

Il controllo della durezza

Nel settore della meccanica ci si incontra spesso con il concetto di “*durezza*”; ed infatti la durezza è una caratteristica fondamentale per giudicare se un certo materiale è idoneo o no a svolgere certe funzioni ed ad avere un certo rendimento.

Basti pensare a tutti i materiali soggetti ad usura, cioè a tutto ciò che si muove all'interno di un'automobile o di un qualsiasi macchinario. Basti pensare agli utensili da taglio, dove la durezza è sicuramente un indice che indica dove e come deve essere usato un certo materiale.

La durezza è un valore numerico che rappresenta un indice della “*resistenza alla deformazione permanente*”.

La prova di durezza può essere effettuata in diversi modi, ma in ogni caso si tratta di determinare la resistenza offerta dal materiale a lasciarsi penetrare da un altro, evidentemente più duro, che si può chiamare “*penetratore*” o “*identatore*” che ha forme diverse. In base a queste diverse forme del penetratore ed alla metodica della prova si possono distinguere le seguenti scale di durezza:

- *Brinell*
- *Vickers*
- *Knoop*
- *Rockwell*
- *Nanodurezza*

Durezza Brinell

La durezza Brinell, ideata da J. A. Brinell nel 1900, è stata la prima scala di durezza standardizzata.

Il penetratore ha la forma sferica di diametro D ed ora costruito normalmente in carburo sinterizzato; esso viene premuto sulla superficie del provino con un certo carico P . Detta d il diametro dell'impronta, la durezza è sostanzialmente definita come il rapporto tra il carico e la superficie dell'impronta, cioè:

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

Il fattore di conversione 0,102 è utilizzato per poter confrontare i valori di HB basati sul Sistema Tecnico in cui il carico era espresso in Kg con il sistema SI in cui il carico si esprime in N, essendo appunto $1\text{N} = 0,102\text{ Kg}$.

Il confronto tra varie misure con parametri diversi non è sempre affidabile; esso è possibile solo se il rapporto tra il diametro dell'impronta e il diametro della sfera soddisfa la seguente condizione:

$$\frac{d}{D} = \cos \frac{\omega}{2} = 0,375 \quad \text{cioè} \quad \omega = 136^\circ$$

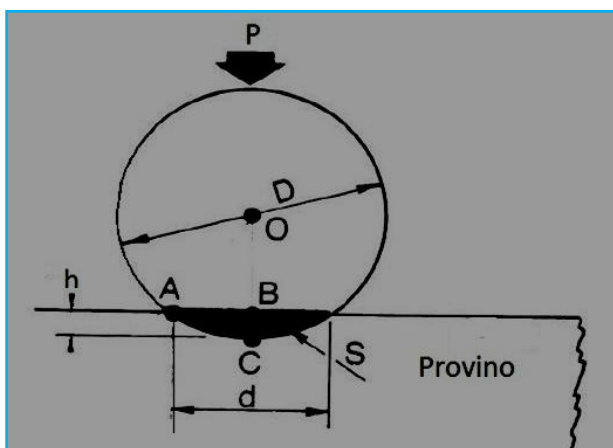


Fig. N°1- Schema di controllo della durezza Brinell

Affinchè il rilievo sia valido devono essere rispettate le seguenti condizioni:

- Distanza dell'impronta dal bordo $a > 2,252 d$
- Distanza tra le impronte $b > 4d$
- Spessore del provino $S > 8D$
- $\frac{d}{D} = \cos \frac{\omega}{2}$ compreso tra 0,24 e 0,6 cioè ($106^\circ \leq \omega \leq 150^\circ$)

La forza applicata può variare da 10 a 50.000 N e bisogna specificarla.

Durezza Vickers

Viene calcolata in base all'area dell'impronta lasciata dal penetratore che in questo caso ha la forma piramidale a base quadrata.

Con il microscopio a lente graduata vengono misurate le diagonali dell'impronta d_1 e d_2 dai cui valori si ricava la media

$$t = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

E quindi:

$$HV = \frac{2 \cdot P \cdot 0,102 \cdot \sin \frac{\omega}{2}}{t^2}$$

Con angolo di apertura $\omega = 136^\circ$

I carichi son minori rispetto alla prova Brinell e le condizioni sono meno restrittive. Infatti, la distanza dal bordo del provino può essere $a > 2t$ e la distanza tra le impronte $b > 1,5t$.

