

La rullatura di alberi scanalati

Un albero scanalato può essere definito come un sistema per trasmettere una coppia.

Nell'industria meccanica ci sono innumerevoli applicazioni di alberi scanalati con diversi gradi di complessità.

Il caso tipico è l'accoppiamento fisso tra due parti, quali possono essere per esempio un albero con un ingranaggio oppure un albero con un giunto, ma è frequente anche il caso di accoppiamenti con scorrimento.

Ci sono casi, abbastanza frequenti nel cambio di un'automobile, in cui su un albero ci sono 5 o 6 diverse scanalature su cui vengono fissati altrettanti ingranaggi o mozzi.

Il metodo più veloce per ottenere le scanalature di questo tipo, che sono delle dentature ad evolvente ribassate, è appunto la rullatura.

Lo stesso tipo di lavoro può essere eseguito con un'operazione ad asportazione di truciolo con creatore o con coltello stozzatore. Ma questi due ultimi sistemi per ricavare le scanalature ad evolvente su un albero vengono adottati quando le produzioni previste non sono abbastanza grandi da giustificare l'acquisto di una rullatrice.

Nell'industria automobilistica invece la rullatura è quasi universalmente usata. Nella figura N°1 sono rappresentati alcuni tipi di alberi rullati.



Figura N°1

La rullatura è un metodo di lavorazione senza asportazione di truciolo, eseguita a freddo, che ha lo scopo di formare sulla superficie di un pezzo cilindrico o conico una serie di denti o solchi.

Il pezzo viene compresso tra gli utensili ed è forzato a rotolare tra essi in modo che il profilo dei denti, ricavato sugli utensili stessi, si imprima progressivamente sulla superficie del pezzo.

Gli utensili per rullatura possono essere circolari, ed in questo caso sono detti rulli, oppure possono essere rettilinei e vengono allora chiamati cremagliere.

Una serie di rulli in genere è formata da due rulli contrapposti, ma non è raro il caso di serie formate da 3 o 4 rulli.

Le cremagliere piane invece sono sempre costituite da due pezzi.

Vantaggi della rullatura

L'esecuzione di profili scanalati con il processo di rullatura presenta notevoli vantaggi rispetto alle analoghe operazioni con asportazione di trucioli, i più importanti sono i seguenti.

1)- *Tempo ciclo.* Il tempo necessario per eseguire una scanalatura ad evolvente è di pochi secondi e si può considerare che sia dalle 2 alle 4 volte inferiore rispetto alla dentatura con creatore. Inoltre con uno stesso ciclo possono essere eseguite due o perfino tre diverse scanalature su uno stesso pezzo, disponendo le cremagliere in serie, con un'enorme economia di tempo. Con riferimento alla figure N°2 si può vedere, per esempio, che la coppia di cremagliere 1a - 1b esegue la scanalatura 1 e, quando questa è completata, entrano in contatto con il pezzo le cremagliere 2a - 2b che eseguono la dentatura 2. Condizione necessaria per questo tipo di operazione è che la somma delle corse necessarie per ogni singola dentatura sia inferiore alla capacità della macchina.

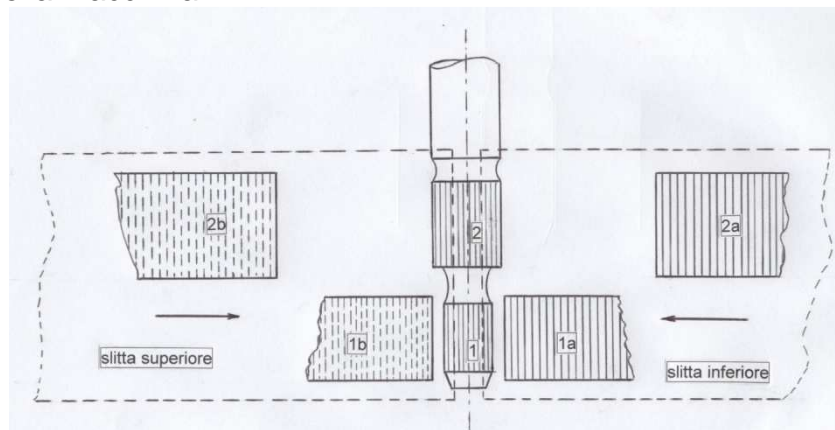


Figura N°2

2)- *Maggiore resistenza della dentatura.* Il processo di deformazione plastica che caratterizza la rullatura non taglia le fibre del materiale, per cui le fibre seguono il profilo della dentatura conferendo ai denti una maggiore resistenza. La resistenza alla sollecitazione per compressione aumenta mediamente del 6 - 12%. Inoltre si ha il fenomeno dell'incrudimento che è dovuto alla forte compressione cui il materiale è soggetto. Si tratta di un aumento della durezza, maggiore in superficie e progressivamente minore a mano a mano che ci si allontana dalla superficie.

