

SERTLİK ÖLÇME METODLARI VE CİHAZLARI

Metin BULUT

BMS Bulut Makina Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.
Kocaeli KOBİ OSB, Köseler Mahallesi 6. cadde No: 20/2
Dilovası / KOCAELİ - Turkey
Tel : +90 0 262 502 97 73
+90 0 262 502 97 76
+90 0 262 503 06 51
Web: www.bulutmak.com E-mail: bms@bulutmak.com

Özgeçmiş: Metin Bulut, 1978, YTÜ mezunu Mak. Müh. olup, yurdumuzda, sertlik ölçme cihazını ilk defa 1985 de, dizayn etmiş ve üretmiştir. 1978-1986 arası, özel firmalarda kalite kontrol sorumlusu olarak çalıştıktan sonra, 1985-1989 arasında çalıştığı özel bir firmada, sertlik ölçme cihazları üretimine (hem kendi dizaynı olan, hem de Wolpert / Almanya lisans ile sertlik ölçme cihazları) devam etmiştir. 1990 da kurduğu, BMS BULUT MAKİNA şu ana kadar, birçok tip sertlik ölçme cihazlarını üretmiş olup, sektöründe bir ad olmuştur. Firma bünyesinde yapılan AR-GE çalışmaları ile değişik tiplerde sertlik ölçme cihazının, araştırma, geliştirme, üretimi, satışı yapılmış olup, şu ana kadar üretilen, 3.700 den fazla cihaz yerli ve yabancı piyasalarda sorunsuz çalışmaktadır.

1	SERTLİK ÖLÇME METODLARI.....	3
1.1	KARŞILAŞTIRMALI SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI.....	3
1.1.1	Mohs ve Breithaupt Sertlik Ölçüm Metodları.....	3
1.2	STATİK SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI	3
1.2.1	Brinell Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6506, ASTM E 10)	3
1.2.2	Rockwell Metodu ile Brinell Ölçümleri Yapılması	7
1.2.3	Vickers Sertlik Ölçme Metodu (EN ISO 6507, ASTM E 92)	9
1.3	Knoop Sertlik Ölçme Metodu (EN ISO 4545-1,ASTM E384)	10
1.4	Rockwell Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6508, ASTM E18)	11
1.5	Rockwell Superficial Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6508, ASTM E18)	18
1.5.1	Rockwell N Testlerinde Eklenicecek Olan Düzeltme Faktörleri	19
1.5.2	Rockwell T Testlerinde Eklenicecek Olan Düzeltme Faktörleri.....	19
1.5.3	İnce Saçların Sertlik Ölçümünde Kullanılan Rockwell Metodları	19
2	DİNAMİK SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI	20
2.1	Shore Scleroscope.....	20
2.2	LEEB sertlik ölçme metodu.(ASTM A956)	20
2.2.1	Prob Şematik Görünümü.....	21
2.2.2	Semboller Ve Açıklamalar	21
2.2.3	Prob Tipleri Ve Özellikleri.....	22
2.3	SHORE SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI (Durameter) .DIN 53505, ISO 7619, ISO 868, ASTM D 2240	22
2.3.1	Shore (Durameter) Sertlik Ölçüm metodu	22
3	SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI	24
3.1	MASA TİPİ SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI.....	24
3.1.1	Test yükünü yay etkisiyle yapan cihazlar	24
3.1.2	Yüklerin hidrolik baskı ile elde edildiği cihazlar.....	25
3.1.3	Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) hidrolik çalışan cihazlar	25
3.1.4	Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) motorlu çalışan cihazlar	26
3.1.5	Yük hücreli (load cell-closed loop) çalışan cihazlar	26
3.2	PORTATİF SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI.....	27
3.2.1	Mekanik sistemli cihazlar	27

1 SERTLİK ÖLÇME METODLARI

Malzemelerin sertliklerinin ölçümü, en önemli kalite kontrol kavramlarından biridir. Günümüzde tolerans dışında sertlikleri olan parçaların yaratabileceği problemlerin birçok örnekleri vardır.

Sertlik kavramı, mukavemetin değerlendirilmesi (çeliklerde çekme mukavemeti gibi), aşınma dayanımı, işlenebilirlik vb. gibi önemli kavramlara öncülük eder. Genel olarak sertlik ölçme metodlarını aşağıdaki gibi belirleyebiliriz.

1. Karşılaştırmalı sertlik ölçüm metodları (Mohs ve Breithaupt)
2. Statik sertlik ölçüm metodları (Brinell, Vickers, Rockwell, Knoop, Grodinski)
3. Dinamik sertlik ölçüm metodları (Shore Sclerescop, LEEB)
4. Shore sertlik ölçüm metodları

1.1 KARŞILAŞTIRMALI SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI

1.1.1 Mohs ve Breithaupt Sertlik Ölçüm Metodları

Mohs ve Breithaupt sertlik değerleri en yumuşaktan en sertte doğru derecelere ayrılmıştır

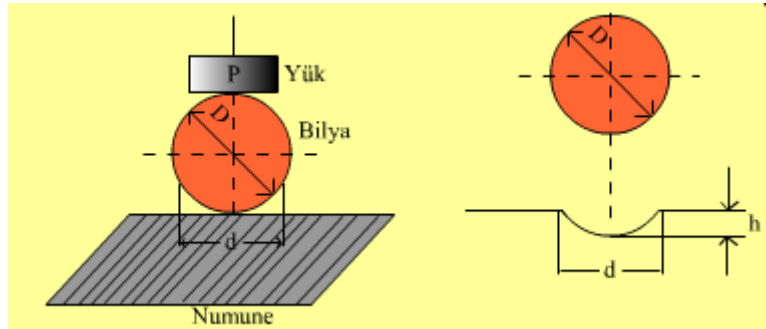
Malzeme	Mohs	Breithaupt
Talk	1	1
Alçı	2	2
Mika		3
Kalsit	3	4
Flourspat	4	5
Apatit	5	6
Boynuz Taşı		7
Feldispat	6	8
Kuartz	7	9
Topaz	8	10
Korundum	9	11
Elmas	10	12

Malzemelerin sertliklerini karşılaştırmak açısından faydalı olmasına rağmen, teknikte sıkça kullanılan bir metod değildir.

1.2 STATİK SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI

1.2.1 Brinell Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6506, ASTM E 10)

Çeşitli çaptaki bilyaların (1; 2,5; 5; 10mm), belirli bir yük ve zamanda malzemeye baskı metodudur. İsveçli Dr. J. A. Brinell tarafından 1900 yılında bulunan bu metod günümüzde yaygın olarak kullanılan statik sertlik ölçme metodlarının ilkidir.



D= Bilya çapı (mm)

F= Test yükü (N) veya (kgf)

d= Bilya iz çaplarının ortalaması (mm)

h= Dalma derinliği (mm)

Sembol	Açıklama	Birim
D	Bilya çapı	mm
F	Deney kuvveti	N (kgf)
d	İzin ortalama çapı $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$	mm
d ₁ , d ₂	90° ile ölçülmüş iz çapları	mm
h	İz derinliği $= \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$	mm
HBW	Brinell sertliği = Sabite x $\frac{\text{deneykuvveti}}{\text{izin yüzeyalanı}}$ $= 0,102 \times \frac{F}{\pi D \left(\frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \right)}$	N/mm ²
0,102 x F/D ²	Kuvvet- Çap Oranı	N/mm ²
Not: $\text{Sabite} = \frac{1}{g_n} = \frac{1}{9,80665} = 0,102$ $g_n = \text{Yerçekimi ivmesi}$		

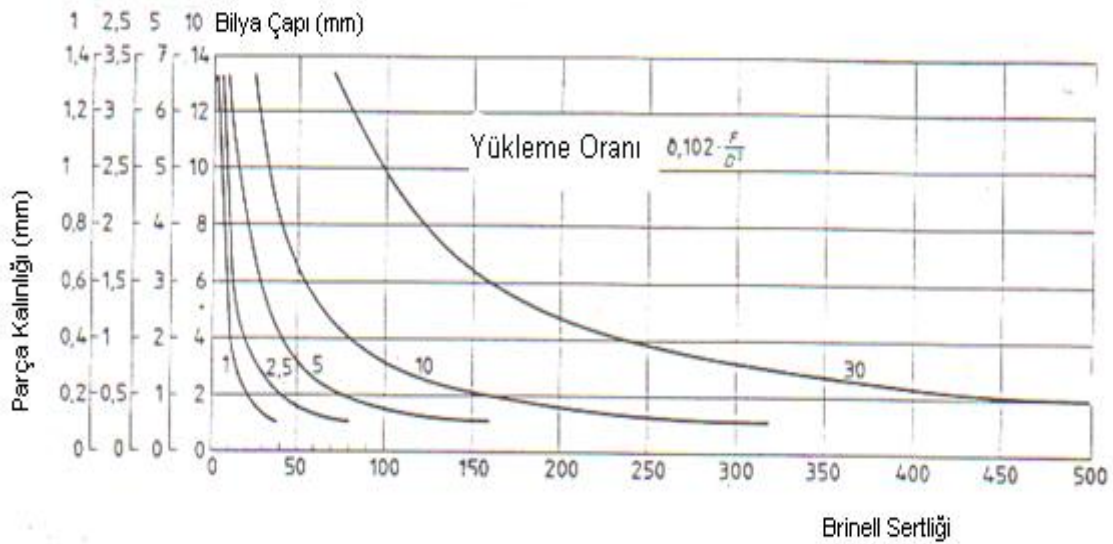
Aşağıdaki tabloda EN ISO 6506'ya göre Brinell sertlik ölçme metodunun, D (bilya çapı), malzemelere göre değişen Brinell yük katsayısı ve F (yük) değerleri ile ilişkisi belirtilmiştir.

Test Metodu	Bilya Çapı (mm)	Yük Katsayısı $0,102 * F/D^2$	Test Yüğü (N)
HBW (HBS) 10/3000	10	30	29420
HBW (HBS) 10/1500	10	15	14710
HBW (HBS) 10/1000	10	10	9807
HBW (HBS) 10/500	10	5	4903
HBW (HBS) 10/250	10	2,5	2452
HBW (HBS) 10/100	10	1	980,7
HBW (HBS) 5/750	5	30	7355
HBW (HBS) 5/250	5	10	2452
HBW (HBS) 5/125	5	5	1226
HBW (HBS) 5/ 62,5	5	2,5	612,9
HBW (HBS) 5/25	5	1	245,2
HBW (HBS) 2,5/ 187,5	2,5	30	1839
HBW (HBS) 2,5/ 62,5	2,5	10	612,9
HBW (HBS) 2,5/ 31,25	2,5	5	306,5
HBW (HBS) 2,5/ 15,625	2,5	2,5	153,2
HBW (HBS) 2,5/ 6,25	2,5	1	61,29
HBW (HBS) 1/30	1	30	294,2
HBW (HBS) 1/10	1	10	9,807
HBW (HBS) 1/5	1	5	49,03
HBW (HBS) 1/ 2,5	1	2,5	24,52
HBW (HBS) 1/1	1	1	9,807

Aşağıdaki tabloda çeşitli malzemelerin Brinell sertliklerine göre seçilmesi gereken yük katsayısı değerleri gösterilmektedir.

Malzeme	Brinell Sertliği	Yük katsayısı $0,102 \cdot (F/D^2)$
Çelik, nikel alaşımları, titanyum alaşımları		30
Dökme demir	<140	10
	≥140	30
Bakır ve bakır alaşımları	<35	5
	35 ile 200 arası	10
	>200	30
Hafif metaller ve alaşımları	<35	2,5
	35 ile 80 arası	5 -10-15
	>80	10 - 15
Kurşun, kalay		1

Yine aşağıdaki tabloda ise, Brinell sertliği ve yük katsayısı değerlerine göre, test edilebilecek minimum parça kalınlıklarını görebilirsiniz



Ortalama iz çapına göre deney parçasının en az kalınlık değeri aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Ortalama İz Çapı (d)	Deney Parçası En Az Kalınlığı			
	Bilya Çapı			
	D = 1	D= 2,5	D = 5	D = 10
0,2	0,08			
0,3	0,18			
0,4	0,33			
0,5	0,54			
0,6	0,8	0,29		
0,7		0,4		
0,8		0,53		
0,9		0,67		
1		0,83		
1,1		1,02		
1,2		1,23	0,58	
1,3		1,46	0,69	
1,4		1,72	0,8	
1,5		2	0,92	
1,6			1,05	
1,7			1,19	
1,8			1,34	
1,9			1,5	
2			1,67	
2,2			2,04	
2,4			2,46	1,17
2,6			2,92	1,38
2,8			3,43	1,6
3			4	1,84
3,2				2,1
3,4				2,38
3,6				2,68
3,8				3
4				3,34
4,2				3,7
4,4				4,08
4,6				4,48
4,8				4,91
5				5,36
5,2				5,83
5,4				6,33
5,6				6,86
5,8				7,42
6				8

Brinell testinde, sertlik değeri belirtilirken, bilya çapı (D), uygulanan yük (F) ve test süresi (t) belirtilmelidir. Örneğin,

220 HBW 2,5 / 187,5 / 30

2,5 mm çaplı tungsten sert metal bilya ile 187,5kgf yükün 30sn uygulanması sonucunda elde edilen değer 220 HBW olduğu belirtilmektedir.

