

I carburi sinterizzati nella dentatura degli ingranaggi

Le prime prove di dentatura eseguite con creatori in Metallo Duro risalgono a circa trent'anni fa e non si può dire che furono coronate da successo.

Alla luce delle esperienze successive i motivi del sostanziale fallimento di questi primi tentativi sono apparsi molto chiari: macchine dentatrici non adeguate e materiale dei creatori con caratteristiche fisico-meccaniche non sufficienti a sopportare le forti sollecitazioni di taglio.

Da allora però è iniziato un lungo cammino di ammodernamento tecnologico delle dentatrici ed un altrettanto spettacolare perfezionamento del materiale con cui vengono costruiti i creatori.

Oggi l'uso del *Metallo Duro*, denominazione più comune dei *Carburi Metallici Sinterizzati*, è molto diffuso anche se non ha raggiunto quell'estensione di impiego che era stata inizialmente prevista.

Si esamineranno, nelle pagine seguenti, anche i motivi di questa rallentata diffusione nell'impiego dei carburi sinterizzati nella dentatura degli ingranaggi.

Le macchine dentatrici

Il tentativo di usare i creatori in metallo duro sulle dentatrici tradizionali è stato, come si è detto, un fallimento.

In primo luogo i mandrini porta creatore si riscaldavano eccessivamente fino ad arrivare sovente al grippaggio del gruppo con effetti devastanti sul creatore e sulla macchina stessa.

La concezione stessa dei mandrini esistenti non permetteva l'elevato numero di giri necessario per la lavorazione di questo tipo. I cuscinetti risultavano sotto dimensionati e non idonei a sopportare le maggiori sollecitazioni cui il mandrino era sottoposto.

Un altro grave problema relativo al mandrino era che poteva ospitare solo creatori con foro e chiavetta longitudinale che, come si vedrà, sono difficilmente realizzabili ed in ogni caso con costi molto alti e con precisioni scadenti.

Le dentatrici di un tempo erano inoltre fortemente limitate nella rotazione della tavola porta pezzo che era legata alla rotazione del mandrino con un cinematismo che prevedeva una ruota elicoidale con vite senza fine.

Pur avendo vari sistemi per la limitazione dei giochi, questo tipo di trasmissione non permetteva forti velocità della tavola porta pezzo e quindi non era possibile sfruttare completamente le potenzialità dei creatori in metallo duro.

Infine la tecnica del taglio a secco era ancora ai primordi e le macchine non erano assolutamente adatte allo smaltimento dei trucioli incandescenti ed alla gestione del notevole calore che si sviluppava durante il processo di dentatura.

Solo con l'estensione dell'utilizzazione dei controlli numerici, specie quelli recenti con tecnologia digitale, è stato possibile eseguire l'interpolazione degli assi rotativi del mandrino e della tavola porta pezzo eliminando ogni limite alla velocità di rotazione dell'ingranaggio da dentare.

Contemporaneamente le dentatrici hanno assunto una struttura più compatta e rigida rendendo anche il mandrino adatto a sopportare ogni tipo di sollecitazione meccanica e termica.

Infine, l'ultima generazione di dentatrici è studiata anche per le lavorazioni a secco, cioè è strutturata in modo da evacuare velocemente i trucioli e di limitare tutti gli inconvenienti che l'alta temperatura potrebbe provocare.

In sostanza, oggi le macchine dentatrici hanno raggiunto un livello di efficienza tale da poter lavorare senza problemi con i più avanzati tipi di creatore.

I carburi sinterizzati

I carburi sinterizzati, conosciuti anche con i nomi di Metallo Duro (MD), Lega Dura (LD), Carbide (inglese) e Hart Metall (HM, tedesco), sono leghe metalliche non ferrose, costituite da un insieme di carburi di tungsteno, titanio, tantalio, niobio legati da una matrice di cobalto.

