2010 Şubat

www.guven-kutay.ch

18

MALZEMENİN KONTROLÜ

M. Güven KUTAY

İÇİNDEKİLER

0 Giriş....3
1 Parçayı bozarak kontrol yöntemleri....4
1.1 Çekme deneyi....4
1.1.1 Çekme deneyinin akışı....5
1.1.2 Gerilme-Uzama diyagramı....6
1.2 Çentik darbesi deneyi....7
1.2.1 Çentik darbesi deneyi akışı....7
1.3 Doku analizi....8
1.3.1 Raster-Elektronen-Mikroskop (REM)....8
1.3.2 Demir karbon alışımının doku yapısı....9
1.3.3 Kesit resimleri için çeşitli örnekler....10
1.3.3.1 Sertleştirmeden sonra....10
1.3.3.2 Islah ettikten sonra....10
1.3.3.3 Hafif tavlamadan sonra....11
1.3.3.4 Normal tavlamadan sonra....11
2 Parçayı bozmadan kontrol....12
2.1 Statik yöntemle yüzey sertliği ölçmesi....13
2.1.1 Brinell sertlik ölçme yöntemi....14
2.1.1.1 Genel....14
2.1.1.2 Pratikte Brinell sertlik ölçme yönteminin uygulanması....15
2.1.1.3 Brinell sertliğinin gösterilişi....16
2.1.1.4 Brinell sertlik sayısının karşılaştırılması....16
2.1.1.5 Çekme mukavemetinin Brinell sertliğin ile bulunması....16
2.1.1.6 Brinell sertlik ölçme yönteminin yarar ve zararları....17
2.1.1.7 Brinell sertlik ölçme yönteminin özeti....17
2.1.2 Vickers sertlik ölçme yöntemi....18
2.1.2.1 Genel....18
2.1.2.2 Pratikte Vickers sertlik ölçme yönteminin uygulanması....18
2.1.2.3 Vicker sertliğinin gösterilişi....20
2.1.2.4 Vicker sertlik yönteminin yarar ve zararları....20
2.1.2.5 Vicker sertlik yönteminin özeti....21
2.1.3 Rockwell sertlik ölçme yöntemi....22
2.1.3.1 Genel....22
2.1.3.2 Pratikte Rockwell sertlik ölçme yönteminin uygulanması....22
2.1.3.2.1 Rockwell-C-yöntemi....22
2.1.3.2.2 Rockwell-B-yöntemi....23
2.1.3.2.3 Süperrockwell yöntemi....24
2.1.4 Rockwell sertliğinin gösterilişi....24
2.1.4.1 Rockwell sertlik yönteminin yarar ve zararları....25
2.1.4.2 Rockwell ile Brinell arasındaki bağıntı....25
2.1.4.3 Rockwell sertlik yönteminin özeti....25
2.1.5 Üç yöntemin karşılaştırılması....26
2.2 Dinamik yöntem....28
2.2.1 Darbeli sertlik kontrolü, Poldi-Çekici....28
2.2.2 Gerisekmeli sertlik kontrolü, Shore yöntemi....29
2.3 Elektromanyetik kontroller....31
2.3.1 Ultraşal ile kontrol....31
2.3.1.1 Yöntemin gidişi....31
3 Kaynaklar....32

0 Giriş

Kontroller konstrüksiyonda kullanılacak malzeme hakkında bilgi edinmemiz için yapılır. Böylece parçanın (konstrüksiyon elemanının) fonksiyonunu istenilen şartlar altında yapıp yapamıyacağına parçanın üretimine geçilmeden önce konstrüksiyon safında karar verilir. Böylece parçanın mekanik, ısısal ve kimyasal özellikleri hakkında tam bilgi edinilir.

Bu kontrol yöntemleri her zaman yapılmaz. Eğer işletmede parça kritik yerde çalışacaksa ve bozulması hayati tehlike veya büyük maddi zararlar getirecekse yapılması şarttır. Genelde bu testler genel bilgi ve kaliteyi yükseltmek için yapılırlar.

Bu oldukça maddi harcamalarla maliyeti yükseltecek kontrol testleri, kritik parçaların analizini yaparak konstrüksiyonda karar vermemize yardım ederler. Böylece istenilen kaliteye erişilir. Hatalar çok önceden bulunur. Önlemler alınarak, her nekadar kontrol testleri için harcamalar yapılırsada, ilerde olabilecek hatalar önlendiğinden büyük kar sağlarlar.

Yapılan bu kontrollerden elde edilen bilgi ve tecrübelerle malzemenin kullanılma alanlarının sınırları çok genişletilmiştir.

Kontrol denince aklımıza iki ana kontrol grubu ve hataları gelir:

1. ***Parçayı bozarak kontrol etmek;***
   Ham malzemeden alınan örneklerle yapılır. Örneğin bozulması önemli değildir ve şu kontroller bu gruba dahildir:
   Çekme deneyi, Çentik darbesi deneyi, Doku analizi, Kimyasal analiz.
2. ***Parçayı bozmadan kontrol etmek;***
   Bu yöntem bitmiş parçalarda kullanılır ve şu kontroller bu gruba dahildir:

   2.1 ***Malzemenin sertlik kontrolü;*** *Statik kontrol, Dinamik kontrol, elektromanyetik kontrol.*

   2.2 ***Malzemenin yüzey kalitesi;*** *Röntgen-Gamma-Işınları deneyi, Ultra yankı deneyi, Manyetik toz çatlak deneyi, Çatlağa boya sızma deneyi.*
3. ***Kontrol hataları;*** *Üretim hataları, İşleme hataları, İşletme hataları, ölçme hataları*

1 Parçayı bozarak kontrol yöntemleri

Kontrol yöntemleri konstrüksiyonda kullanılacak malzeme hakkında bilgi edinmemiz için yapılır. Burada birinci gruba ait ***"Parçayı bozarak kontrol yöntemleri"*** ele alınacaktır
Bu kontrol yöntemleri her zaman yapılmaz. Eğer işletmede parça kritik yerde çalışacaksa ve bozulması hayati tehlike veya büyük maddi zararlar getirecekse yapılması şarttır. Genelde bu testler genel bilgi ve kaliteyi yükseltmek için yapılırlar.

Bu gruba ait olan yöntemler:

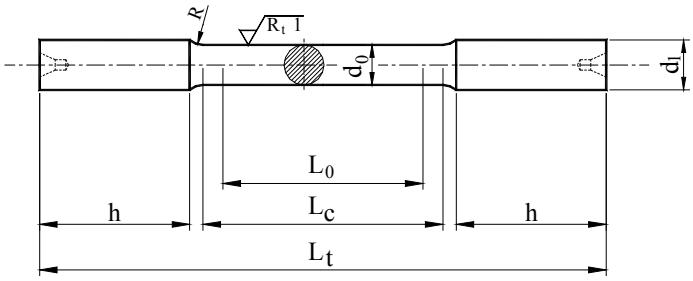
1. Çekme deneyi
2. Çentik darbesi deneyi
3. Doku analizi
4. Kimyasal analiz

1.1 Çekme deneyi

Çekme deneyinde test parçası darbesiz ve yavaş yavaş arttırılan kuvvetle çekilir. Uzama hızı bulunacak değeri yanıltmamak için çok yavaş yükseltilmelidir. Malzemenin mekanik özelliklerinin başında çekme mukavemeti gelir. Çekme mukavemeti için Dinamometre kullanılır. Dinamometre ile yapılan deneylerle ***Gerilme-Uzama*** diyagramı kurulur. Bu deneyi yapabilmek için dinamometre ile deney çubuklarına gerek vardır. Bu deney malzeme mukavemet değerinin bulunması için ilk yapılan deneydir ve bu gün hala geçerliliğini korumaktadır. Deney çubukları Şekil 1 de görüldüğü gibi istenilen malzeme için hazırlanır. Burada verilmiş olan deney çubuğu Alman standartı DIN 50125 e göre A tipi deney çubuğudur. Deney çubuğunun yüzey pürüzlülüğü R_t = 1 µm hassaslığında taşlanmış ve cilalanmıştır. Bunun yanında genelde deney çapı ile deney kesitinin boyu oranı belirli bir büyüklüktedir. Deney çubuğu tipleri, A (yukarıda verildiği gibi), B (d_1 çapı metrik diş olarak hazırlanır) ve E (yassı lama deney çubuğu) olmak üzere üç çeşittir.

Şekil 1 de görülen deney çubuğu DIN 50125, A tipidir ve ölçüleri şu büyüklüktedir:

d_0 = 8 mm ; L_0 = 40 mm ; L_C = 48 mm ; L_t = 115 mm ; d_1 = 10 mm
h = 30 mm ve oran L_0 / d_0 = 5 alınmıştır.

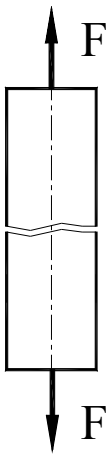


Şekil 1, Deney çubuğu

d_0	mm	Deney çapı
L_0	mm	Deney boyu L_0 = 5 d_o kısa, L_0 = 10 d_0 uzun çubuk
L_C		Kopma boyu
h	mm	Bağlantı boyu
L_t	mm	Deney çubuğu boyu

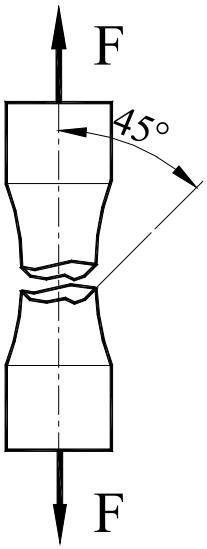
1.1.1 Çekme deneyinin akışı

Deney çubuğu deney makinasına eğilmeye maruz kalkmaksızın bağlanır. Sonra yavaş yavaş yükselen kuvvetle zorlanır ve uzar. Uzama kopmaya kadar gider.
Başlangıçta deney çubuğu elastik olarak (yaylanma) uzar. Zorlanma kaldırıldığında deney çubuğunun deney boyunun (L_0) değişmediği görülür. Fakat kuvvet yükseldikçe deney boyunun



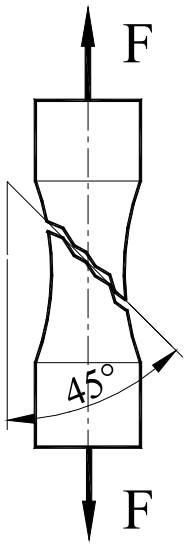
Şekil 2, İncelmeden kopma

Gevrek malzede görülür



Şekil 3, Karışık kopma

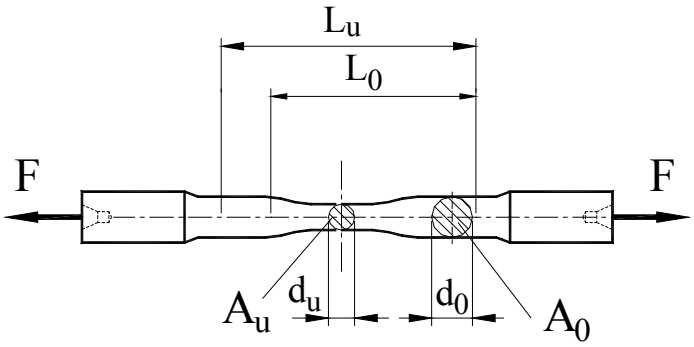
Yarı incelmeli kopma



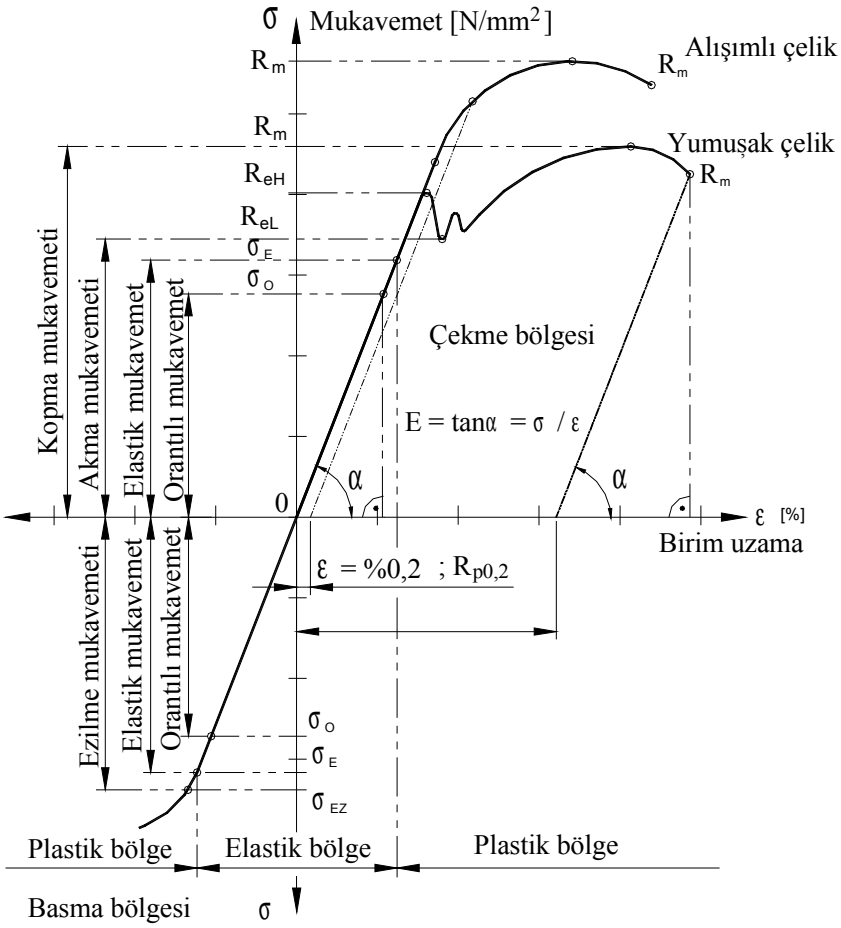
Şekil 4, İncelmeli kopma

İncelmeli kopma

uzadığı görülür. Başlangıçta bu değişme küçüktür. Kuvvet dahada büyüdüğünde deney çubuğu plastik olarak uzar (kalıcı uzunluk). Kuvvet büyüdükçe deney çubuğu ortalarda küçülmeye başlar. Bu değişme "***Kopma büzülmesi***" diye adlandırılır. Kısa zaman sonra burada deney çubuğu kopar.



