

L'importanza dello spessore del truciolo in dentatura

Nella determinazione delle condizioni di lavoro nella dentatura con creatore, uno dei fattori di cui bisogna tenere assolutamente conto è lo spessore del truciolo generato durante il taglio.

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.

I principali parametri che determinano lo spessore del truciolo sono:

- *Modulo normale (m_n)*
- *numero di principi del creatore (i_0)*
- *numero di taglienti del creatore (Z_0)*
- *altezza totale del dente dell'ingranaggio, o meglio la profondità totale di taglio (h)*
- *angolo di elica dell'ingranaggio (β)*
- *avanzamento per giro pezzo (f_a)*
- *numero di denti dell'ingranaggio Z_2 .*

L'interdipendenza dei vari fattori che influiscono sullo spessore del truciolo è ben rappresentata dalla *formula di Hoffmeister*.

Questa famosa formula è abbastanza complicata da applicare, anche se oggi, con un opportuno programmino sul PC diventa un problema facile da risolvere. E' utile sia la formula che permette di calcolare lo spessore massimo del truciolo dato un certo avanzamento per giro pezzo, sia la formula inversa che permette di calcolare l'avanzamento per giro pezzo che dà un determinato spessore del truciolo.

Ma prima di parlare un po' di questa formula bisogna chiarire cosa si intende per *spessore del truciolo*.

In pratica ogni truciolo è diverso dall'altro, sia come forma che come dimensione e quindi l'espressione "*spessore del truciolo*" deve essere intesa come un elemento di riferimento teorico, che pur essendo molto utile per determinare i limiti di carico del dente, non deve essere considerato come un valore applicabile a tutti i trucioli. In pratica, se si volesse misurare l'effettivo spessore del truciolo, sarebbe molto difficile ritrovare i valori espressi dalla formula di Hoffmeister.

Per rendersi conto di quanto detto basti osservare la figura N°1, (Sigma Pool).

Si può osservare che la forma e la dimensione del truciolo varia completamente in relazione alla posizione dei taglienti rispetto l'ingranaggio.

Questa illustrazione tra l'altro fa capire quali tratti di tagliente sono impegnati e rende immediata l'idea del perché l'usura del creatore è molto diversa nel tratto di entrata, in quello centrale ed in quello di uscita.

Tuttavia il calcolo teorico dello spessore del truciolo è riferito al suo valore massimo h_1 , come indicato nella figura N°2.

