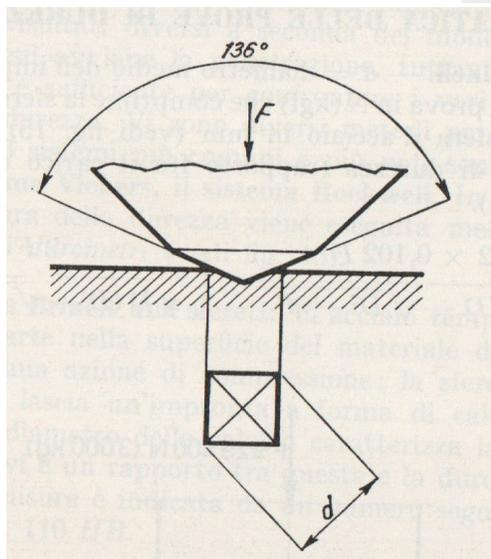




Durezza e Prove di Durezza

Importanza della durezza e prove di misura.
Con i QR-code per i link ai video.



Durometro e disegno prova Vickers

Indice:

Introduzione	2
Aspetti chimici, termici e meccanici	2
Il metodo di misurazione	2
La prova Brinell	3
La prova Rockwell	3
La prova Vickers	4
La prova Knoop	4
La prova Shore	4
Campi di applicazione HB, HRC, HRB, HV e comparazione dei valori	4
Appendice durezza da "Dispensa Acciaio"	5

La presente dispensa si propone di offrire una panoramica riassuntiva degli argomenti, rimandando per una trattazione approfondita ed esaustiva a testi specifici.

QR-Code video prove meccaniche e controlli non distruttivi.



[Video prove meccaniche - Ciclo-start, primi passi nel CNC \(jimdofree.com\)](http://jimdofree.com)
[Controlli non distruttivi - Ciclo-start, primi passi nel CNC \(jimdofree.com\)](http://jimdofree.com)

Schemi ed immagini non diversamente indicati sono tratti dal libro di testo
"Tecnologia meccanica e laboratorio tecnologico" – Giunti editore.
Foto albero motore: Foto dell'autore al Technik-Museum Sinsheim (D)
Foto durometro da Generic
Disegno Vickers dal libro "Il libro del congegnatore meccanico" Hoepli

DUREZZA

Introduzione

La durezza nella comune tecnica di officina corrisponde alla resistenza che offre il materiale alla penetrazione; può considerarsi quindi come una resistenza alla deformazione superficiale per penetrazione.

E' una caratteristica propria dei materiali e nel caso dei metalli dipende principalmente dal tipo di lega e/o dal trattamento termico. L'aumento della temperatura riduce la durezza (rammollimento).

L'importanza della durezza è particolarmente evidente nel caso di pezzi soggetti ad usura, come ad esempio le piste dei cuscinetti volventi, gli utensili per l'asportazione di truciolo o le lame dei pattini da ghiaccio, od ancora le lame dei coltelli.

Vista l'importanza di questa caratteristica dei materiali, diventa fondamentale poterla misurare con precisione, per questo sono state sviluppate diverse tipologie di prove strumentali di durezza.

Aspetti chimici, termici e meccanici

Nel caso dell'acciaio al carbonio all'aumentare della percentuale di carbonio aumenta anche la durezza. La ghisa, che è ricchissima di carbonio, è particolarmente dura; questa sua estrema durezza la rende però fragile, limitandone la resistenza agli urti. I materiali che resistono bene agli urti si chiamano resilienti, tenaci ed hanno durezza limitata.

Anche altri elementi di lega, ad esempio nell'acciaio, possono perseguire questo scopo.

Nel trattamento termico di cementazione, che è l'arricchimento di carbonio della parte superficiale, si indurisce proprio la superficie del pezzo, spesso per proteggerla da fenomeni di usura. Con questo trattamento, il cuore del pezzo rimane povero di carbonio e quindi alla durezza superficiale si unisce una elevata tenacità.

