

Caratteristiche dei canalini dei coltelli rasatori

Il coltello rasatore è uno degli utensili più difficili sia dal punto di vista della progettazione sia da quello costruttivo.

Qui si vuole iniziare un'analisi di questo utensile parlando diffusamente dei canalini ricavati sui denti, elemento questo di fondamentale importanza ai fini di un corretto funzionamento del coltello e di un suo buon rendimento.

I taglienti dei coltelli rasatori sono ricavati sui fianchi di ogni dente con un processo di stozzatura il cui risultato è che ogni fianco del dente del coltello è solcato da canalini a pareti rettilinee i cui spigoli di intersezione con la superficie del dente formano appunto i taglienti, come illustrato in figura N°1.

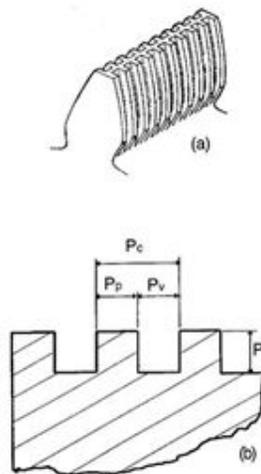


Figura N°1- Rappresentazione schematica dei canalini dei rasatori

E' noto che i coltelli rasatori si accoppiano con l'ingranaggio da rasare con gli assi sghembi, cioè non paralleli. I due assi formano, salvo casi particolari, un angolo di 10 – 14 gradi, detto *angolo di incrocio*.

Per effetto di questo tipo di accoppiamento si genera, durante la rotazione, uno slittamento delle due superfici in contatto, in senso longitudinale.

In pratica, la serie di spigoli taglienti presenti sul fianco del coltello, "raschiano" la superficie del dente dell'ingranaggio asportando dei minutissimi trucioli aghiformi.

Dimensionamento della dentinatura

Con riferimento alla figura N°1, la dentinatura è caratterizzata da:

- ◆ P_c = Passo dei canalini (passo della dentinatura).
- ◆ P_p = Dentino pieno
- ◆ P_v = Vano della dentinatura
- ◆ P_r = Profondità della dentinatura

Il passo della dentinatura P_c e la suddivisione tra pieno e vuoto, dipende principalmente dal modulo, ma anche dall'entità del soprametallo da asportare.

I dati normalmente usati sono indicati nella tabella N°1.

Tab. N°1 Passo della dentinatura in funzione del modulo

Modulo normale m_n	Passo dentinatura P_c	Nota
Fino a 1,50	da 1,80 a 2,00	A parità di modulo, se il soprametallo di rasatura aumenta, il passo della dentinatura sarà maggiore. Per esempio se si passa da un soprametallo di 0,04 ad uno di 0,08 mm per fianco, il passo aumenta di circa il 10%.
Da 1,50 a 2,75	da 1,90 a 2,19	
Oltre 2,75	da 2,00 a 2,20	

La larghezza del dentino pieno P_p e della larghezza del vano P_v sono normalmente quelle indicate nella tabella N°2.

Tab. N°2 Dimensionamento della dentinatura

Passo della dentinatura P_c	Larghezza del dentino P_p	Larghezza del vano P_v
1,80	1,05	0,75
1,85	1,10	0,75
1,90	1,15	0,75
1,95	1,15	0,80
2,00	1,10 (oppure 1,20)	0,90 (oppure 0,80)
2,05	1,10	0,85
2,10	1,10	0,90
2,15	1,20	0,95
2,20	1,20	1,00

In merito alla scelta del valore di P_p , cioè della larghezza del dentino, bisogna fare una considerazione importante.

La somma delle larghezze dei dentini che sono in contatto con il pezzo determinano la superficie su cui viene distribuita la forza con cui viene spinto il coltello contro il pezzo.

Più i dentini sono larghi, più l'area sarà ampia e più la pressione, cioè il rapporto tra la forza e l'area di contatto, sarà minore.

Riducendo la pressione (cioè la forza per mm^2), i taglienti hanno più difficoltà a penetrare nel materiale ed a formare i trucioli.

Quindi, nei casi in cui si riscontrano delle difficoltà nell'asportazione del materiale o nei casi in cui si rasano ingranaggi con materiale con alta resistenza, è opportuno ridurre in certa misura il valore di P_p .

Scegliendo il valore di P_p un po' minore si ha inoltre il vantaggio di ampliare il vano, di renderlo più capace di contenere i trucioli e di migliorare l'azione del lubro-refrigerante.

