

Materiali per la costruzione di utensili per il taglio degli ingranaggi

In questo articolo si illustrano gli acciai impiegati normalmente per la costruzione degli utensili destinati alla lavorazione degli ingranaggi, la loro evoluzione, alcune loro caratteristiche salienti e qualche risultato in prove di lavorazione. Si danno inoltre alcune informazioni sui trattamenti termici e sulle composizioni dei materiali stessi.

I materiali con cui possono essere costruiti gli utensili destinati al taglio degli ingranaggi sono molti e mi sembra interessante dare almeno un rapido sguardo a questo argomento per capire come si è evoluto il settore che coinvolge, oltre al rendimento degli utensili stessi, anche il loro costo e le loro capacità operative.

Si possono distinguere due grandi categorie di materiali con cui si possono costruire gli utensili per il taglio degli ingranaggi:

- a)- Acciaio super rapido
- b)- Metallo duro (carburi sinterizzati).

Gli acciai rapidi si suddividono a loro volta in acciai super rapidi normali, detti anche acciai HSS (**H**igh **S**peed **S**teel), ed in acciai super rapidi ricavati da polveri individuati generalmente con la sigla PM (**P**owder **M**etallurgy).

Le caratteristiche tecniche dei vari tipi di acciai dipendono in gran parte dai cosiddetti *componenti di lega*.

Infatti un acciaio super rapido è costituito da una base di ferro (Fe) a cui sono uniti carbonio (C) e altri metalli pregiati come, vanadio (V), tungsteno (W), cromo (Cr), molibdeno (Mo), cobalto (Co), ecc.

Questi componenti, combinandosi con il carbonio, danno luogo ai cosiddetti *carburi*, che conferiscono all'acciaio super rapido le caratteristiche proprie di durezza, di resistenza all'usura e di tenacità.

Le varie composizioni percentuali dei componenti di lega danno origine ai vari tipi di acciai rapidi.

Negli ultimi anni c'è stata una grande evoluzione degli acciai da taglio, con un progressivo miglioramento delle caratteristiche tecniche, fino ad arrivare ai moderni acciai superlegati che consentono prestazioni impensabili fino a qualche anno fa.

E' noto, che una delle leggi fondamentali nella meccanica dice che più un materiale è duro, più esso è fragile. E' quasi inutile ricordare che il diamante, che è il materiale con la maggior durezza, è anche un materiale con una elevatissima fragilità.

Un buon acciaio per utensili però deve essere il più possibile duro e nello stesso tempo conservare un'elevata tenacità.

Gli sforzi della moderna metallurgia sono tesi appunto a migliorare queste due caratteristiche.

Nella tabella N°1, sono riportate le composizioni dei principali tipi di acciaio super rapido usati oggi per la costruzione di utensili per il taglio di ingranaggi.

Si può immediatamente osservare che la somma di tutti i componenti di lega passa dal circa 17% nel caso di un M2 ad oltre il 30% per alcuni tipi di acciai superlegati.

Gli acciai ricavati da polveri sono prodotti con una tecnologia diversa da quella della fusione tradizionale.

Infatti i componenti vengono, in un primo momento, ridotti in polvere finissima e successivamente ricompattati con forti pressioni ed ad alta temperatura fino ad ottenere una massa compatta che include nel suo interno i vari carburi.