Nel settore degli ingranaggi il loro impiego, all'inizio, era limitato alle operazioni di finitura di ingranaggi già trattati termicamente, specie quelli di grandi dimensioni (Skiving Hobs).

In genere, trattandosi di creatori di grandi dimensioni, si saldavano o si incollavano le placchette di Metallo Duro su un corpo in acciaio.

La costruzione di creatori integralmente in Metallo Duro era limitata a piccoli e piccolissimi creatori destinati alla dentatura di ingranaggi in materiali diversi dall'acciaio.

Il metallo duro è costituito dal 70 – 90% di carburi di metalli pregiati, come: Tungsteno (W), Tantalio (Ta), Titanio (Ti), Niobio (Nb) ecc., tenuti insieme da un legante che normalmente è il Cobalto (Co).

Le proprietà dei vari tipi di *Carbide*, sono influenzate in maniera determinante da numerosi fattori (composizione chimica, dimensione dei carburi, compattezza, purezza, ecc.) che conferiscono ad ogni qualità di metallo duro una sua specifica attitudine operativa che viene definita dalle seguenti caratteristiche di impiego:

- *resistenza all'usura per abrasione;*
- *resistenza all'usura per craterizzazione;*
- *resistenza agli urti (tenacità)*
- *resistenza alle variazioni termiche.*

I valori delle caratteristiche appena elencate che risultano presenti in una determinata qualità di metallo duro, la definiscono dal punto di vista operativo, per cui la loro conoscenza mette in grado il tecnico di effettuare una giusta scelta per le lavorazioni che lo interessano.

Considerando che se si esaltano alcune delle caratteristiche suddette, vengono necessariamente depresse le altre, ne consegue che un unico metallo duro, ideale, adatto a qualsiasi lavorazione, non può esistere.

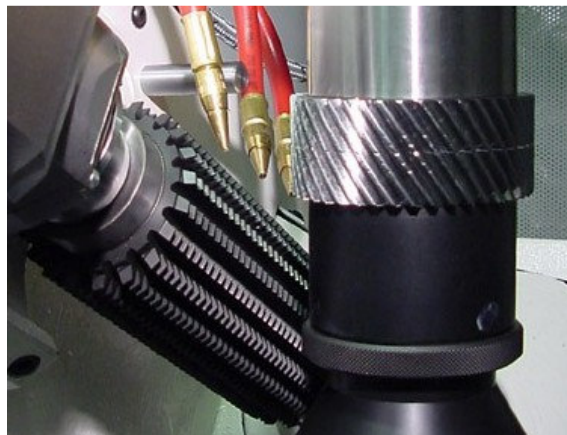


Figura N°1 – Dentatura di un ingranaggio con creatore in metallo duro

Resistenza all'usura per abrasione

L'usura per abrasione si manifesta nella zona immediatamente dietro il tagliente, sul fianco del dente, cioè nella superficie interessata alla spoglia del fianco. Essa si manifesta nel taglio di qualsiasi materiale, metallico e non metallico, naturalmente in

diversa misura, ed è generata dallo sfregamento della superficie del pezzo sul fianco dell'utensile.

Nel taglio di materiale a truciolo corto (ghise normali non legate), di materiali non ferrosi a truciolo plastico (alluminio, rame, bronzo), e di materiali non metallici (resine sintetiche, legno, carbone, gomma ecc.), essa è il tipo di usura che si manifesta in modo prevalente all'altro tipo di usura, cioè la craterizzazione.

Resistenza all'usura per craterizzazione

Il fenomeno della craterizzazione è originato dallo sfregamento del truciolo sulla faccia superiore del tagliente (faccia di affilatura), dove si origina un pronunciato avallamento nella zona immediatamente retrostante il tagliente.

Il cratere tende a formarsi nella lavorazione di materiali a truciolo lungo il cui distacco richiede un sensibile lavoro di deformazione plastica (acciai, ghise legate, ecc.).

Il fenomeno della formazione del cratere comunque è molto complesso e coinvolge, oltre alla pura pressione meccanica, anche fenomeni di carattere chimico e termico.

