

La rumorosità degli ingranaggi (3^a parte)

Per concludere la discussione su questo argomento iniziato nella parte 1^a e 2^a, si può esaminare l'influenza delle lavorazioni e delle relative precisioni sulla rumorosità degli ingranaggi.

In linea generale si può capire che l'ingranaggio con un profilo teorico non va bene. E' richiesta sempre una modifica del profilo e dell'elica per ottimizzare il rumore, cioè per compensare sia gli errori di fabbricazione (profilo, passo, eccentricità, elica e allineamento), sia per compensare le flessioni del dente dovute al carico.

Poiché gli errori di fabbricazione, anche se restano dentro a determinate tolleranze, sono del tutto casuali, costituiscono un fattore di incertezza nel risultato che una determinata modifica di profilo può avere.

Ne consegue che più l'ingranaggio, nel suo insieme, è preciso, più probabilità ci sono di "centrare" le modifiche del profilo ottimali.

Purtroppo però costruire un ingranaggio preciso costa, ed il suo costo è tanto maggiore quanto più alta è la precisione voluta.

Nelle produzioni di grandi serie (es. automobile) questi costi possono essere insostenibili ed allora si adottano soluzioni di compromesso, accettando degli accoppiamenti non propriamente ottimali, sotto il punto di vista del rumore, ma compensando questo difetto con una forte insonorizzazione della scatola cambio o tenendo la fonte del rumore il più lontano possibile da chi il rumore lo percepisce,.

Per questo motivo, la maggioranza degli ingranaggi montati nelle automobili, specie quelle di piccola e media cilindrata, vengono finiti con la rasatura.

Questo metodo di finitura ha il grosso vantaggio di costare poco sia in termini di tempo ciclo, sia per l'incidenza dell'utensileria, sia, soprattutto, per gli investimenti relativi alle macchine.

Purtroppo però è un'operazione che si deve fare sul tenero, cioè prima del trattamento termico e ciò non consente di ottenere una buona precisione sul prodotto finale.

Le deformazioni dovute al trattamento termico sono prevedibili fino ad un certo punto, ma costituiscono sempre un fattore di peggioramento della qualità; in generale si può dire che questo peggioramento è dell'ordine di 1-2 classi DIN.

Recentemente si sta sviluppando un nuovo tipo di trattamento termico: *la nitrurazione gassosa*. Questo trattamento, unito all'impiego di nuovi acciai permette una grandissima riduzione delle deformazioni da trattamento termico: fino a due o tre volte minori, ma con tempi di esecuzione molto alti. Si rimanda, a tale proposito, alla Relazione presentata dalla Colmegna - Trattamenti Termici al Convegno Tecnico Assiot del 12/10/2004.



Figura N°1 - Gruppo di alberi dentati

Tuttavia la rasatura presenta almeno un'altra grave lacuna: non riesce a correggere bene gli eventuali errori di passo lasciati dall'operazione di dentatura.

Oggi in commercio ci sono le rasatrici *Power Shaving*, che hanno gli assi coltello e pezzo sincronizzati tra loro. Questo riduce un po' l'errore di divisione.

E' indubbio quindi, che se si escludono dalle considerazioni, i tempi ed i costi, la rettifica è il metodo di finitura più idoneo ad ottenere ingranaggi precisi e quindi con minori problemi di rumorosità.

Il discorso a questo punto sembrerebbe esaurito, ma se quanto detto potrebbe essere sufficiente per una buona parte di ingranaggi di modulo medio-piccolo usati dall'autotrazione, in molti riduttori ed in altri impieghi non particolarmente impegnativi, non è certo sufficiente se si considerano ruotismi di grosso modulo che devono trasmettere potenze elevate, magari a forte velocità o che lavorino in ambienti in cui sono richiesti livelli di rumorosità molto bassi.

In questi casi affermare che è sufficiente rettificare gli ingranaggi per risolvere il problema è sbagliato.

Infatti le semplici modifiche relative al profilo (spoglia di testa e di piede) e dell'elica (bombatura) si avvicinano solamente alle condizioni ottimali.

Se si pensa che le forze che agiscono su ogni singolo dente cambiano durante la rotazione, in intensità, direzione e punto di applicazione, si può capire che la flessione di questo dente sarà continuamente variabile.