Tab.N°1 – Composizione dei principali tipi di acciaio super rapido

Sigla AISI ed (HRC ottenibile)	Sigla commerciale	Composizione chimica							
		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	Co
M2 (63,5 – 65)	WD50	0,85	-	-	4,15	6,30	5,05	1,85	-
idem	S600	0,90	-	-	4,10	6,40	5,00	1,80	-
idem	EM25	0,90	-	-	4,20	6,40	5,00	1,80	-
idem	ISORAPID 2000	0,89	-	-	4,30	6,40	5,00	1,90	-
idem	THYRAPID 3343	0,90	-	-	4,1	6,40	5,00	1,90	-
idem	DMO5	0,90	-	-	4,00	6,50	5,00	2,00	-
M2 PM (63,5 – 65)	CPMREX M2	0,85	0,30	0,30	4,15	6,40	5,00	1,95	-
M35 (64 – 65,5)	S705	0,92	-	-	4,10	6,40	5,00	1,90	4,80
idem	EM35	0,93	-	-	4,20	6,40	5,00	1,80	4,80
idem	VD55	0,85	-	-	3,75	6,10	5,00	2,50	5,00
idem	THYRAPID 3243	0,92	-	-	4,10	6,40	5,00	1,90	4,80
idem	VASCO Commentry M35	0,84	0,30	0,30	4,20	6,35	5,00	1,90	4,75
idem	EMO5CO5	0,92	-	-	4,10	6,40	5,00	1,90	4,80
M35 PM (64 – 65,5)	CPMREX M35	0,85	0,30	0,30	4,15	6,00	5,00	2,00	5,00
M3-2 PM (64 – 65,5)	ASP 23	1,28	0,30	0,30	4,10	6,40	5,00	3,10	-
idem	APM 23	1,28	-	-	4,20	6,30	5,00	3,10	-
idem	S790	1,28	-	-	4,20	6,30	5,00	3,00	-
Gruppo F-PM (65-66,5)	ASP 30	1,28	-	-	4,20	6,40	5,00	3,10	8,50
idem	HS 30	1,27	0,60	0,30	4,20	6,25	5,00	3,10	8,50
idem	CPMREX 45	1,30	0,50	0,40	4,05	6,25	5,00	3,05	8,25
idem	APM 30	1,29	-	-	4,20	6,30	5,00	3,10	8,40
idem	S590	1,30	-	-	4,20	6,30	5,00	3,00	8,40
Gruppo G PM (64,5 – 66,5)	ASP 20 52	1,60	-	-	4,80	10,5	2,00	5,00	8,00
Gruppo H PM (64,5 – 66,5)	CPMREX 76	1,50	0,30	0,30	3,75	10,0	5,23	3,10	9,00
Gruppo I PM (65,0 - 67,0)	ASP 60	2,30	-	-	4,20	6,50	7,00	6,50	10,5
Gruppo L PM (65,0 – 67,0)	CPMREX T15	1,55	0,30	0,30	4,00	12,25	-	5,00	5,00
M4 PM	CPMREX M4	1,35	0,30	0,30	4,00	5,75	4,50	4,00	-
idem	S690	1,33	-	-	4,30	5,90	4,90	4,10	-
Gruppo N (65,5-69,5)	CPMREX 121	3,40	-	-	4,00	10,0	5,00	9,50	9,00
M42 (66,5 – 69,0)	MO 88	1,08	-	-	3,90	1,50	9,40	1,20	8,00
idem	EM 42	1,08	-	-	3,80	1,50	9,40	1,20	8,00
idem	S 500	1,10	-	-	3,90	1,40	9,20	1,20	8,40
idem	WD 98	1,08	-	-	3,75	1,50	9,50	1,10	8,00
M34 (64,5 - 66,5)	EMO 9 CO	0,92	-	-	4,00	2,00	8,00	2,00	8,00

Il vantaggio di questo tipo di acciaio è che i vari carburi rimangono di piccole dimensioni e molto ben distribuiti nella massa dell'acciaio.

Nell'acciaio tradizionale, infatti, uno dei più gravi inconvenienti che si incontrano, è la presenza di carburi di notevoli dimensioni con distribuzioni, a volte, irregolari (es. a bande); vedere fig. N°1.

E' infatti molto difficile gestire la dimensione e la distribuzione dei carburi. In queste condizioni l'acciaio presenta tutta una serie di difetti come per esempio: non uniformità delle caratteristiche metallurgiche, eccessiva durezza e fragilità in alcune zone, scarsa lavorabilità, alta deformabilità durante il trattamento termico, ecc.