L'incrudimento è un fenomeno che è positivo fino ad un certo limite, mentre può diventare pericoloso ed essere causa di rottura sia del pezzo che degli utensili se lo sforzo di compressione eccede questo limite.

Si può entrare in questa zona di pericolo quando, per esempio, il diametro di pre-rullatura è troppo grande oppure se il materiale ha già subito delle operazioni di trafilatura o ricalcatura prima di subire l'operazione di rullatura di cui si parla.

3)- *Migliore finitura della superficie.* La superficie dei denti risulta lucida e perfettamente finita. Non sono presenti le rigature tipiche delle lavorazioni con asportazione di truciolo. Queste rigature a volte possono essere tali da innescare delle rotture, ma in ogni caso diminuiscono in qualche misura la resistenza del dente. Si deve notare inoltre che una superficie lucidata con la rullatura è più resistente alla corrosione.

4)- *Migliore precisione della dentatura.* Con la rullatura si ottiene una migliore qualità in generale (profilo, elica e divisione). Soprattutto però si ottiene una grandissima costanza delle dimensioni del pezzo, a patto che i pezzi prima della rullatura abbiano diametri entro ben definite tolleranze.

Con una coppia di cremagliere si possono eseguire anche 100 – 200.000 pezzi tutti perfettamente uguali. Per ottenere la stessa precisione con i creatori si dovrebbero aumentare in modo notevole i tempi di lavorazione.

5)- *Risparmio di materiale.* Anche se di secondaria importanza, questo aspetto non è del tutto trascurabile, specie per grandi produzioni. Il diametro di prerullatura è minore del diametro esterno del pezzo finito.

Quindi, almeno in teoria, si ha un risparmio sul costo del materiale.

Svantaggi della rullatura

Accanto a questi vantaggi esistono però una serie di svantaggi che possono essere così elencati:

- *Costo elevato degli utensili.* Questo fattore rende antieconomica la rullatura di un numero limitato di pezzi.
- *Pezzi cavi.* Essi sono facilmente deformabili sotto la pressione dei rulli e delle cremagliere e quindi non possono essere rullati.
- *Materiali con scarsa duttilità.* Non possono essere rullati materiali che hanno un coefficiente di allungamento inferiore all'8%.
- *Materiali duri.* Sono estremamente difficili da rullare materiali aventi una durezza superiore a 35 HRc.
- *Rapporto profondità-diametro della dentatura.* Quando la profondità della dentatura supera il 15% del diametro, la rullatura è molto difficile, in quanto i pezzi, dopo la rullatura, risultano storti.
- *Preparazione dello sbizzato.* Poiché questo procedimento è basato su uno spostamento di una ben definita quantità di materiale, il rispetto delle tolleranze della dentatura dipende in gran parte dalla precisione con cui si è preparato il diametro di prerullatura. Di conseguenza è necessario che il diametro del pezzo da rullare sia contenuto entro tolleranze almeno uguali a quelle richieste dal pezzo finito. Sono richieste perciò operazioni di preparazione un po' più complesse di quelle necessarie per gli altri metodi di generazione della dentatura.

Profili eseguibili

I profili eseguibili con la rullatura sono innumerevoli: vanno da una semplice zigrinatura a veri e propri ingranaggi elicoidali. Esistono però dei limiti dimensionali, per quanto riguarda i diametri e le altezze delle dentature.

Infatti, più l'altezza dei denti è grande più giri deve fare il pezzo e quindi più lunga deve essere la cremagliera, ma le macchine hanno delle ben precise capacità ed inoltre anche i costruttori di utensili hanno dei limiti.

Per esempio, la Refil (Rivoli-Torino), produce cremagliere fino ad una lunghezza massima di 1250 mm e con larghezze massime di circa 100 mm.

Una limitazione molto importante è relativa al materiale da lavorare.

Generalmente si considera non rullabile un acciaio con una resistenza maggiore o uguale a 1400 N/mm^2 (circa $R = 140 \text{ Kg/mm}^2$) ovvero una durezza 400 HB, ma si perde l'economicità di questa operazione già quando la resistenza è vicina ai 1000 N/mm^2 .

In genere si possono rullare tutti i tipi di materiali metallici ma con determinate limitazioni che dipendono dalla sua plasticità, dalla forma del dente e dalla

precisione che si vuole ottenere; la rullatura è principalmente usata sull'acciaio. Come già accennato, la rullatura diventa difficoltosa se si tratta di barre trafilate e già incrudite.