In teoria in ogni sezione normale del dente si dovrebbe avere una diversa correzione di profilo.

Questo introduce il concetto di *modifica topologica della superficie del dente*.

A questo proposito si può consultare il lavoro dell'ing. H. Geiger "*Noise Optimized Modification*" (Technical Paper –AGMA 04FTM2) dove appunto si dimostra che l'ottimizzazione della rumorosità passa attraverso la modifica topologica del dente.

Il problema però è come eseguire questa modifica.

L'autore di cui sopra se la sbriga in poche righe affermando che con la rettifica per generazione si possono attuare queste modifiche, mentre con la rettifica di forma ciò non è possibile.

Per evitare qualche malinteso però è necessario fare alcune distinzioni e precisazioni.

Intanto, con la rettifica con il metodo di forma, è vero che non si possono fare delle modifiche topologiche matematicamente perfette; il contatto della mola avviene lungo una linea inclinata che va dalla testa al piede e quindi non è possibile eseguire modifiche punto per punto.

Ci si può avvicinare al risultato voluto agendo sul profilo della mola e gestendo gli assi dei movimenti assiale, radiale e rotatorio, ma si può solo arrivare ad un risultato approssimato.

Nelle rettifiche per generazione bisogna in primo luogo definire che tipo di lavorazione si prende in esame tra i seguenti.

- 1) *Rettifica per generazione con mola traslante piana di piccolo diametro che rotola sul diametro di base (rettifica del tipo Maag, per intenderci).*
- 2) *Rettifica per generazione con mola fissa piana di grande diametro che rotola sul diametro primitivo, come per esempio le affilatrici dei coltelli rasatori.*
- 3) *Rettifica per generazione con mola traslante conica o biconica di diametro relativamente piccolo, che rotola sul diametro primitivo e che lavora su un fianco alla volta.*
- 4) *Rettifica per generazione continua con mola a vite.*

Solo il primo metodo di rettifica, peraltro non più molto usato, può consentire una modifica topologica molto vicina a quella teorica, perché il contatto mola-pezzo avviene in un solo punto, o comunque in un'area molto piccola, e disponendo di un apposito software e di molta pazienza, si può ottenere la superficie che si vuole.

Nel secondo metodo di rettifica non è assolutamente possibile ottenere modifiche topologiche della superficie in quanto il contatto avviene lungo una linea, più o meno

inclinata, che attraversa tutta la fascia dentata. Non sono possibili quindi modifiche puntuali.

Nel terzo metodo il contatto tra mola e pezzo avviene su un'area più o meno estesa in funzione del soprametallo asportato per ogni passata, della curvatura della superficie del dente, del diametro della mola e della sua conicità (angolo di pressione).

Si può fare quindi solo una modifica topologica approssimativa, ma non matematicamente perfetta.

Infatti la superficie del dente risulta attraversata da un solco di andamento simile ad una sinusoidale le cui caratteristiche dipendono dal rapporto tra la velocità di generazione e la velocità di traslazione assiale della mola.

Maggiori dettagli si trovano sul libro dell'ing. Thomas Bausch "*Moderne Zahnradfertigung*" (Export Verlag- Germania).

Infine con il metodo della generazione continua con mola a vite non è possibile alcuna modifica topologica, in primo luogo perché si toccano i due fianchi contemporaneamente, poi perché ci sono più denti in presa ed infine perché questi denti sono in contatto ognuno su una sezione normale diversa.

