

Un corretto impiego dei coltelli stozzatori

Vengono qui fornite alcune notizie relative alla corretta utilizzazione dei coltelli stozzatori sia per ingranaggi esterni che per dentature interne.

Queste informazioni sono soprattutto utili per avere un quadro preciso delle difficoltà che si incontrano nella progettazione e nell'impiego di questo tipo di utensile.

Esiste un grande numero di ingranaggi che devono essere necessariamente dentati con il coltello stozzatore perché non è possibile usare un creatore o una broccia o un altro sistema, essenzialmente per ragioni di ingombro.

Ma ci sono anche molti casi in cui, pur essendo possibile dentare con creatore, si preferisce usare il coltello stozzatore come, per esempio, per eseguire piccole o piccolissime serie, per indisponibilità di dentatrici a creatore o, più semplicemente perché si dispone di un coltello adatto allo scopo e non del corrispondente creatore.

Questo succede con una certa frequenza, per esempio, quando si devono allestire dei prototipi.

E' noto che, dove si può, la dentatura con il creatore è preferibile perché è più economica (ha tempi di esecuzione più brevi) e perché è più precisa.

Infatti, quando si esegue una dentatura con il creatore, ogni singolo dente dell'ingranaggio viene finito da un certo numero di denti dell'utensile, mentre con il coltello stozzatore ogni dente dell'ingranaggio è finito da un singolo dente del coltello e quindi ogni errore presente sull'utensile viene riprodotto inevitabilmente sul pezzo.

Queste considerazioni generali sono sempre valide anche se oggi le cose sono un po' cambiate rispetto qualche anno fa.

Le dentatrici a coltello negli ultimi anni hanno raggiunto un elevato livello tecnologico e, con l'introduzione del controllo numerico che gestisce con assoluta precisione la maggior parte dei movimenti della macchina, l'entità degli errori imputabili alla catena cinematica sono enormemente ridotti. Tanto per dirne una, la guida elicoidale meccanica è stata sostituita in molte macchine da due assi gestiti dal CN, con vantaggio per la precisione e con un aumento enorme della flessibilità, ma la precisione ha tratto anche giovamento dalla gestione elettronica degli avanzamenti che ora possono essere adattati alle specifiche esigenze in ogni momento del ciclo di lavorazione.

Anche sugli utensili si sono avuti incredibili progressi, sia per quanto concerne il loro rendimento (migliori acciai e migliori ricoprimenti), sia per quanto riguarda la precisione ottenibile sul coltello stesso grazie all'impiego di rettifiche a controllo numerico e di abrasivi molto più efficaci.

Le moderne rettificatrici del profilo dei denti del coltello hanno un divisore a CN che permette precisioni sul passo intorno al micrometro ed anche i diamantatori sono gestiti elettronicamente abbinando un'alta velocità di esecuzione ad un elevatissima precisione.

Per queste ragioni al giorno d'oggi i coltelli stozzatori non sono più fortemente penalizzati rispetto agli altri sistemi di esecuzione delle dentature.

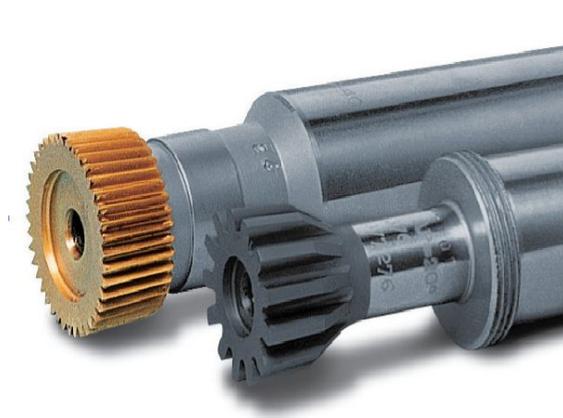


Figura N° 1- *Coltelli per dentatura interna (cortesia Samputensili)*

Ma i buoni risultati sia in termini di durata del coltello che per quanto riguarda la precisione dell'ingranaggio prodotto non sono automatici: essi saranno raggiunti solo se il coltello è progettato ed usato correttamente.

Se si esclude la non corretta scelta delle condizioni di taglio, di cui si è già parlato in un articolo su Organi di Trasmissione del gennaio 2005, sono almeno tre i punti su cui focalizzare l'attenzione per evitare scarsi rendimenti ed imprecisioni sul pezzo lavorato:

- *progettazione*
- *montaggio*
- *affilatura*

Progettazione

In primo luogo parliamo dei coltelli per esterni che presentano problematiche diverse rispetto a quelli per interni.