Şekil 5, Deney çubuğu



Şekil 6, Gerilme-Uzama diyagramı

1.1.2 Gerilme-Uzama diyagramı

Deney sırasında ölçülen kuvvet ve uzama değerleri ile "***Gerilme-Uzama diyagramı***" eğrisi çizilir. Diyagram Şekil 6 ile gösterilmiştir. Gerilme kuvvet ile doğru orantılı olduğundan diyagramda genel tanımların yapılabilinmesi için kuvvet yerine gerilme alınmıştır. Deney çubuğunda, diğer deyimle malzemede meydana gelen bütün değişikliklerin kendine özgü deyimi vardır. Bu deyimleri şu şekilde sıralayabiliriz:

Kopma mukavemeti : Devamlı ve linear fazlalaşan gerilme sonucu malzemenin koptuğu gerilme büyüklüğüne "**kopma mukavemeti**" adı verilir ve R_m ile gösterilir.

Akma mukavemeti : Kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformasyonun başladığı gerilmenin değerine "**akma mukavemeti**" adı verilir ve σ_{AK} veya τ_{AK} (*sigma veya tau indeks AK*) ile gösterilir.

% 0,2 Uzama mukavemeti : Kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformas-yonun % 0,2 olduğu gerilmenin değerine "**%0,2 uzama mukavemeti**" adı verilir ve $R_{p0,2}$ ile gösterilir.

Orantılı mukavemet: Devamlı ve linear olarak fazlalaşan gerilme ile uzamanı biribirine oranının sabit kaldığı gerilme büyüklüğüne " **orantılı mukavemet** " adı verilir ve σ_O veya τ_O (*sigma veya tau indeks o*) ile gösterilir. Parçalar fonksiyonlarını bu değerde tam yaparlar.

Elastiklik modülü : Elastiklik modülü, orantılı mukavemetde, gerilmenin uzamaya oranıdır.

Eğrinin diğer kısımlarını incelersek:

Hafif bombeli kısım (σ_O ile σ_E veya R_{eH} arası): Küçük bir kuvvet artması ile deney çubuğu plastik uzar. Kuvvet kalktığında çok az bir kalıcı uzama parçada kalır. Bu bombeli kısmın sonunda σ_E veya R_e değeri bulunur.

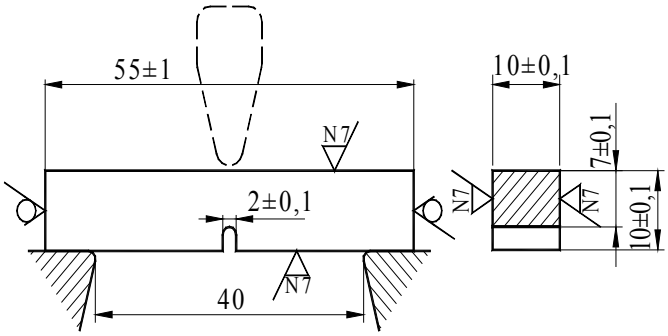
Kısa inişli kısım (R_{eH} ile R_{eL} arası): Akma sınırı çoktan geçilmiştir. Deney çubuğunun uzaması gözle fa
rkedilmektedir. Burada kalıcı uzama yani plastik deformasyon başlamıştır.

Tekrar yükseliş kısmı (R_{eL} ile R_m arası): Akma sınırı aşılmış fakat homojen daralmadan ötürü malzemenin mukavemeti artmıştır. Bu durum deney çubuğunun daha büyük kuvvet taşımasını sağlar. Bu kopma büzülmesini oluşturur. Malzeme kopmaya hazır hale gelmiştir.

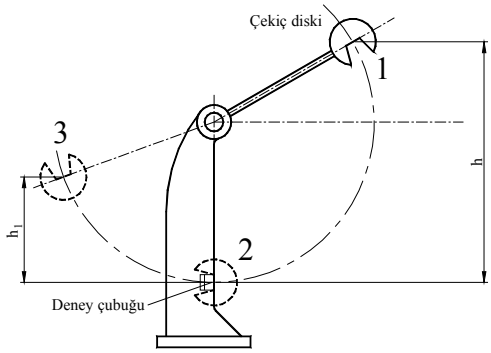
Son iniş kısmı: Malzemenin büzülmesi devam ettiğinden daha küçük kuvvetle uzamasını oluşur. Kuvvet (buna bağlı mukavemet) değeri düşer. Sonrada kopar.

1.2 Çentik darbesi deneyi

Çentik darbesi deneyi malzemenin belirli bir kertik şekliyle eğilme mukavemet değerini verir.
Bu deneyde darbeli yüklenmede malzemenin kırılmasına kadar şekil değiştirmesi ölçülür. Çentikli deney kirişi iki taraflı mesnetlenir. Kiriş birdenbire darbeli olarak eğilmeye zorlanır. Şekil 7 ile gösterilen çentikli deney kirişi DVM (**D**eutscher **V**erband für **M**aterialprüfung) şartlarına göre yapılmıştır. Kirişin ortasında verilen ölçülere göre delik ve bu delik kesilerek ağız açılarak suni olarak çentik yapılmıştır.



Şekil 7, Çentikli deney kirişi



Şekil 8, Pandül çekiç

Deney değerleri; kertik şekli, kesit ölçüleri ve pandül hızı ile bağımlıdır.

1.2.1 Çentik darbesi deneyi akışı

Deney makinası olarak standart (0,5 ile 300J arası) pandül çekiç makinası kullanılır. Deney kirişi pandül yörüngesinin en düşük noktasına yerleştirilir (Şekil 8, pozisyon 2). Pandül çıkış pozisyonuna (Şekil 8, pozisyon 1) getirilir. Emniyetin açılmasıyla pandül yörüngesinde hareket ederek deney kirişine en düşük alçaklıkta, en büyük potansiyal enerji kinetik enerjiye çevrilmiş olarak, darbeyle çarparak eğime zorlayarak koparmaya zorlar.

Koparma darbe işi kazanılan değerlerle diyagram olarak gösterilir ve gereken yerlerde kullanılır.

1.3 Doku analizi

Metal mikroskopu yardımıyla kristallerin çekirdek büyüklüğü ve şekilleri gayet rahatlıkla görülmektedir. Bugün metal mikroskopunun büyütme kapasitesi 1000 keredende fazladır. Fakat kontrolü yapılacak metal parçası kontrola hazırlanmalıdır.

Şekil 9, Taşlama ve cilalama makinası

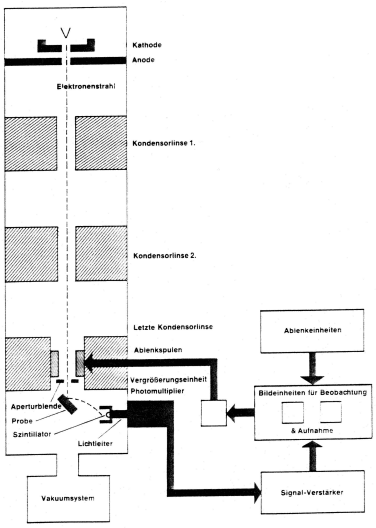
Şekil 10, Presleme makinası

Eğer işlenmiş bir yüzeyi metal mikroskopu altında incelemeye kalkarsak kristallerin yerine işleme izlerini görürüz.
Metalografik kontrolü yapılacak örnek ısıtılmadan gayet ince kumlu zımpara kağıdı ile güzelce zımparalanır ve sonra cilalanırlar (Şekil 9).
Kontrolleri yapılacak küçük metal parçaları özel preslerde (Şekil 10) basınç ve 100°C kadar hararet altında parlatılıp reçine ile kaplanırlar. Bu yöntem 100°C kadar hararet altında doku değişikliğine uğramayacak metallerde kullanılır. Son zamanlarda soğuk kaplama malzemeleri piyasaya çıkmıştır. Bu maddelerle kontrolleri yapılacak metal parçaları preslere ihtiyaç olmadan kaplanırlar.

Cilalamadan önce metal yüzeyi belirli asit veya tuzlarla hafif yıkanır. Böylece kristallerin renkleri değişir ve analizde kristalleri biri birinden kolaylıkla ayırma imkanı ortaya çıkar. Fakat bu işlem yapılırken bilinçli ve dikkatli yapılmalıdır. Çünkü asitlemede kristallerin özellikleride değişebilir.

1.3.1 Raster-Elektronen-Mikroskop (REM)

Şekil 11, REM ile alınmış resim

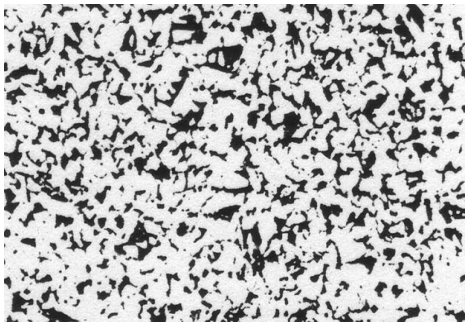


Şekil 12, REM in basit şeması

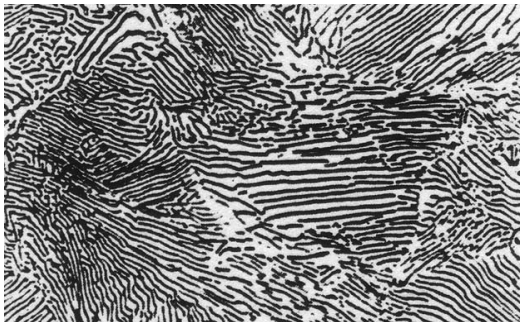
Gayet ince elektron ışınıyla (ışın çapı <10 nm) kontrol parçası satır satır, hiç bir noktası atlanmadan taranır. Bunun paralelinde ve aynı zamanda elektron ışını bir lambadan geçer. Elektronlar bir noktada çakıştıklarında ışınlar akseder ve ne kadar çok elektron aksederse nokta ekranda o kadar parlak görülür. Böylece ekranda görülen mikroskopik resim çok net oluşur. Organik veya anorganik bütün kontrol parçalarının iletme yeteneklerini arttırmak için çok ince altın tabakası ile kaplanırlar.

1.3.2 Demir karbon alışımının doku yapısı

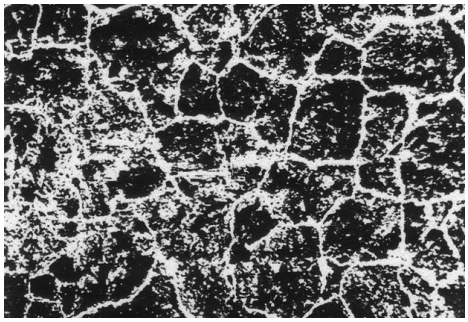
Aşağıdaki resimlerdende görüleceği gibi karbon yüzdesi yükseldikçe dokuda perlit görülmektedir. Yüzde 0,08 karbonlu çelikte doku hemen hemen yalnız perlitten oluşmaktadır. Karbon yüzdesi yükselince yeni doku şekilleri oluşur ve tali zementit ağ şeklinde perlit dokusunu kapar. Karbon karışımı %2 den fazla olan çeliklerde ledeburit doku çoğalır, perlit ve tali zementit dokuları azalır.
Karbon karışımı %4,3 olan demirde doku yalnız ledeburitten oluşur. Daha fazla yüzdeli karbon karışımında primer zementit görülmeye başlar. Karbon karışımı %6,67 de doku yalnız zementitten oluşur.