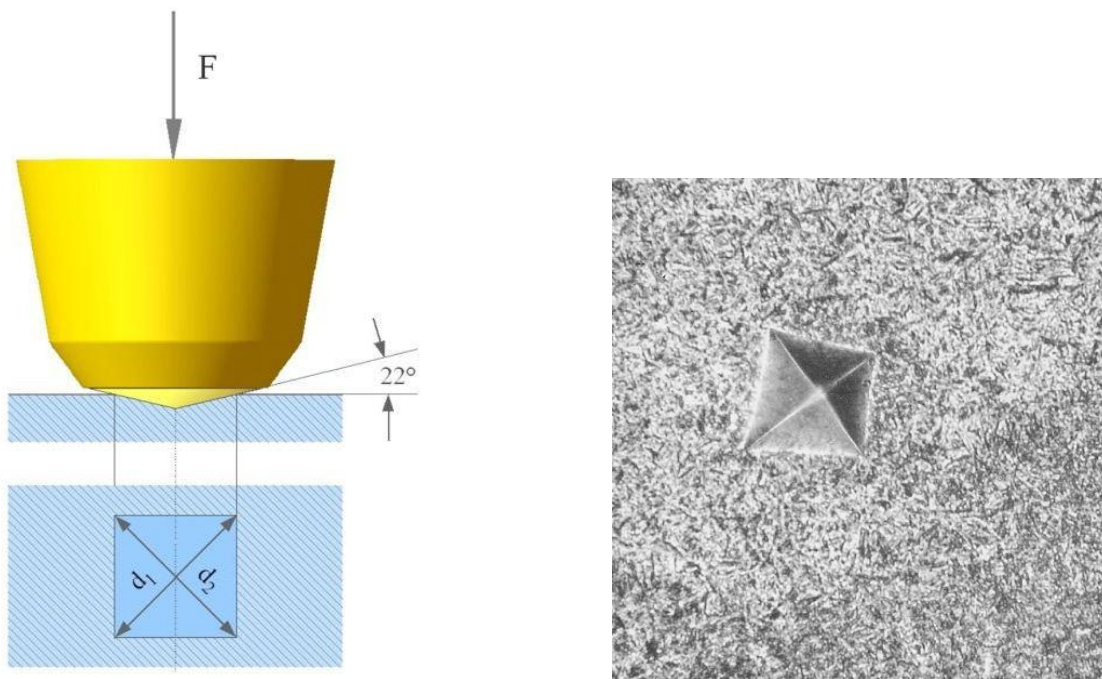


Fig. N°2- Schema di controllo della durezza Vickers e tipica impronta del penetratore Vickers

Durezza Knoop

La prova di durezza Knoop è simile alla prova Vickers. La differenza consiste nella forma del penetratore che in questo caso è una piramide con base romboidale (e non quadrata) e che l'impronta ha una profondità di circa il 60% dell'impronta Vickers, a parità di forza applicata.

Sia che in questo di test di durezza che in quello precedente i carichi normalmente usati sono compresi tra 50 e 250 N.

Durezza Rockwell

Si misura l'affondamento diretto del penetratore che può avere diverse forme a seconda delle scale usate, come indicato nella seguente tabella.

Tipo di prova	Forma del penetratore	Carico	Misura della durezza
D	Sferico	98 N	130 affondamento
C	Conico	98 N	100 affondamento
T	Sferico	29,4 N	130 affondamento
N	Conico	29,4 N	100 affondamento

Questa misura, molto usata è solo un indice convenzionale.

Per esempio un utensile in HSS, la cui durezza sia HRc 63 l'impronta avrà una profondità di 0,63 mm. L'apparecchio di controllo misura automaticamente questa profondità e fornisce sul display il valore della durezza.

Le misure tra diverse scale (Brinell, Vickers, Knoop, Rockwell) non si possono confrontare, se non in modo approssimativo, perché usano unità di misura diverse.