La difficoltà di progettazione riguarda soprattutto la zona del profilo del coltello che esegue lo smusso sulla sommità del dente del pezzo, cioè il cosiddetto *semitopping*.

Il problema è il mantenimento della dimensione dello smusso e del diametro interno sull'ingranaggio (figura N°2).

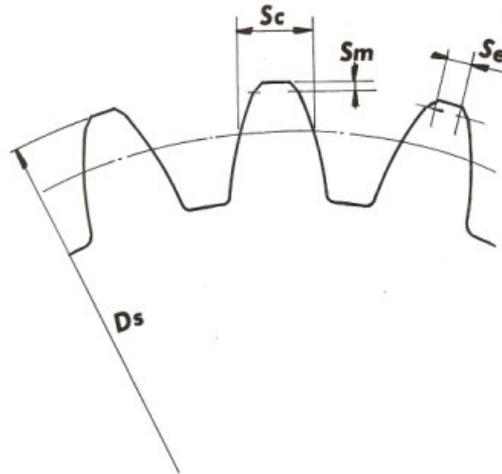


Figura N°2- Schema standard di una dentatura ad evolvente

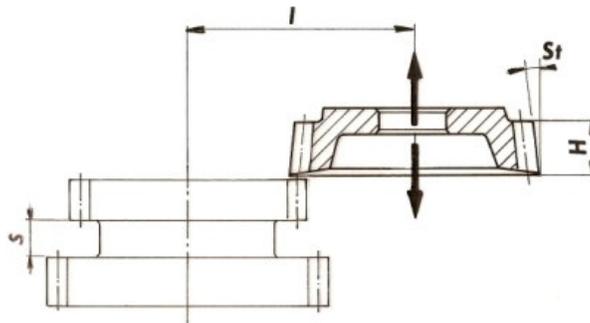


Figura N°3- Schema di dentatura con coltello stozzatore di un ingranaggio sotto battuta

Il motivo per cui non è possibile mantenere costanti questi due parametri è costituito dal fatto che è impossibile accordare la riduzione dello spessore del dente del coltello a seguito delle affilature (che provoca una riduzione dell'interasse tra coltello e pezzo), con la spoglia di testa del coltello e con l'inclinazione del semitopping.

La riduzione dell'interasse l (figura N°3) segue una legge complessa; nella sua rappresentazione matematica appaiono funzioni trigonometriche che rendono la variazione non lineare in rapporto all'altezza H del coltello.

Al contrario, la spoglia di testa del coltello S_t e l'inclinazione della parte destinata ad eseguire gli smussi (che come si è detto è comunemente chiamata semitopping), sono rettilinee e quindi variano linearmente in funzione della riduzione dell'altezza del coltello.

La variazione del diametro interno D_i e dello smusso S_m sono abbastanza rilevanti e a volte coprono tutta la tolleranza assegnata a queste due quote.

Ad inizio ed a fine vita del coltello lo smusso risulterà più grande rispetto a quello che si ottiene a metà utilizzazione del coltello.

Per quanto riguarda poi lo smusso di testa ci sono poi altri motivi di variazione, ad esempio la tolleranza sullo spessore cordale S_c .

A seguito di questa tolleranza l'interasse tra coltello e pezzo può variare ed allora varia sia il diametro interno che l'ampiezza dello smusso.

I coltelli prerasatori lasciano un soprametallo che dipende essenzialmente dal modulo, ma questo soprametallo può variare da un massimo ad un minimo, come si può vedere nel diagramma di figura N°4-a. Tra l'altro gli operatori d'officina generalmente hanno la tendenza a lasciare un soprametallo superiore a quello stabilito per essere più che sicuri che dopo la rasatura non restino tracce del coltello stozzatore.

La tolleranza sul soprametallo in un'operazione di prerettifica e ancora maggiore, come si vede dal diagramma di figura N°4-b, e quindi il problema è aggravato.