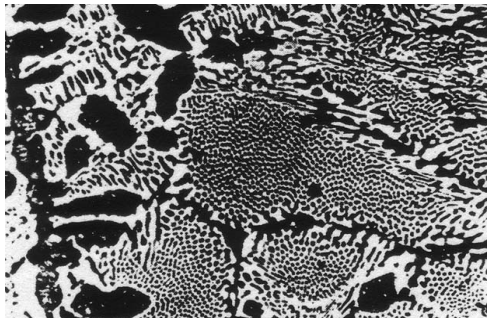
Şekil 13, Perlit altı çeliği, %0,15 C ; 100:1
Açık renk: Ferrit, Koyu renk: Perlit



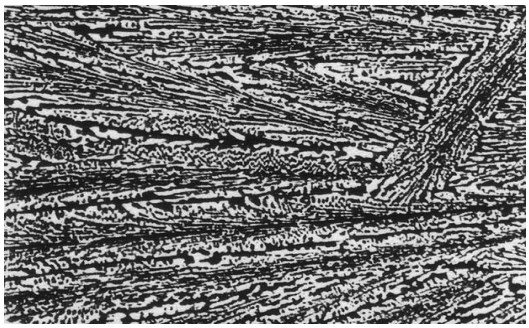
Şekil 14, Perlit çeliği, %0,8 C ; 500:1
Açık renk: Ferrit, Koyu renk: Zementit



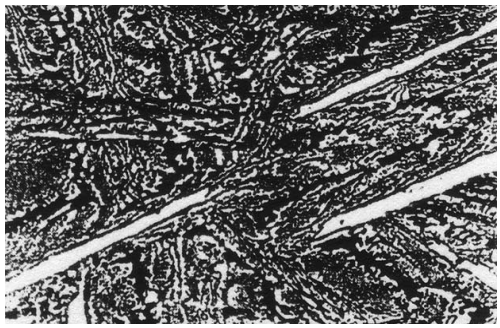
Şekil 15, Perlit üstü çeliği, %1,4 C ; 200:1
Açık renk: Tali zementit ; Koyu renk: Perlit



Şekil 16, Eutektik altı çelik, %2,8 C ; 200:1
Koyu renk: Perlit ; Nokta nokta: Ledeburit



Şekil 17, Ledeburit demir, %4,3 C, 100:1
Doku Perlit ve Zementit



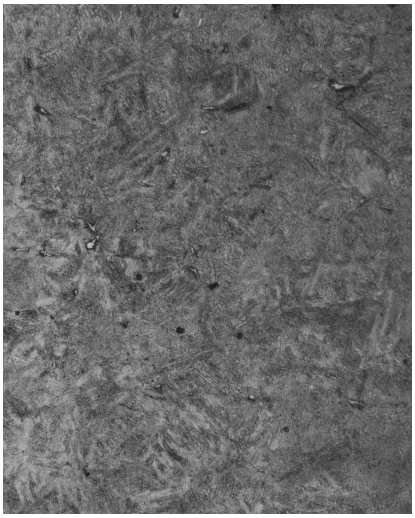
Şekil 18, Eutektik üstü demir, %5 C, 100:1
Açık renk yollar: Ledeburit içinde primer zementittir

1.3.3 Kesit resimleri için çeşitli örnekler

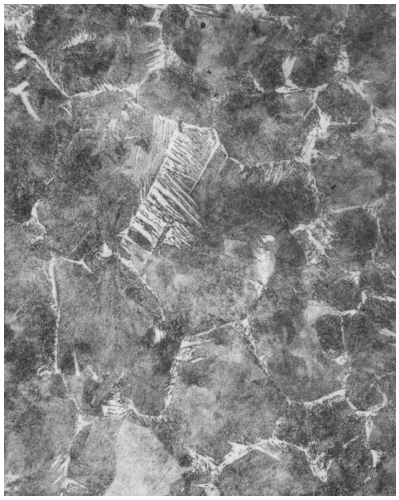
1.3.3.1 Sertleştirmeden sonra

Sertleştirmeden sonra doku değişikliği:

Tavlama şekline göre; ostenit ⇒ martensite, perlit veya ferrit ⇒ perlite dönüşür.
Tavlama ısısına göre; martensit ⇒ zementite veya ferrite dönüşür.



Şekil 19, Tavlanmış Ck 35
Tavlama: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Su
Bekleme: 240°C, 1 h



Şekil 20, Tavlanmış Ck 35
Tavlama: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Yağ
Bekleme: 240°C, 1 h

1.3.3.2 Islah ettikten sonra

Islah ettikten sonra doku değişikliği:

Tavlama şekline göre; ostenit ⇒ martensite, perlit veya ferrit ⇒ perlite dönüşür.
Tavlama ısısına göre; gevrek ve sert martensit ⇒ zementit veya ferrit kristaline dönüşür.

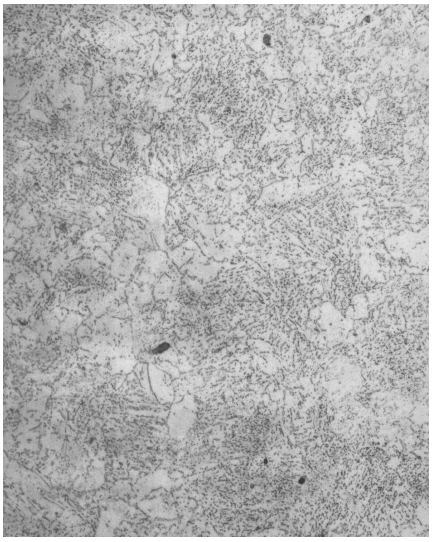
Şekil 21, Islah edilmiş Ck 35

Tavlama: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Yağ
Bekleme: 480°C, 1 h

1.3.3.3 Hafif tavlamadan sonra

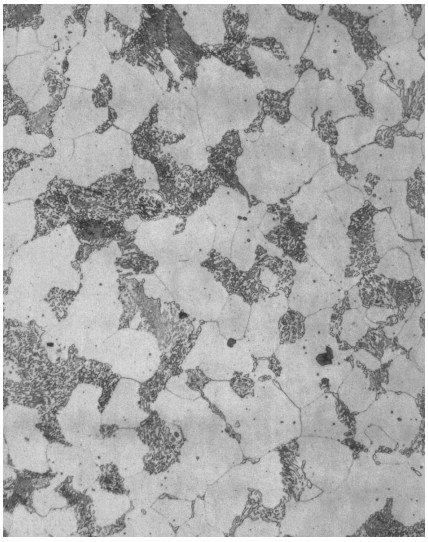
Hafif tavlamadan sonra doku değişikliği:

Çubuklu zementit ⇒ yuvarlak zementite dönüşür.



Şekil 22, Sertleştirilmiş Ck 35

Islah edilmiş: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Yağ
Bekleme: 480°C, 1 h
Hafif tavlama: 690°C, 3 h
Soğutma: Tavlama fırınında kapısı kapalı



Şekil 23, Sertleştirilmiş Ck 35

Normal tavlama: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Tavlama fırınında kapısı açık
Hafif tavlama: 690°C, 3 h
Soğutma: Tavlama fırınında kapısı kapalı

1.3.3.4 Normal tavlamadan sonra

Normal tavlamadan sonra doku değişikliği:

Tavlama şekline göre; kaba dokulu ostenit ve ferrit ⇒ ince dokulu ferrite veya perlite dönüşür.

Şekil 24, Normal tavlanmış Ck 35

Tavlama: 830°C, 15 dakika
Soğutma: Tavlama fırınının kapısı açılarak
Bekleme: 20°C ye inene kadar

2 Parçayı bozmadan kontrol

Malzeme sertliğini şu şekilde tanımlayabiliriz.

Bir cismin kendisine bastıran veya girmeye çalışan diğer cisme karşı gösterdiği dirençtir.

Sertlik kontrolü en basit ve en ucuz malyeme kontrolüdür. Malzemede oluşan çok küçük çukurlardan dolayı bu kontrol yöntemi grubu malzemeyi bozmadan kontrol grubuna dahil edilir.
Burada standartlaştırılmış sertlik cetvelleri yoktur. Ama sertlik kontrol yöntemleri standartlaştırıl-mıştır. Mohs'un zamanında yapmış olduğu basit sertlik cetvelinin teknikte tarihi bir kalıntıdan başka bir değeri yoktur.

Yüzey sertliği ölçme yöntemleriyle bitmiş parçalar, konstrüksiyon elemanları, takımlar, v.b. her şey kontrol edilebilir. Bütün ışıl işlemlerin, sertlik değeri bilenmediği taktirde, hiç bir değeri yoktur ve düşünülemezde.

Kopma mukavemeti malzemenin en önemli mekanik özelliğinden biridir. Malzemenin sertliği ile kopma mukavemeti arasındaki bağlantıdan ötürü, basit ve ucuz olarak sertliği bulunan bir malzemenin kopma mukavemet değeride malzemeyi bozmadan ve kopma (çekme) deneyi yapılmadan bulunmuş olur.
Takımların malzemeyi işleme hızları malzemenin sertliği ile bağıntılıdır. Malzemenin sertliğinin bilinmesi ve ona göre işlenmesi talaşlı imalatta oluşabilecek hataların önlenmesini, bazan taşlama çarklarının yanma tehlikesini korumasını sağlar.

Malzemenin yüzey sertliği kontrolü ilk olarak 17. yüzyılda ***Babra*** (1640) tarafından yüzeyleri sert maddelerle çizerek yapmıştır. Bunu 1722 yılında ***Rèaumer*** takip etmiştir. Babra ve Rèaumer yüzey sertlik kontrolünün öncüleridir. Fakat 1822 senesinde Mohs ilk olarak mineraller için 10 dereceli sertlik tablosunu yapıp yayınlamıştır. Yüzey sertlik kontrolünün tarihçesini kısaca sıralarsak şu kroniği görürüz:

1640	Babra	Kıymetli taşların yüzeylerini eğe ile çizme
1722	Réaumur	Minerallerle çeliği çizme
1822	Mohs	Çizgilerle 10 dereceli sertlik cetveli
1874	Uchatius	Keskiyle bronz talaşı yontma yöntemi ile sertlik bulma
1882	Prag Teknik Okulu	Çelikler için 18 dereceli çizerek sertlik bulma cetveli
1884		Taşlama sertliği
1889	Martens	Çizgilerle sertlik bulma yöntemi
1900	Brinell	Bilye baskısıyla sertlik ölçme yöntemi
1907	Ludwik	Koni sistemli ön kuvvet yöntemi
	Shore	Sıçrama yöntemi
	Meyer	Üs kanunlu bilye baskısıyla sertlik ölçme yöntemi
1920	Rockwell	Koni sistemli ön kuvvet yöntemi tam ve belirli olarak tanımı
	Smith / Sandland	Vickers yöntemi

Yüzey sertliği ölçme yöntemlerini şu üç ana grupta toplayabiliriz.

1. Statik yöntem,
2. Dinamik yöntem,
3. Elektromanyetik yöntem

2.1 Statik yöntemle yüzey sertliği ölçmesi

Statik yüzey sertliği ölçme yöntemlerini üç ayrı ana gruba ayrılır. Bunların hepsi genel olarak aynı sistemle yapılmalarına karşın küçük farklılıklar gösterirler. Bu üç yöntemdede sert bir madde ile sertliği kontrol edilecek yüzeye statik baskı yapılır ve sertlik ölçüsünü çukur yüzeyi ve derinliği belirler. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

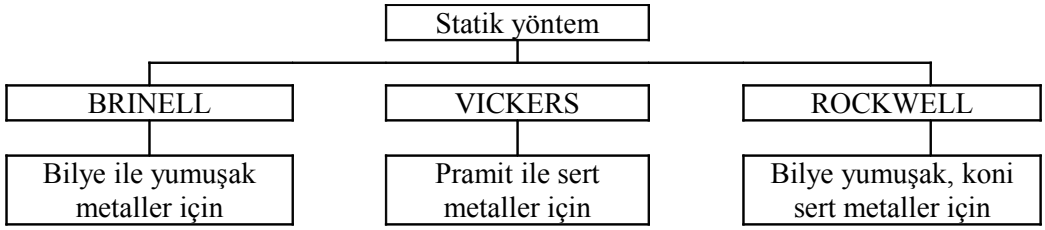


Foto 1, Brinell ölçü makinası

Foto 2, Vickers ölçü makinası

Foto 3, Rockwell ölçü mak.

Genelde malzeme ve parçaların daha önce belirlenen yöntemlerle sertliklerini ölçmek gerekir. Fakat bu çoğu kere yanlış verilmiş olur. Çünki çok kişi yalnız bir kontrol yöntemi tanır ve kontrol edilecek parçanın bu yöntemle kontrolünün yapılmasındaki sakıncaları bilmez. Bundan ötürü kontrol yöntemlerini ve özelliklerini tanımakta fayda vardır.

Malzemelerin çoğunun yüzey sertlikleriyle iç sertlikleri farklıdır. Hafif bir taşlamayla malzemenin yüzey sertliğinin değişmesini etkilenir.

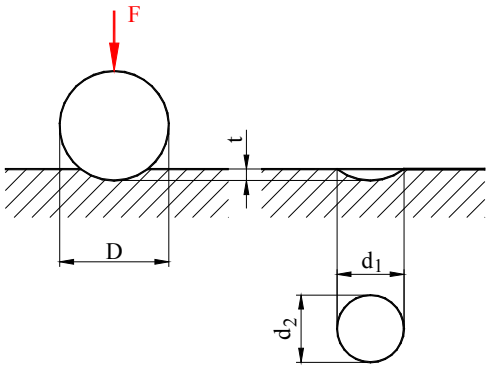
Çok küçük kontrol kuvvetleriyle yapılan sertlik kontrolleri; örneğin, Vickers (9,81 N - 98,1 N) veya Süper-Rockwell ile yapılan sertlik kontrollerinde, malzemenin yalnız yüzey sertlik değerleri bulunur. Fakat büyük kontrol kuvvetleriyle; örneğin, Vickers (981 N) veya Rocwell-C-yöntemiyle yapılan kontrollerde kontrol parçası göreceli olarak oldukça derine girdiğinden malzemenin iç sertliğini ölçmüş olur. Genelde daima imkan olan en büyük kuvvetle sertlik ölçmek en doğru yoldur. Böylece yerel malzeme hatalarından oluşabilecek yanlışların etkisi oldukça azaltılmış olur. Bunun en belirgin örneği döküm parçalarının pratikte Brinell yöntemiyle sertliklerinin ölçülmesidir.

2.1.1 Brinell sertlik ölçme yöntemi

2.1.1.1 Genel

İsveçli ***Johan August Brinell*** 1900 senesinde Paris dünya sergisinde yeni ve modern sertlik ölçme yöntemini açıklar. Bu yöntem şu şekilde yapılmaktadır:

Çapı belli (D) sert malzemeden yapılmış bir bilye belirli bir kuvvet ile sertliği ölçülecek yüzeye dik ve statik olarak belirli bir müddet bastırılır. Bastırma işi bitip bilye kaldırıldıktan sonra, bilyenin bırakmış olduğu çukur izinin çapı (d) 0,01 mm doğruluğunda ölçülür. Eğer çukur izi tam yuvarlak hissini vermiyorsa, bir birine dik iki çap (d_1 ve d_2) ölçülüp aritmetik ortalaması alınır. Bu değerlerle ve şu formülle malzemenin sertliği "***Brinell sertlik sayısı HB***" olarak hesaplanır.



