

# 1 - GENERALITÀ

## 1.1 - Concetto di lavorazione ad Alta Velocità

Per lavorazione ad Alta Velocità si definisce comunemente una lavorazione nella quale i due parametri fondamentali di movimento dell'utensile, cioè la sua velocità di rotazione ("SPEED") e la sua velocità di avanzamento ("FEED") sono molto più elevati di quelli normalmente utilizzati nelle lavorazioni convenzionali, mentre per contro lo spessore del truciolo asportato risulta inferiore. Il ciclo di lavorazione tradizionale, non ad Alta Velocità, di uno stampo in acciaio temprato prevede le seguenti fasi di lavorazione:

- Sgrossatura e semifinitura allo stato di materiale tenero (30-40 HRC)
- Trattamento termico per ottenere la durezza richiesta (55-60 HRC)
- Elettroerosione di particolari zone dello stampo o della matrice con raggi molto piccoli o cavità molto profonde.
- Finitura delle rimanenti parti dello stampo
- Ripresa manuale per ottenere le geometrie e precisioni richieste
- Lucidatura manuale

Con l'introduzione della lavorazione ad Alta Velocità il ciclo di lavorazione si trasforma nel seguente:

- Sgrossatura e semifinitura ad Alta Velocità allo stato di materiale tenero (30-40 HRC)
- Trattamento termico per ottenere la durezza richiesta (55-60 HRC)
- Finitura e superfinitura ad Alta Velocità delle superfici con utensili appositi per lo specifico materiale (metallo duro, cermet, PCBN, ecc.) e dimensioni in grado di eseguire tutte le lavorazioni previste.

È evidente il grosso vantaggio ottenibile con la lavorazione ad Alta Velocità nel diminuire i tempi morti di attraversamento del pezzo tra le varie fasi, l'aumento della precisione dimensionale, geometrica e superficiale e l'eliminazione o notevole riduzione della finitura manuale dello stampo. Vantaggi che sono ancora più evidenti quando lo stampo è di piccole e medie dimensioni. È altresì evidente che "Alta Velocità" non significa soltanto utensile che taglia ad alta velocità, ma una sinergia di tecnologie sofisticate che partono dal sistema di generazione del percorso utensile (CAM), attraversano la macchina utensile ed il suo controllo per arrivare all'utensile. Il concetto di lavorazione ad alta velocità coinvolge tutte le fasi della lavorazione dalla sgrossatura alla superfinitura. Se intuitivamente può essere semplice capire la convenienza nel trasformare un processo manuale, quale quello della finitura finale dello stampo, in uno automatizzato realizzato tutto all'interno della macchina utensile, sicuramente meno evidente è capire la convenienza della trasformazione di un processo in cui si usano grandi utensili e grosse profondità di passata per asportare truciolo in uno in cui si usano utensili più piccoli e profondità di passata inferiori per asportare maggiori quantità di truciolo.

# 1 - INTRODUCTION

## 1.1 - Concept of high speed milling

*High speed milling is usually defined as work in which the two fundamental parameters of tool movement, that is the speed of revolution and of feed, are much higher than those normally used in conventional working, while the thickness of the chip removed is less, however. The traditional work cycle, which is not at high speed, for a hardened steel mould includes the following work phases:*

- *Rough-machining and semi-finishing with the material in a soft state (30-40 HRC)*
- *Heat treatment to obtain the required hardness (55-60 HRC)*
- *Electron discharge machining of particular zones of the die or of the matrix with very small rays or very deep cavities*
- *Finishing of the remaining parts of the die*
- *Manual working to obtain the geometry and accuracy required*
- *Manual polishing*

*With the introduction of high speed milling, the work cycle changes to the following:*

- *High speed rough-machining and semi-finishing with the material in a soft state (30-40 HRC)*
- *Heat treatment to obtain the required hardness (55-60 HRC)*
- *High speed finishing and superfinishing with the tools suitable for the specific material (hard metal, cermet, PCBN, etc.) and dimensions able to carry out all the work planned.*

*There is obviously a big advantage to be gained from high speed milling by the reduction of downtimes wasted crossing the piece between the various phases, the increase in the precision in dimensions, geometry and surfaces, and the elimination or considerable reduction in the hand finishing time for the die.*

*These advantages become even more evident when the die is small or medium-sized.*

*It is equally obvious that "high speed" does not only mean that the tool cuts at high speed, but also there is a sophisticated technological synergy that starts from the system generating the tool path (CAM), through the machine tool and its control up to the tool.*

*The concept of high speed milling includes all the work phases from the rough-machining to the superfinishing. If it is easy to understand the cost advantages in changing from a manual process, which is the final finishing of the die, to an automatic one which is entirely carried out inside the machine tool, it is certainly harder to understand the cost saving of changing from a process using big tools with great depths to remove the chip to one which uses smaller tools with less depth to remove greater amounts of chip.*

Per rendere quindi più chiaro questo concetto possiamo, per la fase di sgrossatura, evidenziare la differenza tra una lavorazione ad asportazione di truciolo convenzionale ed una ad Alta Velocità, considerando il seguente esempio:

### Fresatura convenzionale

Con una fresa da 63 mm di diametro impegnata per 3/4 si asportano 6 mm di materiale con una velocità di rotazione di circa 800 rpm ad una velocità di avanzamento di circa 0,6 m/min. La macchina lavora quindi con una capacità di asportazione di circa 170 cm<sup>3</sup>/min.

### Fresatura ad Alta Velocità

Con una fresa da 40 mm di diametro impegnata per 3/4 si asportano 2 mm di materiale con una velocità di rotazione di circa 2800 rpm ad una velocità di avanzamento di circa 3,8m/min. La macchina lavora quindi con una capacità di asportazione di circa 234 cm<sup>3</sup>/min.

Il concetto di lavorare ad Alta Velocità consiste quindi nel cercare di esasperare le velocità di taglio dell'utensile, e quindi il suo avanzamento, asportando spessori di materiali più piccoli e riuscendo nello stesso tempo ad asportare una maggiore quantità di materiale. In altre parole questo concetto si può riassumere in "asportare di meno, ma molto più in fretta".

La tecnologia della lavorazione ad Alta Velocità si può applicare a tutte le fasi della lavorazione di uno stampo: sgrossatura, semifinitura e finitura, permettendo di avere il pezzo finito con un unico piazzamento eliminando la movimentazione dello stampo dalle macchine di potenza, che eseguivano la sgrossatura, alle macchine più veloci e precise che eseguivano la semifinitura e la finitura. È chiaro quindi che per la lavorazione ad Alta Velocità è necessaria una nuova generazione di macchine utensili concepita appositamente per avere tutte le caratteristiche tecnologiche e dinamiche necessarie per lavorare in modo ottimale durante ciascuna fase. Le macchine utensili nate per lavorare ad Alta Velocità dovranno avere quindi la potenza e la rigidità necessarie per asportare grandi volumi di truciolo in tempi ridotti, unite ad una elevata precisione e dinamica necessarie per garantire precisione dimensionale e geometrica del pezzo con ottima finitura delle superfici lavorate.

I vantaggi di una lavorazione ad Alta Velocità si possono quindi riassumere in:

- Capacità di maggiore asportazione di circa il 30%.
- Diminuzione del materiale residuo nelle lavorazioni a terrazzamenti, con minore quantità di materiale da asportare nelle successive riprese, grazie all'utilizzo di utensili di minore diametro.
- Lavorazione del pezzo in unico piazzamento con conseguente riduzione dei tempi morti di spostamento e riposizionamento.
- Ottima finitura dello stampo con necessità di riprese manuali ridotte al minimo o nulle.

Un ruolo molto importante nelle lavorazioni ad Alta Velocità è ricoperto dagli utensili che devono lavorare in

*To make this concept clearer, we can - for the rough-machining phase - illustrate the difference between a working process with conventional chip removal and a high speed one, by looking at the following example:*

### Conventional milling

*With a cutting wheel 63 mm in diameter of which 3/4 is used, 6 mm of material is removed with a rotation speed of about 800 rpm at a feed speed of about 0.6 metres/min. The machine therefore produces a removal rate of about 170 cm<sup>3</sup>/min.*

### High speed milling

*With a cutting wheel 40 mm in diameter of which 3/4 used, 2 mm of material is removed with a rotation speed of about 2800 rpm at a feed speed of about 3.8 metres/min. The machine therefore produces a removal rate of about 234 cm<sup>3</sup>/min.*

*So the concept of high speed milling is to try to increase the work tool speed, and thus its feed rate: in this way we remove thinner amounts of material but at the end the material really removed is greater.*

*In other words, this concept can be summarised as "remove less, but more quickly."*

*High speed milling technology can be applied to all the phases of working a die: rough-machining, semi-finishing and finishing. This gives a finished piece with a single positioning, eliminating the need to move the die from powerful machines, that carry out the rough-machining, to faster and more accurate machines that do the semi-finishing and finishing.*

*It is therefore clear that for high speed milling, a new generation of machine tools is required, which are especially designed to have the technological and dynamic characteristics necessary to work best during each phase.*

*Machine tools created for high speed milling must therefore have the power and stiffness necessary to remove great volumes of chip in a short time, together with the high precision and dynamics necessary to ensure the dimensional and geometrical precision of the piece, and with an optimum finish of the worked surfaces.*

*The advantage of working at high speed can be summarised as follows:*

- *Removal capacity greater of about 30%.*
- *Reduction of residual material from terracing with less material to be removed in the subsequent passes, thanks to the use of tools with smaller diameters.*
- *Work on the piece after positioning it once, with consequent reduction in the downtime for moving and repositioning.*
- *Optimum finish of the die, with the need for manual work reduced to the minimum or absent.*

*The tools have a very important role in high speed milling, which have to work under very different conditions from those for which the manufacturers have previously desi-*

condizioni molto diverse da quelle per le quali le case costruttrici li avevano finora progettati. L'asportazione del materiale, infatti, non si basa più soltanto sul concetto di azione meccanica di taglio, ma anche su quello di trasferimento di calore tra utensile e truciolo. L'elevata velocità di taglio provoca infatti nel punto di generazione del truciolo un notevole sviluppo di calore che, per la grande differenza di inerzia termica esistente tra l'elemento tagliente ed il materiale asportato, viene smaltito per la maggior parte dal truciolo stesso.

