

Sbavatura e smussatura degli ingranaggi

Per ottenere un ingranaggio finito sono necessarie molte lavorazioni e manipolazioni dell'ingranaggio stesso.

Dopo le operazioni di tornitura ed eventuale prerettifica del foro e delle facciate, si passa alla dentatura con il creatore o con il coltello stozzatore, poi alle operazioni di finitura dei denti prima del trattamento termico ed infine alla rettifica finale del corpo dell'ingranaggio.

Il passaggio da una macchina all'altra può avvenire in modo automatico, se la produzione è eseguita su linee continue, oppure lo scarico da una macchina e il carico su quella successiva può essere manuale.

In ogni singola fase di questo ciclo produttivo ed ogni volta che l'ingranaggio è movimentato, sia automaticamente che manualmente, c'è il pericolo che prenda un colpo e che la dentatura si ammacci con conseguenze a volte molto gravi.

Si consideri ad esempio un albero con quattro o cinque dentature e si pensi su quante macchine deve passare e quante volte deve essere spostato prima di arrivare al montaggio finale. La probabilità di danneggiare qualche dentatura è molto grande.

Sotto questo punto di vista gli ingranaggi che vengono rettificati dopo il trattamento termico, anziché rasati, sono avvantaggiati perché la rettifica della dentatura è una delle ultime operazioni e quindi può eliminare le piccole ammaccature; nelle poche operazioni successive prima del montaggio il rischio di ulteriori colpi è ridotto.

In genere l'operazione di smussatura è eseguita contemporaneamente alla sbavatura. Eseguendo nello stesso momento le due operazioni si limita o si elimina del tutto lo spostamento della bavatura all'interno del vano del dente ad opera degli utensili sbavatori.

Nella figura N°1 si può vedere un ingranaggio prima dell'operazione di smussatura e sbavatura e lo stesso ingranaggio dopo queste operazioni.



Figura N°1

Lo scopo principale, ma non il solo, della smussatura degli ingranaggi è appunto quello di proteggere la zona attiva del dente dall'influenza di eventuali ammaccature.

Se un colpo arriva a danneggiare la zona attiva del dente, l'ingranaggio sarà sicuramente rumoroso e quindi non utilizzabile.

Il controllo con l'ingranometro permette di individuare questo tipo di difetto ed a tale proposito tutti gli ingranometri automatici possono essere dotati di un dispositivo che marca, con un punto di vernice, il dente ammaccato, rendendo più facile e veloce la sua individuazione e la sua eventuale riparazione.

Nella figura N°2 è rappresentato un dente di un ingranaggio mettendone in evidenza la zona attiva ed i vari smussi.

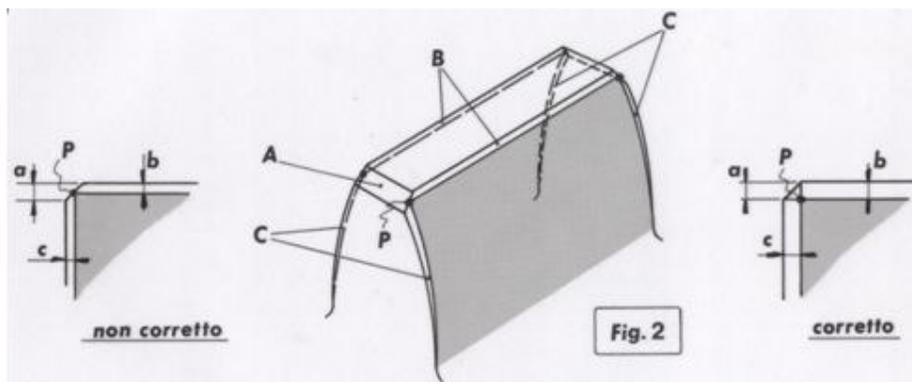


Figura N°2

Lo smusso A è eseguito in fase di tornitura dell'ingranaggio e normalmente la sua importanza è drammaticamente sottovalutata; vedremo poi perché.

Lo smusso B è eseguito durante la fase della dentatura e per questo si usano i cosiddetti creatori o coltelli semitopping.

