

La rasatura ad assi sincronizzati

La rasatura degli ingranaggi cilindrici è stata per molti anni imperniata su tre metodi tradizionali:

- *rasatura parallela, in cui l'avanzamento relativo del coltello è parallelo all'asse del pezzo;*
- *rasatura diagonale, dove l'avanzamento relativo del coltello ha una direzione inclinata rispetto l'asse del pezzo;*
- *rasatura underpass in cui il coltello si muove in direzione ortogonale all'asse del pezzo.*

I tempi di lavorazione di questi metodi sono relativamente alti; dipendono ovviamente da molti parametri, ma principalmente dalle caratteristiche del pezzo ed in definitiva dalla lunghezza della corsa.

In generale, la rasatura in "parallelo" ha tempi più lunghi rispetto al metodo di rasatura in "diagonale", mentre in "underpass", poiché la corsa di lavoro è la più corta, si hanno i tempi minori, ma sempre nell'ordine di un minuto per gli ingranaggi del settore automotive. La situazione di questa operazione fondamentale di finitura sembrava che non potesse migliorare: i coltelli rasatori erano quelli che erano, nessuna vera novità sulla loro progettazione e costruzione, nemmeno per quanto riguarda i materiali con cui erano costruiti. Poi c'è stato un vero significativo miglioramento con l'introduzione della rasatura a "plongée", o a "tuffo" che dir si voglia.

I tempi si sono ridotti drasticamente, passando a pochi secondi grazie alla corsa di lavoro estremamente ridotta in quanto il coltello rasatore avanza nel senso radiale rispetto al pezzo e quindi deve solamente percorrere un tratto corrispondente al soprametallo da asportare, misurato nel senso radiale, più le sovra corse di entrata. Da quando il coltello inizia il contatto con il pezzo deve avanzare solo per 0,1 – 0,2 mm.

Il ciclo di lavoro nella rasatura a tuffo è piuttosto complesso in quanto gli avanzamenti hanno una sequenza predefinita di valori, sia come lunghezza che come velocità.

Il tratto percorso è diviso in una parte di sgrossatura ed in una finitura, con pausa prima dell'inversione della rotazione.



Figura N°1- Rasatura a tuffo di un ingranaggio con fascia larga su rasatrice Sicmat

E' stato possibile adottare questo metodo grazie soprattutto alle grandi possibilità di gestione dei moderni controlli numerici, di cui ora tutte le macchine rasatrici sono dotate.

Parallelamente anche i coltelli rasatori hanno avuto un grande miglioramento qualitativo con l'adozione del controllo numerico nelle macchine affilatrici, che ora sono in grado di garantire precisioni molto elevate: dell'ordine del micrometro sia sul profilo che sulla divisione ed inoltre permettono l'esecuzione di profili di eliche con modifiche complesse rispetto il teorico.

Si può accennare anche al fatto che pure anche l'acciaio con cui sono costruiti i coltelli ha avuto un significativo miglioramento in primo luogo con l'impiego degli acciai ricavati da polveri (Gruppo PM) che hanno una distribuzione più uniforme dei carburi, una migliore lavorabilità, specie in rettifica ed una minore deformabilità in sede di trattamento termico. E poi ora si usano trattamenti termici più sofisticati, arrivando in molti casi, al trattamento criogeno eseguito immergendo per qualche ora il coltello nell'azoto liquido, il quale migliora la struttura dell'acciaio conferendo una maggiore resistenza all'usura.

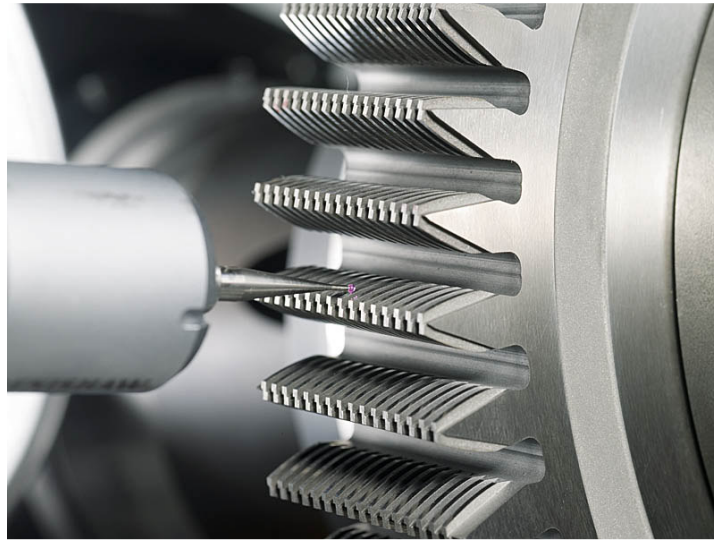


Figura N°2- *Controllo in macchina di un coltello rasatore affilato su una moderna rettificatrice Samputensili mod.S400GS*

Sembrava di essere arrivati al capolinea, ma già da molti anni si stanno commercializzando nuove macchine che rivoluzionano la “filosofia” della rasatura.