Nanodurezza

Per il controllo della durezza di film sottili, cioè di spessore di qualche micrometro, i metodi di cui sopra non sono adatti, nemmeno con carichi ridotti.

Si parla allora di rilievo della nanodurezza espressa in GPa (Giga Pascal).

Questa si basa sulla misura dell'impronta lasciata da un'indentatore a forma piramidale in diamante (del tipo usato per la misura Vickers), che penetra il film per pochi nm.

In particolare fa riferimento all'analisi della curva di carico/scarico in cui il valore di carico applicato viene riportato su un grafico in funzione della corrispondente area dell'impronta lasciata.

Dopo aver raggiunto un carico massimo predeterminato (o una profondità massima) lo stesso viene ridotto e la profondità di penetrazione decresce dal momento che il materiale recupera elasticità. E' proprio dalla pendenza della curva di scarico che vengono determinate le proprietà elastiche. La durezza è derivata dalla profondità residua della curva di scarico

La nanodurezza, come si è detto, si misura in GPa e si ricava dalla seguente formula:

$$H_{IT} = \frac{F}{A(h_c)}$$

Dove $A(h_c)$ è l'area dell'impronta permanente, cioè quella che rimane dopo il rilascio del carico F.

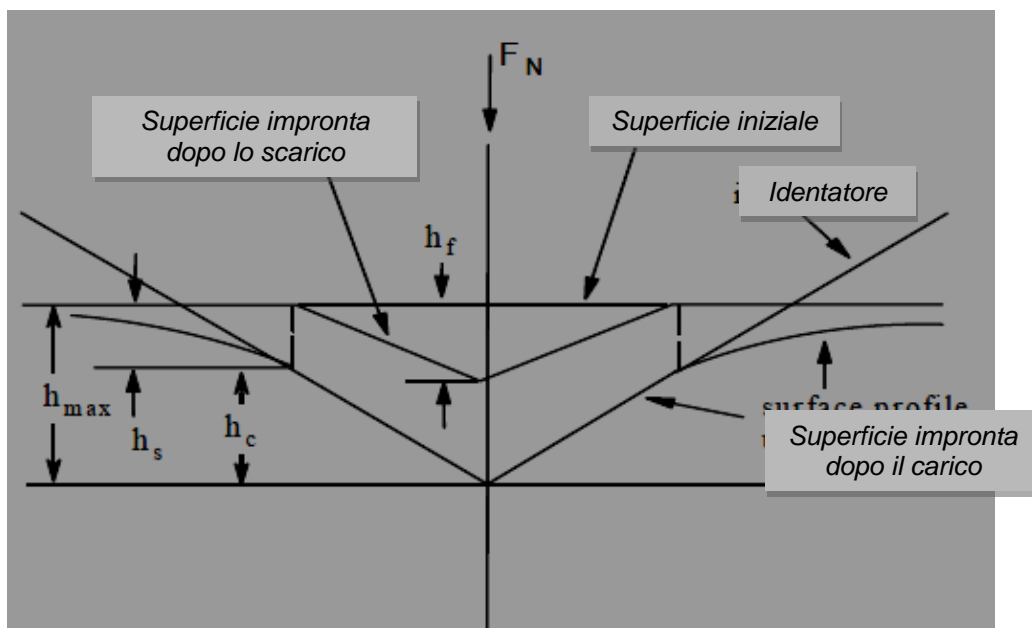


Figura N°3 – Schema controllo nanodurezza

F_N è la componente normale della forza applicata; h_{max} la profondità massima raggiunta dall'indentatore durante una misura; h_f è la profondità dell'impronta permanente dopo ogni misura; h_c è l'altezza per la quale il materiale segue la forma dell'indentatore, in pratica viene esclusa la slabbratura dell'impronta; $h_s = h_{max} - h_c$

