

# Sinterizzati: considerazioni sulle prove di durezza

E. Mosca

*Prendendo spunto dalla pubblicazione della nuova edizione della norma ISO 4498, sono qui riassunte le indicazioni essenziali per una corretta esecuzione delle prove di macro e microdurezza sui componenti sinterizzati metallici e sui metalli duri, ed è ampiamente commentata la loro interpretazione, tenuto conto che la struttura di questi materiali presenta aspetti talmente peculiari da aver richiesto la stesura di norme apposite, che sono pertanto richiamate nella bibliografia insieme con quelle di carattere generale.*

*In particolare lo scopo è quello di fornire elementi per una corretta impostazione dell'assicurazione qualità in campo industriale: in questo modo si può instaurare tra fornitore ed utilizzatore un rapporto i cui termini siano reciprocamente accettabili, senza equivoci.*

**Parole chiave:** metalli, metallurgia delle polveri, collaudi e controlli, norme e statistiche

## INTRODUZIONE AI METODI DI PROVA

Tra i vari metodi a disposizione dell'assicurazione qualità, la prova di durezza, per rapidità, semplicità d'esecuzione, carattere non distruttivo e costo veramente contenuto, ha un'eccezionale importanza per l'utilizzatore, purché ne faccia un uso corretto. La prova è applicabile a tutti i materiali usati per la produzione di componenti meccanici e quindi anche ai sinterizzati [1], adattando loro i metodi generali di prova: a garanzia di una corretta determinazione, accanto a norme generiche ne sono state elaborate di specifiche [2], data la peculiarità della struttura.

Dal punto di vista delle proprietà d'impiego la durezza è proposta per identificare il comportamento del componente riguardo a:

- **Resistenza a trazione (Rm) e carico al limite di deformazione permanente (Rs).** Nel caso degli acciai compatti la correlazione è valida con buon'approssimazione per strutture che devono essere omogenee per l'intera sezione (nessuna differenza tra superficie e cuore) e presentarsi nello stato ricotto, normalizzato o bonificato; invece non è valida per strutture oggetto di incrudimento e per quelle temprate, eventualmente rinvenute a bassa temperatura: esistono comunque delle tabelle di conversione.

Riguardo ai componenti allo stato solo sinterizzato e omogenei dal punto di vista struttura e distribuzione della porosità, la durezza può essere usata per una stima indiretta e approssimativa di Rm e, per inciso, (interessa il fornitore!) della qualità della sinterizzazione.

Nel caso della prova col penetratore Vickers è stata proposta la prova di durezza strumentata che richiede uno strumento in grado di rilevare e registrare istante per istante il valore della forza e della profondità di penetrazione durante l'intera durata d'applicazione del carico (vedi norma DIN 50359-1, -2, -3): la prova (durezza universale) [3] presenterebbe numerosi vantaggi (tra i quali p. es. la determinazione del modulo elastico). Recentemente sono state definite le modalità d'interpretazione dei dati quando applicata ai sinterizzati [4], ma per ora non ci sono norme ad hoc.

- **Resistenza all'usura.** La correlazione è valida per quasi tutte le forme con cui l'usura si manifesta, in particolare

nel caso dell'usura abrasiva.

Il meccanismo del fenomeno riguarda lo strato superficiale del pezzo: a parità di durezza intrinseca dello stesso e in assenza di lubrificazione, il comportamento dei sinterizzati non si discosta significativamente da quello dei materiali compatti aventi la stessa composizione e struttura.

- **Resistenza a pressioni localizzate (alla deformazione plastica).** E' insita nel modo stesso con cui la durezza è determinata.

Il meccanismo del fenomeno riguarda la propagazione della deformazione inizialmente elastica e poi plastica del materiale a partire dallo strato superficiale a contatto col penetratore [5, 6]: occorre ricordare che nel caso dei materiali compatti la deformazione avviene a volume quasi costante, perciò si può verificare risalita di materiale rispetto alla superficie in prova in corrispondenza del perimetro dell'impronta, mentre nei sinterizzati si ha densificazione locale a spese della porosità residua, generalmente senza alcuna risalita e accompagnata eventualmente da microfratture, tanto più evidenti quanto più fragile è la struttura della matrice e maggiori le dimensioni dell'impronta rispetto alle dimensioni e distribuzione dei pori.

In Europa, in base ai carichi di prova, le durezze sono state definite in passato come segue:

- **Macro durezza:** prove eseguite con carichi di 9,81 N (al limite 4,9 N) o superiori, applicati ai vari tipi di penetratori in uso.

- **Micro durezza:** Prove eseguite con carichi di 0,98 N (o al limite 1,96 N) o inferiori (prove Vickers e Knoop); i valori della durezza tendono a crescere quanto più basso è il carico di prova.

