

## La finitura con i creatori: qualche considerazione

Tra i molti sistemi di finitura degli ingranaggi sta venendo alla ribalta quello eseguito direttamente con i creatori.

Sarebbe più esatto dire che sta ritornando alla ribalta, perché finire direttamente con creatore non è certo una novità.

Già da molti anni, se non da qualche decennio, si finiscono con creatore ingranaggi di grandi e medie dimensioni, dopo trattamento termico per giunta, con i creatori skiving; ma anche sul tenero si usano, in certi casi, creatori con altissimo numero di principi e di taglienti per finire l'ingranaggio direttamente nella fase di dentatura.

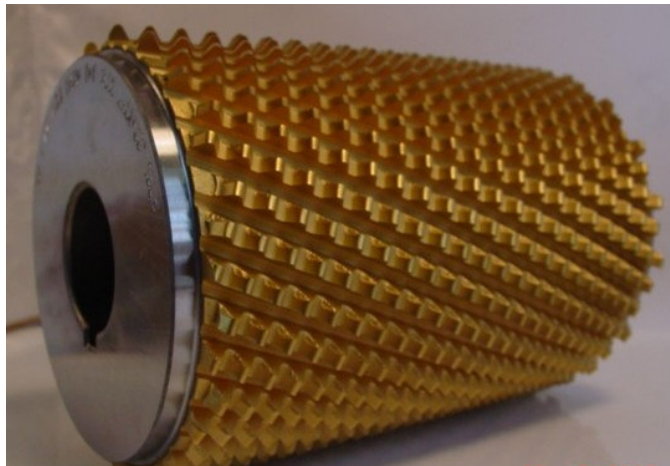
Infine già da molti anni si possono finire gli ingranaggi con il creatore lavorando a grandissime velocità di taglio, a secco, con creatori in metallo duro (*carbide*).

Allora cos'è questa novità di cui si parla negli ultimi tempi?

Il fatto è che nei casi citati si tratta di lavorazioni con particolari caratteristiche, che non rappresentano la generalità dei casi.

Per esempio i creatori skiving, usati sui pezzi già temprati, vengono impiegati su ingranaggi che hanno forti deformazioni di trattamento termico e che sarebbe difficile, se non impossibile, finire con il rasatore. Sono ingranaggi talvolta molto grandi che richiederebbero, per essere rettificati, macchine enormi e costosissime, che sarebbero antieconomiche per una produzione non molto elevata.

Nel caso di creatori con moltissimi principi, di cui se ne può vedere uno in figura N°1, si tratta normalmente di ingranaggi usati nel differenziale di tipo Torsen, con fortissimi angoli d'elica e pochissimi denti, dove la rotazione, se c'è, è lenta e non produce rumorosità apprezzabile.



**Figura N°1**

Infine, per gli ingranaggi finiti con i creatori in metallo duro, a secco, si tratta di ingranaggi senza particolari correzioni di profilo che inoltre vengono lavorati in un'operazione specifica, con una macchina dedicata.

Lo scopo che si prefigge oggi la finitura con il creatore è quello di ridurre il numero di operazioni necessarie a produrre l'ingranaggio, in altre parole eliminare la rasatura o la rettifica con una possibile potenziale economia sul tempo totale e sull'investimento per la linea di produzione.

Inoltre l'operazione di finitura con creatore dovrà essere in grado di realizzare alcune modifiche della geometria del dente sia per quanto riguarda l'elica che il profilo, cioè quello che oggi si preferisce definire come gestione della topologia del dente.

Vediamo ora di esaminare un po' più in dettaglio i vantaggi ed i problemi legati a questa tecnica di finitura.

Per prima cosa va detto che il rilancio di questo metodo di finitura è stato possibile grazie alle dentatrici di nuova generazione, gestite da controlli numerici con tecnica digitale e dotate di motori "direct drive" di alta precisione e, in alcuni casi, anche di motori lineari.

Ciò ha consentito in primo luogo di poter montare su un unico mandrino sia il creatore di sgrossatura che quello di finitura ed in più, se si vuole, anche gli utensili smussatori, come indicato in figura N°2.



**Figura N°2-** Mandrino con creatori sgrossatore e finitore ed utensili smussatori montato su dentatrice Liebherr LC150

Questo mandrino, che non si riferisce all'esempio di lavorazione riportato in seguito, è un esempio delle possibilità delle moderne dentatrici.

Nella figura i riferimenti sono:

- 1)- Dado di bloccaggio ad espansione.
- 2)- Creatore sgrossatore (cono foro).
- 3a)- Utensile smussatore per prima facciata.
- 3b)- Utensile smussatore per seconda facciata.
- 4)- Creatore finitore (a gambo).