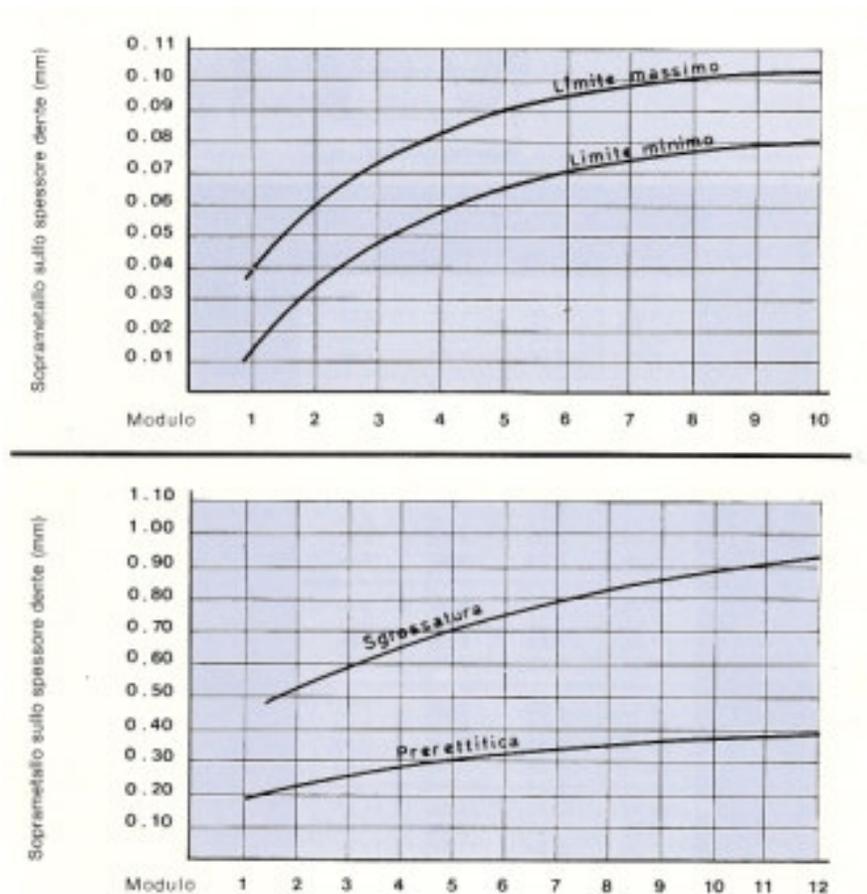


Figura N°4- Diagrammi del soprametallo per rasatura (sopra) e per rettifica (sotto)

Infine lo smusso può variare anche per effetto della tolleranza sul diametro esterno dell'ingranaggio.

Il problema dell'incostanza dello smusso diventa particolarmente grave quando lo spessore del dente sul diametro esterno S_e è piccolo.

In questi casi, se si vuole avere uno smusso significativo a metà vita del coltello, a volte si ha l'incrocio dei due smussi in corrispondenza del diametro esterno ($S_e=0$) quando il coltello è nuovo o è quasi a fine vita. Questa situazione è sempre ad evitare perché rende l'ingranaggio particolarmente vulnerabile alle ammaccature.

Nella progettazione del coltello bisogna tener conto di questi problemi ed è quindi necessario eseguire un'analisi dettagliata della situazione, anche in considerazione di come sarà utilizzato l'ingranaggio.

Per esempio ci sono degli ingranaggi in cui l'inizio del profilo attivo è molto vicino al diametro interno, quasi in corrispondenza del raccordo di fondo dente.

In questi casi una piccola variazione del diametro interno può rendere difficoltosa la successiva operazione di rasatura o, al limite rendere pericoloso l'accoppiamento con la controruota.

Per avere un'idea di quanto siano importanti queste variazioni degli smussi e del diametro interno si possono osservare rispettivamente i diagrammi di figura N°4 e N°5 che si riferiscono ad un esempio di un ingranaggio e di un coltello con le seguenti caratteristiche:

- *Modulo = 2,5 mm*
- *Angolo di pressione = 20°*
- *Numero di denti dell'ingranaggio = 30*
- *Numero di denti del coltello = 40*
- *Angolo di spoglia laterale = 2° 10'*
- *Altezza di utilizzazione del coltello 20 mm.*

Si può facilmente osservare che all'inizio vita del coltello lo smusso è maggiore ed il diametro interno è minore; la situazione opposta si verifica a circa metà vita del coltello per poi ritornare nelle condizioni iniziali a fine vita del coltello.