- **Durezza a carico ridotto:** Prove (Vickers o Knoop) eseguite in casi particolari, con carichi compresi nell'intervallo macro e microdurezza.

Negli USA, per le prove di microdurezza, la ASTM E 384 specifica il campo 0,0098-9,81 N.

## MACRODUREZZA (DUREZZA APPARENTE)

Nel caso dei sinterizzati la presenza della porosità residua modifica l'interpretazione dei dati di durezza ricavati con le prove tradizionali Brinell, Rockwell e Vickers introducendo il concetto di durezza apparente: a parità di microstruttura la durezza è tanto più bassa quanto maggiore è la porosità, in termini pratici quanto minore è la densità.

Enrico Mosca

A titolo d'esempio la fig. 1 riporta i valori di durezza Vickers letti su campioni di ferro puro sinterizzato in funzione della densità e del carico di prova.

In dipendenza della forma del penetratore e del carico applicato su di un singolo campione, il microvolume interessato dall'impronta includerà un numero variabile di pori. La norma ISO 4498 tiene conto di ciò nel prescrivere opportune condizioni di prova, secondo il tipo di penetratore e il carico ad esso applicabile, come risulta dalla tabella 1.

Inoltre, e a differenza degli acciai compatti, non è possibile convertire tra loro i valori tra le diverse scale di durezza: in caso di confronti è pertanto indispensabile mantenere la stessa scala.

La norma prescrive di considerare la prova HV5 come prova di riferimento per tutti i materiali purché abbiano proprietà uniformi nella sezione, scegliendo poi le condizioni di prova più opportune, secondo il livello di durezza con essa stabilito. In caso di dubbio vanno scelte le scale del campo di durezza inferiore.

MACRODUREZZA	
Classe di durezza HV 5	Condizioni di prova
15 - 60	HV 5 (5 kg, piramide di diamante) HBS 2,5 / 15,625 / 30 HRH (60 kg, sfera Ø 3,175 mm)
> 60 - 100	HV 5 HBS 2,5 / 31,52 / 15 HRH HRB (100 kg, sfera Ø 1,5875 mm)
> 100 - 200	HV 5 HBS 2,5 / 62,5 / 10 HRF (60 kg, sfera Ø 1,5875 mm) HRB
> 200 - 400	HV 10 (10 kg, piramide di diamante) HBW 2,5 / 187,5 / 10 HRA (60 kg, cono di diamante) HRC (150 kg, cono di diamante)
> 400	HV 20 (20 kg, piramide di diamante) HBW 2,5 / 187,5 / 10 HRA HRC

Note:  
 - I carichi sono espressi in kilogrammi forza (kgf)  
 - HBS sta per prova Brinell con sfera di acciaio (nel nostro caso il diametro è 2,5 mm), mentre HBW sta per lo stesso tipo di penetratore, però con sfera di metallo duro

Tabella 1 - Controllo della durezza sui sinterizzati: condizioni di prova indicate nella norma ISO 4498.

Table 1 - Checking hardness on sintered parts: test conditions indicated in ISO Standard 4498.

Ovviamente, come in tutte le misure, i dati relativi alle durezze eseguite sullo stesso campione sono affetti da dispersione; nella fig. 2 se ne mostra la distribuzione, con evidente differenza tra campioni di materiale compatto e sinterizzato: nel caso di quest'ultimo e a parità di struttura la durezza massima è più bassa e l'asimmetria della distribuzione si manifesta verso valori inferiori a quello modale.

Nel caso del sinterizzato la forma della distribuzione è tanto più asimmetrica quanto più elevata è la porosità e basso il carico di prova, in particolare nelle prove di microdurezza: in questo caso, per quanto si cerchi di centrare una zona ap-

