

## **Il dimensionamento delle mole a vite nella rettifica degli ingranaggi**

Oggi molte macchine rettificatrici usano mole a vite per la rettifica degli ingranaggi, perché indubbiamente esse hanno un grande vantaggio rispetto alle mole di forma: un tempo di rettifica minore nella maggioranza dei casi.

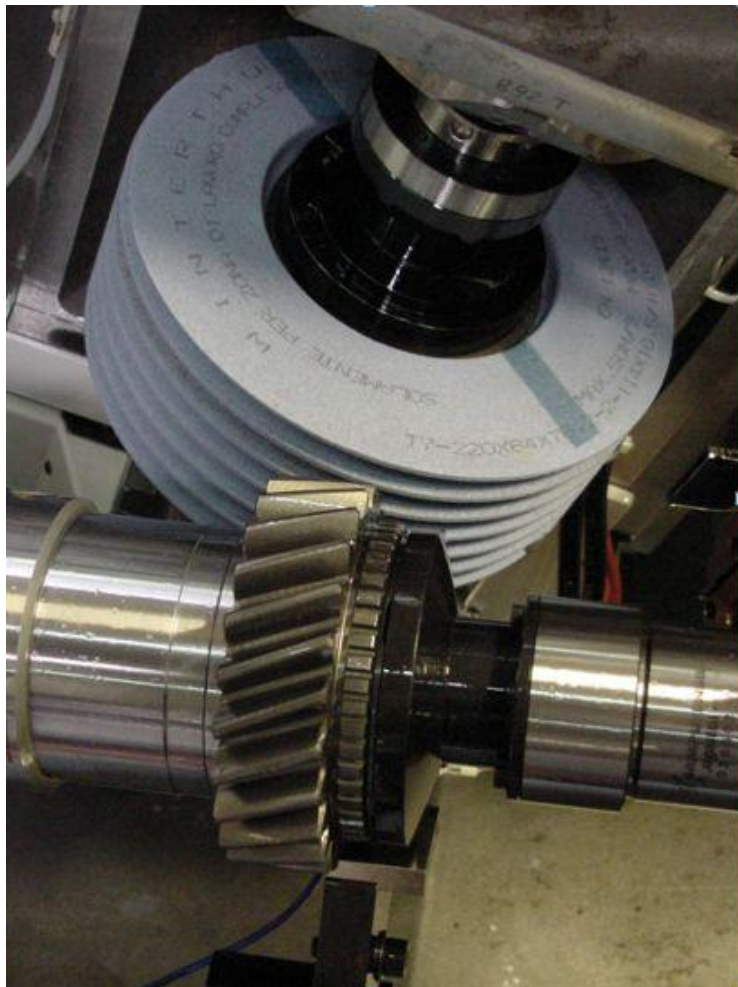
Allo stato attuale inoltre, grazie ai grandi progressi che si sono avuti nella tecnologia della deposizione elettrolitica, è possibile costruire questo tipo di mole anche in CBN, con un numero di principi elevato.

Vista la crescente diffusione del processo di rettifica per generazione continua che, è bene precisarlo, non è in contrapposizione ma complementare a quello di forma, mi sembra utile fare alcune considerazioni sul dimensionamento delle mole a vite e sull'influenza che le dimensioni hanno sulla durata delle mole stesse e sulle condizioni di lavoro.

Esistono due criteri fondamentali per stimare la durata di una mola, cioè il numero di metri di dentatura rettificabile tra due diamantature.

Il primo è quello di considerare l'area della superficie laterale del cilindro su cui è ricavata la mola; il secondo è quello che si basa sulla lunghezza totale del filetto della vite (o dei filetti nel caso di mole a più principi).

In entrambi i casi è evidente che tutto dipende dalla quantità di abrasivo coinvolto nell'azione di taglio. Approfondiamo un po' l'argomento.



**Fig. N°1** – *Rettifica con mola a vite*

### Area della superficie laterale del cilindro

Bisogna distinguere l'area totale ( $A_t$ ) da quella utile ( $A_u$ ), cioè da quella direttamente interessata al taglio ed allo shifting.

Infatti, analogamente a quanto succede nel creatore, nelle estremità di entrata e di uscita della mola bisogna prevedere, per completare il profilo e per avere un certo margine di sicurezza, due zone non utilizzate la cui lunghezza dipende essenzialmente dal modulo, dall'angolo di pressione, dall'angolo dell'elica e dal fattore di correzione X del profilo.

Senza entrare in dettagli troppo fini, si possono assumere i seguenti valori per la parte non interessata allo shifting (circa 10 volte il modulo):

- per modulo 2 mm:  $L_l = 20$  mm;
- per modulo 5 mm:  $L_l = 50$  mm.