Il materiale asportato raggiungendo temperature molto elevate perviene ad uno stato plastico molto superiore rispetto a quello raggiunto nelle lavorazioni tradizionali. Questa maggiore plasticizzazione del truciolo fa sì che siano richieste forze di taglio minori grazie alla riduzione sia della forza di attrito tra truciolo e superficie del tagliente, che della forza necessaria per la deformazione plastica del materiale stesso.

L'evacuazione attraverso il truciolo del calore sviluppato durante l'azione di taglio evita di conseguenza l'eccessivo riscaldamento del pezzo in lavorazione che si ripercuote direttamente in una maggiore precisione dimensionale della lavorazione.

Possiamo quindi riassumere le implicazioni della lavorazione ad Alta Velocità su processo, pezzo, utensile e macchina come segue:

*gned them. The removal of material, in fact, is no longer only based on the concept of a mechanical cutting action, but also on the transferring heat between the tool and the chip.*

*The high cutting speed, in fact, causes, at the point where the chip is made, a considerable increase in heat, which, due to the great difference in thermal inertia existing between the cutting element and the material removed, is mostly discharged by the chip itself.*

*The material removed, reaching very high temperatures, changes into a plastic condition which is much better than that reached in traditional working processes.*

*This greater plasticization of the chip means that a lower cutting force is required thanks to the reduction both in the friction between the chip and the cutting surfaces and in the force necessary for the plastic deformation of the material itself.*

*The extraction through the chip of the heat, built up during the cutting process, avoids the consequential excessive overheating of the piece being worked, which leads directly to a greater precision of the work dimensions.*

*So we can summarise the implications of high speed milling on the process, piece, tool and machine, as follows:*

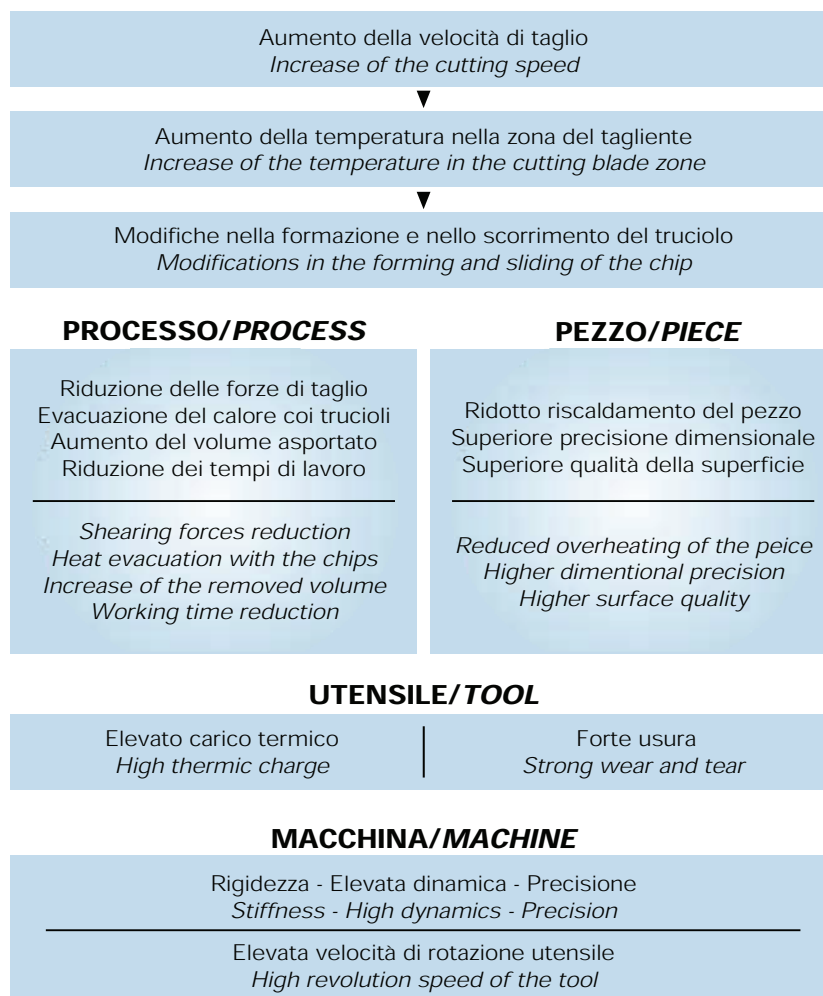


Fig. 1

## 1.2 - Asportazione del truciolo ad Alta Velocità

Com'è noto l'asportazione del truciolo avviene grazie all'azione meccanica che l'utensile compie sul materiale nel punto di contatto dove si crea una concentrazione di tensione tale da deformare il materiale fino a romperne i legami intercrystallini e quindi generare una frattura che si propaga sotto l'azione del tagliente. Il mandrino della macchina durante l'azione di taglio fornisce all'utensile l'energia necessaria per la lavorazione. Tale energia è utilizzata fondamentalmente per tre compiti:

- Rompere i legami intercrystallini del materiale.
- Deformare plasticamente il materiale nella generazione del truciolo.
- Vincere le forze di attrito che si sviluppano durante lo scorrimento del truciolo sul tagliente.

Gran parte dell'energia fornita durante l'azione di taglio si trasforma in calore che si trasmette al truciolo, al pezzo ed all'utensile. Riuscire a concentrare la maggior parte di questo calore sul truciolo permette di gestire in modo ottimale sia il pezzo lavorato sia l'utensile.

Le temperature che si sviluppano nella zona di contatto sono dell'ordine dei 1000-1200 °C come è mostrato nella figura seguente.

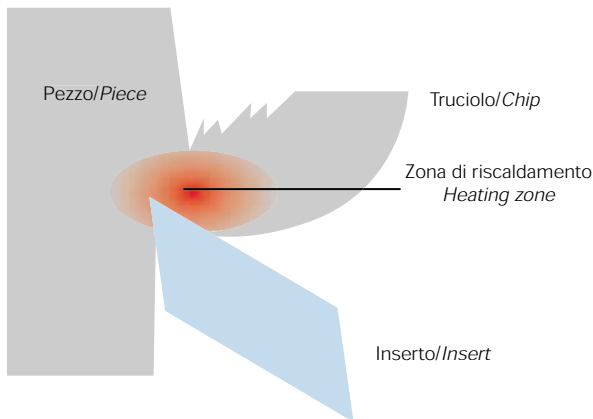


Fig. 2

Può essere interessante vedere dalla figura successiva le temperature sviluppate sul tagliente in funzione dei diversi materiali e quindi dei loro diversi carichi di rottura.

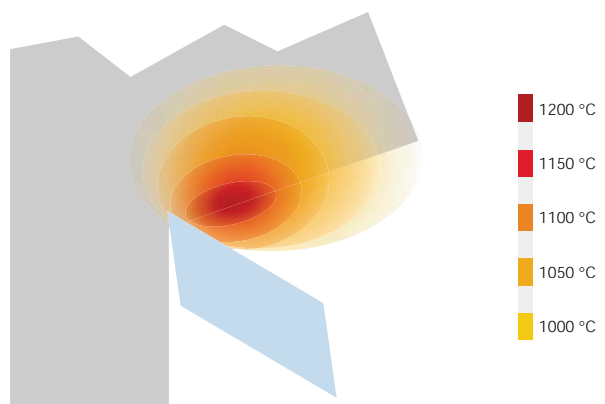
## 1.2 - Removal of the chip at high speed

As we have said, the chip is removed thanks to the mechanical action that the tool has on the material at the point of contact, where a concentration of tension is created so as to deform the material until the intercrystalline bonds are broken; and thus a fracture is generated that spreads under the action of the cutting edge. During the cutting action, the spindle of the machine gives the tool the energy necessary for the working process. This energy is basically used for three purposes:

- To break the intercrystalline bonds in the material,
- To deform the material plastically in producing the chip,
- To overcome the frictional forces that builds up during the movement of the chip on the cutting blade.

Most of the energy supplied during the cutting action changes into heat, that is transmitted to the chip, the piece and the tool. Being able to concentrate most of this heat on the chip allows you to deal with the piece being worked and the tool in the best way.

The temperatures that arise in the contact zone are about 1000-1200 °C, as is illustrated in the following figure.



It may be interesting to see in the following figure the temperatures that build up in the cutting edge depending on the different materials, and so on their different breaking loads.