Brinell testinin uygulanması aşağıda anlatıldığı gibi yapılmaktadır.

Önce testi yapılacak malzemenin kalınlığına ve çeşidine göre bilya ve yük konfigürasyonu seçilir.

Basma ucu deney yüzeyine değdirilir ve yüzeye dik yönde kuvvet uygulanır. Daha sonra, tercihen, kullanıcıdan bağımsız olarak ayarlanabilen bir sistem sayesinde (hidrolik, motorize vb) uygulanan yük bilyanın malzemeye bir iz yapması sağlanır.

Başlangıç kuvvetinin uygulamaya başladığı ilk andan, deney kuvvetinin tamamının uygulandığı ana kadar geçen süre 2 -8 sn arasında olmalıdır. Bu kuvvetin stabil hale gelmesinden, sonra, 10-15 sn. beklenmesi gerekir.

İz çapı, Brinell test cihazı üzerindeki optik sistem veya portatif bir mikroskop sayesinde minimum 2 yerden ölçülür. Kullanılacak optik sistemdeki veya mikroskoptaki ölçüm aralığı minimum 0,01 mm taksimatlı olmalıdır. Zira örneğin, 2,5 mm bilya ile 187,5 kgf 'de çelikte bir test yapılırken, bilya iz çapları arasındaki 0,01 mm fark malzemenin sertliğine bağlı olarak, 1 HBW' den 19 HBW' e kadar farklılık gösterebilir.

Deney parçasının kenarından, her bir izin merkezine kadar olan uzaklık, ortalama iz çapının en az 2,5 katı olmalıdır.

Birbirine komşu iki izin merkezleri arasındaki uzaklık, ortalama iz çapının en az 3 katı olmalıdır.

Not: Brinell sertlik değerleri ile malzemelerin cinsine bağlı olarak, çekme mukavemeti arasında pratikte kolay ve çabuk sonuç veren bir bağıntı vardır. Buna göre;

Malzemenin çekme mukavemeti = Katsayı * Brinell sertlik değeri

Bu katsayı, alaşımlı çeliklerde 0,34; alaşımsız çeliklerde 0,36; bakır ve pirinç alaşımlarda 0,40 alınabilir.

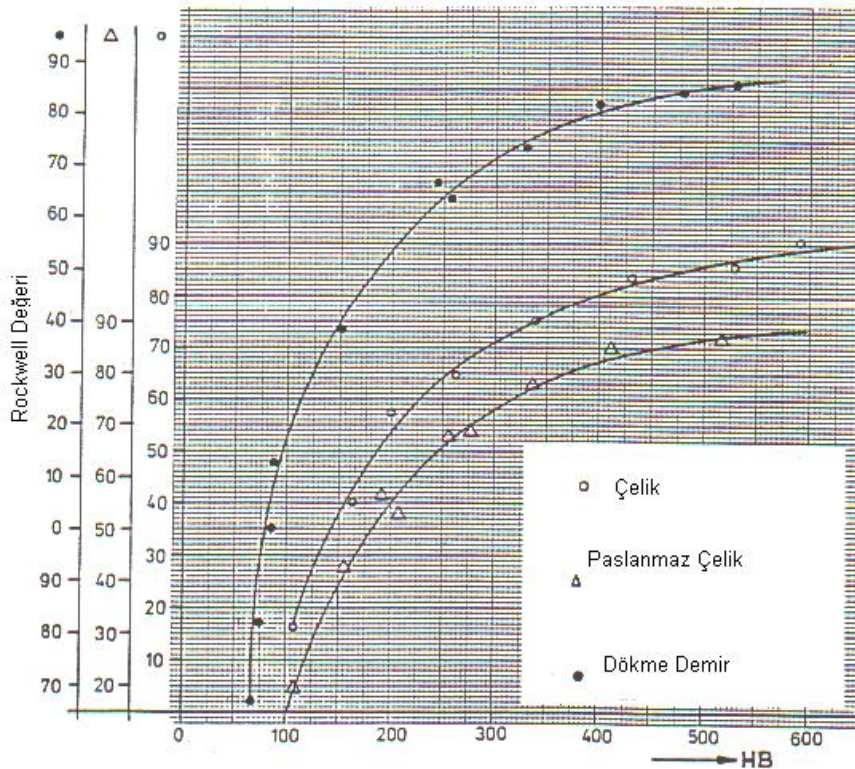
Örneğin,

Sertliği HBS 200 olan alaşımsız bir çeliğin çekme mukavemeti = $0,36 * 200 \text{ HBW} = \text{kg/mm}^2$ dir.

1.2.2 Rockwell Metodu ile Brinell Ölçümleri Yapılması

Bilindiği gibi Brinell sertlik ölçme metodu bir optik ölçüm metodudur. Yalnız, gerek cihazların optik sistemleri yüzünden pahalı olması, gerek ölçüm metodunun Rockwell metoduna göre daha yavaş olması, gerekse de ölçümün çok hassas ve dikkatle yapılması gerekliliği yüzünden kullananlar arasındaki ölçüm farklılığı, Rockwell metodu bazında çalışan sertlik ölçme cihazlarına bazı ek aksesuarlar uygulanarak, **norm dışı olmasına rağmen, bilhassa karşılaştırma amacıyla Brinell testlerinin yapılması** sağlanabilir.

Aşağıda çelik, paslanmaz çelik ve dökme demir gibi malzemelerde bu amaçla kullanılan eğriler görülmektedir. Burada ön yük 10 kgf, toplam yük 187,5 kgf ve 2,5 mm çaplı bilya kullanılmaktadır.



Aşağıdaki tabloda ise, bu eğrilerin seri olarak kullanılmasına yarayan tablo gösterilmiştir.

	Çelik											Paslanmaz Çelik											Dökme Demir										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	110	112	114	116	118	120	122	124	126	128	10						110	111	112	113	114	60						65	65,5	66	66	66,5	
30	131	133	135	138	140	143	146	148	151	154	20	115	116	117	119	120	122	123	125	127	129	70	67	67	67,5	68	68,5	69	69,5	69,5	70	70,5	
40	157	160	163	166	169	172	175	178	182	185	30	131	133	135	137	140	142	145	147	150	153	80	71	71	72	72	73	74	74,5	74,5	75	75,5	
50	189	192	196	200	204	208	212	216	221	226	40	155	158	161	164	167	170	173	176	180	184	90	76	77	77,5	78,5	79	80	81	82	82,5	83	
60	230	235	240	246	252	258	265	273	280	288	50	187	191	195	198	202	206	210	214	218	222	0	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	
70	296	305	314	324	334	345	356	367	380	394	60	226	231	236	240	245	250	256	261	267	273	10	94	95	96	97,5	99	100	101,5	103	104	105,5	
80	408	424	440	458	478	500	524	549	574	600	70	280	287	294	301	309	317	325	334	343	352	20	107	108,5	110	111,5	113	115	117	119	121	123	
90	625										80	353	374	396	400	415	435	455	480	510	575	30	125	127,5	130	132,5	135	137,5	140	143	146	149	
100											90											40	152	155	158	161,5	165	168	172	175,5	179	183	
																						50	187	191	195	199	203	207	211	215,5	220	225	
																						60	229,5	234	239,5	245	250	255,5	261	267	273	279	
																						70	285	293	300	308	317	325,5	335	344	354	365	
																						80	378	392	408	445	470	505	550				
																						90											

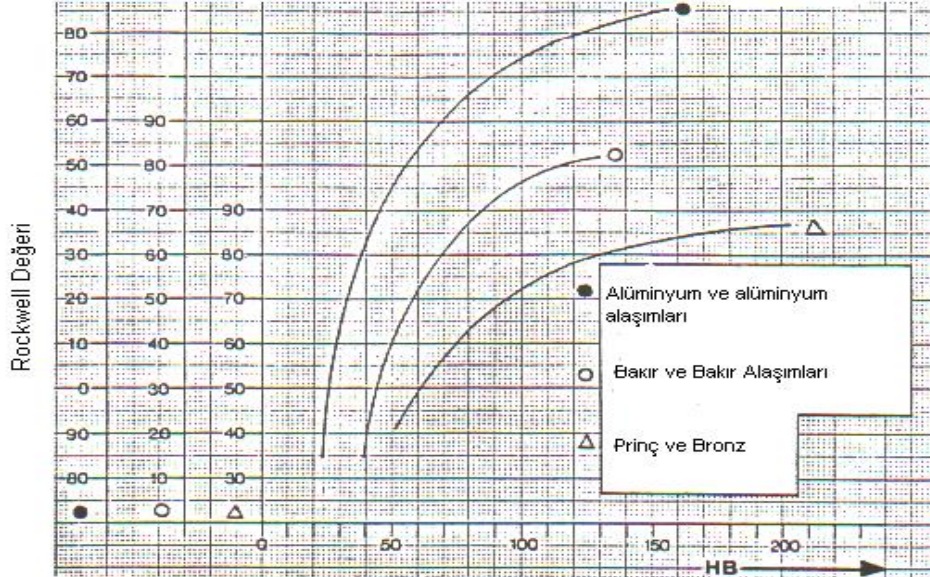
Yukarıdaki tablonun kullanımı aşağıda anlatıldığı gibidir.

Örneğin, çelik malzemenin testi için 2,5 mm bilya seçilir. Yük 187,5 kgf ayarlanır.

Test yapıldıktan sonra, Rockwell saati üzerindeki, siyah değer (HRC testi gibi) 62 okunduğunda, Brinell testinin **240 HBW 2,5/ 187,5** olduğu görülür.

NOT: Bu sistem, BULUT MAKİNA' nın cihazlarında, yukarıdaki eğriler veya özel Brinell skalalar kullanılarak (BMS 200-RB) , Dijital Rockwell & Brinell cihazlarında ekrandan okunarak uygulanabilir. (DIGIROCK-RB)

Yine, aşağıda ise, alüminyum, bakır ve alaşımları ile bronz ve alaşımları ile ilgili eğriler görülmektedir. Burada ön yük yine 10 kgf, toplam yük 62,5 kgf seçilmiş ve 2,5 mm çaplı bilya kullanılmıştır.



Yine aşağıda bu eğrilerin seri olarak kullanılmasını sağlayan tablo gösterilmiştir.

	Al ve Al alaşımları											Bakır ve Alaşımları												Pirinç ve Bronz									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
80						23	23	23	24	24	10				39	39	39	40	40	40	40	40				52	53	54	55	56	57	58	59
90	24	24	24	25	25	25	25	25	26	26	20	41	41	41	42	42	42	43	43	44	44	50	60	62	63	64	66	67	69	70	72	73	
0	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	30	44	45	45	46	46	47	48	48	49	49	60	75	77	78	80	82	84	86	88	90	92	
10	29	29	30	30	30	31	31	31	32	32	40	50	51	51	52	53	54	54	55	56	57	70	95	97	100	103	106	110	114	118	122	127	
20	33	33	34	34	34	35	36	36	37	37	50	58	59	60	61	62	63	64	65	67	68	80	132	138	144	150	158	168	180	212			
30	38	39	40	40	41	42	43	44	45	45	60	69	71	72	73	75	76	78	80	81	83	90											
40	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	70	85	86	89	91	93	96	99	102	106	110												
50	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	80	115	120	128																			
60	69	70	72	74	76	78	80	82	84	86	90																						
70	88	91	93	96	99	103	106	110	114	118																							
80	123	127	132	137	143	150	158																										
90																																	

1.2.3 Vickers Sertlik Ölçme Metodu (EN ISO 6507, ASTM E 92)

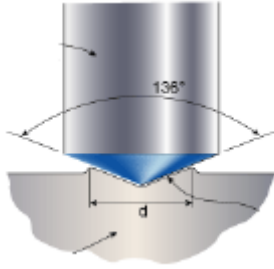
İngiliz Vickers firmasının, araştırmacıları, Robert L. Smith ve George E. Sandland tarafından, 1921 de Brinell metoduna alternatif olarak geliştirilmiştir.