Si tratta della rasatura ad assi sincronizzati, (Power Shaving letteralmente “rasatura di potenza”).

Bisogna dire subito che non si tratta in effetti di un nuovo metodo di rasatura, ma di una modifica delle condizioni di lavoro ed inoltre è opportuno precisare fin d'ora che le grandi aspettative che questo sistema di rasatura aveva suscitato, sono andate in gran parte deluse. Vediamo di approfondire un po' il perché.

Nella rasatura tradizionale il pezzo è montato folle ed è trascinato in rotazione dal coltello. Contemporaneamente il coltello è premuto contro il pezzo in modo che la dentinatura penetri nel materiale e per effetto dello strisciamento generato dagli assi incrociati, asporti il materiale dal fianco dell'ingranaggio.

Un problema sempre esistito in rasatura è che il materiale asportato in ogni passata è dell'ordine di 0,01 – 0,02 mm, ma soprattutto che un eventuale errore di divisione presente sul pezzo dentato difficilmente viene corretto.

Con l'intento di aumentare il soprametallo asportabile ad ogni passata e di ridurre drasticamente l'errore di divisione, si è pensato di sincronizzare la rotazione del coltello e del pezzo interpolando due assi del CN.

Cioè il pezzo non gira più folle ma è portato in rotazione da un motore gestito dal CN.

Non c'è dubbio che dal punto di vista teorico i problemi cui si è accennato poco fa potrebbero essere completamente risolti, in realtà non è così a causa della sproporzione che c'è tra la forza necessaria per far penetrare i taglienti del coltello rasatore sul pezzo e quella che praticamente il motore che aziona la rotazione del pezzo può fornire.

Un motore utilizzato per questo scopo può fornire una coppia massima intorno ai 65 Nm . Intanto bisogna considerare che la forza massima applicata normalmente alla superficie, nel punto di contatto, imputabile a questa coppia, dipende dal diametro in cui si ha questo contatto. Più grande è il diametro dell'ingranaggio, minore sarà la forza, a parità di coppia. Per fissare le idee, su un diametro di 200 mm la forza tangenziale sarà di:

$$F = \frac{\text{coppia}}{\text{raggio}} = \frac{65}{0,1} = 650 \text{ N}$$

Questa forza si compone in una componente normale alla superficie F_n ed una parallela alla superficie F_p . Se supponiamo un angolo di pressione di 20° si ha che la forza normale alla superficie F_n sarà:

$$F_n = F \cdot \cos 20^\circ = 650 \cdot 0,94 = 600 \text{ N}$$

Se i punti di contatto sono 4, cioè 2 sul fianco destro e 2 sul fianco sinistro, questa forza che fa ruotare il pezzo sarà dimezzata, cioè sarà approssimativamente di 300 N

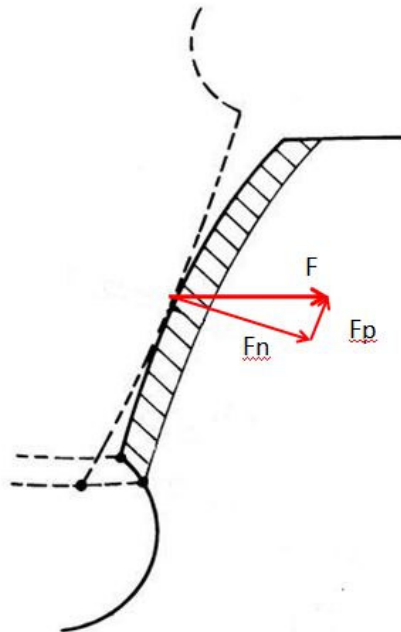


Figura N°3- Scomposizione della forza tangenziale fornita dal motore sul pezzo

Nella rasatura tradizionale la forza applicata radialmente al coltello dipende da vari fattori, come la larghezza della fascia dentata, il modulo, l'angolo di pressione, il materiale, ecc. ma considerando un coltello di modulo 2 mm e di angolo di pressione di 20° con fascia dentata intorno ai 20 – 25 mm. La forza di spinta radiale è di circa 4000 N. Questa forza si scompone in più componenti, in accordo con il numero di punti di contatto (vedere figura N°4).