Oltre a ciò, con queste macchine si possono gestire alcune modifiche dell'elica e del profilo, come si vedrà più avanti.

In sostanza il vantaggio dovrebbe essere di poter finire l'ingranaggio su una stessa macchina, eliminando i tempi di smontaggio e montaggio e di evitare l'acquisto di macchine di rasatura o di rettifiche.

Le cose però non sono così semplici!

Bisogna infatti considerare che si devono fare comunque due lavorazioni: una passata di sgrossatura ed una di finitura dopo aver fatto il posizionamento automatico del secondo creatore.

Si ha quindi una somma dei tempi che non sempre permette di evitare la spesa d'acquisto di una macchina. Per alte produzioni, dove la cadenza della linea è definita dai tempi di finitura dei denti, infatti saranno necessarie due dentatrici anziché una dentatrice ed una rasatrice (o rettifica), e questo per non penalizzare tutte le macchine della linea.

Prima di esaminare il problema delle modifiche topologiche, vediamo di che ordine di grandezza sono i tempi di dentatura e di finitura, facendo riferimento all'esempio riportato nella relazione Liebherr (Dr. Ing. Oliver Winkel) al Seminario sugli Ingranaggi organizzato dalla Sigma Pool il 29/9/2006 a Piacenza.

Si tratta di eseguire un ingranaggio satellite con le seguenti caratteristiche:

- *Modulo = 1,25 mm*
- *Numero di denti = 32*
- *Angolo di elica = 20°*
- *Angolo di pressione = 17°30'*
- *Larghezza fascia = 20 mm*
- *Diametro esterno = 47 mm*

Nella tabella seguente sono riepilogati i dati di lavorazione nelle due fasi.

	<i>Sgrossatura</i>	<i>Finitura</i>
<i>Materiale del creatore</i>	<i>PM - HSS</i>	<i>PM - HSS</i>
<i>Diametro esterno creatore (mm)</i>	<i>60</i>	<i>60</i>
<i>Numero solchi affilatura</i>	<i>17</i>	<i>23</i>
<i>Numero di principi del creatore</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
<i>Lunghezza utile del creatore (mm)</i>	<i>144</i>	<i>35</i>
<i>Numero di passate</i>	<i>1</i>	<i>1</i>
<i>Refrigerante</i>	<i>A secco</i>	<i>A secco</i>
<i>Velocità di taglio (m/min)</i>	<i>220</i>	<i>400</i>
<i>Numero giri al minuto del creatore</i>	<i>1168</i>	<i>2123</i>
<i>Numero di giri al minuto del pezzo</i>	<i>73,0</i>	<i>265,4</i>
<i>Avanzamento (mm/giro pezzo)</i>	<i>5,1</i>	<i>0,8</i>
<i>Penetrazione radiale in finitura (mm)</i>	<i>--</i>	<i>0,1</i>
<i>Lunghezza corsa del creatore (mm)</i>	<i>35</i>	<i>35</i>
<i>Tempo contatto utensile (min)</i>	<i>0,09</i>	<i>0,16</i>
<i>Tempo totale (min)</i>	<i>0,25</i>	
<i>Tempo passivo (min)</i>	<i>0,28</i>	
<i>Tempo ciclo (min)</i>	<i>0,53</i>	
<i>Qualità ottenuta</i>	<i>DIN 7</i>	

Riguardo a questi dati si possono fare alcune osservazioni:

- *La qualità ottenuta è DIN 7 che è un po' peggiore di quella ottenibile in rasatura (DIN 6). Se si volesse una migliore precisione si dovrebbero aumentare i tempi di esecuzione.*
- *La cadenza della linea sarebbe ancora buona ed in questo caso permetterebbe forse di eliminare la macchina rasatrice. Ma se si trattasse di un ingranaggio appena più grande, ad esempio con 45 denti e fascia 25 mm, il tempo totale sarebbe di 0,69 min. che potrebbe essere già maggiore della cadenza di una linea automatica con una rasatrice.*
- *Il numero di principi dei creatori divide esattamente il numero di denti del pezzo, sia in sgrossatura che in finitura. Oggi la regola di evitare questa condizione, che era tassativa in passato, non è più importante perché le moderne macchine rettificatrici del profilo dei creatori limitano a 1–2 micrometri l'errore di divisione tra i vari principi.*
- *La penetrazione radiale in finitura è di soli 0,15 mm, il che significa un soprametallo per fianco di circa 0,05 mm, cioè una sollecitazione limitata con trucioli molto piccoli. Con i dati di lavorazione di questo esempio e applicando la formula di Hoffmeister, si ricava che gli spessori dei trucioli sono: in sgrossatura 0,181 mm ed in finitura 0,04 mm. Inoltre il soprametallo sul fondo dente è tenuto a zero. Questo permette una riduzione dell'ampiezza del vano tra due denti con aumento del numero dei taglienti ed un conseguente numero di principi.*
- *La scelta di avere un creatore di finitura che non lavori il fondo del dente è dettata dall'esigenza di evitare lo strisciamento della testa del dente sul fondo del vano. In*

