

Condizioni di lavoro nella stozzatura degli ingranaggi

I coltelli stozzatori per l'esecuzione delle dentature sia esterne che interne sono sempre usati in grandi quantità, nonostante che negli anni passati si siano fatte delle previsioni un po' pessimistiche sul loro destino.

In effetti le quantità globali di coltelli si è ridotta notevolmente, ma soprattutto a causa dell'introduzione della ricopertura con TiN che ha moltiplicato il numero di ingranaggi eseguibili con un coltello per 5 o 10 volte.

Un altro importante contributo al rendimento dei coltelli è stato dato dal miglioramento degli acciai superrapidi e dall'impiego delle moderne dentatrici a controllo numerico.

Tutto ciò ha messo in crisi non pochi costruttori di questo utensile, tanto che in Europa ne sono rimasti pochi: Samputensili, Liebherr (che ha assorbito Lorenz e Della Ferrera), Dathan, ed in Oriente solo in Giappone rimangono tre grossi nomi: Nachi, Mitsubishi e Kobelco.

Tuttavia questo tipo di utensile è ancora indispensabile per numerosissime operazioni.

Le condizioni di lavoro per un coltello stozzatore a disco, per il taglio di ingranaggi esterni, prevede la definizione dei seguenti parametri:

- *lunghezza della corsa;*
- *numero di passate;*
- *velocità di taglio e quindi numero di corse al primo;*
- *avanzamento radiale;*
- *avanzamento circonferenziale;*
- *tempo di taglio.*

Come in ogni altra lavorazione meccanica, anche in questo caso è possibile dare solo delle indicazioni generali riguardo la scelta dei valori da assegnare ad ogni singolo parametro, in quanto essi dipendono da tutta una serie di fattori quali, per esempio: resistenza e lavorabilità del materiale, il tipo e lo stato della macchina stozzatrice, il tipo di acciaio del coltello ed il suo eventuale ricoprimento TiN, la precisione voluta sull'ingranaggio, ecc.

I dati che in seguito si riporteranno devono quindi sempre essere intesi come indicazione di massima e dovrebbero sempre essere verificati in pratica.

Esaminiamo ora i vari elementi che nel loro complesso costituiscono le *condizioni di lavoro*.

Lunghezza della corsa

La lunghezza della corsa L deve essere maggiore, ovviamente, della larghezza della fascia dentata H. Di quanto?

Dipende dal tipo di coltello e dal tipo di ingranaggio.

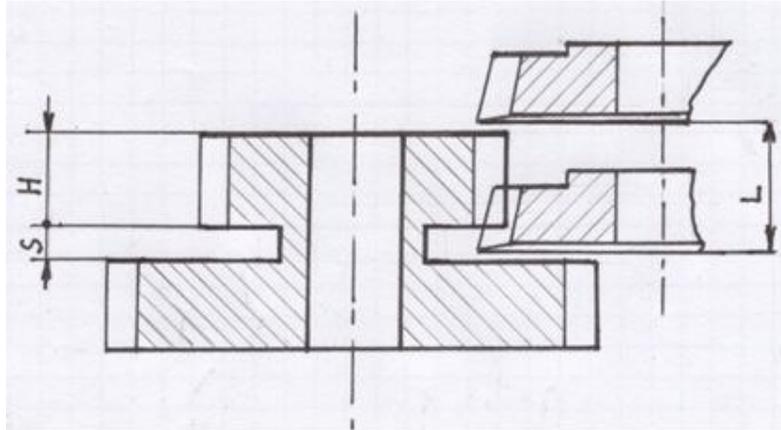


Figura N°1

Se parliamo di coltelli a disco a denti dritti si può prendere come riferimento il diagramma di figura N°2 che rappresenta l'equazione: $L = 2,2 + \frac{H}{20}$.

Se invece parliamo di ingranaggi a denti elicoidali con un angolo di elica β , la reale lunghezza della corsa sarà: $L_{\beta} = \frac{L}{\cos \beta}$.