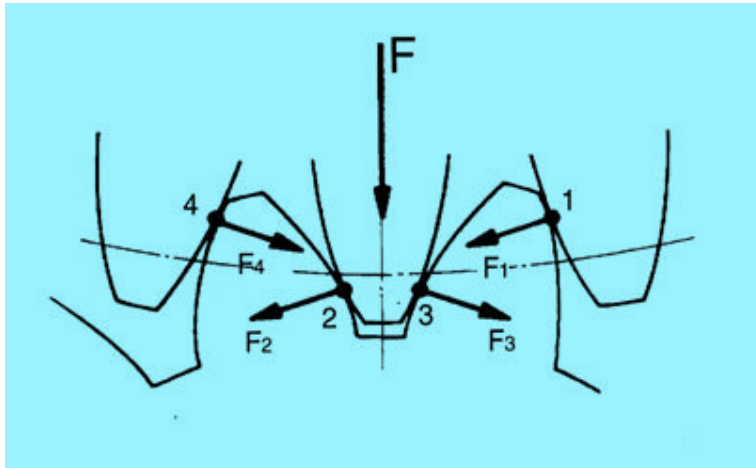


Figura N°4- Scomposizione delle forze nella rasatura nel caso di 4 punti di contatto

Se si suppone una situazione in cui i punti di contatto sono 4, secondo le regole di progettazione del metodo dei contatti pari, si ha come valori delle componenti normali alle superfici:

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \frac{F}{4 \cdot \sin 20^\circ} = \frac{4000}{4 \cdot \sin 20^\circ} = 2920 \text{ N}$$

Questa va paragonata ai 300 N della forza massima su ogni punto che può fornire il motore che aziona la rotazione del pezzo, che è quindi circa 10 volte inferiore.

Se poi supponiamo che i punti di contatto invece di essere 4 siano 2, condizione che si verifica abbastanza frequentemente, la proporzione è ancora la stessa, forza fornita dal motore sarebbe solo il 10% di quella generata dalla spinta verticale.

Si capisce quindi che, come dimostrato da numerose esperienze, l'asportazione per passata nella rasatura ad assi sincronizzati è praticamente uguale a quella che si ha nella rasatura tradizionale.

In verità con gli assi sincronizzati si può aumentare un po' la velocità di avanzamento del coltello. Infatti, nella rasatura tradizionale, la componente tangenziale della forza che il coltello esercita sul pezzo è dedicata al trascinamento dello stesso.

Ora il trascinamento è indipendente e tale componente, asimmetrica per giunta, non c'è più.

Se pensiamo alla rasatura tradizionale in plongeè, l'avanzamento radiale potrebbe essere, in un caso standard, di 1,3 mm/min in sgrossatura e 0,7 mm/min in finitura.

Ebbene, nella rasatura ad assi sincronizzati questi valori possono essere aumentati del 10–15%.

Si potrebbe a questo punto suggerire di montare motori di trascinamento più potenti in modo da consentire una pressione maggiore, ma ci sono due problemi: il primo è che il motore diventerebbe troppo ingombrante ed il secondo che sorgerebbero dei seri problemi di trascinamento del pezzo che, non bisogna dimenticarlo, è bloccato su due flange solo per pressione ed il suo trascinamento è possibile solo per le forze di attrito contro le sue superfici laterali. Oltre un certo limite il pezzo potrebbe slittare con gravi inconvenienti.

La rasatura ad assi sincronizzati è stata concepita per le grandi produzioni e quindi solo per lavorare in plongeè.

Ma è interessante notare che essa è difficilmente applicabile agli altri metodi di rasatura, anche se dal punto di vista teorico sarebbe possibile. Vediamo perché.

Nella rasatura parallela, se si rasano ingranaggi elicoidali bisogna assegnare alla coppia pezzo-coltello una rotazione differenziale per poter seguire l'elica, analogamente a quanto

si fa della dentatura con creatore di ingranaggi elicoidali. Non è un grandissimo problema, ma trattandosi di un'operazione di finitura, l'inserimento dei dati deve avvenire tenendo conto almeno della quarta o quinta cifra decimale.