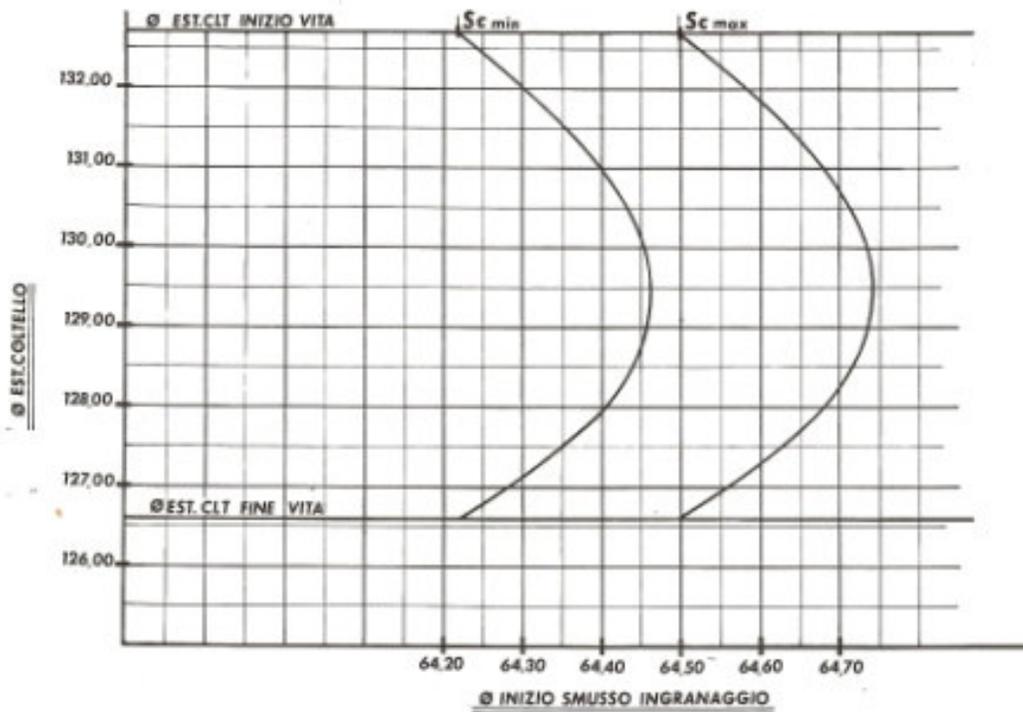


Figura N°5- *Diagramma della variazione di inizio smusso durante la vita del coltello*

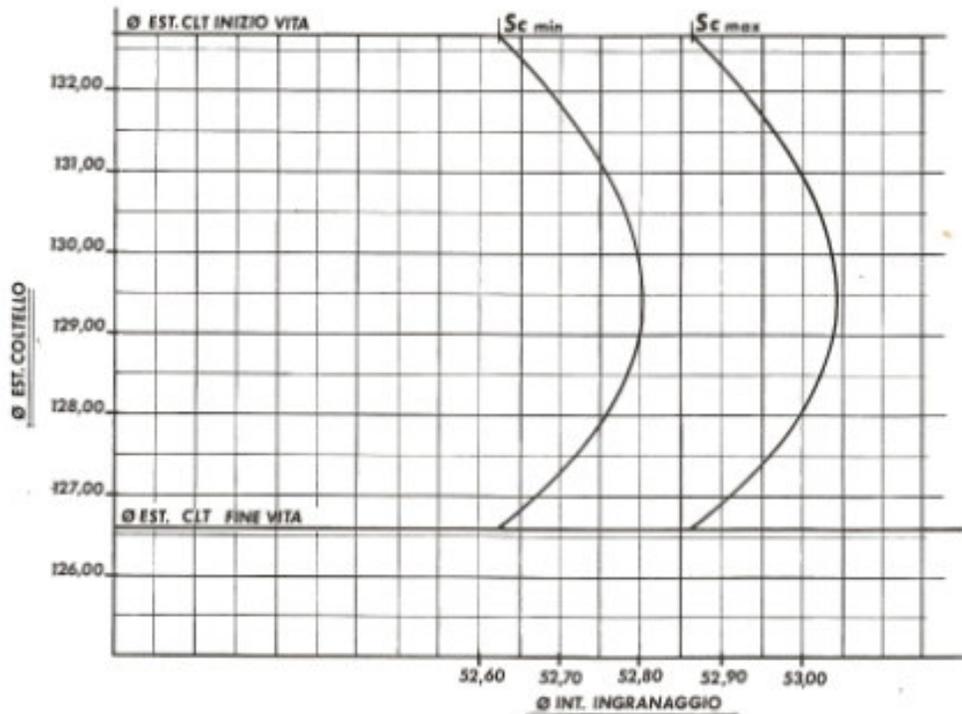


Figura N°6- Diagramma della variazione del diametro interno durante la vita del coltello

In alcuni casi limite non sono tollerabili variazioni dello smusso e del diametro interno di queste entità, allora o si costruiscono coltelli con una utilizzazione molto minore, oppure dopo un certo numero di affilature si ripassa con la rettifica il profilo dei denti.