Anche i trattamenti di cianurazione e nitrurazione si effettuano a caldo, similmente alla cementazione, coinvolgendo però spessori molto inferiori ed usando dei gas anziché la polvere di carbonio. Tipicamente subiscono questi ultimi trattamenti le superfici di strisciamento degli alberi a cammes.

Anche la semplice tempra aumenta la durezza superficiale, in questo caso, a causa del rapido raffreddamento del pezzo, si formano grani (cristalli) più piccoli e questo conferisce maggiore durezza alla superficie del pezzo.

Ulteriore possibilità è la pallinatura, il "bombardamento" del pezzo con milioni di palline di acciaio proiettate a grande velocità sulla superficie del pezzo stesso. Questi piccoli ma violentissimi impatti deformano leggermente la superficie del pezzo rompendo i grani superficiali e riducendo la dimensione dei cristalli. Anche questo trattamento meccanico a freddo aumenta la durezza superficiale. Analogamente alla pallinatura esiste anche la rullatura, che non usa le palline, ma, come dice il nome, un passaggio di rulli con notevoli forze applicate; segue, in appendice, spiegazione al riguardo.

Il metodo di misurazione

In generale la prova di durezza consiste nel forzare un penetratore con punta di varie forme (semisferica, conica, piramidale) a seconda dei tipi di prova contro la superficie della quale si vuole misurare la durezza. Conoscendo la forza applicata si misurano, a seconda del tipo di prova, principalmente

→ **la dimensione dell'impronta lasciata** (diametro) Brinell e (diagonale) Vickers

oppure

→ **la corsa di penetrazione** Rockwell

ricavando il valore della durezza della superficie.

I valori della durezza vengono espressi principalmente secondo le scale Brinell HB, Vickers HV e Rockwell HRB (materiali teneri) o Rockwell HRC (materiali duri).

La forma dei penetratori è sferica (Brinell), conica (Rockwell), piramidale (Vickers).

I penetratori sono fatti in diamante o, anche nel caso della sfera della prova Brinell, comunque in materiale durissimo, tale da non deformarsi esso stesso durante l'applicazione delle forze previste. Ci sono anche sistemi a rimbalzo nei quali la durezza si ricava dall'altezza del rimbalzo (Shore).

La differenza principale è che il penetratore sferico cambia l'angolo della deformazione a seconda della profondità di penetrazione, mentre in quelli conici e piramidali no, essi mantengono un angolo costante.

Cosa si misura?

Il diametro dell'impronta (Brinell), la profondità di penetrazione (Rockwell) la misura della diagonale (Vickers), del rombo (Knoop), l'altezza del rimbalzo (Shore).

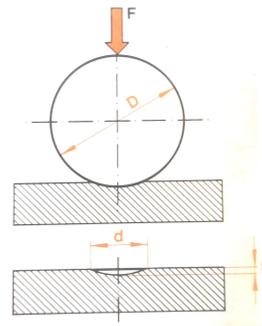
Esistono dunque prove per materiali di varia durezza ed esistono anche prove per materiali fragili o pezzi sottili di limitata resistenza.

[Prove di durezza - Ciclo-start, primi passi nel CNC \(jimdofree.com\)](#)

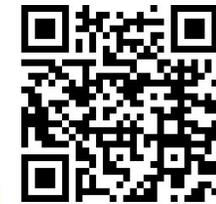
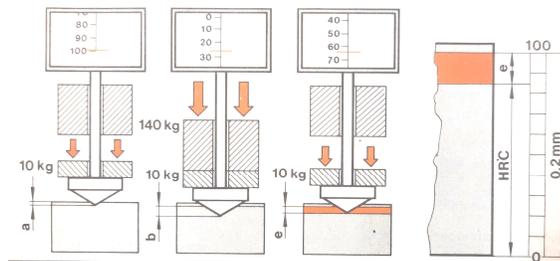
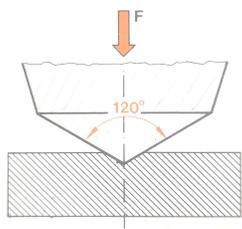
La prova Brinell – Simbolo HB

