

MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Malzeme, mühendisin yapmış olduğu tasarımı gerçekleştirebilmesi için kullanmış olduğu maddelerdir. Mühendis, tasarlamış olduğu yapıyı gerçekleştirebilmek için değişik özelliklerdeki malzemeye gereksinim duyar. Her bir mühendislik dalı için farklı malzemeler önem kazanmaktadır. Mühendislerin, malzemelerden beklediği önemli özellikler şunlardır:

- Gerilmelere karşı dayanıklı olması,
- Aşındırıcı etkilere karşı dayanıklı olması,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklı olması,
- Hafif olması,
- Elektrik ve ısı iletkenliğinin iyi olması, bazı durumlarda kötü olması,
- Üretilebilir ve şekillendirilebilir olması.

Mühendisin, kullanacağı malzemeyi seçebilmesi, ölçülerini ömrünü belirleyebilmesi için malzemeleri ve özelliklerini çok iyi bilmesi gerekir. Mal ve can kaybına sebep olan mekanik hasarların çoğu, mühendislerin yeterli malzeme bilgisine sahip olmamasından kaynaklanmaktadır.

Malzemeler kullanıldığı yerde ve kendisine muhtelif şekillerde etkileyen çeşitli zorlamalara dayanmak mecburiyetindedir. Zira böyle bir durumun olmaması o malzemeyi kullanarak yapılan yapının kısmen ve tamamen yıkılması demektir. Başka bir deyişle yapının maruz kaldığı yük ve kuvvetlere karşı koyması, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri sayesinde olmaktadır. Yapı malzemesinde mekanik özellikler son derece önemlidir ve değişik değerler alır. Bunlardan ilki; zorlama şeklinin etkisidir, zorlama şeklinin değişmesiyle aynı malzemenin özellikleri değişik değerler alır. Diğer; değişik malzemenin bulunmasıdır; ayrı bir zorlama şekli için mekanik özellikler malzemenin malzemeye değişir. Malzemenin mekanik özellikleri arasında; mukavemet halleri, sünek malzeme, kırılma malzeme, malzemenin kırılma şekilleri, kayma kuvvetleri, burulma ve eğilme zorlamaları altında malzemenin durumu, cisimlerin sünmesi, cisimlerin yorulması, malzemenin sertliği, malzemenin aşınması, malzemenin deformasyonu ve kırılması gibi özellikler yer almaktadır.

Şimdi bunları açıklayalım:

MUKAVEMET HALLERİ

Yapılarda kullanılan malzemeler muhtelif şekilde etki yapan dış kuvvetlere maruz kalmaktadır. Malzeme bu kuvvetlere mukavemet edebilmeli (dayanmalı), dış kuvvetlerin etkisiyle kırılmamalı, veya parçalanmamalıdır. Malzemenin herhangi bir şekilde dış kuvvetlerin etkisine mukavemet edebilmesi o malzemenin kullanıldığı yapının kısmen ve tamamen yıkılmasına sebep olur. Malzemenin dış kuvvetlere karşı mukavemet edebilmesi, cismi teşkil eden atomların yayılış tarzına, bunların arasındaki bağlantı kuvvetlerine ve cismin yapısı ile ilgili diğer özelliklere bağlı olarak değişir. Bu özellik diğer yandan dış kuvvetlerin etkilerinin değişmesi ile de farklılıklar gösterebilir.

Mekanik mukavemet hallerinin başında, basit mukavemet halleri denilen basınç, çekme ve makaslama mukavemetleri gelir. Bu mukavemet hallerinde cisim tek eksenli gerilme halinde bulunur. Yapılarda tek eksenli gerilmeye maruz yapı elementinin veya yapı malzemesinin kesit ve boyutlarını hesaplamak için malzemenin basınç, çekme ve makaslama mukavemetlerinin bilinmesi gerekmektedir.

1. Sünek Malzeme, Kırılğan Malzeme ve Malzemenin Kırılma Şekilleri

1.1. Sünek Malzeme:

İlk önce, cismin belirli bir sınıra kadar elastik modülü vardır. Sünek malzemenin herhangi bir arıza göstermeden ve kopmadan normal sıcaklıkta (20 °C civarında) önemli miktarda deformasyon yapma kabiliyeti vardır.

Deformasyon: Bir çubuğa kuvvet uygulanmasıyla o çubuktaki birbirine teğet atomların yer değiştirmesi olarak tarif edebiliriz. Deformasyon işi: Bir çubuğa kuvvet uygulanmasıyla deformasyonunun vuku bulması sonunda meydana gelen işe deformasyon işi denir. Bu şekilde malzemeye istenilen özellik verilebilir. Böyle bir malzemenin kullanılması pratik bakımından son derece önemli faydalar sağlar. Bir cismin süneklilik özelliği en iyi bir şekilde, toplam kopma uzaması ve striksiyon oranı ile belirtilir. Bu iki karakteristik ne kadar büyük değerler alıyorsa bu özellik cisimlerde o kadar yüksektir. Sünek malzeme uzayabilme kabiliyetine sahip olduğundan, yapacağı deformasyon işi büyük bir değer almakta ve böylelikle esneme etkisiyle kırılmamakta, yani mukavemetini kaybetmemektedir.

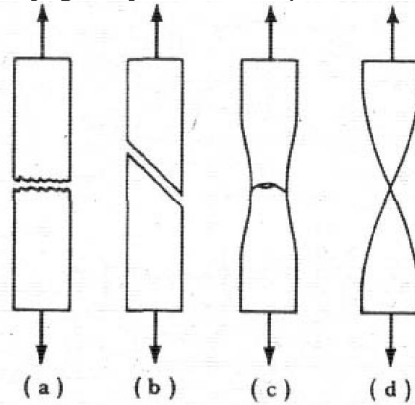
1.2. Kırılğan Malzeme:

Bazı malzemeler plastik deformasyon yapmadan mukavemetini kaybeder, diğer bir kısmı ise pek az plastik deformasyon yaptıktan sonra kopar. İşte bu şekilde gayet az miktarda deformasyon yapma kabiliyetine sahip olan malzemelere kırılğan malzeme denir. Deformasyon kabiliyetinin az olmasından dolayı kırılğan malzemeye, normal sıcaklıkta istenilen şekil verilemez ama sünek malzemelerde istenilen şeklin verilmesi mümkündür.

1.2.1. Malzemenin Kırılma Biçimleri:

Malzemenin kırılma veya mukavemetini kaybetme; malzemenin tahrip olarak, parçalara ayrılması ve bu suretle maruz kalacağı yükleri emniyetle kaldırma kabiliyetini tamamen kaybetmesi demektir. Kırılmanın sebebi ve mekanizması henüz tam manasıyla anlaşılmaş değildir. Kırılmada önemli rol oynayan iki türlü mukavemet bahis konusudur. Bunlardan ilki; kayma mukavemetidir ki kristalleri teşkil eden atomlardan bir kısmının diğer kısma göre kaymasını önler. Diğeri kohezyon mukavemeti olup atomların birbirinden uzaklaşmasına engel olmaya çalışır. Bu iki mukavemetten hangisi daha küçük ise cismin o mukavemetin sona ermesi ile malzeme kırılır.

