

PROVA DI DUREZZA

La durezza H (hardness) e' la resistenza che la superficie di un materiale oppone alla sua penetrazione.

E' una condizione necessaria affinche' il componente metallico posseda le caratteristiche di progetto, ma non sufficiente. Infatti se la durezza non e' corretta il componente non sara' certamente idoneo, ma in caso contrario non e' certo che le altre caratteristiche siano conformi al richiesto (per esempio un pezzo d' acciaio C50 grezzo di laminazione puo' avere la stessa durezza del bonificato, ma nei due casi corre una differenza enorme di tenacita' e di duttilita'). La durezza influenza la resistenza all'usura, all' incisione, al taglio e talvolta anche alla corrosione. Percio' i metodi per valutare la durezza d' un componente sono molteplici e possono esser classificati come segue:

Prove statiche, che si basano sulla misura dell'impronta lasciata sulla superficie del saggio o provetta da un penetratore adeguatamente caricato. Appartengono a questa classe le misure di durezza **Brinell**, **Vickers**, **Rockwell** e **Knoop**, che com'e' noto si distinguono per tipo di

penetratore usato e per il carico applicato, nonché per la tecnica di rilevamento della dimensione dell'impronta lasciata sul saggio provato.

Prove di rimbalzo, in cui un oggetto di massa e dimensioni definite è fatto cadere o proiettato sulla superficie da provare misurandone il rimbalzo. Le superfici più dure sono meno plastiche e fanno rimbalzare maggiormente ogni oggetto che le urti. Appartengono a questa classe le prove di durezza sclerometriche Shore e quelle degli strumenti elettronici portatili (Equotip, Eseyey, ecc.)

Prove di rigatura (scratch test) per le quali l'oggetto più duro incide il più tenero. Appartiene a questa classe la prova alla lima ed ogni prova atta a classificare i materiali secondo la scala di Mohs;

Prove sclerometriche, in cui un utensile (microaratro), generalmente di diamante ed adeguatamente caricato, viene trascinato sulla superficie con velocità costante. La durezza, anche locale, è valutata misurando l'ampiezza del solco.

Prove di smorzamento, in cui si misura la diminuzione dell'ampiezza dell'oscillazione d'un pendolo attrezzato con

un perno duro che sfregi sulla superficie del pezzo da provare. Il pendolo di Herbert appartiene a questa classe

Prove di taglio, nelle quali si misura la forza necessaria per tagliare un truciolo d'opportune dimensioni dalla superficie del pezzo da provare, tramite un utensile standardizzato;

Prove d'abrasione, nelle quali la superficie del pezzo da provare striscia, sotto adeguato carico, contro un disco rotante. La misura della durezza e' valutata in base all'usura;

Prove d'erosione, in cui un abrasivo, in particelle di date dimensioni, e' proiettato contro la superficie da provare. La variazione di peso dara' una valutazione della durezza.

Tuttavia le prove di durezza piu' diffuse ed universalmente riconosciute sono le prime ed in particolare le prove Brinell (HB), le prove Vickers (HV) e le prove Rockwell (HR) nelle scale (A, B, C, D, E, F, N e T).

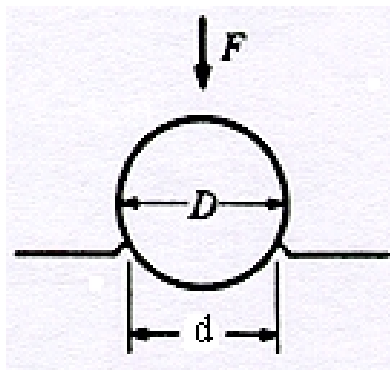
I vantaggi della prova di durezza risiedono nella sua facilità e rapidità, nella sua economicità visti anche i bassi costi delle apparecchiature usate e infine nel fatto di non essere una prova distruttiva (quindi può essere ripetuta in più punti del provino). Per identificare la durezza di un materiale e' bene ricordare l'esistenza della scala di Mohs (Fig.1), usata

particolarmente in mineralogia: essa e' formata da dieci sostanze naturali standard la cui collocazione dipende dalla capacita' che hanno di scalfire, consumare o deformare il materiale che occupa una posizione piu' in basso.

Minerale	N°	Caratteristiche
diamante	10	materiali duri non rigabili con una punta d'acciaio
corindone	9	"
topazio	8	"
quarzo	7	"
ortoclasio	6	materiali semiduri rigabili con una punta d'acciaio
apatite	5	"
fluorite	4	"
calcite	3	"
gesso	2	materiali teneri rigabili con l'unghia
talco	1	"

La durezza per uno stesso materiale avra' valori diversi in base al diverso tipo di test adoperato.

