

## Carburi metallici sinterizzati Cenni storici e metodi di fabbricazione

Questo materiale, usato in molti settori della meccanica è conosciuto con diversi nomi, in Italia e all'estero. In Italia molti lo chiamano ancora *Widia*, e vedremo perché, altri più comunemente *Metallo Duro* o *Lega Dura*, in Usa e Inghilterra è detto *Carbide*, in Germania è individuato dalla sigla *HM (Hart Metall)*.

Vediamo quando è nato, come ha mosso i primi passi e quali sono le sue caratteristiche fondamentali, senza entrare nelle moderne tecniche di sinterizzazione e nei prodotti di ultima generazione che hanno proprietà del tutto particolari.

Le leghe dure possono essere definite dei sinterizzati di carburo di tungsteno, titanio, tantalio niobio ed altri, ottenuti con l'ausilio di un metallo legante che in genere è il cobalto ed in alcuni casi, per usi speciali il nickel.

La produzione su scala industriale delle leghe dure venne intrapresa per la prima volta dalla Friedrich Krupp di Essen nel 1926, che, un anno più tardi le introdusse in commercio sotto la denominazione di *Widia (Wie Diamant – come diamante)*. Ecco perché ancora oggi molti chiamano le leghe dure materiale con questo nome.

La Krupp si era valsa della esperienza decennale acquisita nella sinterizzazione di polveri metalliche soprattutto nell'industria delle lampade ad incandescenza, cioè nella preparazione dei filamenti in tungsteno.

Dalla sinterizzazione di polveri per saldatura diretta dei singoli grani, senza cioè fase liquida, si giunse poi all'agglomerazione di polveri eterogenee attraverso le due fasi: solida e liquida.

Il processo trovò quindi applicazione non solo per superare le difficoltà inerenti alla tecnica delle alte temperature, ma anche per produrre corpi agglomerati di sostanze eterogenee, quali la grafite ed il rame, e per ottenere corpi di compattezza controllata come i cuscinetti porosi.

Il processo era passato attraverso le due fasi fondamentali.

Già nel 1914 Voigtlander e Lohman resero noto il procedimento per la fabbricazione di prodotti formati da carburo di tungsteno puro. Tale carburo veniva ottenuto per fusione, poi macinato e la polvere ottenuta, dopo una pressatura preliminare in forme di carbone, subiva una sinterizzazione a temperature molto elevate, cioè immediatamente al di sotto del punto di fusione, in assenza di fase liquida.

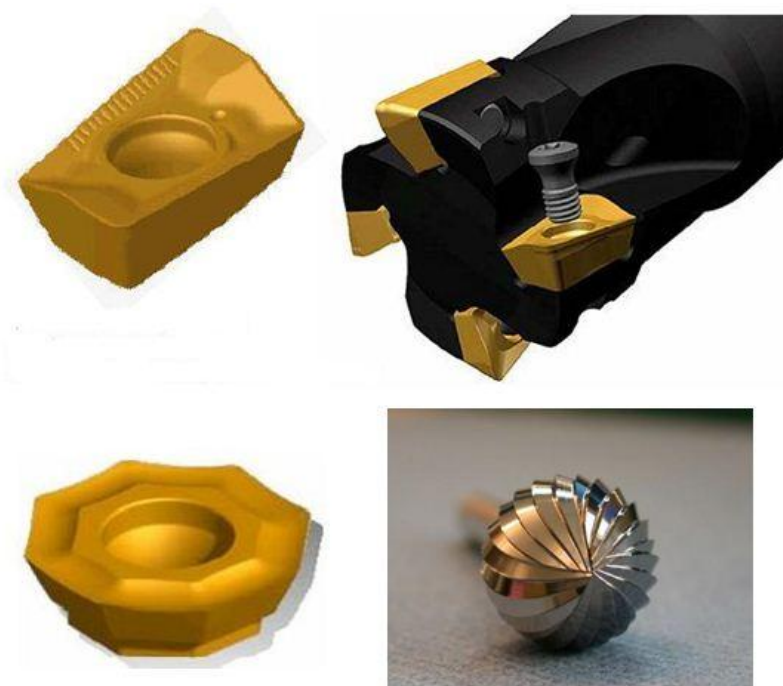


Figura N°1 – Alcuni tipi di moderni utensili in metallo duro

Il procedimento non ha avuto un seguito pratico, perché la preparazione di un carburo compatto per semplice sinterizzazione presentava troppe difficoltà.