Il solco del cratere ha come diretta conseguenza un aumento dell'angolo di spoglia anteriore con un progressivo indebolimento del filo tagliente che, raggiunto un punto critico, si romperà.

Resistenza agli urti

E' una prerogativa che non ha bisogno di particolari commenti, essendo intuibile che un materiale poco resistente agli urti si scheggi e si rompa in una lavorazione a taglio interrotto quale è appunto quella con il creatore.

I metalli duri sono meno resistenti agli urti rispetto agli acciai rapidi e questo, nella dentatura con creatore, è un limite notevole al loro rapido diffondersi.

Resistenza alle variazioni termiche

Questo tipo di resistenza alle sollecitazioni termiche non va confusa con la resistenza all'impiego a temperature continuamente elevate. Infatti, la prima è connessa al coefficiente di conducibilità termica ed al coefficiente di dilatazione termica, mentre la seconda è collegata alla proprietà di mantenere costanti le proprietà meccaniche alle alte temperature.

Bisogna notare che ogni singolo dente del creatore è soggetto a continue, ed anche violente, variazioni di temperatura.

Le leghe dure si dividono, secondo le principali norme internazionali (DIN, ISO ecc.), in tre gruppi, distinti tra l'altro, da diversi colori, e che in linea di massima, sono adatti a lavorare diversi tipi di materiale.

- *Gruppo P (individuato dal colore blu): indicato per lavorazioni su acciaio.*
- *Gruppo M (individuato dal colore giallo): qualità universale.*
- *Gruppo K (individuato dal colore rosso): indicato per lavorazioni su ghisa*

A loro volta queste tre categorie si dividono in altri numerosi sottogruppi in base alla composizione chimica ed ad altre caratteristiche fisiche.

Ogni ditta costruttrice varia la composizione e le altre caratteristiche in modo da ottenere materiali sempre migliori e quindi la tabella N°1, che dà le composizioni chimiche di ogni singolo tipo metallo duro, è puramente indicativa, tanto più che oggi vengono impiegati anche altri componenti, come per esempio il niobio (Nb), con lo scopo di esaltare ora questa ora l'altra caratteristica fisico-meccanica.

Nelle sigle che individuano i singoli tipi di metallo duro, a numeri più piccoli corrispondono durezze più elevate e resistenza agli urti più basse.
Le leghe dure individuate da sigle con numeri alti sono quelle più tenaci e meno dure.

Tabella N°1 - Composizione chimica delle leghe dure

Gruppo	Tipo di lega	Composizione approssimata		
		WC %	TiC + TaC %	Co %
P (blu)	P01	30	64	6
	P05	62	33	5
	P10	65	26	9
	P20	76	14	10
	P25	70	20	10
	P30	82	8	10
	P40	74	12	14
	P50	67	15	18
M (giallo)	M10	84	10	6
	M20	82	10	8
	M30	80	8	12
	M40	79	6	15
K (rosso)	K01	92	4	4
	K05	91	3	6
	K10	92	2	6
	K20	92	2	6
	K30	91	--	9
	K40	88	--	12

Esiste quindi un enorme numero di diverse gradazioni di metalli duri, idonei a coprire tutte le molteplici esigenze delle lavorazioni meccaniche. Sempre a titolo indicativo si riportano, nella tabella N°2, le principali caratteristiche fisico-meccaniche di questi materiali.

Tabella N°2 - Proprietà fisico-meccaniche delle leghe dure

Modulo di elasticità	45.000 – 67.000
Resistenza alla compressione Kg/mm ²	400 – 590
Carico di rottura alla flessione Kg/mm ²	90 - 260
Durezza Rockwell a 60 Kg	85 – 93
Durezza Rockwell a 150 Kg	75 – 82
Durezza Vickers a 20 Kg	1.100 – 1.900
Peso specifico g/cm ³	9 – 15
Conducibilità termica cal/°C/sec/cm	0,05 – 0,20
Coefficiente di dilatazione termica 10 ⁻⁶ /°C	5 – 7

Per la costruzione dei creatori si usano due tipi di carburi sinterizzati: quelli appartenenti al grado P e quelli appartenenti al grado K (classificazione ISO 513).