Lo smusso C infine è eseguito, quando è eseguito, con speciali macchine smussatrici che possono andare dalle antiche macchine ad utensile singolo alle smussatrici automatiche che provvedono ad eseguire gli smussi sui quattro spigoli del dente e la contemporanea sbavatura dei fianchi in tempi estremamente ridotti, qualche secondo appena.

La smussatura può essere eseguita anche dopo il trattamento termico, con mole abrasive, ma questo sistema presenta alcuni inconvenienti che ne limitano e ne sconsigliano l'impiego, specie su produzioni medio-alte.

Come si è detto, lo scopo degli smussi A, B, C è quello di proteggere da eventuali colpi la zona attiva del dente (zona ombreggiata nella figura N°2). Se la smussatura è ben eseguita i punti periferici della zona attiva sono spostati verso l'interno e quindi sono meno soggetti a subire ammaccature.

Risulta evidente che per avere una protezione completa devono essere smussati tutti e quattro gli spigoli laterali del dente (smussi C).

Si diceva però che lo smusso A è normalmente trascurato o meglio, seguendo la convinzione consolidata in ogni officina, che *più lo smusso è grande meglio è*, si tende a farlo troppo grande e questo annulla l'effetto benefico degli smussi B e C, almeno sul punto P che è il punto più esposto ai colpi.

Come si vede nella figura N°2 (sulla sinistra), se lo smusso A è troppo grande, il punto P della zona attiva è completamente esposto ad eventuali colpi e gli smussi B e C non servono a niente, quindi la smussatura non è corretta. La dimensione dello smusso A, affinché esso sia efficace, non deve superare il valore

$$a = (b + c) : 2$$

In questo modo il punto P viene riportato all'interno del dente, in una zona più protetta: la smussatura così è considerata corretta.

Il valore dello smusso di testa B dipende dall'utensile con cui si esegue la dentatura, ma non solo da questo.

A volte è difficile mantenere costante questo smusso perché la sua entità è influenzata da molti fattori che brevemente possono essere riassunti in:

- *Tolleranza sul diametro esterno dell'ingranaggio*
- *Tolleranza sullo spessore del dente dell'ingranaggio*
- *Tolleranza di esecuzione del profilo del creatore o del coltello stozzatore.*

Sotto questo punto di vista la situazione migliora un po' se si usano utensili dentatori del tipo topping.

Gli utensili smussatori

Gli utensili smussatori sono essenzialmente degli ingranaggi con i denti conici che ingranano con la ruota da smussare. La figura N°3 illustra una coppia di utensili smussatori.



Figura N°3

Il contatto avviene lungo gli spigoli esterni del dente dell'ingranaggio da smussare e gli smussi si generano per effetto della pressione radiale che viene applicata al gruppo utensile. La figura N°4 illustra schematicamente il principio del processo.

La lavorazione è quindi una rullatura che deforma plasticamente a freddo gli spigoli del dente.

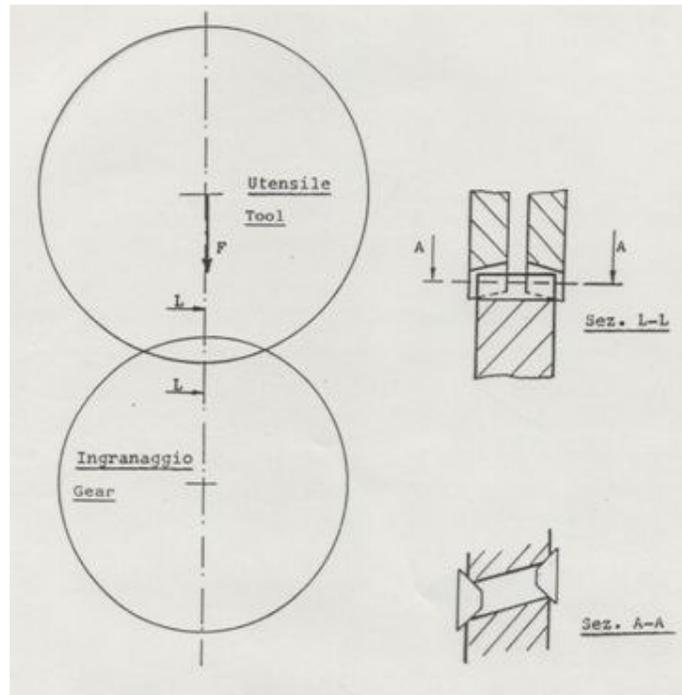


Figura N°4

La pressione è fornita da un cilindro pneumatico che viene alimentato con una pressione di 3 – 4 Bar in modo da generare una forza di circa 1500 – 2000 N. La forza applicata dipende prevalentemente dalla resistenza dell'acciaio da lavorare e dall'entità dello smusso.