Naturalmente bisogna sempre considerare di non indebolire troppo i dentini pena la loro rottura precoce.

Il valore della profondità della dentinatura P_r dipende dal modulo e dall'angolo di pressione.

I valori più comunemente adottati sono quelli riportati nella tabella N°3 .

Tab. N°3 Profondità della dentinatura

Angolo di pressione normale	Profondità della dentinatura
Fino a $17^\circ 30'$	Min = $0,20 + 0,22 m_n$ Max = $0,20 + 0,28 m_n$
Da $17^\circ 30'$ a $22^\circ 30'$	Min = $0,20 + 0,28 m_n$ Max = $0,20 + 0,32 m_n$
Oltre $22^\circ 30'$	Min = $0,20 + 0,25 m_n$ Max = $0,20 + 0,28 m_n$

E' importante precisare che la dentinatura non ha la stessa profondità lungo tutta l'altezza del dente. Questa particolarità non deriva da una errata esecuzione dei canalini, ma dal fatto che il fondo di ogni canalino è rettilineo; non segue, cioè, il profilo ad evolvente della superficie esterna del dente.

Praticamente tutte le stozzatrici che eseguono la dentinatura danno all'utensile un moto rettilineo perché, se si volesse seguire il profilo ad evolvente, si complicherebbe di molto il sistema cinematico della macchina con scarsi vantaggi sul rendimento del rasatore.

Come si può vedere nella figura N°2, normalmente la profondità della scanalatura è più grande nella zona centrale ed inferiore del dente. Questo perché, dopo ogni affilatura, viene ridotto il diametro esterno e quindi viene asportata la parte del dente in cui la profondità della dentinatura è minore.

Con questo accorgimento si aumenta il numero di affilature possibili e contemporaneamente si rende più resistente il dente in prossimità del diametro esterno.

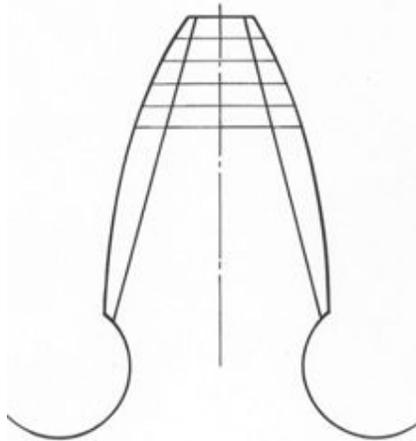


Fig.N°2- Il fondo di ogni canalino è rettilineo e quindi la profondità dei canalini non è costante

Per quanto riguarda la profondità della dentinatura, attualmente c'è la tendenza a ridurla, fino anche il 25%, seguendo ciò che viene già fatto dai più qualificati costruttori giapponesi.

E' stato accertato comunque anche in Europa che in alcuni casi, dove lo stato della superficie lavorata era pessimo, la semplice riduzione della profondità dei canalini, dovuta alle successive affilature, ha migliorato decisamente la situazione.

Si pensa che ciò sia dovuto al fatto che una minor profondità riduce le microvibrazioni dei dentini durante la lavorazione.

In Giappone è stato verificato anche che, con i dentini meno profondi, il rendimento del coltello aumenta, cioè che si possono rasare più pezzi prima di dover affilare il coltello e ciò compensa largamente il minor numero di affilature possibile.

Ad ogni modo la decisione di ridurre la profondità della dentinatura dovrebbe essere presa in accordo con l'utilizzatore, eventualmente dopo qualche test di verifica.

La sfalsatura dei dentini

La posizione della dentinatura sul dente del rasatore dipende anche dal metodo di rasatura, cioè dal modo con cui il coltello si sposta rispetto al pezzo.

Nei metodi di rasatura parallelo e diagonale il coltello si sposta rispetto il pezzo in senso assiale e quindi i taglienti, costituiti dagli spigoli della dentinatura, si spostano lungo il fianco del dente dell'ingranaggio, in modo che durante la lavorazione un dentino non capiterà mai nella stessa posizione sul dente dell'ingranaggio.

Nei metodi underpass ed a tuffo (*plongée*) non si ha uno spostamento longitudinale del coltello rispetto al pezzo, per cui se si facessero i dentini come in figura N°3a ogni dentino cadrebbe nella stessa posizione ad ogni giro del pezzo, con il risultato che sul fianco del dente dell'ingranaggio resterebbero le tracce della dentinatura, cioè i dentini si *stamperebbero* sui fianchi del dente del pezzo.

