

## L'usura sui creatori

Il problema dell'usura dei creatori è molto complesso, ma non si può fare a meno di fare alcune considerazioni su questo argomento che coinvolge direttamente il costo finale dell'ingranaggio.

La ricerca che è stata condotta senza interruzione negli ultimi tre decenni, e che continua tuttora, ha avuto sostanzialmente l'obiettivo di ridurre il più possibile la velocità con cui progredisce l'usura in prossimità del tagliente.

Da questa ricerca si sono capiti meglio i meccanismi che regolano questo fenomeno, si sono messi a punto nuovi tipi di materiali taglienti come, per esempio, i moderni acciai rapidi superlegati o i nuovi tipi di metallo duro (carbide); si è infine perfezionata la tecnologia di ricoprimento.

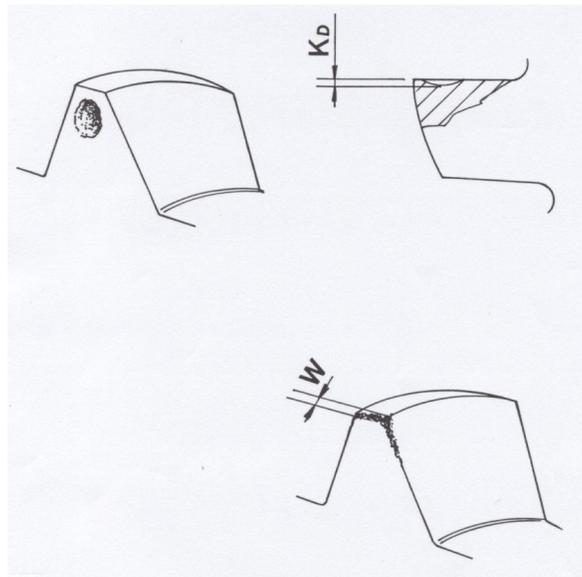
Negli ultimi anni si è assistito ad uno straordinario prolungamento della vita dei creatori ed ad un altrettanto straordinario innalzamento delle velocità di taglio e degli avanzamenti con cui i moderni creatori possono lavorare.

Quando si usavano ancora i creatori in acciaio del tipo M2 non ricoperto, si poteva dentare un ingranaggio con  $R = 60 \text{ Kg/mm}^2$  con una velocità di taglio intorno ai 50 – 60 m/min, ora, con alcuni acciai superlegati e con appropriati ricoprimenti, si può arrivare a velocità di taglio anche di 170 – 200 m/min e dentare un numero di pezzi superiore con usure di meno della metà di una volta.

Sul dente del creatore si distinguono due specie di usura.

La prima è detta *usura per craterizzazione* e si forma sul petto del tagliente, cioè sulla superficie che viene affilata. La seconda è *l'usura per abrasione* e si forma immediatamente dietro lo spigolo tagliente.

Oltre all'estensione ed alla posizione, il cratere è caratterizzato dalla sua profondità  $K_D$ . Vedere figura N°1.



**Figura N°1**

Quando il truciolo viene staccato dal tagliente, il punto di contatto tra materiale del pezzo e l'utensile non è sullo spigolo tagliente, ma è spostato un po' più verso l'interno. Vedere figura N°2.

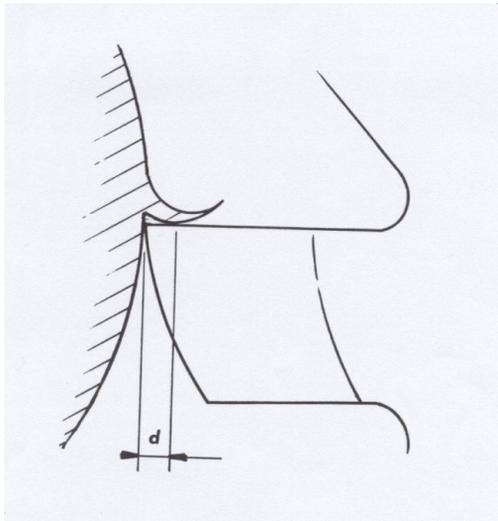


Figura N°2

In questo modo il centro del cratere sarà ad una certa distanza **d** dal filo tagliente. Questa distanza dipende da molti elementi. Oltre che dall'angolo di spoglia frontale, che qui si suppone di zero gradi, dipende dal tipo di materiale tagliato, cioè se è più o meno resistente e, soprattutto, dipende dallo spessore del truciolo, cioè dall'avanzamento e dalle caratteristiche del creatore, cioè dal numero di principi e dal numero di denti.