Nella rasatura underpass la situazione è molto più complicata perché, pur essendo la rotazione indifferente all'elica dell'ingranaggio, la rotazione stessa dipende dal diametro primitivo di funzionamento. Per rendersi conto di ciò, pensiamo il coltello ed il pezzo fermi, cioè privi di moto rotatorio, ed ingranati tra loro. Ora, senza porli in rotazione, spostiamo il coltello tangenzialmente rispetto al pezzo, nella direzione cioè dell'avanzamento.

Questo movimento del coltello farà ruotare il pezzo. L'entità di questa rotazione dipende appunto dal diametro primitivo di funzionamento e il CN deve sommarla alla velocità che il pezzo avrebbe in un ingranamento normale.

E questo diventa un grande problema, perché il diametro primitivo di funzionamento varia ad ogni affilatura che il coltello subisce e quindi è necessario conoscere esattamente questo valore altrimenti si generano notevoli errori di divisione. Il valore del diametro primitivo di funzionamento viene ricavato, dopo l'affilatura, con la misura dello spessore su più denti W_z , e questa misura è molto delicata.

Nella rasatura diagonale si ha la somma dei due problemi precedenti perché bisogna tener conto dell'elica (assegnare il differenziale della rotazione) e sapere esattamente il valore del diametro primitivo di funzionamento.

Nella rasatura a plongée infine non esiste nessun problema di quelli sopra descritti.

Un altro svantaggio, se così si può dire, è il fatto che la rasatrice destinata a lavorare ad assi sincronizzati costa all'incirca il 20% in più di una macchina tradizionale.

Il maggior costo è dovuto essenzialmente all'aggiunta di un nuovo elettromandrino (direct drive) per la rotazione del pezzo, con l'utilizzazione di un nuovo asse interpolato del CNC. Tali mandrini sono abbastanza costosi anche perché, tra le altre cose, devono essere refrigerati con uno specifico circuito che prevede l'uso di "glicole".

Fino a questo punto abbiamo parlato di svantaggi di questo tipo di rasatura, ma esiste anche qualche vantaggio.

Al primo si è già accennato, cioè alla possibilità di aumentare un po' l'avanzamento e quindi di ridurre il tempo ciclo, parliamo di un 10-15% del tempo contatto pezzo.

Il secondo è che effettivamente, nonostante tutto, si riesce a correggere di un 10 – 15 % l'errore di divisione. Questo è abbastanza naturale in quanto le due rotazioni sono sincronizzate e, se pur molto piccola, esiste una forza che contrasta la deviazione che provocherebbe un errore di divisione sul pezzo dentato.

Qui bisogna accennare al fatto che, mentre in generale il diagramma dell'errore di divisione (o eccentricità) ha all'incirca un andamento sinusoidale, con periodo uguale ad un giro del pezzo, nelle prove sperimentali condotte dalla Sicmat (Pianezza - Torino), risulta che l'ampiezza dell'errore si è ridotto appunto del valore di cui si è detto ma che la frequenza della sinusoide si è raddoppiata, in altre parole in una rotazione del pezzo si può osservare una sinusoide con un ciclo ogni mezzo giro. Non si è ancora chiarito del tutto l'origine di questo fatto.

Un vantaggio ulteriore derivato dalla sincronizzazione delle rotazioni, è la fasatura automatica tra pezzo ed ingranaggio.

E' noto che uno dei più fastidiosi problemi nelle lavorazioni in automatico è quello dell'entrata del dente del coltello sul vano del dente dell'ingranaggio durante la fase di avvicinamento del coltello al pezzo.

Nelle rasatrici tradizionali il coltello "tenta" di entrare una prima volta e, se l'apposito sensore informa che l'interasse non è quello giusto, il coltello ritorna indietro e riprova.

Questo, nei cicli automatici, comporta un allungamento medio del tempo ciclo e, se si lavorano ingranaggi di modulo molto piccolo, c'è il grande pericolo di rompere qualche dente del rasatore.

Questo problema è superato con gli assi sincronizzati in quanto i mandrini si possono orientare automaticamente riducendo mediamente il tempo ciclo e ciò è molto apprezzato dagli utilizzatori.