Sul coltello bisognerà allora sfalsare i dentini di un dente rispetto al dente successivo, cioè ricavare una dentinatura elicoidale come in figura N°3(b)(c).

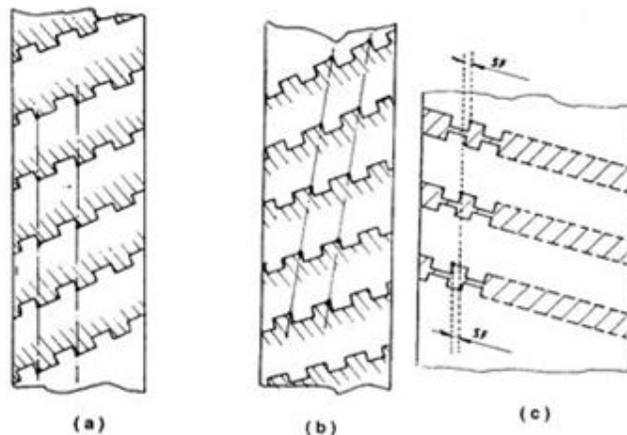


Fig.N°3- Rappresentazione dello sfalsamento dei canalini nei rasatori convenzionali (a) ed in quelli underpass e plongée (b-c)

Lo sfalsamento dei dentini di un dente rispetto al successivo è indicato in figura N°3c con S_f .

Tra il valore dello sfalsamento S_f , il passo della dentinatura P_c ed il numero di denti dell'ingranaggio esiste una relazione molto importante.

Infatti è necessario che alla traccia di un dentino su un dente generico dell'ingranaggio (es. dente Z_1), si sovrapponga, leggermente spostata, la traccia di un altro dentino, dopo un giro dell'ingranaggio (vedere figura N°4).

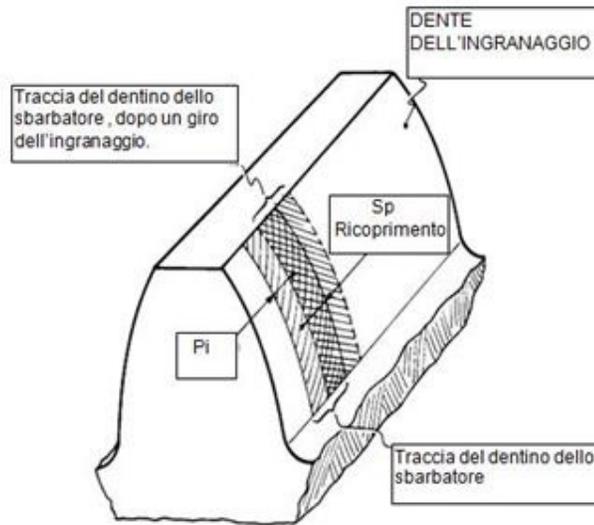


Fig.N°4- Le tracce dei canalini che si succedono su un dente devono sovrapporsi

La traccia di un dentino sul dente Z_1 si troverà in una determinata posizione, quella del dentino appartenente alla stessa fila nel dente successivo del coltello sul dente Z_2 sarà spostata del valore di S_f , nel dente Z_3 sarà spostata di $2 S_f$ e quando l'ingranaggio avrà completato tutto il giro ritornando sul dente Z_1 la traccia di un dentino sarà spostata di $Z S_f$.

In questo intervallo però ci possono stare più passi P_c , ad esempio n passi, e quindi per sapere il valore di P_i vale la relazione

$$P_i = Z S_f - n P_c \quad \text{dove :}$$

$$n P_c \leq Z S_f \leq (n + 1) P_c$$

Il valore comunemente adottato per P_i è $0,15 \div 0,25$ mm .

In questo modo si garantisce una sovrapposizione delle tracce di:

$$S_p = 0,8 - 1 \text{ mm.}$$

Il valore così trovato di S_f è solo provvisorio, in quanto si deve stabilire quanti principi dovrà avere il complesso della dentinatura.

Se si considera la successione dei dentini, seguendo la progressione dei singoli sfalsamenti, si vedrà che essi percorrono un'elica lungo il cilindro costituito da rasatore ed il passo di questa elica sarà di: $p = S_f \cdot Z_1$

Come si può vedere nella figura N°5.