D'altro canto il prodotto iniziale veniva ottenuto per fusione a 3000 °C, ma non sotto forma di carburo di tungsteno puro, base dei procedimenti attuali, bensì sotto forma di carburo impuro contenente grafite ed impurità derivanti dal crogiolo.

Tale carburo era molto fragile e dava un prodotto di resistenza meccanica molto inferiore a quello delle attuali leghe.

Solo più tardi si ebbe la svolta decisiva nella tecnica di produzione delle leghe dure; la scoperta è legata alle esperienze effettuate da Skaupy e Schroeter nei laboratori della casa tedesca Osram che ottennero, nel 1923 – 1925, un prodotto costituito da un materiale fondamentale composto da carburo di tungsteno e da un legante metallico ottenuto attraverso una fase liquida. Il procedimento sopra delineato che, grosso modo, è quello attualmente usato, è caratterizzato da:

- Preparazione diretta di un carburo puro di tungsteno in polvere per reazione allo stato solido del carbonio con il tungsteno metallico puro (1400 – 1500 °C);
- Pressatura e sinterizzazione di questo carburo addizionato ad una certa quantità di metallo del gruppo del ferro a temperature relativamente basse, quindi facilmente controllabili, ma sufficienti affinché il metallo legante formi una fase liquida.

Le proprietà superficiali delle polveri utilizzate hanno un ruolo molto importante in questo processo, mettendo in gioco delle reazioni fra solidi, sia nel periodo di carburazione della polvere di tungsteno, sia durante la sinterizzazione.

La reattività della polvere dipende infatti dalla sua finezza e struttura: le polveri di granulometria più fine sono più sensibili alla ossidazione.

Tale effetto è estremamente nocivo in quanto un tenore di ossigeno troppo elevato nelle polveri originarie è causa di una decarburazione parziale del carburo e della formazione di leghe dure porose ed eterogenee.

Il tenore in ossigeno delle polveri appare dunque come un fattore molto importante da considerare.

La messa a punto di questo procedimento fu molto laboriosa e si dovettero analizzare singolarmente i diversi fattori che potevano influenzarlo: qualità delle materie prime, purezza dell'idrogeno occorrente per la riduzione degli ossidi metallici, tipo di forno utilizzato per la riduzione, carburazione e sinterizzazione, condizione di macinazione dei materiali, temperatura e durata della sinterizzazione, qualità superficiale delle polveri.

Analizziamo ora le varie fasi attraverso le quali si giunge al prodotto finito.

### 1)- Preparazione dei carburi

I carburi si possono ottenere con cinque metodi di fabbricazione fondamentali:

- a) *Polverizzazione del carburo fuso*
- b) *Carburazione di polveri di ossidi metallici con agenti carburanti solidi*
- c) *Carburazione di polveri metalliche o di ossidi metallici con agenti carburanti gassosi*
- d) *Per separazione in fase gassosa*
- e) *Isolamento chimico delle ferro-leghe contenenti carbonio.*

Premesso che i metodi a) e d) non trovano pratica applicazione nella tecnica di fabbricazione, occupiamoci del metodo più comune che è quello di ottenere tali carburi per riduzione dei metalli ad alto punto di fusione dai loro ossidi e successiva carburazione con un mezzo carburante solido al di sotto del punto di fusione del carburo.

Il carbonio viene introdotto sotto forma di grafite finemente macinata oppure sotto forma di nero fumo.