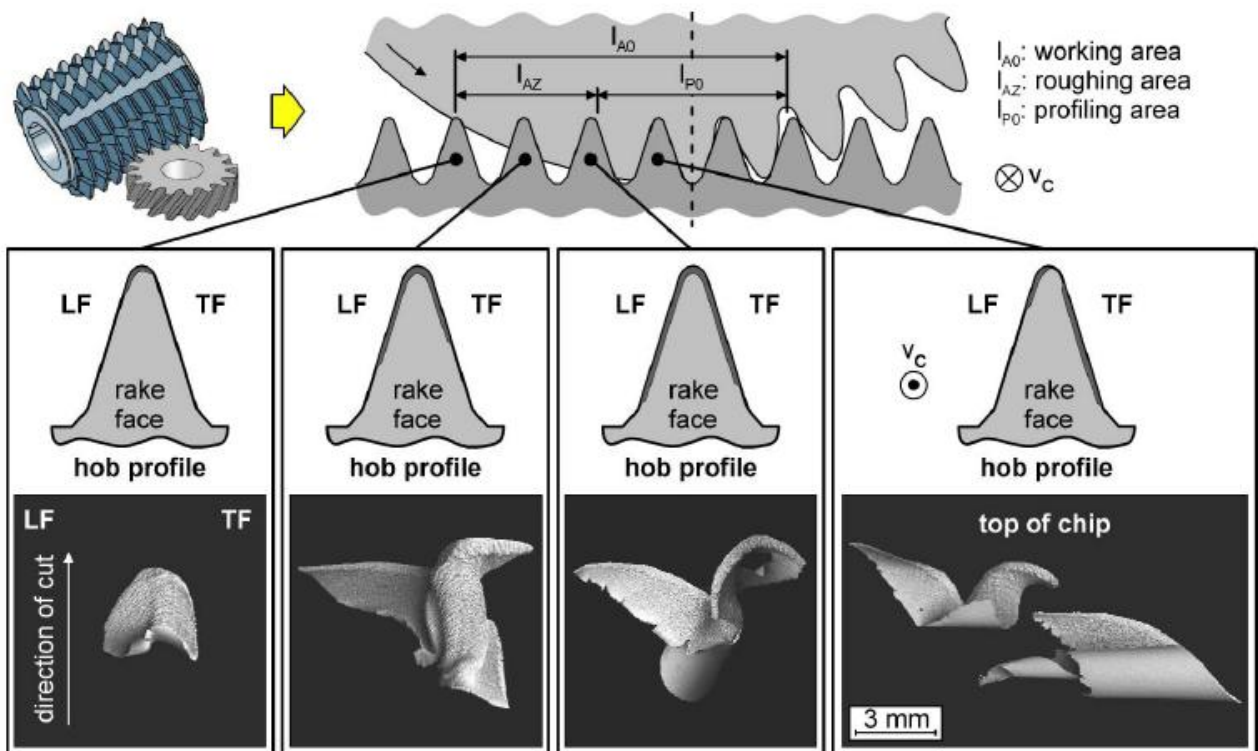


Fig. N°1 – *Variazione della forma e dimensione del truciolo in funzione della posizione relativa dei taglienti rispetto il pezzo. (Cortesia Sigma Pool)*

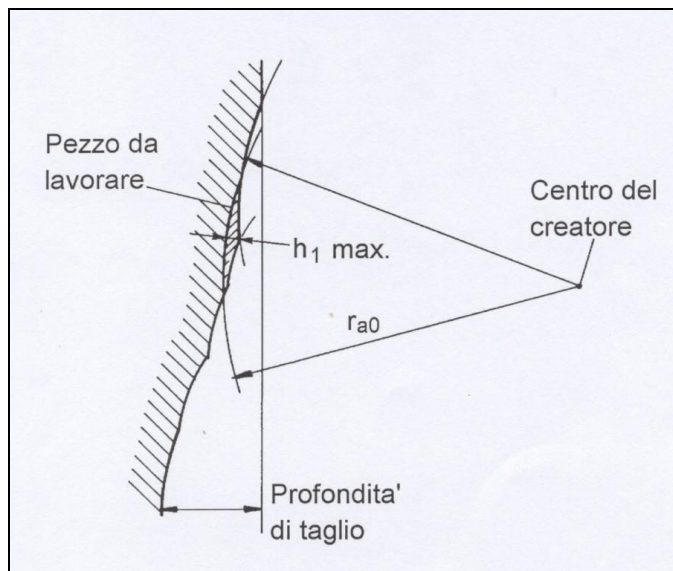


Figura N°2- *Significato dello spessore massimo del truciolo*

Di seguito è riportata la formula di Hoffmeister nelle due forme: la prima espressione serve per calcolare lo spessore massimo del truciolo h_{1max} in funzione dell'avanzamento per giro f_a , mentre nella seconda forma la formula è atta a calcolare quale avanzamento è possibile in funzione di un dato spessore di truciolo massimo.

Calcolo dello spessore massimo del truciolo

$$h_{1\max} = 4,9 \cdot m_n \cdot Z_2^{(9,25 \cdot 10^{-3} \cdot \beta_2 - 0,542)} \cdot e^{-0,015(\beta_2 + x_p)} \cdot \left(\frac{f_a}{m_n}\right)^{0,511} \cdot \left(\frac{d_{a0}}{2 \cdot m_n}\right)^{(-8,25 \cdot 10^3 \cdot \beta_2 - 0,225)} \cdot \left(\frac{i_0}{Z_0}\right)^{0,877} \cdot \left(\frac{h}{m_n}\right)^{0,319}$$