Sistem, 136° elmas piramit ucun, malzeme cinsi ve kalınlığına bağlı olarak seçilen belirli yükler sayesinde, malzeme üzerinde yaptığı izin optik olarak ölçülmesine dayanır. Genel olarak Vickers sertlik ölçme metodu 3 bölüme ayrılır.

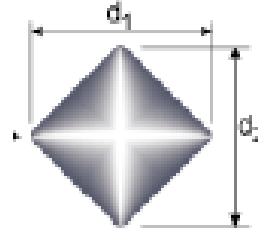
Vickers Sertlik Metodu	Test Durumu	Uygulanan Yükler Kgf (N)
Makro Vickers sertlik testi	≥HV 5	F≥49,03
Düşük yüklü Vickers sertlik testi	HV 0,2 - <HV 5	1,961 ≤ F < 49,03
Mikro Vickers sertlik testi	HV 0,01- < HV 0,2	0,09807 ≤ F 1,961

Aşağıdaki tabloda makro, düşük yük ve mikro sertlik testlerinin yük kademeleri belirtilmiştir.

Sertlik Deneyi ¹⁾		Düşük- kuvvet sertlik deneyi		Micro Vickers Sertlik Deneyi ²⁾	
Sertlik Sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N	Sertlik sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N	Sertlik Sembolü	F Deney kuvveti anma değeri N
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807
1) 980,7N dan büyük kuvvetleri uygulanabilir.					
2) Mikrosertlik deney kuvvetlerinin kullanılması tavsiye edilir.					



Elmas piramit uç



Vickers izi

$$\text{Vickers sertlik değeri HV} = \text{Katsayısı} * \frac{\text{Test Yüğü (F)}}{\text{İzin Alanı (A)}} = \text{N/mm}^2$$

$$\text{HV} = 0,102 * \frac{2F * \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,189 * \frac{F}{d^2}$$

Vickers metodu, optik bir sertlik ölçme metodu olduğundan Brinell metoduna benzer. Kullanılan uçlar, yükler ve uygulama yerleri değişiktir.

Başlangıç kuvvetinin uygulamaya başladığı ilk andan, deney kuvvetinin tamamının uygulandığı ana kadar geçen süre 2 -8 sn arasında olmalıdır.

Düşük yüklü kuvvet ve mikro sertlik deneylerinde bu süre 10 sn yi aşmamalıdır.

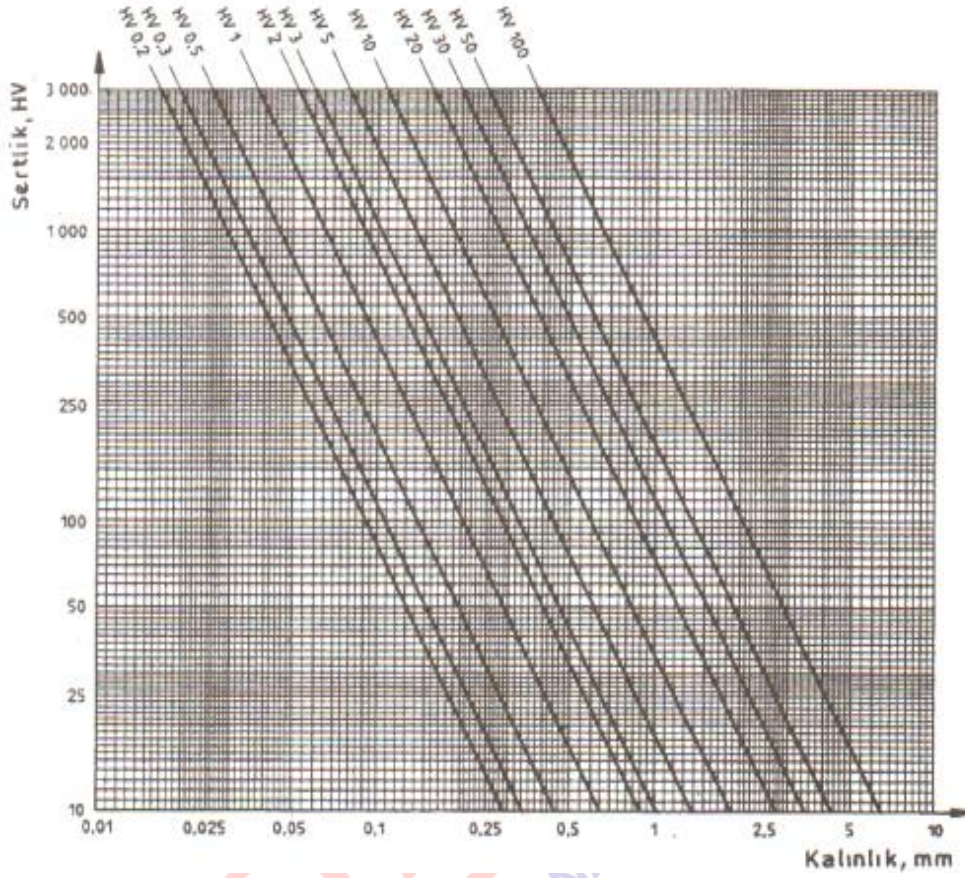
Düşük yüklü kuvvet ve mikro sertlik deneylerinde, basma ucunun, numuneye yaklaşma hızı, 0,2 mm/sn. yi aşmamalıdır.

Bu kuvvetin stabil hale gelmesinden, sonra, 10-15 sn beklenmesi gerekir.

440 HV 30, 30 kgf (294,2 N) yükün 10-15sn içinde uygulanması ile bulunan değerin 440 HV olduğunu gösterir.

Vickers metodu kullanılan düşük yükler sayesinde Brinell ve Rockwell metodlarınca tatminkâr sonuç alınamayan, ince sert tabakalı sertleştirilmiş parçalarda (nitrasyon, sementasyon) ve ince saçların sertliklerinin ölçümünde çokça kullanılır.

Aşağıdaki diyagramda sertlik ve parça kalınlığına bağlı olarak kullanılan Vickers metodları belirtilmiştir.



Vickers metodunda ölçüm yapılırken aşağıdaki noktalara dikkat etmek gerekir.

Sertliği ölçülen parçanın kenarı ile Vickers piramit iz merkezinin arası, çelik, bakır ve bakır alaşımlarında iz köşegen ortalamasının en az 2,5 katı; hafif metaller, kurşun, kalay ve bunların alaşımlarında ise en az 3 katı olması sağlanmalıdır.

Çelik, bakır ve bakır alaşımlarında, komşu iki izin merkezi arasındaki mesafe, iz köşegen ortalamasının en az 3 katı; hafif metaller kurşun, kalay ve bunların alaşımlarında ise en az 6 katı olması sağlanmalıdır.

1.3 Knoop Sertlik Ölçme Metodu (EN ISO 4545-1,ASTM E384)

Knoop testi ilk olarak, Frederick Knoop ve arkadaşları tarafından, 1939 da, ABD de geliştirilmiş ve şimdiki adıyla NIST de, ASTM E384 standardıyla yer almıştır.

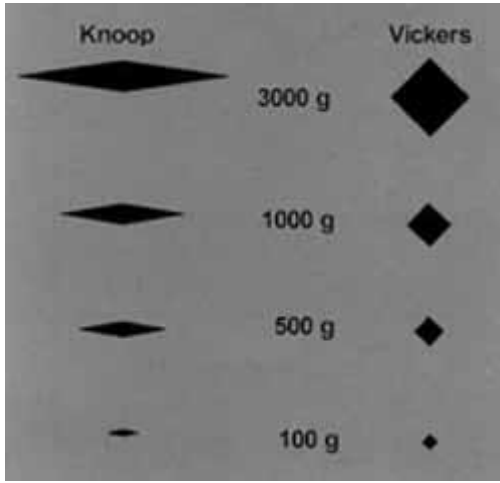
Knoop metodu, Vickers gibi çokça kullanılmamasına rağmen, Vickers metoduna alternatif olarak, bilhassa seramik gibi sert ve kırılğan malzemelerde, çok ince kaplamaların sertliğinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ve bu tip uygulamalarda en ideal methodur.

Knoop testleri genelde 10 gram ile 1000 gram arasında yapıldığından, Micro Vickers testleri gibi nitelendirilir.

Test metodu Micro Vickers test metoduna benzer. Sadece, farkı kullanılan ucun, uzun kenar açıları birbirine karşı $172^{\circ} 30 \text{ dak.}$ kısa kenar açıları birbirine karşı 130° olan rombik –esaslı piramit elmas uç olmasıdır. Bu ucun şeklinden dolayı da, Vickers metodunun yaklaşık yarısı kadar penetrasyon yaptığı ve oluşan izin ebadı, yaklaşık 3 kat daha büyük olduğu için, için, seramik gibi sert ve kırılğan malzemelerde, çok ince

kaplamaların sertliğinde, Vickers e göre daha hassastır. Buna rağmen, test parçasının yüzey koşulları (pürüzlülük, parça şekli ve ebadı vb.) Vickers e göre daha iyi sağlanmalıdır.

Aşağıda, aynı yükteki Vickers & Knoop iz ebatlarının farkını görülebilir.



Knoop sertliği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$HK = \text{Katsayı} \times \text{test yükü} / \text{iz alanı}$$

Knoop sertliği metaller için HK 60 -HK1000 arasında belirtilir.

Örneğin, 450 HK0.5, 0,5 kgf da yapılan Knoop sertlik değerini gösterir.

1.4 Rockwell Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6508, ASTM E18)

Derinlik ölçüm metodu ilk olarak, 1908 de by a Viyana lı Professor Paul Ludwik tarafından tasarlanmıştır. Bu test metodu için, ABD de, Hugh M. Rockwell ve Stanley P. Rockwell , 1914 de patent için müracaat etmişler ve 15.2.1919 da ABD de patentini almışlardır.

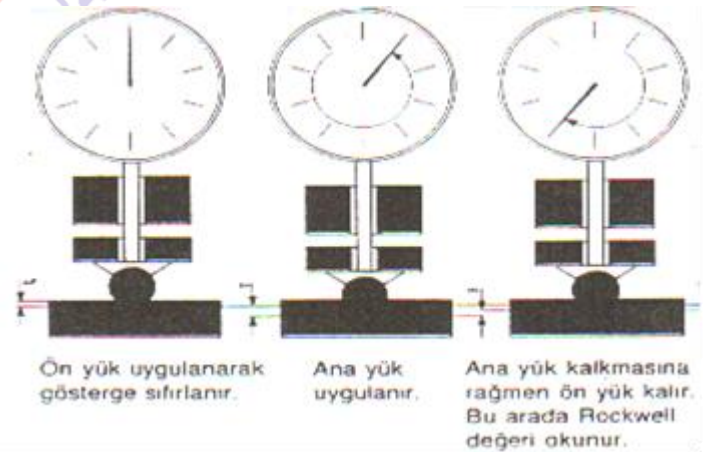
Daha sonra, Stanley P. Rockwell, yeni araştırmalarının sonucu olarak, 11.9.1919 da tekrar patent müracaatı yapmış, bu da 18.11.1924 de patent almıştır.

Testlerin uygulama kolaylığı, diğer metodlara nazaran daha seri sonuçlar alınabilme özelliği, bu methodla test yapan sertlik ölçme cihazlarının optik ölçüm gerektiren (Brinell, Vickers) metodlarına nazaran daha ucuz olması yüzünden pratikte en çok kullanılan sertlik ölçme methodu.

120° elmas koni uç veya çeşitli çaptaki bilya uçların yaptığı penetrasyon derinliğinin ölçülmesi metoduna dayanır.