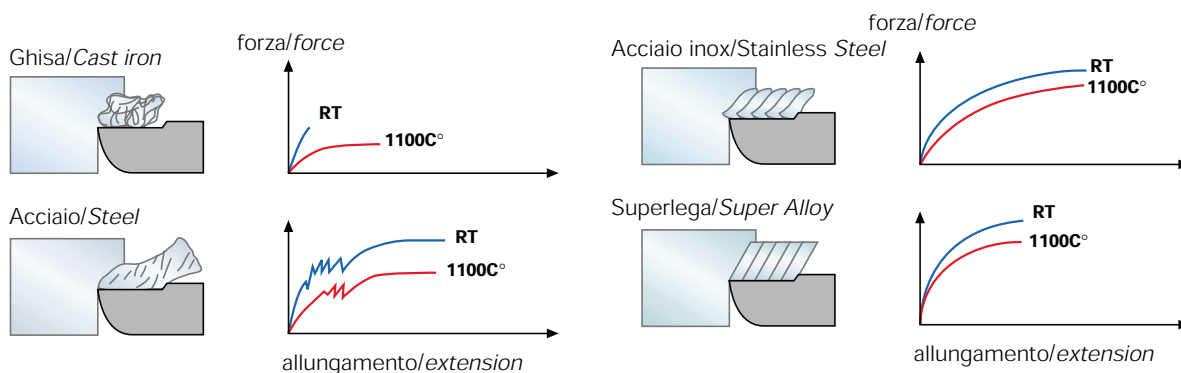


Fig. 3

Le lavorazioni ad Alta Velocità sfruttano il calore che si origina nella zona di taglio per rendere l'operazione di asportazione più facile e veloce grazie alla maggiore facilità di deformazione plastica del materiale.

È proprio grazie a questo fenomeno che si rende necessaria una minore forza di taglio ed è possibile innalzare il livello qualitativo della produzione.

Entriamo ora nel dettaglio del come avviene una lavorazione meccanica ad Alta Velocità.

Quando il tagliente dell'utensile entra nel materiale si generano alta temperatura e stress, sia nel punto di intersezione tra tagliente e materiale che un po' oltre l'estremità del tagliente stesso. Questo stress e l'alta temperatura consentono la deformazione plastica del materiale nella cosiddetta zona di taglio primaria. Quando il materiale raggiunge il suo punto di rottura, si crea il truciolo, che scivola lungo la superficie della zona di taglio primaria e spinge il materiale un po' in avanti rispetto all'utensile. Una zona di taglio secondaria si può individuare lungo le pareti del tagliente, dove il truciolo appena formato scivola, creando un'importante frizione e un conseguente forte innalzamento della temperatura che raggiunge valori prossimi a 1200 °C.

Infine individuiamo una zona di taglio terziaria, che è una diretta conseguenza del ritorno elastico del materiale compresso durante l'azione di taglio.

*High speed milling makes use of the heat originated in the cutting zone to make the removal operation easier and faster, thanks to the easier plastic deformation of the material.*

*It is exactly thanks to this phenomenon that a lower cutting force is required, and it is possible to raise the quality level of the product.*

*We will now go into the detail on how high speed mechanical milling takes place.*

*When the cutting edge of the tool moves into the material, it generates high temperature and stress, both at the point of intersection between the cutting edge and the material, and also a bit away from the end of the cutting edge itself. This stress and high temperature causes the plastic deformation of the material in the so-called primary cutting zone. When the material reaches the breaking point, the chip is created, that moves along the surface in the primary cutting zone and pushes the material forward from the tool. A secondary cutting zone can be seen along the sides of the cutting edge, where the recently-formed chip moves, creating important friction, and consequently a strong rise in temperature, that reaches values of about 1200 °C.*

*Finally, you can see a tertiary cutting zone, that is a direct result of the elastic return of the material compressed during the cutting action.*

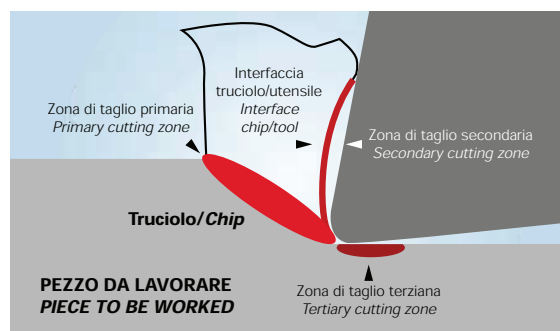


Fig. 4

La grande quantità di calore che si è creata necessita di essere dissipata il più rapidamente e nel miglior modo possibile. La geometria degli utensili per Alta Velocità è tale per cui riesce a generare una grande produzione di trucioli molto piccoli che evacuano facilmente portando con sé la maggior parte del calore creato.

*The great amount of heat that is created needs to be dissipated rapidly and in the best way possible.*

*The geometry of the tools for high speed milling is such as to allow the production of large amounts of very small chips that are easily removed, and take with them most of the heat produced.*



Il calore che si crea in una lavorazione meccanica è generato:

- per l'80% dalla deformazione del materiale che crea il truciolo (zona di taglio primaria)
- per il 18% dalla frizione fra le pareti del tagliente e il materiale/truciolo (zona di taglio secondaria)
- per il restante 2% sull'estremità dell'utensile (zona di taglio terziaria).

Nella lavorazione ad Alta Velocità il calore che si genera viene smaltito nel seguente modo:

- per il 75% attraverso i trucioli
- per il 20% attraverso l'utensile
- per il 5% attraverso il pezzo lavorato

Grazie alle modalità di formazione ed evacuazione dei trucioli, nelle lavorazioni ad Alta Velocità, il calore non ha abbastanza tempo per propagarsi al pezzo da lavorare e provocare quindi deformazioni dello stesso.

Riportiamo di seguito l'andamento di alcuni parametri inerenti la lavorazione in funzione dell'aumento della velocità di taglio  $V_c$ .

*The heat that is caused by mechanical working is generated as follows:*

- 80% arises from the deformation of the material that creates the chip (primary cutting zone)
- 18% from the friction between the sides of the cutting edge and the material/chip (secondary cutting zone)
- the remaining 2% is on the end of the tool (tertiary cutting zone).

*In high speed milling, the heat generated is dissipated in the following way:*

- 75% through the chips
- 20% through the tool
- 5% through the worked piece.

*Thanks to the way of forming and removing the chips, in high speed milling, the heat does not have enough time to spread into the piece being worked and therefore cause this to deform.*

*We show below the trend of some parameters inherent in working according to an increase of the cutting speed  $V_c$ .*

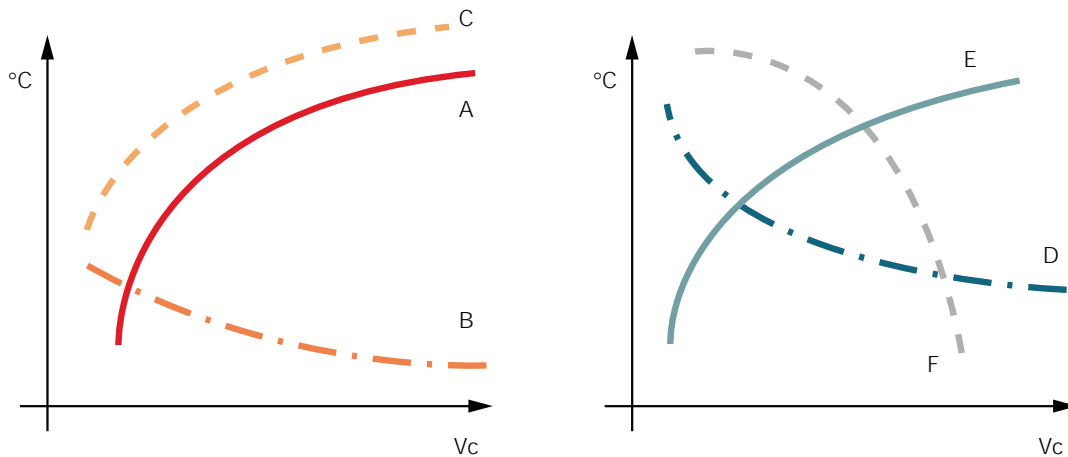


Fig. 5

- A = Calore che si sviluppa nella zona di contatto durante l'azione di taglio  
*Heat developed in the contact zone during the cutting action*
- B = Calore residuo sul pezzo  
*Residual heat on the piece*
- C = Calore evacuato dal truciolo  
*Heat evacuated from the chip*
- D = Forza di taglio  
*Shearing force*
- E = Volume di truciolo asportato  
*Volume of the removed chip*
- F = Durata dell'utensile  
*Tool life*

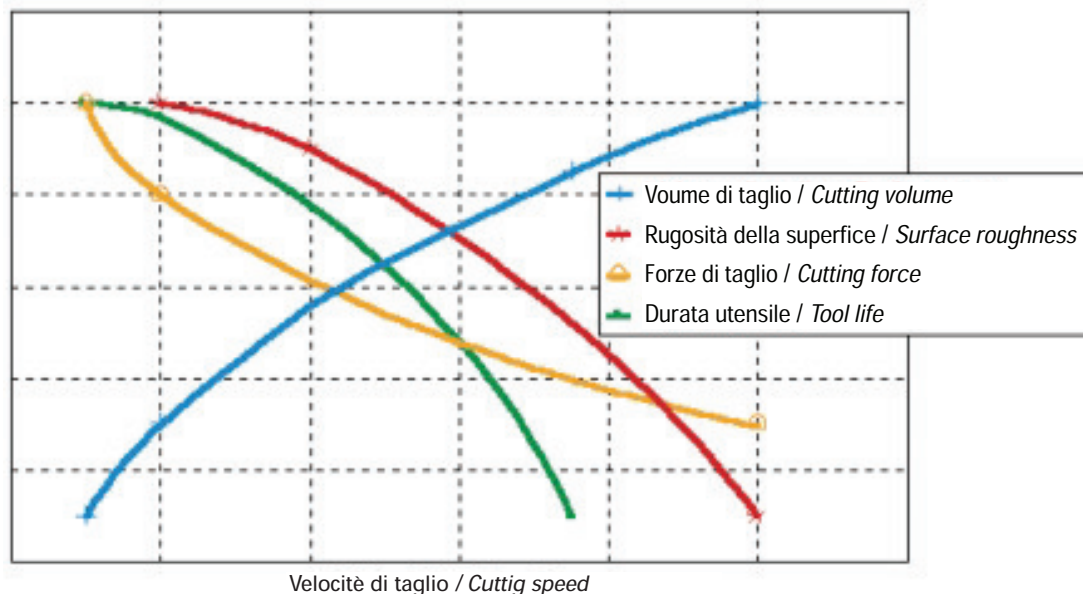


Fig. 6: Processo di variazione dei parametri in presenza di un incremento di velocità di taglio in fresatura

*Process of parameters change in presence of a cutting speed increase in milling*

### 1.3 - Utensili per lavorazione ad Alta Velocità

Nella lavorazione dei materiali l'interazione tra utensile e pezzo è l'elemento focale su cui concentrare tutte le ricerche per migliorare la produttività del processo di taglio. Dato che i materiali devono rispondere fundamentalmente ad esigenze di resistenza e rigidità per soddisfare le richieste strutturali sempre più esasperate, è chiaro che il maggior sforzo di ricerca per aumentare la produttività del processo di taglio viene fatto sugli utensili, sia per quanto riguarda il materiale di base, sia per il suo rivestimento, sia per la loro geometria. È altresì evidente che ogni tipologia di materiale per essere lavorata ad Alta Velocità di taglio presenta problematiche particolari nei confronti delle quali i costruttori di utensili devono trovare delle soluzioni specifiche.