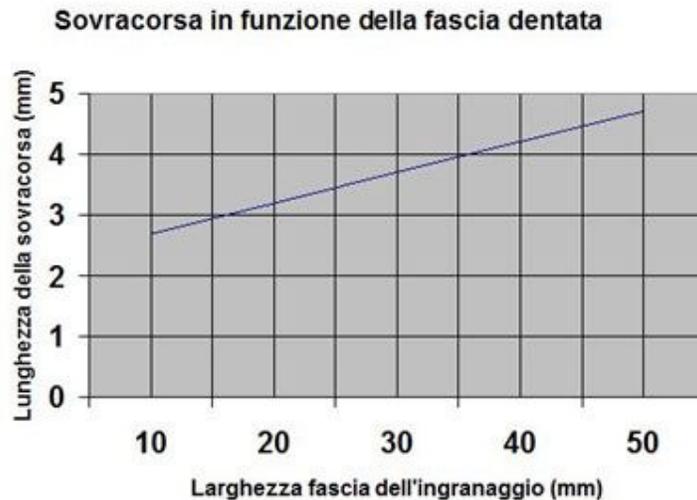


Figura N°2

A volte questi valori non possono essere rispettati perché l'ingranaggio da tagliare è molto vicino ad un altro ingranaggio o ad uno spallamento.

Con riferimento alla figura N°1, lo spazio S potrebbe essere minore di quanto sopra stabilito.

In questo particolare caso bisogna considerare che è pericoloso avvicinarsi troppo con il coltello all'ostacolo di fine corsa, in primo luogo perché ci sono pericoli di urti con questo ostacolo e quindi di scheggiature o di rotture dei denti del coltello, in secondo luogo perché il truciolo resterebbe schiacciato tra pezzo e coltello accumulandosi e provocando la rottura dei denti, fatto questo che si verifica abbastanza frequentemente.

In questi casi la sovracorsa del coltello deve essere la minore possibile, considerando però che i denti del coltello devono uscire completamente e che quindi bisogna tener conto delle inclinazioni della faccia di taglio (figura N°3).

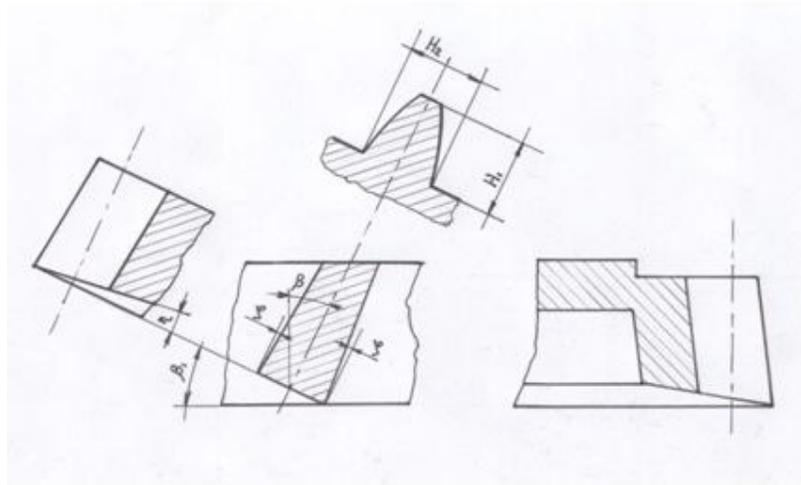


Figura N°3

Questi valori, imposti dalle spoglie di taglio, non sono sempre trascurabili. Se per esempio consideriamo un coltello con un forte angolo di elica, poniamo $\beta = 35^\circ$ e ricordiamo che in linea generale il piano di affilatura è ortogonale all'elica, cioè $\beta_1 = \beta$, e supponiamo inoltre che si tratti di un coltello con modulo di 2,5 mm e che abbia quindi il valore di $H_1 = 6,5$ mm (circa) mentre approssimativamente sia $H_2 = 6$ mm, si ottiene:

$$h_1 = H_1 \cdot \text{sen}5^\circ = 6,5 \cdot \text{sen}5^\circ = 0,566$$

$$h_2 = H_2 \cdot \text{sen}35^\circ = 6 \cdot \text{sen}35^\circ = 3,441$$

e quindi $h_1 + h_2 \cong 4\text{mm}$

Se lo spazio S ha un valore di circa questa entità la situazione è molto pericolosa.

Per migliorare un po' le cose si preferisce talvolta di ridurre di $7 - 8^\circ$ il valore dell'angolo β_1 rendendo il piano di affilatura non più ortogonale all'elica.

Naturalmente questa modifica comporta un aggiustamento del profilo in fase di progettazione.