Una regola generale è che più il profilo è aperto, più facile è la sua rullatura.

Già con angoli di pressione di 20° si hanno notevoli difficoltà ad ottenere i denti con questo processo, generalmente si definiscono come rullabili i profili che hanno un angolo di pressione di almeno 30° .

Il profilo più usato sugli alberi scanalati è il profilo definito dalle norme americane ASA (Involute Spline), con le sue varianti, ma esistono altre normalizzazioni per le dentature di alberi scanalati. Si possono citare per esempio le norme tedesche DIN 5481 e DIN 5482, le norme francesi BNA (PR E 22-151).

Nella figura N°3 sono riportati due profili ASA classici, il primo riguarda un accoppiamento con contatto sui fianchi ed il secondo si riferisce ad un accoppiamento sul diametro esterno.

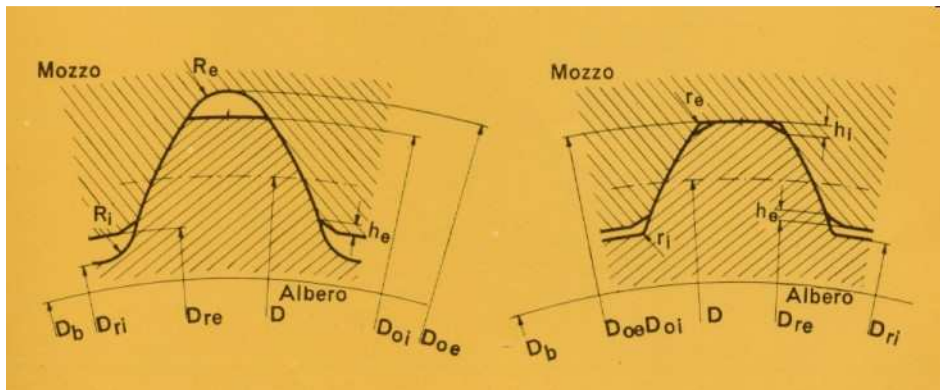


Figura N°3

La dentatura viene definita da una coppia di numeri, che sono i *Diametral Pitch* relativi al passo e all'altezza del dente.

Per esempio una dentatura ASA 24/48¹ avrà il passo con un dimensionamento del Diametral Pitch di 24 (modulo = 1,05833 mm) ed un'altezza dente con un dimensionamento del Diametral Pitch 48 (modulo = 0,52917 mm).

Questo significa che le altezze dei denti sono la metà di quelle di un dimensionamento normale.

Gli angoli di pressione più usati sono di 30° o di 45° .

Si possono rullare profili ASA a partire da circa 16/32 per arrivare a circa 32/64; evidentemente questi limiti dipendono molto dal materiale lavorato, dalla macchina che si ha a disposizione e dalla possibilità di costruzione di una coppia di cremagliere adeguate.

Il problema della saturazione

Si ha la saturazione quando il materiale spostato in fase di rullatura riempie completamente i vani dei denti delle cremagliere o dei rulli. Questo può succedere, per esempio, quando il diametro dello sbozzato è troppo grande.

A fronte di un aspetto migliore del pezzo, con un profilo della testa del dente (sul diametro esterno) che si presenta completo, subentrano alcuni gravi inconvenienti.

¹ Più esattamente, il primo numero è detto Diametral Pitch (P), mentre il secondo è detto Stub Pitch (P_s)

- a) Le dimensioni della dentatura diventano ingestibili. In pratica “*il materiale non sa dove andare*” ed allora il profilo non è più quello voluto, la quota sui rulli varia notevolmente rispetto al diametro esterno ecc.
- b) Lo sforzo eccessivo per deformare il materiale provoca delle sfogliature con distacco del materiale dal corpo del pezzo. Questo materiale viene poi ricompreso e ricompattato sui denti lasciando però una superficie non liscia e di aspetto non accettabile.
- c) Si ha una altissima probabilità di rottura dei denti dell’utensile ed in ogni caso la sua durata ne viene fortemente compromessa.

La sommità di un dente rullato deve sempre essere incompleta ed avere la forma approssimata di figura N°4.

Questo aspetto della cresta del dente denota che il vano del dente dell’utensile non è riempito completamente dal materiale deformato e quindi che l’utensile lavora correttamente.