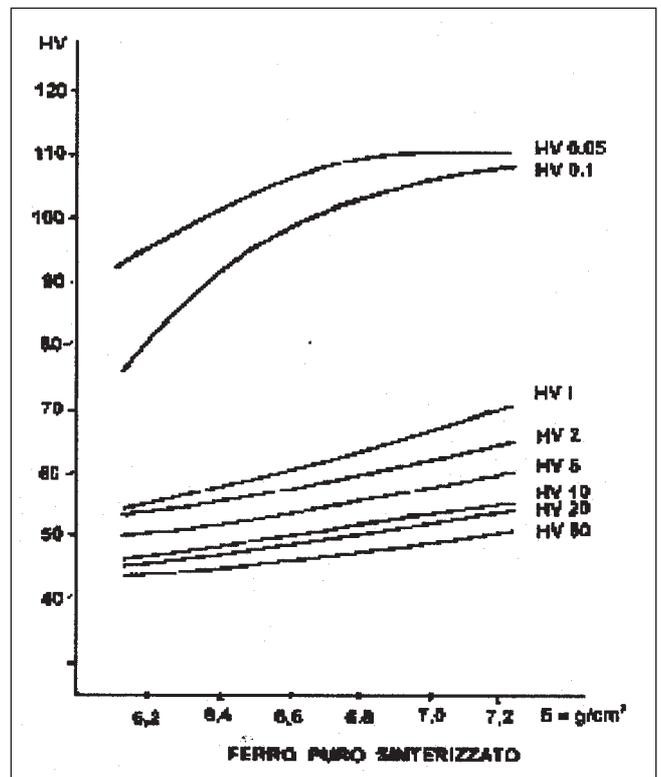


Fig. 1 - Sinterizzati con matrice di ferro puro: andamento delle durezze Vickers in funzione della densità e del carico di prova.

Fig. 1 - Sintered parts with pure iron matrix: plot of Vickers hardness as a function of density and test load.

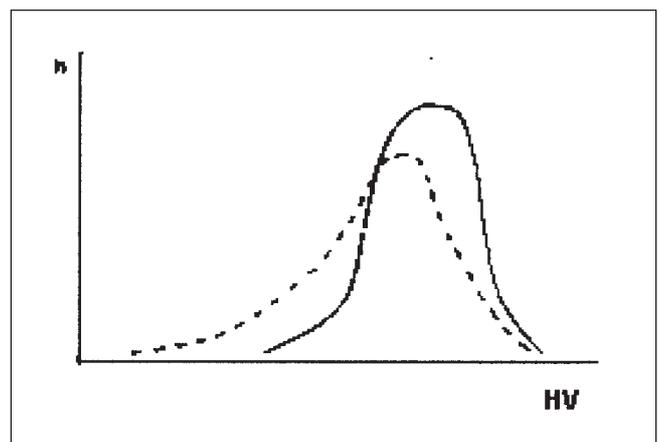


Fig. 2 - Distribuzione dei valori di durezza Vickers in un campione di:

———— Acciaio compatto  
 - - - - - Sinterizzato

Fig. 2 - Distribution of Vickers hardness values in a sample of:  
 ———— Solid steel  
 - - - - - Sintered steel

parentemente priva di pori, non è possibile rilevare presenza e distribuzione dei vuoti sotto la superficie e questo spiega la presenza nel diagramma di valori anormalmente bassi, anche quando l'impronta sarebbe geometricamente accettabile. I consigli riguardo alle prove da indicare nelle specifiche sono i seguenti.

Acciai:

- HRB (oppure HBS o HRF) per acciai solo sinterizzati oppure ossidati in vapore (attenzione: in questo caso la durezza diminuisce con l'aumentare della densità!);
- HRA oppure HRC per acciai sinterizzati temprati;

- HRA ed eventuale HV0,1 o HV0,2 su acciai sinterizzati carbocementati o carbonitrurati; profondità di indurimento determinabile con traversi di durezza HV0,1 o HK0,1, come per gli acciai compatti;

- HV0,1 – HV1 su acciai nitrocarburi o nitrurati.

Nel caso delle leghe di rame sinterizzate specificare la HRH e per quelle di alluminio ancora la HRH o la HRE.

Tenendo conto del fatto che la dispersione dei dati aumenta col diminuire del carico di prova, nel determinare la durezza apparente è consigliabile utilizzare il carico massimo consentito da spessore del campione e ampiezza della zona su cui eseguire l'impronta.

La norma ISO 4498, Annex B, riporta a titolo informativo i dati di ripetibilità e riproducibilità delle prove Rockwell eseguite in USA su campioni di alcuni materiali sinterizzati in accordo con la ASTM E 691 (dalle prove risulta che i valori sono specifici per ogni materiale e la rispettiva condizione strutturale!). Viene anche fornita la ripetibilità delle macchine di prova in sede di controllo coi blocchetti di taratura, e infine la ripetibilità delle prove sui medesimi blocchetti.

In esperienze locali (condotte in 7 enti diversi, come specificato nella norma ISO 5725, su campioni appositamente preparati) si sono registrati i valori indicati nella tab. 2.

La determinazione della macrodurezza è soggetta ad alcune regole:

- controllare periodicamente durometri e penetratori: verifiche coi blocchetti di taratura, certificati da laboratori accreditati;
- la durezza apparente è rilevabile non solo sui materiali aventi durezza uniforme nella sezione ma anche su quelli sottoposti a trattamenti di cementazione o a tempra ad induzione;
- l'uso di scale diverse da quelle indicate (pezzi sottili, aree di prova limitate, il pezzo può deformarsi) è possibile, ma va concordato fra fornitore ed utilizzatore;
- la scala da usare, il campo di durezza ed eventuali accorgimenti durante il controllo vanno concordati in sede di collaudo;
- i campioni in prova devono essere piani e senza bave (appoggio corretto sull'incudine del durometro) e la superficie pulita e preparata se necessario con carta abrasiva 180-240;
- la prova di durezza entro certi limiti può essere usata per verificare differenze locali di densità;
- si prescrive di eseguire il collaudo industriale su di un numero minimo di 5 pezzi; la durezza apparente è espressa come media aritmetica di cinque impronte valide;
- non è permesso derivare direttamente valori di resistenza meccanica a partire dai valori della durezza;
- nel rapporto di prova fare sempre riferimento alla norma utilizzata e specificare tutti i dettagli indispensabili all'identificazione dei campioni

Riguardo all'esecuzione pratica delle prove le principali indicazioni sono le seguenti (vedere le norme per avere il quadro completo!).