In questo caso, se si fosse portato $\beta_1 = 28^\circ$ si avrebbe avuto:

$h_2 = H_2 \cdot \text{sen}28^\circ = 6 \cdot \text{sen}28^\circ = 2,81$ mm con una riduzione di circa 0,6 mm rispetto alla situazione iniziale.

Questa modifica dell'angolo di affilatura a volte viene eseguita anche indipendentemente dal problema di ingombro, in quanto rende acuto un spigolo del dente, quello di entrata, facilitando l'azione di taglio, specie nella lavorazione di acciai teneri.

Completata la corsa di andata, prima di iniziare la corsa di ritorno, il coltello si stacca dal pezzo in modo da evitare lo strisciamento del retro del tagliente sulla superficie appena tagliata.

Lo stacco del coltello dal pezzo prima della fase di ritorno è un parametro da studiare accuratamente; infatti non è sufficiente che il coltello si stacchi solo

quel tanto da non toccare più la superficie dell'ingranaggio alla fine della corsa, ma bisogna considerare che l'avanzamento radiale e circonferenziale avviene in modo continuo.

Ciò significa che nel tempo che il coltello esegue la corsa di andata, il punto lavorato all'inizio della corsa è stato incrementato, e così avviene anche durante la corsa di ritorno. Quindi se lo stacco non è sufficiente il retro del tagliente va a collidere con il pezzo.

In questo caso si ha il danneggiamento, a volte grave, dell'utensile.

Numero di passate

Normalmente nella dentatura di ingranaggi del settore automobilistico, cioè con moduli da 1 a 3 mm, si eseguono due passate: una di sgrossatura ed una di finitura. Il ciclo prevede quindi le seguenti fasi:

- *Avanzamento radiale (con rotazione) fino a raggiungere un interasse tale da lasciare un soprametallo di circa 0,3 – 0,4 mm per fianco.*
- *Generazione con avanzamento circonferenziale per un ulteriore giro completo dell'ingranaggio.*
- *Avanzamento radiale (sempre con rotazione) fino all'interasse finale.*
- *Generazione con avanzamento radiale per un giro completo.*

La fase di sgrossatura e quella di finitura hanno velocità di taglio e avanzamenti diversi, in modo da generare un pezzo nelle migliori condizioni di precisione e di finitura superficiale, nel minor tempo possibile.

In molti casi però, si esegue la dentatura in una sola passata, specie dove le dentature non hanno scopo di accoppiamento con rotazione, come per esempio gli ingranaggi sincronizzatori, alcuni manicotti, scanalature tipo ASA su alberi, ecc.

D'altra parte invece in alcuni casi si fanno molte passate, per esempio su ingranaggi di modulo superiore a 5 mm o su ingranaggi in acciaio difficilmente lavorabile. In questo caso è indispensabile scegliere accuratamente la penetrazione totale per ogni passata. Nella figura N°4 è indicata una possibile suddivisione delle profondità di passata, in percentuale dell'altezza totale del dente, per un numero di passate da 1 a 7.

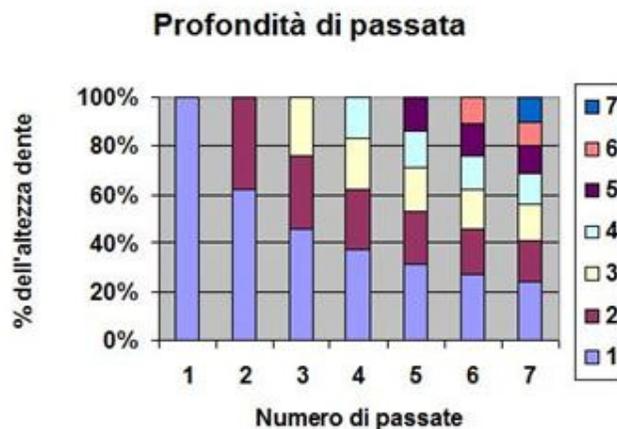


Figura N°4

Una volta gli avanzamenti radiali e circonferenziali, ed il numero delle passate, erano dati da cammes e da rotismi, oggi la gestione di tutti i dati di lavoro è gestita molto più efficacemente dal controllo numerico.

Velocità di taglio e numero di corse al minuto

In primo luogo è necessario definire cosa si intende per velocità di taglio, in quanto il moto alternativo del coltello è di tipo sinusoidale, cioè con velocità che parte da zero, arriva ad un massimo per poi ridursi nuovamente a zero prima di iniziare la corsa di ritorno, oppure può essere praticamente costante se la slitta porta coltello è comandata da un cilindro idraulico.