Determinare lo spessore del truciolo non è cosa facile, tanto più che lo spessore e la forma sono continuamente variabili, ma è intuitivo che, *in generale*, più è alto l'avanzamento per giro pezzo più sarà grosso il truciolo, e maggiore sarà il numero di taglienti del creatore (a parità di numero di principi) minore sarà lo spessore del truciolo.

L'interdipendenza dei vari fattori che influiscono sullo spessore del truciolo è ben rappresentata dalla *formula di Hoffmeister* di cui si parlerà più diffusamente in un altro articolo

Se lo spessore è grande, maggiore sarà la forza con cui il truciolo striscerà sul petto dell'utensile e quindi maggiore sarà la velocità di formazione del cratere.

Il meccanismo attraverso cui si forma il cratere, cioè il sistema con cui viene asportato il materiale dell'utensile, è alquanto complesso.

In parole povere si può dire che consiste in una prima fase in cui parti del truciolo si saldano sul petto dell'utensile, e ciò è possibile data l'affinità chimica tra il materiale tagliato e l'acciaio costituente l'utensile.

La saldatura avverrà tanto più facilmente quanto maggiore è la pressione esercitata dal truciolo e quanto maggiore è la temperatura nel punto di contatto.

Nella seconda fase si ha il distacco dal petto dell'utensile di questo materiale saldato, il quale trascina con sé particelle del materiale dell'utensile. Questo fenomeno ha una durata di circa un centesimo di secondo.

Dopo un certo tempo si forma appunto un cratere che ha la tendenza ad espandersi ed ad avvicinarsi sempre più al tagliente, fino ad indebolirlo talmente che si spezzerà, provocando delle scheggiature più o meno ampie ma che comunque, in breve tempo, renderanno il tagliente non più idoneo ad asportare materiale.

E' evidente che questo processo sarà tanto più rallentato quanto maggiore è la durezza del materiale tagliente.

Considerando che le temperature nel punto di contatto sono molto elevate, anche oltre i 600 °C, è importante che l'acciaio dell'utensile mantenga la sua durezza anche a caldo.

Questa è appunto la prerogativa degli acciai con alto contenuto di elementi di lega. Ma per rallentare questo processo è anche importante che tra le due superfici in contatto, truciolo ed utensile, ci sia scarsa affinità chimica.

Qui entrano in scena i ricoprimenti con il TiN ed il TiAlN, o quelli cosiddetti *multilayer*, cioè formati da molteplici strati di diversa composizione chimica.

Questo film che viene depositato sulla superficie dell'utensile e che normalmente ha uno spessore di circa 3 micron, ha la proprietà di essere estremamente duro, di mantenere questa durezza alle alte temperature e di non legarsi chimicamente con l'acciaio e quindi di evitare la formazione del tagliente di riporto.

Si ricorda a questo proposito che le temperature massime di utilizzo dei più comuni ricoprimenti sono le seguenti, mentre tra parentesi sono indicate le temperature approssimate in cui il ricoprimento perde completamente le sue proprietà e si sgretola.

- $TiN = 500\text{ }^{\circ}C$  ( $600\text{ }^{\circ}C$ )
- $TiCN = 400\text{ }^{\circ}C$  ( $450\text{ }^{\circ}C$ )
- $TiAlN = 700\text{ }^{\circ}C$  ( $800\text{ }^{\circ}C$ ).

Tutto ciò limita di molto la formazione del cratere. Si capisce anche perché è molto importante ricoprire nuovamente l'utensile dopo ogni affilatura.

Oltre all'avanzamento per giro pezzo, un ruolo importante è giocato dalla velocità di taglio. Più essa è alta, maggiore sarà lo sviluppo di calore nell'unità di tempo e quindi maggiore sarà la temperatura del truciolo nell'area di contatto.

Il discorso però non è così lineare come sembrerebbe.

Bisogna considerare due fenomeni che in un certo senso attenuano la pericolosità dell'aumento della velocità di taglio.

Il primo è che se il truciolo è portato ad alte temperature, diventa più plastico e quindi più facilmente asportabile. Esso forzerà di meno sulla superficie dell'utensile. Il secondo fenomeno è che se il truciolo scorre ad alta velocità, non ha il tempo di trasmettere il calore all'utensile. Cioè, gran parte del calore resta nel truciolo stesso.