Il riscaldamento viene effettuato in uno o più tempi di carburazione in forni elettrici a resistenza.

Per l'atmosfera protettiva possono venire impiegati: idrogeno, ossido di carbonio, miscele di gas o idrocarburi derivanti dalla pirolisi dell'ammoniaca in presenza di acetilene.

Le temperature di reazione variano, a seconda della natura dei carburi, dai 1200 ai 1900 °C.

## 2)- Mescolazione dei componenti, macinazione

Tale fase consta di due serie di operazioni. Macinazione delle polveri di carburi e del legante allo scopo di ottenere la granulometria desiderata (0,5 – 2 micrometri) e intima mescolazione nelle proporzioni stabilite e “copertura” del metallo legante sui grani dei carburi.

La macinazione viene normalmente eseguita ad umido onde evitare l'ossidazione ed a tale scopo vengono frequentemente usati idrocarburi con punto di ebollizione ben definito.

Se il legante è di granulazione più grossa dei carburi, possono formarsi delle concentrazioni di metallo legante in sede di sinterizzazione che danno origine alle cosiddette “tasche” con conseguente bassa resistenza meccanica del prodotto.

L'insufficiente mescolazione determina una non omogenea distribuzione e concentrazione di metallo legante e conseguentemente una bassa resistenza.

La macinazione deve essere continuata sino ad ottenere una dimensione media dei grani di carburo così come stabilito e sino a quando tutti i grani siano uniformemente avvolti di metallo legante.

Il tempo di macinazione varia dalle 10 alle 60 ore ed è intuitivo che, partendo da polveri più fini, tale tempo può essere convenientemente abbreviato.

La durata della macinazione è influenzata anche dal contenuto di legante in quanto, tanto minore è il contenuto, tanto maggiore dovrà essere il tempo di macinazione per poter ottenere una maggiore uniformità di struttura ma, è da rilevare ancora, che prolungando oltre un certo limite la macinazione, le particelle più fini tendono ad agglomerarsi pregiudicando la qualità del prodotto finito.

## 3)- Essiccazione

La miscela umida macinata viene essiccata normalmente in un forno tubolare ad atmosfera di idrogeno con una temperatura variabile dai 600 ai 700 °C e, talvolta, si abbina l'essiccazione con la riduzione del cobalto che si trova sottoforma di ossido.

## 4)- Pressatura in stampi per consolidare le polveri

Questa operazione è eseguita per conferire al semilavorato la consistenza necessaria per poter effettuare le operazioni successive; inoltre essa consente di ridurre la porosità intergranulare attenuando anche il ritiro finale del semilavorato.

Le pressioni occorrenti per ottenere una sufficiente compattezza ed uniformità sono dell'ordine di 5000 – 10000 N/cm<sup>2</sup> e sono variabili a seconda della qualità della lega e della massa dell'elemento da pressare.

Pressioni maggiori non sono necessarie in quanto la polvere non scorre facilmente nello stampo e le particelle di carburo non sono deformabili. Inoltre, la durezza del sinterizzato aumenta con l'incremento della pressione di agglomerazione, ma tale aumento avviene con un tasso di accrescimento decrescente, raggiungendo quindi un massimo al di là del quale si ha una caduta. Le cause di questa caduta sono presumibilmente dovute ai gas racchiusi nella massa non più in grado di sfuggire durante la pre-sinterizzazione a causa della compattezza dell'agglomerato.

E' ancora da rilevare che una pressione troppo alta può provocare delle fessurazioni di pressatura che facilitano lo sfaldamento dell'inserito o della placchetta (elementi costituenti l'utensile).

Per favorire l'uniformità di pressatura e ridurre l'attrito viene aggiunto spesso del lubrificante i più comuni dei quali sono soluzioni di cera o paraffina in tetracloruro di carbonio, soluzioni di canfora in etere o petrolio, acido stearico.