E' importante notare che la pressione data dal cilindro pneumatico è meno "rigida" di quella che sarebbe data da un cilindro idraulico. La pressione pneumatica permette all'utensile di seguire un'eventuale eccentricità della dentatura garantendo la costanza degli smussi lungo tutta la circonferenza.

Se la pressione fosse data da un cilindro idraulico la compensazione dell'eccentricità con uno spostamento in senso radiale dell'utensile sarebbe più difficile ed, al limite, se l'eccentricità fosse molto grande, potrebbe anche provocare la rottura dei denti dell'utensile.

Il gruppo degli utensili smussatori ha anche la possibilità di muoversi liberamente in senso assiale per un'entità variabile da 0,5 a 1 mm. Ciò consente al gruppo di autocentrarsi sul pezzo e di eseguire così gli smussi uguali nelle due facciate dei denti.

Si possono eseguire molti tipi di smusso sui fianchi dei denti, secondo il tipo di ingranaggio ed alle esigenze di protezione che si desiderano ottenere.

Nella figura N° 5 sono indicati i principali tipi di smusso eseguibili con il sistema Samputensili più precisamente sono:

- a) *smusso su un solo fianco (fortemente sconsigliato);*
- b) *smusso su due fianchi;*
- c) *smusso su un fianco e su parte del fondo dente;*
- d) *smusso completo sui due fianchi e sul diametro interno.*

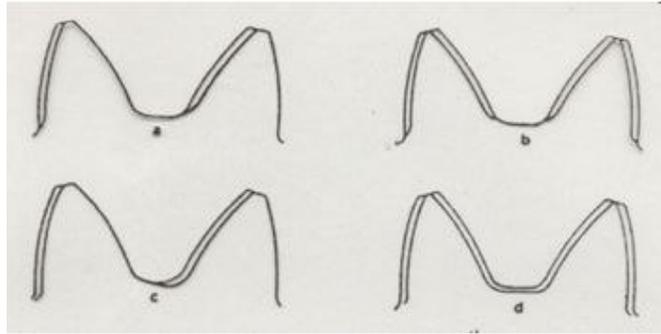


Figura N°5

Poiché la smussatura è un'operazione di deformazione plastica, senza asportazione di truciolo, il materiale spostato va a formare dei rigonfiamenti sia verso la parte esterna del dente, sia verso la parte interna.

Il materiale spostato verso l'esterno viene poi tolto con gli utensili sbavatori, mentre il materiale spostato verso l'interno, come vedremo, può in certi casi costituire un grosso problema.

Questo aspetto della lavorazione verrà discusso nella seconda parte di questo articolo.

Una coppia di utensili smussatori può lavorare un numero considerevole di ingranaggi. La sua durata dipende dall'entità dello smusso che si deve eseguire, dalla durezza del materiale e dalla sua lavorabilità. In genere si possono eseguire dalle 50.000 alle 200.000 smussature prima di dover riaffilare gli utensili.

Gli utensili smussatori non traggono nessun vantaggio dalla ricopertura con TiN o con altri tipi di ricoprimento.

Si è osservato invece che la vita di un utensile è molto influenzata dal grado di finitura della superficie che viene in contatto con l'ingranaggio.

Una rettifica grossolana del fianco del dente riduce di molto il numero di pezzi che l'utensile potrà smussare. Ciò è spiegabile con il fatto che l'utensile lavora per compressione e deve deformare l'acciaio del pezzo in lavorazione; in queste condizioni, se la superficie ha un Ra molto elevato, si verifica un continuo grippaggio tra pezzo ed utensile con una progressiva asportazione di particelle di acciaio dal fianco dell'utensile, cioè, in parole povere, l'utensile si usura più velocemente.