In questo caso l'andamento della velocità della slitta, dopo un breve tratto di accelerazione raggiunge il suo valore massimo e lo mantiene fino alla breve rampa di decelerazione per poi invertire il senso della corsa ritornando con moto rapido al punto di partenza.

Un andamento simile può essere dato anche dalle slitte che sono comandate da un motore gestito dal Controllo Numerico.

Nel caso di moto sinusoidale, la velocità istantanea in ogni singola sezione del dente dell'ingranaggio è sempre diversa.

Si distingue perciò una velocità di taglio media V_m ed una velocità di taglio massima V_{max} .

Per capire come vengono ricavate le espressioni con cui si calcolano i valori di queste due velocità, conviene fare riferimento alla figura N°5.

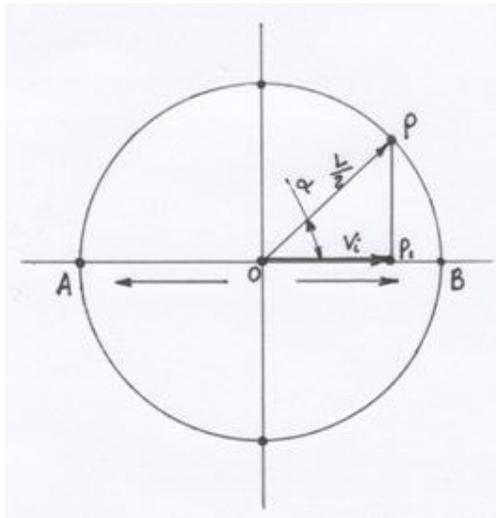


Figura N°5

Il questa figura il diametro AB corrisponde alla lunghezza della corsa L.

Se si considera un generico punto P che si muove con velocità uniforme lungo la circonferenza, la velocità del coltello corrisponde alla velocità del punto P_1 sul diametro AB.

Allora, usando le seguenti notazioni, si possono ricavare le due velocità.

$\overline{AB} = L$ (in mm)

N = numero di corse al minuto (per corsa si intende andata e ritorno)

V_i = Velocità istantanea di P_1 su AB

V = velocità periferica del punto P sulla circonferenza (in m/min.)

V_{max} = velocità massima di P_1 (quando $P_1 \equiv O$)

$$V = \frac{\Pi \cdot L \cdot N}{1000}$$

$$V_i = V \cdot \cos \alpha = \frac{\Pi \cdot L \cdot N \cdot \cos \alpha}{1000}$$

$$V_{\max} = \frac{\Pi \cdot L \cdot N}{1000} \quad (\text{cioè quando } \cos \alpha = 1)$$

$$V_m = \frac{2 \cdot L \cdot N}{1000} \quad \text{da cui si ricava} \quad V_{\max} = \frac{\Pi}{2} \cdot V_m$$

Per il caso più generale, cioè per ingranaggi elicoidali, si deve sostituire L con

$$L_\beta = \frac{L}{\cos \beta}$$

La velocità massima V_{\max} è quella che si deve considerare agli effetti della tenuta del tagliente, anche se questo concetto è discutibile, nel moto sinusoidale, perché è una condizione che ha una durata brevissima, durante la quale il tagliente non ha tempo di riscaldarsi. Però questo è valido nel caso di azionamento idraulico dove, come si è detto, la velocità massima è praticamente costante da inizio a fine corsa.

La velocità media V_m invece serve per calcolare i tempi di taglio.

La scelta della velocità di taglio, come si è detto, deve tener conto di molti fattori.

- *Modulo della dentatura*
- *Lavorabilità del materiale*
- *Lunghezza della fascia dentata*
- *Materiale del coltello e suo eventuale ricoprimento con TiN*
- *Tipo e stato della macchina*
- *Tipo e quantità di olio refrigerante*

Alcuni di questi parametri sono di difficile definizione e quindi il calcolo della velocità di taglio ottimale presenta sempre un certo margine di incertezza.

Per prima cosa bisogna definire la lavorabilità del materiale che si vuole lavorare. Questo elemento è di estrema importanza perché incide in maniera notevole sulla velocità massima possibile in una certa lavorazione.

Nella tabella N°1 sono elencati i principali acciai con le rispettive resistenze alla trazione, le durezza e l'indice di lavorabilità in percentuale riferita all'acciaio C10 allo stato ricotto.