## 5)- Processo di pre-sinterizzazione

Questa operazione conferisce ai pezzi pressati una consistenza sufficiente a permettere la loro manipolazione e la loro formatura meccanica.

Questa parziale sinterizzazione consiste in un riscaldamento in forno elettrico ad atmosfera di idrogeno a 800 – 1000 °C e si risolve in un aumento di resistenza

dell'agglomerato che assume la consistenza del gesso che si usa a scuola per scrivere sulla lavagna.

E' da notare come un'alta percentuale di cobalto permetta una temperatura di pre-sinterizzazione moderata. Le modificazioni che avvengono durante questo processo consistono nella liberazione dei gas meccanicamente racchiusi nel pressato, nella formazione di gas per reazioni chimiche interne e loro susseguente evacuazione. La rimozione del lubrificante viene effettuata con un riscaldamento preliminare a 400 – 500 °C. Il tempo di pre-sinterizzazione dipende dalle dimensioni e dalla forma dell'agglomerato, fattori questi che definiscono il tempo necessario affinché l'idrogeno si diffonda attraverso la massa riducendo gli ossidi.

Il cobalto ossidato probabilmente tende a conferire una più bassa resistenza alla rottura trasversale.

#### 6)- Formatura meccanica

Gli spezzoni pre-sinterizzati che richiedono operazioni di formatura meccanica vengono sagomati nella foggia desiderata con dimensioni superiori a quelle del prodotto finito in misura variabile dal 10 al 25% tenendo cioè conto del "ritiro" che il pre-sinterizzato subisce nel processo di sinterizzazione finale.

#### 7)- Sinterizzazione

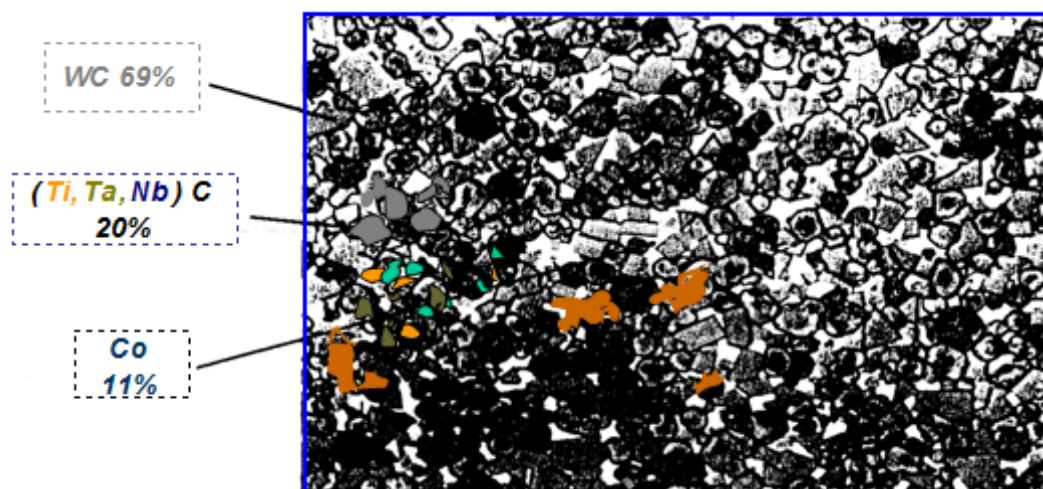
Per sinterizzazione si intende la trasformazione del pressato formato da particelle singole disposte l'una accanto all'altra, in una massa in cui le particelle hanno perso la loro identità ed ai loro bordi è avvenuta una ricristallizzazione ed un accrescimento del grano.

Con questo processo si verifica anche una omogeneizzazione per diffusione. Questa operazione, per mezzo della quale il prodotto raggiunge il suo stato finale, consiste essenzialmente in un riscaldamento in un forno elettrico secondo un ciclo ben definito in atmosfera controllata di idrogeno oppure, per talune composizioni, nel vuoto spinto.