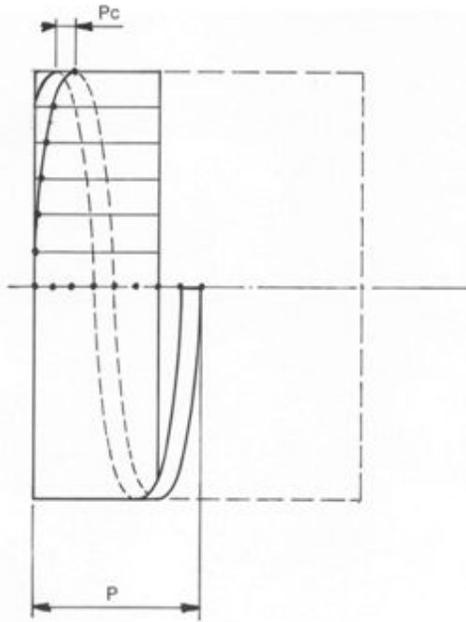


Fig.N°5- *I dentini sfalsati sono posti su traiettorie elicoidali.
Il numero di principi deve essere un numero intero*

In questo intervallo però ci stanno più dentini, ad ognuno dei quali corrisponde un'elica che appartiene ad un diverso principio.

Il numero di principi però deve essere un numero intero, per cui deve essere soddisfatta la condizione:

$$\frac{S_f \cdot Z_1}{P_c} = f \quad (\text{numero intero}).$$

Si sceglierà quindi per **f** il numero intero più vicino al rapporto $\frac{S_f \cdot Z_1}{P_c}$ per poi

ricalcolare $S_f = \frac{f \cdot P_c}{Z_1}$ verificando eventualmente per sicurezza che il valore

di P_i sia accettabile.

Bisogna almeno accennare al senso dell'elica della dentinatura.

Come si capisce dalle espressioni di cui sopra, bisogna scegliere alcuni parametri in modo che il numero di principi sia un numero intero e che la sovrapposizione delle tracce dei dentini su ogni singolo dente dell'ingranaggio abbia valori contenuti in un certo intervallo. Ciò a volte è ottenibile con un elica della dentinatura avente il senso voluto, ma a volte bisogna assegnare al valore di S_f un valore negativo e quindi il senso dell'elica della dentinatura sarà contrario a quello voluto.

In certi casi, questa soluzione non dà dei risultati buoni in lavorazione ed allora sarà necessario riconsiderare la progettazione dei canalini, variando anche il passo P_c ed i valori di P_p e P_v .

Le considerazioni di carattere generale che orientano nella scelta del senso della dentinatura fanno capo alla direzione di taglio che ha ogni singolo tagliente. Se si considera la figura N°6a, la direzione dello strisciamento dei

taglienti va da destra a sinistra se l'angolo di incrocio e come quello in figura, convenzionalmente indicato con senso positivo (senso +).
 Se l'angolo di incrocio ha senso contrario (senso -) la direzione di taglio sarà contraria.

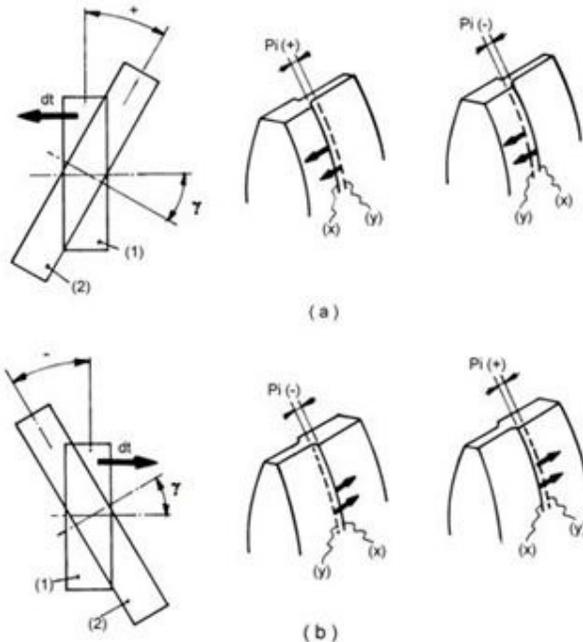


Fig.N°6- La direzione dello sfalsamento deve tener conto della direzione di taglio

- (1) ingranaggio
- (2) coltello rasatore
- (d_t) direzione di taglio
- (x) traccia di un tagliente generico
- (y) traccia del tagliente successivo

Se si considera la figura N°6a, si vede che, nel caso che lo spostamento della traccia del tagliente dopo un giro dell'ingranaggio sia positivo (valore di P_i positivo), cioè cada in una zona in cui ha già lavorato il tagliente precedente, il tagliente, nel suo avanzare, trova uno scalino che facilita l'entrata dello spigolo sul materiale e quindi il taglio è facilitato e la superficie risulterà buona.