Calcolo dell'avanzamento per giro pezzo

$$f_a = h_1^{1,9569} \cdot 0,0446 \cdot m_n^{(-1,614510^{-2} \cdot \beta - 0,7730)} \cdot Z_2^{(-1,810210^{-2} \cdot \beta + 1,0607)} \cdot e^{0,0294\beta} \cdot \left(\frac{d_{a0}}{2}\right)^{(1,614510^{-2} \cdot \beta + 0,4403)} \cdot \left(\frac{i_0}{Z_0}\right)^{1,7162} \cdot h^{-0,6243} \cdot e^{0,0294x_p}$$

E' molto importante non superare lo spessore del truciolo consigliato, in primo luogo per evitare la formazione di usure precoci, in secondo luogo per evitare rotture premature dei denti.

Lo spessore massimo del truciolo dipende fortemente dal modulo e si può considerare che per moduli compresi tra 1 e 3,5 mm si ha: $0,10 \leq h_1 \leq 0,30$, mentre per moduli compresi tra 3,5 e 6 mm si ha $0,30 \leq h_1 \leq 0,35$.

Per esempio, se si considera un modulo vicino a 2 mm lo spessore massimo del truciolo è di circa 0,25 mm.

Ma lo spessore massimo del truciolo dipende anche dal tipo di acciaio lavorato, dal materiale dell'utensile e dal tipo di lavorazione (ad umido o a secco). Quindi i valori massimi, per il massimo modulo, elencati più sopra, devono essere modificati secondo la tabella seguente.

Spessore massimo del truciolo consigliato

Resistenza dell'acciaio N/mm ²	Spessore massimo del truciolo (mm)			
	Acc. Rapido e metallo duro ad umido (minimo spessore)	Acciaio Rapido ad umido (massimo spessore)	Metallo duro ad umido (massimo spessore)	Metallo duro a secco (minimo spessore)
600	0	0,35	0,18	0,10
700	0	0,32	0,17	0,10
800	0	0,29	0,16	0,10
900	0	0,26	0,15	0,10
1000	0	0,23	0,14	0,10
1100	0	0,20	0,14	0,10

Ulteriori considerazioni sullo spessore del truciolo

Come si è visto poco sopra, lo spessore del truciolo è un elemento importante che condiziona i parametri di taglio e quindi il tempo di dentatura.

Come è noto, il tempo di dentatura, dipende dalla velocità di rotazione del pezzo e dall'avanzamento del creatore per ogni giro del pezzo.

Si tratta quindi, se si vuole ridurre il tempo macchina, di far girare più velocemente il pezzo ed avanzare più velocemente, fermo restando la regola che non si deve superare lo spessore massimo del truciolo.

Per aumentare la velocità di rotazione del pezzo, la strada più facile è quella di aumentare la velocità di taglio.

Ciò è possibile se si usano creatori costruiti con acciai fortemente legati e ricoperti con i metodi più moderni, inoltre essi devono essere usati su dentatrici moderne, in buono stato ed adatte a sopportare senza danno le alte velocità della tavola portapezzo.

L'alta velocità di taglio ha come effetto di far aumentare la temperatura dei trucioli e quindi anche quella della zona di contatto truciolo-utensile.

A causa di ciò il truciolo diventa più plastico e la sua asportazione richiede un minore sforzo. Questa considerazione permetterebbe di adottare spessori di truciolo leggermente superiori.

Il minore sforzo sul petto di taglio, autorizzerebbe a pensare che l'usura per craterizzazione sia minore, ma l'aumento della temperatura nella zona di impatto del truciolo sull'utensile provoca un ammorbidimento della matrice di acciaio dell'utensile con effetti deleteri su questo tipo di usura.

Inoltre vengono accentuati quei fenomeni chimici tra truciolo ed utensile che sono una delle componenti principali nella formazione del cratere.

Attualmente nella dentatura di ingranaggi automobilistici si possono raggiungere velocità di taglio comprese tra 120 e 200 m/min se si usano creatori in acciaio superlegato e velocità di oltre 300 m/min se si usano creatori in metallo duro.