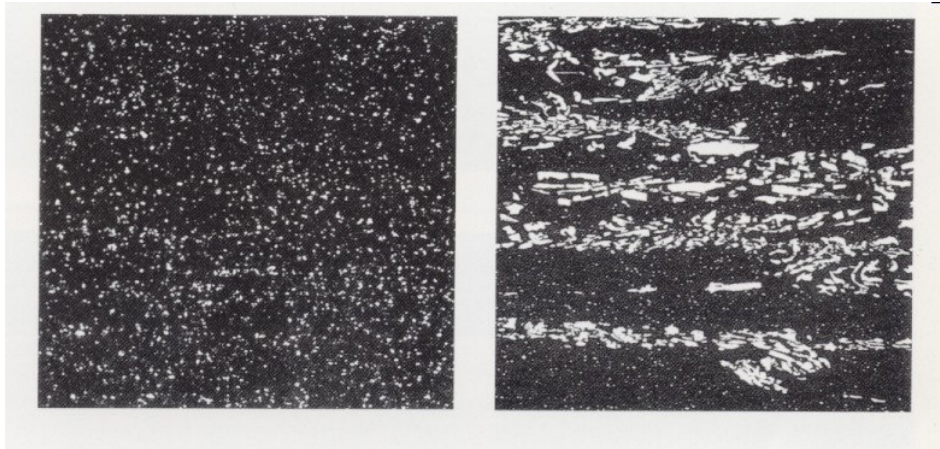


Figura N°1 (Micrografie di acciai)

Negli acciai ricavati da polvere inoltre, potendo controllare meglio le dimensioni e le distribuzioni dei carburi, si possono aumentare le percentuali dei componenti di lega e quindi migliorare l'attitudine al taglio dell'acciaio ottenuto.

Tra le più importanti caratteristiche degli acciai super rapidi bisogna citare la durezza che, in genere, si misura in gradi Rockwell della scala C (HRC= **H**ardness **R**ockwell **C**).

La durezza voluta si ottiene attraverso un corretto *Trattamento Termico*. Questa operazione è molto delicata ed è sufficiente un piccolo errore sulla temperatura o sul tempo di permanenza nel forno affinché i risultati non siano quelli voluti.

Il trattamento termico (tempra e rinvenimenti) si esegue o con un *forno a bagno di sale* o con un *forno sotto vuoto*.

Nel primo tipo di forno, i pezzi vengono immersi in un crogiuolo pieno di sale fuso (*Cloruro di Bario*) tenuto alla temperatura voluta da appositi elettrodi. La regolazione della temperatura è automatica ed è guidata da apposite termocoppie immerse nel bagno di sale; queste termocoppie sono più comunemente chiamate *pirometri ad immersione*. Oppure le temperature del bagno possono essere misurate con i cosiddetti *pirometri ottici* che determinano la temperatura in base alla radiazione luminosa emessa dal bagno.

Questo tipo di trattamento termico garantisce una buona precisione della temperatura ed una buona uniformità del riscaldamento dei pezzi immersi nel bagno.

I problemi che un bagno di sale genera sono essenzialmente di carattere ecologico. Lo smaltimento dei sali di tempra esausti oggi è molto difficile e costoso. Non è permessa la costruzione di nuovi impianti di questo tipo.

Un altro inconveniente è che la superficie del pezzo deve essere accuratamente pulita dopo il trattamento termico per evitare ossidazioni e corrosioni anche a distanza di breve tempo.

Naturalmente anche l'ambiente in cui sono installati questi forni a bagno di sale sono piuttosto *caldi* e, specialmente nella stagione estiva, avvicinarsi a questi *bagni di sale* non è molto confortevole.

I forni sotto vuoto invece sono essenzialmente delle camere a tenuta in cui viene praticato il vuoto ed in cui la temperatura viene mantenuta al valore voluto da una serie di elettrodi attraverso un sistema di controllo elettronico che riceve le informazioni da una serie di termocoppie poste internamente al forno.