#### 1.3.1- Materiali di base

Suddividendo i materiali in prima istanza in due grandi categorie quali "materiali duri" e "materiali tenaci" dal seguente grafico è possibile avere una indicazione del tipo di utensile da utilizzare.

### 1.3 - Tools for high speed milling

*In working on materials, the interaction between the tool and the piece is the key element on which to concentrate all the research to improve productivity in the cutting process.*

*Given that the materials must fundamentally satisfy the requirements for strength and rigidity to meet ever more stringent structural specifications, it is clear that the main effort of research to increase the cutting process productivity is on the tools, both as regards the base material, its coating, and its geometrical design.*

*It is also obvious that any type of material which is being worked on by high speed cutting presents particular problems for which the tool manufacturers must find specific solutions.*

#### 1.3.1 - Base materials

*By firstly dividing the materials into the two main categories of "hard materials" and "tough materials", from the following graph, it is possible to get an indication of the type of tool to use.*

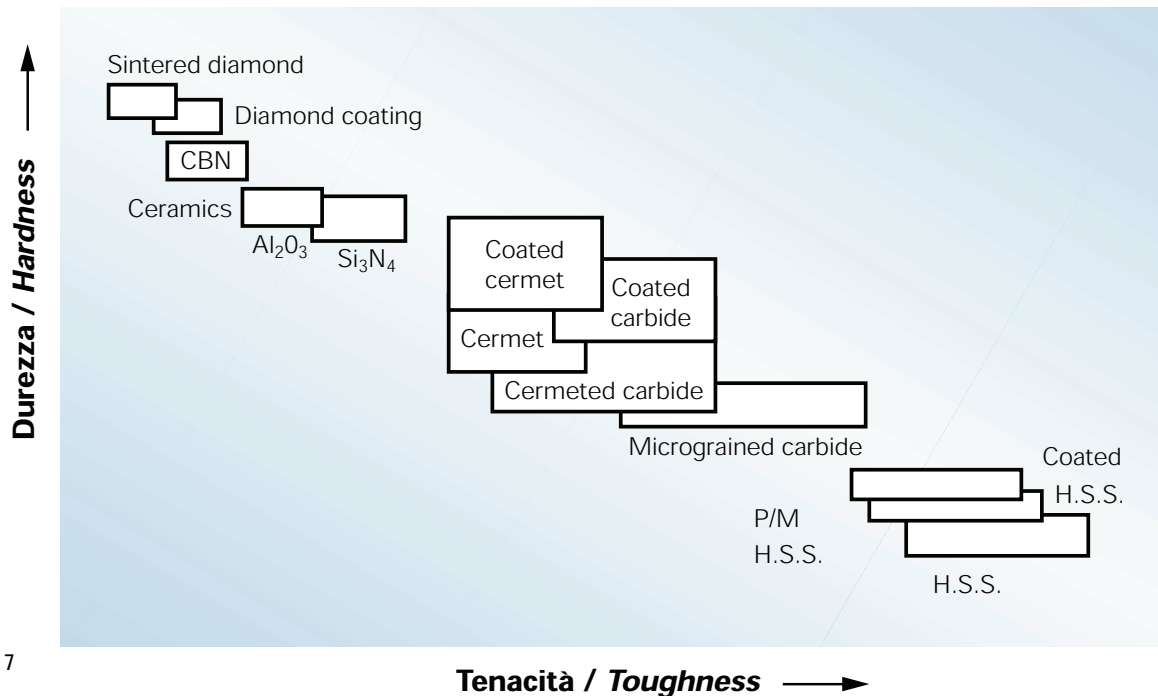


Fig. 7

Come possiamo vedere si parte dagli utensili in acciaio super rapido (HSS) per materiali tenaci e non duri (<20 HRc), comunque poi rivestiti per aumentarne le prestazioni, per passare poi ad utensili in micrograna di carburi, per materiali che abbiano una buona tenacità ed una discreta durezza (30-50 HRc), anche questi variamente rivestiti, per arrivare infine ad utensili ceramici e sinterizzati per materiali di elevata durezza (>50 HRc).

As you can see, it starts from high speed steel (HSS) for materials which are tough but not hard (<20 HRc), however then coated to improve performance, to then go on to tools in micrograined carbide, to materials that have good toughness and fair hardness (30-50 HRc), and these too are variously coated, to get finally to ceramic and sintered tools with a high hardness (>50 HRc).

I materiali di base oggi più comunemente usati per la costruzione degli utensili sia integrali che ad inserti, oggi sono:

The base materials most commonly used today to make tools, both integrated and with inserts, are the following:

**- Acciai Superrapidi:** Comunemente chiamati HSS, possono essere derivati da colata o da polveri (HSS-PM), sono acciai fortemente legati che hanno la capacità di raggiungere dopo trattamento termico una elevata durezza superficiale maggiore di 65 HRc, mantenendo al cuore una buona tenacità che permette loro di resistere agli urti ed alle vibrazioni della lavorazione.

**- High speed steels:** Commonly called HSS, they are derived from casting or powder (HSS-PM), they are strongly bound, that have the capacity of reaching, after thermal treatment, a surface hardness greater than 65 HRc, keeping inside a high toughness that allows them to withstand the impacts and vibrations of work.

**- Metalli Sinterizzati:** Materiali ottenuti per sinterizzazione di un componente base mescolato con un apposito legante metallico ed additivato con altri componenti specifici. La struttura del materiale così ottenuto è una microstruttura (la dimensione del grano è inferiore ad 1mm) nella quale l'elemento base insieme con gli elementi additivanti, normalmente carburi di metalli pregiati, conferiscono all'utensile le caratteristiche di durezza (70-90 HRc), resistenza all'usura ed alla temperatura (possono lavorare fino a 1000-1100 °C), mentre il legante, che è invece un metallo nobile, conferisce all'utensile la caratteristica di tenacità. I metalli sinterizzati si possono dividere fondamentalmente in Metalli Duri e Cermet.

**- Sintered metals:** Materials obtained by sintering a base component mixed with a suitable metal binder and additives of other specific components. The structure of the material thus obtained is a microstructure (the grain dimension is less than 1mm) in which the base element together with the additive elements, normally high-strength metal carbides, gives the tool its characteristics of hardness (70-90 HRc), resistance to wear and to high temperature (they can work up to 1000 or 1100 °C), while the binder, which is however a noble metal, gives the tool its characteristic of toughness. Sintered metals can be basically be divided into Hard Metals and Cermet.



- **Ceramici:** materiali ottenuti per sinterizzazione di un componente base ceramico (Ossido di Alluminio o Nitruro di Silicio) additivato con altri componenti specifici, generalmente carburi di metalli nobili (Carburo di Titanio, Carburo di Silicio, ecc.). Il materiale così ottenuto ha una struttura continua, nella quale l'elemento base insieme con gli elementi additivanti conferiscono all'utensile le caratteristiche di durezza (70-90 HRC), resistenza all'usura ed alla temperatura (possono lavorare fino a 1200-1300 °C).

- **Materiali Policristallini:** materiali ottenuti per sinterizzazione di carburi o nitruri a struttura cubica in matrici che possono essere sia metalliche sia ceramiche. Tra questi i più noti sono:

- **PCBN:** Nitruro cubico di boro policristallino. È un materiale composito in cui le particelle di CBN sono sinterizzate, sotto alta pressione e ad elevata temperatura, con uno speciale legante. I PCBN sono generalmente classificati in due gruppi a seconda della loro microstruttura. Il primo contiene una elevata percentuale di CBN (95% in volume massimo) le cui particelle sono strettamente legate tra loro con legante metallico (Co). Questa tipologia di PCBN è molto adatta per il taglio ad Alta Velocità di ghise grigie Il secondo contiene una minor percentuale di CBN (45% in volume) le cui particelle sono disperse in un legante di ceramica speciale (TiCN), ottenendo una struttura uniforme che presenta una maggiore resistenza all'usura e maggiore tenacità anche nel taglio ad Alta Velocità di acciai temprati.

- **PCD:** Diamante policristallino legato al cobalto, viene utilizzato per la lavorazione ad altissima velocità di materiali non ferrosi (leghe di alluminio e magnesio, alluminio ad alto tenore di silicio, rame, ...) o non metallici (grafite) garantendo una lunghissima durata ed un'elevata precisione di lavorazione grazie alla notevole resistenza sia all'usura meccanica che a quella chimica legata alle alte temperature.