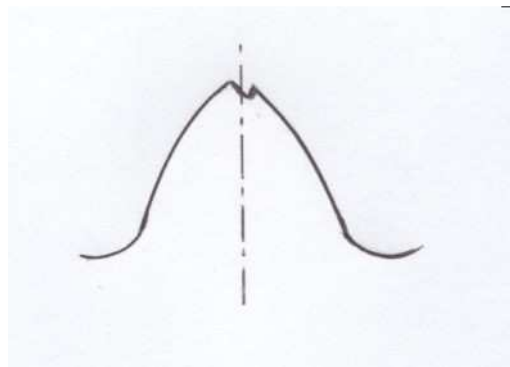


Figura N°4

Il problema della non costanza del diametro esterno

Nelle zone laterali del pezzo il materiale spostato può scorrere anche in senso assiale, mentre nella zona centrale della dentatura l’unica direzione possibile di spostamento è quella radiale.

Con riferimento alla figura N°5, nella zona 1 il diametro esterno del pezzo risulterà leggermente minore rispetto alla zona 2.

In genere questo fatto è previsto nelle tolleranze fissate sui disegni.

Per questi due motivi, quando si tratta di accoppiamenti con contatto sul diametro esterno, i pezzi rullati devono essere rettificati.

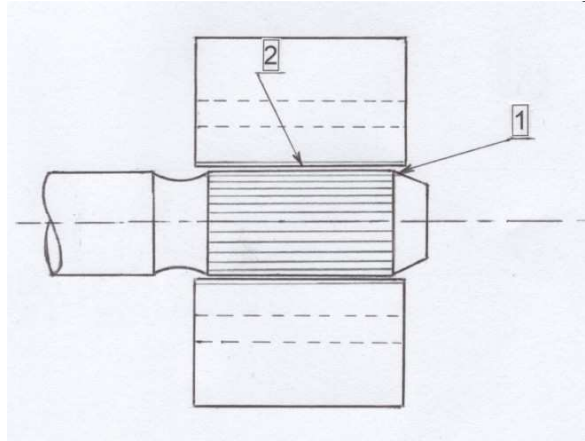


Figura N°5

Le cremagliere per rullatura

La figura N°6 illustra in modo schematico la rullatura di un albero scanalato con una coppia di cremagliere.

In genere le due cremagliere hanno una corsa in senso opposto; con una corsa si finisce la dentatura sull'albero.

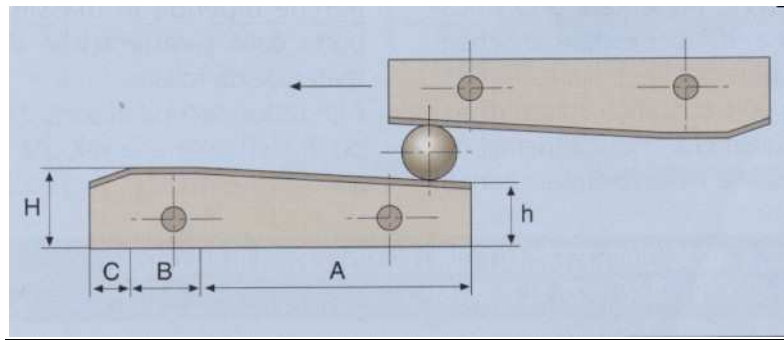


Fig. N°6

Come si può osservare nella figura N°6, la lunghezza totale del pettine è divisa in tre parti: il primo tratto A, detto sbizzatore, ha la funzione di penetrare nel pezzo e di creare la dentatura e, a questo scopo, è incrementato. Il secondo tratto B, detto finitore, ha la funzione di finire la dentatura correggendo eventuali imperfezioni e facendo compiere almeno un giro completo al pezzo sulla dimensione finale. Infine il terzo tratto, leggermente decrementato, scarica gradualmente la pressione dal pezzo.

La differenza tra le quote H ed h deve essere almeno uguale alla semidifferenza tra il diametro dello sbizzatore ed il diametro interno della dentatura. In pratica però tale differenza è maggiore per evitare di iniziare la lavorazione sul bordo della cremagliera.

La determinazione dei vari tratti deve essere fatta tenendo presente i seguenti punti:

- *Il numero di giri del pezzo necessari per eseguire la dentatura.*
- *Il tratto di finitura deve permettere almeno un giro completo del pezzo.*
- *La lunghezza dello scarico può essere circa i due terzi di quella di finitura.*

Condizioni di lavoro

I giri del pezzo necessari per finire la dentatura dipendono molto dalla plasticità del materiale e dalla sua durezza. E' evidente che se un materiale è difficilmente deformabile o molto duro l'incremento per ogni dente dovrà essere minore e quindi aumenterà il numero di giri necessario per finire la dentatura.