In effetti sarebbe improprio parlare di trattamento sotto vuoto, perché è vero che si aspira l'aria dall'interno della camera fino a raggiungere una pressione di circa $5 \cdot 10^{-3}$ Bar, ma poi si immette Azoto (N) fino ad una pressione di circa 1,5 Bar.

Nella fase di raffreddamento si immette ancora Azoto fino ad arrivare ad una pressione di anche 8 Bar.

Il grande vantaggio di questo tipo di impianti è la pulizia e la vivibilità dell'ambiente circostante e l'assenza di prodotti che potrebbero avere un impatto negativo sull'ambiente, cioè assenza di problemi ecologici.

Come svantaggio si potrebbe citare una certa difficoltà nel mantenere una temperatura costante ed uniforme all'interno della camera, essendo questa più sensibile alle caratteristiche della *carica*, cioè dell'insieme degli utensili che viene inserito nel forno. Si arriva ad ottenere dei buoni risultati dopo una notevole esperienza e facendo molta attenzione alla composizione ed alla sistemazione della carica all'interno della camera.

Ad ogni modo, i buoni risultati sul pezzo si ottengono solo se si rispettano scrupolosamente le istruzioni sul ciclo che il fornitore degli acciai suggerisce.

Un ciclo tipico di trattamento potrebbe essere per esempio:

- *Primo preriscaldamento a 600 °C per 10 – 20 minuti*
- *Secondo preriscaldamento a 800 °C per 10 – 20 minuti*
- *Riscaldamento alla temperatura di austenitizzazione a 1150–1250 °C in funzione dell'acciaio trattato*
- *Raffreddamento drastico fino a 500 °C*
- *Raffreddamento più lento fino alla temperatura ambiente*
- *Primo rinvenimento con riscaldamento a circa 550 °C per almeno 2 ore*
- *Raffreddamento a temperatura ambiente*
- *Secondo rinvenimento con riscaldamento a circa 560 °C, in relazione alla durezza che si vuole ottenere*
- *Raffreddamento ed ultimo rinvenimento di distensione a circa 540 °C.*

Questo ciclo è rappresentato in forma grafica nella fig.N°2.

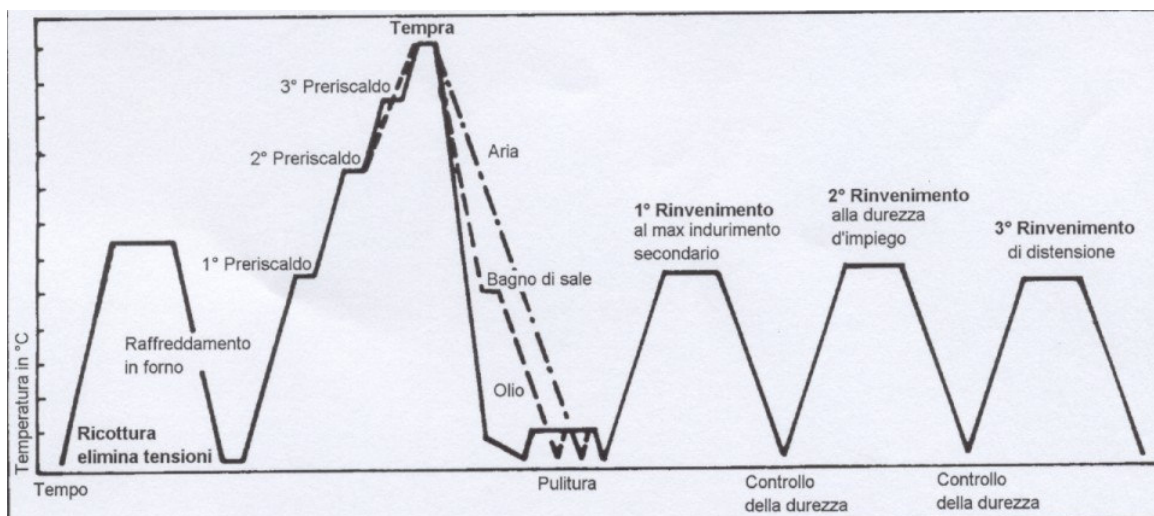


Figura N°2 (Ciclo di trattamento termico)