E' forse questo il motivo che può spiegare l'influenza, in un certo senso strana ed a prima vista sorprendente, che la velocità di taglio ha sul rendimento del creatore.

Se costruiamo un diagramma in cui sulle ascisse indichiamo la velocità di taglio e sulle ordinate i metri tagliati per dente, la curva sarà del tipo rappresentato in figura N°3.

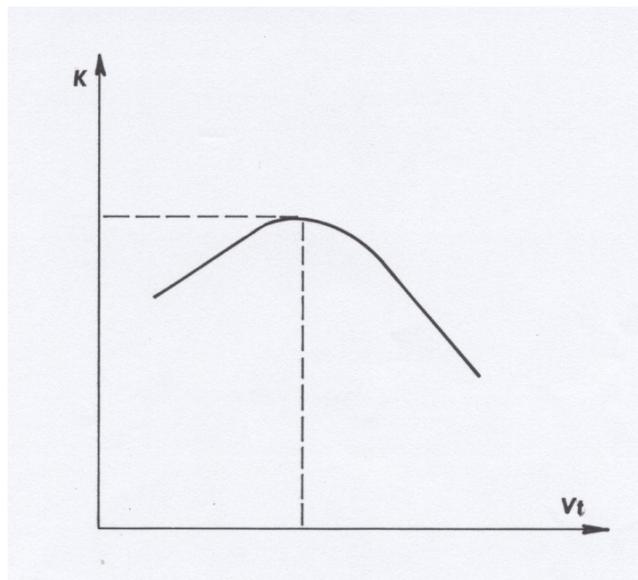
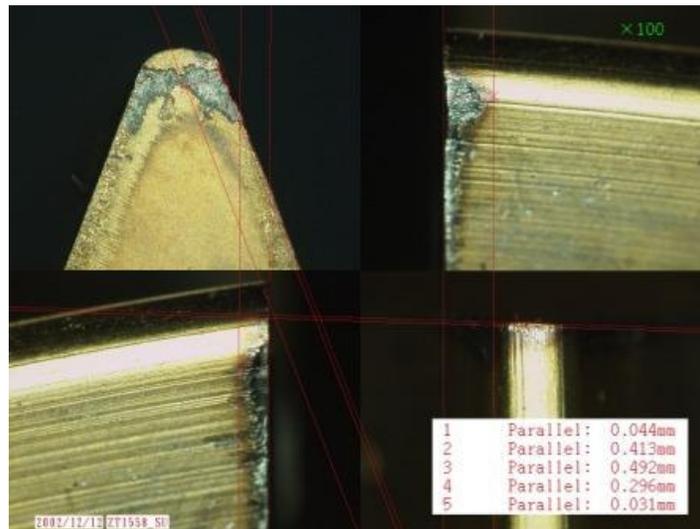


Figura N°3



**Figura N°4-** *Usura per abrasione*



**Figura N°5-** *Usura per craterizzazione*

In altre parole c'è solo una velocità ottimale ed essa dipende da molti fattori come per esempio: il materiale lavorato, il materiale del creatore, l'avanzamento per giro pezzo ecc. Al variare di ognuno di questi elementi varia la velocità ottimale, cioè il punto di massimo della curva si sposterà od a destra, od a sinistra, oppure in basso od in alto.

Questo va un po' contro l'opinione comune che crede che ad una diminuzione della velocità di taglio debba, in ogni caso, corrispondere una diminuzione della velocità di formazione dell'usura, cioè ad un aumento del rendimento del creatore.

Come si vede, invece, in determinate condizioni, ad una riduzione della velocità di taglio corrisponde un calo del rendimento del creatore.