Normalmente si tende ad aumentare la velocità di taglio, anche oltre i limiti consentiti, per ottenere riduzioni dei tempi di dentatura e quindi si preferisce sacrificare il costo del creatore per pezzo prodotto a vantaggio del costo del tempo.

Su questo argomento si ritornerà tra breve.

Più interessante ed attuale è invece la possibilità di ridurre lo spessore del truciolo attraverso un aumento del numero dei taglienti del creatore.

Oggi si usano comunemente, e con buoni risultati tecnico economici, creatori in acciaio con 25 – 30 taglienti.

E' questa una tendenza che portata agli estremi genera i cosiddetti *creatori usa e getta* con un forte numero di taglienti, piccoli diametri e che vengono usati una sola volta e poi, senza essere affilati, vengono rottamati.

A dire il vero questa idea, finora non ha avuto molta fortuna.

Molto più usati sono invece i creatori *multitaglienti*, che pur avendo un alto numero di taglienti, permettono di eseguire qualche affilatura.

Esaminiamo un po' in dettaglio cosa comporta l'aumento del numero di taglienti su un creatore che mantenga inalterato il diametro esterno.

Il primo effetto è quello di ridurre la lunghezza utile del dente.

Se si considera l'esempio di un creatore con $m = 2$ e diametro esterno $d_{a0} = 110$ mm, con un numero di taglienti $i_0 = 17$, la larghezza del dente utilizzabile è di circa 11 mm.

Se si passa ad $i_0 = 28$ la larghezza utile passa a 5 mm.

Il profilo del dente è generato per involuppo dalla successione del numero di taglienti

pari a $\frac{i_0}{Z_0}$, quindi il tratto ad evolvente del dente dell'ingranaggio è approssimato ad

una spezzata che è tanto più vicina al profilo teorico tanto è maggiore il numero dei taglienti e quanto è minore il numero di principi.

La discontinuità del profilo eseguito con un basso numero di denti è particolarmente evidente nel tratto di trocoide in prossimità del piede del dente, zona, questa, che tra l'altro non è completamente finita con l'operazione di rasatura.

Si hanno due alternative:

- Lasciare lo stesso numero di principi ed aumentare il numero di taglienti:
l'ingranaggio viene più preciso
- Aumentare il numero di taglienti ed anche il numero di principi lasciando inalterato il loro rapporto:
si riduce il tempo di dentatura

A prescindere dalla minor utilizzazione del creatore in entrambi i casi si ha un vantaggio.

La riduzione dello spessore del truciolo ha, come è ovvio, l'effetto di ridurre lo sforzo di taglio.

Questo significa che poiché il dente è meno sollecitato, la sua larghezza residua, cioè la larghezza del dente a fine vita, potrà essere minore.

In altre parole, si recupera una certa parte delle affilature perse a causa della diminuzione della larghezza totale del dente dovuta all'aumento di i_0 .

Poiché i trucioli si formano in frammenti più piccoli e la loro evacuazione risulta più facile, il solco d'affilatura potrà avere una forma diversa e privilegiare la larghezza del dente, aumentando così la sua resistenza e l'ulteriore aumento delle affilature possibili. L'obiezione che potrebbe essere sollevata a questo punto è che il creatore, avendo un numero di taglienti maggiore, costa di più perché richiede un tempo di lavorazione maggiore.

Questo è vero solo in parte ed in ogni caso l'aumento del costo di lavorazione è molto limitato.

I maggiori tempi, nella costruzione di un creatore, sono quelli di spogliatura e quelli della rettifica dei denti, che sono una parte dei costi totali.

In entrambi i casi, se è vero che il numero di denti da lavorare aumenta, è anche vero che essi sono meno larghi.

In pratica il percorso che deve fare l'utensile di spogliatura o la mola, per completare tutto il creatore, è uguale o di pochissimo superiore, mentre c'è il vantaggio che essendo il salto delle camme più piccolo, durante la lavorazione ci sono meno vibrazioni ed è quindi possibile adottare velocità di avanzamento maggiori.

Complessivamente quindi non ci sono significative variazioni di costo per l'utensile.