La velocità di traslazione dei pettini, cioè la velocità periferica sul pezzo, dipende molto dal materiale lavorato, dal tipo di filettatura, dalla precisione desiderata, dal tipo di macchina, dal tipo di lubro-refrigerante, ecc. Non è quindi facile dare un valore assoluto della velocità di rullatura.

Se si considera un acciaio dolce, con $R = 50 - 60 \text{ Kg/mm}^2$, la velocità di rullatura può essere compresa tra 30 e 60 m/min.

Nella tabella N°1 sono indicati i giri necessari e quale potrebbe essere la velocità di rullatura, in % del valore di cui sopra, per altri materiali.

Tab. N°1

<i>Materiale</i>	<i>N° di giri del pezzo (minimo e massimo)</i>	<i>Durezza</i>	<i>% velocità riferita a quella per acc. C10</i>
<i>Acc. C10 - C30</i>	<i>4 - 6</i>	<i>dolce</i>	<i>100 %</i>
<i>Acc. C30 - C50 o legato</i>	<i>5 - 7</i>	<i>15 - 25 HRc</i>	<i>70 %</i>
	<i>6 - 8</i>	<i>26 - 32 HRc</i>	<i>50 %</i>
	<i>7 - 10</i>	<i>33 - 40 HRc</i>	<i>25 %</i>
<i>Acciaio inossidabile</i>	<i>6 - 8</i>	<i>al Ni-Cr</i>	<i>50 %</i>
	<i>5 - 7</i>	<i>al Cr</i>	<i>60 %</i>

Diametro di prerullatura

La determinazione dell'esatto diametro di prerullatura è una condizione essenziale per ottenere una dentatura corretta.

Dal punto di vista teorico, si calcola il diametro di prerullatura in modo l'area del vano al di sotto di questo diametro, sia uguale all'area del dente posta al di sopra, vedere figura N°7.

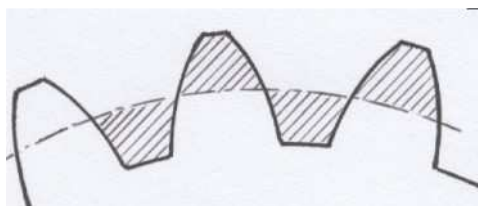


Figura N°7

La determinazione dell'esatto diametro di prerullatura può essere fatta seguendo la via analitica o una procedura grafica, però oggi tutti i costruttori di utensili per rullatura si sono dotati di speciali programmi che sfruttano le enormi possibilità dei computer.

Nella tabella N°2 sono riportati i valori teorici del diametro di prerullatura relativi alle dentature ASA ad evolvente.

Diametri di prerullatura per scanalati profilo ASA (in mm)