In questo ciclo ci sono alcune fasi molto delicate, dalle quali dipende la qualità finale dell'acciaio e la sua durezza. In particolare, oltre alla temperatura di austenitizzazione che è tipica di ogni acciaio e che si innalza all'aumentare della percentuale di tungsteno (vedere tabella N°2), è di estrema importanza conoscere la temperatura del rinvenimento perché in base a questa si fissa la durezza finale dell'acciaio trattato.

Tipo di acciai	Percentuale di W	Temperatura di austenitizzazione
ASP 23	6,4	1150 °C
M2	6,3	1180 °C
M35	6,4	1195 °C
S390	10,5	1210 °C
T15	12,25	1225 °C

Tab. N°2 - Temperature di austenitizzazione di alcuni acciai

Ogni fornitore di acciaio fornisce dei diagrammi che mettono in relazione la temperatura del rinvenimento con la durezza (vedere fig. N° 3)

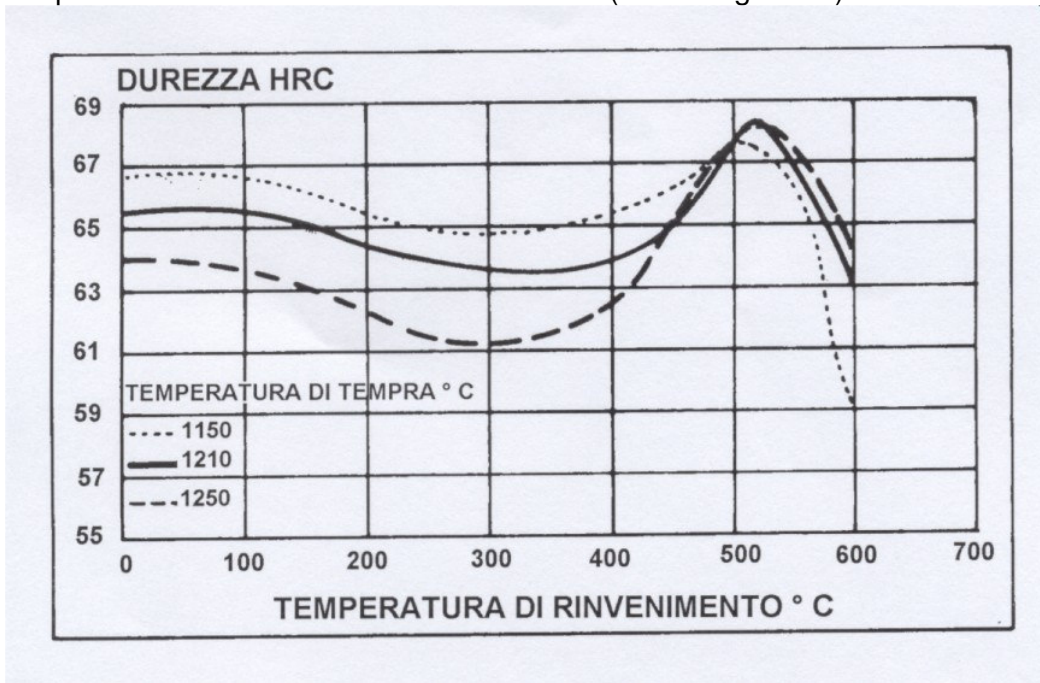


Figure N° 3 (Diagramma di rinvenimento)