#### Prove di durezza ROCKWELL (ISO 6508)

- Valori della durezza: sono in relazione inversa con la profondità dell'impronta, che viene misurata
- Campi di validità delle varie scale:  
HRA 20-88  
HRC 20-70  
HRB 20-100 (HRB 115, con sfera in metallo duro)  
HRF 60-100  
HRH 80-100
- Spessore minimo del campione: 10 x profondità impronta permanente
- Distanza tra bordo e centro impronta: > 2,5 d (minimo 1 mm)
- Distanza tra centri di impronte: > 4 x d (minimo 2 mm)

Caratteristica	Campo dei valori di riferimento	Ripetibilità	Riproducibilità
Durezza HV5	50 – 100	9	15
	200 – 300	35	63
Durezza HRB	20 – 45	4	9
	80 – 100	5	9
Durezza HRA	20 – 30	3	5
	55 – 73	3,5	4

Tabella 2 – Ripetibilità e riproducibilità di valori di macrodurezza.

Table 2 – Repeatability and reproducibility of microhardness values.

#### Prove di durezza BRINELL (ISO 6506)

- Durezza espressa come rapporto tra il carico applicato (kgf) e la superficie dell'impronta (calotta sferica, mm<sup>2</sup>), rilevata a partire dal diametro d
- Campo di validità: 0,6 < d < 1,5 mm (HB con sfera 2,5 mm)
- Spessore minimo del campione: 8 x profondità impronta permanente
- Distanza tra bordo e centro impronta: > 2,5 d (Fe, Cu) e > 3 d (Al)
- Distanza tra centri impronte: > 4 d (Fe, Cu) e > 6 d (Al)

#### Prove di durezza VICKERS (ISO 6507-1)

- Durezza espressa come rapporto tra carico applicato (kgf) e superficie dell'impronta (mm<sup>2</sup>)
- Campo di validità: universale
- Spessore minimo del campione: 1,5 x d (d = semisomma delle due diagonali)
- Angoli dell'impronta: chiaramente definiti
- Lati dell'impronta: senza apprezzabili distorsioni
- Asimmetria dell'impronta: 5% (su superfici bombate è possibile applicare coefficienti di correzione, vedi la norma)
- Distanza tra bordo e centro impronta: > 2,5 d (Fe, Cu) e > 3 d (Al)
- Distanza tra centri impronte (d rilevata sull'impronta più grande): > 3 d (Fe, Cu) e > 6 d (Al)

Il controllo industriale della macrodurezza può essere eseguito anche con le prove Rockwell superficiali usando le scale 15N, 30N, 45N (penetratore a cono di diamante) e le scale 15T, 30T, 45T (penetratore a sfera 1,5875 mm); non esiste una norma specifica (quella generica è la ISO 1024), perciò nel caso dei sinterizzati deve esserci accordo tra fornitore ed utilizzatore sulla gestione e interpretazione di queste prove.

#### MICRODUREZZA (DUREZZA VERA)

Le prescrizioni della norma ISO 4498 riguardo ai carichi da utilizzare nelle prove di microdurezza sono riportati nella tabella 3.

Lo scopo è di definire la durezza intrinseca della matrice del sinterizzato, quale potrebbe essere rilevata su di un materiale compatto di uguale composizione e struttura e quindi indipendente dalla densità, perciò la microdurezza è definita convenzionalmente durezza vera.

Le prove devono essere condotte in modo da escludere per quanto possibile l'influenza dei pori, centrando col penetratore zone della superficie apparentemente prive di pori affioranti.

**MICRODUREZZA**

- HV 0,05
- HV 0,1
- HV 0,2
- HK 0,1

Tabella 3 – Microdurezza: condizioni di prova.

Table 3 – Microhardness: test conditions.