Si usa in prevalenza per materiali teneri quale, ad esempio l'acciaio dolce. Consiste nel far penetrare nel materiale una sfera di acciaio ($d = 10 \text{ mm}$) applicando un carico prestabilito. La durezza è inversamente proporzionale alla superficie dell'impronta. Carico usuale 3000 kg_f , tempo da 10 a 15 s, spessore almeno 8 volte la profondità dell'impronta, il diametro dell'impronta compreso tra $\frac{1}{4}$ ed $\frac{1}{2}$ del diametro della sfera.

[Brinell Hardness Test \(youtube.com\)](#)



La prova Rockwell – Simbolo HRC, HRB



E' la più utilizzata per la sua praticità ed immediatezza di lettura. Si usa un penetratore conico in diamante con angolo di 120° . Si applica dapprima un precarico di 10 kg_f , si aggiunge poi un carico di 140 kg_f per 3-6 s e successivamente si lascia solo precarico iniziale di 10 kg_f . Il valore della durezza è inversamente proporzionale alla profondità raggiunta. Per materiali teneri si passa ad un penetratore sferico con carichi applicati ridotti $10 + 90 \text{ Kg}_f$, in quest'ultimo caso il simbolo è HRB.

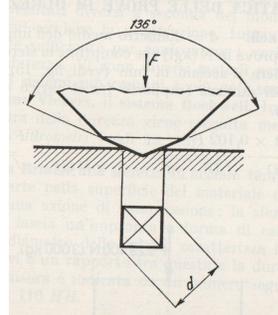
[Rockwell Hardness Test \(youtube.com\)](#)

La prova Vickers – Simbolo HV

Consiste nel far penetrare nel materiale in esame un penetratore piramidale a base quadrata in diamante al quale è applicato un carico prestabilito. Si procede poi alla misurazione della lunghezza della diagonale dell'impronta lasciata. Il vantaggio rispetto alla prova Brinell è che il valore della durezza rilevato non varia sensibilmente con il carico.

Carico usuale 30 kg_f, tempo di applicazione 10 -15 s.

[Vickers Hardness Test \(youtube.com\)](#)

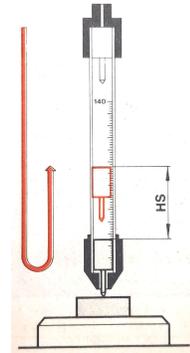


La prova Knoop HK

E' molto simile alla prova Vickers e viene eseguita sulla stessa macchina. Cambia la forma del penetratore che è sempre in diamante, piramidale, ma romboidale. Il simbolo è HK, il carico è di un solo kg_f e si usa per materiali fragili o di piccolo spessore.

La prova Shore HS

Si tratta di una prova dinamica che consiste nel lasciar cadere da un'altezza prestabilita (254 mm = 10") un peso prestabilito sul materiale in esame. Maggiore è l'altezza di rimbalzo del percussore maggiore è la durezza. Questa prova, a differenza delle altre viste in questa lista, non lascia tracce evidenti della sua esecuzione.



HRB 1/16" 100	HRC 120° 150	HV 136°	HB 10 3000	R _m N/mm ²
	80 75 70 67 64			
		900 800		
	60,1 57,8 55,2 52,3 49,1	700 650 600 550 500		2148 1984 1818 1651
	45,3 40,8 38,8 36,6 34,4	450 400 380 360 340	427 380 361 342 323	1487 1322 1256 1189 1121
	32,2 29,8 27,1 24,0 20,3	320 300 280 260 240	304 285 266 247 228	1057 991 926 858 793
98,2 95,0 93,0 90,8 88,2		220 200 190 180 170	209 190 180 171 161	727 661 628 594 562
85,4 82,2 80,4 78,4 76,4		160 150 145 140 135	162 142 138 133 128	529 495 480 463 446
74,4 72,0 69,4 66,4 63,4		130 125 120 115 110	123 119 114 109 104	429 413 396 381 363
60,0 56,4 52,0 47,4 42,4 36,4		105 100 95 90 85 80	99,8 95,0 90,2 85,5 80,7 76,0	347 330 314 297 280 265