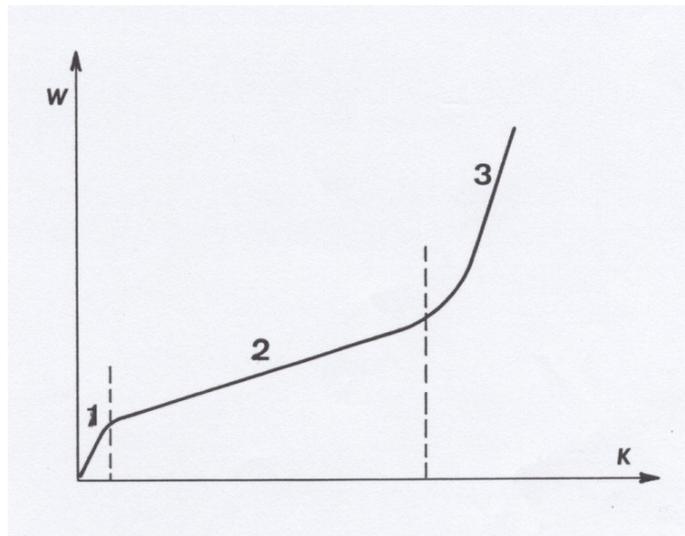
L'*usura per abrasione* si forma con un processo simile a quello di craterizzazione, solo che in questo caso si ha un netto peggioramento della situazione con l'aumento della velocità di taglio.

L'innalzamento della temperatura dovuta all'attrito, oltre la soglia della resistenza della ricopertura, provoca una rapida riduzione della resistenza all'usura ed al progressivo deterioramento del tagliente.

La spoglia sul fianco ha in genere, come si è visto, un valore compreso tra i 2 e 3°, ma quando lo spigolo tagliente comincia a cedere ed arrotondarsi, la zona immediatamente retrostante sfrega contro la superficie dell'ingranaggio appena tagliata ed in questo modo si amplia la traccia dell'usura.

E' di estrema importanza togliere il creatore dalla macchina prima che l'usura diventi troppo elevata. Dopo un certo limite si ha una rapida crescita dell'usura stessa. Attualmente tale limite è di circa 0,2 – 0,3 mm.

La formazione dell'usura per abrasione in funzione dei metri di dentatura tagliata per dente (K), segue una legge particolare illustrata indicativamente nella figura N°6.



**Figura N°6**

La curva si può dividere in tre parti. Nella prima l'usura cresce molto rapidamente, nella seconda parte l'usura sale più lentamente con un andamento proporzionale a K e nell'ultimo tratto la curva si innalza con andamento esponenziale.

Il creatore, evidentemente, deve essere tolto dalla macchina prima di arrivare a questo ultimo tratto di curva.

Per ogni lavorazione le ampiezze dei singoli tratti sono diverse e possono essere individuate con precisione solo dopo una serie di prove pratiche.

Poiché l'usura per abrasione è dovuta allo strisciamento della superficie posteriore del dente sulla parte appena tagliata del dente, si può dire che più volte un dente del creatore passa sopra il pezzo più esso si usura.

E' quindi dannoso, agli effetti dell'usura, ridurre l'avanzamento per giro pezzo e, più in generale, ridurre lo spessore del truciolo.

Si potrebbe pensare che riducendo il volume del materiale che ogni dente asporta per ogni giro, si riduce lo sforzo di taglio, si riduce il calore prodotto e quindi si riducono le sollecitazioni sul dente e le relative usure. Ma ciò è vero solo fino entro certi limiti. Se si diminuisce l'avanzamento per giro, si aumenta la lunghezza del percorso che il dente fa a contatto del pezzo, perché aumenta il numero di giri che il creatore deve fare per finire l'ingranaggio e quindi, aumenta l'effetto deleterio dell'attrito tra creatore e pezzo.

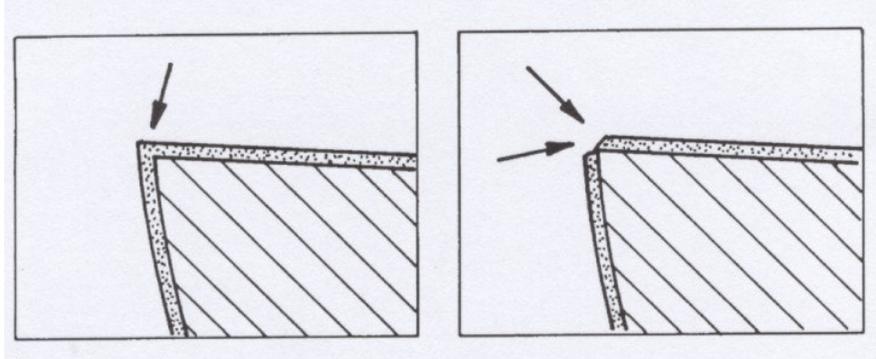
L'usura per abrasione procede quindi più velocemente.