Se indichiamo con  $L_t$  ed  $L_u$  rispettivamente la lunghezza totale e la lunghezza utile della mole si può calcolare immediatamente l'area laterale utile  $A_u$ .

$$A_u = \frac{\Pi \cdot D^2}{4} \cdot L_u = \frac{\Pi \cdot D^2}{4} (L_t - L_l)$$

Il valore così calcolato non consente di dire in valore assoluto quanti metri di dentatura si potranno rettificare, ma permette di dire solamente che se una mola avente una certa area laterale  $A_u$  esegue  $P$  metri di dentatura tra due diamantature, una mola con un'area laterale di  $K \cdot L_u$  eseguirà approssimativamente  $K \cdot P$  metri di dentatura.

### Lunghezza del filetto

La lunghezza del filetto di una mola a vite è, in un certo senso, riconducibile al numero di taglienti di un creatore. E' quindi più intuibile che la durata della mola sia direttamente proporzionale alla lunghezza totale dei filetti.

La lunghezza del filetto di una mola ad un principio, calcolata sulla sua lunghezza utile, è:

$$F_u = \frac{\Pi \cdot D}{\cos \beta} \cdot \frac{L_u}{\Pi \cdot m} = \frac{D \cdot L_u}{m \cdot \cos \beta} = \frac{L_u}{\sin \beta}$$

essendo  $\operatorname{tg} \beta = \frac{\Pi \cdot m}{\Pi \cdot D} = \frac{\Pi}{D}$

Oppure  $F_u = \frac{L_u \cdot \sqrt{m^2 + D^2}}{m}$

Nella mola a più principi la lunghezza totale dei filetti è leggermente diversa e cioè:

$$F_u = \frac{i \cdot \Pi \cdot D}{\cos \beta_1} \cdot \frac{L_u}{i \cdot \Pi \cdot m} = \frac{i \cdot L_u}{\sin \beta_1} \quad \text{essendo} \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{i \cdot m \cdot \Pi}{\Pi \cdot D} = \frac{i \cdot m}{D}$$

La differenza di lunghezza dovuta al diverso angolo dell'elica è però assolutamente trascurabile come si può vedere dal seguente esempio.

Consideriamo una mola con  $D = 200$  mm e con  $L_u = 180$  mm con modulo  $m = 3$  mm.

Nel caso di 1 principio si ha:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{m}{D} = \frac{3}{200} = 0,015$$

$$\beta = 0,86^\circ \quad ; \quad \sin \beta = 0,015 \quad ; \quad F_u = \frac{L_u}{\sin \beta} = \frac{180}{0,015} = 12000 \text{ mm}$$

Nel caso di 3 principi si ha invece:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{i \cdot m}{D} = \frac{3 \cdot 3}{200} = 0,045$$

$$\beta_1 = 2,58^\circ \quad ; \quad \operatorname{sen} \beta_1 = 0,04495 \quad ; \quad F_u = \frac{i \cdot L_u}{\operatorname{sen} \beta_1} = \frac{3 \cdot 180}{0,04495} = 12012 \text{ mm}$$

La differenza è quindi insignificante, anzi si può trascurare completamente l'effetto dell'angolo dell'elica del filetto anche nel caso di mole ad un principio.



**Fig. N°1-** Mola a vite in ceramica

Come si può vedere, la durata della mola dipende dal diametro e dalla lunghezza utilizzabile.

Per la lunghezza utilizzabile il discorso è analogo a quello che si può fare con i creatori, cioè che sarebbe opportuno avere la massima lunghezza possibile, compatibilmente con le caratteristiche della rettificatrice e della possibilità di costruzione della mola stessa nonché della sua maneggevolezza.

Agli effetti della durata della mola, sarebbe anche opportuno utilizzare mole di grande diametro, ma qui bisogna considerare che il tempo di rettifica dipende in maniera determinante dal diametro della mola.

A diametri minori corrispondono tempi minori e viceversa.

Infatti, a parità di velocità di taglio, la mola di piccolo diametro fa più giri al minuto, e quindi anche il pezzo ruoterà più velocemente, quindi per uno stesso avanzamento al giro pezzo si avranno alimentazioni al minuto maggiori e quindi tempi minori.

Le mole di piccolo diametro hanno anche un altro vantaggio: quello di poter lavorare a velocità di taglio leggermente superiori rispetto alle mole di diametro maggiore.

Infatti, l'arco di contatto tra mola e pezzo è inferiore ed in questo modo si riduce lo stress termico sia sul pezzo che sulla mola, inoltre con piccoli diametri l'azione dell'olio refrigerante è più efficace in quanto esso può arrivare più facilmente in prossimità del punto di contatto tra mola e pezzo.