Campi di applicazione HB, HRC, HRB, HV e comparazione dei valori

Per materiali duri si preferiscono le prove Vickers e Rockwell che hanno penetratori di diamante. Il penetratore sferico in acciaio della prova Brinell potrebbe deformarsi falsando i risultati. Quando il pezzo presenta una superficie non liscia, la prova più adatta è la Brinell, che coinvolge un'area maggiore. Per prove su strati sottili di indurimento superficiale (ad esempio dopo la cementazione) la prova più adatta è la Vickers, che lascia un'impronta piccola. Le prove Rockwell e Vickers richiedono la preparazione della superficie da testare tramite levigatura.

Nella tabella sono messe a confronto le diverse scale e nella colonna di destra è riportato anche il valore della resistenza a trazione (carico unitario massimo – sigma di rottura - σ_r in N/mm²), corrispondente approssimativamente agli indici di durezza.

La corrispondenza tra i valori delle varie scale è soltanto indicativa, perché molte sono le variabili da cui dipendono i risultati delle prove.

Appendice in tema durezza tratta dalla “Dispensa Acciaio”.

La “Dispensa Acciaio” è scaricabile qui: -->



Acciaio e ghisa: cosa sono?

Acciaio e ghisa sono leghe di ferro e carbonio, quello che cambia sono le percentuali di carbonio. Il carbonio è presente negli acciai come carburo di ferro (cementite) Fe_3C , mentre nelle ghise in forma di grafite.

$0,008 \% < \text{Acciaio} < 2,08 \% < \text{Ghisa} < 4,3 \% - \text{max } 6,67 \%$

Gli acciai, sono principalmente caratterizzati dalla percentuale di carbonio contenuto, elemento che è sempre presente, tra lo 0,008 ed il 2,08 %.
All'aumentare della percentuale di carbonio...

diminuiscono:

la lavorabilità
la saldabilità
la tenacità
la plasticità a freddo

aumentano:

la durezza
la resistenza meccanica
la temprabilità
la colabilità
la resistenza all'usura

Gli elementi di lega

Gli acciai possono inoltre contenere in lega altri elementi, che conferiscono agli acciai stessi varie caratteristiche che sono qui' riassunte:

Cromo (Cr)	durezza – oltre il 10% diventa inox
Cromo-Nickel (Cr-Ni)	aumenta resistenza meccanica ed alla corrosione diminuiscono la saldabilità e la dilatazione
Nickel-Cromo-Molibdeno (Ni-Cr-Mo)	aumenta profondità degli effetti della tempra e mantenimento delle caratteristiche meccaniche anche ad alta temperatura. Gli acciai Ni-Cr-Mo sono i migliori in assoluto per le caratteristiche meccaniche, con 1200 N/mm^2
Silicio (Si)	aumento elasticità (acciai per molle, detto acciaio armonico)
Manganese (Mn)	aumento resistenza usura e durezza
Tungsteno (W)	aumento della resistenza a caldo (acciai per utensili SS)
Tungsteno-Cobalto (W-Co)	aumento della resistenza a caldo (acciai per utensili HSS)
Piombo-zolfo (Pb-S)	aumento della truciolabilità (acciai automatici)

Zolfo, fosforo, idrogeno, ossigeno e azoto, sono invece inquinanti, e peggiorano alcune caratteristiche. La presenza di zolfo, ad esempio, tende a creare sfogliature nelle fasi di laminazione.