Un problema del tutto diverso si presenta con i coltelli per interni: l'interferenza. Infatti, se il diametro del coltello è troppo grande rispetto l'ingranaggio da dentare, l'ingranamento non avviene regolarmente.

Si distinguono due tipi di interferenza: quella attiva e quella passiva.

Per *interferenze attive* si intendono gli inconvenienti derivanti dal non corretto ingranamento in certe fasi della rotazione della coppia coltello-pezzo.

In particolare il fianco del dente del coltello interferisce con il dente del pezzo in corrispondenza degli spigoli sul diametro esterno.

Queste interferenze si traducono in una maggiore asportazione di materiale con alterazione del profilo dei denti che si stanno eseguendo.

Le *interferenze passive* si verificano invece quando il coltello si distacca dal pezzo per poter effettuare la corsa di ritorno.

In questi casi si ha lo sfregamento dei fianchi dei denti contro la superficie appena lavorata che determina un'usura per attrito, a volte rilevante.

I fenomeni di interferenza dipendono essenzialmente dal rapporto tra il numero di denti del pezzo ed il numero di denti del coltello, ma è altresì molto importante l'angolo di pressione di funzionamento.

Il pericolo di *tallonamento* durante la corsa di ritorno, cioè l'interferenza passiva, è diminuisce al crescere dell'angolo di pressione e quindi il numero di denti massimo del coltello può aumentare se aumenta l'angolo di pressione di funzionamento.

Anche con l'aumento del numero di denti Z_2 della dentatura interna la situazione migliora, nel senso che può diminuire il rapporto ammissibile, cioè il numero di denti del coltello Z_0 può essere relativamente maggiore.

Il diagramma di figura N°7 mette in relazione il numero di denti dell'ingranaggio (ordinata) con il numero di denti massimo del coltello (ascissa), nel caso di un angolo di pressione di funzionamento di 15° e di 20° con dimensionamento normale e Stub.

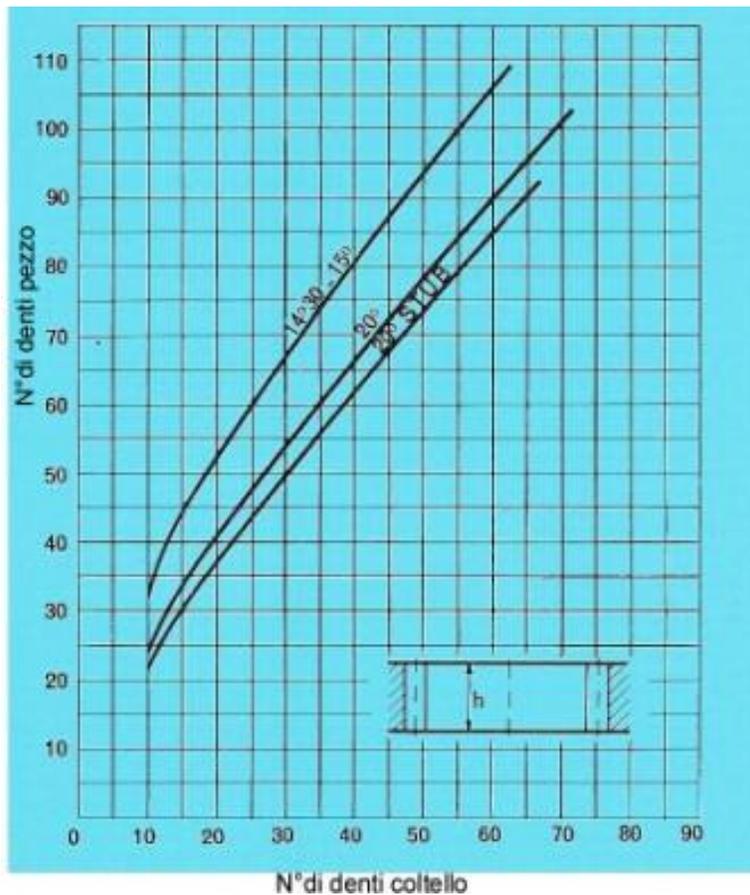


Figura N°7- Diagramma per la determinazione del limite di interferenza tra ingranaggio interno e coltello

Ancora una osservazione: bisogna tener presente che l'angolo di pressione di funzionamento diminuisce a mano a mano che il coltello viene affilato e quindi la situazione, sotto il punto di vista del fenomeno dell'interferenza, peggiora leggermente nel corso della vita del coltello.

Montaggio

A quanto appena detto sull'interferenza passiva si collega un accorgimento di montaggio, se la macchina lo permette, che riduce la gravità di questo fenomeno.