Numero denti	Angolo di pressione 30°				Angolo di pressione 37,5°				Angolo di pressione 45°			
	DP 32/64	DP 24/48	DP 20/40	DP 16/32	DP 32/64	DP 24/48	DP 20/40	DP 16/32	DP 32/64	DP 24/48	DP 20/40	DP 16/32
15	11,735				11,862				11,943			
17	13,322	17,737	21,323	26,670	13,449	17,958	21,554	26,962	13,531	18,057	21,712	27,103
18	14,122	18,796	22,593	28,270	14,244	19,017	22,824	28,550	14,323	19,116	22,979	28,689
19	14,917	19,855	23,863	29,858	15,037	20,074	24,092	30,135	15,118	20,175	24,249	30,279
20	15,710	20,917	25,136	31,445	15,829	21,130	25,362	31,722	15,913	21,234	25,519	31,877
21	16,505	21,996	26,391	33,033	16,622	22,189	26,532	33,310	16,705	22,301	26,789	33,472
22	17,297	23,051	27,661	34,620	17,417	23,249	27,899	34,895	17,506	23,360	28,059	35,067
23	19,092	24,205	28,931	36,195	18,209	24,303	29,169	36,482	18,301	24,409	29,327	36,659
24	18,885	25,159	30,201	37,783	19,004	25,362	30,349	38,070	19,096	25,451	30,597	38,252
25	19,680	26,226	31,445	39,383	19,794	26,421	31,707	39,654	19,891	26,535	31,864	39,845
26	20,472	27,292	32,741	40,958	20,589	27,480	32,977	41,242	20,688	27,592	33,134	41,44
27	21,267	28,346	34,011	42,545	21,382	28,534	34,247	42,827	21,483	28,651	34,402	43,002
28	22,060	29,401	35,281	44,133	22,177	29,594	35,514	44,414	22,278	29,710	35,672	44,623
28	22,855	30,455	36,551	45,720	22,969	30,653	36,784	45,002	23,063	30,721	36,942	46,215
30	23,647	31,547	37,833	47,308	23,762	31,712	38,054	47,587	23,851	31,826	38,212	47,81
31	24,442	32,576	39,103	48,895	24,554	32,771	39,322	49,174	24,646	32,886	39,479	49,403
32	25,235	33,642	40,361	50,483	25,349	33,828	40,592	50,762	25,441	33,942	40,749	50,991
33	26,030	34,696	41,631	52,070	26,142	34,882	41,859	52,349	26,236	35,001	42,019	52,578
34	26,822	35,751	42,901	53,658	26,937	35,941	43,129	53,934	27,031	36,060	43,289	54,166
35	27,617	36,817	44,183	55,245	27,729	37,000	44,399	55,522	27,826	37,117	44,557	55,753
36	28,410	37,871	45,428	56,833	28,522	38,054	45,699	57,109	28,621	38,164	45,827	57,353
37	29,205	38,900	46,711	58,420	29,314	40,173	46,937	58,694	29,416	39,230	47,097	58,941
38	29,997	39,992	47,981	60,008	30,109	41,232	48,207	60,282	30,211	40,292	48,367	60,528
39	30,792	41,046	49,251	61,595	30,902	42,286	49,477	61,869	30,996	41,351	49,637	62,116
40	31,585	42,101	50,508	63,183	31,694	43,345	50,744	63,454	31,788	42,410	50,904	63,703
41	32,377	43,167	51,765	64,770	32,487	44,404	52,014	65,042	32,583	43,467	52,174	65,291
42	33,172	44,247	53,035	66,358	33,282	45,463	53,284	66,629	33,378	44,501	53,444	66,878
43	33,967	45,263	54,305	67,945	34,074	46,523	54,554	68,214	34,173	45,606	54,714	68,465
44	34,760	46,342	55,575	69,533	34,867	47,574	55,824	69,802	34,968	46,642	55,984	70,053
45	35,555	47,395	56,845	71,120	35,659	48,633	57,092	71,389	35,761	47,701	57,254	71,641
46	36,347	48,451	58,115	72,708	36,454	49,690	58,362	72,974	36,556	48,760	58,524	73,228
47	37,142	49,517	59,385	74,295	37,247	50,749	59,632	74,562	37,351	49,817	59,792	74,816
48	37,935	50,546	60,655	75,883	38,039	51,808	60,902	76,149	38,156	50,876	61,062	76,403
49	38,730	51,605	61,925		38,832	52,852	62,172		38,931	51,935	62,332	
50	39,522	52,662	63,183		39,627	52,862	63,439		39,726	52,992	63,602	
51	40,317	53,721	64,453		40,419	53,922	64,709		40,518	54,051	64,872	
52	41,110	54,780	65,723		41,212	54,981	65,979		41,313	55,115	66,142	
53	41,905	55,837	66,993		42,004	56,037	67,249		42,108	56,172	67,412	
54	42,697	56,896	68,263		42,799	57,097	68,519		42,903	57,231	68,682	
55	43,492	57,955	69,533		43,589	58,053	69,787		43,698	58,290	69,952	
56	44,285	59,012	70,803		44,384	59,212	71,057		44,491	59,347	71,222	
57	45,080	60,071	72,073		45,176	60,269	72,327		45,286	60,409	72,489	
58	45,872	61,130	73,343		45,971	61,328	73,597		46,081	61,468	73,759	
59	46,667	62,187	74,613		46,764	62,514	74,867		46,876	62,525	75,029	
60	47,460	63,246	75,883		47,556	63,442	76,137		47,663	63,584	76,299	
Tolleranza	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000	+0,000
	-0,038	-0,046	-0,054	-0,060	-0,039	-0,046	-0,048	-0,051	-0,028	-0,033	-0,038	-0,053

Tabella N°2

Ogni cremagliera ha una propria distanza teorica dal centro di rotazione del pezzo. Quando inizia l'avanzamento della cremagliera, il primo dente si imprime sulla superficie esterna del pezzo. La cremagliera continua ad avanzare trascinando il pezzo in rotazione. Dopo una rotazione corrispondente alla distanza di un passo lineare (sulla cremagliera) sul pezzo si imprime il secondo dente e così via.

Se il pezzo ha Z denti, dopo $\frac{Z}{2}$ passi, il primo dente impresso deve trovarsi

esattamente sotto un dente della seconda cremagliera e dopo Z passi, completata una rotazione, il primo dente deve trovarsi esattamente in corrispondenza di un altro dente della prima cremagliera.