İç veya dış çatlama sonucunda malzeme ayrılması kırılma olarak adlandırılır. Kırılma, sünek ve gevrek olmak üzere ikiye ayrılır. Aşağıda çekme deneyindeki kırılma biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Çekme deneyinde kırılma tipleri

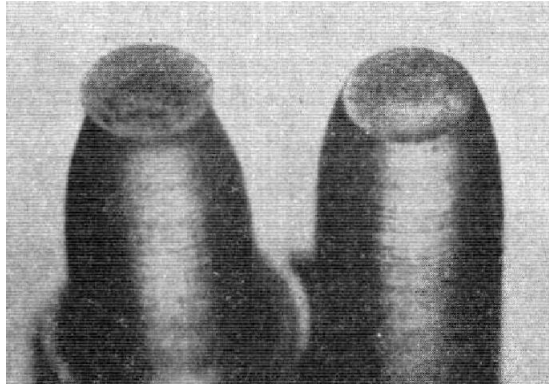
- Çok kristalli metallerde gevrek kırılma,
- Sünek tek kristallerde kayma kırılması,
- Çok kristalli metallerde sünek çanak-koni tipi kırılma,
- Çok kristalli metallerde tam sünek kırılma (kesit daralması % 100)

1.2.1.1. Gevrek kırılma

Gevrek kırılmada malzeme, çok az plastik şekil değiştirdikten sonra veya hiç plastik şekil değiştirmeden iki veya daha çok parçaya ayrılır. Çekme deneyinde bu ayrılma genellikle ayrılma düzlemleri boyunca oluşur. Ayrılma, normal gerilmenin maksimum olduğu kristal düzlemleri boyunca meydana gelir. Çekmeye zorlanan çok kristalli bir metalde, gevrek kırılma yüzeyi makroskopik olarak çekme gerilmesine diktir ve çatlağın taneden taneye yayılması sırasında ayrılma düzlemlerinin doğrultusu değiştiği için de parlak taneli bir görünüme sahiptir. Genel olarak düşük sıcaklık ve yüksek şekil değiştirme hızı, özellikle bazı sıkı düzen hegzagonal ve birçok hacim merkezli kübik metalde, gevrek kırılmayı teşvik eden faktörlerdir. Gerilme hali de kırılma tipine etki eder (örneğin hidrostatik basınç sünekliği artırır). Yüzey merkezli kübik metaller genellikle gevrek kırılmazlar. Buna karşılık hacim merkezli kübik ve bazı sıkı düzen hegzagonal metallerde ayrılma kırılması görülür.

1.2.1.2. Sünek kırılma

Sünek kırılma belli bir miktar plastik şekil değişiminden sonra oluşur. Sünek malzemelerin gerilme-gerinim eğrileri altındaki alan büyüktür yani sünek kırılma gevrek kırılmaya kıyasla oldukça büyük enerji yutar. Altın ve kurşun gibi çok sünek malzemelerin çekme deneyinde, kopmadan önce, büzülen kesitin çok küçülmesine ve hemen hemen bir noktaya dönüşmesine karşılık çoğunlukla kesit belirli bir değere düşünce kopma olur Sünek kırılma genellikle kayma gerilmesinin maksimum olduğu düzlemler boyunca oluşur. Sünek kırılmalarda oluşan kırılmaya şeklinden dolayı çanak-koni tipi kırılma denir Kırılma yüzeyinin kenarlarındaki ve çekme doğrultusuyla 45° açı yapan yüzeye de kayma yanakları adı verilir. Oksit, sülfür, karbür, silikat gibi bileşikler olan kalıntılar metal ve alaşımlarda boşluk oluşumuna, dolayısıyla süneklik ve sünek kırılmaya negatif yönde etki ederler. Bu etki malzemelerin şekillendirilebilme kabiliyeti bakımından olumsuzdur. Benzer şekilde örneğin dökümde oluşan boşluk ve gözenekler de sünekliğin azalmasına yol açar. Çeliklerdeki mangan sülfür gibi yumuşak ve dolayısıyla kolay şekillendirilebilen kalıntılar şekil verme işlemini doğrudan engellemeyerek iş parçasının şekil değişimine uyarlar. Fakat bu kalıntılar daha sonra malzemenin kullanım özelliklerini etkilerler.



Şekil 2. Çekme deneyinde çanak-koni tipi kırılma (R.E. Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*, D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N.J., 1964. p. 555).

2. BURULMA VE EĞİLME ZORLAMALARI ALTINDA MALZEMENİN DURUMU:

Burulma etkisiyle meydana gelen gerilmeler, göz önünde tutulan noktanın kesit merkezine olan mesafesi ile doğrudan doğruya orantılıdır.

Deneyde kesiti dairesel olan A ucu ankastre olarak tespit edilmiş olsun. P kuvvetini uygulayalım. kesitin merkezi olan O noktasından (a) mesafesinde bulunan çift kuvvetler $P \cdot 2a = M_t$ burulma momentini meydana getirerek silindiri burulma etkisine bırakır. Burada $OD = Od = a$ dır. Deneyde gerekli tertibat alınarak bu P kuvvetlerinin eğilme etkilerinin meydana getirmesi önlenir.

Deneyde gerekli tertibat alınarak bu P kuvvetlerinin eğilme etkilerinin meydana getirmesi önlenir. Deneyde uygulanan P kuvvetiyle B noktası b noktasına gelir. Böyle bir deformasyon olmasına rağmen dairesel kesitler burulma esnasında yine aynı kalır. Buradaki Bob açısı burulma açısıdır, çubuğun birim uzunluğuna isabet eden açı miktarına Bob/1 oranına, prizmanın birim dönme açısı denir ve Q ile gösterilir. Bob = Q olur. Buradan Bob = $Q \cdot l \cdot r$ yazıla bilinir. Burada (r) kesitin yarı çapıdır. Eğilme zorlamalarında ise; malzemeye düşey kuvvetlerin etkisinde kalır. Basit eğilme ve dairesel eğilme denilen halde kesite herhangi bir kesme kuvveti etkilememektedir. Böyle bir durum simetrik yüklerin uygulanmasıyla iki kuvvet arasındaki giriş parçasında elde edilir.

2.1. Malzemelerin Sünmesi:

Bundan yetmiş sene evvel laboratuvarlarda ve şantiyelerde uzun süren mukavemet deneylerinin yapılması yoluna gidilmiştir. Bu deneylerde sabit ve belirli bir yük uzun süre devamlı olarak cisimlere uygulanmıştır. Bu şekil zorlama altında cisimlerin çok değişik mekanik özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Hakikatten genel olarak herhangi bir cisme bir kuvvet uygulanıp bunun uygulanmasına devam edilmesi halinde esas itibarıyla iki türlü deformasyon meydana gelmektedir. Bunlardan ilki kuvvetin uygulanması anında meydana gelen deformasyon ki buna ani deformasyon denir. İkinci tür deformasyon ani deformasyon meydana geldikten sonra başlayan ve zamanla birlikte artmakta olan geciken deformasyondur. İşte bu ikinci tip deformasyonun sünme denmektedir. Sünme sonunda meydana gelen deformasyon bazı nedenlerle veya bağ kuvvetleriyle vukuu bulunmaması cisim için bazı gerilmelerin doğmasına sebep olur veya gerilme yayılış değişmesine yol açar. Cisim malzemenin mukavemetinden küçük olmak üzere oldukça büyük bir gerilme etkisi altında devamlı bir şekilde bulunuyorsa sünmenin büyük değerler almasının bir sonucu olarak mukavemetini kaybedebilir. Buradan cisimlerden sürtünme mukavemeti olarak cisimlendirilecek yeni bir karakteristiğin varlığı ortaya çıkar. Depremlerin vukuu bulunmasında da sünme sonunda kırılmanın meydana gelmesi önemli rol oynamaktadır.

2.2. Malzemelerin Yorulması :

Hareketli yüklerin toplam yükün önemli bir oranını teşkil etmesi halinde yapılara değişken kuvvetler etkilemekte ve bunun sonucunda yapı elemanlarında değişken gerilmeler meydana gelmektedir. Bu durumda yapı elemanının herhangi bir kesitine ait bir noktasının σ_{max} ile σ_{min} arasında devamlı olarak değişken bir gerilme etkisi altında kalmasına yorulma olayı denir. Mühendislik işlerinde yorulma olayı ile sık sık karşımıza çıkan köprüler özellikle çelik köprü elemanları bu çeşit zorlamaların etkisi altındadır. Raylar her türlü nakil vasıta dingilileri uçak kanatları gövdesi ve diğer elemanları yorulmaya maruz kalmaktadır. Bu gibi hallerde malzemenin yorulma ile ilgili özellikleri göz önünde tutularak kesit hesapları yapılır. Yorulma konusunda tam anlamıyla bilimsel çalışmalara Wöhler tarafından başlanılmıştır. Dönel eğilme metodu ile yaptığı deneylerde bulduğu sonuçlara dayanarak Wöhler veya S-N denilen eğrilerle yorulma ile ilgili, malzeme karakteristiklerini tanımlamıştır.