Si tratta di montare il coltello fuori asse dell'entità Y in modo che il distacco avvenga non nella direzione radiale ma con una certa inclinazione rispetto il diametro.

Il senso del disassamento però deve essere scelta in accordo con il senso di rotazione del coltello. La figura N°8 indica schematicamente i sensi di rotazione ed i corrispondenti disassamenti.

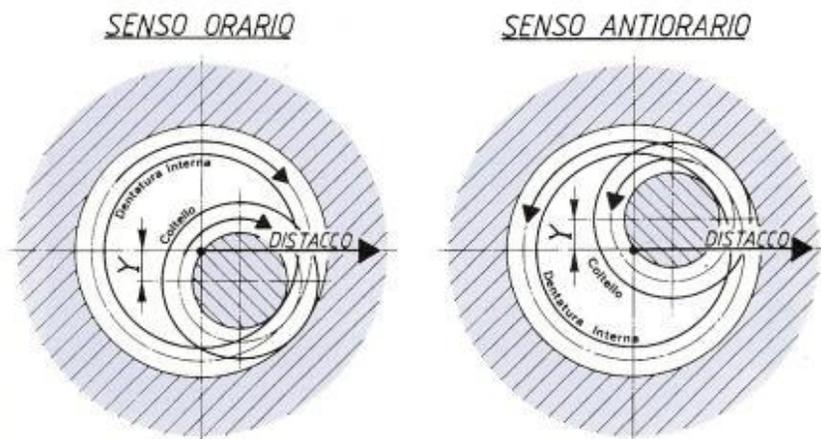


Figura N°8- Direzione del distacco del coltello per evitare l'interferenza passiva

Ma anche quando non esiste il problema dell'interferenza, se si vuole ottenere un ingranaggio privo di grossolani errori, è necessario che il coltello sia montato accuratamente facendo attenzione ai seguenti punti:

- a) *Prima del montaggio del coltello in macchina è necessario controllare che il mandrino ruoti senza errori di eccentricità e di planarità della superficie di appoggio.*
- b) *I piani del coltello montato devono ruotare con un errore di planarità non molto diversa da 0,005 mm.*
- c) *L'eccentricità del coltello montato deve essere inferiore a 0,005 mm.*
- d) *L'anello distanziale (K) deve essere dimensionato in modo tale che il coltello venga bloccato sul maggior diametro possibile, ciò per assicurare una maggiore rigidità: E' opportuno inoltre usare un solo anello distanziale.*

Nella figura N°9 sono illustrati i bloccaggi di coltelli a disco DIN 1825 (a-b), di coltelli a campana DIN 1826 ad inizio vita (c) ed a fine vita (d), di coltelli a collo DIN 1827 (e), di coltelli a mozzo (f) e di coltelli a codolo DIN 1828 (g).