Questo per dire che il diametro teorico di rotolamento è identificabile, in prima approssimazione, con il diametro di pre-rullatura. In pratica però il diametro di prerullatura deve essere leggermente maggiore del diametro teorico di rotolamento, perché altrimenti durante la fase di primo contatto il pezzo non sarebbe trascinato regolarmente in rotazione. In gergo si dice che la cremagliera deve poter "mordere" il pezzo appena entra in contatto con esso.

Uno dei più frequenti errori che si commette in officina è appunto quello di cambiare il diametro di pre-rullatura. Infatti, cambiando questo diametro, cambia anche il diametro di rotolamento, con la conseguenza che dopo mezza rotazione e dopo una rotazione, il primo dente impresso non sarà più in corrispondenza con i successivi denti delle cremagliere.

In altre parole, il diametro di rotolamento deve tale che la circonferenza deve contenere un numero intero di passi lineari ricavati sulla cremagliera.

Se ciò non avviene, si genereranno degli errori di divisione, si avranno denti con forti irregolarità e si avrà un'usura precoce delle cremagliere.

Non bisogna mai dimenticare che il passo della dentatura sulle cremagliere è stato calcolato in funzione del diametro di pre-rullatura.

Molta cura deve essere posta nel posizionamento delle cremagliere.

Intanto bisogna dire che normalmente i due pezzi della coppia di cremagliere vengono rettificati insieme.

Nel caso che si debba rullare una dentatura con numero di denti pari, i denti della cremagliera devono essere ad una stessa distanza dal piano di riferimento. Se invece si devono rullare pezzi con numero di denti dispari, i denti su una cremagliera devono essere sfalsati di mezzo passo rispetto a quelli dell'altra.

E' necessario quindi che le cremagliere siano posizionate in modo corretto sulla macchina, in particolare nel senso della lunghezza (posizionamento assiale).

A questo scopo un'estremità delle cremagliere e la facciata di appoggio vengono rettificate accuratamente per assicurare un perfetto posizionamento contro le relative superfici di appoggio (vedere figura N°8).

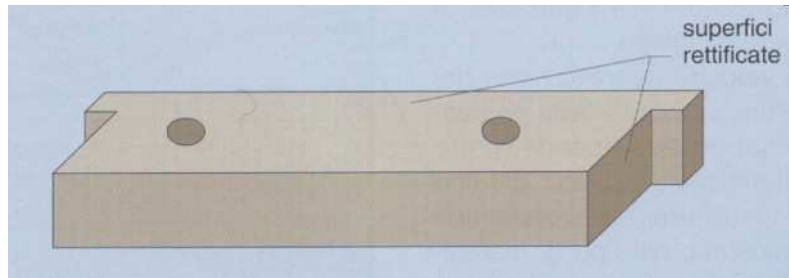


Fig. N°8

Durata degli utensili

La durata degli utensili per rullare, siano essi rulli circolari o cremagliere, dipende da molti fattori.

Se una serie di cremagliere è usata correttamente per rullare pezzi di acciaio con $R=60 \text{ Kg/mm}^2$ si possono eseguire anche 200.000 pezzi prima di dover rigenerare le cremagliere.

Per quanto riguarda le regole generali, non si può che ripetere quanto detto nel già citato articolo di giugno 2002 su questa stessa rivista riguardo i rulli e pettini per filettare. In definitiva, i fattori più importanti che influiscono sulla durata dei rulli sono i seguenti.

1)-*La qualità ed il tipo degli utensili.* La qualità dei rulli e delle cremagliere comprende l'accuratezza e la precisione delle dimensioni e le caratteristiche dell'acciaio con cui sono costruiti. L'acciaio è normalmente un acciaio fucinato della categoria M2 con una durezza che è di circa 61 – 64 HRC; come si vede, non è opportuno avere durezza molto alte. E' importante che nella prima parte della dentatura delle cremagliere, per una lunghezza di circa un giro del pezzo, i denti siano *sabbiati*. Questa operazione conferisce alla superficie una certa scabrosità che facilita l'attacco sul pezzo che quindi viene trascinato in rotazione in modo sicuro senza strisciamenti.