E' per questa ragione che spesso gli utensili smussatori vengono levigati con un particolare processo che rende le superfici praticamente speculari.

Un utensile deve considerarsi usurato quando:

- *si osserva un cratere su tutti i denti dell'utensile;*
- *lo smusso tra due pezzi consecutivi non è più perfettamente uguale;*
- *lo smusso non segue più perfettamente l'andamento del profilo;*
- *il materiale ricalcato all'interno o all'esterno è troppo.*

L'affilatura degli smussatori è un'operazione molto semplice. Si tratta solamente di ridurre lo spessore asportando circa 0,5 – 0,8 mm su una facciata in modo che la zona di contatto tra utensile e pezzo sia diversa. Vedere la figura N°6.

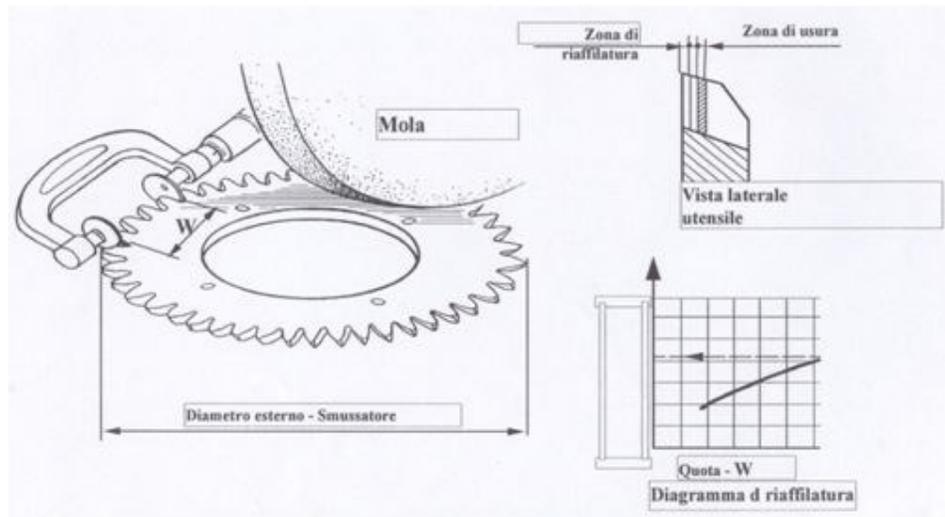


Figura N°6

Naturalmente, poiché i denti sono conici, si andrà a lavorare in una zona in cui i denti avranno uno spessore cordale minore (minore W), per cui l'interasse diminuirà, cioè l'utensile si avvicinerà maggiormente all'asse del pezzo. Sarà necessario quindi ridurre il diametro esterno dell'utensile altrimenti questi andrà ad interferire con il fondo dente dell'ingranaggio.

Per questa ragione si dovrà ridurre il diametro esterno D dell'utensile.

Con l'utensile viene normalmente fornito un diagramma di affilatura che mette in relazione lo spessore W con il diametro esterno D .

Questo tipo di utensile può sopportare circa 4 affilature.

Gli utensili sbavatori

Gli utensili sbavatori standard sono dei dischi in acciaio rapido che hanno in corrispondenza del diametro esterno delle opportune spoglie in modo da generare uno spigolo tagliente circolare.

Questi utensili sono indicati per sbavare le facciate parallele della ruota in assenza di impedimenti in prossimità del diametro interno dell'ingranaggio. Di questi ultimi casi particolari si dirà tra breve.

Il gruppo utensili sbavatori è formato da due utensili uguali che vengono premuti da una serie di molle contro le superfici da sbavare.

La bavatura, insieme al rigonfiamento generato dagli utensili smussatori, viene tagliato e quindi eliminato lasciando il fianco della ruota rettilineo.

E' interessante esaminare la figura N°7, in cui si vede, nella parte (a), l'utensile in posizione di riposo e, nella parte (b), l'utensile in fase di lavoro.

Quando il gruppo utensili non è impegnato sul pezzo, la distanza tra i due spigoli taglienti è minore della larghezza dell'ingranaggio.