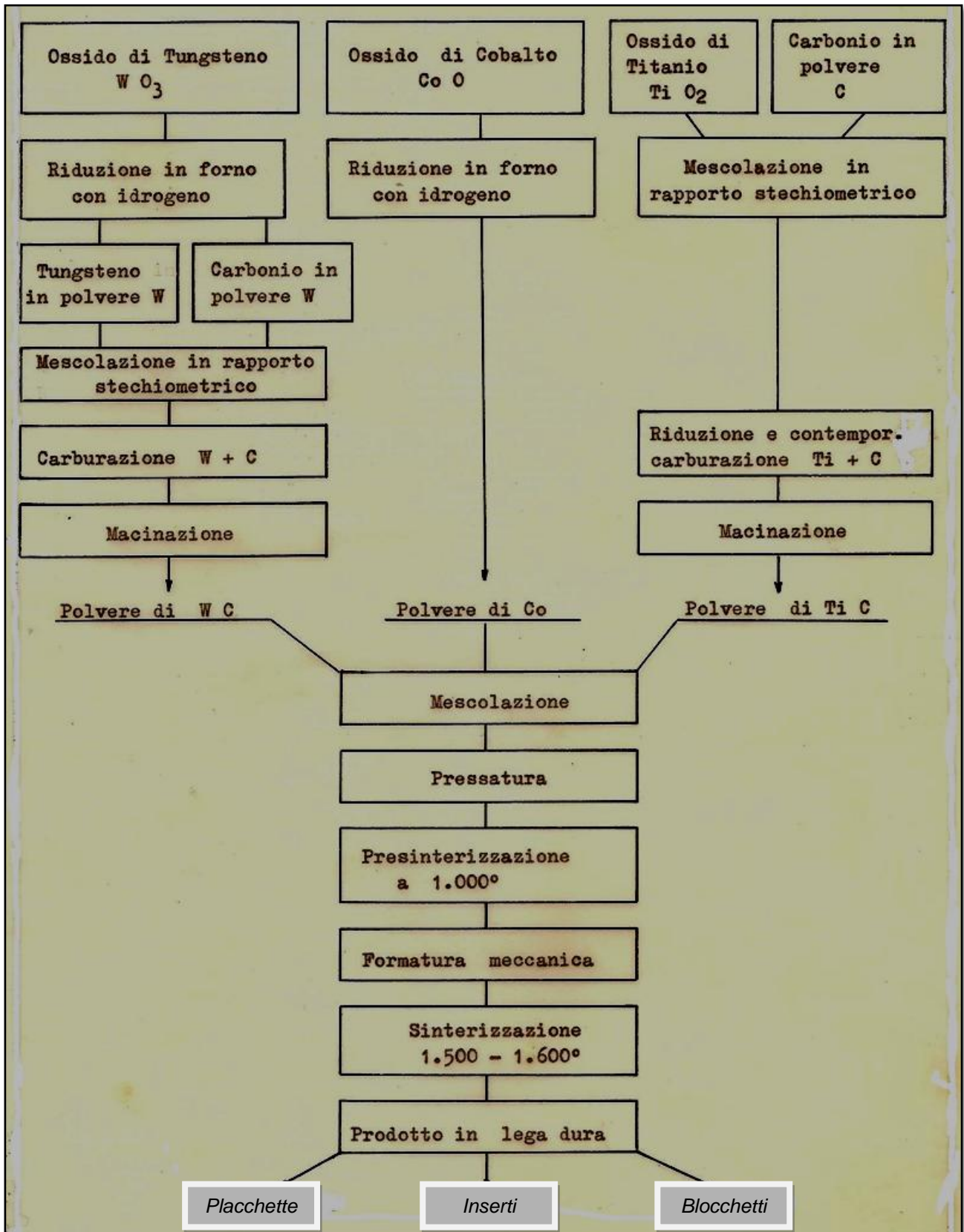
Il tempo e la temperatura di sinterizzazione sono stabiliti in relazione alla massa e alla composizione dell'agglomerato.