*questo modo si limita di molto lo sforzo e l'usura sugli spigoli di testa dei denti del creatore, con un benefico effetto sulla precisione e sulla qualità della superficie.*

- Da quanto sopra ne deriva anche che l'usura del creatore di finitura sarà molto bassa, molto più bassa di quella del creatore sgrossatore ed è per questo che è possibile avere un creatore finitore di lunghezza molto limitata. In questo modo, quando si cambiano i creatori le loro usure saranno abbastanza simili. L'aver scelto un creatore di una lunghezza così piccola inoltre permette di avere una lunghezza complessiva del mandrino non eccessiva e quindi meno soggetto a flessioni.*
- Infine bisogna notare che le velocità di taglio sono molto più alte della norma: 220 m/min in sgrossatura è una bella velocità di taglio, specie con un avanzamento al giro pezzo di 5,1 mm. In finitura si lavora a 400 m/min che per un creatore in acciaio rapido è abbastanza inusuale, ma vista la bassa sollecitazione non ci sono problemi di surriscaldamento. In ogni caso queste prestazioni sono possibili solo con acciai rapidi superlegati e con ricoprimenti a base di TiAlN del tipo multi layer.*

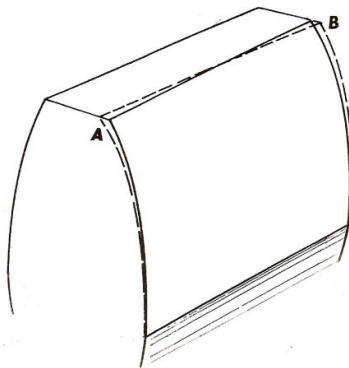
Il problema principale cui va incontro la finitura con creatore è la modifica della geometria del dente, cioè, in parole semplici, la possibilità di fare delle modifiche dell'elica (es. bombatura) e delle modifiche di profilo.

Se la bombatura non costituisce un problema perché può essere gestita con gli assi macchina, cioè variando la penetrazione e l'allontanamento del creatore dal pezzo secondo una legge prestabilita, più problematica è la correzione del profilo.

In questo caso si possono prevedere due tipi di modifica.

La prima è una variazione dell'angolo di pressione o una spoglia di testa costante in tutte le sezioni del dente e qui sarebbe sufficiente variare di conseguenza il profilo del creatore.

La seconda invece è quella più complessa e riguarda lo svergolamento del dente (figura N°3).



**Figura N°3-** *Indicazione schematica della modifica detta svergolamento*

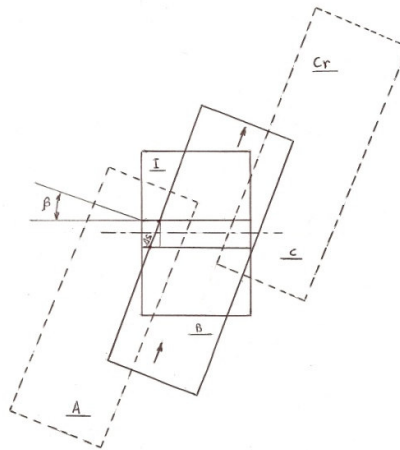
Questo tipo di modifica è talvolta richiesto in una finitura sul tenero per pre-correggere le deformazioni di trattamento termico, specie su pezzi con forte elica e con una relativamente grande fascia dentata.

A volte può essere voluta anche sul pezzo finito per avvicinarsi il più possibile alla topologia teoricamente ottimale della superficie del dente.

Questo svergolamento del dente viene ottenuto con il creatore lavorando con la tecnica dello *shifting continuo* e modificando il profilo dei denti del creatore in modo progressivo lungo tutta la lunghezza del creatore stesso.

Lo *shifting continuo* consiste nello spostare assialmente il creatore durante la lavorazione, sovrapponendo questo movimento a quello di taglio e a quello di avanzamento lungo l'asse del pezzo.

Le posizioni iniziale, intermedia e finale del creatore rispetto il pezzo sono indicate schematicamente in figura N°4 rispettivamente con A, B, C.