- **Ceramics:** materials obtained by sintering a base ceramic component (aluminium oxide or silicon nitride) with additives of other special components, generally noble metal carbides (titanium carbide, silicon carbide, etc.). The material thus obtained has a continuous structure, in which the base element together with the additive elements give the tool its characteristic of hardness (70-90 HRC), resistance to wear and to high temperature (they can work up to 1200 or 1300 °C).

- **Polycrystalline materials:** materials obtained from sintering carbides or nitrides with cubic structure in matrices, that can be either metal or ceramic. Among these, the best known are:

- **PCBN:** Polycrystalline cubic boron nitride. This is a compound material in which the CBN particles are sintered, under high pressure and high temperature, with a special binder. The PCBN's are generally classified in two groups according to their microstructure. The first contains a high percentage of CBN (maximum of 95% by volume) whose particles are strongly bound to each other with metal binder (Co). This type of PCBN is very suitable for high speed cutting of grey irons. The second contains a lower percentage of CBN (45% by volume) whose particles are dispersed in a special ceramic binder (TiCN), obtaining a uniform structure that gives a better resistance to wear and higher toughness, even in high speed cutting of hardened steels.

- **PCD:** Polycrystalline diamond bound with cobalt, which is used for the high speed milling of non-ferrous materials (aluminium and magnesium alloys, aluminium with a high silicon content, copper, etc) or non-metallic materials (graphite), ensuring a long life and high working precision, thanks to its considerable resistance both to mechanical wear and to chemical wear due to the high temperatures.

<b>Materiale Material</b>	<b>Componente Principale Principal Component</b>	<b>Additivi Additives</b>	<b>Legante Binder</b>
Acciai Superrapidi HSS - HSSPM <i>Super high-speed steel HSS HSSPM</i>	Fe	W, V, Co	
Metalli Duri / <i>Hard metals</i>	WC	TiC, TaC	Co
CERMET	TiC, TiN	WC, Mo <sub>2</sub> C, TaC, NbC	Co, Ni
Ceramici / <i>Ceramics</i>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiC, ZrO <sub>2</sub> , SiC whisker	
Ceramici / <i>Ceramics</i>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC	
PCBN (1)	CBN (95%)		Co, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiN
PCBN (2)	CBN (45%)		TiCN, TiN
PCD	Diamante / <i>Diamond</i>		Co

Fig. 8: La tabella riassume a grandi linee la composizione dei diversi materiali.

Fig. 8: Table summarises broadly the composition of the different materials.

### 1.3.2 - Rivestimento

Se la composizione del materiale di base è l'elemento chiave per affrontare una certa tipologia di lavorazione, il suo rivestimento è invece fondamentale per esaltarne le prestazioni in quanto a durata, capacità di asportazione, riscaldamento, usura, ecc....

Ogni tipo di rivestimento si prefigge di risolvere in modo ottimale un problema specifico della lavorazione ed è per questo che sul materiale di base viene riportato un numero di rivestimenti che può arrivare fino a sette e che normalmente è di tre-quattro. Lo spessore totale del rivestimento del tagliente varia dai 3 ai 5  $\mu\text{m}$ .

Una prima classificazione dei rivestimenti può essere fatta in funzione del modo in cui sono riportati e cioè:

- **PVD:** Physical Vapour Deposition, rivestimenti che sono applicati con processo fisico.
- **CVD:** Chemical Vapour Deposition, rivestimenti che sono applicati con processo chimico.

Nella realizzazione del rivestimento del tagliente si segue fondamentalmente il seguente criterio:

- Realizzazione di un primo rivestimento piuttosto spesso che garantisca una ottima adesione al materiale di base e resistenza all'usura.
- Realizzazione di un secondo rivestimento più sottile che offra una ottima resistenza termica ed agli shock
- Realizzazione di un terzo rivestimento che offra un basso attrito allo scorrimento del truciolo ed una perfetta pulizia del tagliente.

In funzione del materiale da lavorare e delle condizioni d'impiego, fresatura anziché tornitura, taglio continuo oppure interrotto, ecc..., alcuni dei rivestimenti sopra descritti possono essere ripetuti per ottenere il massimo rendimento del tagliente. La figura seguente presenta un esempio di rivestimento tipo a tre strati.

### 1.3.2 - Coating

*If the composition of the base material is the key element to deal with a certain type of working, its coating is fundamental to enhance the performance as regards the duration, removal capacity, heating, wear, etc.*

*Each type of coating is intended to best resolve a specific problem of working, and it is for this reason that on a base material there are different coatings used, which could reach the number of seven, but they are normally three or four. The total thickness of the coating on the cutting edge varies from 3 to 5  $\mu\text{m}$ .*

*A first classification of the coatings could be made according to the way in which they are applied, which are:*

- **PVD:** Physical Vapour Deposition, coatings which are applied by a physical process.
- **CVD:** Chemical Vapour Deposition, coatings which are applied by a chemical process..

*In the production of the cutting edge coating, these are the criteria to follow:*

- *Application of a first, fairly thick coating that ensures an optimum adhesion to the base material and resistance to wear.*
- *Application of a second, thinner coating that gives optimum resistance to heat and shock.*
- *Application of a third coating that gives low friction against the movement of the chip and perfect cleaning of the cutting edge.*

*According to the material to be worked and the conditions of use, milling instead of turning, continuous or interrupted cutting, and so on, some of the coatings described above can be repeated to obtain a maximum performance from the cutting edge. The following figure, shows an example of a three layer coating.*

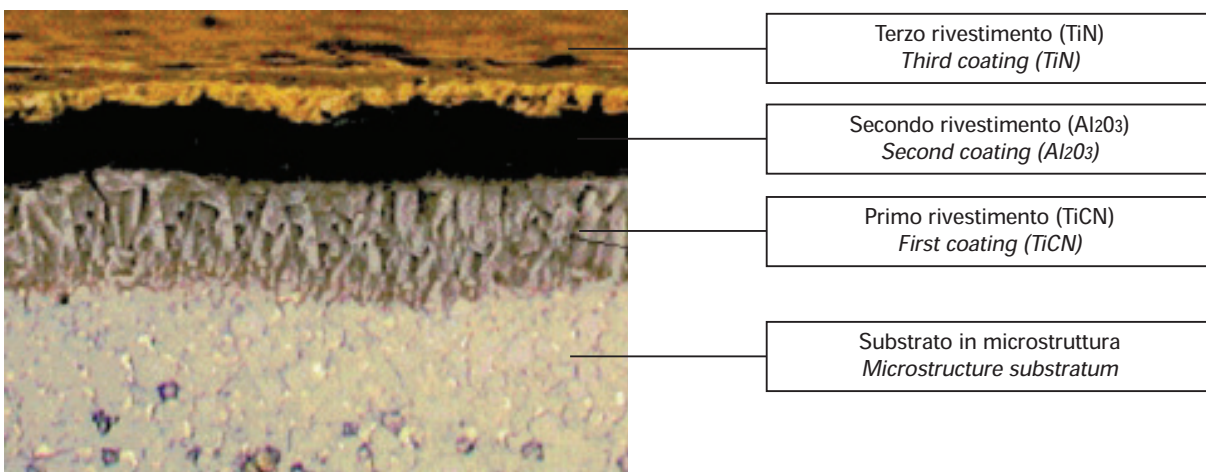


Fig. 9: Esempio di rivestimento multistrato  
Example of multilayer coating

Il primo strato di rivestimento garantisce:

- resistenza all'usura
- resistenza allo sfogliamento
- elevata durezza superficiale
- ottimo ancoraggio al materiale di base

È un rivestimento cosiddetto "Hard Coating" un esempio del quale è dato dal:

**TiN** - Rivestimento al nitruro di titanio (durezza 2000 Hv)

**TiCN** - Rivestimento in carbonitruro di titanio (durezza 2700 Hv)

**TiAlN** - Rivestimento al nitruro di alluminio titanio (durezza 3200 Hv)

**ZX** - Rivestimento specifico Sumitomo (durezza 4000 Hv)

Il secondo strato di rivestimento garantisce:

- stabilità termica del tagliente
- resistenza all'usura
- ottimo ancoraggio al primo rivestimento

È un rivestimento cosiddetto "Soft Coating" un esempio del quale è dato dal:

**AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** - Rivestimento di ossido di alluminio

Il terzo strato di rivestimento garantisce:

- basso coefficiente di attrito tra truciolo e tagliente
- resistenza alla saldatura del truciolo sul tagliente.
- resistenza alla corrosione chimica ad alta temperatura
- ottimo ancoraggio al secondo rivestimento

Anche questo è un rivestimento "Soft Coating" un esempio del quale è dato dal:

**F7010 (TiN + AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** - Rivestimento al nitruro di titanio + ossido di alluminio della Mitsubishi Carbide

**Movic (MoS<sub>2</sub>)** - Rivestimento al solfuro di molibdeno

**WC/C** - Rivestimento di carburo di Tungsteno-Carbonio

*The first layer of coating ensures:*

- resistance to wear,
- resistance to peeling,
- good surface hardness,
- excellent anchoring to the base material.

*It is a hard coating, and an example of this is:*

**TiN** - Titanium nitride coating (hardness 2000 Hv)

**TiCN** - Titanium carbonitride coating (hardness 2700 Hv)

**TiAlN** - Titanium aluminium nitride coating (hardness 3200 Hv)

**ZX** - Sumitomo special coating (hardness 4000 Hv)

*The second layer of coating ensures:*

- the thermal stability of the cutting edge,
- resistance to wear,
- excellent anchoring to the first coating.