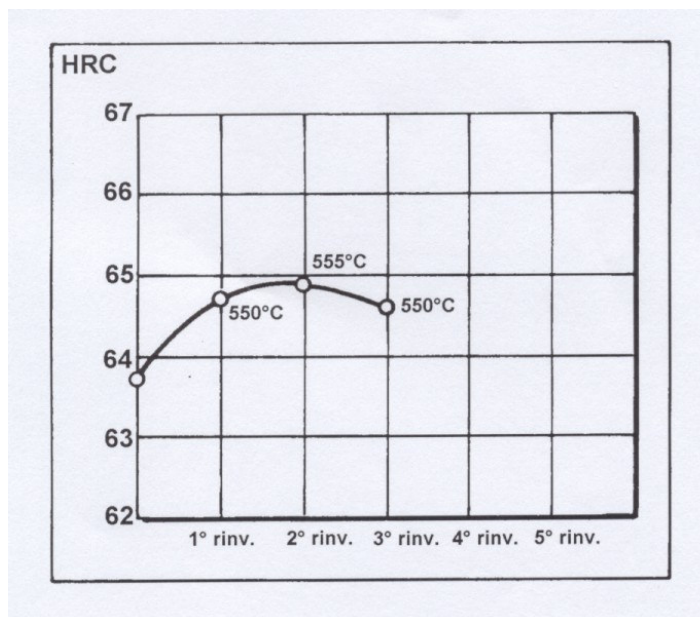


Figure N° 4 - Diagramma di rinvenimento acc. M2

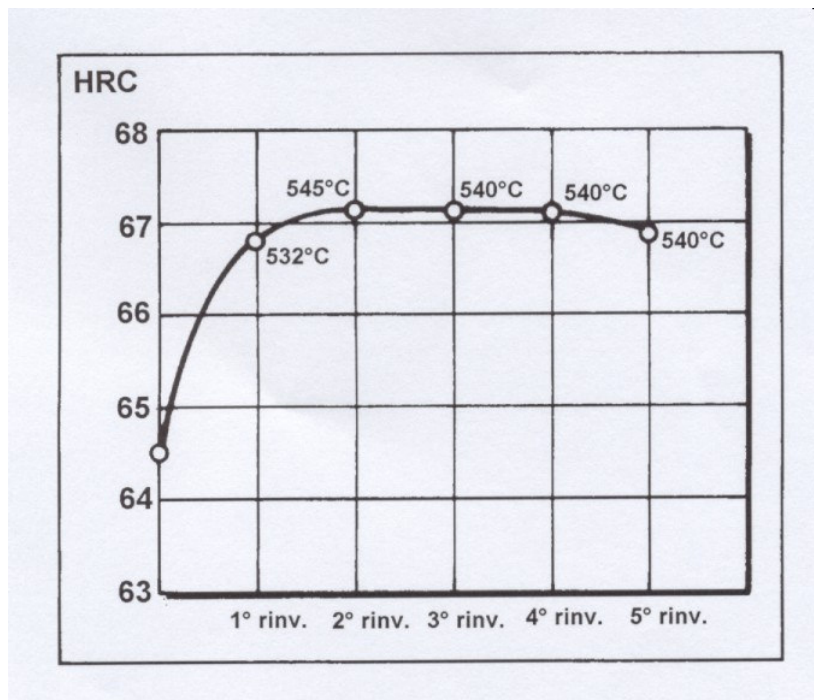


Figure N° 5 - Diagramma di rinvenimento Acc. T15

Nella figura N°3 è indicato un diagramma completo di rinvenimento, ma la zona che viene usata è quella nell'intorno del picco massimo. Nelle figure N°4 e N°5 sono rappresentate invece le durezza raggiunte nei successivi rinvenimenti alle temperature indicate nel caso di acciai M2 e T15.

Esaminando questi diagrammi si può vedere per esempio che l'acciaio M2 arriva alla sua massima durezza (HRC 65) con una temperatura di rinvenimento di 555 °C, mentre l'acciaio T15 può arrivare ad HRC 67 con una temperatura di rinvenimento di 540 °C.