Ölçüm şematik olarak gösterildiği gibi yapılmaktadır.

Test edilecek malzemeye uygun olarak uç ve yük (tablo1) seçildikten sonra malzemeye 10 kgf' luk bir ön yük uygulanır. (Bu Rockwell Superficial metodunda 3 kgf dur). Bunun amacı malzemedeki oksit, tufal vb gibi farklılıkların elimine edilerek teste başlamaktır.



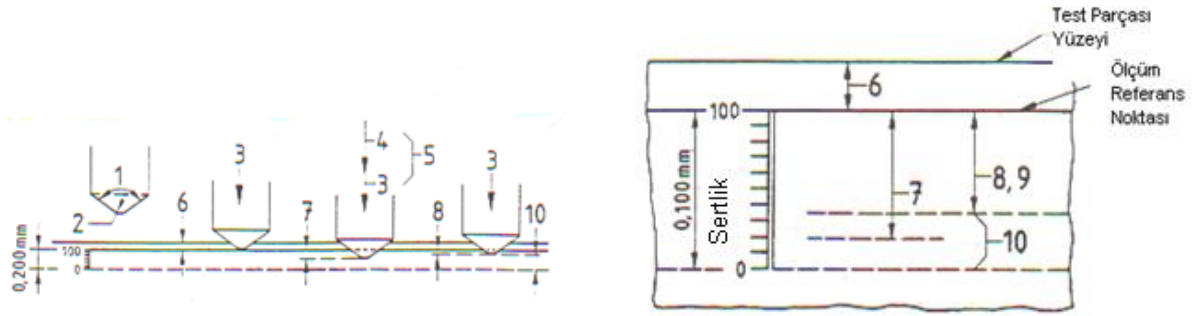
Ön yük uygulama noktası genelde bütün cihaz imalatçıları tarafından Rockwell komparatöründe işaretlenmiştir. (Bu dijital ekranlı cihazlarda led, bargraf gibi yöntemlerle yapılır). Batıcı uç deney yüzeyi ile temas eder duruma getirilir ve daha sonra şoka, titreşim ve salınımına yol açmadan, ön yük kuvveti F_0 uygulanır (ön yük uygulama süresi 3 sn. yi geçmemelidir.) Ön yük uygulandıktan sonra Rockwell saati elle sıfırlanır. (Bu otomatik sıfırlamalı saatlerde veya Dijital ekranlı cihazlarda otomatik olarak yapılır). Daha sonra toplam yük uygulanır. (1-8 sn arasında) Toplam yükün iniş zamanı malzeme cinsine göre ayarlanabilir olmalıdır ki bu ancak hidrolik veya motorlu sistemlerde gerçekleştirilir. İniş zamanı, pratik olarak, sert malzemelerde daha kısa, yumuşak malzemelerde daha uzun olmalıdır. Toplam yük stabil hale geldikten sonra 4 ± 2 sn arasında beklenir.

Daha sonra toplam yük kaldırılır ve ön yük baskısı üzerinde iken Rockwell komparatöründen veya dijital ekrandan değer direkt olarak okunur. 120° elmas uç kullanılarak yapılan testlerde (HRA, HRC, HRD) siyah

değerler, bilya uçlar kullanılarak yapılan testlerde ise (HRB, HRE, HRF, HRG, HRH, HRK, HRL, HRM vb) kırmızı değerler okunur.

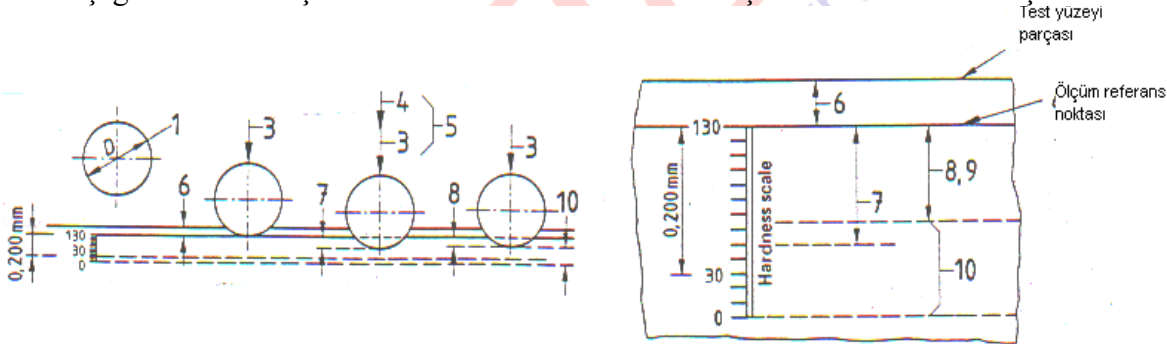
Daha öncelerde çelik türü malzemelerde yoğun bir şekilde kullanılan yöntem, bilyalı ölçüm metodlarının geliştirilmesi sonucunda demir dışı malzemelerde kullanımı artmıştır.

Aşağıdaki şekilde Rockwell A ve C'nin ölçme sistemi belirtilmiştir.



No	Sembol	Anlamı
1	0	Elmas uç açısı= 120 °
2	0	Elmas koni ucun radyüs değeri= 0,2 mm
3	F_0	Ön yük
4	F_1	Ek yük
5	F	Toplam yük= F_0+F_1
6	t_0	Ön yük altındaki penetrasyon, mm
7	t_1	Ek yük altındaki penetrasyon, mm
8	t_b	F 'den F_0 'a geçildikten sonra ölçülen penetrasyon derinliğindeki artma, mm
9	e	Penetrasyon derinliğindeki artmanın 0,002mm karşılığı olarak değeri $e= t_b / 0,002$
10	HRC/ HRA	Rockwell sertliği= 100-e

Yine aşağıda belirtilen şekilde ise Rockwell B ve F'nin ölçüm sistemi belirtilmiştir.



No	Sembol	Anlamı
1	D	Bilya çapı=1/16 inç=1,5875
3	F_0	Ön yük
4	F_1	Ek yük
5	F	Toplam yük= F_0+F_1
6	t_0	Ön yük(F_0) altındaki penetrasyon, mm
7	t_1	Ek yük (F_1) altındaki penetrasyon, mm
8	t_b	F 'den F_0 'a geçildikten sonra ölçülen penetrasyon derinliğindeki artma, mm
9	e	Penetrasyon derinliğindeki artmanın 0,002mm karşılığı olarak değeri $e= t_b / 0,002$
10	HRB/HRF	Rockwell sertliği= 130-e

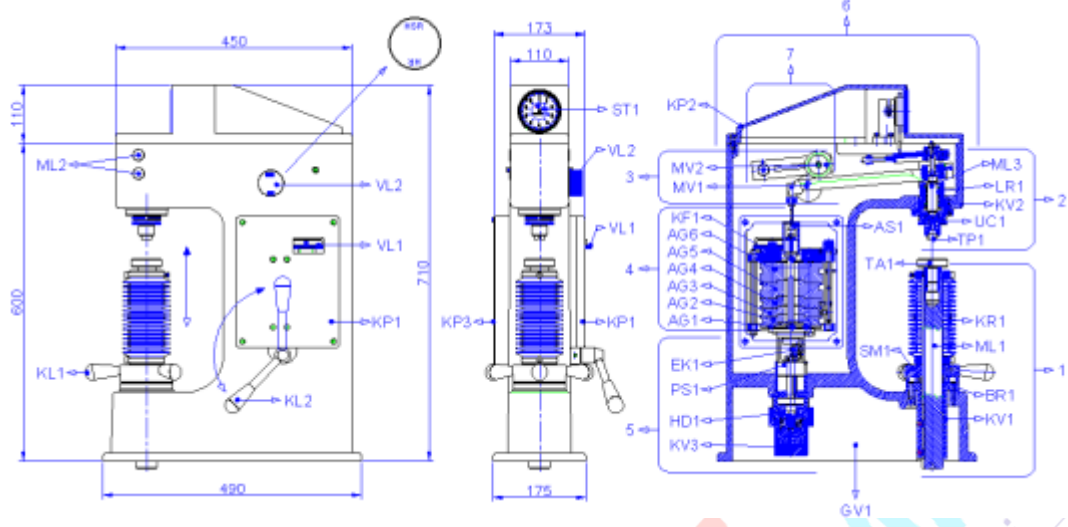
Tablo (1) de uygulanacak olan Rockwell sertlik ölçme metoduna göre seçilmesi gereken yükler ve uçlar gösterilmiştir.

Tablo 1

Test Metodu	Uç	Ön yük		Toplam yük		Uygulama Alanı
		N	kgf	N	kgf	
HRA	Elmas koni uç	98,07	10	588,4	60	İnce sertlik tabakalı yüzey sertleştirilmesi yapılmış parçalar
HRB	1/16" bilya	98,07	10	980,7	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları, temper döküm vb.
HRC	Elmas koni uç	98,07	10	1471	150	Sertleştirilmiş çelikler ve HRB değeri 100 den fazla olan diğer malzemeler
HRD	Elmas koni uç	98,07	10	980,7	100	Orta kalınlıkta sertlik tabakalı yüzey sertleştirilmesi yapılmış parçalar
HRE	1/8" bilya	98,07	10	980,7	100	Dökme demir, alüminyum, bakır, magnezyum alaşımları, sentetik malzemeler
HRF	1/16" bilya	98,07	10	588,4	60	Tavlınmış bakır alaşımları, yumuşak ince metaller (= 0,6 mm)
HRG	1/16" bilya	98,07	10	1471	150	Orta sertlikte temperlenmiş döküm, fosforlu bronz, berilyumlu bakır
HRH	1/8" bilya	98,07	10	588,4	60	Alüminyum, çinko, kurşun, taşlama taşları
HRK	1/8" bilya	98,07	10	1471	150	Yatak malzemeleri ve çok düşük sertlikteki diğer metaller
HRL	1/4" bilya	98,07	10	588,4	60	Rockwell K gibi, sert lastik ve sentetik malzemeler
HRM	1/4" bilya	98,07	10	588,4	100	Rockwell K ve L gibi, kontrplak ve sentetik malzemeler
HRP	1/4" bilya	98,07	10	1471	150	Rockwell K, L, veya M gibi ve sentetik malzemeler
HRR	1/2" bilya	98,07	10	588,4	60	
HRS	1/2" bilya	98,07	10	980,7	100	
HRV	1/2" bilya	98,07	10	1471	150	Rockwell K, L, M, P, R veya S gibi
HR 15 N	Elmas koni uç	29,42	3	147,1	15	Rockwell A, C ve D gibi, fakat çok ince sertlik tabakalı malzemeler için (=0,15 mm)
HR 30 N				294,2	30	
HR 45 N				441,3	45	
HR15T	1/16" bilya	29,42	3	147,1	15	Rockwell B, F veya G gibi, fakat özellikle daha ince malzemeler için (=0,25 mm)
HR30T				294,2	30	
HR45T				411,3	45	
HR15W	1/8" bilya	29,42	3	147,1	15	Çok düşük sertlikteki malzemeler, Rockwell X ve Y özellikle sinter malzemeler için kullanılır (ASTM B 347-59)
HR30W				294,2	30	
HR45W				411,3	45	
HR15X	1/4" bilya	29,42	3	147,1	15	
HR30X				294,2	30	
HR45X				411,3	45	
HR15Y	1/2" bilya	29,42	3	147,1	15	
HR30Y				294,2	30	
HR45Y				411,3	45	

Yüklerin penetrasyon (iniş) zamanının cinsine bağlı olarak ayarlanabilmesinin önemli olduğunu, bununda genelde hidrolik, motorlu sistemlerde mümkün olduğundan bahsetmiştik.