Se, al contrario, con quello stesso angolo di incrocio, si avesse uno spostamento della traccia della dentinatura P_i nel senso contrario (valore di P_i negativo), il tagliente cadrebbe in una zona non lavorata dal dente precedente e quindi faticherebbe a "mordere" il materiale e la superficie risulterebbe più irregolare.

Se l'angolo di incrocio ha senso negativo, come in figura N°6b, lavorerà meglio il coltello che avrà lo sfalsamento fatto in modo che il valore di P_i sia negativo, mentre la superficie del dente risulterà di più scarsa qualità se P_i sarà positivo.

Altre caratteristiche della dentinatura

Bisogna evitare, per quanto possibile, che i vani dei dentini si incrocino sulla sommità dei denti del coltello.

In altre parole la somma delle profondità del dentino di un fianco e di quello opposto non dovrebbe mai essere superiore allo spessore del dente del coltello sul diametro esterno, creando una situazione come quella illustrata nella figura N°7a.

Proprio alla sommità del dente la parte piena della dentinatura resta libera, cioè non supportata dall'anima interna e quindi il dentino stesso è soggetto a facile rottura.

Questo inconveniente è particolarmente frequente su coltelli di piccolo modulo. In questi casi normalmente si esegue una dentinatura sfalsata in un fianco rispetto l'altro in accordo con il metodo di rasatura ed alla direzione dell'elica, in modo da aumentare la resistenza della dentinatura. Ciò permette una profondità maggiore dei canalini ed in definitiva un maggior numero di affilature. Questo metodo si è rivelato tanto valido che, iniziato per alleviare gli inconvenienti derivanti dall'incrocio dei dentini sulla sommità del dente, si è esteso anche ai coltelli che hanno in testa una sufficiente larghezza.

Nella figura N°7 a)-b)-c) sono rappresentati i vari casi che si possono verificare e le rispettive disposizione standard delle dentinature di un fianco rispetto l'altro.

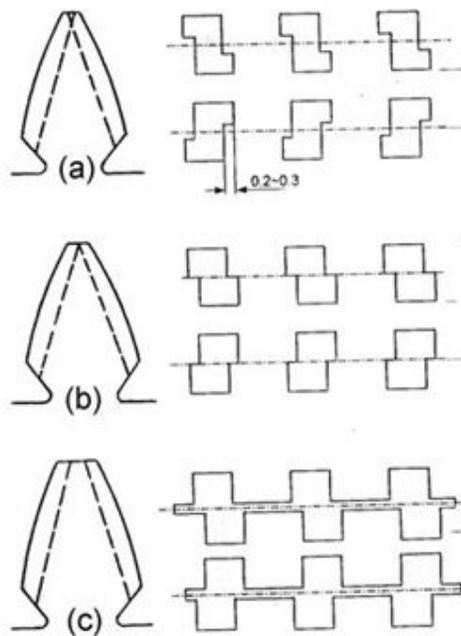


Fig.N°7- Indicazione dello sfalsamento dei dentini sui due fianchi di uno stesso dente in differenti casi, per rinforzare la sommità dei denti