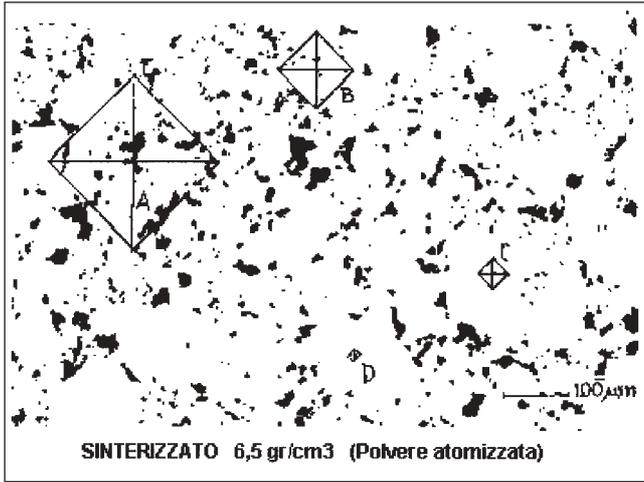


Fig. 3 – Confronto tra distribuzione dei pori e dimensione d'ipotetiche impronte (densità 6,5 g/cm³).

Fig. 3 – Comparison between pore distribution and size of hypothetical indentations (density 6,5 g/cm³).

- |               |               |
|---------------|---------------|
| A HV5 = 150   | B HV5 = 750   |
| C HV0,1 = 150 | D HV0,1 = 750 |

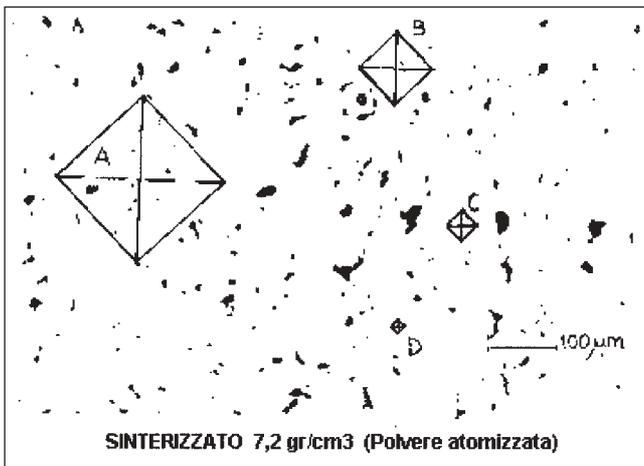


Fig. 4 – Confronto tra distribuzione dei pori e dimensione d'ipotetiche impronte (densità 7,2 g/cm³).

Fig. 4 – Comparison between pore distribution and size of hypothetical indentations (density 7,2 g/cm³).

- |               |               |
|---------------|---------------|
| A HV5 = 150   | B HV5 = 750   |
| C HV0,1 = 150 | D HV0,1 = 750 |

E' sconsigliabile utilizzare la HV0,05 ai fini dell'assicurazione qualità, perché soggetta a difficoltà di lettura delle impronte e ad eccessiva dispersione dei valori.

La microdurezza Vickers è ancora espressa come rapporto tra il carico applicato (kgf) e la superficie dell'impronta (mm²).

Nel caso della microdurezza Knoop (simbolo HK, seguito dal carico sul penetratore), a differenza della Vickers, la durezza è espressa come rapporto tra il carico applicato in kgf e la superficie proiettata dell'impronta, in mm².

Le fig. 3 e 4 mostrano le dimensioni delle impronte rispetto

alla distribuzione dei pori sulle superfici di sinterizzati a base ferro, con due diversi livelli di densità; i perimetri delle impronte sono stati tracciati in funzione di due diversi ipotetici valori di durezza che si sarebbero potuti rilevare con la lettura al microscopio: gli esempi chiariscono nei vari casi le possibili interazioni impronte/pori.

Il controllo della microdurezza di solito è eseguito per accertare il risultato di processi d'indurimento, essenziale ai fini del comportamento tribologico dei pezzi, in particolare della loro resistenza ad usura. La prova HK0,1 può essere impiegata in luogo della HV0,1: è stato affermato che potrebbe presentare una dispersione minore rispetto alla Vickers, grazie alla minore profondità di penetrazione e al fatto che si legge la lunghezza della sola diagonale maggiore, ma questo è valido se la porosità è limitata e non finemente distribuita; i sinterizzati ottenuti a partire da polveri ridotte invece che atomizzate sono più problematici da sottoporre alla prova Knoop!

Eseguendo le prove sullo stesso campione i valori della microdurezza tendono a crescere con la diminuzione del carico sul penetratore (vedi fig. 1) e, nei campioni con uguale struttura ma diversa densità, la microdurezza tende a diminuire con l'aumentare della porosità.

E' importante ricordare che i microdureometri devono essere posizionati su tavoli antivibranti, altrimenti c'è il rischio concreto che il valore della microdurezza sia alterato per effetto delle accelerazioni (variazioni di carico) impresso al penetratore durante la formazione dell'impronta.