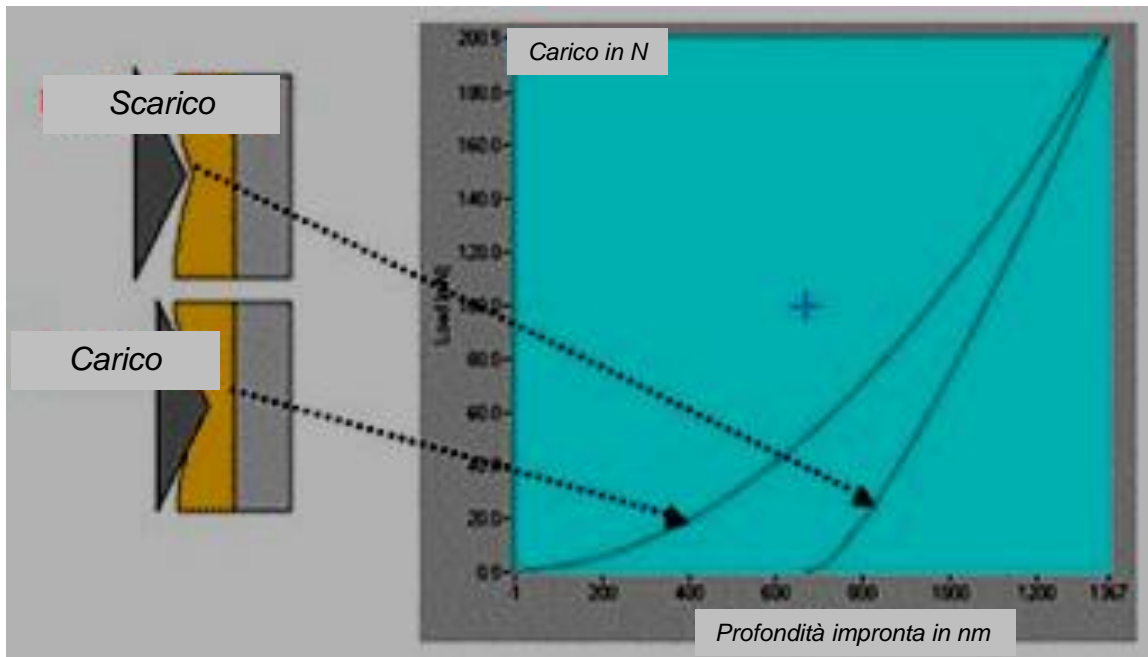


Figura N°4- Curve di carico e scarico della profondità dell'impronta

Come si può osservare la profondità dell'impronta permanente, nel caso rappresentato, è di poco più di 600 nanometri (0,6 micrometri).

Come esempio, nella tabella seguente sono riportati i valori della nanodurezza di alcuni materiali.

Ma vediamo cosa è, intuitivamente, un Giga Pascal.

Letteralmente vuol dire un miliardo di Pascal.

Il Pascal è l'unità di misura della pressione, e precisamente è un Newton per metro quadrato. $Pa = N/m^2$.

E' una pressione molto piccola; tanto per rendersi conto sarebbe la pressione che esercita un etto di zucchero sparso uniformemente su un metro quadrato.

Se trasformiamo i N in Kg (forza peso) e il m^2 in mm^2 si ha:

$$GPa = 10^9 N = 10^9 \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10^6} \frac{Kg}{mm^2} = 100 \frac{Kg}{mm^2}$$

Quindi 1 GPa corrisponde a 100 Kg/mm²

Materiale	Nanodurezza GPa
Acciaio inox	3
DLC nelle diverse combinazioni	9 - 30
Diamante naturale	60 - 80
DLC puro	60 - 130
TiN (nitruro di titanio)	24
TiCN (carbonitruro di titanio)	31
TiAlN (nitruro di titanio alluminio)	35 - 40
TiAlCN (Carbonitruro di titanio alluminio)	28

Scala di Mohs

Anche la scala di Mohs è un metodo per stimare le durezze dei vari materiali. In sostanza consiste in una graduatoria di durezze di materiali in cui quello che ha un indice superiore riesce a scalfire quello di indice inferiore, ma non quello di indice superiore.

Nella tabella seguente sono confrontate le durezze della scala Mohs con le durezze Knoop.

Minerale	Scala di Mohs	Durezza Knoop	Minerale	Scala di Mohs	Durezza Knoop
Talco	1	1	Ortoclasio	6	560
Gesso	2	32	Quarzo	7	800 - 900
Calcite	3	135	Topazio	8	1300 - 1400
Fluorite	4	163	Corindone	9	2000
Apatite	5	430	Diamante	10	8000 - 8500