Şekil 25, Brinell deneyi

$$HB = \frac{2 \cdot 0{,}102 \cdot F_{Ko}}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad F(0)$$

D	mm	Çelik bilyenin çapı
F	N	Kontrol kuvveti
d	mm	Ortalama çukur çapı

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad F(0)$$

d	mm	Ortalama çukur çapı
d_1	mm	Birinci çukur çapı
d_2	mm	Birinci çapa dik çap

Pratikte her ölçüde değerler bu formülle hesaplanmaz. Sertlik daha önceden standart çaplı bilyeler ve kuvvetler için hazırlanmış tablolardan okunur.

Kontrol yöntemindeki standart büyüklükler Tablo 1 de gösterilmiştir. ***Bilye çapları:*** 1 ; 2,5 ; 5 ; 10 mm ve çok ender olarakta 2 mm kabul edilmiştir. Kontrol kuvvetleri yükleme derecesi ile bulunur. ***Yükleme dereceleri :*** 30 ; 10 ; 5 ; 2,5 ; 1 ve çok ender olarakta 1,25 ; 15 kabul edilmiştir.

$$F = \frac{D^2 \cdot k_{Yü}}{0{,}102} \qquad F(0)$$

D	mm	Çelik kontrol bilyesinin çapı
$k_{Yü}$	1	Yükleme derecesi
0,102	mm	Kuvvet birimi Newton a çevirme faktörü

Tablo 1, Bilye çapı ve Yükleme derecesine bağlı kontrol kuvvetleri

Bilye çapı mm	Yükleme derecesi "$k_{Yü}$"							
	30	**10**	**5**	**2.5**	**1**	1.25 *)1	15 *)1	
10	**29420**	**9807**	**4903**	**2452**	**980,7**	1226	14710	Kontrol kuvveti N
5	**7355**	**2452**	**1226**	**612,9**	**245,2**	306,5	-	
2.5	**1839**	**612,9**	**306,5**	**153,2**	**61,29**	76,61	-	
1	**294,2**	**98,07**	**49,03**	**24,52**	**9,807**	12,26	-	
2 *)1	1177	392,3	196,1	98,07	39,23	49,03	-	

*)1 Çok ender kullanılır

Brinell sertlik sayısı eski teknik sistemde "kp" ile hesaplandığından, bu değerlerle çalışmayı devam etmek için 0,102 faktörü formül F(0) de kullanılmıştır. "9,81 N . 0,102 ≈ 1,00 kp" verir.

Diğer taraftan seçilen kontrol kuvvetinin çukur çapının bilye çapına göre $0{,}24\ D < d < 0{,}6\ D$ arasında olmasınada dikkat edilmelidir.

Kontrolü yapılacak malzeme yelpazesinin yeteri kadar geniş olması için kontrol bilyesinin çapı mümkün olduğu kadar büyük seçilmelidir. Fakat bu seçim yapılırken kontrolü yapılan malzemenin zarar görmemesi, parçanın kalınlığı, kontrol edilen yüzeyin alanı ve dokusuda dikkate alınmalıdır.

Sertlik derecesi 350 HB ye kadar olan malzemelerde çelik bilye kullanılabilinir. Sertliği 350 HB ile 650 HB arasında olan malzemelerde çelik bilye kullanıldığında elastik yassılmadan dolayı yanlış olarak çukurun derinliği az çapı büyük olur ve yanlkış olarak bu az Brinell sertliği gösterir. Burada sert metal bilye kullanılırsa (yassılma az olacağından) bulunan değerler daha doğru ve sihhatli olur.

Sertliği 650 HB den daha yüksek olan malzemelerde başka kontrol yöntemlerini kullanmak daha faydalıdır. Örneğin; Vickers yöntemi.

Kontrol bilyesinin çapının ve kontrol kuvvetinin büyük seçilmesiyle kolaylıkla çukur çapının büyük olduğu görülür. Böylece kontrol aleti değiştirilmeden heterojen (çeşitli, değişik) malzemeler yelpazesinde geniş bir alan kontrolu yapılabilir.

Tablo 2, Serlik kontrol sahaları

Yükleme derecesi	30	10	5	2,5	1,25
HB büyüklüğü	67 – 450	22 – 315	11 – 158	6 – 78	3 – 39
Kullanılacağı saha	Çelik ve Demir	Demir olmayan malzemeler			
	Yumuşak çelik, Çelik döküm, Temper döküm, Dökme demir, Titan alaşımları, Isıya dayanıklı,	Hafif metal, Alaşımlı dökümler, Bakır, Bronz, Nikel	Saf Alu, Manganez, Çinko, Dökme pirinç	Yataklık metaller	Kurşun, Kalay Hafif metal

2.1.1.2 Pratikte Brinell sertlik ölçme yönteminin uygulanması

Kontrolda çevre ve parça sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında olmalıdır. Şartlar ve istekler yüksek tutulmuşsa çevre ve parça sıcaklığı 23,5°C alınır. Kontrolü yapılan parçanın yüzeyi tertemiz ve kalınlığıda en az 4 ile 8 kat çukur derinliğinde olmalıdır. Bilye çapı 10 mm alınır. Kontrol kuvveti parçanın arka yüzünde deformasyon yapmayacağı kadar büyük seçilmelidir. Kontrol kuvveti darbesiz olarak 2 ile 8 saniye arasında değerini bulmalıdır. Kuvvet değerini bulduktan sonra 10 saniye etkili bırakılmalıdır. Yumuşak ve kolay akan malzemelerde (örneğin; kurşun) en az 30 saniye ve bazen daha fazla tutulmalıdır. Bütün bu şartların yanı sıra çukur çapının bilye çapına göre $0{,}24\ D < d < 0{,}6\ D$ arasında olmasıda ana şarttır.
Kontrolün yapıldığı müddette kontrol makinası darbe, titreşimler ve yer sarsıntılarından (deprem dahil) korunmalıdır. Bu haller sonuç değerlerine etki ederler. Kontrol yerleri parçanın kenarlarından ve biribirlerinden yeteri kadar uzak olmalıdır. Bu ölçülerin en küçük değerleri DIN 50351 ile belirlenmiştir.

Kabaca pratikte kullanılacak değerleri şu şekilde sıralayabiliriz.

Komşu iki çukurun mesafesi: ≥ 4 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 6 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)
Kenar ile çukurun mesafesi: ≥ 2,5 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 3 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)

Kontrol diğer çaptaki bilyelerlede ve diğer kabullerle yapılabilir. Kontrol sonucu elde edilen değer:

eğer kontrol bilye çapı ***D=10 mm***, kontrol kuvveti ***F=2500 N*** *(2452 N)*, kontrol kuvveti ***t = 15 s*** (5+10) etkili yapılmışsa, Brinell sertlik değeri örneğin; ***180 HB*** olarak verilir.

eğer kontrol bilye çapı ***D=5 mm***, kontrol kuvveti ***F=1250 N*** *(125 kp = 1226 N)*, kontrol kuvveti ***t = 20 s*** (5+15) etkili yapılmışsa, Brinell sertlik değeri örneğin; ***160 HB 5/125/20*** olarak verilir.
Kontrol edilecek parçanın kalınlığı (s_{Pa}) beklenen Brinell sertliğine göre şu formülle seçilebilir.

2.1.1.3 Brinell sertliğinin gösterilişi

180 HBS burada S, kontrol bilye malzemesinin çelik olduğunu (S = Steel = Stahl),
180 HBW burada W, kontrol bilye malzemesinin sert metal volframkarpit olduğunu gösterir.

$$s_{Pa} \geq 10 \cdot \frac{0{,}102 \cdot F_{Ko}}{\pi \cdot D \cdot HB} \qquad F(0)$$

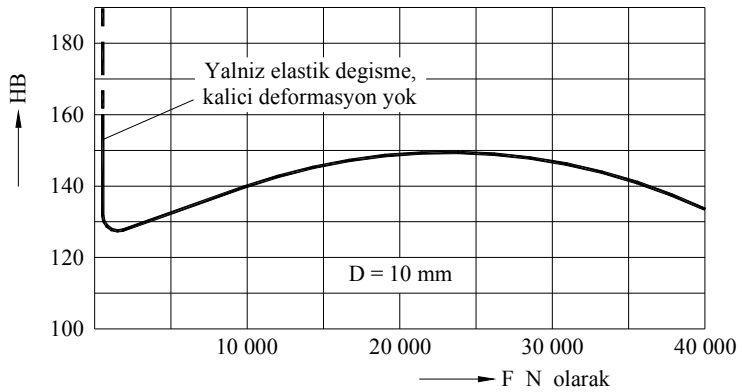
s_{Pa}	mm	Kontrol parçasının minimum kalınlığı
F_{Ko}	N	Kontrol kuvveti
0,102	mm	Kuvvet birimi Newton a çevirme faktörü
D	mm	Çelik kontrol bilyesinin çapı
HB	1	beklenen Brinell sertliği

Kabaca kontrol parçasının minimum kalınlığı sert malzemede çukur çapının iki katı, yumuşak malzemede 1,5 katı olmalıdır.

2.1.1.4 Brinell sertlik sayısının karşılaştırılması

Çeşitli kontrol labaratuvarlarından elde edilen Brinell sertlik sonuçları şu şartlar ile birbiri ile kıyaslanabilirler.

- Çevre ve parça sıcaklığı aynı alınmışsa,
- Kontrolü yapılan parçanın kalınlığı aynı ise,
- Kontrol bilye çapı aynı ise,
- Kontrol kuvveti aynı ise,
- Kontrol kuvveti darbesiz eşit müddette ve etkili bırakılmışsa.



Şekil 26, Sabit bilye çaplı kontrolde kuvvetin etkisi

2.1.1.5 Çekme mukavemetinin Brinell sertliğin ile bulunması

Pahalı çekme deneyi ile malzemenin kopma mukavemetini bulma yerine, gayet ucuz sertlik deneyi ile bu değeri bulma amacıyla Brinell sertlik ile kopma mukavemeti arasında bağlantı faktörü bulur.
Bu faktör zamanla çeşitli deneyler sonucu devamlı düzeltilmiş ve pratikte kullanılabilir bir hale getirilmiştir.

Kopma mukavemet değeri $R_m \approx 1400$ N/mm² kadar çelikler için şu formül kullanılır:

$$R_m \approx 3{,}5 \cdot HB \qquad F(0)$$

R_m	N/mm²	Malzemenin kopma mukavemet değeri
HB	1	Malzemenin Brinell sertlik değeri

Kopma mukavemet değeri $R_m \approx 1400$ ile 2100 N/mm² arası çelikler için şu formül kullanılır:

$$R_m \approx 4{,}0 \cdot HB \qquad F(0)$$

R_m	N/mm²	Malzemenin kopma mukavemet değeri
HB	1	Malzemenin Brinell sertlik değeri

Diğer malzemeler içinde faktörler hesaplanabilir.

2.1.1.6 Brinell sertlik ölçme yönteminin yarar ve zararları

Brinell sertlik ölçme yöntemin şu yarar ve zararları görülmektedir:

Yararları:

- Hetorojen malzemenin kontrolü,
- Döküm ve dövmede üretilen büyük parçaların kontrol edilebilinmeleri,
- Döküm parçaları için yegane kontrol yöntemi.
- Çevre etkisinden en az etki ve zarar gören yöntem.
- Gayet ucuz kontrol bilyeleri, ...

Zararları:

- Yüksek sertlik ve ince kontrol parçalarının sınırlanması,
- Sertleştirilmemiş 450 HB ye kadar malzemelerin sertliğinğn ölçülebilmesi.
- Görünüş hataları ve küçük baskı çukurcuklarının oluşması.
- Çukurcukların ölçülebilmesi için kontrolu yapılacak yüzeyin temiz olması.
- Diğer sertlik ölçme yöntemlerine göre daha fazla zaman alan ve zor işlem.

2.1.1.7 Brinell sertlik ölçme yönteminin özeti

Kullanılım alanı: 650 HB sertliğine kadar bütün malzemelerde.
Kontrol aleti: DIN 51225 e göre sabit alet.
Kontrol parçası: Bilye, D = 10 mm (1 ; 2,5 ; 5), Malzeme, sert metal E ≥ 600 000 N/mm² veya sertleştirilmiş çelik ≥850 HV 10
Kontrol kuvveti: 2500 N, bilye çapı ve yükleme derecesine bağlı.
Kuvveti yükleme zamanı: 2 ile 8 saniye arası.
Kuvvetin bastırma zamanı: 10 saniye (10 ile 15 saniye arası ve bazan 30 saniye)
Komşu iki çukurun mesafesi: ≥ 4 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 6 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)
Kenar ile çukurun mesafesi: ≥ 2,5 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 3 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)
Kontrol parçasının min. kalınlığı: Çukur derinliğinin en az 8 ile 10 katı.
Kontrol parçasının yüzeyi: Metalik parlak ve temiz.

Sertlik değeri formülü:

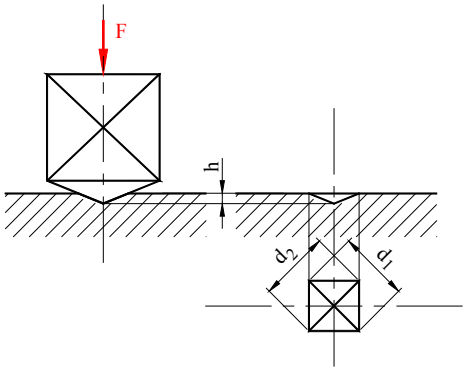
$$HB = 0{,}102 \cdot \frac{2 \cdot F_{Ko}}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \qquad F(0)$$

HB	1	Brinell sertlik değeri	D	mm	Çelik kontrol bilyesinin çapı
F_{Ko}	N	Kontrol kuvveti	d	mm	Çukur çapı

2.1.2 Vickers sertlik ölçme yöntemi

2.1.2.1 Genel

Brinell yöntemiyle 650 HBS den daha sert malzeme elastik yassılmadan dolayı zorlukların oluşması 1925 senesinde ***Smith*** ve ***Sandland*** adında iki İngiliz araştırmacı İngilterede uçak fabrikası ***Vickers*** firmasında yeni sertlik ölçme yöntemi geliştirmiştir. Bu yönteme Brinell ve Rockwell de olduğu gibi Smith ve Sandland yöntemi denilmeyip, yöntem ***Vickers*** firmasında kullanıldığından ve oradan endüstriye yayıldığından yönteme ***"Vickers sertlik ölçme yöntemi"*** adı verilmiştir.



