih edilen mikroskobik boyuttaki mesafelerdeki sertlik değişimlerini gözlemlemek için kullanılmaktadır. Mikro-sertlik değeri, kayaçların delinebilirlik [2] ve kesilebilirlik [3,4] tayininde dolaylı yaklaşımların oluşturulması, Mohs sertliğine göre daha hassas olduğu düşüncesi ile mermerlerin sınıflandırılması [5], kesici uçların sertliklerinin belirlenmesi [6] gibi çeşitli amaçlarla belirlenmektedir. 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)

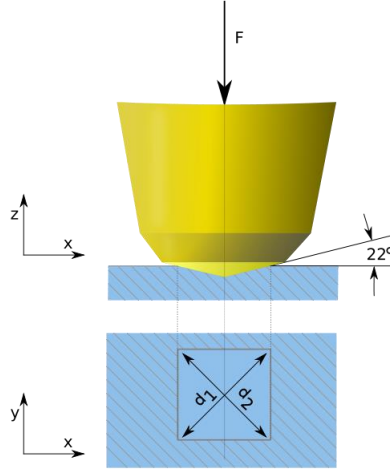
testleridir.

Her iki test tipinde de mikro-sertlik değeri numune üzerinde oluşan çentiğe göre belirlenir ve sertlik değeri kgf/mm^2 (kg-kuvvet/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) kısalmasından 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 [9].

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 [10]. Vickers sertlik testi, sertliğin hesaplanmasında kullanılan denklemin çentik oluşturan ya da bir diğer değişle 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 sertliği yüksek malzemelerde yüksek yüklemeler, sertliği düşük malzemelerde ise daha küçük yüklerin seçilmesi ölçme işleminin 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 [11] (Şekil 1).



Şekil 1. Vickers Sertlik Testi Şematik Görünümü [12]

Deneyin temeline 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,

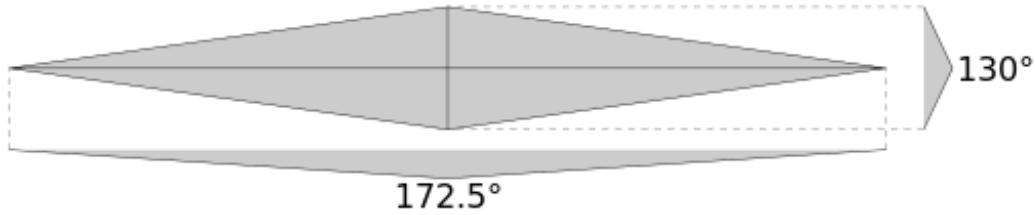
$$HV = \frac{F}{A} \approx \frac{1.8544F}{d^2}$$

şeklini alır. Buradaki F değeri kgf ve d^2 ise mm^2 birimine sahiptir [1].

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/basınç dayanımı vb. 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 (Şekil 2). Yaklaşık olarak oluşan çentiğin derinliğinin uzunluğuna oranı 1/30 civarındadır.



Şekil 2. Knoop sertlik testi elmas uç temas açısı görüntüsü [14]

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:

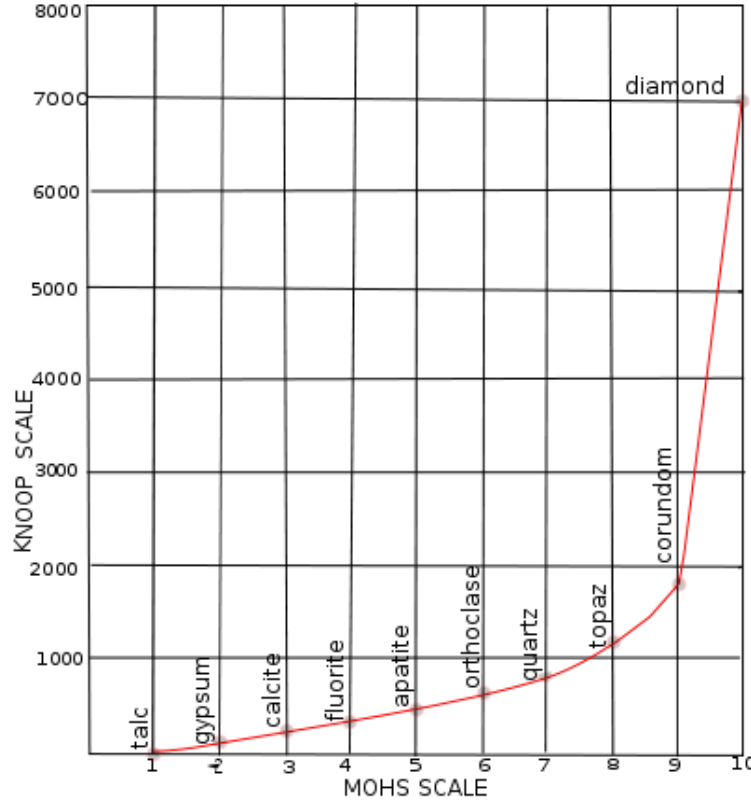
L = Çentiğin uzun köşegeninin uzunluğu

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 açısından mohs sertlik cetveli ile Knoop sertlik değerlerinin kıyaslamasını gösteren grafik Şekil 3.'te görülmektedir.