Tabella N°1 - Indice di lavorabilità degli acciai più comuni						
Materiale Cod. DIN	Stato: ricotto			Stato: cementato o bonificato		
	Resist. alla traz. N/mm ²	Durezza Brinell HB 30	Lavorabilità %	Resist. alla traz. N/mm ²	Durezza Brinell HB 30	Lavorabilità %
C 10	470	135	100	560	165	90
C 15	490	145	95	685	200	60
15 Cr 3	570	165	90	790	235	50
16MnCr5	630	200	80	930	270	45
20MnCr5	730	210	75	1120	330	30
15CrNi6	770	220	65	1030	300	35
18CrNi8	810	235	60	1080	315	30
14 Ni 6	550	160	80			
14NiCr14	750	217	55			
C 35	520	170	75	670	200	65
C 45	580	210	70	730	220	60
30 Mn 5	750	217	65	825	240	55
34 Cr 4	750	217	65	885	260	50
41 Cr 4	750	217	55	975	285	45
37MnSi5	750	217	65	950	280	40
42CrV6	750	217	55	1150	340	35
25CrMo4	750	217	65	875	260	50
42CrMo4	750	217	60	1050	305	35
36CrNiMo4	750	217	50	1025	300	35
30CrMoV9	860	255	45	1200	355	25

Se consideriamo:

- *Larghezza fascia dentata 25 mm*
- *Acciaio del coltello M2*
- *Utensile non ricoperto*
- *Passata di sgrossatura*
- *Macchina moderna in buono stato*

Detta L_{av} la lavorabilità del materiale in percentuale, si può usare la seguente formula per trovare la velocità massima:

$$V_{\max} = \frac{L_{av} + 35}{2,6}$$

Alla velocità massima così trovata bisogna applicare i seguenti coefficienti correttivi in funzione alle caratteristiche dei vari altri parametri:

- *Per ogni aumento della lunghezza della fascia dentata di 25 mm: moltiplicare per 0,9;*
- *Nelle passate di semifinitura: moltiplicare fino per 2;*
- *Nelle passate di finitura: moltiplicare fino a 2 – 3;*
- *Nel caso di utensili in acciaio da polvere del gruppo F-PM (di cui fa parte il famoso ASP30): moltiplicare per 1,1;*
- *Con gli utensili in acc. F-PM + TiN: moltiplicare per 1,4;*

Si dovrebbe sempre ricoprire nuovamente il coltello dopo ogni affilatura, altrimenti la velocità di taglio dovrebbe essere ridotta.

Normalmente viene fissata la velocità di taglio e, partendo da questo dato si calcola il numero di corse al minuto da impostare sulla dentatrice.

$$N = \frac{1000 \cdot V_{\max} \cdot \cos \beta}{\Pi \cdot N}$$

In certe lavorazioni, dove la fascia dentata è molto piccola e specie con macchine a controllo numerico, può essere che il massimo numero di corse al minuto eseguibile dalla dentatrice, sia inferiore a quello necessario per raggiungere la velocità di taglio stabilita. In questo caso bisogna accontentarsi di una velocità inferiore e quindi ad un tempo ciclo superiore.

Bisogna ricordare inoltre che nell'operazione di stozzatura il coltello taglia con azione intermittente, ad ogni corsa lo spigolo tagliente riceve un urto che è tanto più intenso quanto più grande è l'avanzamento. Non è quindi opportuno usare acciai superrapidi con elevatissime durezza perché sarebbero facili le scheggiature e perfino le rotture dei denti.

Avanzamento radiale

All'inizio del ciclo il coltello si avvicina radialmente al pezzo ed inizia a penetrare fino ad arrivare all'interasse voluto, cioè: all'interasse finale se il pezzo deve essere finito in una passata, o ad una profondità tale da lasciare sul fianco un determinato soprametallo per la successiva operazione di finitura.

Il valore di questo avanzamento a_r dipende principalmente dal tipo di materiale lavorato, nonché ovviamente dal tipo di macchina e dal tipo di utensile.

La scelta di a_r dovrebbe tener conto dell'effettiva lavorabilità del materiale e non solo della sua resistenza, però, oltre a quanto detto in proposito parlando della velocità di taglio, l'avanzamento, sia radiale che circonferenziale, consente maggiori margini di manovra.

Ciò significa che un aumento, anche sensibile, degli avanzamenti, non si ripercuote in maniera proporzionale sull'entità dell'usura.