Şekil 27, Vickers deneyi

$$HV = \frac{2 \cdot 0{,}102 \cdot F_{Ko} \cdot \cos 22^\circ}{d^2} = 0{,}1891 \cdot \frac{F_{Ko}}{d^2} \qquad F(0)$$

F_{Ko}	N	Kontrol kuvveti
d	mm	Ortalama köşegen boyu

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad F(0)$$

d	mm	Ortalama köşegen boyu
d_1	mm	Birinci köşegen boyu
d_2	mm	İkinci köşegen boyu

2.1.2.2 Pratikte Vickers sertlik ölçme yönteminin uygulanması

Kontrolda ısı Brinell de olduğu gibi, çevre ve parça sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında olmalıdır. İstekler yüksek tutulmuşsa çevre ve parça sıcaklığı 23,5°C alınır. Kontrolü yapılan parçanın yüzeyi tertemiz ve kalınlığıda en az 4 ile 8 kat çukur derinliğinde olmalıdır. Kontrol kuvveti ve parçanın kalınlığı parçanın arka yüzünde deformasyon olmayacağı kadar büyük seçilmelidir. Kontrol kuvveti darbesiz 15 saniyeye kadar değerini bulmalıdır. Kuvvet değerini bulduktan sonra 10 saniye etkili bırakılmalıdır. Yumuşak ve kolay akan malzemelerde (örneğin; kurşun) en az 30 saniye ve bazen daha fazla tutulmalıdır.

Kontrolün yapıldığı müddette kontrol makinası darbe, titreşimler ve yer sarsıntılarından (deprem dahil) korunmalıdır. Bu haller sonuç değerlerine etki ederler. Kontrol yerleri parçanın kenarlarından ve biribirlerinden yeteri kadar uzak olmalıdır. Kontrol çukuru ortası parça kenarından en az 3.d uzaklığında olmalıdır. Pramit darbe ve vuruşlardan korunmalı ve zaman zaman en az optik olarak kontrol edilmelidir. Çok sert metallerin kontrolleri küçük kontrol kuvvetleri ile yapılmalıdır. Böylece pramitintepe sivriliği korunur.

Tabanı kare pırlantadan yapılmış tepe açısı α = 136° olan pramit deney parçası olarak kullanılır. Pramitin tepesi sivri olarak bırakılmıştır. Mikroskopla bakıldığında bile sivriliği görülür. Vickers yöntemi ile Brinell yöntemi arasında bilye ve pramit şeklinden başka pek büyük ayrılık yoktur. Vickers kontrol yöntemindede pramit standart bir kuvvet ile sertliği ölçülecek yüzeye dik ve statik olarak belirli bir müddet bastırılır. Bastırma işi bitip pramit kaldırıldıktan sonra, pramitin bırakmış olduğu çukur izinin köşegenleri d_1 ve d_2 0,002 mm doğruluğunda ölçülür. çapı (d) 1/100 mm hassasiyetiyle ölçülür. Bu iki değerin aritmetik ortalamadı köşegen değeri "d" olarak alınır. Bu köşegen değeri ve kontrol kuvveti F_{Ko} ile malzemenin sertliği "***Vickers sertlik sayısı HV***" veya bazı yerlerde kullanıldığı gibi ***"Pramit sertlik sayısı"*** olarak hesaplanır. Çukur köşegenleri deney makinasında bulunan optik ölçü mekanizmasıyla ölçülür.

Optik ölçü mekanizması şu şartlara haiz olmalıdır:

- Eğerd > 0.035 mm ⇒ Toplam büyültme "V" ⇒ $V \cdot d \geq 14$ mm
- Eğerd ≤ 0.035 mm ⇒ Toplam büyültme "V" ⇒ $V_{min} \geq 400$ kere
- Eğerd ≥ 0.2 mm ise, okuma sistemindeki hata max. % ±0.5 olabilir.
- Eğerd < 0.2 mm ise, okuma sistemindeki hata max. 0,001 mm olabilir.
- Okuma sisteminin hatası köşegen boylarının okunmasında %1 i geçmemelidir.

Brinell sertlik sayısında olduğu gibi Vickers sertlik sayısındada eski teknik sistemde "kp" ile hesaplandığından, bu değerlerle çalışmayı devam edebilmek için kp ile N arasındaki eşitlik faktörü 0,102 formüle ilave edilmiştir. Buda "9,81 N . 0,102 ≈ 1,00 kp" verir.
Pratikte Brinell sertlik yönteminde olduğu gibi Vickers sertlik deneyindede her ölçüde değerler hesaplanmaz. Sertlik daha önceden hazırlanmış tablolardan okunur.
Vickers sertlik deneyinde kontrol kuvveti 0,098 N ile 980 N arasındadır. Bu kuvvet yelpazesi üç grupta toplanır.

1. Kısım, Vickers normal kuvvetle sertlik kontrolü, kuvvet F_{Ko} $49{,}03\ N \leq F_{Ko} \leq 980\ N$,
2. Kısım, Vickers küçük kuvvetle sertlik kontrolü, kuvvet F_{Ko} $1{,}96\ N \leq F_{Ko} \leq 49\ N$,
3. Kısım, Vickers mikro kuvvetle sertlik kontrolü, kuvvet F_{Ko} $0{,}098\ N \leq F_{Ko} \leq 1{,}96\ N$.

Vicker yöntemiyle yapılan kontroller genelde sabit makinalarla yapılır. Kontrolün yapıldığı müddette kontrol makinası darbe, titreşimler ve yer sarsıntılarından (deprem dahil) korunmalıdır. Bu haller sonuç değerlerine etki ederler. Kontrol yerleri parçanın kenarlarından ve biribirlerinden yeteri kadar uzak olmalıdır. Çok büyük parçalarla sabit parçaların kontrolü için seyyar makinalar kullanılır. Bu makinalar kontrolü yapılan parçaya bağlanırlar.

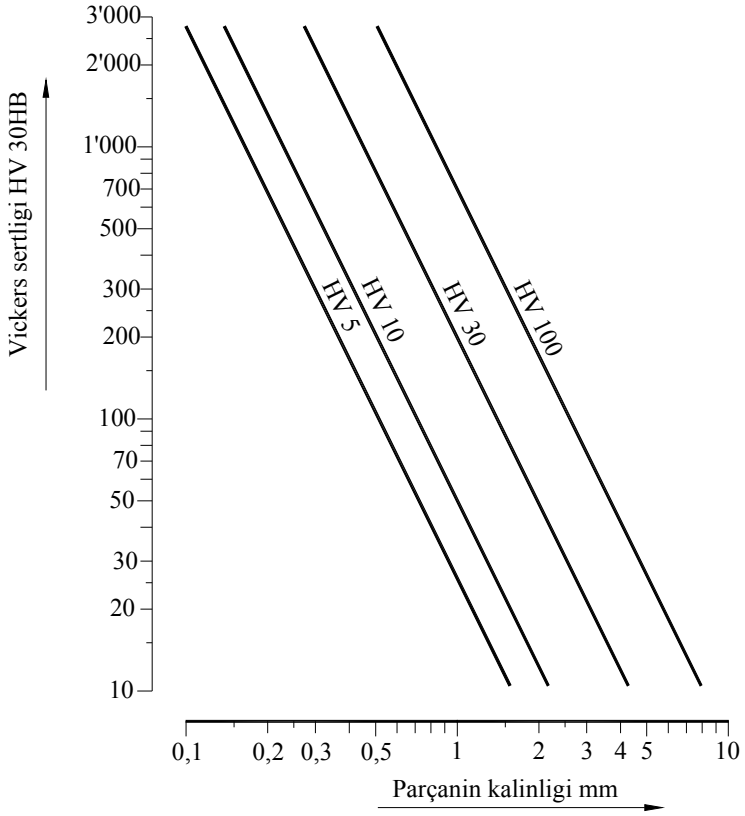
Vicker yöntemiyle yapılan kontroller parçayı bozmadan yapılan kontroller sınıfına sokulur. Kontrolü yapılan yüzeydeki çok küçük çukur zarar kabul edilmez.
Piramidin alanı, değişik kontrol kuvvetleri altında, kontrol yüzeyi ile aynı açıyı verir. Böylece çok küçük kontrol kuvvetlerinde bile kati ve rahatça görülen piramit çukur kenarları oluşur. Piramit çukurları daima benzer geometrik şekil olduğundan sertlik değeri kontrol kuvvetinin büyüklüğü ile bağıntılı değildir. Fakat küçük kuvvet bölgesinde kuvvet değeri büyüdükçe sertlik değerininde büyüdüğü görülür, çünkü; elastik deformasyon daha büyür. Çok küçük kontrol kuvvetleriyle elde edilen sertlik değerlerinde sapmalar görülür. Bu sapmaların sebepleri şunlardır:

Deney parçasının minimum kalınlığı çukur köşegeninin 1,5 katı olmalıdır. Çukur köşegeni derinliğinin yaklaşık 7 katıdır. Şekil 28 de Vickers sertliğine göre sertlik deneyinde deney parçasının minimum kalınlığı için öneriler verilmiştir.
Ölçmelerde kontrol kuvvetinin değişmesine göre sertlik değerleride değişir.

1. Çeşitli kontrollerde alınan sonuçlar çok büyük ayrılıklar gösterir. Fakat kontrol kuvvetinin 20... 2... 0,2 N değerlerinde değişmesi sertlik değerinin değişim oranının 4... 8... 16 arasında değişmesi normal kabul edilir.

2. Kalıcı çukur ölçülerinin (ölçülen) toplam (plastik ve elastik) çukur ölçüsüne farkı daima aza doğru gider. Görünüşte sertlik artar. 100 N kontrol kuvvetiyle yapılan ölçülerine karşın, 20, 2 veya 0,2 N ile yapılan kontrollerde elde edilen değerleri %6 ile %12 veya %24 daha fazla kabul edilmelidir.

Kontrol kuvvetinin 3N ile 0,1N arasında değişmesi büyük sertlik değeri değişimine sebep olur. Çukur köşegeninin büyük olması sertliği ölçülen melzemenin bir çok kristal hücresini kapsadığını gösterir ve bu hücrelerin bir birine göre kaymasını önleyerek sertlik değerinin daha sihhatli olmasını sağlar. Bunun yanında çok küçük çukur köşegeni tek bir kristal hücresini kapsadığından çok küçük sertlik değeri bulunur. Bu değişiklil miktarı %50 ye kadar olabilir.



Şekil 28, Vickers sertlik deneyinde deney parçasının minimum kalınlığı

2.1.2.3 Vicker sertliğinin gösterilişi

Vicker sertliğinin yanlış anlaşılmaması için standart olarak şu şekilde gösterilir: Sertlik değerinin yanında, sertlik kontrol yöntemi ve kontrol kuvvetinin verilmesi gerekir.

Vicker sertliği şu şekilde gösterilir:

610 HV 10 / 15

Burada:

610	Malzemenin sertlik değerini gösterir
HV	(Hardness=Härte=Sertlik) Vicker yöntemiyle sertlik
10	Kontrol kuvveti 10 kp (kilopond)
15	Kuvvet 15 saniye tutulmuş.

Kontrolde dikkat edilecek ana husus, kontrol kuvvetinin 10-15 saniye arası devamlı etkili olması ve kontrolü yapılan yüzeye tam dik olarak bastırmalıdır. Kontrol yüzeyinin tamamen yabancı maddelerden arıtılmış ve temiz durumda olması gereklidir.

Pratikte kontrol bir sürü sertlik değeri bulunur. Bu değerlerin en büyüğü ile en küçüğü bir kenara bırakılır. Geriye kalan değerlerin ortalaması alınıp sertlik değeri belirlenir.

2.1.2.4 Vicker sertlik yönteminin yarar ve zararları

Vicker sertlik yönteminin en önemli yarar ve zararları şunlardır:

Yararları:

- Gayet doğru ve hassas yöntemdir.
- Malzemenin sertliği sınırlayıcı değildir.
- Kontrol parçasının kalınlığının veya yüzeyinin büyüklüğü sonucu etkilemez.
- Kontrol yüzeyinde yok derecede çok az bozulma oluşur.
- Kontrol kuvvetinin ≥ 98 N olması veya şartlar aynı olduğu zaman bütün kontrol labaratuvarları (çok küçük kuvvetlerle bile) aynı değeri bulur.
- Çok küçük kontrol kuvvetiyle sihhatlı sonuç alınır.
- Kalite emniyeti için kullanılan en geçerli yöntemdir.

Zararları:

- Diğer yöntemlere göre hazırlanması daha hassas ve zamanı daha fazladır.
- Çukur boyutları tam ve hassas ölçülmesi gereklidir ve değerlendirme diğer yöntemlere göre daha uzun zaman alır.
- Darbe ve sallantılara karşı hassastır.
- Optik olarak çok hassas işlemler yapılacağından relatif pahalıdır.

2.1.2.5 Vicker sertlik yönteminin özeti

Kullanılım alanı: bütün metaller.