Un forno costituito da un tubo di carbone riscaldato elettricamente, è generalmente considerato l'impianto più adatto in quanto può essere mantenuta una atmosfera lievemente carburante.

I pezzi da sinterizzare vengono sistemati in speciali navette di carbone che attraversano il forno ad una determinata velocità regolabile a secondo dei casi.



**Figura N°2-** Struttura di una lega dura di grado P30 – P40 in cui sono presenti carburi di vario tipo, oltre al preponderante carburo di tungsteno (WC). Essi sono evidenziati con colori diversi. I grani di colore bianco individuano il legante (Cobalto)



Riepilogo metodo di fabbricazione dei carburi sinterizzati

La temperatura varia in funzione della composizione, ma indicativamente si può dire che in media si aggira sui 1400 – 1600 °C ed è influenzata dalla percentuale di legante, e precisamente, più alto è il contenuto di cobalto, più bassa deve essere la temperatura di sinterizzazione.

I fattori secondari che pongono un limite superiore alla temperatura di sinterizzazione sono: la porosità, la formazione di bolle in superficie, l'ingrossamento del grano.



La formazione di rigonfiamenti in superficie si verifica in particolar modo con le leghe ad alto contenuto di cobalto.

Per prodotti di forma unificata che non richiedono una formatura meccanica, non si fa la pre-sinterizzazione ma il pressato viene direttamente sinterizzato.

Per quanto riguarda la durata del processo di sinterizzazione è dimostrato che la durezza aumenta fino ad un certo limite con l'incremento del tempo di sinterizzazione; i migliori risultati si ottengono comunque dopo una o due ore di trattamento.

Il metallo duro può essere ugualmente prodotto per compressione e sinterizzazione simultanee, e d'altra parte questo è il sistema universalmente adottato per la produzione di pezzi di forma regolare, come per esempio gli inserti e le placchette. Oggi si ottengono prodotti con tolleranze molto ristrette in quanto sono perfettamente conosciuti i "ritiri del pressato a seguito della sinterizzazione.

Le polveri dei costituenti, miscelate intimamente con il sistema precedentemente descritto, vengono introdotte in una matrice di grafite otturabile alle due estremità da due punzoni opposti e scorrevoli.

Il riscaldamento avviene per corto circuito attraverso la massa della polvere metallica. I punzoni, durante la fase di riscaldamento, esercitano la pressione necessaria.

Con questa tecnica si ottengono i seguenti vantaggi:

- *Tempo di sinterizzazione ridotto a pochi minuti evitando in tal modo una eccessiva carburazione;*
- *Possibilità di sinterizzare leghe che altrimenti non potrebbero divenire compatte;*
- *Porosità minime;*
- *Non si ha la formazione di grani grossi e la microstruttura è praticamente esente da grani di forma irregolare che sono frequenti nei sinterizzati normali;*
- *Mantenimento delle dimensioni di formatura entro tolleranze ristrette;*
- *Maggiore resistenza agli acidi.*

### Caratteristiche tecniche

Le proprietà dei vari tipi di *Carbide*, sono influenzate in maniera determinante da numerosi fattori (composizione chimica, dimensione dei carburi, compattezza, purezza, ecc.) che conferiscono ad ogni qualità di metallo duro una sua specifica attitudine operativa che viene definita dalle seguenti caratteristiche di impiego:

- *resistenza all'usura per abrasione;*
- *resistenza all'usura per craterizzazione;*
- *resistenza agli urti (tenacità)*
- *resistenza alle variazioni termiche.*

I valori delle caratteristiche appena elencate che risultano presenti in una determinata qualità di metallo duro, la definiscono dal punto di vista operativo, per cui la loro conoscenza mette in grado il tecnico di effettuare una giusta scelta per le lavorazioni che lo interessano.