Durezza Brinell (HB)



In questa prova viene usato come penetratore una sfera del diametro di 10 mm d'acciaio indurito o di carburo di tungsteno (widia), la quale viene pressata sulla superficie

del provino per un tempo standard (da 10 a 30 secondi) e sotto un carico costante fissato, che non deve essere impulsivo, variabile tra 500 e 3000 Kg con incrementi di 500 Kg alla volta

Rimossa la sfera si misura, tramite il microscopio, il diametro dell'impronta lasciata (che sarà un cerchio) in due direzioni ortogonali tra loro in modo da appurare se l'impronta è simmetrica o meno.

Questa prova richiede l'uso di provini con superfici lucide e piatte, inoltre bisognerà accertarsi che l'impronta non abbia raggiunto la superficie opposta del provino (lo spessore minimo deve essere almeno otto volte la profondità dell'impronta) o che non sia troppo vicina al suo bordo o ad un'impronta precedente (osservazioni valide peraltro anche nelle altre prove).

La durezza Brinell verrà calcolata con la seguente equazione e sarà funzione del carico applicato F e dell'area dell'impronta A :

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

in cui F è il carico applicato [Kg], D il diametro della sfera [mm], d il diametro dell'impronta [mm].

Per ottenere buoni valori di HB ci deve essere la seguente relazione tra D e d:

$$0,25 D < d < 0,50 D$$

che viene rispettata mantenendo costanti i valori di $\frac{F}{D^2}$ per ogni materiale testato (ad esempio per gli acciai $\frac{F}{D^2} = 30$, per le leghe di rame $\frac{F}{D^2} = 10$).

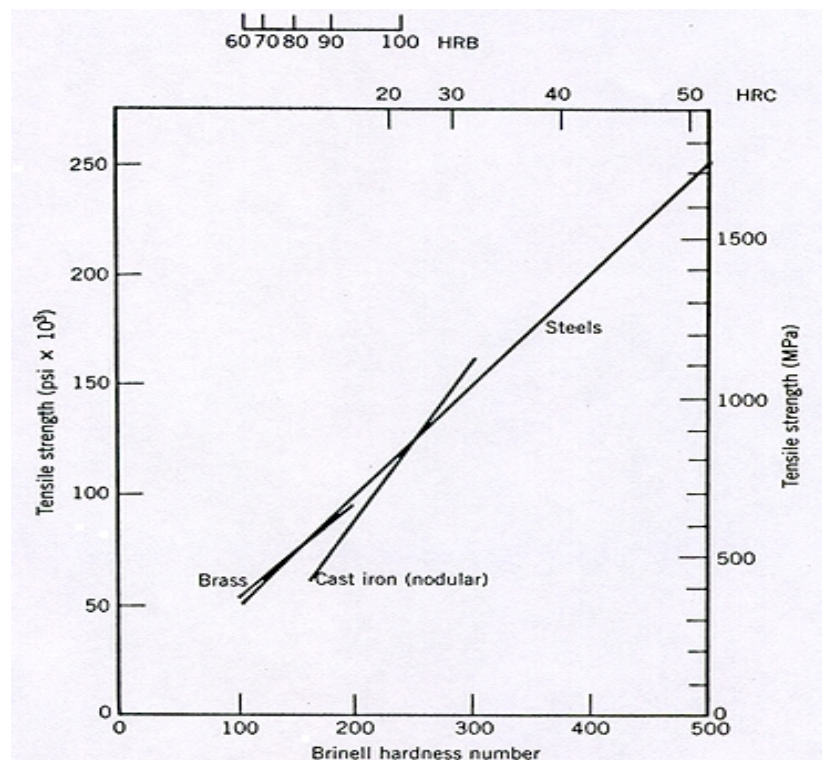
Solitamente la prova si esegue usando la sfera di diametro 10 mm, carico di 3000 Kg e durata di permanenza del carico quindici secondi: il risultato viene poi indicato con la sigla semplice HB.

Esistono però anche sfere di diametro 1, 2, o 5 mm per prove particolari; allora, in condizioni di test diverse dal solito, i risultati vengono indicati facendo seguire al simbolo HB un indice che specifichi nell'ordine il diametro della sfera in mm, il carico e la durata di permanenza in secondi (ad esempio HB_{5/250/15}).