Şekil 3. Mohs sertlik cetveli ile Knoop sertlik değerleri kıyaslaması [14]

3. Vickers ile Knoop sertlik testlerinin kıyaslanması

- ✓ Vickers testinde elmas uç 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'ü kadardır.
- ✓ Vickers testi yüzey özelliklerine Knoop testine göre daha az duyarlıdır.
- ✓ Vickers testi ölçüm hatalarına Knoop testine göre daha hassastır.
- ✓ Vickers testi küçük dairesel alanlarda, Knoop testi ise küçük yayvan alanlarda daha iyi sonuçlar verir.
- ✓ Knoop testi çok sert ve kırılgan malzemeler ile çok ince kesitlerde iyi performans gösterir [14].

Denevin Yapılışı:

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 hazırlama sürecini ve vickers mikro-sertlik deneyini 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 keçasine 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, 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 dikkat edilmelidir. Bununla birlikte eğer kapaklı ve korumalı cihazlar kullanılmıyor ise; kesim sırasında parça kopması ve kopan parçanın fırlaması ihtimali düşünülerek asgari olarak koruyucu gözlük olmak üzere tercihen koruyucu siper/maske kullanılmalıdır. İlaveten ise kapaksız-emniyet kilitsiz makinelerde dikkat dağınıklığı ve/veya numunenin hazneye sığmayarak elle tutulmasıyla kesimin gerçekleştirilmesi gibi durumlarda testereye temas ihtimali olduğundan çelik kesilmez eldiven kullanılmalıdır.



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

Ders Koordinatörü: Arş. Gör. Dr. Melek Hanım BEŞER
Deney Sorumlusu: Dr. Öğr. Üyesi Serkan İNAL
TRABZON - 2025

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 kayaçlar gözle bakıldığında parlak gibi gözükse 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 farklı boyutta aşındırıcı taneler veya Al_2O_3 tozu ile karıştırılan su ile elde edilen solüsyonların kullanıldığı cihazlar ile 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 azaltılabilir.



Şekil 5. Metkon Numune Parlatma Cihazı

3. Mikro-sertlik Ölçüm İşlemi

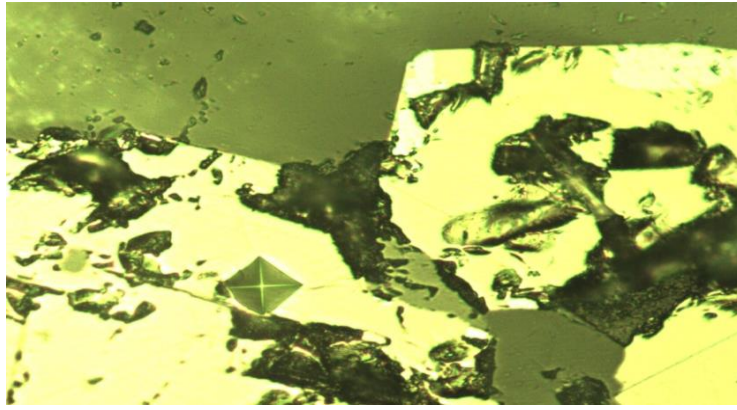
Mikro-sertlik deneyi için bölümümüzde bulunan Shimadzu marka cihaz kullanılmaktadır (Şekil 6). Bu deneyde mikro-sertlik tespiti için Vickers sertlik testi ölçümleri yapılacak ve Vickers formülü kullanılarak sertlik değeri elde edilecektir.



Şekil 6. Shimadzu marka mikro-sertlik cihazı

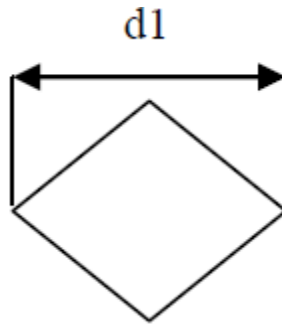
Ölçüm işlemine başlamak için öncelikle 20X büyütme merceği ile malzemenin yüzeyini görüş netliği cihazın yan tarafında bulunan kol yardımıyla tablayı yukarı veya aşağı hareket ettirilerek sağlanır. " L+ " ve " L- " tuşlarına basarak ışığın şiddeti artırılabilir ve azaltılabilir. Netlik ayarlandıktan 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. Malzemeye uygun yük seçimi yapılarak " START " tuşuna basılıp

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 (d1 ve d2) alındığında formül yardımı ile malzemenin vickers sertlik değeri cihaz yazılımında otomatik hesaplanarak ekranda gözükecektir.