Per poter permettere al pezzo di essere introdotto tra i due utensili, su questi ultimi viene praticato uno smusso in corrispondenza di un piccolo settore del diametro esterno, in modo da generare un imbocco che ad ogni ciclo dovrà essere orientato verso il pezzo.

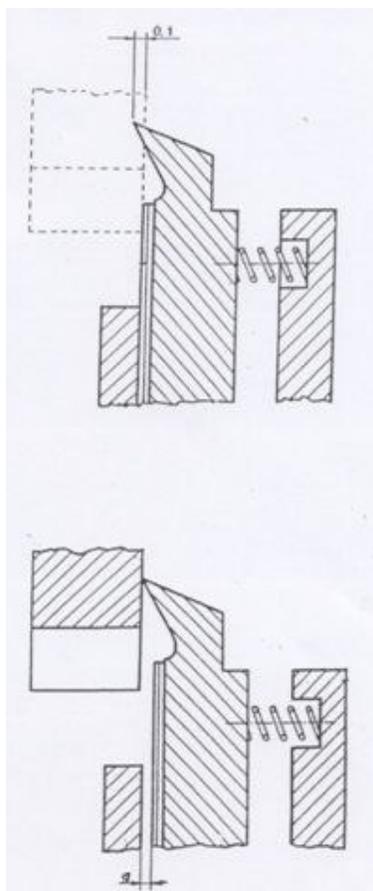


Figura N°7

Il numero di pezzi che una coppia di utensili sbavatori può eseguire è molto variabile: può andare da circa 1.000 pezzi a circa 30.000 e più. Tutto dipende dall'entità della bavatura, dal tipo di materiale dell'ingranaggio, dall'entità del rigonfiamento provocato dalla smussatura e quindi dalla dimensione dello smusso.

In ogni caso gli utensili sbavatori, essendo utensili da taglio, migliorano di molto il rendimento con la ricopertura con TiN.

Gli utensili sbavatori devono essere affilati quando non asportano più correttamente la bavatura. Il primo sintomo che l'utensile è usurato è la non perfetta asportazione del materiale ricalcato dalla smussatura verso l'esterno.

La riaffilatura di questi utensili è semplice perché si tratta di asportare l'usura agendo sul piano E (vedi figura N°8). L'inclinazione di questa superficie è di 5°, cioè esattamente come i coltelli stozzatori a denti dritti. Si possono usare quindi le stesse procedure, le stesse macchine e gli stessi piazzamenti che si usano per questi ultimi utensili.

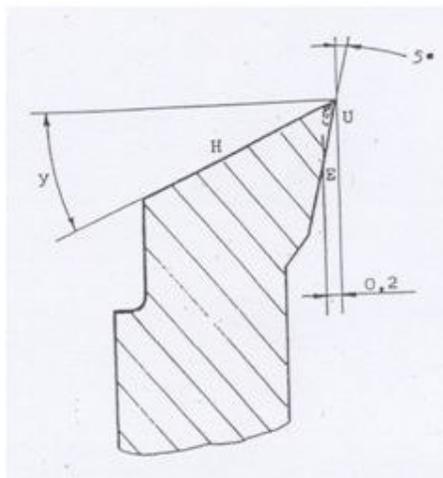


Figura N°8

Se risultasse più comodo si potrebbe anche affilare l'utensile sulla superficie H (diametro esterno) usando una normale rettificatrice parallela.

Gli utensili smussatori e sbavatori sono montati folli sui loro assi e vengono trascinati in rotazione dal pezzo.

Il numero di giri del pezzo dipende essenzialmente dal suo diametro in quanto non si devono avere velocità di taglio eccessive per gli utensili sbavatori.

Per avere un'idea si può dire che per un ingranaggio di circa 100 mm di diametro si può assegnare un numero di giri al minuto compreso tra 150 e 200.

E' importante inoltre notare che la velocità di rotazione non influisce sul risultato della smussatura e sulla durata degli utensili smussatori.

Inoltre, per compensare gli eventuali errori di allineamento dell'ingranaggio, anche il gruppo utensili sbavatori è libero di spostarsi leggermente (0,5 – 1,0 mm) in senso assiale, come gli utensili smussatori. Questo consente di ottenere la perfetta simmetria anche della sbavatura sui due fianchi dell'ingranaggio.