Grado P. Si usa nel taglio vero e proprio della dentatura dove necessita un carburo di tungsteno di grado relativamente *soffice*. Le particelle di dimensioni inferiori al micron costituite da carburi di titanio e tantalio che hanno una durezza inferiore a quella del

carburo di tungsteno, ed in più l'alta percentuale di cobalto, fanno sì che il grado P sia più *tenero* del grado K.

Il grado P ha il vantaggio di una buona resistenza alle sollecitazioni meccaniche e termiche. Si può usare anche senza la ricopertura con TiN, ma con riduzione a circa un terzo del numero di pezzi eseguiti.

La durata del creatore dipende, oltre naturalmente alle condizioni di lavoro, anche dal tipo di materiale lavorato.

Grado K. Viene usato principalmente nelle operazioni di finitura sul temprato, specie con il metodo skiving, dove sono necessarie le caratteristiche di alta durezza e di resistenza all'usura date dalla grana extrafine caratteristica di questo grado. Ma è usato molto anche nelle operazioni di dentatura vera e propria.

Tra i vantaggi che il grado K ha si può citare la maggior durata rispetto il grado P (almeno sotto certe condizioni) ed il suo minor costo.

Lo svantaggio principale è che si deve ricoprire dopo ogni riaffilatura.

Infatti, questo materiale ha una grande affinità di tipo chimico con l'acciaio, per cui, se il petto del tagliente è nudo (non ricoperto), si ha una veloce formazione del tagliente di riporto che, oltre a generare una superficie lavorata scadente, provoca una craterizzazione veloce del tagliente.

Il ciclo di formazione e di distacco del tagliente di riporto ha un periodo di circa un centesimo di secondo.



Figura N°2- Tipica usura per craterizzazione su un creatore

In generale si può dire che le micrograne (dimensione dei grani di carburi di circa 0,7 micron) hanno conferito ai carburi sinterizzati una maggior durezza ed una maggiore tenacità ed in definitiva quindi hanno innalzato di molto le prestazioni dei creatori.

Naturalmente un grande merito di questa maggior efficienza dei creatori va attribuito anche alle moderne tecniche di ricoprimento che consentono uno straordinario rallentamento della formazione dell'usura.

Metallo duro ed acciaio HSS

Esaminando le durezze del metallo duro in relazione a quelle dell'acciaio superrapido, si potrebbe pensare che tutti i creatori dovrebbero essere costruiti con il primo materiale, ma

ci sono delle grandi difficoltà tecniche nel costruire il creatore in metallo duro che limitano la possibilità di scelta delle caratteristiche del creatore.

Prima di tutto bisogna considerare che il semilavorato viene consegnato dal produttore di metallo duro, già sinterizzato, cioè con la sua durezza definitiva e quindi tutte le lavorazioni devono essere eseguite di rettifica con mola diamantata.

La quasi totalità dei creatori in metallo duro destinati alla dentatura vera e propria di ingranaggi, non ha il foro di calettamento.

L'esecuzione del foro e della relativa sede di chiavetta longitudinale presenta delle difficoltà praticamente insormontabili se si vogliono ottenere delle precisioni accettabili.

Il centraggio ed il bloccaggio quindi avviene su appositi codoli integrali sul creatore e le dentatrici devono essere quindi predisposte per questo tipo di bloccaggio.

I solchi d'affilatura dei creatori in metallo duro sono dritti e questo limita il numero di principi del creatore a due o al massimo a tre.

I creatori in acciaio rapido invece non hanno nessuna limitazione del numero di principi e questo, come si vedrà costituisce uno dei vantaggi determinanti per l'acciaio rapido.