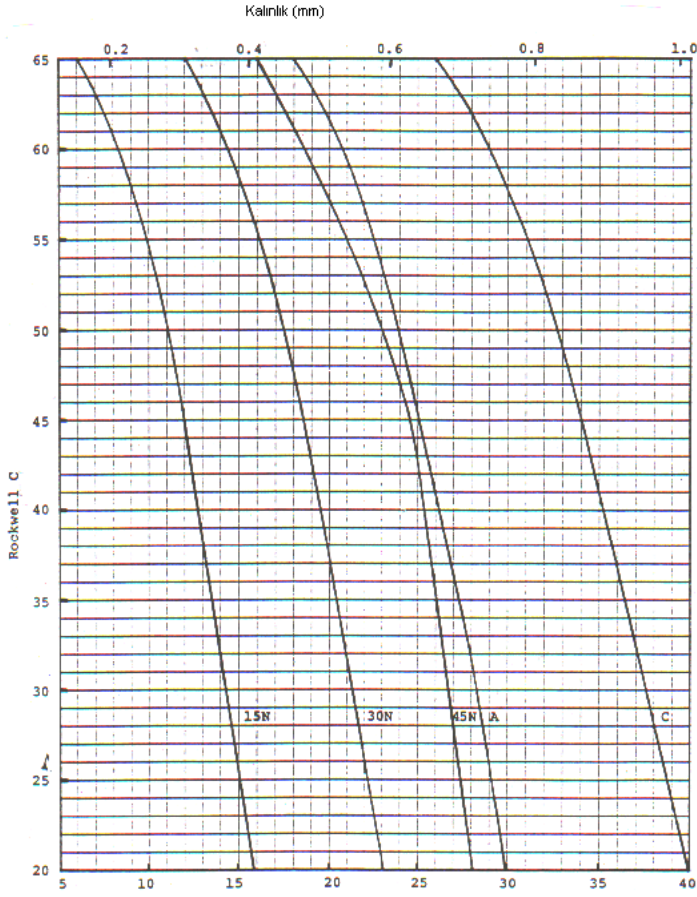
Aşağıda BULUT Makina firmasının üretmekte olduğu hidrolik sistemli BMS 203- RSR tipi sertlik ölçme cihazının hidrolik hız ayar sistemini ve cihazın genel görünüşünü görmektesiniz.



Rockwell metodunda sertliği ölçülecek parçaların kalınlıkları ve sertlikleri ile uygulanacak test metodu arasında aşağıdaki şekillerde belirtilen bağıntılar vardır. (ASTM E 18)
Sertliği ölçülecek parçaların hangi Rockwell metoduna göre testinin yapılacağı, bu diyagramlardan tesbit edilecek kritere göre olacağından, buda test sonucunun sağlıklı olarak elde edilmesine yarayacaktır.



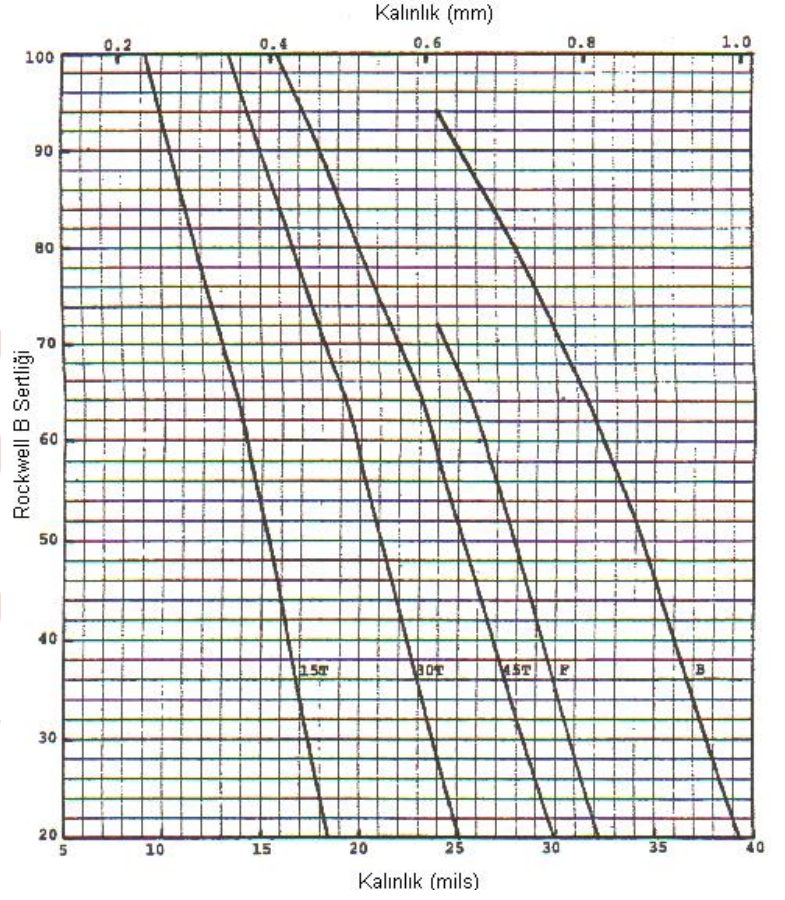
BMS 203-RSR



Kalınlık (mils)

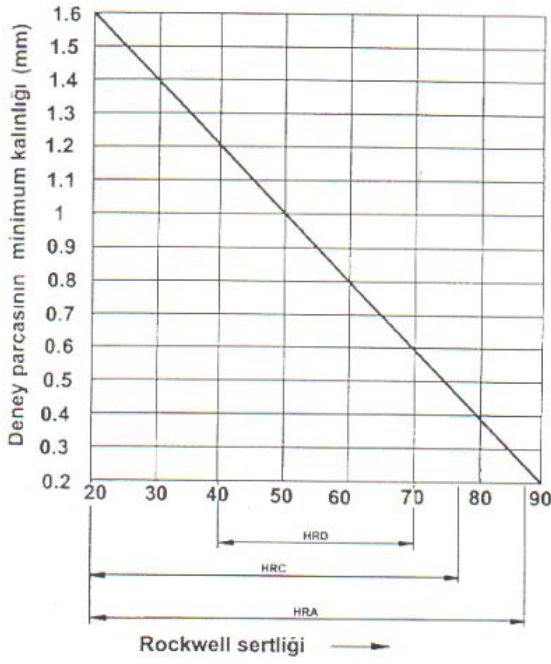
120° elmas uç kullanılarak uygulanan Rockwell metodlarında parça kalınlıkları limitleri

1/16 inç. (1,588 mm) bilya uç kullanılarak uygulanan Rockwell metodlarında parça kalınlıkları limitleri

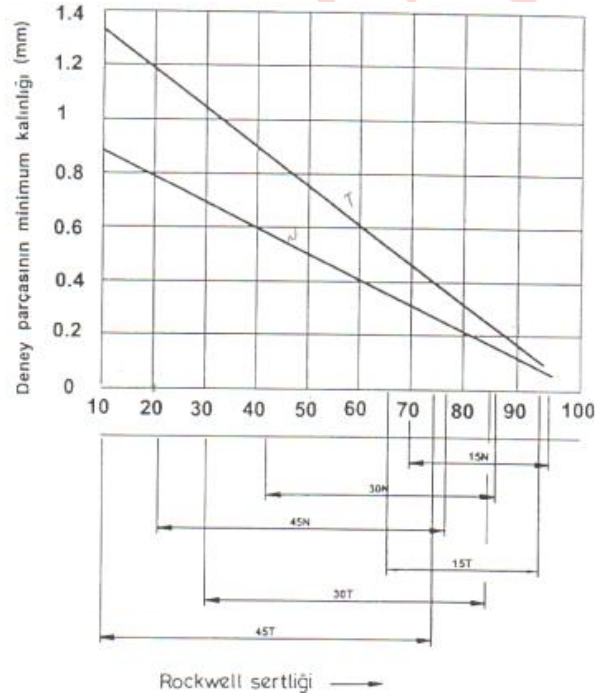
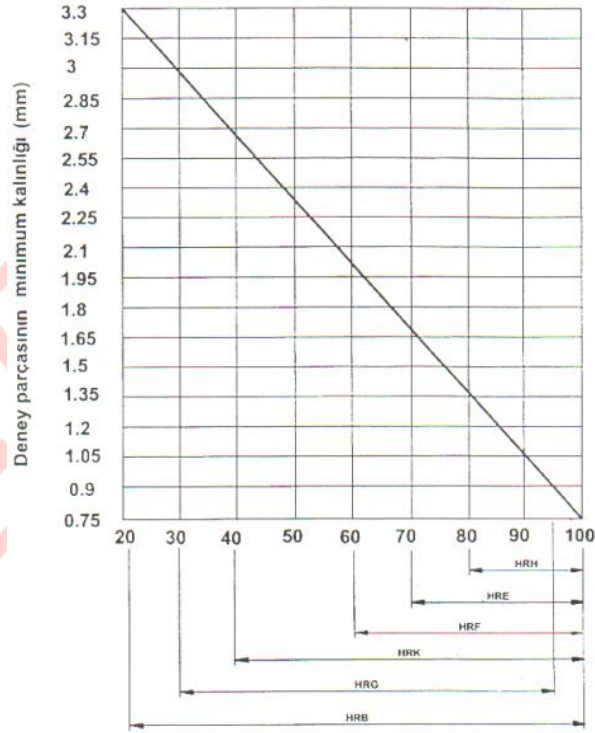


Deney parçasını EN ISO 6508-1'e göre Rockwell sertliğine bağlı olarak en az kalınlığı aşağıdaki gibidir.

EN ISO 6508'e göre bilya uç ile yapılan deney (B, F, E, G, H ve K skalası) görülmektedir.



Yine aşağıda EN ISO 6508 standardına göre yapılmış Rockwell yüzey sertlik deneyi (N ve T skalaları görülmektedir).



Birbirine komşu iki izin merkezleri arasındaki mesafe iz çapının en az dört katı olmalıdır (Ancak 2mm'den az olmamalıdır). Herhangi bir izin merkezinden, deney parçasının kenarına olan uzaklık en az iz çapının 2,5 katı olmalıdır (Ancak 1mm'den az olmamalıdır).

Kullanılan uçların ve /veya test tablasının değişiminde, değiştirilen parçaların yerleşmesi için, sonucun 3 testten sonra alınması gerektiğini de burada belirtmeliyiz.

Rockwell metodunda yuvarlak parçaların ölçümünde, uygulanan test metoduna göre, bulunan Rockwell değerlerine eklenecek olan düzeltme faktörlerini de burada incelememiz gerekir.

Örneğin; 19 mm yarıçapındaki bir malzemenin HRC testi sonunda bulunan sertlik değeri HRC 50 olsun. Aşağıdaki tablo uygulandığında, bunun gerçekte $50+0,5=50,5$ HRC olduğu ortaya çıkar. Dolayısıyla, yuvarlak parçaların testlerinde bulunan değerlere uygulanan test metoduna bağlı olarak belirlenmiş olan değerleri eklememizi unutmamak gerekir.