Kontrol aleti: DIN 51225, T1 e göre genelde sabit alet. Büyük parçalarda seyyar alet kullanılır.

Kontrol parçası: Elmastan(pırlantadan) kare pramit
Tepe açısı: 136° ±20'
Kenar açısı; 148° ±15'

Kontrol kuvveti: Normal 49,03 ; 98,07 ; 196,1 ; 294,2 ; 490,3 ve 980,7 N.

Kuvveti yükleme zamanı: 2 ile 8 saniye arası.

Kuvvetin bastırma zamanı: 10 saniye (10 ile 15 saniye arası)
Demir malzemeler ve fazla sert demir olmayan malzemelerde bazan 30 saniye

Komşu iki çukurun mesafesi: ≥ 3 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 6 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)

Kenar ile çukurun mesafesi: ≥ 2,5 . d (çelik, dökme demir (GG), bakır ve bakır alaşımları)
≥ 3 . d (hafif metaller, kurşun, kalay ve alaşımları)

Kontrol parçasının min. kalınlığı: ≥ 1,5 . d (kare çukurun köşegeni)

Kontrol parçasının büyüklüğü: ≥ 2,5 . d

Kontrol parçasının yüzeyi: Metalik parlak ve temiz. Bilhassa küçük kontrol kuvvetlerinde çok temiz ve düzgün satıh olması gerekir.

$$\boxed{HV = \frac{F_{Ko}}{A} = 0{,}1891 \cdot \frac{F_{Ko}}{d^2}} \qquad F(0)$$

HV	1	Vicker sertlik değeri
F_{Ko}	N	Kontrol kuvveti
d	mm	Ortalama köşegen boyu

2.1.3 Rockwell sertlik ölçme yöntemi

2.1.3.1 Genel

1908 senesinde ***Ludwik*** pırlata koninin bir malzemeye girme derinliğinin o malzemenin sertliğini göstereceğini yayınlamıştı. Amerikalı ***Rockwell*** bu fikri ele alıp 1931 senesinde pratikte kolay kullanılacak bir yöntem geliştirdi. Yöntemin çok basit ve kullanılışlı olması endüstride kolaylıkla yayılmasına yol açtı. Diğer taraftan bu yöntemde kullanılan kontrol aletlerinin ucuz olmasıda bu yayılmanın sebeplerinden biridir.

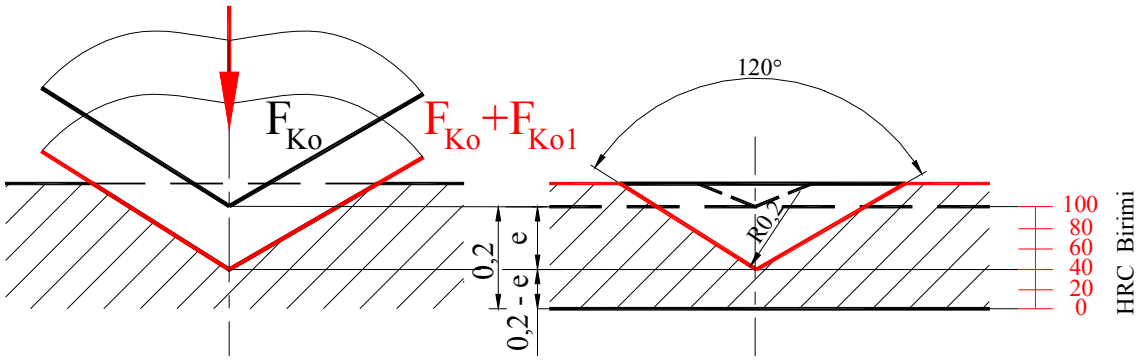
2.1.3.2 Pratikte Rockwell sertlik ölçme yönteminin uygulanması

Pratikte kullanılan bir çok Rockwell sertlik ölçme yöntemi vardır. Bunlardan en önemli ikisi şunlardır; ***Rockwell-C- yöntemi HRC*** ve ***Rockwell-B- yöntemi HRB.*** Bu yöntemler DIN 50103 ile tamamen standartlaştırılmışlardır. Sistemler arasındaki farklılık; Kontrol parçasının malzemesi ve şekli, kontrol kuvvetlerinin "F_{Ko} ve F_{Ko1}" büyüklüğü, v.s. olarak belirtilebilinir. Diğer az kullanılan Rockwell sertlik ölçme yöntemleri ISO ile standartlaştırılmışlardır. Kontrolün yapılmasında kontrolu yapılacak parçayı yüzeyinde iz bırakmayacak şekilde seçmeli ve standartların önerilerine uyarak ***HRB yöntemiyle*** 35...10 HRB ve ***HRC yöntemiylede*** 20...67 HRC arasındaki kontroller yapılmalıdır.

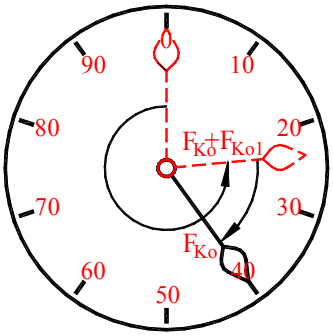
Burada yalnız C ve B yöntemlerini özet olarak görelim.

2.1.3.2.1 Rockwell-C-yöntemi

Rockwell-C-yönteminde kontrol parçası olarak konik pırlanta kullanılır ve yöntemin adıda İngilizce ***koni = cone*** kelimesinin ***C*** harfi alınarak ***HRC*** olarak verilmiştir. Koninin tepe açısı α = 120° dir ve tepe yuvarlanmasıda R = 0,2 mm olarak standartlaştırılmıştır.



Şekil 29, Rockwell-C- yöntemi HRC



Ön kontrol kuvveti F_{Ko} = 98,07 N ve kontrol kuvveti F_{Ko1} = 1373 N alınır. Koninin kontrol edilmiş sertifikalı koni olmasına dikkat edilmelidir. Sertlik ölçmede çeşitli kontrol parçalarıyla aynı malzemede değişik sertlik değerleri bulunabilir. Bu değişikliğin sebepleri bu güne kadar bulunamamıştır. Kullanılan kontrol parçası ile standart kontrol parçası arasında fonksiyon karşılaştırması yapılır. Böylece kullanılan kontrol parçasının sıhhatli değerler vereceği bulunur.

Rockwell-C-yöntemindede ısı diğer yöntemlerdeki gibi kabul edilir.

Kontrolda çevre ve parça sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında olmalıdır. İstekler ve şartlar yüksek tutulmuşsa çevre ve parça sıcaklığı 23,5°C alınır.

Tecrübelere dayanarak Rockwell 0,2 mm çukur derinliğini sınır değeri ***"0"*** sıfır sertlik olarak kabul etmiş ve çukur derinliği e = 0,2 mm ile e = 0 mm arasını 0,002 mm lik 100 eşit kısma ayırmıştır. Böylece kontrolu yapılan parça için ***HRC 0*** ile ***HRC 100*** arasında büyüyen bir sertlik değeri bulunur.

$$\boxed{HRC = \frac{0{,}2mm - e}{0{,}002mm}} \qquad F(0)$$

HRC	1	Rockwell C yöntemi sertlik değeri
e	mm	F_{Ko} dan sonraki çukur derinliği

Şekil 29 ile gösterilen örnekte; e = 0,12 mm ölçülmüştür. Bu değerle hesabımızı yaparsak:

$$HRC = \frac{0{,}2mm - 0{,}12mm}{0{,}002mm} = \frac{0{,}08}{0{,}002} = 40\,HRC$$

bulunur. Burada ölçülmüş olan sertlik ***40 HRC*** dir.

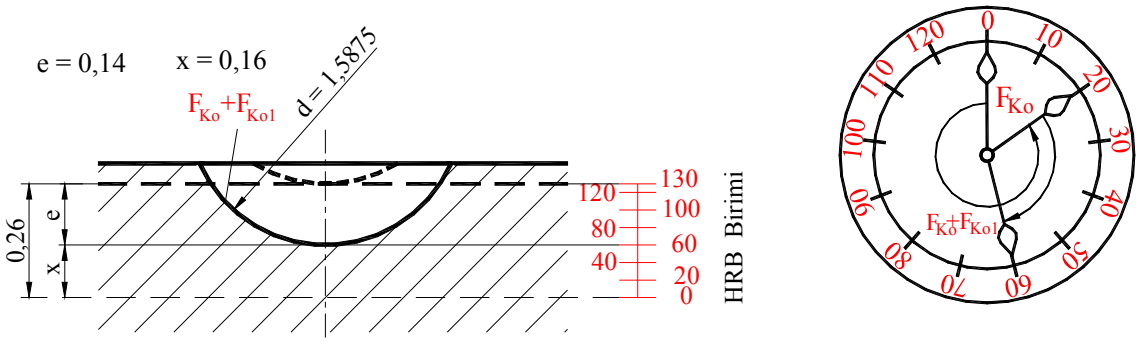
Bulunan bu sonuç Şekil 29 ilede görülmektedir. Sertlik ölçme makinasında yukarıda görüldüğü gibi özel sertlik göstergesi vardır. HRC sertliği hiçbir hesap yapılmadan hemen okunur.

2.1.3.2.2 Rockwell-B-yöntemi

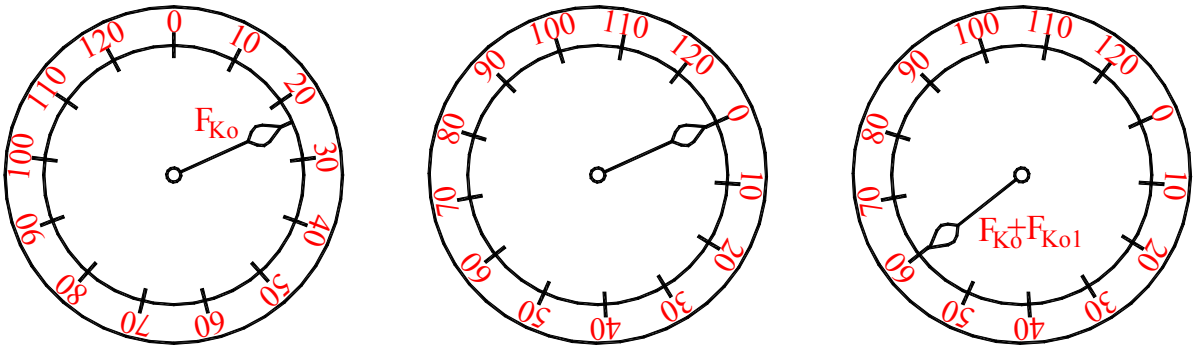
Rockwell-B-yöntemiyle sertlik ölçümü Rockwell-C-yöntemi ile şu farklılıkları göstrir;

- Kontrol parçası sertleştirilmiş çelikten yapılmış top şeklindedir. Bunun içinde ve yöntemin adıda İngilizce ***top = ball*** kelimesinin ***B*** harfi alınarak ***HRB*** olarak verilmiştir. Topun çapı 1/16" (1,5875 mm) dir.
- Kontrol kuvvetleri F_{Ko} = 98,07 N ve F_{Ko1} = 882,6 N dur.
- Çukur derinliğini sınır değeri ***"0"*** sıfır sertlik derecesi e = 0,26 mm olarak kabul edilmiştir. Bu aralık 0,002 mm lik 130 eşit aralığa bölünmüştür.

  Böylece HRB sertliği ***HRB 0*** ile ***HRB 130*** arasında değer alır.
- Rockwell-B-yöntemindede ısı diğer yöntemlerdeki gibi kabul edilir. Kontrolda çevre ve parça sıcaklığı 10°C ile 35°C arasında olmalıdır. İstekler ve şartlar yüksek tutulmuşsa çevre ve parça sıcaklığı 23,5°C alınır.



Şekil 30, Rockwell-B- yöntemi HRB



Şekil 31, Rockwell-B- yöntemi ölçme skalası

Rockwell-B- yönteminde hesaplama formülü;

$$\boxed{HRB = \frac{x}{0{,}002mm} = \frac{0{,}26mm - e}{0{,}002mm}} \qquad F(0)$$

HRB	1	Rockwell B yöntemi sertlik değeri
e	mm	F_{Ko} dan sonraki çukur derinliği

Şekil 30 ile gösterilen örnekte; e = 0,14 mm ölçülmüştür. Bu değerle hesabımızı yaparsak:

$$HRB = \frac{0{,}26mm - 0{,}14mm}{0{,}002mm} = \frac{0{,}12}{0{,}002} = 60\,HRB$$

bulunur. Burada ölçülmüş olan sertlik ***60 HRB*** dir.

Şekil 31 de görülen ölçü skalası ile Rockwell-B- yöntemiyle yapılan ölçüler doğrudan okunur.

F_{Ko} ile bastırılan yüzeyde oluşan derilik göstergenin o noktasına sıfır değerinin getirilmesiyle sertliğin doğrudan okunması sağlanır.

2.1.3.2.3 Süperrockwell yöntemi

Rockwell yöntemlerinde kontrol parçası parçaya oldukça derin girer ve ince parçaların kontrolu imkansızlaşır. Bu durumu önlemek için ***Süperrockwell yöntemi*** geliştirilmiştir. Süperrockwell birimi 0,001 mm dir.

2.1.4 Rockwell sertliğinin gösterilişi

Rockwell sertliğinin yanlış anlaşılmaması için standart olarak şu şekilde gösterilir: Sertlik değerinin yanında, sertlik kontrol yöntemi ve kontrol kuvvetinin verilmesi gerekir.

60 HRC veya 60 HRB

Burada:	60	Malzemenin sertlik değeri.
	HR	(Hardness=Härte=Sertlik) Rockwell yöntemiyle sertlik.
	C	Konik uçla yapılmış ölçme.
	B	Top uçla yapılmış ölçme.