I solchi d'affilatura sono dritti perché se fossero elicoidali, la mola diamantata che esegue l'affilatura dovrebbe avere il profilo modificato in accordo con il diametro effettivo del creatore e dell'angolo dell'elica del solco d'affilatura.

Ciò comporterebbe una mola diamantata diversa per ogni tipo di creatore e anche, in teoria, per ogni volta che si affila un determinato creatore. I costi sarebbero proibitivi!

Il creatore in metallo duro ha un costo di circa 2 – 3 volte più alto rispetto ad un creatore in acciaio rapido delle stesse dimensioni. Ciò è dovuto in primo luogo al maggior costo del materiale e poi al maggior tempo di lavorazione.

Si pensi per esempio che il semilavorato è privo di filettatura ed i denti, con la relativa spoglia, devono essere eseguiti di rettifica con mole diamantate.

In genere nella progettazione dei creatori in metallo duro si considera qualche tagliente in meno rispetto a quelli in acciaio e si pone più attenzione alla forma e all'ampiezza dei solchi d'affilatura. Infatti è di estrema importanza facilitare l'evacuazione del truciolo in modo da evitare nel modo più assoluto il loro intasamento nei solchi, causa questa di sicura rottura del creatore.

Vedere come esempio l'effetto di un errato dimensionamento dei solchi di affilatura in relazione alle condizioni di lavoro, la figura N°3.



Figura N°3- *Intasamento dei trucioli nei solchi mal dimensionati*

Le condizioni di lavoro

In genere è sempre molto difficile dare delle indicazioni precise sulle condizioni di lavoro di ogni tipo di utensile, e nel caso dei creatori in metallo duro e di quelli in acciaio superlegato, questo è ancora più difficile in quanto si lavora al limite delle possibilità degli utensili. Il tipo e le condizioni delle dentatrici, in questi casi, è l'elemento più importante da considerare.

Nella tabella N°3 si riportano comunque i dati di lavorazione per diversi tipi di materiale tagliente, con taglio a secco ed ad umido, nel caso specifico che si tagli un ingranaggio di modulo circa 2 mm di un acciaio con resistenza di circa 700 N/mm².

Bisogna in ogni caso precisare che le velocità di taglio indicate possono essere, in alcuni casi, anche notevolmente superiori a quelle riportate in tabella. Ciò è vero in particolare se si lavorano materiali teneri, nel caso di ingranaggi di modulo limitato, su macchine di ultimissima generazione e specialmente se si tollera una produttività per affilatura non troppo elevata.

Tab. N°3-- **Confronto tra Metallo Duro ed Acciaio Rapido**

Materiale	Metallo Duro (Carbide)				Acciaio Rapido (HSS)					
	Grado K		Grado P		S390		REX T76		REX 121	
Tipo di lavorazione	<i>umido</i>	<i>secco</i>	<i>umido</i>	<i>secco</i>	<i>umido</i>	<i>secco</i>	<i>umido</i>	<i>secco</i>	<i>umido</i>	<i>secco</i>
Velocità di taglio (m/min)	240	320	240	320	125	180	130	180	135	190
Minimo spessore truciolo	0,00	0,12	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Massimo spessore truciolo	0,15	0,16	0,18	0,16	0,30	0,22	0,30	0,22	0,30	0,25
Tipo di ricoprimento	<i>Tutti</i>	<i>TiAlN</i>	<i>Tutti</i>	<i>TiAlN</i>	<i>Tutti</i>	<i>TiAlN</i>	<i>Tutti</i>	<i>TiAlN</i>	<i>Tutti</i>	<i>TiAlN</i>
Ricoprire dopo affilatura ?	si	no	si	no	si	no	si	no	si	no

Da notare subito che lavorando con metallo duro ci sono delle limitazioni sul valore minimo e massimo dello spessore del truciolo e ciò si riflette negativamente sul rendimento complessivo del creatore.