I trattamenti termici

L'acciaio, e' un solido aggregato in una forma cristallina che subisce trasformazioni al variare della temperatura. Le percentuali di carbonio presenti negli acciai influiscono sui valori ai quali avvengono queste trasformazioni, e ci si limita quindi ad una trattazione per sommi capi, rimandando precisazioni ed approfondimenti a testi specifici. Per ottenere/migliorare alcune caratteristiche dell'acciaio, si possono eseguire dei trattamenti termici. Si tratta di **fasi di riscaldamento** a temperature precise mantenute per un certo tempo e **seguite da raffreddamento** lento controllato o rapido se non addirittura rapidissimo. I trattamenti termici possono lasciare tensioni nel materiale, tensioni che possono essere eliminate o ridotte con ulteriori fasi di riscaldamento e lento raffreddamento.

Esistono trattamenti che si effettuano in forni convenzionali, altri in forni stagni a campana in cui si introducono particolari gas, o altri trattamenti che si effettuano tramite il riscaldamento di limitate porzioni dei pezzi grazie all'induzione elettromagnetica (si creano nel pezzo correnti elettriche che lo riscaldano, soprattutto sulle superfici, proprio quindi dove è più utile per temprare).

Oltre agli effetti ottenibili con fasi esclusivamente termiche, si possono arricchire superfici e zone precise dei pezzi **con sostanze chimiche** (carbonio ed altro). Un ulteriore tecnica di indurimento delle superfici avviene a freddo, meccanicamente, si tratta della pallinatura e della rullatura, che determinano una rottura/deformazione meccanica dei grani (segue spiegazione sui grani), con effetti sul tipo di quelli ricercati con la tempra.

L'acciaio ha una struttura cristallina che varia (per il ferro puro - reticolo cubico corpo centrato fino a 912 °C, reticolo cubico facce centrate oltre i 912 °C) fino a scomparire al crescere della temperatura. Durante il raffreddamento, i cristalli formano grani di cristalli ordinati che sono tanto più grandi quanto più lento è il raffreddamento. Grani grandi migliorano la tenacità degli acciai, mentre grani piccoli accrescono la durezza (resistenza all'usura).

Quasi sempre si richiedono pezzi duri in superficie e tenaci nel cuore e per ottenere questo scopo il sistema più vecchio, più semplice e più utilizzato e' la tempra. Si procede un riscaldamento ad una temperatura superiore a quella di ricristallizzazione 727 °C (valore superato il quale inizia la formazione di austenite, ed i grani perdono la loro caratteristica) e ad un successivo rapido raffreddamento che proprio in virtù della sua rapidità permette un limitatissimo accrescimento dei nuovi grani che si formano, con conseguente ottenimento di una elevata durezza superficiale. Il raffreddamento può avvenire in aria, in acqua od in particolare olio da tempra. La tempra, se i pezzi hanno un certo spessore, interessa principalmente le zone superficiali dei pezzi, mentre il cuore dei pezzi tende a restare tenace, in virtù del suo più lento raffreddamento ed il conseguente maggiore accrescimento dei grani.

Vediamo con ordine:

Tempra: riscaldamento oltre i 727 °C, mantenimento temperatura e successivo rapido raffreddamento.
Aumento della durezza (0,5 – 15 mm)

Rinvenimento: riscaldamento a temperatura inferiore a quella di tempra e raffreddamento più lento
Eliminazione delle tensioni post tempra.

Bonifica: Tempra seguita da rinvenimento.

Cementazione: Riscaldamento e mantenimento a temperatura elevata in polvere di carbonio che, venendo "assorbito" dall'acciaio, aumenta la percentuale di carbonio nelle zone superficiali del pezzo, e quindi la durezza delle superfici stesse.
Indurimento delle superfici (0,5 – 1 mm).

Cianurazione e nitrurazione: mantenimento del pezzo ad alta temperatura in ambiente con ammoniaca o cianuro di potassio.
Indurimento delle superfici (nitrurazione 0,3 – 0,5 mm, cianurazione 0,1 mm).