Dal punto di vista dell'assicurazione qualità non è possibile dare valori di riproducibilità a causa di:

- differenze nella preparazione superficiale dei campioni;
- soggettività nella lettura delle impronte: nel leggere la stessa impronta spesso c'è discordanza tra i diversi operatori;
- soggettività nella decisione se scartare o conservare valori (apparentemente dubbi o troppo bassi) da inserire poi nei calcoli.

I problemi si hanno anche nella determinazione della ripetibilità: la dispersione è elevata ed è dell'ordine di 50 HV su strutture omogenee e sale a 90 HV su quelle non omogenee, come verificato sperimentalmente da diversi operatori su campioni di durezza intorno a 650 HV. Infatti, l'altro motivo di perplessità è la disomogeneità strutturale dei pezzi sinterizzati da polveri elementari o polveri prelegate per diffusione; temperatura e durata della sinterizzazione sono insufficienti per realizzare l'omogeneizzazione completa della struttura ed il fenomeno è particolarmente evidente p.es. negli acciai legati sinterizzati e poi temprati, in cui possono trovarsi isole con struttura martensitica insieme con altre aventi invece struttura austenitica; in questo caso l'attacco metallografico può essere d'aiuto.

La determinazione della microdurezza è soggetta ad alcune regole:

- c'è accordo internazionale sul modo di eseguire le prove (vedi anche ISO 4516 per quanto riguarda precauzioni, modalità d'applicazione dei carichi, ecc.) ma non sulla loro interpretazione, da concordare tra fornitore ed utilizzatore: in caso di contestazione le prove devono essere eseguite sullo stesso campione;
- è indispensabile la preparazione metallografica della superficie (vedi ISO TR 14321), in modo da evidenziare la presenza di pori superficiali; eventuale attacco metallografico per identificare localmente la struttura, in particolare nel caso di disomogeneità;
- controllare periodicamente il microdureometro (verifica coi blocchetti di taratura), sia i penetratori (assenza di scheggiature)
- la microdurezza è rilevabile su tutti i materiali sinterizzati, inclusi quelli sottoposti a trattamenti d'indurimento superficiale (cementazione, tempra ad induzione, trattamenti laser); nel caso in cui i sinterizzati siano sottoposti a rivesti-

menti chimici (galvanici, CVD) oppure fisici (PVD, bombardamento ionico) valgono le indicazioni della norma ISO 4516.

La microdurezza è data come media aritmetica di cinque impronte valide; è tuttavia consigliabile escludere dai calcoli i valori palesemente bassi. E' quindi opportuno disporre di un numero maggiore d'impronte, per scartare quelle sospette.

Nel caso in cui occorra verificare la profondità d'indurimento, la norma da seguire è la ISO 4507 ed è preferibile adottare la prova HK0,1 rispetto alla HV0,1, in quanto nel caso di quest'ultima l'errore nella determinazione delle diagonali dell'impronta può diventare significativo oltre 500 Vickers, se il potere risolutivo dell'ottica a disposizione è al limite di quanto previsto dalla norma.

A titolo d'esempio, la norma ISO 4498 fornisce la ripetibilità  $r$  e riproducibilità  $R$  delle prove HV0,1 ( $r = 42,9$  e  $R = 177,8$ ) e HK 0.1 ( $r = 22,4$  e  $R = 76$ ) su campioni di durezza intorno a 700.

Riguardo all'esecuzione pratica delle prove di microdurezza (norma ISO 4498), le principali indicazioni sono riportate qui di seguito (vedere le norme per avere il quadro completo!).

#### Posizionamento delle impronte Vickers

( $d$  = semisomma delle due diagonali)

- Profondità dell'impronta ( $\sim 1/7 d$ ) < 1/3 dello spessore dello strato da caratterizzare, supposto omogeneo
- Angoli dell'impronta: chiaramente definiti e senza segni di sfondamento
- Lati dell'impronta: senza apprezzabili distorsioni
- Asimmetria dell'impronta (differenza tra le due diagonali): contenuta entro il 5%
- Distanza tra bordo e centro impronta:  $> 2,5 x d$
- Distanza tra i confini della fase metallica segnati dai pori e centro impronta:  $> 2,5 x d$
- Distanza tra centri impronte:  $> 2,5 x d$  (diagonale dell'impronta più grande)
- Distanza tra angoli dell'impronta e un poro oppure confine di un rivestimento  $> 2,5 x d$ .

Le diagonali dell'impronta dovrebbero essere misurabili con una precisione migliore di  $\pm 0,5 \mu m$  (secondo ISO 4507), e questo dipende dall'ottica del microscopio montato sul microdurometro. Per avere un errore di lettura relativo 5% la norma ISO 4516 propone  $d = 16 \mu m$ , ma la ISO 4498 consiglia invece di scegliere il carico in modo che l'impronta abbia  $d = 20 \mu m$ .