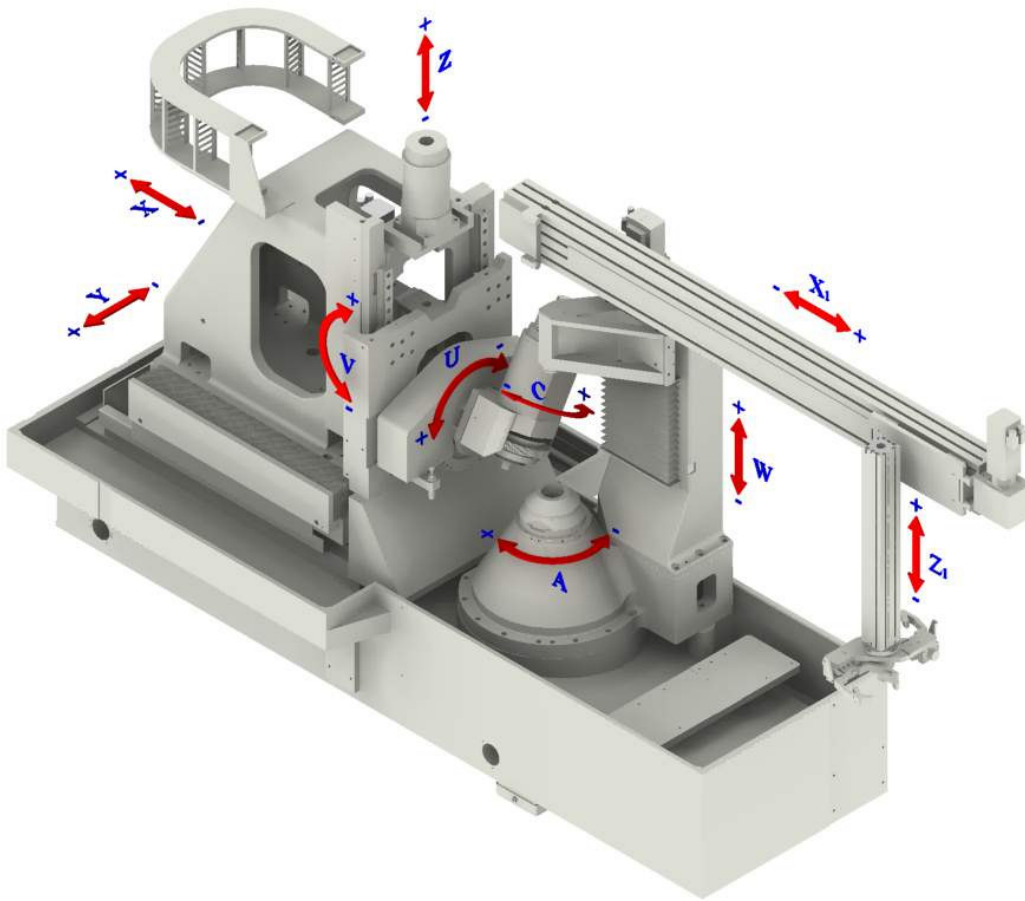


Figura N°5- Schema assi della rasatrice Sicmat RASO 250 TP

La Sicmat, azienda che produce macchine rasatrici dal 1950, ed è quindi fortemente specializzata in questo settore, ha messo a punto una rasatrice ad assi sincronizzati individuata come modello RASO 250 TP (Twin Power).

Essa ha l'asse pezzo verticale e sincronizzato con il coltello rasatore, automazione integrata veloce e flessibile, assi slitte a croce con motori lineari.

Per i motivi di cui si è detto in precedenza, la macchina viene offerta in alternativa alle macchine tradizionali, come fanno del resto anche altri costruttori, ma alcuni utilizzatori la preferiscono, nonostante il maggior costo, per il fatto che, avendo l'asse pezzo verticale, il carico e scarico avviene con maggior semplicità ed inoltre si ha un aumento della produttività dovuto al maggior avanzamento possibile ed alla fasatura automatica al primo tentativo di ingranamento tra coltello e pezzo.

Il fatto che la produttività è aumentata, a volte consente di ridurre gli investimenti, là dove una macchina tradizionale sarebbe completamente saturata.

La macchina RASO 250 TP può inoltre essere facilmente adattata per un altro tipo di processo di finitura: *la honatura*.

In sostanza si tratta di sostituire il coltello rasatore con un utensile abrasivo avente la dentatura esterna e di variare opportunamente le condizioni di lavoro.

Questo metodo di finitura era già stato sperimentato in passato usando le macchine tradizionali, ma i risultati non erano mai stati molto buoni, a causa della scarsa possibilità di controllo dei profili ed eliche dovuta essenzialmente al fatto che utensile e pezzo non avevano rotazioni sincronizzate.

Ora le cose sono cambiate e si aprono migliori prospettive.

In questo campo la Sicmat è già in fase di avanzata sperimentazione con la macchina *honatrice* mod. Grono 250.