Casi particolari

Esistono delle ruote dentate che non possono essere sbavate con gli utensili appena descritti e sono quelle che hanno le facciate inclinate, cioè non ortogonali all'asse della ruota e quelle che in prossimità del diametro interno della dentatura, presentano degli scalini o dei raggi di raccordo.

In alcuni tipi di ruote talvolta è impossibile anche eseguire lo smusso fino a fondo dente e ci si deve accontentare di smussare la zona dell'addendum, arrivando fino a circa 0,3 mm dall'impedimento.

In questi casi la forma dello smusso è a "virgola", cioè inizia da una certa dimensione sul diametro esterno e termina a zero. Bisogna notare che anche con uno smusso di questo tipo, i denti sono sufficientemente protetti da eventuali colpi che produrrebbero ammaccature.

Un certo numero di questi casi particolari è rappresentato in figura N°9

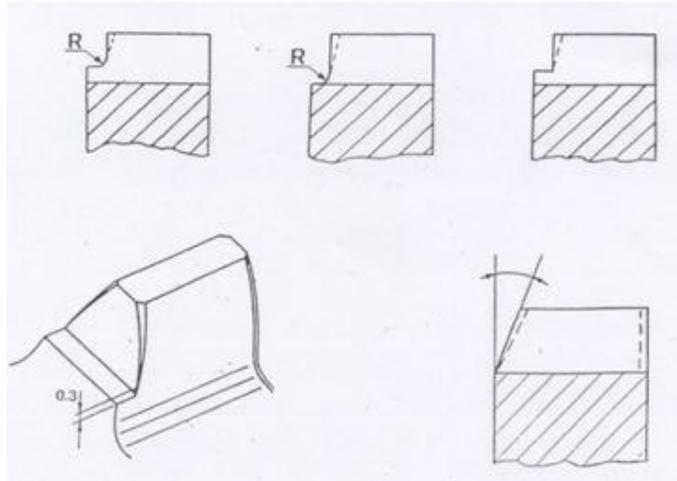


Figura N°9

In tutti questi casi, se si vuole sbavare il fianco del dente è necessario usare degli utensili un po' speciali, che lavorino, nelle parti inclinate e nei raggi, come delle frese. Infatti sulla zona che deve asportare la bavatura si esegue una dentatura con le appropriate spoglie di taglio in modo da generare una serie di spigoli taglienti.

Ma il problema non sarebbe risolto solo con l'impiego di questi utensili, perché se si ricorda quello che si è detto poco sopra, l'utensile è trascinato per attrito dalla rotazione del pezzo e quindi la velocità periferica del pezzo e dell'utensile sono uguali, cioè la velocità relativa dei taglienti rispetto il pezzo è zero e quindi non è possibile nessuna azione di taglio.

E' quindi necessario dare all'utensile una velocità maggiore rispetto al pezzo e questo si ottiene con una coppia di ingranaggi, uno coassiale con il pezzo (ingranaggio conduttore) e l'altro coassiale all'utensile (ingranaggio condotto).

La velocità relativa tra pezzo e utensile può andare da 10 a 30 m/min.

L'affilatura di questi utensili presenta qualche difficoltà e molti utilizzatori preferiscono montare solo utensili nuovi gettando a rottame quelli usurati.

In questa categoria di casi rientrano anche le ruote per catena.

Come è noto, le ruote per catena hanno le facciate che non sono rettilinee, ma hanno una forma curva che è ben definita nei disegni.

Purtroppo, fino a pochi anni or sono, la lavorazione di queste facciate veniva fatta con utensili di forma che perdevano la loro sagoma originale dopo qualche affilatura. Ciò impediva di avere una costanza della curvatura della facciata laterale e quindi un eventuale utensile sbavatore non poteva lavorare sempre bene. Oggi normalmente, nella produzione di medio-grandi serie, si usano torni a controllo numerico che garantiscono la costanza della forma delle facciate.

E' stato quindi possibile ottenere dei buoni risultati anche su questo tipo di ruote anche se talvolta la bavatura ha dimensioni notevoli, come si può vedere ad esempio nella figura N°10.