Tekrarlı zorlamalar altında malzemenin mukavemeti azalır, çekme mukavemetinin çok altındaki gerilmeler kırılma oluşabilir. Buna neden olan yorulma olayıdır. Yorulma kırılması gevrek türde olduğundan nerede ne zaman olacağını kestirmek zordur. Geçmişte birçok kazalara neden olduğundan üzerine yoğun çalışmalar yapılmış ve halende yapılmaktadır. Bununla beraber çok

değişik etkenlerin rol oynadığı bu karışık olayı yakından tanımlamakla yorulma kırılmalarını önlemek mümkündür.

Yorulma kırılması yüzeyin ilginç bir görünüşü vardır. Yüzeyde çatlağın başladığı yorulma odağı ile onu çevreleyen midye kabuğunu andıran aynı merkezli eğriler ve bunların yanında taneli bir bölge görülür. Çatlak zamanla yavaş yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirine sürtünmesi sonucu yorulma kırılması yüzeyi parlak görünür. Çatak ilerleyip geri kalan dolu kesit normal yükü taşıyamaz hale gelince ani kırılma meydana gelir ve kırılma yüzeyi taneli görünüştedir.

Yorulma olayının nasıl oluştuğu tam olarak açıklanamamış olmakla beraber bu konuda bilinenler burada özetlenecektir. Yorulma genellikle iç yağda mevcut kusurlar civarında oluşan yerel gerilme yığılmalarından kaynaklanır. Bundan dolayı yorulma olayı iç yapıya çok bağlıdır. İç yapıda bulunan çatlak, çentik boşluk sert parçacık ve ani kesit değişimleri civarındaki gerilmeler ortalama gerilmelerden daha büyüktür. Bu gerilmeler etkisinde yerel plastik şekil değiştirme meydana gelir. Diğer taraftan başlangıçta hiçbir bozukluk içermeyen yüzeyi parlatılmış üniform kesitli bir metalde elastik sınır altında da dislokasyonlar yerel olarak hareket ederek kayma bantları oluştururlar. Bu bantlar da yüzeyde çıkıntılar ve çöküntülerin doğmasına dolayısıyla gerilme yığılmalarına neden olurlar. Bütün bu hallerde tekrarlı zorlamalar etkisiyle oluşan tersinir olmayan plastik şekil değiştirme sonucu malzeme pekleşir, gevrekliği artar ani yorulma kırılması meydana getirir. Yorulma çatlakları genellikle yüzeyde başlar ve içeriye doğru yayılır.

2.2.1. Yorulma Mukavemetine Etkiyen Etkenler

Yorulma mukavemetine etkiyen başlıca etkenler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Parçanın yüzey işleme kalitesi
- Sıcaklık
- Çevrenin kimyasal etkisi
- Frekans
- Gerilme koşulları

Gerilme koşulları sabit kaldığı zaman yukarıdaki ilk dört etkenin yaratacağı sonuçlar ayrı ayrı saptanabilir. Bunların yanında ayrıca gerilme koşulları da yorulma mukavemetine etkir. Özellikle çok eksenli gerilme hallerinin getireceği şekil değiştirme kısıtlamaları malzeme ömrünü arttırıcı yönde etkiler.

Yorulma çatlağı çoğu zaman yüzeyde başlayıp içeriye doğru yayıldığından yüzey işleme kalitesinin önemi büyüktür. Yüzeydeki pürüzler çentik etkisi yaparak çatlak oluşumunu kolaylaştırır. Yüzey işleme kalitesi arttıkça yorulma mukavemeti büyür.

Sıcaklık genellikle mukavemetleri azaltıcı yönde etkilediğinden yorulma mukavemetinin de azalması doğaldır.

Normal koşullarda frekansın yorulma mukavemetine etkisi önemsizdir. Bundan dolayı yorulma deneylerinde deney süresini kısaltmak için yüksek frekanslı gerilme uygulayan deney makineleri tercih edilir. Hidrolik yorulma makineleri 50 Hz'i geçmediği halde elektromıknatıslarla kuvvet uygulayan makinelerde bu değer 400 Hz'e kadar çıkartılmıştır. Çok yüksek frekanslarda plastik şekil değiştirme için daha az zaman kaldığından genellikle yorulma mukavemeti yaklaşık %10 kadar artar.

Değişken gerilme altında çevrenin kimyasal etkisi daha şiddetli olur, dolayısıyla yorulma ömrü kısalmır. Uygulamada korozyon yorulması önemli sorun yaratabilir. Ayrıca korozif bir ortamda demir eşaslı alaşımların S-N diyagramlarının sürekli azaldığı ve asimptotik bir değere ulaşmadığı görülmüştür.

Tekrarlı sürünen yüzeylerde korozyon daha etkili olur. Fretting korozyonu denen bu olay yorulma mukavemeti azalır. Özellikle asma köprülerde çelik kablo ile bağlantı kelepçelerinin temas yüzeylerinde bu tür korozyon oluşur, bu da köprü ömrünü etkileyen en önemli olaydır.

Gerilme durumunun yorulma mukavemetine etkisini incelemek için önce ortalama gerilme ele alınacaktır. Yapı elemanlarına kendi ağırlığından dolayı bir ön statik yük etkir ve elemanın taşıyacağı tekrarlı yük buna eklenir.

2.2.2. Malzeme Yorulmasının Onarımı Ve Bakımı İçin Malzemenin Kontrolü

Uçak elemanları, motorların çalışması ve değişken genlikli aerodinamik yüklerin etkisi ile yorulma hasarına maruz kalmaktadır. Yorulma hasarı, yüzeyden başlayan mikro çatlaklar şeklinde oluşmaktadır. Yüzey düzgünlüğü ve direnci yorulma ömrünü etkileyen önemli faktörlerdir. Yorulma hasarı belirli bir süre dinamik yüklemeye maruz kalmanın sonucunda oluşmaktadır. Bu süre malzemenin türüne yüzeyin kalitesine ve dinamik yükün büyüklüğüne, frekansına bağlı olarak değişmektedir. Kullanım sürecinde yorulma çatlaklarının oluşması kaçınılmaz olmaktadır. Yüzeyinde çatlakları ve oyukları içeren bir yapı, ideal bakım periyotlarında, yorulma hasarının mikro boyutta iken tespiti, yapının emniyeti açısından büyük önem taşımaktadır.

Korozyon yüzey kalitesini bozan bir etken olması nedeniyle, yorulma riskini arttırmaktadır. Ayrıca yorulma gerilimleri gerilme korozyonuna neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yorulma korozyonu, uçak parçalarını tehdit eden ve hızla ilerleyen büyük bir hasar olarak tanımlanmaktadır. Korozi etkilerin ve yorulma yüklerinin varlığı nedeniyle, bakım süreçlerinde riskli bölgelerin korozyon kontrollerinin yapılması, yorulma ömrünü de etkileyecektir. yorulma sınırlarına sahip olan çelik parçalarda bile, korozi etkiler altında çalışmalarını durumunda yorulma ömürlerinin önemli ölçülerde azaldığı tespit edilmektedir. Alüminyum 7075 17351 alaşımının, durgun havada ve %3,5 sodyum klorür içeren solüsyon ortamında gerçekleştirilen, yorulma deneyinde, atmosfer koşullarında yapılan deneye göre yorulma ömrünün büyük oranlarda azaldığı görülmektedir.

Uçak yapısında korozyon tespiti ve önlemleri, yapıların yorulma ömürleri bakımından da son derece önemli olmaktadır. Yorulma çatlaklarının yüzeylerden başlanması nedeniyle, tespitinde yüzeye açık süresizlikler için etkili tüm yöntemler kullanılabilir. Ayrıca, montaj halindeki yapıların gizli yüzeylerinin kontrolü için radyografi ve ultrasonik kontrol kullanılmaktadır. Yapıların gözle kontrolü ile makro boyutlu çatlaklar belirlenebilir. ulaşılması güç olan kısımların yüzey kontrolü için optik aletler kullanılmaktadır. optik aletlerle mikro seviyedeki yorulma çatlakları belirlenebilir.