**Figura N°4-** Rappresentazione schematica dello shifting continuo.

Lo spostamento del creatore nel senso del suo asse richiede una compensazione della rotazione del pezzo, che dovrà essere tanto maggiore quanto è più grande l'angolo dell'elica del creatore e quanto maggiore è la velocità di questo shifting continuo.

Se indichiamo con:

$S_h$  = velocità di traslazione assiale del creatore (shifting) in mm/min;

$\beta$  = angolo dell'elica del filetto del creatore;

$n$  = numero di giri al minuto del creatore;

$N$  = numero di giri teorico al minuto del pezzo ( $N = \frac{f \cdot n}{Z}$ )

$f$  = numero di principi del creatore;

$D_p$  = diametro primitivo del pezzo.

si ha che il numero di giri modificato del pezzo diventerà:

$$N_{\text{mod.}} = \frac{f \cdot n}{Z} \pm \frac{S_h \cdot \cos \beta}{\Pi \cdot D_p}$$

Il segno  $\pm$  dipende dal senso dello spostamento assiale del creatore.

Nella figura N°4, per semplicità, si è schematizzato il caso di un ingranaggio a denti dritti, ma è evidente che se l'ingranaggio fosse elicoidale, alle rotazioni di cui sopra dovrà aggiungersi anche quella della compensazione dell'angolo dell'elica dell'ingranaggio.

Se si vuole ottenere un dente svergolato del tipo di figura N°3, il profilo dei denti del creatore dovrà essere continuamente variabile lungo tutta la lunghezza del creatore.

Una modifica potrebbe essere quella rappresentata in figura N°5.

In questo modo risulta evidente che, a seconda che il settore del creatore impegnato sia A, B, o C, si avranno differenti profili e correzioni nelle diverse sezioni del dente.



**Figura N°5-** *Modifica continua del profilo dei denti del creatore lungo la sua lunghezza*

Qualche anno fa era praticamente impossibile rettificare un creatore in questo modo, oggi è tecnicamente possibile con le rettificatrici di profilo a controllo numerico, a patto che dispongano di un asse che possa variare in continuo l'inclinazione della mola. Anche così però sarà necessario rettificare un fianco alla volta con una certa complicazione nell'ottenere l'esatto spessore dei denti e il corretto raggio di raccordo sulla testa del dente.

Inoltre dovrà essere posta molta attenzione nel calcolo e nell'esecuzione della parte interessata al semitopping.

Insomma un creatore di questo tipo, pur essendo costruibile diventa abbastanza costoso, ponendo un limite al suo utilizzo.

Infine, una delle grandi difficoltà di questo processo è quello di far coincidere la teoria alla pratica.

In sostanza la definizione delle modifiche ottimali del creatore e della sua corretta posizione rispetto il pezzo passano attraverso una serie di tentativi, per cui la messa a punto di ogni singola nuova lavorazione è molto lunga.

Una volta definite le modifiche non si ha nessuna possibilità di modificare ulteriormente il profilo del dente.

In definitiva si tratta di una tecnica con bassissima flessibilità, specie se confrontata con la rasatura e la rettifica di forma.

Si può capire meglio ora che questo metodo è applicabile di preferenza su ingranaggi con modifiche di profilo quasi nulle.

### *Conclusioni*

Si può concludere che il metodo di finitura con creatore è valido, ma che non potrà, almeno a breve termine, alterare significativamente l'attuale diffusione degli altri metodi di finitura.

La rasatura, la rettifica di forma e di generazione, il power honing, non cederanno terreno al nuovo sistema. Il metodo di cui si è parlato è ancora molto costoso, specie se da esso si pretende la possibilità di essere applicato alla generalità dei casi, soprattutto perché bisogna usare un creatore di classe AAA con modifiche complesse che, come si è visto, sono ovviamente molto costose.

In altre parole mi sembra che siamo ancora nella fase sperimentale e che il processo non sia economicamente vantaggioso per le produzioni di massa del settore *automotive* dove sono richieste modifiche del profilo sempre più complesse per soddisfare le crescenti esigenze di qualità delle trasmissioni.

E' invece applicabile senza troppa difficoltà su pezzi aventi poche e semplici modifiche di profilo e di piccole dimensioni, oppure di dimensioni medio-grandi, dove il fatto di non dover spostare il pezzo da una macchina all'altra per la finitura costituisce già di per sé un buon vantaggio.

Per esempio, nel caso di ingranaggi aventi diametri maggiori di 5 metri, che non possono essere rettificati, quello di finirli con il creatore è praticamente il solo metodo possibile.