*It is a soft coating, an example of this is:*

**AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** - Aluminium oxide coating

*The third layer of coating ensures:*

- low coefficient of friction between the chip and the cutting edge,
- resistance to welding of the chip to the cutting edge,
- resistance to chemical corrosion at high temperature,
- excellent anchoring to the second coating.

*This too is a soft coating, and an example of this is:*

**F7010 (TiN + AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** - Coating of titanium nitride + aluminium oxide from Mitsubishi

**Movic (MoS<sub>2</sub>)** - Coating of molybdenum sulphide

**WC/C** - Coating of Tungsten-Carbon

	<b>TiN</b>	<b>TiCN</b>	<b>WC/C</b>	<b>CrN</b>	<b>TiAlN</b>	<b>TiAlN</b>	<b>DIAMANT</b>	<b>HARD LUBE</b>
Durezza HV (0,05) <i>Hardness</i>	2300	3000	1000	1750	3500	3000	>8000	TiAlN circa 2600 WC/C1000
Coefficiente di attrito su acciaio (a secco) <i>Friction coefficient on steel (dry)</i>	0,4	0,4	0,2	0,5	0,4	0,4		0,2
Spessore (µm) <i>Thickness (µm)</i>	1 - 5	1 - 5	1 - 4	1 ÷ 4/10	1 ÷ 3	1 ÷ 5	4 ÷ 6	2 ÷ 6
Temp. massima di esercizio <i>Working max. temperature</i>	600°C	400°C	300°C	700°C	800°C	800°C		800-1000°C
Temp. di deposizione <i>Laying down temperature</i>	<500°C	<500°C	<250°C	<500°C	<500°C	<500°C	<850°C	<500°C
Coefficiente di espansione termica (10 <sup>-6</sup> /°K) <i>Thermal expansion factor</i>	9,4	9,4		13				
Colore <i>Colour</i>	giallo-oro <i>gold-yellow</i>	grigio-blu <i>grey-blue</i>	grigio-blu <i>grey-blu</i>	grigio-argento <i>grey-silver</i>	grigio-porpra <i>grey-purple</i>	grigio-viola <i>grey-violet</i>	nero <i>black</i>	grigio-scuro <i>dark-grey</i>

Fig. 10: Nella tabella sono riportate le caratteristiche di alcuni tipi di rivestimento.

Fig. 10: In the table, the characteristics of some types of coating are shown.

L'influenza dei rivestimenti sulla durata dell'utensile si può evidenziare dai seguenti grafici:

The influence of the coating on the length of life of the tool can be seen in the following graphs:

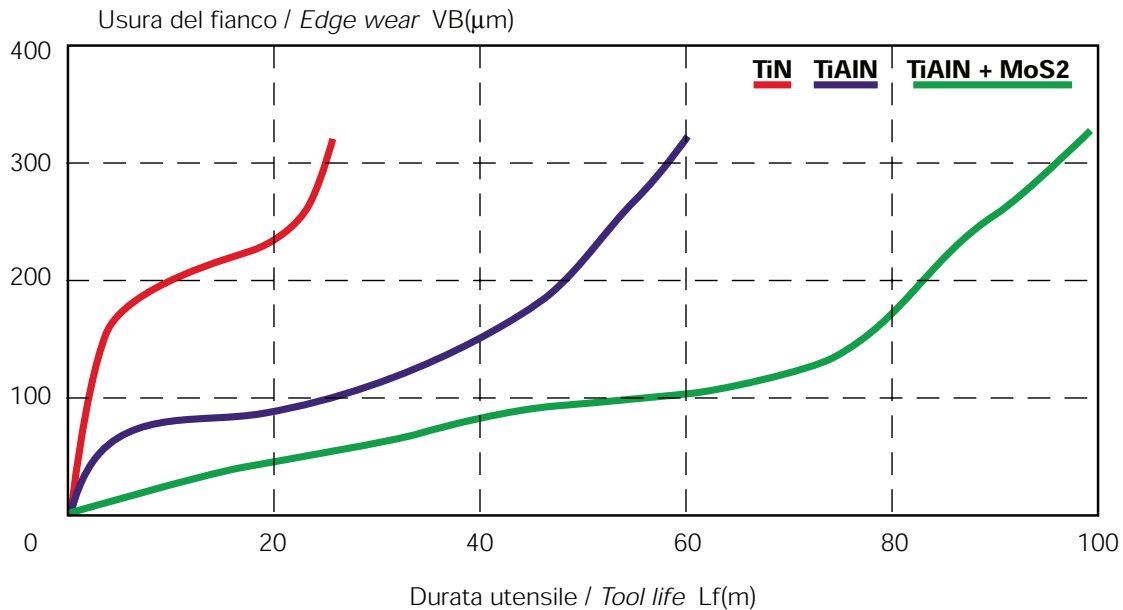


Fig. 11: Confronto della durata utensili nella lavorazione a secco con differenti rivestimenti

Fig. 11: Comparison of the tool life in the dry milling with different coating

### 1.3.3 - Geometria

La tecnologia di fresatura ad Alta Velocità necessita, per ottenere i migliori risultati, di utensili specificatamente progettati sia come forma (geometria) esterna sia come geometria e configurazione del tagliente.

Nella lavorazione degli stampi si possono individuare sostanzialmente tre tipologie di frese:

- con estremità piana
- con estremità sferica
- con estremità torica.

Queste frese possono poi essere di metallo duro integrale oppure ad inserti ed il loro utilizzo dipende esclusivamente dal tipo di lavorazione. Esistono comunque dei limiti dimensionali oltre i quali si trova soltanto una tipologia di fresa, e cioè:

- Per diametri inferiori ad 8 mm si trovano solo frese integrali
- Per diametri superiori a 32 mm (eccezionalmente 50 mm) si trovano solo frese ad inserti
- Per i diametri intermedi si può scegliere o l'uno o l'altro tipo

Le frese piatte e toriche sono principalmente utilizzate nelle operazioni di sgrossatura, le toriche a seconda della tipologia del pezzo da lavorare (superfici con curvature molto ampie e regolari) e della tipologia di macchina utilizzata (contornatrice a cinque assi continui) possono essere utilizzate anche in operazioni di semifinitura e finitura.

### 1.3.3 - Geometry

To obtain the best results, high speed milling technology requires tools especially designed, both in external shape (geometry) and in geometry and configuration of the cutting edge.

In working on dies, basically three types of mill can be identified, which are:

- with end mill
- with ballnose
- with bullnose.

These mills can be of integrated hard metal or with inserts, and their use depends entirely on the type of working. However there are dimensional limits beyond which only one type of mill exists, and that is:

- for diameters less than 8 mm, only integrated mills exist,
- for diameters above 32 mm (or exceptionally 50 mm) only mills with inserts exist,
- for diameters between these two values, you choose either type.

The end mill or bullnose mills are mainly used in rough-machining operations. The ballnose mills, depending on the piece to be worked (surfaces with very wide and regular curvature) and on the type of machine used (contour machine with five continuous axes) can also be used in semi-finishing and finishing operations.

Le frese con estremità semisferica sono utilizzate principalmente in lavorazioni di semifinitura, finitura e riprese in bitangenza.

La geometria dell'utensile ed il modo di lavorare influiscono direttamente sul grado di finitura ottenibile e quindi sulla qualità del pezzo lavorato.

Nelle lavorazioni in generale ed in quelle ad Alta Velocità in particolare, vi sono due fattori importanti da tenere in considerazione e cioè:

- mantenere la velocità di taglio costante è fondamentale per ottenere un buon grado di finitura della superficie.
- utilizzare la velocità di taglio massima possibile permette di massimizzare la velocità di avanzamento e quindi la produzione.

L'impiego di frese con l'estremità toroidale permette di raggiungere entrambi i suddetti obiettivi, mentre per le frese sferiche questo non è sempre possibile in quanto la velocità di taglio cambia regolarmente lungo tutto il tagliente: è massima in corrispondenza del massimo diametro ed è pari a zero al centro. Lo sfruttamento ottimale delle frese sferiche si ottiene con macchine a cinque assi con le quali si riesce ad imporre alla fresa un angolo d'inclinazione rispetto alla superficie da lavorare che può essere mantenuto costante al variare dell'inclinazione della superficie.

Normalmente l'angolo consigliato è compreso tra i 5 ed i 15 gradi. Le figure sottostanti illustrano questi concetti.