Ogni tipo di utensile per la lavorazione degli ingranaggi necessita di particolari proprietà e così per esempio il creatore deve poter lavorare ad alte velocità di taglio e sopportare grandi sollecitazioni dovute agli urti ripetuti che ogni dente subisce. Deve inoltre avere la massima resistenza all'usura, sia a quella per craterizzazione, sia per quella per abrasione. Bisognerà usare quindi un acciaio che raggiunga la massima durezza, che sia il più possibile tenace e che mantenga la sua durezza alle elevate temperature. Naturalmente non tutti i creatori hanno bisogno di queste proprietà spinte al massimo livello, anzi a volte un creatore costruito con acciaio superlegato e con altissima durezza può dare pessimi risultati se la macchina dentatrice non è sufficientemente rigida o non consente velocità di taglio adeguate.

I coltelli stozzatori non lavorano ad elevate velocità di taglio, ma subiscono degli urti più frequenti e più violenti, per cui gli acciai di questi utensili devono privilegiare la tenacità fermo restando che la durezza deve essere la più elevata possibile per contrastare la formazione dell'usura.

Molto diverso è il caso dei coltelli sbarbatori. Le sollecitazioni cui sono sottoposti sono tutto sommato abbastanza modeste, infatti il truciolo prodotto ha dimensioni veramente piccole, ed anche la velocità effettiva di taglio è molto bassa. In queste condizioni sarebbe superfluo un acciaio fortemente legato, ma è necessario in ogni caso che la durezza sia piuttosto elevata. Per la sua particolare geometria, però, lo sbarbatore presenta dei punti molto delicati, con spessori molto bassi (esempio i dentini), ed è quindi necessario che l'acciaio abbia una buona resistenza alla rottura.

Gli acciai più comunemente usati nei vari tipi di utensile sono:

Creatori

- **M2** - E' l'acciaio tradizionale, usato per decenni per costruire creatori. Oramai è poco usato e solamente su utensili poco sollecitati, impiegati su macchine vecchie, su utensili standard dove la velocità di produzione non è molto importante. E' l'acciaio che costa meno.
- **M35** - E' un acciaio molto usato, perché grazie alla sua alta percentuale di cobalto ha una forte resistenza all'usura. E' un acciaio molto tenace ed è quindi adatto a creatori molto sollecitati. Le moderne tecniche di ricopertura con TiN o con TiAlN consentono di limitare l'usura per craterizzazione e per abrasione e quindi con questo acciaio si possono ottenere creatori di ottima qualità.
- **Gruppo F-PM** - A questa categoria appartiene l'universalmente noto ASP30 (Erasteel) che grazie alla altissima percentuale di cobalto ed in genere alla presenza di componenti di lega per oltre il 27% permette condizioni di lavoro molto gravose, specie per quanto riguarda le velocità di taglio.
- **Acc. Superlegati** – Sotto questa denominazione possono essere inclusi tutti gli altri acciai tra cui i più conosciuti sono il T15, l'M4, M42 e l'M34. Tutti questi sono acciai che devono essere usati con una certa cautela, perché se è vero che possono consentire prestazioni eccezionali, è anche vero che non in tutte le applicazioni e non in tutte le dentatrici danno buoni risultati. Più sotto si riporta un esempio di lavorazione con un creatore Samputensili costruito in acc. CPMREX76; le condizioni di lavoro si possono definire estreme ed i risultati sono eccezionali. Se si dovesse impiegare questo stesso creatore su macchine vecchie, non sufficientemente rigide e con velocità di taglio più basse, probabilmente i risultati non sarebbero altrettanto buoni. Bisogna fare un'altra importante osservazione: con questi acciai, la geometria del dente non può essere quella tradizionale. Bisogna studiare nuovi valori di spoglia di testa e sui fianchi.