Un troppo elevato valore degli avanzamenti, specie quello di generazione (circonferenziale) può invece provocare delle scheggiature o rotture dei denti del coltello o delle superfici del dente con profondi segni di strappature.

Si può adottare lo stesso avanzamento radiale a_r anche nel secondo avvicinamento, dopo la passata di sgrossatura, anche se a volte è preferibile ridurre un po' il suo valore per impedire la formazione di strappature profonde.

Nella tabella N°2 sono riportati i valori generalmente consigliati per a_r e come si può vedere tra il valore minimo e quello massimo c'è una notevole differenza.

E' evidente che il valore ottimale deve essere stabilito dopo una serie di prove, anche in base a quello che si preferisce privilegiare: tempo di taglio, durata dell'utensile, qualità del prodotto ecc.

Tab. N°2 – Avanzamento radiale in mm/corsa

<i>Durezza HB₃₀</i>	<i>135 – 185</i>	<i>185 - 220</i>	<i>220 - 280</i>	<i>oltre 280</i>
<i>Avanz. radiale a_r</i>	<i>0,03 – 0,06</i>	<i>0,02 – 0,05</i>	<i>0,015 – 0,04</i>	<i>0,01 – 0,03</i>

Avanzamento circonferenziale (o di generazione)

Il coltello, una volta arrivato all'interasse voluto, non avanza più radialmente, ma continua ad avanzare nel senso circonferenziale, cioè a ruotare.

L'accoppiamento tra il coltello e la ruota (virtuale) da generare avviene ad una velocità pari appunto all'avanzamento a_c per ogni corsa del coltello, convenzionalmente calcolata sul diametro primitivo nominale.

E' evidente che dal valore di questo parametro dipende lo spessore del truciolo e quindi la sollecitazione meccanica sul coltello.

E' pur vero che la scelta del valore di a_c può avvenire entro limiti abbastanza ampi senza influire in maniera drammatica sulla durata del coltello, ma se lo spessore del truciolo è molto grande, esso viene evacuato con maggior difficoltà e, nel caso che la fascia dentata sia lunga, il truciolo (rigido in caso di a_c grande) si intasa facilmente a fondo corsa, specialmente se in questa zona non c'è un ampio spazio tra coltello e spallamento.

Un altro fenomeno da non trascurare quando si lavora con a_c elevato su materiale di bassa resistenza, è la formazione di una bavatura consistente nel lato uscita sul pezzo.

L'asportazione di questa bavatura può presentare delle difficoltà se non si dispongono di macchine specifiche.

Nella tabella N°3 sono riportati i valori consigliati di a_c , in mm/corsa (la corsa è sempre intesa come andata e ritorno) in funzione del modulo e della durezza dell'acciaio dell'ingranaggio.

I valori più bassi sono quelli da impiegare su macchine di vecchio tipo non in perfette condizioni .

I valori maggiori sono applicabili su macchine moderne a controllo numerico.

Tab. N°3 – Avanzamento di sgrossatura circonferenziale in mm/corsa

Modulo	Durezza HB_{30}			
	130 - 180	180 - 220	220 - 240	240 - 300
Fino a 1,5	0,30 - 0,40	0,25 - 0,35	0,20 - 0,28	0,15 - 0,25
1,5 - 2,5	0,50 - 0,65	0,40 - 0,60	0,30 - 0,40	0,25 - 0,35
2,5 - 4,0	0,50 - 0,65	0,45 - 0,60	0,35 - 0,45	0,30 - 0,40
4,0 - 6,0	0,60 - 0,75	0,50 - 0,60	0,40 - 0,50	0,30 - 0,40

In finitura questi valori possono essere aumentati, perché non c'è alcun rischio di danneggiamento del coltello, l'unico elemento da tenere in considerazione è la precisione e la finitura superficiale del pezzo lavorato.

Come si è detto, è intuitivo che lo spessore del truciolo aumenti con l'aumentare dell'avanzamento circonferenziale, ma è necessario notare che la forma del truciolo è molto complessa e che è difficile dare una definizione univoca del suo spessore.