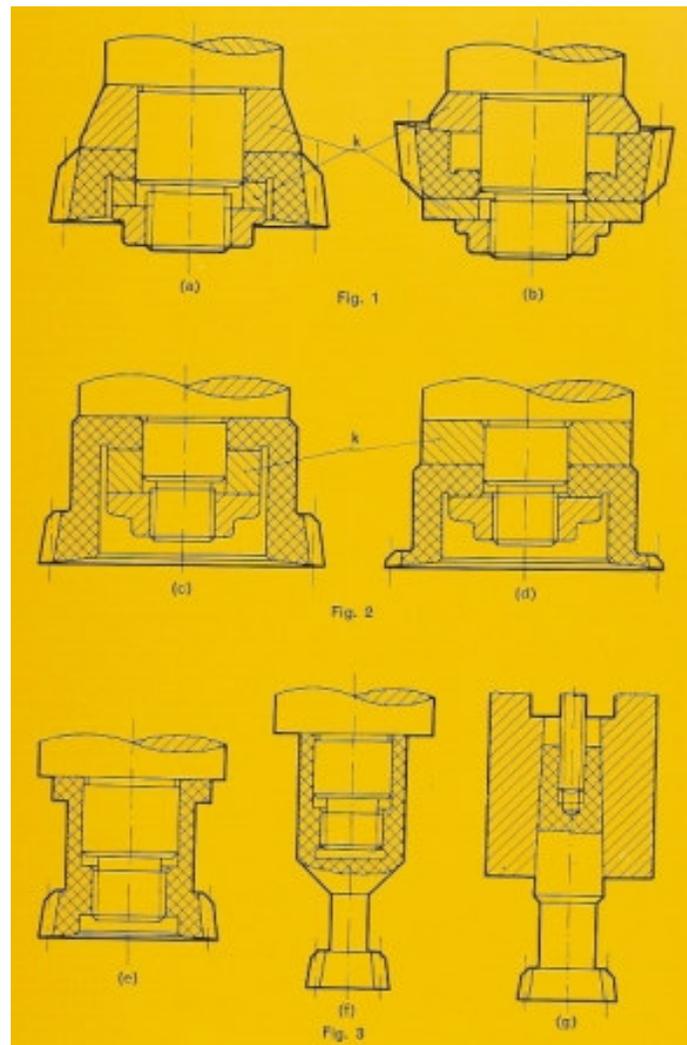


Figura N°9- Esempi di bloccaggio di vari tipi di coltello in macchina

L'affilatura

L'affilatura è un'operazione di fondamentale importanza ai fini della qualità degli ingranaggi prodotti e del rendimento del coltello.

Le condizioni dell'affilatrice devono perciò essere tenute sotto costante controllo ed i parametri di lavoro devono essere scelti con cura così come le mole devono avere una specifica la più adatta al tipo di acciaio con cui è costruito il coltello.

Il primo parametro da osservare scrupolosamente è la rugosità della superficie di affilatura che 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.

Questo fenomeno del tagliente di riporto è molto ridotto con l'introduzione del ricoprimento con TiN dopo ogni affilatura, ma in determinate circostanze, come per esempio nella lavorazione di acciai molto teneri, magari con velocità di taglio basse e con avanzamenti rilevanti (passate di sgrossatura), esso può ancora verificarsi.

In questo caso il continuo formarsi e distaccarsi del tagliente di riporto genera il primo luogo una superficie molto rigata e in secondo luogo si ha un decadimento del rendimento del coltello in quanto l'usura per craterizzazione procede molto velocemente.

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, rendendo possibili forti usure localizzate in vari punti del profilo, o nei casi più drammatici delle scheggiature più o meno profonde.

In questi casi è molto probabile che vengano prodotti molti pezzi di scarto a causa di forti errori di profilo.

Oggi praticamente tutti i coltelli vengono nuovamente ricoperti con TiN o con altri tipi di film dopo ogni affilatura. Questo crea tutta una serie di problemi che, pur non essendo di difficile soluzione, devono essere tuttavia presi in considerazione.

La prima cosa da decidere è: *chi affila il coltello ?*

Se il coltello viene affilato e ricoperto da un *Centro di Service* il risultato è garantito da una procedura standard che mette al riparo da vari inconvenienti anche perché queste procedure prevedono accurati controlli in ogni fase della lavorazione.

Se invece l'affilatura viene eseguita dall'utilizzatore il quale poi provvede ad inviare il coltello alla ricopertura, bisognerà fare molta attenzione che sugli spigoli taglienti non siano presenti delle bavature.

Se si ricoprono dei taglienti che hanno residui di bavatura sugli spigoli questi, durante i primi pezzi tagliati si frastagliano, rompendo il film di ricopertura ed innescando una rapida usura con conseguenze a volte molto gravi sia sul coltello che sui pezzi.

Inoltre surriscaldamenti localizzati durante l'affilatura possono compromettere la buona aderenza del film di ricopertura.

Quindi il consiglio è quello di affidare la manutenzione del coltello ai centri specializzati, i quali, tra l'altro dispongono in genere di macchine ed apparecchi di controllo molto efficienti.

Infine è abbastanza frequente la modifica dell'angolo del piano di affilatura che normalmente è ortogonale all'angolo dell'elica.

La modifica consiste nel ridurre l'angolo di $5^\circ - 8^\circ$ rispetto la normale in modo da rendere acuto lo spigolo d'entrata. Questo tipo di affilatura, indicata schematicamente in figura N°10, è detta "*chip control*" e si effettua in due circostanze.