HRC, HRA ve HRD testlerinde eklenecek olan düzeltme faktörleri

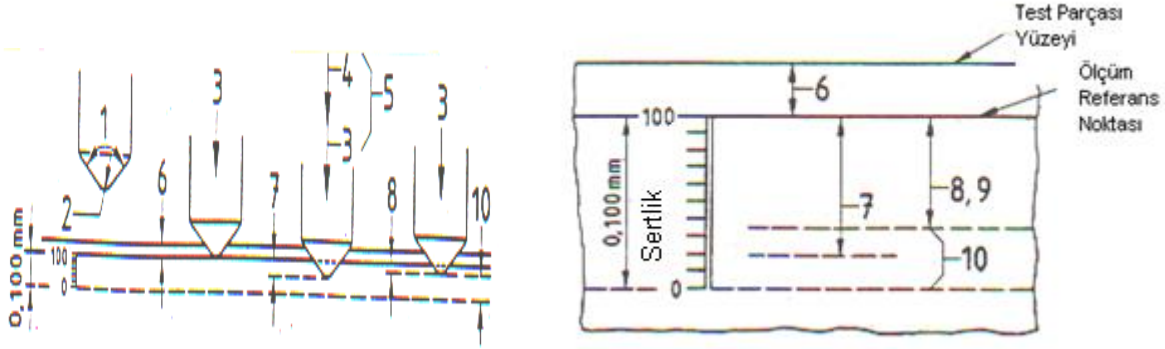
Rockwell Sertlik Değeri	Yuvarlak Test Parçası Yarıçapı (mm)								
	3	5	6,5	8	9,5	11	12,5	16	19
20				2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0
25			3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0
30			2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5
35		3,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
40		2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
45	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
50	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
55	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0
60	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
65	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
70	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
75	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
80	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0
85	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0
90	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

HRB, HRF ve HRG testlerinde eklenecek olan düzeltme faktörleri

Rockwell Sertlik Değeri	Yuvarlak Test Parçası Yarıçapı (mm)						
	3	5	6,5	8	9,5	11	12,5
20				4,5	4,0	3,5	3,0
30			5,0	4,5	3,5	3,0	2,5
40			4,5	4,0	3,0	2,5	2,5
50			4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
60		5,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0
70		4,0	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5
80	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5
90	4,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0
100	3,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5

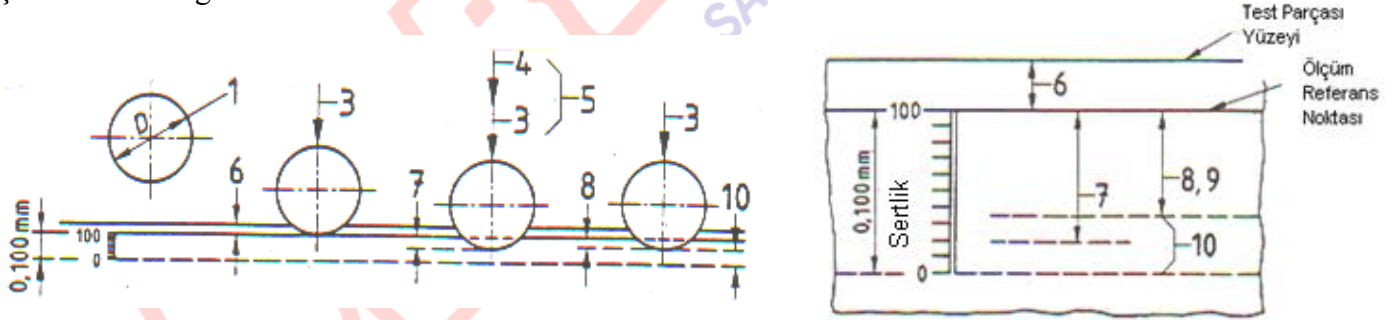
1.5 Rockwell Superficial Sertlik Ölçüm Metodu (EN ISO 6508, ASTM E18)

Rockwell Superficial sertlik ölçme metodu, Rockwell metodunda test edilmeyen, sertlik derinliği 0,4 ile 0,18 mm arası olan parçalar ile ince saçlarda kullanılan bir metottur. Aşağıdaki şekilde 120° elmas uç kullanılarak HR15N, HR30N VE HR45N testlerinin uygulanması şematik olarak gösterilmiştir.



No	Sembol	Anlamı
1	0	Elmas uç açısı = 120°
2	0	Ucun radyüs değeri= 0,2mm
3	F ₀	Ön yük
4	F ₁	Ek yük
5	F	Toplam yük=F ₀ +F ₁
6	t ₀	Ön yük(F ₀) altındaki penetrasyon
7	t ₁	Ek yük (F ₁) altındaki penetrasyon
8	t _b	F'den F ₀ 'a geçildikten sonra ölçülen penetrasyon derinliğindeki artma, mm
9	e	Penetrasyon derinliğindeki artmanın 0,001mm olarak değeri e= t _b / 0,001
10	HR15N, HR30N, HR45N	Rockwell sertliği= 100-e

Yine aşağıda 1/ 16 inç (1,5875 mm) bilya kullanılarak HR15T, HR30T VE HR45T testlerinin uygulanması şematik olarak gösterilmektedir.



No	Sembol	Anlamı
1	D	Bilya çapı = 1/16 inç (1,5875 mm)
3	F ₀	Ön yük
4	F ₁	Ek yük
5	F	Toplam yük=F ₀ +F ₁
6	t ₀	Ön yük(F ₀) altındaki penetrasyon
7	t ₁	Ek yük (F ₁) altındaki penetrasyon
8	t _b	F'den F ₀ 'a geçildikten sonra ölçülen penetrasyon derinliğindeki artma, mm
9	e	Penetrasyon derinliğindeki artmanın 0,001mm olarak değeri e= t _b / 0,001
10	HR15T, HR30T, HR45T	Rockwell sertliği= 130-e

Rockwell metodunda yuvarlak parçaların ölçümünde bulunan değerler eklenmesi gereken faktörlerle ilgili tabloları yayınlamıştık. Rockwell Superficial metodunda da buna benzer tabloların kullanılma gereğini bir defa daha belirtmekte yarar vardır.

1.5.1 Rockwell N Testlerinde Eklenicecek Olan Düzeltme Faktörleri

Rockwell Sertlik Değeri	Yuvarlak Test Parçası Yarıçapı (mm)					
	1,6	3,2	5	6,5	9,5	12,5
20	6,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5
25	5,5	3,0	2,0	1,5	1,5	1,0
30	5,5	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0
35	5,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0
40	4,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,0
45	4,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0
50	3,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5
55	3,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5
60	3,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
65	2,5	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5
70	2,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
75	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0
80	1,0	0,5	0,5	0,5	0	0
85	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
90	0	0	0	0	0	0

1.5.2 Rockwell T Testlerinde Eklenicecek Olan Düzeltme Faktörleri

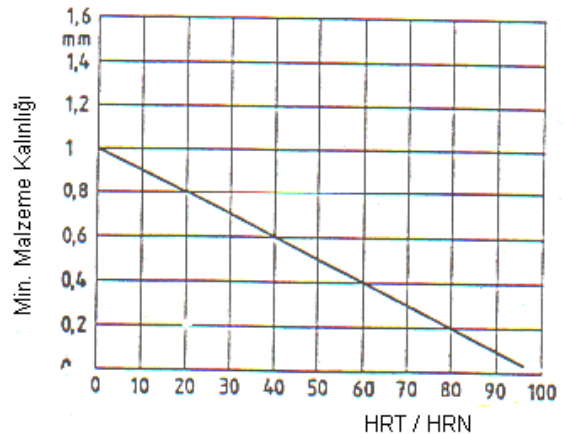
Rockwell Sertlik Değeri	Yuvarlak Test Parçası Yarıçapı (mm)						
	1,6	3,2	5	6,5	8	9,5	12,5
20	13	9,0	6,0	4,5	3,5	3,0	2,0
30	11,5	7,5	5,0	4,0	3,5	2,5	2,0
40	10	6,5	4,5	3,5	3,0	2,5	2,0
50	8,5	5,5	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
60	6,5	4,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,5
70	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0
80	3,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5
90	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5

1.5.3 İnce Saçların Sertlik Ölçümünde Kullanılan Rockwell Metodları

Rockwell süperfacial metodunu anlatırken özellikle ince saçların ölçümünde de kullanılan bir metod olduğundan bahsetmiştik. Rockwell B ve F ile HR 30T (Superficial) aşağıda belirtilen saç kalınlıklarında kullanılırlar.

1,1 mm den kalın olan saçlarda Rockwell B (HRB)
0,6- 1,1 mm arasındaki kalınlıklarda Rockwell F (HRF)
0,6 mm den ince olan saçlarda Rockwell Superficial (HR15T,HR30T veya HR45T) metodlarının kullanılması tavsiye edilir.

Yine aşağıdaki tabloda yukarıda belirtilen metodlarla, saç parça kalınlıkları arasındaki ilişki belirtilmektedir.



2 DİNAMİK SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI

2.1 Shore Scleroscope

Geri tepme sistemine göre çalışır. Bu sistemin kullanımı çok kolay ve basittir. Darbe probu belli bir mesafeye çıkarılarak kurulur. Dikey olarak malzeme üzerine yerleştirilir. Sonra kurulmuş bu mesafeden bırakılır, ardından prob test parçasının sertliğine göre, tepki olarak belli bir mesafede durur.(sert parçalarda, yumuşaklara göre daha yüksekte) Bulunan değerin karşılığı, sertlik çevirim tablolarından diğer test metodlarına çevrilir. LEEB sisteminin ilk versiyonuna benzeyen bu metod, geçmişte, sıkça kullanılırdı. Ama gerek ölçüm hassasiyetinin ve izlenebilirliğinin çok düşük olması yüzünden, diğer tipi cihazlarla karşılaştırıldığında günümüzde tercih edilmemesine rağmen, ucuz olmasında dolayı halen üretimi ve kullanımı devam etmektedir.

Avantajları:

- a) Geri tepme sistemine göre çalıştığı için, malzeme üzerinde gözle kolayca gözüken iz bırakmaz.
- b) Test çok basit ve kolaydır.
- c) Büyük kütleli parçalarda herhangi bir yüzey hazırlanmasına gerek olmadan test yapılabilir.

Dezavantajları:

- a) Yumuşak parçalar(demir dışı metaller veya sertleştirilmemiş çelikler) de darbe probu yeterli mesafeye çıkmayacağı için, bu tür malzemelerde uygun değildir
- b) Küçük parçalarda, yeterli büyüklükte kütle olmadığı için uygun değildir.
- c) Ayrıca, düzgün bir fikstüre oturtulmadığı sürece, yeterli bir yüzey ve şekle sahip olamayan parçalarda da tavsiye edilmez.

2.2 LEEB sertlik ölçme metodu.(ASTM A956)

Leeb Sertlik ölçme sistemi, 1975 de İsviçre de Leeb ve Barndestini tarafından geliştirilmiştir.

Günümüzde kullanılan portatif sertlik ölçme cihazlarının çoğunluğu bu sisteme göre çalışır. Uygun şartlarda kullanıldığında (malzeme seçimi, parçanın kesiti ve ağırlığı, test yüzeyi düzgünlüğü ve pürüzlülüğü dikkate alınarak) günümüzde en çok kullanılan portatif cihaz tipidir.

İçinde mıknatıs bulunan, darbe probu, belli bir mesafeden, yay baskısı ile parça üzerine fırlatılır. Parça üzerine değen prob, parçanın sertliğine göre (sert parçalar da daha hızlı), geri döner.(rebound) Geri dönüşü anında, prob bobin içinden geçerken, geçiş zaman süresine göre bobinin indüktansını değiştirir. Bu değer elektronik sistemce algılanarak, HL(Hardness Leeb-Leeb Sertliği) ne çevrilir.

Her malzemeye göre, bulunan HL değerinden, diğer sertlik ölçüm metodlarına (HR, HBW, HV gibi) çevirimlerde dikkat edilmesi gereken, cihazın menüsünde, testi yapılacak parçanın malzemesinin tanımlanmasıdır. Bu yoksa sonuçlar doğru olmaz.

Malzeme tiplerine, sertlik derinliğine, parça ebadına bağlı olarak çeşitli tip darbe problemleri geliştirilmiştir

Aşağıdaki tabloda prob tipine bağlı olarak, testi yapılacak parçanın yüzeyinde ağlanması gereken pürüzlülük değerleri belirtilmiştir.

Prob tipi	Min. Yüzey pürüzlülüğü (Ra)
D/DC, D+15, DL, E	2 mikron
G	7 mikron
C	0,4 mikron

Eğer testi yapılacak parçanın ağırlığı 5 kg'dan fazla ise herhangi bir support gerekmez.

Ağırlığı 2-5 kg arasındaki parçalar için, parçaların darbe gücünden dolayı eğilmemeleri veya oynamamaları için, bir support üzerine yerleştirilmesi gerekir.

Ağırlıkları 2 kg'dan az olan parçalar, min.5 kg ağırlığındaki bir support üzerine özel bir pasta ile yapıştırılmaları gerekir.

Yapıştırılmada dikkat edilecek hususlar şunlardır.

Test parçası ve support yüzeyi düz, taşlanmamış ve paralel olmalıdır.

Parça test yüzeyinin, support ile temas edecek yüzeyine ince pasta sürülmelidir.

Test parçası, support üstünde, bastırılarak hareket ettirilmeli ve pastanın iyice yapışması sağlanmalıdır.

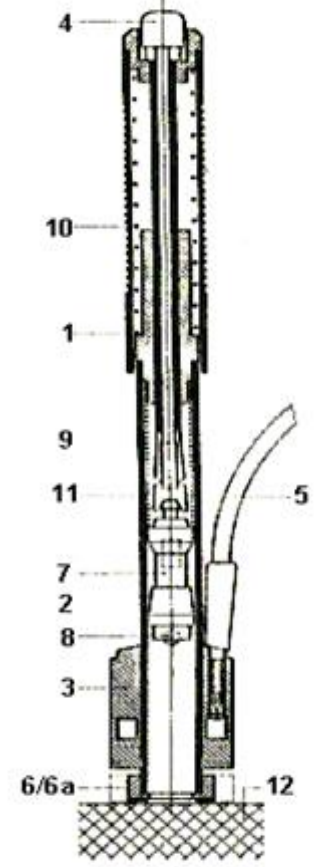
Prob darbe yönü, yapıştırma yüzeyine dik olmalıdır.