Come si può osservare, nella lavorazione a umido con creatori in metallo duro si possono raggiungere velocità di taglio mediamente inferiori a quelle raggiungibili con taglio a secco. Questa affermazione sembrerebbe un po' strana, ma alle alte velocità di taglio si verificano alcuni fenomeni che a volte sono determinanti.

Per prima cosa si ha una polverizzazione dell'olio che arriva nella zona di lavoro.

L'azione combinata della violenta azione meccanica e delle alte temperature sviluppate, fanno evaporare e scomporre l'olio da taglio producendo una grandissima quantità di fumo e di nebbie oleose che vanno aspirate con potenti aspiratori e fatte passare attraverso appositi filtri. Inoltre la grandissima turbolenza nella zona di lavoro impedisce un'azione continua del refrigerante, il quale arriva nei punti critici in modo intermittente. Normalmente il metallo duro soffre di questi continui urti termici.

Per contro bisogna anche tener presente che le moderne dentatrici sono dotate appunto di potenti aspiratori e di filtri efficienti e che i recenti sviluppi dei carburi metallici sinterizzati hanno attenuato di molto la pericolosità degli urti termici.

Le varie prove con uno stesso tipo di utensile, condotte su macchine differenti a volte possono dare risultati completamente contrastanti. Il perché di questa alta incostanza dei risultati va ricercata probabilmente nel fatto che si lavora al limite delle capacità dell'utensile e della macchina e che le variabili in gioco sono moltissime. Basta una piccola variazione di una singola variabile per condizionare pesantemente il rendimento del creatore.

Le ricerche ora si stanno orientando sullo studio delle frequenze di vibrazione proprie della struttura della macchina perché sembra che in certe condizioni entrino in risonanza danneggiando il tagliente del creatore.

Non c'è da meravigliarsi quindi se sulla letteratura specializzata si trovino dati contraddittori sull'argomento.

Si può affermare anche che la durata del creatore, cioè i metri di dente tagliati a parità di usura, se si lavora a secco, sono circa la metà di quelli delle lavorazioni a umido.

Affilatura dei creatori in Metallo Duro

Il problema di essere costretti ad affilare i creatori in metallo duro con mole diamantate comporta di non poter modificare la forma della mola e quindi di non poter apportare le modifiche al petto del tagliente del creatore necessarie per compensare l'interferenza che si ha nel caso di solchi di affilatura elicoidali.

Questo porta alla già citata grave limitazione dell'angolo della filettatura e quindi del numero di principi.

L'affilatura del creatore in metallo duro deve essere fatta con condizioni di lavoro diverse rispetto al caso di creatori in acciaio rapido.

La mola diamantata può avere una grana molto fine (esempio 64) oppure un po' più grossolana (esempio 120), in ogni caso la rugosità della superficie affilata dovrebbe essere contenuta in $Ra=0,2$ micrometri.

E' comunque sempre preferibile adottare piccole profondità di passata e forte velocità di avanzamento.

In questo modo la mola cambia posizione sul pezzo molto velocemente e non ha il tempo di surriscaldare il creatore.

La velocità di taglio può essere scelta tra i 30 ed i 40 m/sec.

L'usura massima del creatore in metallo duro è intorno a 0,25 mm.

A titolo di esempio nella tabella N°4 si confrontano i dati di affilatura di creatori in lega dura ed in acciaio rapido, rispettivamente con mole diamantate e con mole in CBN.

Tab. N°4 – Dati di affilatura dei creatori

<i>Tipo di creatore</i>	<i>In metallo duro</i>	<i>In acciaio rapido</i>
Specifica della mola	SDC 120N-100B-B5-4A2	CBN 120N-100B-B5-2
<u>Sgrossatura</u>		
- Profondità di passata	0,03 mm	0,03 mm
- Avanzamento	2000 mm/min	2000 mm/min
<u>Pre-finitura</u>		
- Profondità di passata	0,005 mm	0,01 mm
- Avanzamento	1000 mm/min	2000 mm/min
<u>Finitura</u>		
- Profondità di passata	0,005 mm	0,005 mm
- Avanzamento (andata)	800 mm/min	1000 mm/min
- Avanzamento (ritorno)	600 mm/min	---

Il mantenimento di una bassa rugosità della superficie affilata è importante per avere un tagliente privo di frastagliature che faciliterebbero scheggiature più ampie, ma anche per permettere uno scorrimento migliore del truciolo sul petto tagliente.