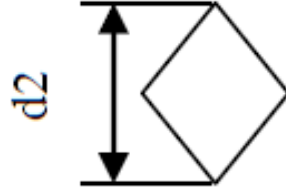
Şekil 7. Yük uygulaması sonucu numune üzerinde oluşan baklava dilimi şekli [15]

d1 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. Oküler/Göz merceği kısmının yanında bulunan küçük düğmeye basılarak ayarlanan mesafe onaylanır.



Daha sonra d2 için oküler/göz merceği 90° döndürülür ve oluşan izin diğer tarafının ölçüsünün alınması için hassas bir şekilde paralel çizgiler üst 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.

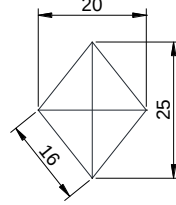


Bu belirlemenin sonucunda ekranda ölçülen sertlik skalasında sonuç belirlenir. İlk ölçümden sonra paralel çizgileri sıfırlamaya gerek yoktur. Tüm ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra cihaz literatür kısmında verilen formülasyonu otomatik olarak işletir ve ekranında hesaplanmış Vickers sertlik değerini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

$$VSD = 1,8544 \times \frac{F}{\left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2} = 1,8544 \times \frac{0,15}{\left(\frac{0,020 + 0,025}{2}\right)^2} = 556,32 \sim 556 \text{ kgf/mm}^2$$

Deney Raporu Soruları:

1. Hesaplamalara örnek olması için yukarıda verilen soruyu yükleme miktarını öğrenci numaranızın son iki hanesini 100 ilave ederek çözünüz (Örneğin numarasının son iki hanesi 24 olan birisi yük olarak 124 gr kullanacaktır).
2. Mikro-sertlik değerinin madencilikteki uygulamalarını araştırarak örnekler veriniz (**Föyde bulunmayan kaynak olmalıdır**) ve size göre muhtemel faydalarını sıralayınız.

Not 1: Aynı yazılan raporlar **kesinlikle** ‘0’ alacaktır. Aynı kaynağı kullanmak bir mazeret değildir.

Not 2: Raporlarınızı **9 Mayıs Cuma günü 17:00’a** kadar **bırakabilirsiniz**. Lütfen raporlarınızı **sekreterlikte bulunan bana ait göze bırakınız**. Daha sonra verilen raporlar -resmi olarak kabul gören gerekçeler dışındaki mazeretler öne sürülmesi durumunda- **kabul edilmeyecektir**.

Kaynaklar:

1. ASTM E384-17, Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org , Eriřim: 16.04.2019
2. Kılıç E., Mineral İçeriğine ve Yoğunluğuna Göre Magmatik Derinlik Kayaçlarının Düz Dolaşımli Döner ve Darbeli Sondaj Yöntemleriyle Delinebilirlik Oranının Değerlendirilmesi, International Journal of Scientific and Technological Research 2017; 3-8: 6-16
3. Xie J., Tamaki, J. Parameterization of Micro-hardness Distribution in Granite Related to Abrasive Machining Performance. J. Mater. Process. Technology, 2007; 186: 253-258
4. 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
5. Çelik M.Y., Yeşilkaya L., Ersoy M., Turgut T., Karbonat Kökenli Doğal taşlarda Tane Boyu İle Knoop Sertlik Değeri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, Madencilik 2011; 50-7: 29-40
6. Teymen A., Bazı Kayaçların Petrografik, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005
7. <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kilogram-kuvvet>, Eriřim: 16.04.2019
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Indentation_hardness, Eriřim: 16.04.2019
9. Meyers and Chawla., "Mechanical Behavior of Materials",1999, 162–168.
10. 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
11. http://www.ukcalibrations.co.uk/vickers_htm.html, Eriřim: 01.02. 2016
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Vickers_hardness_test#cite_ref-3, Eriřim: 16.04.2019
13. F. Knoop, C.G. Peters and W.B. Emerson "A Sensitive Pyramidal-Diamond Tool for Indentation Measurements" Journal of Research of the National Bureau of Standards, 1939, 23 (1): 39–61
14. <http://www.gordonengland.co.uk/hardness/microhardness.htm>, Eriřim: 01.02.2016
15. 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