Considerando che se si esaltano alcune delle caratteristiche suddette, vengono necessariamente depresse le altre, ne consegue che un unico metallo duro, ideale, adatto a qualsiasi lavorazione, non può esistere.

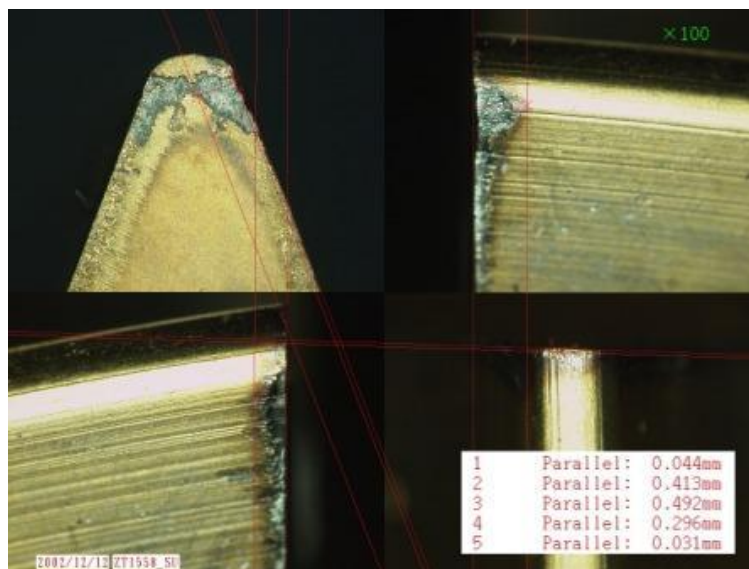
Può venire invece realizzato un metallo duro che assommi, in un indovinato compromesso, le caratteristiche richieste da una gamma di lavorazioni più ampia possibile, nelle migliori condizioni d'impiego e con il massimo rendimento.

### Resistenza all'usura per abrasione anteriore

L'usura per abrasione si manifesta nella zona immediatamente dietro il tagliente, sul fianco del dente nel caso dei creatori, cioè nella superficie interessata alla spoglia del fianco. Essa si manifesta nel taglio di qualsiasi materiale, metallico e non metallico, naturalmente in diversa misura, ed è generata dallo sfregamento della superficie del pezzo sul fianco dell'utensile.

Nel taglio di materiale a truciolo corto (ghise normali non legate), di materiali non ferrosi a truciolo plastico (alluminio, rame, bronzo), e di materiali non metallici (resine sintetiche,

legno, carbone, gomma ecc.), essa è il tipo di usura che si manifesta in modo prevalente all'altro tipo di usura, cioè la craterizzazione.



**Figura N°3-** Tipica usura per abrasione su un dente di creatore

### Resistenza all'usura per craterizzazione

Il fenomeno della craterizzazione è originato dallo sfregamento del truciolo sulla faccia superiore del tagliente (faccia di affilatura), dove si origina un pronunciato avallamento nella zona immediatamente retrostante il tagliente.