Con la limitazione dei  $20 \mu m$  i valori massimi leggibili diventerebbero:

HV0,05 = 231 (220 – 243)

HV 0,1 = 463 (441 – 488)

HV 0,2 = 927 (882 – 975)

Tra parentesi sono indicate le dispersioni per effetto dell'errore di lettura ( $\pm 0,5 \mu m$ ) ammesso dalla norma ISO 4507.

#### Posizionamento delle impronte Knoop

( $D$  = diagonale maggiore;  $d$  = diagonale minore;  $d$ )

- Profondità dell'impronta ( $1/30 D$ ) < 1/3 dello spessore dello strato da caratterizzare, supposto omogeneo
- Angoli e lati dell'impronta: vedi Vickers
- Distanza tra bordo e centro impronta oppure tra centri impronte in direzione perpendicolare a  $D$ :  $50 \mu m$

Rispetto alla lettura dell'impronta Vickers, la Knoop presenta maggiore imprecisione nella misura di  $D$ , poiché in corrispondenza di essa gli spigoli dell'impronta sono meno definiti.

### DUREZZA DEI METALLI DURI

Tra i vari materiali sinterizzati i metalli duri rappresentano un caso particolare: essi sono caratterizzati da una struttura in cui c'è assenza pressoché totale di pori (la cui presenza

sarebbe a scapito della qualità e quindi delle prestazioni nell'impiego) e, nell'eseguire le prove, il livello di durezza particolarmente elevato ha richiesto l'elaborazione di norme ISO specifiche, che tengono conto della precisione di lettura (entro 0,2 o meglio 0,1 HRA) e della preoccupazione di evitare danni al penetratore data l'elevatissima pressione specifica sulla punta del cono o della piramide di diamante.

Le principali indicazioni sono le seguenti (vedere le norme per avere il quadro completo).

#### Prova Rockwell (HRA, ISO 3738/1)

- Verificare periodicamente durometri e penetratori; verifiche (media di tre letture) coi blocchetti di taratura: differenza ammessa  $\pm 0,5$  HRA
- I blocchetti di taratura devono essere preparati e calibrati come indicato nella norma ISO 3738/2
- Preparare la superficie in modo da ottenere una rugosità  $Ra = 0,2 \mu m$ , rimuovendo da essa uno strato di almeno 0,2 mm, senza alterare la struttura
- Raggio di curvatura della superficie  $15$  mm, altrimenti realizzare un piano di almeno 3 mm di larghezza
- Spessore del campione  $1,6$  mm
- Parallelismo entro 1% tra piano di prova e quello dell'incudine del durometro
- Distanza tra due impronte o tra un'impronta e il bordo del campione:  $1,5$  mm

La durezza HRA del campione è data come media aritmetica di almeno tre impronte, arrotondata a 0,2 (0,1) HRA.

#### Prove Vickers (ISO 3878)

- Verificare periodicamente durometri e penetratori come indicato nella ISO 146
- Preparare la superficie (vedi ISO 4505) rimuovendo da essa uno strato di almeno 0,2 mm, senza alterare la struttura
- Spessore del campione:  $1$  mm
- Carichi di prova: da HV1 a HV50; preferibile HV30, ma attenzione a convertire i valori in altre scale (in particolare HRA)!
- Distanza tra centri di due impronte  $3 x d$  (semisomma delle due diagonali dell'impronta più grande), e tra centro impronta e bordo  $2,5 x d$

La durezza Vickers è data come media di almeno tre impronte, arrotondata a 10 HV.

Esistono tabelle non ufficiali di conversione tra HRA e HV30: data l'assenza di norme di riferimento vanno utilizzate con prudenza e a parità di composizione e struttura!

### OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

#### Raccolta dei dati

I durometri moderni sono equipaggiati in modo da applicare i carichi in modo pressoché automatico, come previsto nelle norme; le letture basate sulla determinazione della profondità dell'impronta o della sua area in proiezione sono digitalizzate e pertanto elaborazione e archiviazione dei dati è facilitata e meno soggetta ad errori: dal punto di vista del tecnico che li raccoglie, l'affidabilità è legata alla sua professionalità ed alla diligenza con cui segue le prescrizioni operative contenute nelle norme e tiene conto delle peculiarità della struttura dei sinterizzati.

#### Interpretazione dei dati

Chi deve decidere quanto la durezza sia in relazione con il comportamento in opera dei pezzi oggetto del controllo deve farlo evitando di attribuire ad essa un significato oltre quello che essa sia in grado di fornire.

In genere la durezza concorre con altre proprietà fisico meccaniche ad offrire al progettista il quadro di riferimento.