Yapımcı firma tarafından gerçekleştirilen prototip testlerinde yorulma çatlaklarının başlangıç noktaları ve bu çatlaklardaki gelişmelerin incelenmesi, akustik emisyon sensörlerinin kullanımı ile başarılabilmektedir. Elde edilen bilgiler ışığında programlı bakım periyotları ve kontrolü gereken kritik noktalar belirlenmektedir.

3. Malzemenin Aşınması:

Bir malzemenin aşınması zamanla gerek sürtünmeyle yorulmayla vb yollarla olabilir. Her malzemede meydana gelen aşınmada miktarı belli metotlarla ölçülür. Genelde aşınma sonunda malzemenin ağırlığındaki kayıp hacimdeki değişme ve kalındaki azalma miktarı bize o maddenin aşındığını gösterir. 4 çeşit aşınma vardır. Adezif aşınma, abrezif aşınma, korrozif aşınma, yorulma aşınması olmak üzere 4 şekilde aşınır. Yukarıda açıklanan aşınma türlerinden tamamen farklı bir aşınma şeklide vardır ki, oda erozyondur. Gevrek cisimlerde maksimum aşınma hızı $v = 90$ derece için elde edilmektedir.

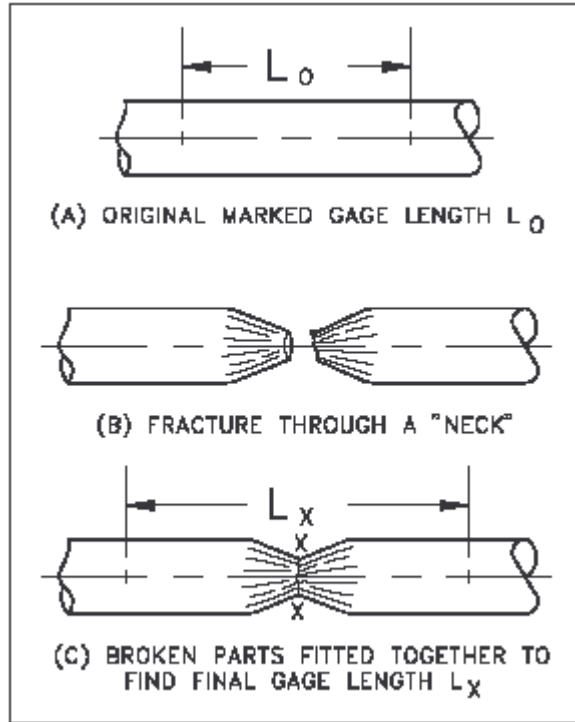
- 1- Hareket halinde bulunan cismin geliş hızına
- 2- Hareket eden cismin boyutuna ve yoğunluğuna
- 3- Erozyona uğrayan cismin özelliklerine bağlıdır.

4. Pekleşme (Work hardening)

Metallerin uygulanan yükler altında elastik bölgeyi geçerek kalıcı şekil değişimine uğraması ve buna bağlı olarak mukavemet ve sertlik değerlerinin artmasına pekleşme adı verilir.

5. Süneklik (Ductility)

Kopma noktasına kadar olan uzama yüzdesi sünekliğin bir ölçütüdür. Uzama yüzdesi ne kadar fazla ise malzeme o kadar sünektir. Sünek malzemenin karşısı kırılğan (brittle) malzeme olarak adlandırılır.



Süneklik şu şekilde tanımlanabilir:

$$\text{Kırılmadaki \% uzama: } \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$$

$$\text{veya alan kullanarak kırılmada \%kesit azalması : } \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

olarak yazılır. Burada;

A_0 : İlk kesit alan

A_f : Son alan

l_0 : İlk uzunluk
 l_f : Son uzunluk

değerlerini ifade etmektedir. Genellikle sertlik artınca, süneklik azalır. Malzemeleri sünek yapmak için:

1. Sıcaklık yükseltilir
2. Hidrostatik basınç yükseltilir. Çok yüksek hidrostatik basınç uygulaması kopmayı da geciktirir.

Süneklik, gerilim kuvvetinin uygulanmasından önce malzemenin kolaylıkla şekil değiştirmesini sağlayan veya malzemeye kırılma olmaksızın plastik deformasyon uygulanmasını sağlayan en önemli özelliktir. Süneklik bükülebilirlik ve ezilebilirlik istenildiğinde düşünülebilir. Sünek malzemeler kırılmadan önce büyük deformasyon gösterirler. Genellikle aynı dayanıma ve sertliğe sahip iki malzemenin sünekliği yüksek olan malzeme tercih edilir. Duruma göre malzemenin sünekliği ile oynanabilir. Örneğin sıcaklığı arttırarak sünekliği arttırabiliriz. Sıcaklığı azaltarak süneklik azaltılabilir ve süneklikten kırılganlığa geçiş yapılabilir.

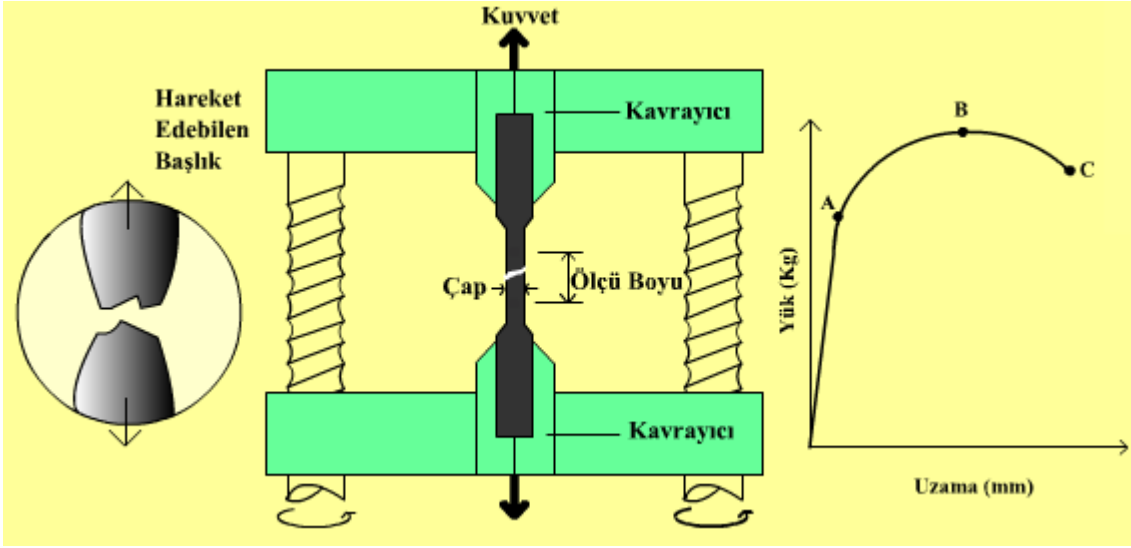
Soğuk şekil verme malzemeleri daha az sünek olmasını sağlar. Soğuk şekil verme sıcak bir bölgede ve plastik deformasyon elde etmek için belli bir zaman aralığı üzerinde gerçekleştirilir. kasıtlı veya kasıtlı olmadan metala ilave edilen bazı küçük katışımlar malzemeyi süneklikten kırılma davranışa sürükler. Soğuk şekil verilmiş bir malzemenin ısıtılması veya metal atomlarının denge haline döndüğü sıcaklığın üzerinde tavlama malzemenin sünekliğini arttıracaktır.

5.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini saptamak ve malzemelerin özelliklere göre sınıflandırılmasını sağlamak amacı ile geniş çapta kullanılır. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir.

Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki mekanik özellikler bulunabilir.