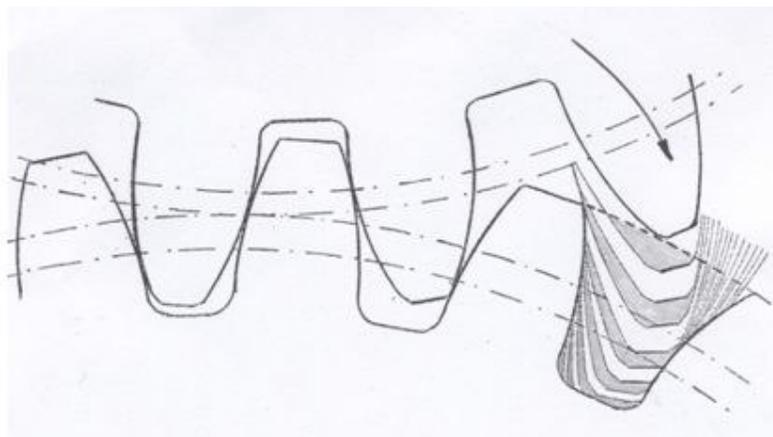


Figura N°6

Basta osservare la figura N°6 per capire, in primo luogo, che non si tratta del solito truciolo , ma che ha una sezione con tre lati, difficile da staccare e da arrotolarsi.

In secondo luogo che è molto più grande nella parte di entrata del coltello, riducendosi quasi a zero in certi punti del tagliente opposto.

Tutto ciò si ripercuote sull'usura del coltello, che è concentrata in prossimità dello spigolo di entrata, verso il diametro esterno. In effetti questo è un bel inconveniente in quanto riduce in un certo senso l'efficienza e la vita del coltello stesso.

Per ovviare in qualche misura a ciò, nelle macchine moderne si possono scegliere alcune varianti al ciclo di lavoro.

La prima consiste nel dentare un pezzo girando con il coltello in senso orario e lavorare poi il successivo girando in senso contrario.

In questo modo si distribuisce meglio l'usura sul coltello a tutto vantaggio del suo rendimento.

Un'altra variante consiste nel modificare la fase di avanzamento radiale prolungandola per un giro completo ed arrivando fino all'interasse finale. In questo modo la traiettoria dell'avanzamento è una spirale ottenuta dalla combinazione dell'avanzamento radiale con quello circonferenziale.

L'effetto è una riduzione dello spessore del truciolo nel lato entrata ed un aumento sul lato opposto e di conseguenza l'usura sul coltello diventa un po' più equilibrata.

Inoltre l'avanzamento a spirale può essere costante, cioè la componente radiale ha lo stesso valore per ogni battuta fino alla fine del ciclo oppure la componente radiale dell'avanzamento a spirale può decrescere gradualmente a mano a mano che ci si avvicina all'interasse teorico.

E' evidente inoltre che in ogni caso, finita la penetrazione ed arrivati all'interasse finale, si dovrà eseguire almeno un altro giro senza avanzare radialmente per portare tutti i denti dell'ingranaggio alla stessa misura.

Tempo di taglio

Il calcolo del tempo di taglio è importante per stabilire in via preventiva il costo dell'operazione di dentatura e la cadenza della stozzatrice, con le implicazioni per il suo inserimento nelle linee di produzione.

Il metodo per la sua determinazione è del tutto intuitivo in quanto consiste nel calcolare prima, per ogni fase, quante battute sono necessarie per finire e la penetrazione e il giro dell'ingranaggio e poi dividere questo numero per il numero delle corse al minuto.

Quindi i dati necessari sono:

- a_{r1} = avanzamento radiale in sgrossatura (mm/corsa)
- a_{r2} = avanzamento radiale in finitura (mm/corsa)
- a_{c1} = avanzamento circonferenziale in sgrossatura (mm/corsa)
- a_{c2} = avanzamento circonferenziale in finitura (mm/corsa)
- p_1 = penetrazione radiale in sgrossatura (mm)
- p_2 = penetrazione radiale in finitura (mm) (p_1+p_2 = altezza del dente)
- D_p = diametro primitivo dell'ingranaggio (mm)
- $\Pi \cdot D_p$ = lunghezza della circonferenza primitiva (mm)
- N_1 = numero di corse al minuto in sgrossatura
- N_2 = numero di corse al minuto in finitura.