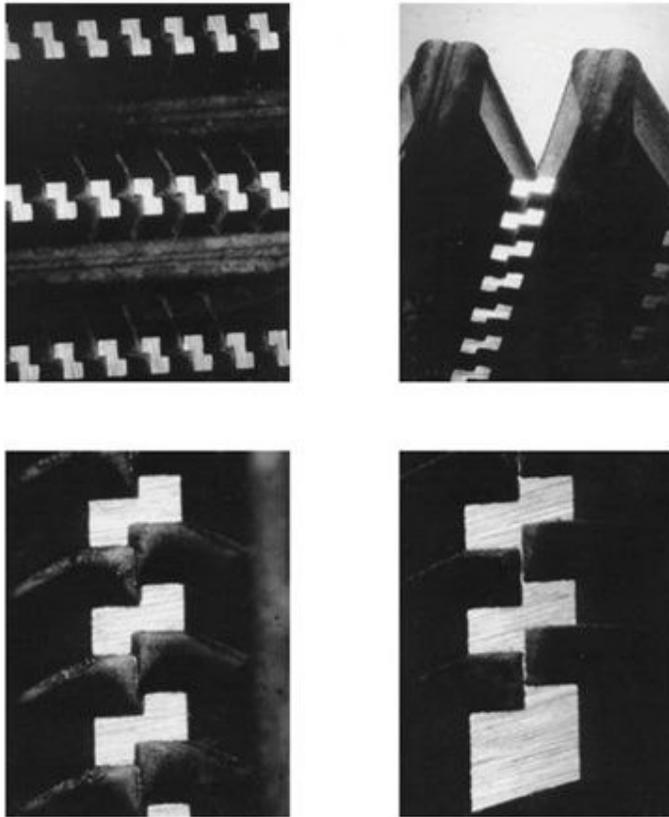


Fig.N°8- Alcuni esempi di dentinature su rasatori

Sui coltelli di modulo inferiore ad 1 mm, data l'estrema difficoltà di esecuzione dei canalini con l'operazione di stozzatura, si pratica a volte la cosiddetta *dentinatura tagliata*, che consiste nel praticare degli intagli circolari, paralleli alle facciate dei coltelli, come indicato in figura N°9.

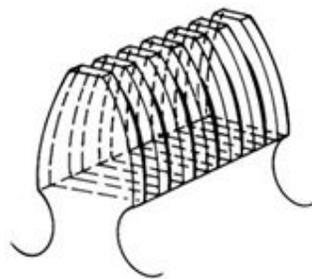


Fig.N°9- Dentinatura tagliata per moduli inferiore ad 1 mm

Questi intagli lasciano i vari dentini senza la parte piena interna di sostegno e quindi sono un po' delicati, ma d'altra parte non è possibile eseguire la dentinatura in un modo diverso.

Questi tagli circolari possono essere eseguiti prima del trattamento termico con utensili da tornio, oppure, meglio, con sottili mole al CBN dopo il trattamento termico. Tra parentesi, con questo ultimo procedimento, si otterrebbero migliori spigoli taglienti.

E evidente che con questo tipo di dentinatura si può solo rasare con i metodi parallelo e diagonale.

Tipici errori sulla dentinatura

Non c'è dubbio che l'esecuzione della dentinatura sui fianchi dei denti è un'operazione molto difficile, che richiede oltre che macchine ed utensili speciali anche operatori molto esperti.

Si consideri che l'utensile stozzatore deve poter raggiungere quasi il fondo del dente del coltello, cioè deve lavorare tutta la parte attiva del dente.

Se si tratta di coltelli di modulo piccolo o con angolo di pressione basso o con particolare dimensionamento, la larghezza del vano verso il fondo dente è molto esigua e richiede un'affilatura dell'utensile stozzatore con un angolo di taglio estremamente basso.

Un utensile stozzatore deve essere affilato frequentemente, circa ogni 20 - 30 denti stozzati. Il rimontaggio dell'utensile affilato in macchina è facilitato da alcuni accorgimenti tecnici sia riguardanti la macchina sia relativi alla progettazione dell'utensile.

Tuttavia talvolta ciò non basta e allora può accadere che il posizionamento in macchina dell'utensile stozzatore dopo l'affilatura non sia corretto e che ciò provochi un errore che sotto certi aspetti è molto grave.

Si tratta di una riduzione della profondità del canalino su un certo numero di denti e su un fianco.

Può essere per esempio che, se l'utensile esegue 20 denti prima di essere affilato, si possa trovare un settore di 20 denti del coltello con la profondità dei canalini ridotta di alcuni decimi di millimetro.

Ciò causa una riduzione del numero di affilature possibili ed un conseguente calo del rendimento complessivo del coltello (figura N°10).

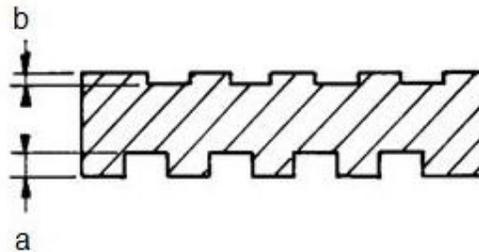


Fig.N°10- Esempi di dentinatura con differenti profondità sui due fianchi del dente

Un altro tipico errore che si riscontra talvolta sulla dentinatura è una diversa profondità dei canalini lungo la larghezza del dente (figura N°11).