- a. **Elastisite modülü**
- b. **Elastik sınırı**
- c. **Rezilyans**
- d. **Akma gerilmesi**
- e. **Çekme dayanımı**
- f. **Tokluk**
- g. **% uzama**
- h. **% kesit daralması**



Şekil 4. Çekme Deneyinin Şematik Olarak Uygulanması

Çekme deneyine tabi tutulan numunenin yukarıda belirtilen özelliklerin sıhhatli bir şekilde ortaya çıkarılabilmesi için, alındığı malzemeyi tam olarak temsil edebilmesi şarttır. Ayrıca şu hususların bilinmesi de, sonuçların irdelenmesi bakımından gereklidir. [2]

Numunenin alındığı malzemenin :

a) imalat şekli :

- **Döküm**
- **Kaynak**
- **Sıcak dövme veya haddeleme**
- **Soğuk dövme veya haddeleme**

- a. **İmalat şekline göre yönlenme**
- b. **Tatbik edilen ısıl işlemler**

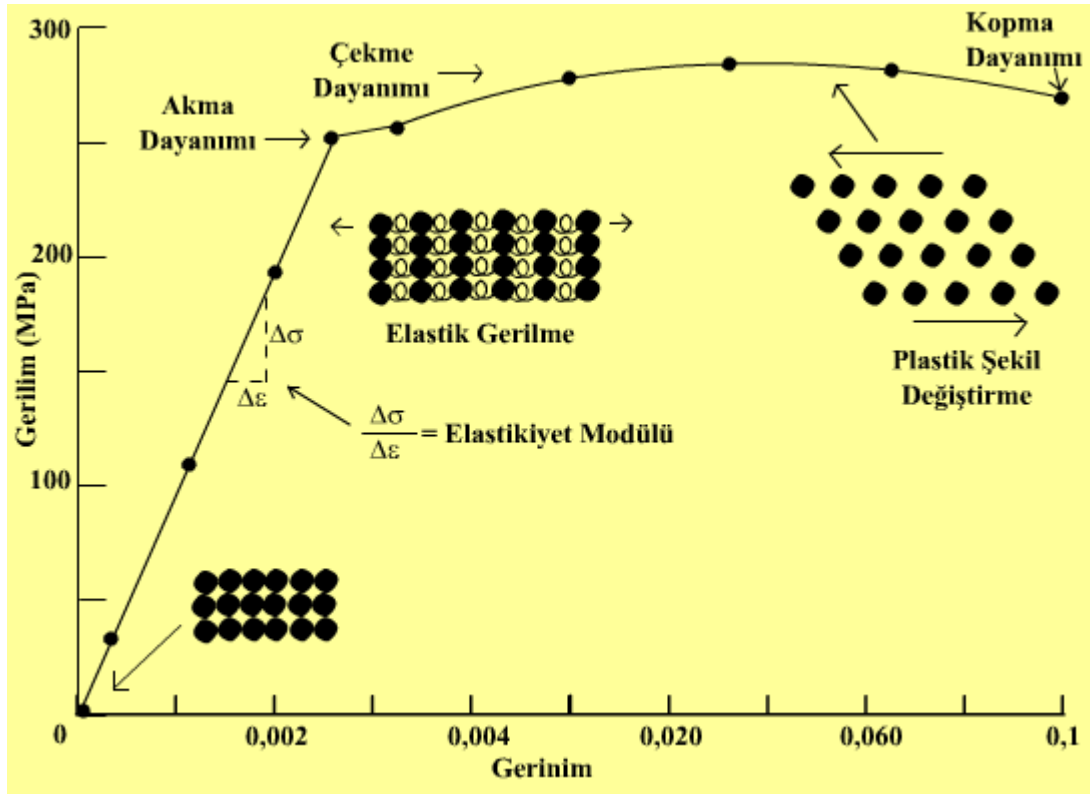
Deney sonuçlarının irdelenmesinde, numunenin alındığı malzemenin durumu yanısıra, alınan numunede de şu hususları bilinmesi faydalıdır :

- a. **Numunenin alındığı bölgeler**
- b. **Numunenin alınış şekli**
- c. **Numunenin hazırlanış şekli**

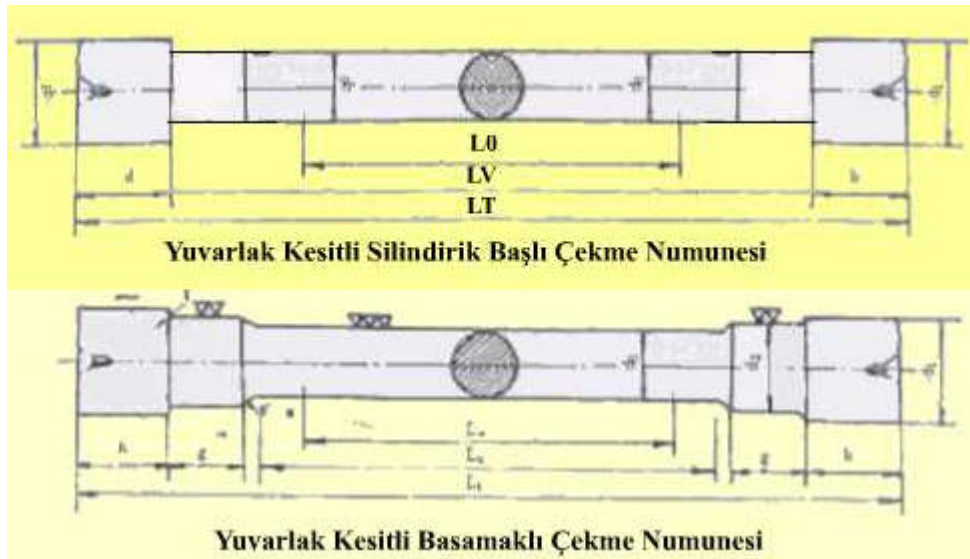
Çekme deneyine tabi tutulacak numunelerin şekil ve boyutları standartlarda belirtilmektedir. Deney sonuçlarının belirli bir standarda uyma zorunluluğu vardır. Sonuçlar, numune boyut ve biçimine göre değişiklik arz edebilir. Numuneler iki kısımdan ibarettir.

1) Numunenin baş kısımları : Yük tatbik edilmek için tutulan kısımlardır ve diğer bölgeye göre daha büyük boyutludur.

2) Numunenin orta kısmı : Yük tatbik edildiğinde deformasyonun yer alması arzu edilen daha küçük boyutlu bölgedir. Deney sonuçları bu kısımda yapılan ölçmelerle tespit edilir. Numunenin bu kısmında, kesit ile uzunluk arasında belli bir ilişki vardır.



Şekil 5. Alüminyum Alaşımı İçin Gerilim-Gerinim eğrisi



Şekil 6. Yuvarlak Kesitli Basamaklı Çekme Numunesi

d_0 = Numune Çapı

d_2 = Basamak Kısımının Çapı = $1,2 d_0$

d_1 = Baş Kısımının Çapı = $1,75 d_0$

L_v = İnceltmiş Kısımın Çapı = $L_0 + d_0$

L_0 = Ölçü Uzunluğu = $5 d_0$

L_t = Toplam Uzunluk

h = Basamak Kısımının Uzunluğu = d_0

g = Baş Kısımının Uzunluğu = $d_0 + 5 \text{ mm}$

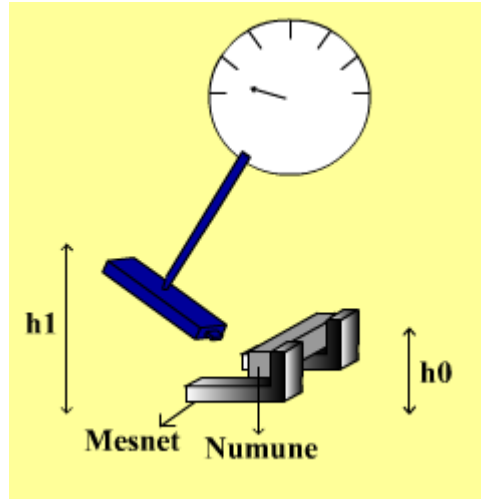
6 Tokluk (Toughness)

Tokluk bir malzemenin ani yüklemelere karşı gösterdiği tepkidir. Bir malzemenin kırılana kadar deforme olabilmesi için ihtiyaç duyulan iş olarak tanımlanır. Malzemeyi kopma noktasına getirmek için gerekli enerji miktarı tokluğun bir ölçütüdür. Eşdeğer gerilme-eşdeğer gerinim eğrisi altındaki alan tokluğu verir. Bir malzeme hem tok hem de kırılğan olamaz. Tokluk değeri Charpt ve Izod Çentik darbe deneyleri ile belirlenir.