Kontrolde dikkat edilecek ana husus, kontrol kuvvetinin kontrolü yapılan yüzeye tam dik olarak bastırmasıdır. Kontrol yüzeyinin tamamen yabancı maddelerden arıtılmış ve temiz durumda olması gereklidir. Deney malzemesinin en küçük kalınlığı, deney derinliğinin 10 katından büyük olmalıdır.

2.1.4.1 Rockwell sertlik yönteminin yarar ve zararları

Rockwell sertlik yönteminin en önemli yarar ve zararları şunlardır:

Yararları:

- İşlem çok zaman almadan çabuk yapılır.
- Digital kontrol hiçbir probleme rastlanmadan yapılır.
- Kontrol parçasının hazırlanması gayet basittir ve büyüklüğü sonucu etkilemez.
- Kontrol yüzeyinde yok derecede çok az bozulma oluşur.
- Sertlik değerinin doğrudan okunması. Yardımcı tablo veya herhangi bir gereçe gerek duyulmaması.
- Ölçü aletinin oldukça ucuza satın alınması.
- İşlemin oldukça ucuza yapılması.

Zararları:

- Ölçmelerde oldukça büyük farklılıkların olması,
- Bilinmiyen etkenlerin sonucu etkilemeleri,
- Kullanılan kontrol parçası ile standart kontrol parçası arasında fonksiyon karşılaştırması yapılması, v.b.

2.1.4.2 Rockwell ile Brinell arasındaki bağıntı

Rockwell-C- yöntemiyle bulunan sertlik değeri ile Brinell sertliği arasında şu bağıntı kurulabilir:

$$\boxed{HRC \approx \frac{HB}{10}} \qquad F(0)$$

Bu formül 160 HB den daha az sertliklerde geçerli değildir. Buda Brinell sertliği deneyinde F1 kuvvet, parçaya 0,2 mm den daha derine girdiği içindir. Bu durumda HRB değeriyle bağıntı kurulur.

2.1.4.3 Rockwell sertlik yönteminin özeti

Kullanılım alanı: bütün metaller.

Kontrol aleti: Standartlaştırılmış genelde sabit alet. Büyük parçalarda seyyar alet kullanılır.

Kontrol parçası: Elmastan(pırlantadan) konik, tepe açısı: 120° ±20' ve tepe yuvarlatılması R=0,2
Sertleştirilmiş çelikten top, çapı 1,5875 mm

Kontrol kuvveti: HRC için F_{Ko} = 98,07 N, F_{Ko1} = 1373 N . HRB için F_{Ko} = 98,07 N, F_{Ko1} = 882,6N

Kuvveti yükleme zamanı: Şart yok.

Kuvvetin bastırma zamanı: Şart yok.

Kontrol parçasının yüzeyi: Metalik parlak ve temiz. Bilhassa küçük kontrol kuvvetlerinde çok temiz ve düzgün satıh olması gerekir.

$$\boxed{HRC = \frac{0{,}2mm - e}{0{,}002mm} \qquad HRB = \frac{0{,}26mm - e}{0{,}002mm}}$$

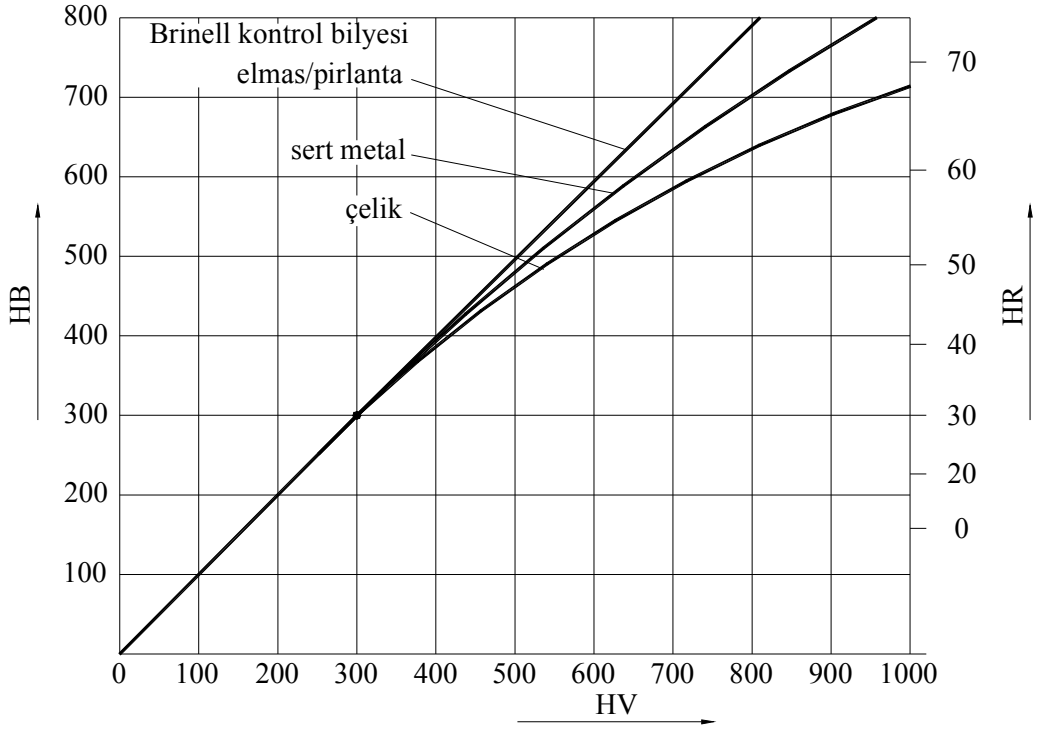
HRC	1	Rockwell C yöntemi sertlik değeri
HRB	1	Rockwell B yöntemi sertlik değeri
e	mm	F_{Ko} dan sonraki çukur derinliği

2.1.5 Üç yöntemin karşılaştırılması

Vicker sertlik yönteminin en yararlı tarafı sert ve yumuşak malzemenin aynı elmas pramitle sertlik kontrolünün yapılabilmesidir. Küçük kuvvetlerle (küçük kontrol kuvvetleri 3 ile 100 N arası) kontrol esnasında kontrol edilen yüzeyde bilyeye göre çok az daha, doğrusu hiç denilecek kadar az hasar verilir. Vicker yöntemiyle çok ince malzeme, örneğin 0,1 mm bile kontrol edilebilir.
Mikroskop altında yapılan incelemelerle doku elemanlarının farklı sertlikleri, örneğin; perlit içindeki çubukların (lamellerin) veya yumuşak çelikteki doku değişikliği (çok küçük kontrol kuvveti ile kontrolde 0,002 ile 1 N arası) görülür.

Bunun yanında heterojen dokulu malzemede (kır döküm gibi) tesadüf eseri sertlik değilde, garantili ortalama sertlik ölçüsü yapılmak istendiğinde Brinell yöntemi ile bu sonuca daha emin olarak varılır. Çünkü, piramit sivrisi bazen tek bir hücrenin sertliğini gösteririken, bilye daha geniş alanı kapsadığından daha sıhhatli ölçüler verir.

Genelde kontrolden sonra parçanın öbür yüzeyinde (ince kontrol parçalarında) kabarma izleri veya hissi bulunmamalıdır. Sıhhatli sertlik değeri için çukur köşegeni kontrol parçasının veya sertleştirilmiş kalınlığın 2/3 den büyük olmamalıdır. Bazen kontrol esnasında kontrol yüzeyleri kavislenir veya büzülebilir. Bu durumda yanlış sertlik derecesi elde etmemek için çukur köşegeni kavis yarı çapı yanında çok küçük olmalıdır.



Şekil 32, Brinell-Vickers ve Brinell-Rockwell sertlik karşılaştırması

Vickers kontrol pramitinin tepe açısının 136° olması, Vickers sertlik değerinin 300 HV e kadar Brinell sertlik değeri ile aynı sayıda olmasını sağlar. Bu durum Şekil 32 de görülür. Sertlik sayısı yükseldikçe Brinell sertlik sayısı Vickers sertlik sayısından daha küçük değerler alır.

Rockwell sertlik yönteminin Brinell ve Vickers yöntemlerine karşı üstünlüğü ölçme işleminin çok kolay yapılması ve değerin doğrudan okunmasıdır. Gösterge okunu takip ederek okun hareketsiz kaldığı görüldüğü anda okunan değer aranan sertlik değeridir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi herhangi bir mola zamanına gerek yoktur. Bu avantajın yanı sıra çukur ölçme, yardımcı tablo kullanma gibi zaman ve para kaybedilen işlemler yoktur.

Hangi malzemede hangi şartlarla hangi sertlik ölçme yönteminin daha iyi kullanılacağı Tablo 3 ile gösterilmiştir. Sertlik ölçme yönteminin bu kriterlere göre seçilmesi avantajdır.

Tablo 3, Yüzey sertliği ölçme metotlarının karşılaştırma özeti

Yöntem		Kontrol parçası	Kullanım sahası
Brinell	***HB***	Çelik bilye	Tam ve doğru değerler için. Tavlanmış ve ıslah edilmiş çelik. Hafif ve ağır metaller. Ham malzeme kontrolü. Döküm parçaları kontrolü. Yalnız yumuşak ve orta sert malzeme. Demir ve çelik üretiminde.
Vickers	***HV***	Elmas(pırlanta) piramit	Her yerde kullanılabilinen yöntem. Hassas kontrolü yapılacak malzemede. Laboratuar kontrollerinde. Küçük kontrol parçalarında. Kalite kontrollerinde. Sertleştirilmiş çelikler. Orta sert ve sert malzeme.
Rocwell	***HRC***	Elmas(pırlanta) koni	Doğrudan okunan sertlik değeri. Sertleştirilmiş, alaşımlı çelikler. Sert metaller. Isıl işlemlerde. Takımlarda. Seri kontrollerde.
	HRB	Çelik bilye	Doğrudan okunan sertlik değeri. Sertleştirilmemiş çelikler. CuZn-alaşımları. Isıl işlemlerde. Takımlarda. Seri kontrollerde.

2.2 Dinamik yöntem

Bu kontrol yönteminde kontrol parçası kinetik enerji ile kontrol edilecek parçaya vurur. Sertlik değeri kontrol parçasının ya yüzeyde oluşturduğu çukur ile veya kontrol parçasının geri sekmesiyle bulunur.

Dinamik olarak malzemenin sertlik kontrolü iki ana grupta toparlanır;

1. Darbeli sertlik kontrolü
   Poldi-Çekici
2. Gerisekmeli sertlik kontrolü
   Shore

Bu yöntemleri kısaca özet halinde toparlayalım.

Tablo 4, Bilye çapı ve Yükleme derecesine bağlı kontrol kuvvetleri

Yöntem	**Kontrol parçası**	**Kullanma alanı, fayda ve zararları**
Darbeli sertlik kontrolü (Brinell Sertlik)	Çelik bilye	Her yerde kullanılabilinir. Yaklaşık sertlik değerlerinin yeterli olduğu yerlerde Aynı testte parçadaki çukurlarda büyük sapmalar
Gerisekmeli sertlik kontrolü (Shore)	Tepesi yuvarlatılmış elmas (pırlanta)	Parça yüzeyinde hiç iz kalmasının istenmeyen hallerinde.

2.2.1 Darbeli sertlik kontrolü, Poldi-Çekici

Yöntemin adını "Prag" yakınlarındaki "Kladno" da ki "Poldi-Çelik-üretim-Firması"ndan almıştır. Çünki yöntem bu firmada bulunmuş ve ilk defa kullanılmıştır. Bu yöntemle ***"Brinell-Sertliği"*** bulunur. Normal Brinell-yöntemiyle olan fark burada kuvvetin darbe olarak bir anda etkisini göstermesidir. Bu özelliğinden ötürü aynı şart ve malzemede yapılan peşi sıra testlerin çukur büyüklüklerinde oldukça büyük sapmalar görülür. Her kontrol aleti ile beraber karşılaştırma parçası verilir. Karşılaştırma parçasında oluşan çukurlara göre sertliği veren deneylerle elde edilmiş eğriler veya tablolar verilir.

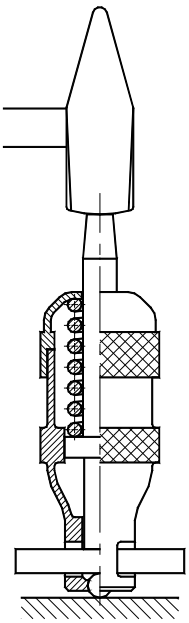
Poldi-Çekici bir kovan içine yerleştirilmiş (Şekil 33) hareketli bir pimin yay baskısı ile yandan sürmelenmiş dikdörtgen kesitli karşılaştırma parçasını 10 mm çapındaki bilyeye doğru sıkıştıran parçalardan oluşan bir kontrol aletidir.

Sertlik kontrolü yapmak için bu alet kontrolü yapılacak yüzeye dik tutularak bilye ile bastırılır. Aşağı yukarı bir kiloluk çekiçle pimin üst tarafta dışarıda olan ucuna kuvvetlice vurulur. Böylece bilye kontrolü yapılan yüzeyde ve karşılaştırma parçasında birer çukur oluşturur (Şekil 34).