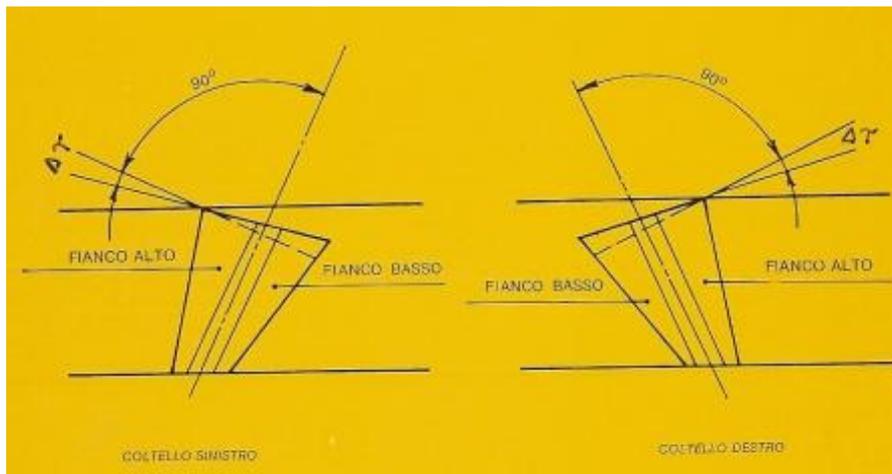


Figura N°10- Affilatura con il sistema "chip control"

La prima è quando si vuole ridurre la sovracorsa di uscita, nei casi che il valore di S sia molto piccolo (vedere figura N°3).

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 accidentali 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.

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.

Si ricorda che lo spigolo di entrata è quello che sopporta il maggior carico durante la lavorazione ed è appunto in questo punto che si concentra la maggiore usura.

In alcune macchine è previsto di poter invertire il senso di rotazione dopo ogni pezzo in modo da consentire una distribuzione più uniforme dell'usura.

L'affilatura tipo *chip control* però deve essere prevista già in fase di progettazione in quanto la variazione dell'angolo di affilatura provoca una variazione dell'angolo di pressione del coltello.

Credo che sia di un certo interesse conoscere il procedimento per il calcolo dei diametri di base di un fianco e dell'altro per il controllo del coltello. In pratica, per l'impostazione dei parametri di rettifica profilo e per il suo successivo controllo è necessario conoscere il diametro di base sulla sezione assiale

I diametri di base sono diversi su un fianco e sull'altro per effetto degli angoli di spoglia laterali, e degli angoli di affilatura, la cosa è ulteriormente complicata nel caso di affilatura del tipo "*chip control*". Per effetto delle spoglie laterali, su un fianco si ha un valore di elica mentre sull'altro il valore è diverso, infatti su un fianco si ha $\beta_{0S1} = \beta_0 + \zeta$, mentre sull'altro si ha $\beta_{0S2} = \beta_0 - \zeta$.

Per il calcolo di questi diametri di base per il controllo dei fianchi si usano le seguenti notazioni:

α_{0n} = angolo di pressione normale

ζ = angolo di spoglia sui fianchi

η = angolo radiale di affilatura (normalmente 5°)

β_0 = angolo di elica sul primitivo

α'_{0n} = angolo di pressione normale corretto

$\Delta\tau$ = angolo del *chip control*

α_{0S1} = angolo di pressione circonferenziale corretto sul fianco alto

α_{0S2} = angolo di pressione circonferenziale corretto sul fianco basso

In assenza del *chip control* l'angolo di pressione modificato per effetto delle spoglie sarà:

$$\operatorname{tg} \alpha'_{0n} = \operatorname{tg} \alpha_{0n} + \operatorname{tg} \zeta \cdot \operatorname{tg} \eta$$

Nel caso di affilatura con *chip control* bisogna sostituire η con η_1 per il fianco alto e con η_2 per il fianco basso essendo:

$$\operatorname{tg} \eta_1 = \operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \alpha_{0n} \cdot \operatorname{tg} \Delta\tau \quad ; \quad \operatorname{tg} \eta_2 = \operatorname{tg} \eta - \operatorname{tg} \alpha_{0n} \cdot \operatorname{tg} \Delta\tau$$

Si possono quindi calcolare gli angoli di pressione circolari corretti da cui poi si risale ai diametri di base di controllo sui due fianchi.

$$\operatorname{tg} \alpha_{0S1} = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_{0n} \cdot \cos \zeta}{\cos(\beta_0 - \zeta)} \quad ; \quad \operatorname{tg} \alpha_{0S2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha'_{0n} \cdot \cos \zeta}{\cos(\beta_0 + \zeta)}$$

$$D_{b1} = \cos \alpha_{0S1} \cdot d_0 \quad ; \quad D_{b2} = \cos \alpha_{0S2} \cdot d_0$$



Figura N°11- *Controllo del profilo di un coltello elicoidale (cortesia Samputensili)*

L'utilizzatore ha in questo modo i mezzi per controllare se il coltello è costruito correttamente.

Nell'ipotesi di errori di profilo sul dente dell'ingranaggio prodotto, è sempre opportuno verificare prima l'esattezza degli angoli di affilatura e poi il profilo dei due fianchi del coltello.