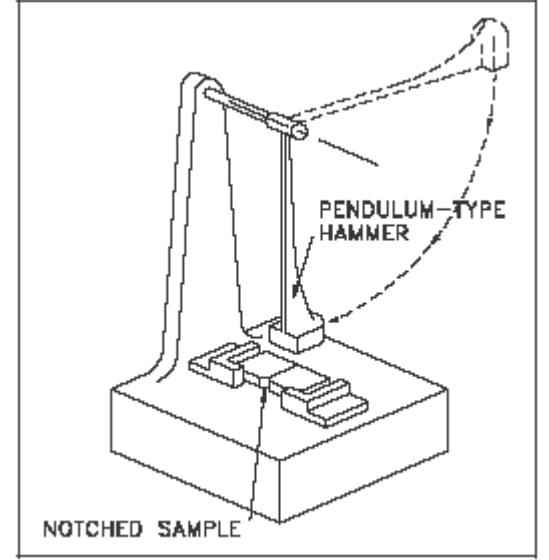
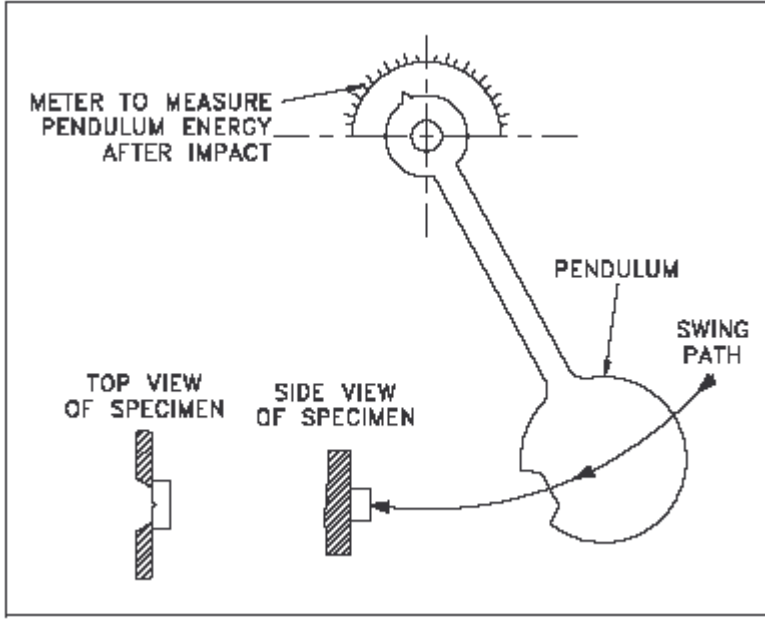
6.1. Çentik Darbe Deneyi

Çentik darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında çentik tabanında suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit levhacıklar çentik gibi etki yapacaklarından, ayrıca çentik açmağa lüzum yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımdan fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan bu hal meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Burada kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir.



Şekil 7. Şematik Olarak Çentik Darbe Deneyinin Gösterilmesi



Deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik biçim değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45° farklı bir kayma gerilimi etki etmeğe başlar. Kayma gerilimi, kayma dayanımını (kritik kayma gerilimi) aştığı an, elastik (esnek) özellik sona erer ve plastik biçim değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik biçim değiştirme, daha sonra kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir ve kırılma yüzeyi girintili çıkıntılı bir görünüştedir.

Çentikli darbe deneyleri genellikle, iki türde yapılmaktadır;

- **Charpy Darbe Deneyi**
- **İzod Darbe Deneyi**

Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, Şekil (15.)'de şematik olarak gösterilen sarkaç tipi cihazlardan faydalanılır. Ağırlığı G olan sarkaç, h yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi ($G \times h$) mertebesindedir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi istikamette h_1 yüksekliğine kadar çıkar. Böylece, numunenin kırılmasından sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji ($G \times h_1$) mertebesinde demektir.

Sarkacın, numune ile temas haline geldiği andaki potansiyel enerji ile numune kırıldıktan sonra sarkaçta kalan potansiyel enerji farkı, o numunenin kırılması için gereken enerjiyi başka bir deyimle, darbe direncini verir. Bu enerji aşağıdaki formülle de gösterilebilir:

$$\text{Kırılma enerjisi} = G (h - h_1) = G.L. (\cos\beta - \cos\alpha)$$

G = Sarkacın ağırlığı (kg)

L = Sarkacın ağırlık merkezinin, sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m),

h = Sarkacın ağırlık merkezinin düşme yüksekliği (m),

h_1 = Sarkacın ağırlık merkezinin çıkış yüksekliği (m),

α = Düşme açısı (derece),

β = Yükseliş açısı (derece),

Darbe direnci (kg-m) veya (kg-m/cm²) cinsinden ifade edilmektedir.

Bu deney tamamen ampirik olduğu ve şartlar değiştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin, en çok uygulanan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0,5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç, deneyden sonra kadrandan okunur.

7. Sertlik (Hardness)

Malzemenin batmaya karşı olan direncidir. Yüksek akma mukavemeti olan metaller yüksek sertlik değerine sahiptirler. Fakat akma mukavemet değerinden sertlik değeri hesaplanamaz.

Cisimlerin aşınmaya karşı dayanıklılığı veya aşınma mukavemetiyle ilgili bir özelliği vardır ki oda sertliktir. Sertliğin cisimlerin diğer özellikleri ile yakın bir ilişkisi vardır. Bir cismin herhangi bir metotla sert olması bize şu yararları sağlar:

1. Malzemenin kökeni hakkında bilgi edinilir.
2. Malzemenin sertliğinin bilinmesi ile mekanik mukavemetlerinin değeri bulunabilir.
3. Malzemenin işleme kabiliyeti hakkında oldukça açık bilgiler verebilir.
4. Malzemenin sertliğinin büyük olması, işleme kabiliyetinin küçük

olduğunu gösterir.

Özellikle iki malzemenin aynı olup olmadığını sertlik muayenesi sonunda anlayabiliriz.

7.1. Sertlik Ölçme Deneyi

Malzemeler üzerinde yapılan en genel deney, sertliğinin ölçülmesidir. Bunun başlıca sebebi, deneyin basit oluşu ve diğerlerine oranla numuneyi daha az tahrip etmesidir. Diğer avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında paralel bir ilişkinin bulunmasıdır. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ile doğru orantılıdır; dolayısıyla, yapılan basit sertlik ölçmesi neticesinde malzemenin mukavemeti hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

Sertlik izafi bir ölçü olup sürtünmeye, çizmeğe, kesmeğe ve plastik deformasyona karşı direnç olarak tarif edilir. Laboratuvarlarda özel cihazlarla yapılan sertlik ölçümlerindeki değer, malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir.

Sertlik ölçme genellikle, konik veya küresel Standard bir ucun malzemeye batırılmasına karşı malzemenin gösterdiği direnci ölçmekten ibarettir. Uygun olarak seçilen sert uç, tatbik edilen bir yük altında malzemeye batırıldığında malzeme üzerinde bir iz bırakacaktır. Genel deyimle malzemenin sertliği, bu izin büyüklüğü ile ters orantılıdır.

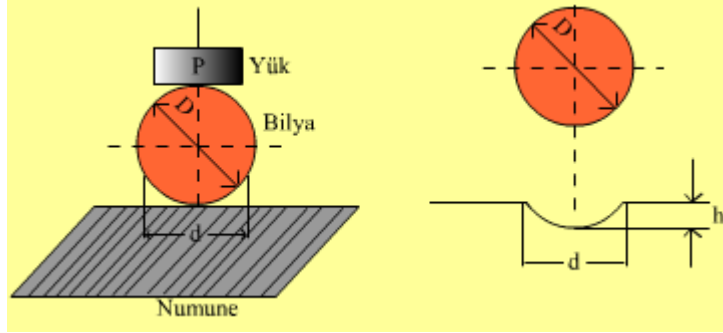
Bugün laboratuvarlarda uygulanan sertlik ölçme yöntemleri şunlardır:

- **Brinell sertlik ölçme yöntemi,**
- **Rockwell sertlik ölçme yöntemi,**
- **Vickers sertlik ölçme yöntemi,**
- **Mikro- sertlik deneyi.**

Sertlik ölçmeleri yapılırken kullanılan ölçme yöntemi ne olursa olsun, numunelerin üzerinde birkaç ölçme yapıp ortalamasının alınması gerekir. Yapılan sertlik ölçümlerindeki değerler birbirinden çok farklı ise, farklı değer ortalamaya dahil edilmeyip bu farkın mevcudiyeti mutlaka belirtilmelidir.