*The mills with ballnose are mainly used in semi-finishing, finishing and bitangent processes.*

*The geometry of the tool and the way of working directly affects the obtainable grade of finish, and so the quality of the piece worked.*

*As regards working in general, and working at high speed in particular, there are two important factors to be considered, which are:*

- *keeping the cutting speed constant is fundamental to obtain a good finishing standard of surface;*
- *using the maximum speed possible allows the feed speed and the production, to be maximised.*

*The use of mills with ballnose allows both the above aims to be reached, while for ballnose mills this is not always possible, since the cutting speed changes regularly along all the cutting edge:*

*It is when corresponding with the maximum diameter and is zero at the centre.*

*The optimal benefit of the ballnose mill can be obtained with five-axes machines, with which it is possible to set the mill with an angle of inclination to the surface to be worked that can be held constant even if the inclination of the surface varies.*

*Normally the recommended angle is between 5 and 15 degrees. The figures below illustrates this concept.*

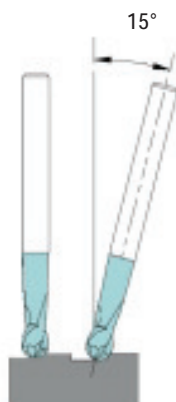


Fig. 12: Angolo inclinazione ottimale della fresa sferica  
*Ideal inclination angle of the ballnose mill*

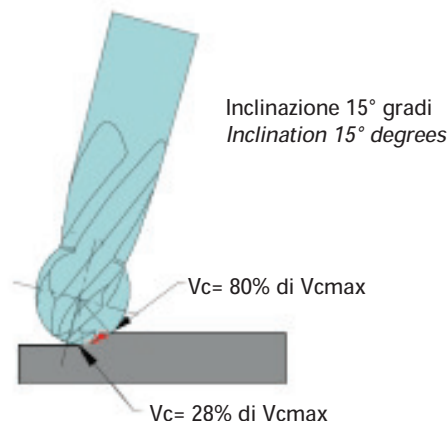


Fig. 13: Variazione della velocità di taglio in funzione del punto di contatto della fresa sferica

*Cutting speed change depending on the ballnose working point*



La figura sottostante mette a confronto l'andamento della velocità di taglio tra una fresa sferica, linea bleu, ed una fresa toroidale, linea rosa, in funzione dell'angolo d'inclinazione della fresa rispetto alla superficie da lavorare. Come possiamo vedere una fresa torica ha una variazione della velocità di taglio molto più contenuta rispetto ad una sferica al variare dell'angolo d'inclinazione. Questo si traduce in una maggior costanza nella lavorazione e quindi migliore finitura del pezzo.

The figure below compares the trend of the cutting speed of a ballnose mill, the blue line, with a bullnose mill, the red line, according to the angle of inclination of the mill to the surface to be worked. As you can see, a bullnose mill has a variation in cutting speed more restrained than that of a ballnose mill even if the angle of inclination varies. This means a greater constancy in working and thus a better finish of the piece.

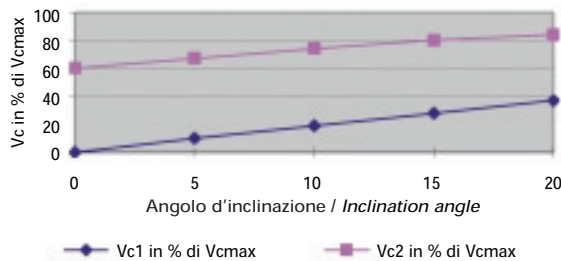
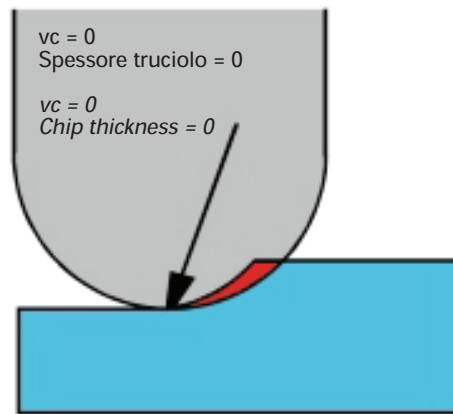


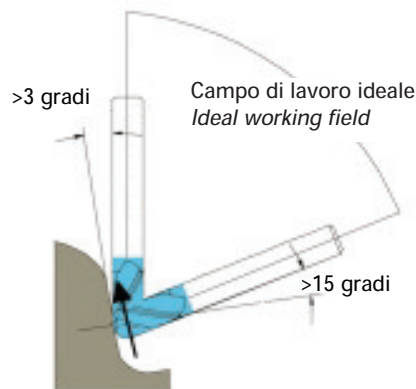
Fig. 14: Confronto della velocità di taglio tra fresa sferica e torica

Cutting speed comparison between ballnose and bullnose mill



Forma del truciolo prodotto da una fresa sferica. Lo spessore varia da un massimo, dove la velocità di taglio è massima, a zero dove la velocità si annulla. Inclinando l'utensile eviteremo di utilizzare l'utensile nel punto a velocità zero e lo spessore del truciolo risulterà così più uniforme.

Chip shape made by a ballnose endmill. The thickness change from a maximum, where cutting speed is at maximum, to zero where speed is zero. If the tool is tilted we will avoid the zero cutting speed. Thickness of chip will be then more regular.



Inclinazione fresa in funzione della direzione di avanzamento

Mill inclination angle depending on feed direction

Particolare attenzione nella costruzione delle frese viene riservata alla geometria costruttiva in quanto questa può permettere una migliore o peggiore evacuazione del truciolo. Nelle frese integrali ad esempio si è visto che realizzare l'elica secondo una spirale di Archimede permette una migliore evacuazione e minori forze resistenti al taglio. Allo stesso modo si è visto che realizzare il nocciolo della fresa non più cilindrico, ma a botte conferisce alla fresa una maggiore rigidità e resistenza meccanica.

Special attention in the construction of the mills is reserved at the constructional geometry, since this can allow a better or worse removal of the chip. In integrated mills, for example, it has been seen that to produce the helix according to an Archimedean spiral allows better removal and lower resistance forces against cutting. At the same time, it has been seen that making the core of the mill barrel-shaped, instead of cylindrical, gives the mill greater rigidity and mechanical strength.

La figura sottostante mette in evidenza alcuni dei suddetti accorgimenti.

The figure below illustrates some of the above observations.

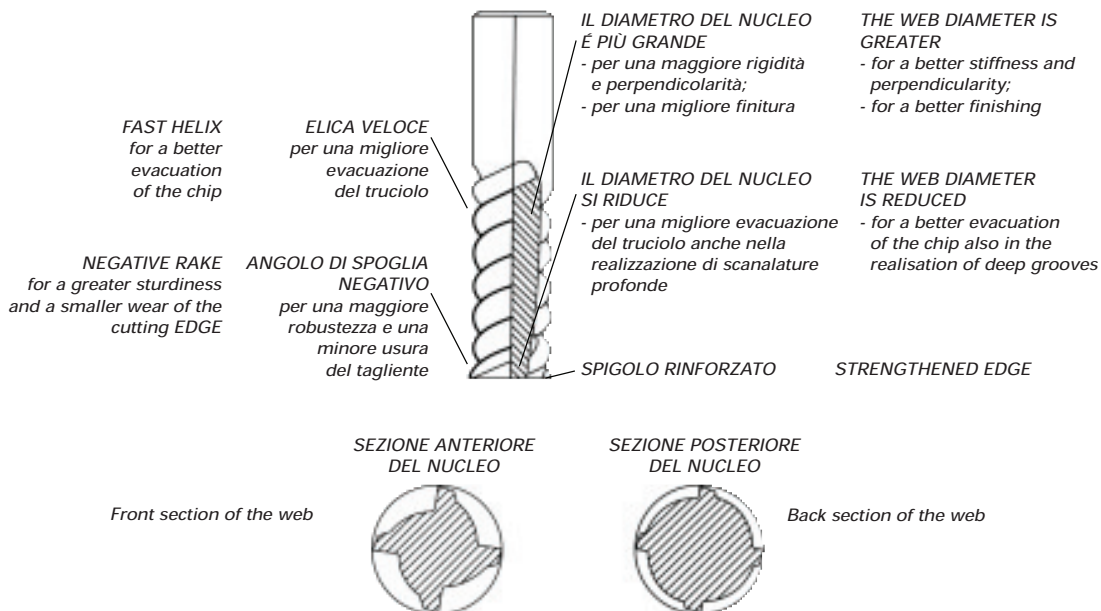


Fig. 17: Esempio di fresa con sezione del nocciolo a botte  
Mill example with variable web section

Nelle frese ad inserti invece particolare attenzione è posta nella geometria della fresa per realizzare un corretto ancoraggio ed orientamento dell'inserto, una ottima resistenza alle forze che si generano durante la fresatura, una ottima evacuazione del truciolo in lavorazione ed un miglioramento della capacità di penetrazione assiale della fresa stessa.

In the mill with inserts however, special attention is given to the geometry of the mill to make a correct anchoring and orientation of the insert, an excellent resistance to the forces that build up during milling, an excellent removal rate of the chip when working, and an improvement in the capacity of axial penetration of the mill itself. Suitable mills have been designed that allow you to carry

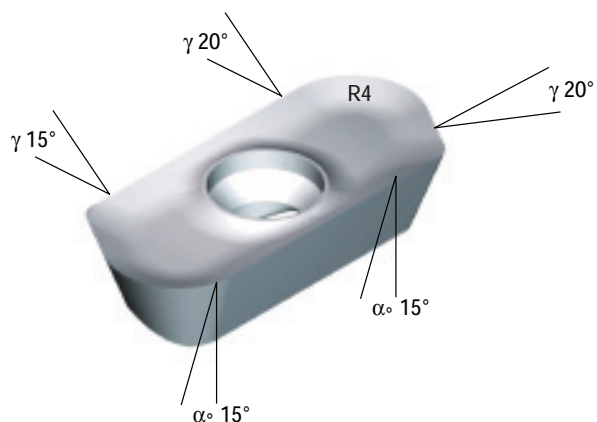
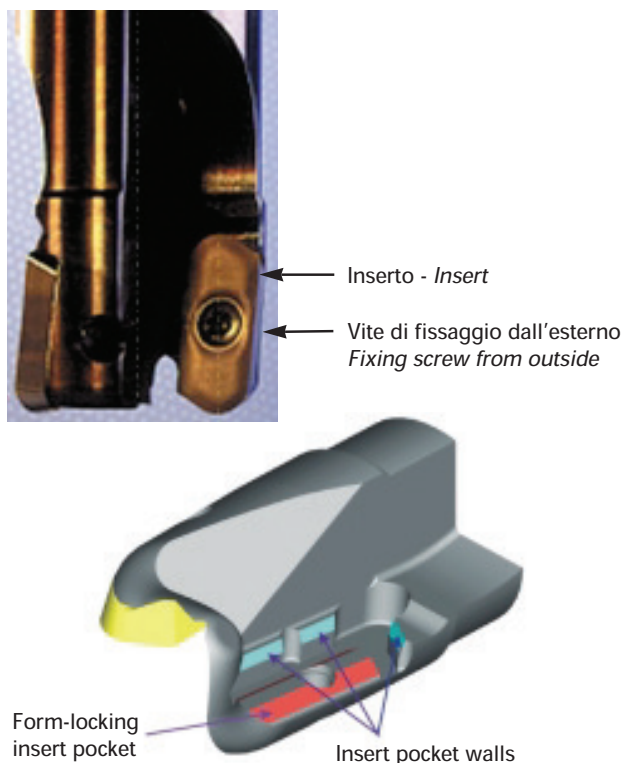


Fig. 18: Rappresentazione schematica della geometria e del fissaggio di inserto HSC  
Schematic representation of geometry and fixing of an HSC insert



Sono state oggi progettate delle frese opportune che permettono di eseguire la fase di sgrossatura per penetrazione assiale anziché mediante la tradizionale contornatura. Questa tipologia di utensili è progettata per avere un ottimo scarico del materiale al centro dello utensile.