Le limitazioni di tale prova sono le seguenti:

- nel caso di materiali molto duri ci puo' essere una deformazione della sfera (specie sopra i 450 HB per la sfera d'acciaio o sopra i 600 HB per quella di widia)
- se l'impronta e' larga la sfera puo' agire da stress e dare origine ad un crack
- non ci sono limiti al valore del carico, ma bisogna comunque stare attenti a non avere penetrazioni eccessive perche' si puo' leggere al massimo un'impronta del diametro uguale a quello della sfera.

Da notare che solo per gli acciai esiste una relazione lineare tra durezza e resistenza meccanica: $\sigma = 3,45 \text{ HB}$



Durezza Rockwell (HR)

In tale prova il penetratore puo' essere una sfera d'acciaio o, per materiali piu' duri, un cono con la punta di diamante con un angolo interno di 120° .

Il carico usato e il tempo d'applicazione variano in base alle dimensioni e tipo di penetratore ed al suo utilizzo; inoltre l'operazione di carico viene preceduta da una di precarico in modo da posizionare bene la punta sotto la superficie del provino impedendo così che le irregolarita' della stessa influenzino la prova.

Successivamente si misura la profondita' t dell'impronta lasciata e si calcola la durezza con l'equazione corrispondente al carico adoperato (Fig.4).

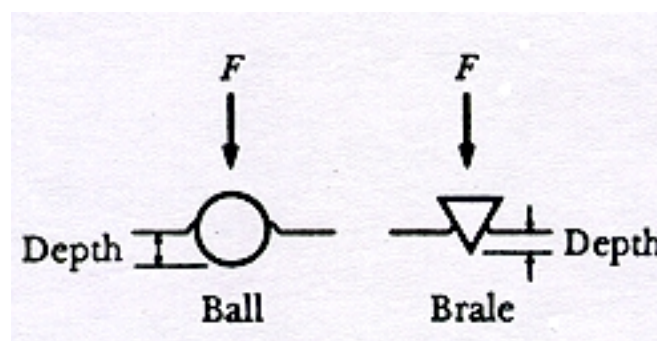


Fig.4: Rockwell test

In particolare per test di durezza veri e propri si usano il cono o la sfera con un precarico di 10 Kg e carichi variabili

da 60 a 150 Kg (vedi tabella); ogni possibile combinazione viene indicata con delle lettere dalla A alla K.

Simbolo scala	Penetratore	Carico [Kg]	Durezza
HRA	Cono	60	100-500 t
HRB	sfera D=1,5875 mm	100	130-500 t
HRC	Cono	150	100-500 t
HRD	Cono	100	100-500 t
HRE	sfera D=3,175 mm	100	130-500 t
HRF	sfera D=1,5875 mm	60	130-500 t
HRG	sfera D=1,5875 mm	150	130-500 t
HRH	sfera D=3,175 mm	60	130-500 t
HRK	sfera D=3,175 mm	150	130-500 t

Esiste pero' anche la possibilita' di eseguire test di durezza superficiale utilizzando sugli stessi penetratori un precarico di 3 Kg e un carico di 15, 30 o 45 Kg: anche in questo caso le possibili combinazioni sono identificate da un numero, rappresentante il carico, seguito da una lettera in base al tipo di penetratore (tabella 2).

Simbolo scala	Penetratore	Carico [Kg]
HR15N	Cono	15
HR30N	Cono	30
HR45N	Cono	45
HR15T	sfera D=1,5875 mm	15
HR30T	sfera D=1,5875 mm	30
HR45T	sfera D=1,5875 mm	45
HR15W	sfera D=3,175 mm	15
HR30W	sfera D=3,175 mm	30
HR45W	sfera D=3,175 mm	45

tabella 2: Scala di microdurezza Rockwell (D e' il diametro della sfera)

In genere quando si raggiungono valori di durezza Rockwell sopra i 130 o sotto i 20 si preferisce rifare la prova adoperando una scala superiore o inferiore rispettivamente. La prova Rockwell e' tra le piu' pratiche perche' automatizzata, riesce a fornire il valore della durezza velocemente richiedendo solo pochi secondi, in piu' permette di effettuare variazioni sul tempo di applicazione del carico.

Durezza Vickers (HV)

Con questo test si adoperava come penetratore una piramide di diamante a base quadrata, sotto un carico fisso F , e si misurano le diagonali dell'impronta lasciata; il carico deve raggiungere il suo valore massimo entro 10-15 secondi e permanere per un tempo uguale.