7.1.1. Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi:

Bu ölçme, kalibrasyonu yapılmış bir cihaz kullanarak deneyi yapılacak malzemenin yüzeyine belirli bir yükün, belirli çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilya yardımıyla belirli süre uygulanmasından ve sonuç olarak meydana gelen iz'in çapının ölçülmesinden ibarettir.



Şekil 8. Brinell Sertlik Deneyinin Yapılışına Dair Şema

Standart deney şartlarında bilya çapı 10 mm, uygulanan yük 3000 kg, tatbik süresi 10-15 sn kadardır. Standard Brinell deneyinde kullanılan yükler 500, 1500 veya 3000 kg. dır. Yük, malzemeye yavaş yavaş artacak şekilde uygulanmalı, darbeli yüklemeler önlenmelidir. Ayrıca yükün numuneye dik gelecek şekilde uygulanmasına dikkat edilmelidir. Yükün uygulama süresi, yumuşak metalle r dışında genellikle 10 -15 saniyedir. Yumuşak metaller için bu süre 30 saniye ve daha fazla olabilir. Meydana gelen izin çapı 2,5 - 6,0 mm (Bilya çapının % 25'i ile % 60'ı) arasında olacak şekilde deney yükü seçilir. İz çapında böyle bir alt sınırın belirtilmesi gereklidir, çünkü iz çapı küçüldükçe, deneydeki hata nispeti artar, iz çapının üst sınırı da, bazı deney cihazlarında ucun hareket miktarı ile sınırlanmıştır.

Meydana gelen izin birbirine dik iki yönde çapı taksimatlı büyüteç ile ölçülür ve Brinell sertlik değerini tayin ederken bu iki ölçmenin ortalaması kullanılır. İz çapı en az 0,02 mm'lik bir doğrulukta ölçülür.

Belirli malzemenin farklı sertliklerini mukayese edebilmek için o malzemeye ait sertlik değerlerinin (Tablo 1)'de tavsiye edilen sınırlar içerisinde olabilecek şekilde, tek bir yük kullanarak ölçülmesi tavsiye edilir.

Tablo 1 – standart Brinell Deneyinde Uygulanan Yüke Göre Tavsiye Edilen Sınır Değerler

Bilya çapı (mm)	Yük (Kg)	Tavsiye Edilen Sınır Brinell Sertlik Değeri
10	3000	96 ile 600
10	1500	48 ile 300
10	500	16 ile 100

7.1.2. Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi:

Rockwell sertlik değeri, malzeme üzerine, batıcı bir uç yardımıyla önce sabit belirli küçük bir yükü bastırıldığında meydana gelen izin dip kısmı başlangıç noktası alınarak, yük daha yüksek belirli bir derecede artırılıp daha sonra tekrar önceki yüke dönmek suretiyle, başlangıçtaki ize nazaran meydana gelen iz derinliğindeki net artışla ters orantılı bir sayıdır.

Rockwell deneyi için kullanılan batıcı uçlar belirli çaplarda çelik bilyalarla, özel konik bir elmas uçtan ibarettir. Rockwell sertlik değerleri daima bir sembol harfle birlikte belirtilir ki bu sembol harf batıcı ucun tipini, kullanılan yükün miktarını ve kadran üzerinde okunacak bölümü belli eder.

Bilye tipi batıcı uçlar, 1.588 mm (1/16 inç), 3.175 mm u/8 inç,, 6.350 mm (1/4 inç) ve 12.700 mm (1/2 inç) çapında çelik bilyelerdir. Elmas batıcı uç ise 120 + 0.5° lik bir açı teşkil eden bir koni ile, tepe noktası 0.2 mm yarı çapında bir küre parçasından ibarettir.

Bilyelerin çapı normal değerden +0.0035 mm den fazla farklı olmamalıdır. Batıcı uç üzerinde toz, kir, gres ve tufal gibi yabancı maddeler bulunmamalıdır; bulunduğu takdirde sonuçlara etki eder.

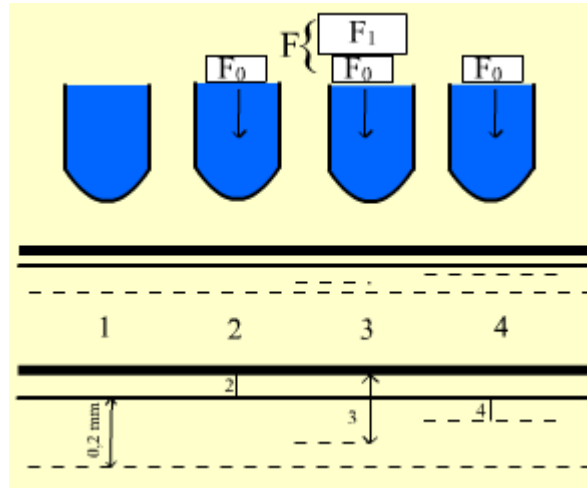
Rockwell sertlik deneyi için (Şekil 2) önce 10 kg.'lık ki yük uygulanarak ilk yükleme yapılır. Bu suretle uç, malzeme üzerine oturur ve onu yerinde tutar. Siyah rakamlı bölüm üzerinde kadran sıfıra getirilir ve daha sonra büyük yük uygulanır. Bu büyük yük uygulanan toplam yük olup, derinlik ölçmesi sadece 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, fakat gerektiği zaman diğer yükler de kullanılır. Ucu küresel konik elmas uç kullanıldığı zaman büyük yük, genel olarak 150 kg.

Batıcı uç sertliği ölçülecek yüzeye dik gelecek şekilde temas etmelidir.

Numune kalınlığı ne olursa olsun, sertlik bir tek kalınlık üzerinde ölçülmelidir. Kalınlık arttırma amacıyla üst üste konmuş malzemeler üzerinde ölçülen sertlik değerleri güvenli sayılmazlar.

Rockwell sertliğinin tayini sırasında meydana getirilen iz, kenara çok yakın olmayacağı gibi iki iz'de birbirine çok yakın bulunmamalıdır.



Şekil 9. Rockwell Sertlik Deneyinin Yapılışına Dair Şema

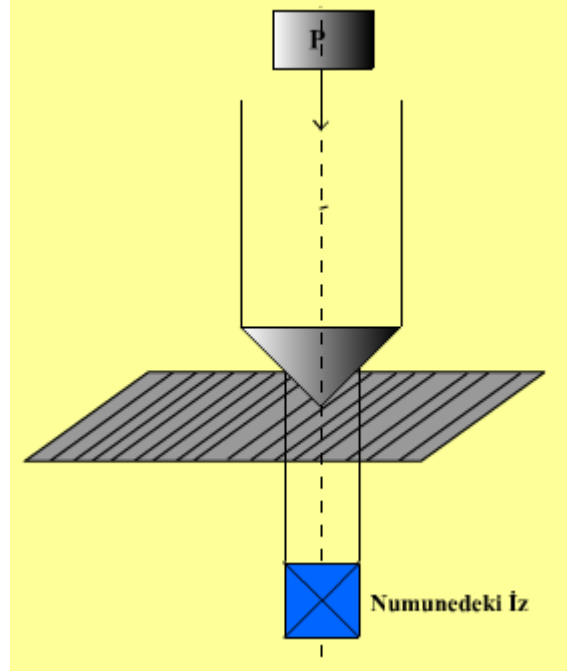
7.1.3. Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi:

Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülecek malzeme parçasının yüzeyine, tabanı kare olan piramit şeklindeki bir ucun belirli bir yük altında daldırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir.

Vickers sertlik değeri, piramit şeklindeki dalıcı ucun belirli bir yük altında ve belirli bir süre uygulanması ile malzeme yüzeyinde meydana getirdiği izin büyüklüğü ile ilgili bir değerdir.