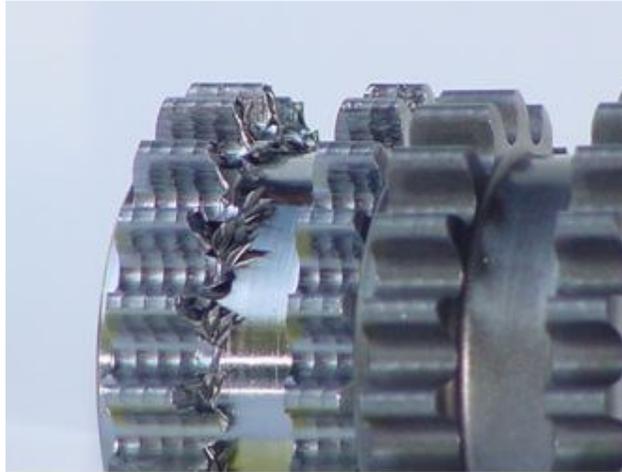


Figura N°10

Per la sbavatura delle ruote per catene si usano utensili sagomati come la faccia laterale della ruota e dentinati come una fresa. La velocità relativa tra pezzo ed utensile viene ottenuta motorizzando quest'ultimo. Specialmente in questo caso è molto difficile riaffilare l'utensile e quindi si preferisce usarlo come un utensile usa e getta.

L'utensile smusso-rullatore

Si è già detto che l'operazione di smussatura per deformazione plastica del materiale, produce un rigonfiamento verso l'interno del vano, che va ad interessare la zona attiva del profilo.

Questo rigonfiamento che ha un'entità compresa tra 0,05 a 0,10 mm in relazione al tipo di materiale, all'entità e dall'inclinazione dello smusso.

E' evidente che se l'ingranaggio non subisce ulteriori operazioni di finitura questa deformazione del profilo non è ammissibile perché provocherebbe una rumorosità assolutamente intollerabile.

Ma questo rigonfiamento, che è illustrato in figura N°11, provoca delle serie conseguenze anche quando l'ingranaggio viene finito con la rettifica o, peggio, con l'operazione di levigatura.

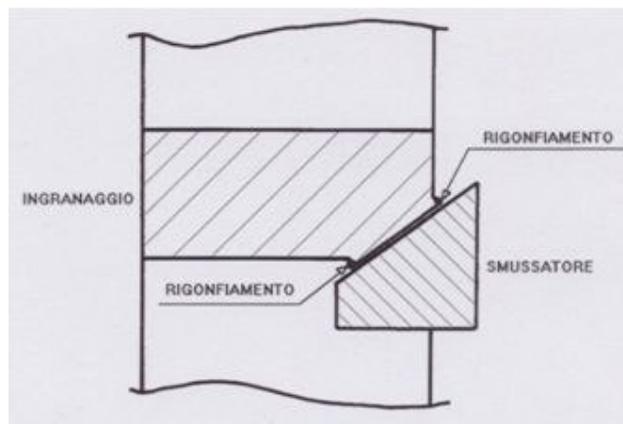


Figura N°11

Le mole adoperate per la rettifica o la levigatura dei fianchi si usurano molto velocemente e provocano degli errori di profilo molto prima rispetto alle lavorazioni di ingranaggi che non presentano rigonfiamenti di materiale all'interno del profilo attivo.

Il materiale ricalcato all'interno non ha invece nessuna influenza sulla durata del coltello rasatore.

Il problema della ridotta efficienza delle mole è ben noto da molto tempo e viene normalmente superato con un utensile rullatore che lavora contemporaneamente allo smussatore ed allo sbavatore.

L'utensile rullatore può essere considerato un ingranaggio con una forte cavità d'elica.

Nella lavorazione di ingranaggi con facciate parallele, senza impedimenti è possibile montare questo rullatore tra i due utensili sbavatori, ma se si tratta di ingranaggi come quelli illustrati in figura N°9, questa soluzione non è possibile a causa della necessità di assegnare una diversa velocità periferica ad ingranaggio ed utensili.

La soluzione è data da un utensile del tutto speciale che la Samputensili ha brevettato e che è stato denominato smussorullatore.