La durezza sara' data dall'equazione:

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{2 F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

in cui F e' il carico [Kg], d e' la media delle diagonali [mm], $\theta = 136^\circ$ e' l'angolo interno della piramide.

Il valore di Ξ e' dovuto al fatto che nella prova Brinell l'angolo di penetrazione e' proprio questo: infatti d deve essere compreso tra $0,25 D$ e $0,50 D$ cioe' in media deve essere $d = 0,375D$; costruendo quindi un cerchio di diametro D e tracciando d , portando le tangenti (Fig. 5) si ottiene un angolo Ξ di 136° .

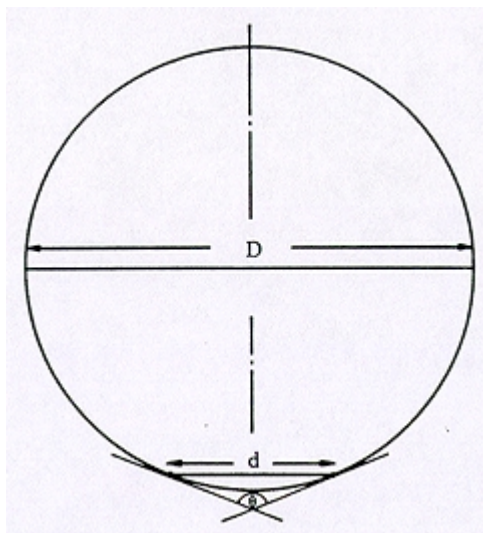


Fig.5: origine dell'angolo interno nella piramide Vickers

In tal modo si ha che $HV \sim HB$ nel campo di validita' della prova Brinell.

La prova Vickers va bene percio' per materiali molto duri e pone, come condizioni sul pezzo, uno spessore minimo di 1,5 volte la diagonale dell'impronta e sul carico da applicare il limite 5 -120 Kg.

Inoltre la piramide Vickers, essendo adoperata con carichi da 1 a 1000 g, viene usata per test di microdurezza, cioè per valutare la durezza di microcostituenti sfruttando le piccole dimensioni delle impronte (Fig. 6); tuttavia, proprio per il fatto di dover misurare accuratamente piccole lunghezze, richiede che i provini abbiano una superficie lucidata e il più regolare possibile.

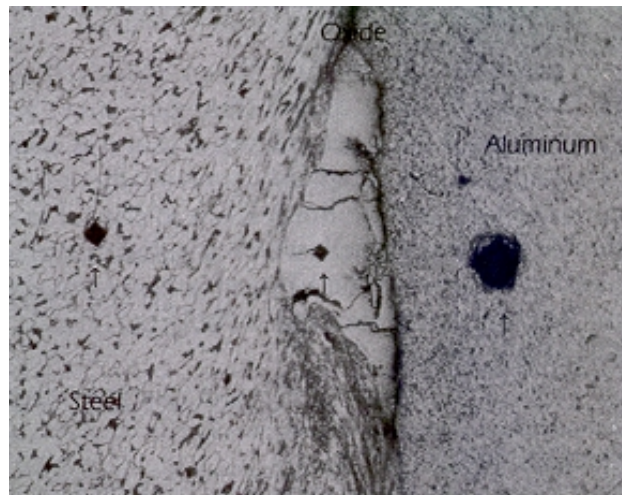


Fig. 6: impronte di microdurezza Vickers su un microcomponente misto acciaio-alluminio

Il simbolo HV senza ulteriori specificazioni indica che la prova è stata eseguita con $F = 30 \text{ Kg}$ e durata di permanenza del carico 10 -15 secondi; in condizioni di test diverse si pone alla destra di HV un indice che specifichi il carico impiegato e la durata di permanenza (ad esempio $HV_{30/20}$ o $HV_{5/15}$).

Durezza Knoop (HK)

Il principio di funzionamento di questa prova e' lo stesso di quella Vickers eccetto per il fatto che qui viene usata una piramide di diamante a base rombica con un rapporto tra le diagonali 7 a 1. L'impronta lasciata, di profondita' t , sara' un rombo allungato di diagonale maggiore l e minore b ; la durezza si ricavera' mediante la seguente equazione dopo aver misurato l :

$$HV = 14,2 \frac{F}{l^2}$$

In genere, a parita' di carico e materiale, le impronte Knoop sono due o tre volte piu' lunghe e meno profonde di quelle Vickers; in base a tali ragioni, il metodo e' particolarmente indicato per misurare la durezza dei materiali molto fragili o molto sottili o induriti superficialmente. Inoltre, sempre rispetto alla prova Vickers, presenta una maggiore facilita' di lettura (perche' l'impronta e' piu' larga) e una maggior rapidita' (perche' si misura una sola diagonale).