Risulta così facile calcolare il tempo di contatto utensile nel caso di taglio in due passate con:

$$T = \frac{p_1}{a_{r1} \cdot N_1} + \frac{\Pi \cdot D_p}{a_{c1} \cdot N_1} + \frac{p_2}{a_{r2} \cdot N_2} + \frac{\Pi \cdot D_p}{a_{c2} \cdot N_2}$$

Si ribadisce che questo non è il tempo ciclo, ma solo il tempo di contatto utensile e quindi a T bisogna aggiungere i tempi di avvicinamento ed allontanamento, i tempi di bloccaggio e sbloccaggio pezzo e quello di carico e scarico pezzo.

Raccomandazioni di carattere generale

Per ottenere un buon risultato nella stozzatura degli ingranaggi, oltre ad una corretta scelta delle condizioni di taglio, è necessario rispettare alcune condizioni fondamentali relative al montaggio, alla manutenzione del coltello, al corretto bloccaggio del pezzo ed alla scelta di un appropriato olio di taglio.

In primo luogo è raccomandata la verifica della eccentricità del coltello in macchina; essa non dovrebbe superare mai i 0,005 mm e lo stesso valore è richiesto per la planarità.

Il bloccaggio del coltello deve essere eseguito utilizzando distanziali e flange che appoggino sul più grande diametro possibile del coltello, in modo da disporre di una forza di reazione il più vicino possibile ai denti del coltello.

Il coltello deve essere correttamente affilato prima che l'usura assuma valori troppo elevati: un valore limite potrebbe essere compreso tra 0,3 e 0,5 mm.

Una particolare cura deve essere posta per il rispetto degli angoli di affilatura. Ogni scostamento di questi angoli rispetto al disegno provoca inevitabilmente un errore sul profilo del pezzo.

Per avere un'idea di quanto può influire un errore sull'angolo di spoglia frontale η (che normalmente è standardizzato a $\eta = 5^\circ$ - vedere figura N°3) sulla variazione dell'angolo di pressione, si può applicare la seguente formula:

$$\Delta\alpha_n \cong -tg\zeta \cdot \frac{\cos^2 \alpha_n}{\cos^2 \eta} \cdot \Delta\eta$$

in cui:

α_n = angolo di pressione normale

ζ = angolo di spoglia laterale

Nel caso di $\zeta = 2^\circ 15'$; $\eta = 5^\circ$; $\alpha_n = 14^\circ 30'$; si ha:

$$\Delta\alpha_n \cong -0,037 \cdot \Delta\eta$$

nel caso di angolo di pressione di 20° si sarebbe ottenuto:

$$\Delta\alpha_n \cong -0,035 \cdot \Delta\eta .$$

Sono errori abbastanza rilevanti, tanto che la tolleranza consigliata per questo angolo è di $\Delta\eta = \pm 15'$.

La rugosità della superficie di affilatura dovrebbe essere intorno ad $R_a = 0,5$ micron, tenendo presente che una rugosità più alta rende lo spigolo tagliente seghettato riducendo quindi sia il rendimento dell'utensile, sia la qualità della superficie lavorata.

Inoltre una forte rugosità del piano di affilatura rende più difficile lo scorrimento del truciolo e facilita la formazione del tagliente di riporto. E' evidente infine che durante l'affilatura si devono evitare, nel modo più assoluto, i surriscaldamenti del tagliente, cosa questa che ridurrebbe drasticamente la vita del coltello.

E' inoltre tassativo che il coltello dopo l'affilatura venga nuovamente ricoperto con TiN (o con un film di altro tipo) e ciò per conservare un rendimento simile la coltello nuovo.

A questo scopo sarebbe opportuno che sia l'affilatura sia la nuova ricopertura venga eseguita dal un *Centro di Service* specializzato.

Un'altra importante annotazione riguarda il bloccaggio del pezzo che deve impedire nel modo più assoluto cedimenti sotto la forza di taglio o slittamenti, nel senso della rotazione.

Ciò provocherebbe dei grandi errori di profilo e di elica con possibilità di rottura del coltello.

Infine c'è l'olio da taglio che oltre all'importante funzione di raffreddamento della zona di contatto tra pezzo ed utensile, deve essere sufficientemente fluido da pulire costantemente l'area di lavoro impedendo ai trucioli di accumularsi nelle zone pericolose.

L'olio da taglio inoltre deve essere additivato con componenti EP (*Estreme Pressure*) che impediscono, per quanto possibile, la saldatura del truciolo sul petto dell'utensile e la formazione del tagliente di riporto.

Questo fenomeno, a dire il vero, oggi è abbastanza limitato dal ricoprimento TiN, ma resta pur sempre un pericolo in agguato.