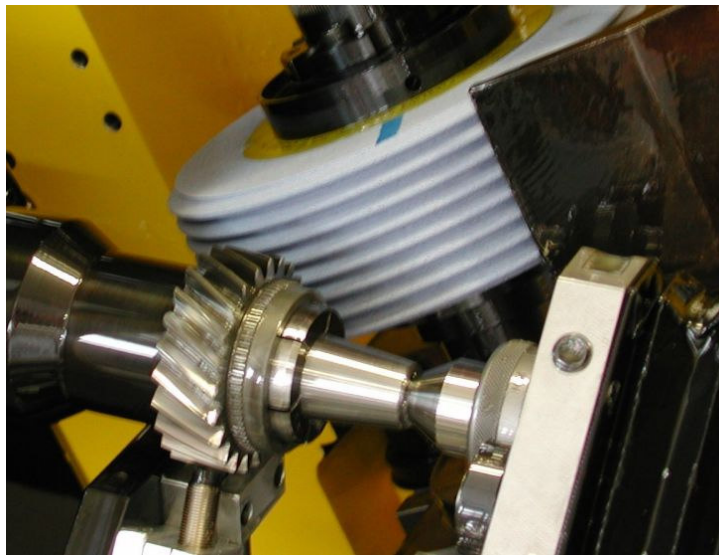


Figura N°2- Rettifica di un ingranaggio con mola a vite

Considerazioni sulla stato delle superfici

Una certa importanza, agli effetti della rumorosità, hanno le tracce lasciate dall'operazione di rettifica, cioè la loro profondità e la loro direzione.

In genere la rettifica fornisce una rugosità di $Ra = 0,4 - 0,6$ micron.

Si è già detto che durante l'accoppiamento, all'infuori del diametro primitivo, si hanno degli strisciamento tra le superfici dei denti della ruota e della controruota.

Questi strisciamento, in direzione radiale, hanno senso opposto a seconda che il contatto sia sopra o sotto il diametro primitivo e sono tanto più intensi quanto maggiore è la distanza dal primitivo.

Dove c'è strisciamento c'è una forza d'attrito e questa forza, quando inverte il senso, può innescare vibrazioni.

Le tracce lasciate dalla rettifica di forma, attraversano tendenzialmente in modo longitudinale il dente e sono quindi all'incirca ortogonali alla direzione di scorrimento dei profili. Cioè è la condizione peggiore agli effetti dell'attrito.

In alcune circostanze, dove la rugosità è più alta e dove le pressioni sono forti, si può arrivare alla rottura del film di lubrificante con conseguenze gravi anche per la vita dell'ingranaggio.

Sotto questo punto di vista è preferibile rettificare con il metodo per generazione, specie se è con mola a vite.

Ancora meglio è la levigatura interna, rappresentata in figura N°3, dove le tracce di lavorazione sono all'incirca nella direzione dello scorrimento dei profili.

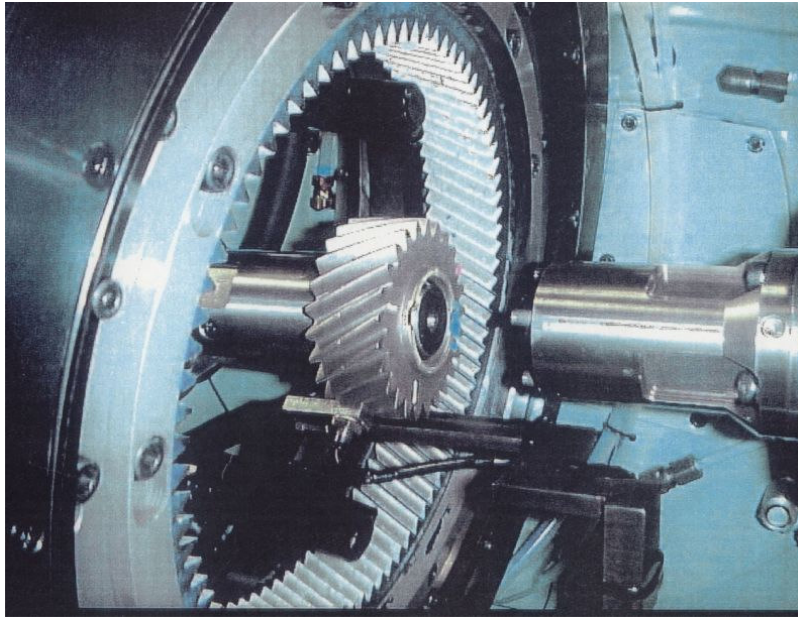


Figura N°3- *Finitura di un ingranaggio con la levigatura interna.*

Un'ultima annotazione: è opportuno che due ingranaggi che si accoppiano, siano finiti con due metodi diversi ad esempio: rasatura e rettifica, oppure rettifica di forma e rettifica per generazione ecc.

In questo modo si rendono incompatibili le tracce di lavorazione di un ingranaggio rispetto al suo accoppiante.