Pure questa prova, per i piccoli carichi (25 - 3600 g) e dimensioni delle impronte, e' sfruttata per test di microdurezza in particolar modo sui tipi di materiali sopra

citati. Infine, e' possibile dalle prove Vickers e Knoop avere dati di tenacita' e di modulo di Young per materiali fragili.

Nella tabella 3 e' riportato schematicamente quanto fin'ora detto.

La Commissione ISO nel 1975 ha abolito l'unita' di misura dimensionale della durezza Brinell e Vickers, i cui valori sono oggi numeri adimensionali

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number
		Side View	Top View		
Macro-hardness tests					
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Rockwell	Diamond tip cone			60 kg	$R_A =$
				150 kg	$R_C =$
				100 kg	$R_D =$
	$\frac{1}{16}$ -in. diameter steel sphere			100 kg	$R_B =$
				60 kg	$R_F =$
E	$\frac{1}{8}$ -in. diameter steel sphere			150 kg	$R_G =$
				100 kg	$R_E =$
Micro-hardness tests					
Vickers	Diamond pyramid			P	$VHN = 1.72P/d_1^2$
Knoop	Diamond pyramid			P	$KHN = 14.2P/l^2$
		$l/b = 7.11$ $b/t = 4.00$			

tabella 3: paragone tra le diverse durezze

In Fig.7 e tabella 4 sono comparate diverse scale di durezza: si noti che in genere non e' banale passare da una durezza all'altra.

HB	HRC	HRB	HV	HK	Resistenza a trazione [MPa]
780	70		1224		2646
745	68		1116	972	2536
682	64		941	870	2392
653	62		868	822	2232
627	60		804	776	2132
601	58		746	732	2053
555	55	120	650	650	1902
534	53	119	606	612	1833
514	52	119	587	576	1764
495	50	117	551	542	1702
461	47	116	502	510	1577
429	45	115	460	466	1490
415	44	114	435	438	1405
401	42	113	423	426	1350
388	41	112	401	414	1302
341	36	109	344	360	1137
321	34	108	320	334	1068
302	32	107	303	318	1006
293	31	106	292	311	979
277	29	104	278	297	923
262	26	103	261	284	882
248	24	102	249	272	841
241	23	100	240	266	820
229	21	98	228	251	779
223	20	97	222	246	758
217	18	96	217	241	737
207	16	95	208	226	696
197	13	93	197	216	668
192	12	92	192	211	655
183	9	90	183	201	627
174	7	88	174	196	600
166	4	86	166	188	572
159	2	84	159	180	552
146		80	149	172	510
140		78	148	164	490
134		76	146	160	469
131		74	145	157	455
126		72	141	153	441
121		70	138	150	427

HB	HRC	HRB	HV	HK	Resistenza alla trazione [Mpa]
98		62	110	124	
96		61	108	122	
95		60	107	120	
92		58	104	117	
90		56	101	114	
87		54		111	
83		50		107	
78		44		101	
74		40		97	
71		35		92	
68		31		88	

tabella 4: Conversioni approssimative tra le diverse scale di durezza e la resistenza ultima a trazione