Meydana gelen iz. taban köşegeni (d) olan kare bir piramittir ve tepe açısı dalıcı ucun tepe açısının aynıdır = (136°). Vickers sertlik değeri, kg olarak ifade edilen deney yükünün (mm^2) olarak ifade edilen iz alanına bölümüdür.

Vickers sertlik değeri işareti ile beraber bazen uygulanan yük ve yükün uygulama zamanını belirten sayısal işaretlerde ilave edilir. Örneğin; VSD /30 /20, /30 kg.'lık yükün 20 saniye süre ile uygulanması sonucu elde edilen Vickers sertlik değerini gösterir.



Şekil 10. Vickers Sertlik Deneyinin Yapılışına Dair Şema

Deneyden sonra Vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenlerini hassas, bir şekilde ölçmek gerekir. Bu ölçme, alete ilâve edilmiş metalürji mikroskobu sayesinde yapılmaktadır; numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımıyla ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegenlerin uzunlukları hassas bir şekilde ayrı ayrı ölçülüp ortalaması alınır.

Vickers sertliği ölçüsü, geniş çubuklardan saçlara kadar her ölçüde malzeme çeşidine uygulanabilir. Genel olarak numunelerin alt ve üst yüzeyleri, yük bindiği zaman numune hareket etmeyecek veya kaymayacak şekilde düz olmalıdır. Kalınlık olarak da, piramit dalıcı ucun, numunenin öbür yüzeyinde bir çıkıntı meydana getirmeyecek derecede kalın olması yeterlidir.

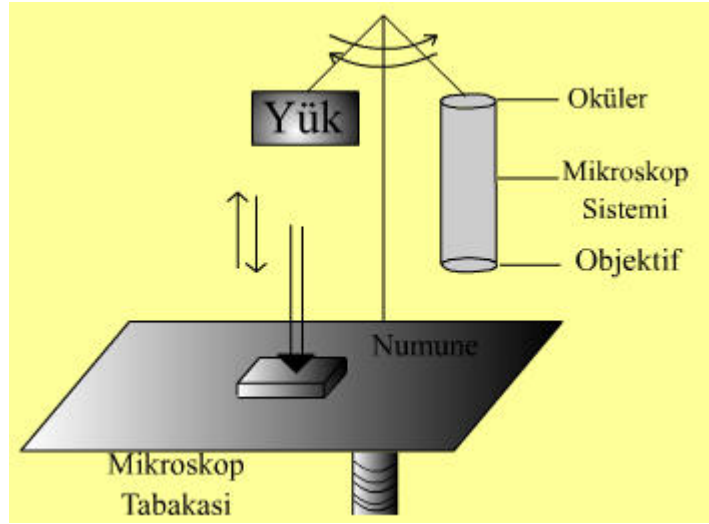
7.1.4. Mikro - Sertlik Deneyi:

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbür ize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini ölçmede de kullanılır. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman "1" mikronu geçmez.

Mikro - sertlik aleti hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, aletin komple metal mikroskobunu ihtiva etmesidir.

Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerde net görüntü elde edinceye kadar mikroskop tablası hareket ettirilir. Bundan sonra mikroskop tablası elle, sertlik ölçen kısmın altına getirilir ve düğmeye basarak sertlik ölçen ucun hareketi sağlanır. Uç, otomatik olarak numuneye batar ve 20 saniye sonra yine otomatik olarak geriye döner. Böylece numunenin üzerinde bir iz elde edilir. izin boyutlarını ölçmek için mikroskobun tablası yine elle objektifin altına getirilir ve okülerden iz gözlenir. Oküler üzerindeki özel taksimat ile izin boyutları tespit edilir.

Mikro – sertlik deneyi için iki standart uç kullanılır. Birincisi 136°'lik tabanı kare olan piramit uç (vickers ucu)dur. Diğeri ise knoop ucu diye bilinen 172° 30'lik piramit ucudur. [1]



Şekil 11. Mikro – Sertlik Deneyinin Yapılışına Dair Şema

136°'lik uç malzeme üzerine kare şeklinde iz bırakmasına rağmen, knoop ucu eşkenar dörtgen şeklinde bir iz bırakır.

7.1.5. Endüstride Kullanılan Değişik Sertlik Ölçme Yöntemleri :

Şimdiye kadar incelenen sertlik ölçme yöntemleri laboratuvar tipi olup, «statik sertlik ölçme yöntemleri» diye adlandırılırlar. Bu yöntemlerde, özel numunelerin hazırlanması gerekir. Endüstride sertlik ölçmelerinin daha seri ve daha hızlı yapılması istenir. Bazı hallerde de ya parçadan numune çıkarma imkanı yoktur veya sertliğin çok büyük parçalar üzerinde ölçülmesi gerekir. Bu tipteki sertlik ölçmelerini gerçekleştirebilmek için endüstri tipi cihazlar geliştirilmiştir.

Endüstri tipi sertlik ölçme yöntemleri genellikle «dinamik sertlik ölçme yöntemleri» diye tanımlanırlar. Çok değişik türdeki cihazları çalışma prensibine göre iki ana grupta toplamak mümkündür.

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

Birinci grupta, Brinell deneyine benzer bir yol izlenip Brinell değerleri hesaplanır, ancak burada kuvvet darbe şeklinde uygulanır. Batıcı uç genellikle çelik bir bilya olup, darbenin etkisi ile numune yüzeyinde bir iz bırakır, iz çapı 0,1 mm hassasiyetle ölçülerek önceden hazırlanmış eğri veya tablolar yardımı ile statik Brinell sertlik değerlerine geçilir. Statik Brinell sertlik değerlerine geçebilmek için her cihaza ait çevrim eğrileri veya tabloları önceden deneysel olarak hazırlanır. Bu yöntemle genellikle 400 Brinell'in altındaki sertlikler ölçülebilir.

Bu gruptaki cihazların en tanınmış ve en yaygın kullanılanı «poldi» çekiçli sertlik ölçme cihazıdır.

ikinci grupta numune üzerine, belirli bir yükseklikten düşürülen küçük bir ağırlık, numune yüzeyinde daha çok elastik bir deformasyon yaparak geriye sıçramaktadır. Sıçrama miktarı, düşen cismin numuneye çarpmasından sonraki elastik enerji miktarı ile orantılı olup, sertlik ölçmede kriter olarak kullanılmaktadır. Bu açıklamalar sonucunda, yumuşak malzemelerde sıçrama daha az, sert malzemelerde sıçrama daha fazla olacaktır.

Bu cihazlarda batıcı uç olarak su verilmiş çelik bilya veya küresel elmas uç kullanılır ve bunlar düşen ağırlığın alt yüzeyine tutturulur. Sıçrama miktarını kolaylıkla ölçmek için gösterge üzerinde hareket edebilen seygar ibreden faydalanılır.

Sıçrama miktarına göre sertlik ölçen cihazlar içinde en çok tanınan ve yaygın olarak kullanılanı, «Shore Skleroskobu»dur.

Bu tip cihazların en önemli avantajı iz bırakmadan sertlik ölçme imkanını ve çok geniş bir yüzeyde sertlik dağılımını ölçebilme kolaylığını sağlamasıdır.

Yukarıda anlatılan dinamik sertlik ölçme yöntemleri dışında endüstride farklı prensiplerle çalışan sertlik ölçme yöntemleri de mevcuttur. Bunlar içinde önemli bir yöntem bilinen sertliklerde uçlar taşıyan bir seri kalemle sertlik tayin etmektir. Bu yöntem genellikle sert malzemelere uygulanır. Kalemler artan sertlik sırasına göre numune yüzeyine sürtülüp malzemenin çizilip çizilmediği kontrol edilir. Malzemenin sertliği, numuneyi çizen ilk kalemle ondan, önceki kalemin sertliği arasındadır.

Endüstriyel tipteki cihazlarda sertlik ölçümü, laboratuvar tipi statik sertlik ölçme cihazlarına oranla daha kabadır zira deneyin yapılışı esnasında küçük hatalar yapmaktan genellikle kaçınılmamaktadır.