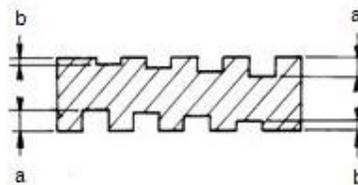


Fig.N°11- Esempio di dentinatura con differenti profondità alle due estremità del dente

Anche in questo caso si ha una riduzione del numero di affilature eseguibili. Questo ultimo errore non è normalmente causato dall'operatore, ma da una forte deformazione del dente durante il trattamento termico.

In altre parole l'operazione di dentinatura è eseguita correttamente, ma durante l'operazione di rettifica dei denti, per correggere le deformazioni del trattamento termico si deve asportare più materiale da una parte rispetto l'altra generando appunto una differenza di profondità dei canalini.

Se invece il trattamento termico deforma tutto il coltello, per esempio se lo rende ovale, durante la rettifica dei denti si genera un altro grave errore, che è quello della riduzione della profondità della dentinatura in due settori opposti del coltello, cioè dove deve essere asportato più materiale per ripristinare la circolarità del coltello (figura N°12).

Nelle zone A e B la profondità dei canalini sarà minorata. La minorazione riguarda in questo caso entrambi i fianchi del dente.

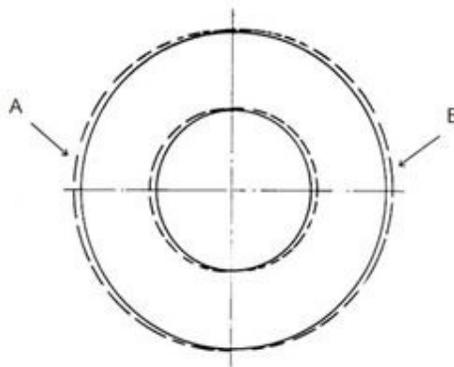


Fig.N°12- *L'ovalizzazione del coltello durante il trattamento termico genera una diversa profondità dei dentini nei diversi settori del coltello*

Talvolta può capitare che una serie di canalini abbia un raggio di raccordo sul fondo troppo grande. Ciò dipende da una usura eccessiva dell'utensile stozzatore o da qualche scheggiatura. Questa anomalia, che non è molto frequente, è quasi sempre accompagnata da una pessima finitura dei fianchi dei canalini e tutto ciò comporta un notevole peggioramento dell'efficienza del coltello.

Infine si deve considerare che in un coltello rasatore gli spigoli taglienti sono formati dall'intersezione della superficie esterna del dente del coltello (superficie con profilo ad evolvente) e le pareti interne dei canalini.

Queste pareti interne sono finite d'utensile e non possono essere ritoccate con la rettifica.

Il rendimento del coltello rasatore dipende in maniera decisiva dallo stato di queste superfici.

Se la finitura è buona anche lo spigolo tagliente risulterà buono, ma se il grado di finitura è pessimo, magari con profonde strappature, lo spigolo tagliente risulterà frastagliato e si avranno basse durate e a volte anche superfici non buone sull'ingranaggio rasato.

Una buona rugosità delle superfici interne è, per esempio $R_a = 0,8 - 1$ micron. Una rugosità normale può arrivare fino a $R_a = 2$ micron. Normalmente questi valori sono misurati nel senso delle linee di lavorazione, perché la profondità del

canalino è troppo bassa per permettere una sufficiente corsa del tastatore del rugosimetro.

Durante l'esecuzione della dentinatura si possono fare altri errori, come un errore di passo della dentinatura (scelta errata dell'utensile stozzatore) o un errore di sfalsamento tra dente e dente (errata impostazione del programmatore o del CN). In entrambi i casi non è automatico che il coltello non vada bene. A volte questi tipi di errore non hanno importanza agli effetti di un buon risultato dell'operazione. Oggi i costruttori più qualificati usano stozzatrici a controllo numerico che hanno ridotto la discrezionalità dell'operatore nella regolazione della macchina ed in certe fasi della lavorazione.

La possibilità di errori è quindi minore, come è minore la probabilità di rotture dell'utensile a causa di false manovre.

Resta tuttavia la necessità che questa operazione venga eseguita da operatori altamente qualificati.