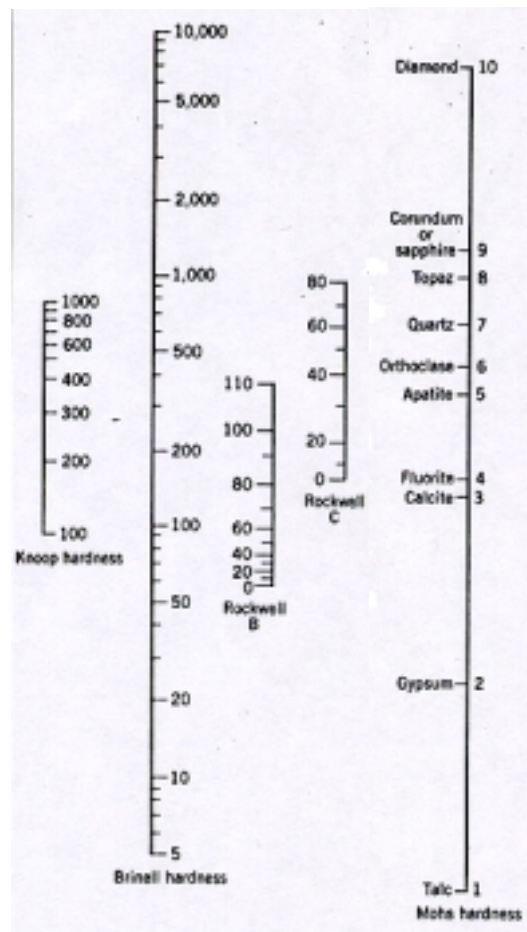


Fig.7: paragone tra alcune scale di durezza

Nella tabella 5 sono riportati diversi valori di durezza per gli stessi materiali in base ai differenti tipi di test eseguiti.

Materiale	HB (*)	HRB	HRC	HV	HK
acciaio per getti	107-163	64-85	/-2	120-160	135-184
acciaio per utensili	575-630	/-/	56-61	690-840	688-815
acc tenac per lavor a caldo	417-565	114-/	44-57	440-670	441-670
acciaio nitrurato	665-757	/-/	63-69	900-1160	850-983
ghisa malleabilizzata	110-280	65-104	/-29	122-281	137-300
ghisa bianca	240-380	100-111	23-40	240-390	266-400
ghisa grigia	150-250	82-102	1,0-24	151-252	175-276
ghisa sferoidale	130-280	73-104	/-29	144-281	156-300
Al puro	15-25	/-/	/-/	/-/	/-/
leghe di Al per getti	40-115	/-67	/-/	/-129	/-141
bronzo al berillio per molle	150-420 (**)	82-114	1,0-44	151-440	175-443
ottone con piombo	70-110	33-65	/-/	/-122	91-137
ottone senza piombo	45-85	/-52	/-/	/-/	/-109

tabella 5: Valori approssimativi di durezza per alcuni materiali nelle diverse scale

(*) risultati ottenuti con sfera di diametro 10 mm carico di 5 Kg

(**) risultato ottenuto con sfera di diametro 10 mm e carico di 30 Kg

RICAPITOLANDO

Delle tre prove qui citate la piu' versatile, precisa, non distruttiva, per le modestissime dimensioni dell' impronta, e valida in un intervallo di durezza praticamente illimitato, e' la prova **Vickers**, che si presta anche per le misure di microdurezza. Poiche' lascia impronte molto piccole risente molto delle eterogeneita' della provetta e risulta alquanto laboriosa; infatti per garantire una sufficiente precisione necessita d' una buona preparazione della superficie e della

lettura delle impronte col microscopio almeno a 100 ingrandimenti.

La prova **Brinell** e' meno laboriosa, ma puo' esser talvolta distruttiva per l'eccessiva dimensione delle impronte. Tuttavia risente meno delle variazioni legate alle eterogeneita' microstrutturali tanto da costituire talvolta l'unica alternativa per i materiali fortemente eterogenei quali le ghise grigie. Valori ottenuti con sfere di diverso diametro sebbene caricate proporzionalmente non sono generalmente paragonabili fra loro, salvo quando il diametro dell' impronta e' prossimo ad un terzo di quello della sfera. In tal caso l' angolo, formato dalle due tangenti alla sfera nei punti d'intersezione con la linea ideale della superficie, sarebbe di 136° , cioe' proprio quello scelto per il vertice del penetratore Vickers. La lettura del diametro dell' impronta richiede l' uso del microscopio, talvolta incorporato nel durometro, oppure portatile a 20 ingrandimenti almeno. Nonostante le limitazioni succitate la misura e' relativamente semplice, affidabile e generalmente meno complicata di quella Vickers.

La prova **Rockwell** e' la piu' semplice e rapida, ma anche la meno precisa ed affidabile. Infatti puo' dare valori errati per

molteplici motivi; per esempio un cedimento dell' appoggio dovuto ad una qualsiasi causa (superficie ossidata o sporca, supporto cedevole, deformazioni elastiche, slittamenti, ecc.) dara' misure in difetto. Poiche' le prove di durezza sono generalmente di facile esecuzione e non danneggiano i pezzi provati nei modi prescritti, si possono giustamente annoverare tra le **Prove Non Distruttive** piu' utili per una rapida valutazione delle caratteristiche meccaniche.

Sebbene siano prove semplici, possono dare valori non attendibili quando non vengono rispettate tutte le condizioni poste dalle procedure sancite dalle norme nazionali od internazionali, che prescrivono rigorose modalita' di esecuzione.