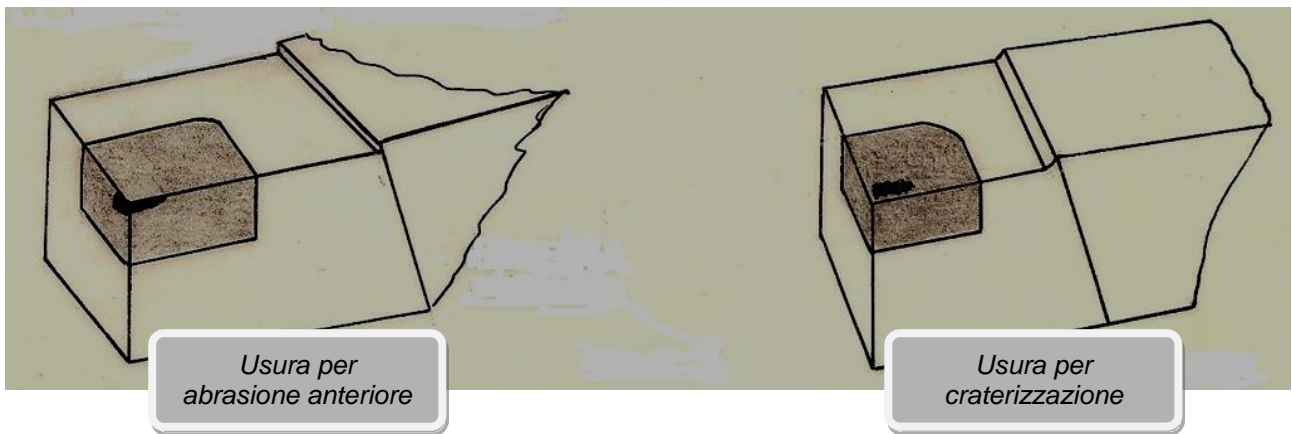
Il cratere tende a formarsi nella lavorazione di materiali a truciolo lungo il cui distacco richiede un sensibile lavoro di deformazione plastica (acciai, ghise legate, ecc.).

Il fenomeno della formazione del cratere comunque è molto complesso e coinvolge, oltre alla pura pressione meccanica, anche fenomeni di carattere chimico e termico.

Il solco del cratere ha come diretta conseguenza un aumento dell'angolo di spoglia anteriore con un progressivo indebolimento del filo tagliente che, raggiunto un punto critico, si romperà.



**Figura N°4-** Tipica usura per craterizzazione su un creatore



**Figura N°5-** I due tipi di usura su un utensile monotagliante

### Resistenza agli urti

E' una prerogativa che non ha bisogno di particolari commenti, essendo intuibile che un materiale poco resistente agli urti si scheggia e si rompe in una lavorazione a taglio interrotto. I metalli duri sono meno resistenti agli urti rispetto agli acciai rapidi.

Questa proprietà è di grande utilità nel contrastare gli effetti deleteri e spesso inevitabili delle vibrazioni della macchina, dei bruschi cambi di profondità di passata dovuti a grande eccentricità del pezzo ed infine, nella fase di inizio delle lavorazioni, quando il tagliente si trova impegnato in un taglio discontinuo e spesso su una superficie molto scabrosa.

Naturalmente poi si hanno casi in cui gli urti sono una caratteristica costante, come la fresatura, la dentatura, la tornitura di diametri con presenza di scanalature o di chiavette.

### Resistenza alle variazioni termiche

Un tipico esempio nel quale questo genere di resistenza è particolarmente richiesta è la tornitura con i torni a copiare. In queste lavorazioni infatti, le brusche variazioni di profondità di passata e di velocità di taglio, connessa ai diversi diametri, comportano sviluppi di calore continuamente variabili, che sottopongono la placchetta o l'inserto ad un continuo tormento termico. Un'altra lavorazione tipica è la piallatura, quando nella corsa di ritorno si ha una sensibile riduzione della temperatura del tagliente.

Sulla placchetta poco resistente alle variazioni termiche si generano delle fessurazioni che provocano la rottura del tagliente. Tale inconveniente si verifica spesso anche in caso di affilatura, quando si usino mole troppo dure e pressioni troppo forti che generano riscaldamenti localizzati.

Questo tipo di resistenza alle sollecitazioni termiche non va confusa con la resistenza all'impiego a temperature continuamente elevate. Infatti, la prima è connessa al coefficiente di conducibilità termica ed al coefficiente di dilatazione termica, mentre la seconda è collegata alla proprietà di mantenere costanti le proprietà meccaniche alle alte temperature.

Naturalmente grandissima importanza ha la refrigerazione, che deve essere abbondante ma soprattutto continua. In caso di momentanea interruzione della refrigerazione si provoca uno shock termico che è estremamente dannoso per il tagliente.