2)-*La natura del materiale da tagliare.* La natura del materiale da rullare è, in genere, una caratteristica invariabile del prodotto finito; si tenga presente però, come si è già accennato, che rullare materiali duri come per esempio l'acciaio inossidabile, vuol dire avere un rendimento molto inferiore rispetto a quello che si potrebbe avere rullando materiali dolci. Detto 100 il rendimento di una serie di rulli o di cremagliere che lavorano acciaio dolce si possono avere i seguenti rendimenti nel caso di altri tipi di acciaio:

- Acciaio con HRC 15 – 25 = 70%
- Acciaio con HRC 25 – 32 = 50%
- Acciaio con HRC 32 – 40 = 25%
- Acc. inossidabile al Ni-Cr = 50%
- Acc. inossidabile al Cr = 60%

3)- *La cura con cui gli utensili vengono impiegati.* La cura con cui gli utensili vengono impiegati è altresì un fattore molto importante ed in particolare si dovrà porre attenzione affinché i rulli e le cremagliere vengano correttamente accoppiati. Un errato accoppiamento determina movimenti laterali e radiali dei rulli sul supporto, generando pressioni anormali che si ripercuotono considerevolmente sulla durata dei rulli. Mentre una errata regolazione assiale delle cremagliere non permette che i denti di una cremagliera entrino

esattamente nei vani generati dall'altra cremagliera. Questo inconveniente, oltre a provocare una dentatura non bene eseguita, genera degli sforzi anomali sui denti riducendo di molto la durata.

4)- *L'impiego dei rulli adatto al lavoro da eseguire.* A volte si tentano di usare dei rulli o delle cremagliere per rullare dei pezzi diversi da quelli per cui gli utensili sono stati costruiti, magari spessorando le cremagliere o spostandole assialmente. Queste manovre non danno mai buoni risultati e in genere sottopongono gli utensili a sforzi anormali che ne riducono drasticamente la durata. La regola generale è che ogni rullo od ogni coppia di cremagliere può essere usata solo per i pezzi per cui sono state progettate.

5)- *Una corretta lubrificazione.* Durante la rullatura si sviluppa una grande quantità di calore dovuto sia al lavoro necessario per deformare il materiale che costituisce il pezzo, sia al grandissimo attrito tra le pareti dei denti dell'utensile e il materiale che si sposta plasticamente. Tra le due superfici in contatto è presente una enorme pressione che tenderebbe a far saldare (griappare) il materiale sulle superfici dei denti dell'utensile. Per evitare questi inconvenienti, è necessario irrorare la zona di lavoro con un abbondante getto di olio che deve avere degli additivi EP (Extreme Pressure). E' quasi inutile raccomandare che il getto di olio deve essere diretto nel lato di entrata dei denti e quindi, nel caso di rullatura con cremagliere devono essere previsti due getti in direzione opposta, uno per la cremagliera inferiore ed uno per quella superiore.

6)- *Preparazione corretta degli sbozzati.* Errori sullo sbozzato hanno effetti a volte catastrofici sul rendimento. Si è già detto degli inconvenienti provocati da un diametro eccessivo, ma anche una ovalità eccessiva può risultare pericolosa perché i pezzi tenderebbero a saltar via dalla posizione di rullatura, provocando la rottura degli utensili. Un altro pericolo collegato allo stato degli sbozzati nasce quando i pezzi sono preparati con un'operazione di rettifica e non sono poi lavati con sufficiente cura. In questo caso la polvere di abrasivo che resta schiacciata tra pezzo e utensile, se l'errore è sistematico, provoca la rapida usura dei denti dei rulli o delle cremagliere.

Rigenerazione delle cremagliere

Le dimensioni delle cremagliere possono essere notevoli. Se si pensa che una coppia di cremagliere con le dimensioni 1000x60x40 mm pesa oltre 37 Kg si può ben immaginare quale sarà il costo del solo acciaio rapido necessario per costruirle.

E' perfettamente normale quindi riutilizzare le cremagliere quando non sono più efficienti; infatti è pratica comune *rigenerarle*.

La rigenerazione delle cremagliere comporta in primo luogo l'asportazione della parte dentata con un'operazione di rettifica.

Normalmente si asporta uno spessore da 3 a 4 volte superiore all'altezza del dente, in modo da essere sicuri di arrivare in una zona del materiale priva da eventuali danneggiamenti della struttura dell'acciaio per fatica.

Successivamente si esegue un accurato controllo dello stato dell'acciaio per mettere in evidenza eventuali fessurazioni formatesi durante la lavorazione. Se una cremagliera risultasse fessurata non può essere rigenerata. Le eventuali crepe o fessurazioni vengono evidenziate con l'impiego di *liquidi penetranti* e con la *lampada di Wood*.

L'operazione successiva è la rettifica della parte dentata seguita dalla sabbiatura del tratto di entrata. Le cremagliere vengono poi corredate di una coppia di spessori che compensano esattamente lo spessore asportato nelle operazioni precedenti.

A questo punto le cremagliere possono lavorare come se fossero nuove. Il costo della rigenerazione è normalmente circa il 60% del costo delle cremagliere nuove.

Il numero di rigenerazioni possibili dipende dal tipo di dentatura, ma si può considerare che mediamente le cremagliere si possono rigenerare almeno 3 volte.