Dopo l'affilatura del creatore in metallo duro, si esegue normalmente l'arrotondatura degli spigoli.

Si tratta in sostanza di *rompere gli spigoli* con un raggio di 0,005 – 0,015 mm . Questa operazione è detta anche, con una brutta parola derivata dall'inglese, *honatura*.

In teoria un tagliente leggermente raggiato resiste di più alle micro-scheggiature ed all'usura. D'altra parte la curva che rappresenta l'usura in funzione dei pezzi eseguiti (o

miglio, dei metri di dentatura eseguiti), ha un primo tratto molto ripido, il che significa che lo spigolo si arrotonda in modo quasi immediato.

Ma se l'operazione si fa prima, oltre ad evitare scheggiature più grandi, si ha anche il vantaggio che il film del ricoprimento (TiN o TiAlN) aderisca meglio in prossimità dello spigolo ed abbia, in lavorazione, una resistenza maggiore.

L'operazione di sbavatura degli spigoli viene fatta normalmente a mano con l'ausilio di una lama di rame, successivamente si esegue un'operazione di corindatura per arrotondare gli spigoli.

Il tempo di taglio

Perché il tecnico sceglie di lavorare con un creatore in metallo duro?

Le risposte possono essere molte, come per esempio:

- ❖ perché è il sistema più moderno per dentare;
- ❖ perché bisogna dentare a secco per motivi ecologici;
- ❖ perché si riducono i tempi di lavorazione;
- ❖ perché si riducono i costi.

Ma ognuna di queste affermazioni può essere contestata.

Lasciando perdere la prima, perché chi la fa è sullo stesso piano di chi vuol seguire ad ogni costo la moda del giorno, si può affermare che anche con il creatore in acciaio rapido si può lavorare a secco e che non è affatto vero che si possono sempre ridurre i tempi di lavorazione e tanto meno i costi.

Per convincerci di ciò facciamo un esempio pratico, ma teniamo presente che i dati riportati in tabella, pur essendo calcolati con un moderno software, partono sempre da dati di base fissati soggettivamente e che quindi non possono avere un valore assolutamente generale.

In ogni caso però, considerando che il costo del creatore in metallo duro è, come minimo, il doppio di quello in acciaio, non mi pare che sia conveniente dal punto di vista economico l'impiego del creatore in metallo duro.

Tabella N°5. Confronto tra creatore in HSS ed in LD

Dati ingranaggio: m = 2 ; Z = 37; Fascia dentata = 35; Ang. Press.=15°; Ang. Elica = 30° destro. Acc. 16MnCr5 Lavorazione a secco			
Tipo di creatore		Acc. CPM REX76	MD - P25
Diametro x Lunghezza	mm	80 x 150	80 x 150
Numero di principi		5	2
Numero di taglienti		20	18
Velocità di taglio	m/min	180	320
Numero di giri del creatore	giri/min	716,2	1273,2
Numero di giri dell'ingranaggio	giri/min	96,78	68,82
Avanzamento	mm/giro pezzo	2	2,7
Tempo totale di taglio	min	0,301	0,322
Spessore truciolo raccomandato	mm	0,17 - 0,29	0,12 - 0,18
Spessore truciolo in questo esempio	mm	0,272	0,156
Forza di taglio	N	2048	1294
Potenza di taglio	Kw	6,14	6,9
Utilizzazione del creatore	mm	5,12	6,53
Numero di pezzi per affilatura		1072	964
Numero affilature possibili (usura=0,30 mm)		17	21
Numero pezzi totali con un creatore		19296	21208