Si possono fare ancora alcune considerazioni per quanto riguarda la formazione dell'usura per abrasione sui creatori ricoperti.

In primo luogo, se si osserva la figura N°7, si può capire che proprio sullo spigolo del tagliente ricoperto, dove i due strati di TiN si incontrano, c'è una zona soggetta a facili microscheggiature; è proprio in questo punto che comincia lo sfaldamento dello strato di

ricopertura, che poi procede più o meno velocemente. Sarà poi il substrato, cioè il corpo di acciaio rapido o di metallo duro a resistere al cedimento totale del tagliente.

Per questo motivo, sui creatori in metallo duro, che è un materiale più fragile, si usa arrotondare leggermente lo spigolo tagliente (solo 0,01 – 0,02 mm), per permettere allo strato di TiN di aderire meglio e di essere più resistente in prossimità dello spigolo.



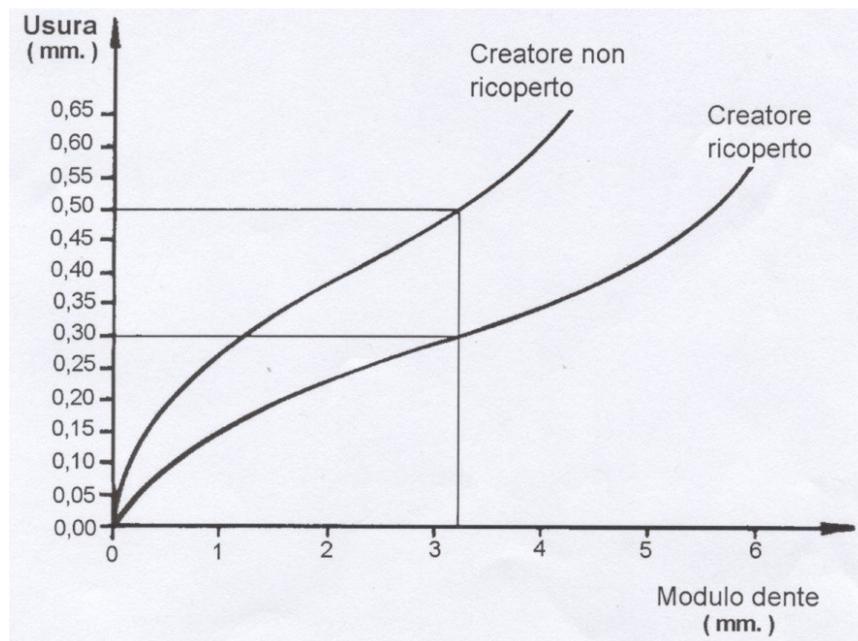
**Figura N°7**

Il valore tollerato dell'usura è diverso nel caso si tratti di creatore non ricoperto o ricoperto. Se il creatore non è ricoperto si può lavorare finché la traccia massima dell'usura arriva a 0,50 mm, mentre nei creatori ricoperti è opportuno sostituire il creatore quando l'usura arriva a 0,20 mm.

Questo è giustificato dal fatto che la formazione dell'usura segue leggi diverse nei due casi. Nella figura N°8 si può vedere che l'usura nei creatori non ricoperti cresce velocemente per i primi 0,15 – 0,20 mm per poi crescere lentamente ed in modo costante fino a circa 0,50 – 0,60 mm, cioè fino ad arrivare in un punto critico in cui l'usura cresce in maniera esponenziale.

Nel caso di creatori ricoperti invece, l'usura progredisce molto più lentamente, ma il punto critico si ha quando l'usura arriva intorno a 0,25 – 0,30 mm.

Quanto sopra è valido nella lavorazione di ingranaggi in acciaio con modulo inferiore a 3 mm, impiegati nell'industria automobilistica.



**Figura N°8**

Un'ultima osservazione riguarda l'influenza che ha il diametro esterno del creatore sull'usura per abrasione.

Più grande è il diametro del creatore, più lungo è l'arco di contatto tra pezzo e creatore, cioè il truciolo diventa più lungo.

Ciò significa che il tagliente resta più tempo a contatto con il pezzo. Inoltre con un creatore di piccolo diametro c'è più spazio tra pezzo e creatore ed il refrigerante arriva più facilmente nella zona critica di contatto.

In definitiva, agli effetti dell'usura per abrasione, è meglio usare un creatore con piccolo diametro.