Coltelli stozzatori

- **M2** - Vale lo stesso discorso fatto per i creatori. Questo acciaio viene ancora usato su coltelli standard e dove non sono richieste particolari prestazioni. Come si è detto è l'acciaio più economico e viene ancora usato quindi in tutti quei casi in cui si vuole un coltello economico che lavori in modo decoroso. D'altra parte oggi è possibile elevare di molto i rendimenti di un utensile ricoprendolo con TiN, magari dopo ogni affilatura e quindi esistono innumerevoli casi in cui l'M2 può essere adottato convenientemente.
- **Gruppo F-PM** - La stragrande maggioranza dei coltelli stozzatori viene costruita con questi acciai a cui appartiene il famoso ASP30. L'abbinamento di questo acciaio, con forti percentuali di cobalto, con le ricoperture superficiali con TiN e TiAlN permettono di ottenere i massimi rendimenti nelle più svariate condizioni di lavoro.
- **M35** - Si usa talvolta questo acciaio quando si devono dentare pezzi con durezza elevate (es. acciai bonificati) o materiali con forti proprietà usuranti. Tutto sommato però, non è molto usato.
- **Gruppo I-PM** – A questa categoria appartiene l'ASP60 che può essere usato talvolta nella costruzione di coltelli stozzatori. Bisogna però fare molta attenzione nell'uso di questo tipo di acciaio perché è molto più fragile degli acciai precedenti e quindi molto più soggetto a scheggiature e rotture. Si può usarlo in casi particolari, su pezzi duri, con velocità di taglio molto elevate e con macchine assolutamente rigide.

Coltelli rasatori

➤ **M2** - E' molto usato per la costruzione di questo tipo di utensile. Si è già detto infatti che il coltello rasatore non è soggetto a forti sollecitazioni e quindi anche questo tipo di acciaio dà buoni risultati.

➤ **M3-2 PM** - A questa categoria appartengono l'ASP23, APM23 e S790, tutti acciai ricavati da polvere e largamente usati per la costruzione di coltelli rasatori. Come si può osservare nella tabella N°1, si tratta di acciai moderatamente legati. L'uso di un acciaio ricavato da polveri è a volte conveniente per la sua migliore lavorabilità, per la sua minore deformabilità durante il trattamento termico e per la sua, sia pur lieve, maggiore durezza. Normalmente non si usano acciai più legati, anche perché si potrebbero avere dei problemi di rettificabilità, con difficoltà ad ottenere gli esatti profili.

I moderni acciai superlegati permettono di ottenere delle prestazioni eccezionali ed impensabili solo qualche anno fa.

A titolo di esempio si riportano i risultati di una recente prova di taglio a secco con creatori della ditta Samputensili di Bologna.

I risultati, come si può vedere sono veramente eccezionali e sicuramente non inferiori a quelli ottenibili con un creatore in Metallo Duro (carbide). Poiché attualmente i creatori in Metallo Duro possono essere costruiti con al massimo due principi, per ottenere gli stessi tempi di taglio del creatore di cui l'esempio, con un creatore in Metallo Duro, si dovrebbe lavorare ad una velocità di taglio di 340 m/1'.

DATI DEL CREATORE	
<i>Modulo</i>	1,5821
<i>Angolo di pressione</i>	14 ° 30'
<i>Numero di principi</i>	4
<i>Numero di taglienti</i>	21
<i>Diametro esterno</i>	80 mm
<i>Lunghezza totale</i>	150 mm
<i>Caratteristiche del profilo</i>	Protuberanza e semitopping
<i>Materiale</i>	Acciaio CPMREX 76
<i>Ricoperture</i>	TiAlN
DATI INGRANAGGIO	
<i>Numero di denti</i>	47
<i>Larghezza fascia</i>	14,30 mm
<i>Angolo dell'elica</i>	33 °
<i>Materiale</i>	Acciaio 16 Mn Cr 5
DATI DI LAVORO E RISULTATI	
<i>Velocità di taglio</i>	170 M/1'
<i>Avanzamento</i>	3 mm/giro pezzo
<i>Lunghezza totale shifting</i>	90
<i>Refrigerazione</i>	A secco
<i>Dentatrice</i>	Liebherr LC82
<i>Tempo terra-terra</i>	23 secondi
<i>Tempo di taglio</i>	13 secondi
<i>Quantità pezzi tagliati</i>	2.000
<i>Fattore K</i>	6,9 m per dente creatore
<i>Usura riscontrata</i>	0,15 mm