Si tratta in sostanza di un utensile che per metà circonferenza è uno smussatore come quelli descritti più sopra e per l'altra metà è un rullatore, cioè con denti molto simili ad un normale ingranaggio.

Questo utensile ha il vantaggio di costare meno di smussatori e rullatori separati, ma purtroppo ha lo svantaggio di non poter essere riaffilato.

Nella figura N° 12 è illustrato uno di questi utensili.



Figura N°12

La parte dell'utensile destinata a rullare tocca il dente dell'ingranaggio solo nella zona del rigonfiamento e produce uno smusso (fase) secondario contiguo allo smusso (fase) principale.

La scelta dell'inclinazione di questo smusso secondario deve essere fatta con attenzione perché se è troppo grande può a sua volta generare un piccolo rigonfiamento, se invece è troppo piccola va ad interessare una parte troppo grande del profilo attivo, con il rischio che la successiva operazione di rettifica o di levigatura non riesca a lavorare tutto il profilo, lasciando quindi tracce non rettificate.

Nella figura N°13a è indicato un esempio in cui l'inclinazione di questo smusso è di 1° – $1,5^{\circ}$, mentre la figura N°13b mostra i diagrammi dell'elica senza la rullatura (si vedono chiaramente i picchi alle estremità del diagramma) e dopo la rullatura in cui si vede la completa assenza di ricalcature.

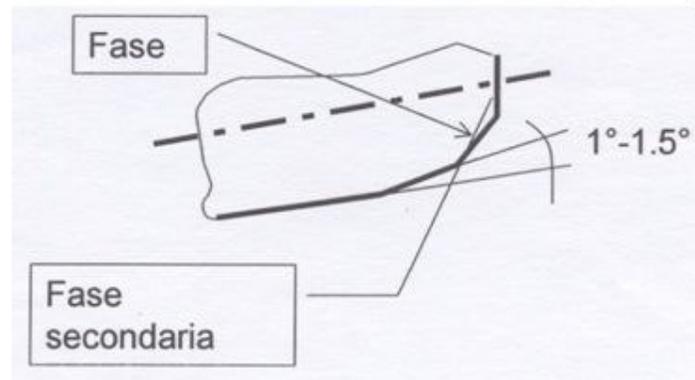


Figura N°13a

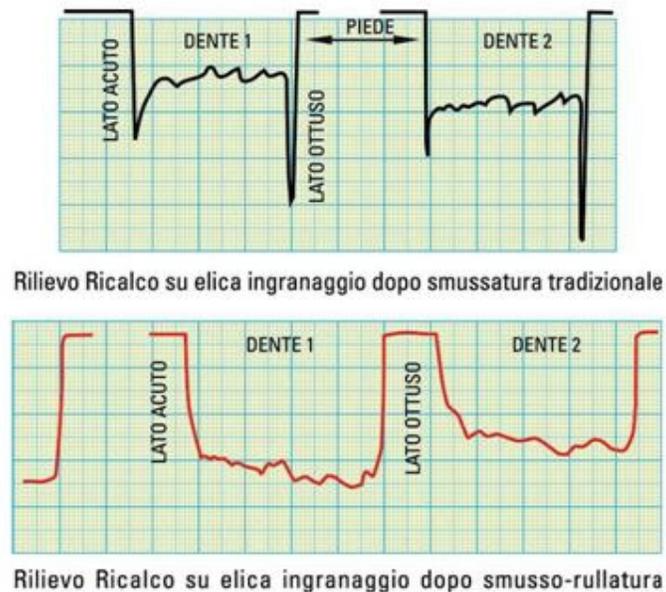


Figura N°13b

Nella fase di studio e di sperimentazione di questo nuovo tipo di utensile, è stata presa in considerazione anche l'eventualità che la deformazione plastica,

provocata prima dallo smussatore e poi, nella stessa zona, dal rullatore, inducesse una modifica strutturale dell'acciaio.

C'era il dubbio che nella zona sottoposta a compressione, durante il trattamento termico si rilasciassero in qualche misura le tensioni interne provocando una deformazione del profilo rispetto alla condizione precedente al trattamento termico.

Le ripetute analisi strutturali e le misurazioni delle microdurezze a diverse distanze dalla superficie, non hanno mai messo in evidenza anomalie.