Aşağıdaki tabloda prob tipine bağlı olarak, testi yapılacak parçaların minimum kalınlıkları belirtilmiştir.

Prob tipi	Min. Kalınlık
D/DC, D+15, DL, E	3 mm
G	10 mm
C	1 mm

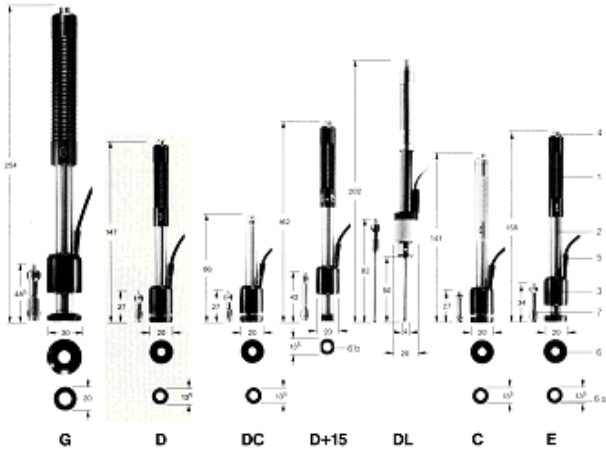
2.2.1 Prob Şematik Görünümü

1. Yükleme borusu
2. Kılavuz borusu
3. Bobin
4. Test butonu
5. Kutuplu bobin bağlantı kablosu
6. Büyük support
6. a-Küçük support
7. Darbe prob gövdesi
8. Test bilyası
9. Darbe yayı
10. Yükleme yayı
11. Darbe probu tutma mekanizması
12. Test parçası



2.2.2 Semboller Ve Açıklamalar

LD	D	tipi prob kullanılarak bulunan Leeb sertliği
LDC	DC	" "
LG	G	" "
LC	C	" "
LD + 15	D+15	" "
LE	E	" "
LDL	DL	" "



2.2.3 Prob Tipleri Ve Özellikleri

- D** : Standart prob, genellikle bütün malzemelerde kullanılabilir.
DC : Çok kısa prob, silindir veya boru iç yüzeylerinde, D tipi gibi malzemelerde
D+15 : İnce prob, kanallarda veya yarıklarda
DL : Çok ince prob, noktasal ölçümlerde, örneğin dişli yüzeyleri
C : Azaltılmış darbe enerjili, yüzey sertleştirilmesi yapılmış (min.0,2mm) veya ince parçalarda
E : Sentetik elmas uç(5000 HV),Çok yüksek sertlikteki parçalarda, örneğin Wolfram karbür veya 1200HV ye kadar olan parçalarda
G : Büyük dökme demir(pik, sfero veya çelik döküm) veya çelik dövme (hassas pürüzlülüğü istenmeyen) parçalarda

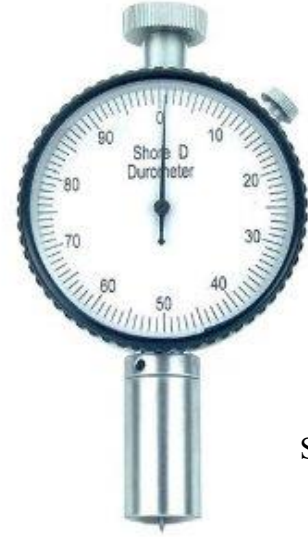
2.3 SHORE SERTLİK ÖLÇÜM METODLARI (Durameter) .DIN 53505, ISO 7619, ISO 868, ASTM D 2240

2.3.1 Shore (Durameter) Sertlik Ölçüm metodu

1920 de Durameter adıyla, Albert F. Shore tarafından geliştirilmiştir. Lastikler, polimerler, elastomerler de kullanılır.



SHORE A



SHORE D

Shore A ve D deki uçlar

Durometer	Ölçüm Ucu	Kütle [kg]	Kuvvet [N]
Shore A	1.1 /1.4 mm çapında sertleştirilmiş milde, 0,79 mm çapında 35 ° kesik koni	0.822	8.064
Shore D	1.1 /1.4 mm çapında sertleştirilmiş milde,30° konik açılı, 0.1 mm radyüslü uç	4.550	44.64

En çok kullanılan metodlar Shore A ve D metodlarıdır. Shore A, yumuşak lastikler ve plastikler için, Shore D sertlik lastik ve plastikler için kullanılır. ASTM D2240-00 de bu metod, A, B, C, D, DO, E, M, O, OO, OOO, OOO-S, ve R olarak toplam 12 metoda ayrılır. Her bir metod da, yumuşaktan sert doğru giden 0 ila 100 arasında değerler vardır.

Durometer Tipi	Test ucu	Uç çapı	Extensiyon	Yay kuvveti
A	35° kesik koni	1.40 mm (0.055 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	822 gf (8.06 N)
C	35° kesik koni	1.40 mm (0.055 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	4,536 gf (44.48 N)
D	30° koni	1.40 mm (0.055 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	4,536 gf (44.48 N)
B	30° koni	1.40 mm (0.055 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	822 gf (8.06 N)
M	30° koni	0.79 mm (0.031 inç)	1.25 mm (0.049 inç)	78 gf (0.76 N)
E	2.5 mm (0.098 inç) yuvarlak radyüs	4.50 mm (0.177 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	822 gf (8.06 N)
O	1.20 mm (0.047 inç) yuvarlak radyüs	2.40 mm (0.094 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	822 gf (8.06 N)
OO	1.20 mm (0.047 inç) yuvarlak radyüs	2.40 mm (0.094 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	113 gf (1.11 N)
DO	1.20 mm (0.047 inç) yuvarlak radyüs	2.40 mm (0.094 inç)	2.54 mm (0.100 inç)	4,536 gf (44.48 N)
OOO	6.35 mm (0.250 inç) yuvarlak radyüs	10.7 mm (0.42 inç) – 11.6 mm (0.46 in)	2.54 mm (0.100 inç)	113 gf (1.11 N)
OOO-S	10.7 mm (0.42 inç) yuvarlak disk	11.9 mm (0.47 inç)	5.0 mm (0.20 inç)	197 gf (1.93 N)

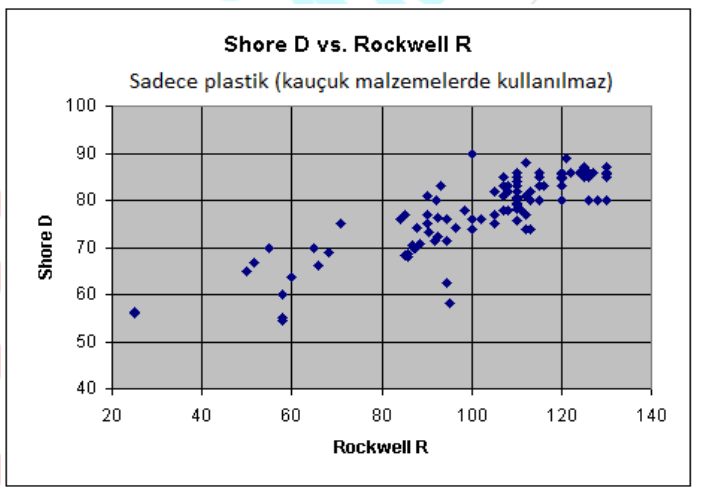
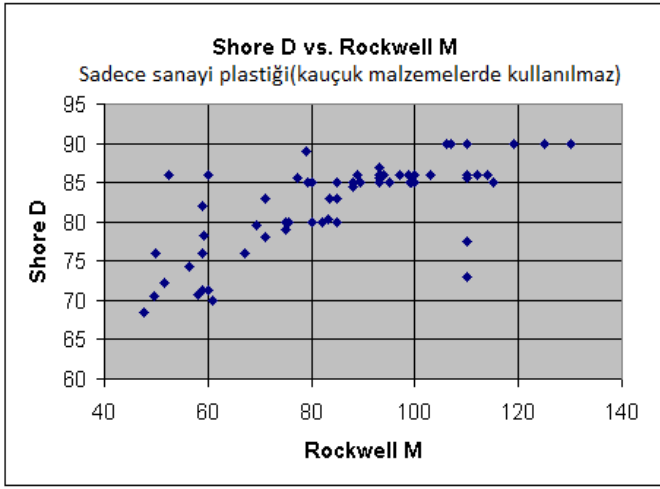
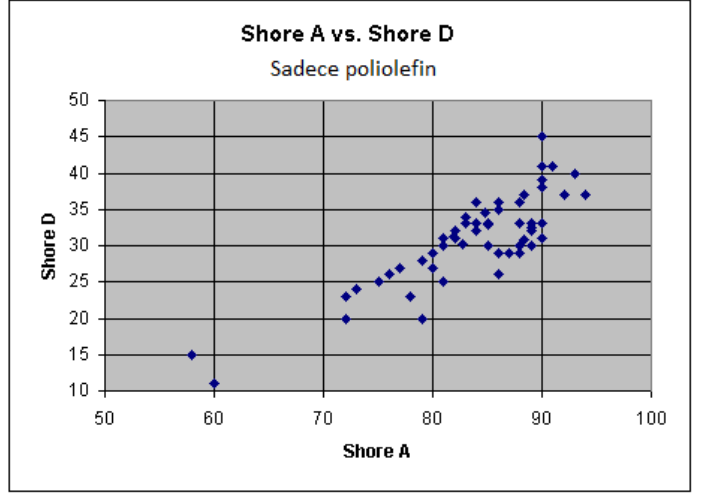
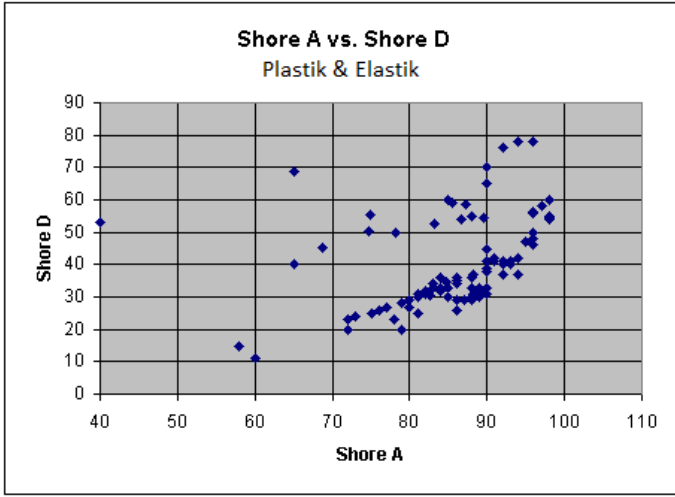
2.3.2

Sertlik değeri, malzeme üzerinde 15 saniye süreyle uygulandıktan sonra ucun dalma derinliğine bağlıdır. Uç malzemeye 2.54 mm (0.100 inç) veya daha fazla dalma durumunda, durometre için bu ölçek için 0'dır. Hiç dalmazsa, o zaman durometre bu ölçek için 100'dür.

Bazı malzemelerdeki Shore Durometer değerleri

Malzeme	Sertlik Değeri	Durometer tipi
Bisiklet koltuk jel yatağı	15-30	OO
Çiklet	20	OO
Sorbothane	40	OO
Sorbothane	30-70	OO
Lastik bant	25	A
Kapı contası	55	A
Otomotiv lastiği dış yüzeyi	70	A
Tekerlekli paten yumuşak lastiği	78	A
Hidrolik O-ring	70-90	A
Tekerlekli paten sert lastiği	98	A
Ebonite kauçuk	100	A
Kamyon lastiği	50	D
Sert şapka (HDPE)	75	D

Belli malzemelerde ki Shore Ave D çevirimleri ile Shore D' nin HRM ve HRR metodları arasındaki çevirimler aşağıdaki tablolardan görülebilir.



3 SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI

Sertlik ölçme cihazları genel olarak 2 bölüme ayrılırlar.