Ma è evidente che non si può ridurre indefinitamente il diametro della mola, tanto più che nel trovare un ragionevole compromesso tra durata della mola e tempo di rettifica bisogna inserire un altro elemento che potrebbe avere la sua importanza: la qualità dell'ingranaggio rettificato.

Quando si riduce il diametro della mola, a parità di avanzamento per giro, si ottengono delle solcature più marcate sulla superficie del dente rettificato.

Il valore della profondità delle solcature talvolta può superare il limite consentito.

Il diametro delle mole a vite in ossido d'alluminio in genere possono andare da 150 a 300 mm, mentre quelle in CBN elettrodeposto possono andare da circa 80 a 200 mm.

#### Numero di principi

La scelta corretta del numero di principi di una mola a vite è di fondamentale importanza ai fini dell'ottimizzazione del tempo di rettifica e della qualità voluta sull'ingranaggio.

L'aumento del numero di principi,  $i$ , della mola, comporta un aumento proporzionale della velocità di rotazione del pezzo e quindi, a parità di avanzamento per giro pezzo, di una riduzione del tempo di rettifica.



**Fig. N°3-** Mola a vite in CBN elettrodeposto

Se indichiamo con:

$N_m$  = numero di giri al minuto della mola

$N_p$  = numero di giri a minuto del pezzo

$Z$  = numero di denti dell'ingranaggio

$i$  = numero di principi della mola

$A_g$  = avanzamento della mola per giro pezzo

$L$  = lunghezza della corsa

si può sintetizzare la situazione con le seguenti espressioni:

$$N_p = \frac{N_m \cdot i}{Z} \quad ; \quad t = \frac{L}{N_p \cdot A_g} = \frac{L \cdot Z}{N_m \cdot i \cdot A_g} \quad (\text{tempo per una passata})$$

Bisogna considerare però che non è possibile aumentare indefinitamente il numero di principi, in quanto la mola sarebbe sempre più sollecitata e la qualità del pezzo, specie il profilo, ne soffrirebbe.

Molto dipende anche dal numero di denti del pezzo ed infatti esiste una regola, dettata dall'esperienza che dice che il rapporto tra il numero di denti del pezzo ed il numero di principi della mola deve essere compreso tra 8 e 12, anche in funzione del tipo di operazione (sgrossatura o finitura) e della qualità desiderata.

Un altro vincolo è che questo rapporto non dovrebbe mai essere un numero intero; cioè il numero di denti non deve mai essere un multiplo del numero di principi, pena un aumento dell'errore di divisione sull'ingranaggio.

Con l'aumentare del numero di principi non è possibile mantenere lo stesso avanzamento per giro  $A_g$ , ma non è nemmeno necessario ridurlo in modo proporzionale.

Ciò significa che l'aumento del numero di principi genera sempre una riduzione del tempo di rettifica.

Nella pratica comune, con le mole in ceramica si può arrivare ad un massimo di 7 principi, mentre le mole in CBN elettrodeposto solo in casi eccezionali possono arrivare a 5 principi.

L'avanzamento per giro pezzo dipende, oltre che dal numero di principi, anche dal modulo e dal numero di denti dell'ingranaggio. Ovviamente il tutto è subordinato alla qualità desiderata sul pezzo, ma in linea generale, per le mole in ceramica, sono validi i valori indicati nella tabella seguente.

Avanzamento assiale in mm per giro pezzo					
N° principi	N° di denti	Modulo (mm)			
		2	3	4	5
1	15	0,50	0,40	0,35	0,30
	20	0,55	0,45	0,40	0,35
	30	0,60	0,50	0,45	0,40
	40	0,70	0,60	0,50	0,45
	50	0,75	0,65	0,55	0,50
	60	0,80	0,70	0,60	0,50
	70	0,85	0,70	0,60	0,55
3	80	0,90	0,75	0,65	0,60
	40	0,43	0,35	0,28	0,25
	50	0,48	0,38	0,32	0,28
	60	0,53	0,42	0,35	0,31
	70	0,57	0,45	0,38	0,33
	80	0,62	0,48	0,41	0,35
5	90	0,65	0,50	0,44	0,37
	40	0,32	0,26	0,22	0,19
	50	0,36	0,28	0,24	0,21
	60	0,39	0,30	0,26	0,22
	70	0,41	0,32	0,27	0,23
	80	0,43	0,34	0,28	0,25
	90	0,45	0,36	0,30	0,26
	100	0,47	0,37	0,31	0,27
110	0,49	0,38	0,32	0,28	