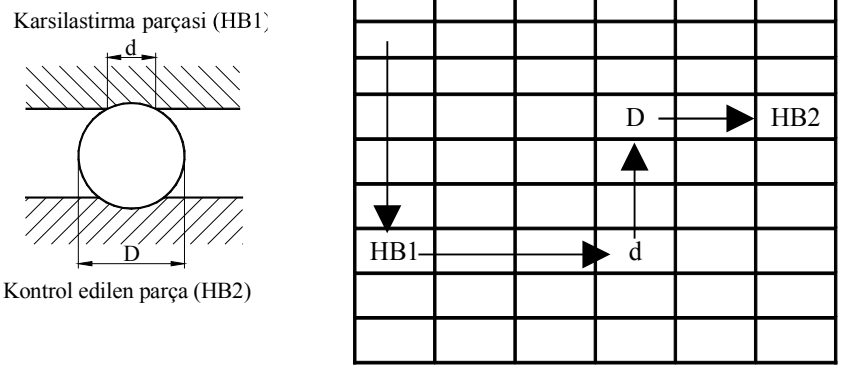
Her karşılaştırma parçası ile bir karşılıklı yüzeye yirmi kere vurma imkanı vardır. Böylece bir karşılaştırma parçası ile kırk ölçme yapılabilir. Kontrollerde genelde üç kere sertlik ölçülür ve bu üç değerin ortalaması parçanın sertliği olarak kabul edilir.

Şekil 34 ile şematik olarak bir seçme tablosu verilmiştir. Karşılaştırma parçasının üzerinde oluşan çukurun çapı "d" ölçülür ve HB1 sertlik değeri bilindiğinden, HB1 sertlik satırında "d" çapı bulunur. "d" çapı sütunundada "D" çapı bulunur. "D" çapı satırından HB2 değeri bulunur. Bu HB2 değeri kontrolu yapılan parçanın okunmuş sertlik değeri olarak kabul edilir.

Poldi-Çekici hafif, her yerde kullanılabilinan ve ucuz bir sertlik ölçme takımıdır.



Şekil 33, Poldi-Çekici



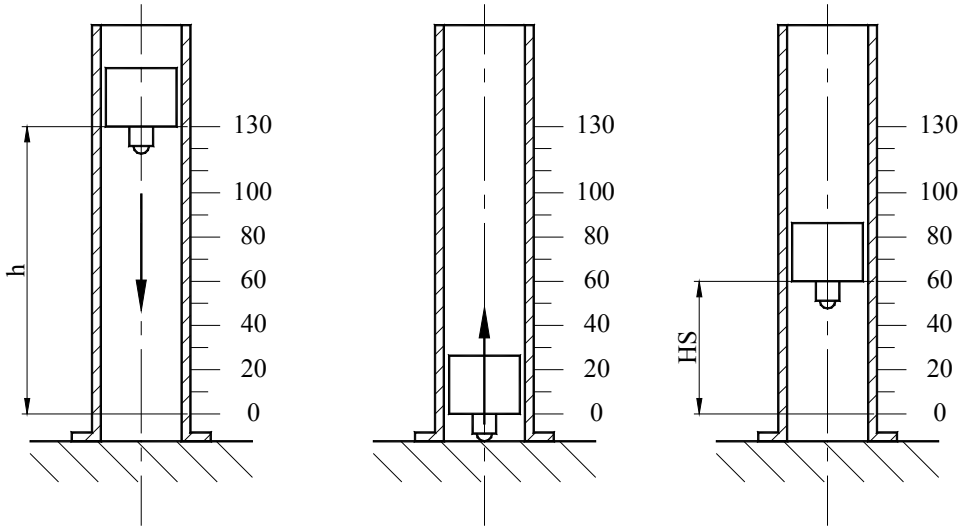
Şekil 34, Poldi-Çekici karşılaştırma parçası ve seçme tablosu

Poldi-Çekici ile elde edilen değerleri statik yöntemle bulunan HB değerleriyle karşılaştırmak gereksiz ve faydasızdır. Statik kontrollerde kuvvetin relativ uzun zaman bası kuvveti olarak kullanılmasına karşın, burada kısa zamanda ani bir darbe ile kuvvet kullanılmaktadır. Diğer taraftan kontrolü yapılan parça yüzeyini etkileyen bilye kuvveti ile karşılaştırma parçasını etkileyen kuvvet eşit değildir. Bu yçntem preste baskı ile yapılan HB kontrolüne yedek olarak düşünülmüştür.

Bu yöntem genel olarak ağır ve büyük döküm parçalarını, büyük dövme parçalarını ve demir-çelik kütüklerinin sertliklerini ölçmede kullanılır.

2.2.2 Gerisekmeli sertlik kontrolü, Shore yöntemi

Geri sekmeli sertlik kontrolünün temelinde sertliği ölçülen malzemenin elastikliği yatar. Bu yöntem ***"Shore"*** firması (USA) tarafından geliştirildiği için bu ad verilmiştir. Kontrolün yapılışı Şekil 35 ***Shore-Skleroskop***u *(skleros=sert)* ile gösterilmiştir.



Şekil 35, Shore-Skleroskopu

Şekil 35 ile gösterilen ***Shore-Skleroskopu*** 112 mm lil belirli bir kısmı 130 eşit taksimata ayrılmış bir cam boru ile, cam boru içinde düşen 20 g lık parçadan oluşur. Düşen parçanın ucu yuvarlatılmış elmasdır (pırlanta). Cam boru kontrolü yapılacak yüzeye dik olarak tutulur ve düşen parça 112 mm den yüzeye düşmesi için bırakılır. Çarpışmada düşüş enerjisinin bir kısmı çarptığı yüzeyde oluşturduğu küçük kalıcı plastik deformasyondan ötürü kaybolur. Geriye kalan enerji elastik deformasyondan dolayı kinetik enerji olarak düşen parçayı geri sektirir. Geri sekmedeki maksimum yükseklik tam olarak belirlendiği için parçanın sertliği skaladan doğrudan okunur.

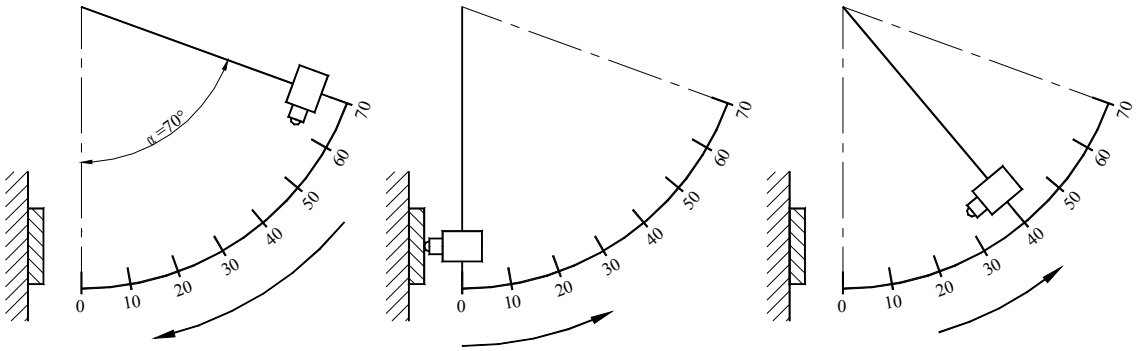
Sertlik skalasının belirlenmesi için cam gibi sertleştirilmiş alışımsız çeliğin sektirmesi sertlik taksimatında 100 Shore-sertliği olarak kabul edilir.

Her nekadar Brinell sertliği eşiti bir çok tablo veya cetvel varsada tam ve kabul edilmiş bir bağıntı cetveli halen mevcut değildir. Buna rağmen Shore karşılaştırma için yapılan sertlik kontrollerinde oldukça yaygın kullanılan sertlik ölçme yöntemidir. Örneğin; Isıl işlemler, semantasyon yöntemiyle sertleştirmelerde parçanın her tarafının hemen hemen aynı özellikte olduğunu kontrol etmek için. Kontrol yüzeyinde oluşan çok küçük çukur çoğu zaman dikkate alınmaz. Çok ender olarak raspalanarak ortadan kaldırılır.

Bu yöntemin en önemli avantajı çok kısa zamanda yapılabilmesi ve bilhassa sıcak parçaların kontrolünde kullanılabilmesidir.

Çeşitli özelliklerle yapılmış bir çok ***Shore-Skleroskopu*** kullanılmaktadır. Aletlerdeki değişiklik düşen parçanın tepe şekli, ağırlığı ve düşüş yüksekliğidir.

Shore-Duroskopu Şekil 36 ile gösterilmiştir. Burada sarkaç (rakkas) parça ***Shore-Skleroskopu***ndaki düşen parçanın yerini alır. Sarkaç parçanın çıkış noktası ile düşeyin açısı $\alpha = 70°$ alınır ve 0 ile 70 arası taksim edilir. Sertliği ölçülecek yüzey düşeye paralel hale getieilir. Sarkaç serbest bırakılır. Yüzeye çarpan sarkaç elastik deformasyondan dolayı kinetik enerji alarak geri seker. Beraberinde hareket ettirdiği gösterge parçanın sertliğini gösteren değerdir.



Şekil 36, Shore-Duroskopu

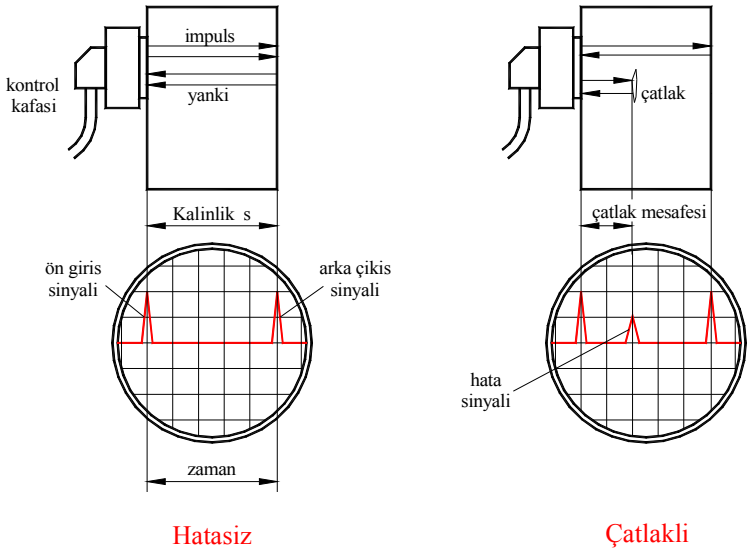
2.3 Elektromanyetik kontroller

2.3.1 Ultraşal ile kontrol

Bu ekonomik kontrol yöntemi ses dalgalarını ileten bütün maddelerin iç ve dışlarındaki hataları bulma kontrolünde kullanılır. Bu maddelere metaller, lastikler, suni malzemeler, kaynak dilişleri, dövme parçalar, döküm parçaları, borular, demiryolu rayları dahildir. Bu yöntemle malzemenin bünyesindeki hatalar bulunur. Bütün kontrol yöntemlerinde olduğu gibi ultraşal kontrolünün yapılışıda standartlaştırılmıştır ve standartlara göre kontroller yapılır. Kontrole başlamadan önce kontrolü yapılacak parçannın kontrol yapılan yüzeyi bir ara maddesiyle kaplanır. Bu madde jel, su veya yağ olabilir. En önemli kontrol malzemede kalınlığının bulunmasıdır. Bu kısma sertleştirme kalınlığı, metal kaplama kalınlığı (altın, gümüş, krom, v.b. gibi), cila kalınlığı, v.s.

2.3.1.1 Yöntemin gidişi

Ses dalgaları malzeme içinde titreşim olarak sesin havadaki hızından daha büyük hızla yayılırlar.



Şekil 37, Ultraşal kontrolü

İşlem kontrol kafası yardımıyla kontrolü yapılan parçaya 0,2 ile 50 MHz dalgalar gönderilir ve yankısı alınır. Bu işlem ya elle veya otomatik olarak yapılabilir. Fakat malzemenin sınırları bu dalgaları kuvvetli olarak yansıtırlar. Malzeme içindeki çatlaklar, gaz veya curuf habbecikleri, kristallerin değişik yoğunlukları sınır özelliğini gösterdiklerinden bu durumlardada dalgalar kuvvetli olarak yansırlar. Yansıyan dalgalar kontrol kafası tarafından alınır. Kontrol kafası hem gönderici hemde alıcı özelliğine sahiptir.

Arada geçen zaman farkı (gönderme ve alma) sinyal görüntüsü olarak ekrana (osilograflara) görüntülenir. Bu görüntü ile hatanın yeri belirlenir. Genelde 0,6 mm lik hatalar kolaylıkla ve özel sistemlerlede 10^{-7} mm kadar hatalar kolaylıkla bulunur. Otomatik sistemlerde hatalar rapor halinde tespit edilir ve arşivlenir.

3 Kaynaklar

Bargel/Schulze	Werkstoffkunde, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf
DIN-Taschenbuch 19	Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe 1
DIN-Taschenbuch 56	Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe 2
Dietmann, H.	Einführung in die Elastizitäts- und Festigkeitslehre, Kroner-Verlag, Stuttgart 1992
Domke	Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Cornelsen Verlag, Berlin 1994, 10. Auflage
Dubbel, H.	Taschenbuch für den Maschinenbau, Springer Verlag,Berlin/Heidelberg/New York, 14. Auflage 1981
Europa-Lehrmittel	Tabellenbuch Metall, 42. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel
Koller, H. / Widmer, J.	Werkstoffe und Arbeitsverfahren, 2. Auflage, Sauerländer Verlag, 1983
Matek, W. / Muhs, D. / Wittel, H.	ROLOFF / MATEK MASCHINENELEMENTE Verlag Fried. Vieweg & Sohn, Braunschweig / Wiessbaden, 14.Auflage 2000
Niemann, G.	MASCHINENELEMENTE, Band I Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 2.Auflage 1981
Rebensalm / Schmidt	Prüfung metallischer Werkstoffe (Fertigung und Betrieb, Band 4)
Tiede GmbH + Co.	www.tiede.de
Verein Deutscher Eisenhüttenleute	Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen
Weiler, W. W.	Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen
Weissbach, W.	Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung
Wellinger,K. / Dietmann, H.	Festigkeitsberechnung, Grundlagen und technische Anwendung, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart 1976