3.1 Masa Tipi Sertlik Ölçme Cihazları

3.2 Portatif Sertlik Ölçme Cihazları

3.1 MASA TİPİ SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI

Masa tipi sertlik ölçme cihazları, yük uygulama sistemlerine göre aşağıdaki guruplara ayrılabilir.

- 1)Test yükünü yay etkisiyle yapan cihazlar
- 2)Yüklerin hidrolik baskı ile elde edildiği cihazlar
- 3)Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) hidrolik çalışan cihazlar
- 4) Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) motorlu çalışan cihazlar
- 5) Yük hücreli (load cell-closed loop) çalışan cihazlar

3.1.1 Test yükünü yay etkisiyle yapan cihazlar

Üretim maliyetinin az olması nedeniyle en ucuz tip cihazlardır. Yanlış, yay kuvvetinin zaman içinde bozulması, yük kalibrasyonundaki tekrarlanabilirliğinin ve izlenebilirliğinin az olması yüzünden tercih edilmezler. Buna rağmen, darbeli ortamlardan, diğer tip cihazlardan daha az etkilenirler.

3.1.2 Yüklerin hidrolik baskı ile elde edildiği cihazlar

Daha çok, yüksek kapasiteli (1000-3000 kg arasında) Brinell cihazlarında kullanılır. Sabit olarak cihaza yerleştirilen hidrolik pompanın verdiği basıncın, sadece sabit bir test yüküne ayarlanması sistemine göre çalışırlar. Pahalı ve üreticisinin çok az olduğu bu tip cihazların üretimi şu anda çok azalmıştır.

3.1.3 Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) hidrolik çalışan cihazlar

Ölü ağırlıkların kütle değeri değişmediği için, yük kalibrasyonu zaman içinde, normal şartlarda bozulmaz ve test yükünün tekrarlanabilirliği ve izlenebilirliği yüksektir.

Hidrolik sistemin buradaki görevi, test hızının ayarını sağlamaktır. Yanlız, kullanılan hidrolik yağın viskozitesinin, iklim şartlarına göre değişebilmesi (yazın hızlanma, kışın yavaşlama),bu tip cihazların en önemli dezavantajıdır. **Dünyada üretilen sertlik ölçme cihazlarının çoğunluğu bu sisteme göre çalışır. Bulut Makine' nin ürettiği, BMS 201-R, BMS 200-RB, DIGIROCK-RB, DIGIROCK-RBOV gibi cihazlar bu sisteme göre çalışırlar.**



BMS 201-R



BMS 200-RB



DIGIROCK-RB



DIGIROCK-RBOV -M

3.1.4 Ölü ağırlık sistemine göre (dead weight) motorlu çalışan cihazlar

Ölü ağırlıkların kütle değeri değişmediği için, yük kalibrasyonu zaman içinde, normal şartlarda bozulmaz ve test yükünün tekrarlanabilirliği ve izlenebilirliği yüksektir.

Yüklerin uygulanması, motorla olduğundan, test hızının ayarı, iklim şartlarına göre değişmez. Yakın geçmişte, en güvenilir cihaz tipidir. Buna rağmen üretim maliyeti yüksek olduğundan, üreticiler tarafından pek tercih edilmemişlerdir. **Bulut Makine' nin ürettiği MICROBUL bu sisteme göre çalışır.**

MICROBUL-N



3.1.5 Yük hücreli (load cell-closed loop) çalışan cihazlar

En son teknolojiye sahip cihazlardır. Kütle veya yay uygulaması olmadığından, yük kayıpları çok azdır. Test yükünün tekrarlanabilirliği ve izlenebilirliği çok yüksektir. Step veya servo motorun, load cell den aldığı sinyallere göre yükleri oluşturmaları ve uygulaması esasına göre çalışırlar. Load cell tipi ve kapasitesine bağlı olarak, istenen yüklerin eldesi sayesinde, birçok test metodunun aynı anda kullanılması imkânı vardır. Bu da bu tip cihazların, diğer tip cihazlara göre daha az yer kaplaması, ebatlarının küçük olması, çok daha seri olarak kullanılabilmeleri, ölçüm hassasiyetlerinin çok yüksek olmaları, günümüz teknolojisinde kullanılan diğer ünitelere adaptesi (bilgisayar, PLC vb.) gibi avantajları vardır. Yanlız üretim maliyetlerinin yüksek olması ve dış etkenlerden (darbe, elektriksel değişimler) vb. diğerlerine nazaran daha fazla etkilenirler. **Bulut Makine' nin ürettiği, DIGIROCK-LC-RBOV, UNIBUL, BMS 3000-OBPC cihazları bu sisteme göre çalışırlar.**



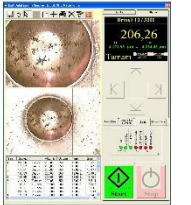
DIGIROCK-LC-RBOV



UNIBUL



BMS 3000-OBPC



3.2 PORTATİF SERTLİK ÖLÇME CİHAZLARI

Portatif sertlik ölçme cihazları, genelde masa tipi cihazlarda ölçülmesi zor ve yavaş olan bilhassa büyük parçaların seri olarak ölçümünde kullanılırlar. Ayrıca numune alınıp, masa tipi cihazlarda ölçülmesi zor olan parçalarda (saç rulolar vb. gibi) de kullanılırlar.

Bu tip cihazlar, genelde üretici firmaların araştırmasıyla geliştirilen, masa tipi cihazlar gibi belli ölçüm metodlarına uygun sistemlere göre çalışmayan (LEEB vb. hariç) , ölçüm sonuçlarının, kullanıcı, ortam şartları, cihazdan gelen belirsizliklerin yüksek olduğu değişkenlere bağlı olarak çalışan, test sonuçlarının güvenilirliği ve tekrarlanabilirliğinin düşük olduğu cihazlardır.

Büyük parçaların seri olarak ölçülmesi, masa tipi cihazlara göre en önemli avantajıdır.

Yalnız, bu tip cihazların, yukarıda belirtilen dezavantajlarını dikkate alarak, alınan sonuçların, doğruluğu üzerine fikir yürütmek için, yine de, test sonucunun, istenilen test metoduna uygun masa tipi bir cihazda da ayrıca doğrulaması tavsiye edilir.

Portatif Sertlik ölçme cihazları, test sistemlerine göre aşağıdaki guruplara ayrılabilir.

- 1)Mekanik sistemli cihazlar
- 2)Hidrolik sistemli cihazlar
- 3)LEEB sistemli cihazlar
- 4)Ultrasonik sistemli (UCI) çalışan cihazlar

3.2.1 Mekanik sistemli cihazlar

Bu tip cihazları ölçme sistemlerine göre aşağıdaki guruplara ayırabiliriz.

a)Yay baskılı cihazlar.(WEBSTER vb)

Yay kuvvetinin zaman içinde bozulması, yük kalibrasyonundaki tekrarlanabilirliğinin ve izlenebilirliğinin az olması dezavantajlarıdır.

Buna rağmen, fiyatlarının ucuzluğu, seri ölçümleri, dış etkenlerden az etkilenmeleri yüzünden tercih edilirler.



WEBSTER

b)Test yükünün, moment sistemiyle elde edildiği cihazlar (HR-1)



Test yükleri, moment sistemiyle elde edildiğinden, normlara uygun cihazlardır. Kalibrasyonları daha uygun yapılırlar. *Yalnız fiyatları daha pahalı ve test süreleri daha uzundur.*

c)Test yükünün Mekanik Darbe ile elde edildiği cihazlar (POLDİ)

Sadece, tek bir test metodu imkânı vardır. Üreticinin tayin ettiği yük, yay baskısı veya bir çekiç yardımıyla parça üzerine vurulur. Oluşan iz, portatif bir mikroskopla ölçülerek değeri tablodan bulunur. Bu tip cihazlar norm dışı çalışırlar. *Ölçüm süresi uzunluğu ve ölçülen değer doğruluğunun güvenilir olmaması yüzünden, tavsiye edilmezler.*

d) Test yükünün, darbe enerjisi metoduyla uygulandığı cihazlar.(Shore Scleroscope)

Bu tip cihazlarda, prob belli bir mesafeye çıkarılarak kurulur. Sonra bu mesafeden bırakılır, ardından prob test parçasının sertliğine göre, tepki alarak belli bir mesafede durur.

(sert parçalarda, yumuşaklara göre daha yüksekte) Bulunan değerin karşılığı, sertlik çevirim tablolarından diğer test metodlarına çevrilir. LEEB sisteminin ilk versiyonuna benzeyen bu metod, geçmişte, sıkça kullanılırdı. *Ama gerek ölçüm hassasiyetinin ve izlenebilirliğinin çok düşük olması yüzünden, diğer tipi cihazlarla karşılaştırıldığında günümüzde tercih edilmemesine rağmen, ucuz olmasında dolayı halen üretimi ve kullanımı devam etmektedir.*

e)Hidrolik sistemli cihazlar

Test yüklerin hidrolik baskı ile elde edilir. (HBW 3000)

Daha çok, yüksek kapasiteli (1000-3000 kg arasında) Brinell cihazlarında kullanılır.

Yükler norma uygun olarak hidrolik baskı sistemiyle üretildiğinden, test sonuçları güvenilir olan cihazlardır. Daha çok, pik, sfero, çelik döküm gibi parçalarda kullanılır.

f)LEEB sistemine göre çalışan cihazlar (HARTIP)

Leeb Sertlik ölçme sistemi, 1975 de İsviçre de Leeb ve Barndestini tarafından Proseq firmasında geliştirilmiştir.

Günümüzde kullanılan portatif sertlik ölçme cihazlarının çoğunluğu bu sisteme göre çalışır. Uygun şartlarda kullanıldığında (malzeme seçimi, parçanın kesiti ve ağırlığı, test yüzeyi düzgünlüğü ve pürüzlülüğü dikkate alınarak) günümüzde en çok kullanılan portatif cihaz tipidir.

İçinde mıknatıs bulunan, darbe probu, belli bir mesafeden, yay baskısı ile parça üzerine fırlatılır. Parça üzerine değen prob, parçanın sertliğine göre (sert parçalar da daha hızlı), geri döner.(rebound) Geri dönüşü anında, prob bobin içinden geçerken, geçiş zaman süresine göre bobinin indüktansını değiştirir. Bu değer elektronik sistemce algılanarak, HL(Hardness Leeb-Leeb Sertliği) ne çevrilir.

Her malzemeye göre, bulunan HL değerinden, diğer sertlik ölçüm metodlarına (HR, HBW, HV gibi) çevirimlerde dikkat edilmesi gereken, cihazın menüsünde, testi yapılacak parçanın malzemesinin tanımlanmasıdır. Bu yoksa sonuçlar doğru olmaz.

Malzeme tiplerine, sertlik derinliğine, parça ebadına bağlı olarak çeşitli tip darbe problemleri geliştirilmiştir.

Aşağıda, bu tip problemlerin tipleri ve kullanılma yerleri belirtilmiştir.

Bu metod, çok seri ölçümü, kullanılan cihazların fonksiyonlarının gelişmiş olması, ucuzluğu birçok üretici tarafından üretilmesi, vb. yüzünden günümüzde en çok tercih edilen cihaz tipidir.

Yalnız cihazın kullanımında, Aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekir.

- 1)Bazı özel malzemelerin cihazların menülerinde tanımlanamaması,
- 2) Hafif malzemelerde ki ölçüm zorluğu (bu metodla test edilecek malzemelerin ağırlığının 3 kg ve üstü olması tavsiye edilir. Gerektiğinde, 3 kg'dan hafif malzemelerin testi de, parçanın bir support üzerine sabitlenerek ölçümü imkânı olmasına rağmen, bunu pek tavsiye etmiyoruz.
- 3)Test yüzeyi kesit kalınlığı (malzeme sertliği ve kalınlığına bağlı olarak 4 mm ve üstü tavsiye edilir.)



4)Tufal, aşırı pürüzlü vb gibi istenmeyen yüzeylerden sakınmalı. Parçanın yüzeyin taşlanarak (mümkünse Ra) sağlanarak ölçüm yapılmalıdır.



HARTIP-1500



HARTIP-1400



HARTIP-2000



HARTIP-3210



HTP-1600

4 ULTRASONIC SİSTEMLİ (UCI)