**Durezza come specifica a disegno**

Nel caso dei sinterizzati è essenziale ricordare che la presenza più o meno rilevante dei pori obbliga ad introdurre il concetto di durezza apparente, nuovo per chi è abituato a specificare questa caratteristica nel caso dei materiali compatti: la durezza apparente è funzione della densità e, a parità di struttura, è in ogni modo inferiore a quella che si sarebbe rilevata in assenza di pori.

E' opportuno che il progettista concordi col fornitore il tipo di prova, la zona del pezzo da sottoporre al controllo e infine il valore da indicare a disegno.

Nel caso in cui il progettista fosse interessato alla durezza intrinseca della matrice, a disegno deve specificare la microdurezza; in questa circostanza i valori sono in pratica uguali a quelli che sarebbero stati prescritti per strutture compatte.

**BIBLIOGRAFIA**

1. ASSINTER – Guide to the quality assurance of sintered parts, Torino, 2000
2. Prove di durezza sui sinterizzati. Norme ISO specifiche:
  - 4498 Sintered metal materials, excluding hardmetals. Determination of apparent hardness and micro-hardness
  - 4507 Sintered ferrous materials, carburised or carbonitrided. Determination and verification of case hardening depth by a micro-hardness test
  - 3738/1 Hardmetals. Rockwell hardness test (scale A). Part 1. Test method
  - 3878 Hardmetals. Vickers hardness test
 Norme ISO generiche – Prove Rockwell
  - 6508 Metallic materials. Hardness test. Rockwell test (scales A-B-C-D-E-F-G-H-K)
  - 3738/2 Hardmetals. Rockwell hardness test (scale A). Part 2. Preparation and calibration of standard test blocks
  - 716 Metallic materials. Hardness test. Verification of Rockwell hardness testing machines (scales A-B-C-D-E-F-G-H-K)
  - 1024 Metallic materials. Hardness test. Rockwell superficial test (scales 15N-30N-45N-15T-30T-45T)

- 1079 Metallic materials. Hardness test. Verification of Rockwell superficial hardness testing machines (scales 15N-30N-45N-15T-30T-45T)
- Norme ISO generiche – Prove Brinell
  - 6506 Metallic materials. Hardness test. Brinell test
  - 410 Metallic materials. Hardness test. Tables of Brinell hardness values for use in tests made on flat surfaces
  - 156 Metallic materials. Hardness test. Verification of Brinell hardness testing machines
 Norme ISO generiche – Prove Vickers
  - 6507/1 Metallic materials. Hardness test. Vickers test. Part 1: HV5 to HV100
  - 6507/2 Metallic materials. Hardness test. Vickers test. Part 2: HV0,2 to less than HV5
  - 409/1 Metallic materials. Hardness test. Tables of Vickers hardness values for use in tests made on flat surfaces. Part 1: HV5 to HV100
  - 409/2 Metallic materials. Hardness test. Tables of Vickers hardness values for use in tests made on flat surfaces. Part 2: HV0,2 to less than HV5
  - 146 Metallic materials. Hardness test, Verification of Vickers hardness testing machines
  - 640 Metallic materials. Hardness test. Calibration of standard test blocks to be used on Vickers hardness testing machines
 Norme ISO generiche – Prove di microdurezza
  - 6507/3 Metallic materials. Hardness test. Vickers test. Part 3: less than HV0,2
  - 4516 Metallic and related coatings. Vickers and Knoop microhardness tests
  - 2639 Steel. Determination and verification of the effective case depth of carburised and hardened cases
- 3. Norma DIN 50359: Universal hardness testing of metallic materials. Part 1: Test method. - Part 2: Verification of testing machines. - Part 3: calibration of reference blocks
- 4. G.F. Bocchini, G. Silva – Sviluppo ricerche presso il Politecnico di Milano (risultati in corso di pubblicazione)
- 5. ASM Handbook Vol 8 – Mechanical testing ed evaluation – ASM International, Materials Park, Ohio, 2000, 197-287
- 6. G.E. Dieter, Mechanical metallurgy, Mc Graw-Hill, 1988, 325-337

**A B S T R A C T**

**SINTERED METAL MATERIALS:  
COMMENTS ON HARDNESS TESTING**

**Keywords:**

**metals, powder metallurgy, testing and inspection, standards**

*This paper discusses the importance of hardness tests from an engineering point of view, pointing out how to consider the use of hardness values in relation with the behaviour of PM components in service, taking into account the residual porosity and possible lack of homogeneity in their structure.*

*Having taken the ISO standard 4498 as the starting point, hardness testing conditions are examined underlining their interpretation as regards both the so called apparent hardness and especially microhardness, and giving comments useful both to the technicians carrying out the tests and to inspectors involved in quality assurance: from an industrial point of view only in this way it seems possible to establish a correct relationship between suppliers and users. A summary of test conditions and rules regarding common PM materials and hardmetals are also given: in order to have full reference on this subject all ISO standards relevant to this subject and published up to now are listed.*