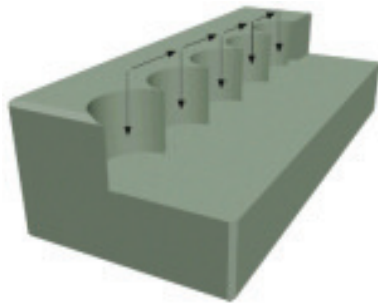


Fig. 19: Schema di sgrossatura per penetrazione assiale  
*Roughing with axial milling*



Fig. 20: Schema di fresa per penetrazione assiale  
*Axial milling example*

*out the rough-machining phase by axial penetration, instead of the traditional contour milling. This type of tool has been designed to have a better removal of the material at the centre of the tool.*

## 1.4 - Terminologia e componenti per Alta Velocità

**Feed** - Velocità di avanzamento dell'utensile in lavorazione. La feed viene programmata all'interno del partprogram ad un valore massimo che è funzione del materiale da lavorare e dell'utensile impiegato, in definitiva quindi è funzione della velocità di taglio alla quale si vuole far lavorare l'utensile e del numero di taglienti.

**Speed** - Velocità di rotazione dell'utensile. La speed viene programmata all'interno del partprogram ad un valore massimo che è funzione del materiale da lavorare e del tipo di tagliente impiegato. Definisce in pratica la velocità di taglio alla quale si vuol far lavorare l'utensile.

**Velocità di taglio** - È la velocità con cui l'utensile taglia il materiale. Dipende fondamentalmente dal tipo di materiale (acciaio, ghisa, alluminio, ecc...) da lavorare, dalla geometria e dalla tecnologia realizzativa del tagliente. Ogni tagliente per ciascuna categoria di materiale ha un campo di velocità di taglio ottimali per le quali è assicurata una certa durata del tagliente stesso.

Superare questi valori significa ridurre la vita del tagliente.  
**Rivestimento** - È la particolare ricopertura del tagliente dell'utensile studiata appositamente per garantirne elevate caratteristiche di resistenza all'usura ed alla temperatura. In funzione dell'applicazione oggi si possono avere dai tre ai sette strati di rivestimento.

## 1.4 - Terminology & components for high speed milling

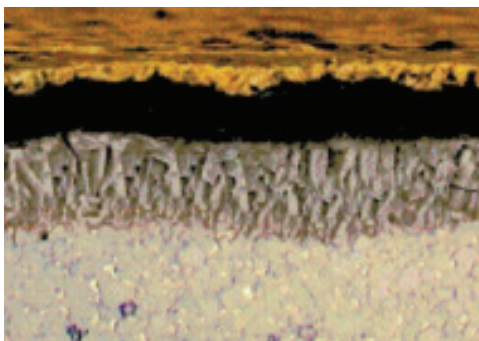
**Feed** - Speed of tool feed when working.

*The feed is programmed inside the partprogram to a maximum value that depends upon the material to be worked and the tool used. In conclusion, therefore, the number of cutting edges decides the cutting speed at which the tool should run.*

**Speed** - Rotation speed of the tool. The speed is programmed inside the partprogram to a maximum value which depends on the material to be worked and on the type of cutting tool used. In practice, this defines the speed you wish to run the tool at.

**Cutting speed** - This is the speed with which the tool cuts the material. It depends fundamentally on the type of material (steel, cast iron, aluminium, etc.) to be worked, on the geometry and on the technology used when making the cutting edge. Each cutting edge for each category of material has an optimum range of cutting speeds for which a certain lifespan can be ensured for the tool itself. If these values are exceeded the tool lifespan will be reduced.

**Coating** - This is the special coating of the cutting edge of the tool especially designed to ensure high resistance to wear and to the temperature. Nowadays, according to the type of application, you can have from three to seven layers of coating.



Rivestimento  
*Coating*

Substrato  
*Substratum*

Fig. 21: Sezione di rivestimento al microscopio  
*Coating section*

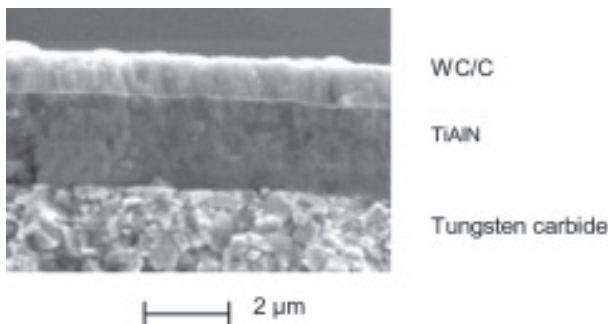
**Hard Coating** - Tipologia di rivestimento fatta su utensili in acciaio super rapido (HSS) per conferire al tagliente maggiore resistenza all'usura ed isolamento termico al materiale stesso. Questo tipo di rivestimento viene realizzato ad alta temperatura (500-600 °C). Esempi di questo tipo di rivestimento sono:

- TiN** - Rivestimento al nitruro di titanio (durezza 2000 Hv)
- TiCN** - Rivestimento in carbonitruro di titanio (durezza 2700 Hv)
- TiAlN** - Rivestimento al nitruro di alluminio titanio (durezza 3200 Hv)
- ZX** - Rivestimento specifico Sumitomo (durezza 4000 Hv)

**Hard Coating** - Type of coating applied to super high speed (HSS) steel tools, to give the cutting edge greater resistance to wear and thermal insulation to the material itself. This type of coating is produced at high temperature (500-600 °C). Examples of this type of coating are:

- TiN** - Titanium nitride coating (hardness 2000 Hv)
- TiCN** - Titanium carbonitride coating (hardness 2700 Hv)
- TiAlN** - Titanium aluminium nitride coating (hardness 3200 Hv)
- ZX** - Special Sumitomo coating (hardness 4000 Hv)

Fig. 22: Sezione di rivestimento  
Hard Coating section



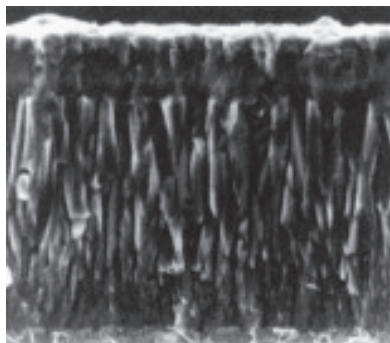
**Soft Coating** - Tipologia di rivestimento aggiuntiva all'Hard Coating per conferire al truciolo maggiore scorrevolezza sul tagliente e mantenere pulito lo stesso da microsaldature che si potrebbero formare durante la lavorazione. Questo tipo di rivestimento viene realizzato a bassa temperatura (150 °C). Esempi di questo tipo di rivestimento sono:

- F7010 (TiN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** - Rivestimento al nitruro di titanio + ossido di alluminio della Mitsubishi Carbide
- Movic (MoS<sub>2</sub>)** - Rivestimento al solfuro di molibdeno

**Soft Coating** - Type of coating added to the hard coating to make the chip slide better on the cutting edge, and keep it free from any microwelding that could form during work. This type of coating is applied at low temperature (150 °C). Examples of this type of coating are:

- F7010 (TiN + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)** - Coating of titanium nitride + aluminium oxide from Mitsubishi Carbide.
- Movic (MoS<sub>2</sub>)** - Coating of molybdenum sulphide

Fig. 23: Sezione di rivestimento  
Soft Coating section

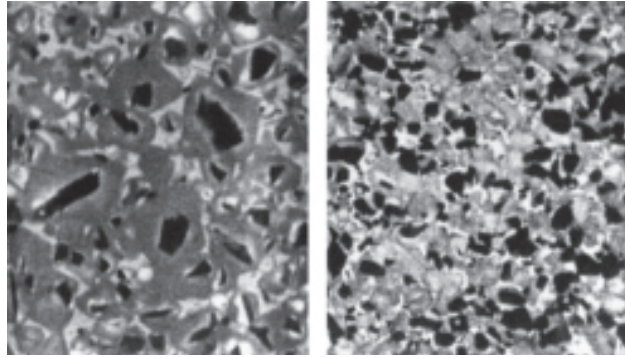


**Cermet** - Materiale la cui microstruttura è composta essenzialmente da particelle di natura ceramica, molto dure e fragili, disperse in una base metallica molto tenace. I suoi componenti principali sono il carburo di titanio (TiC), il nitruro di titanio (TiN) legati insieme da nichel (Ni) e cobalto (Co) additivati con carburi di tungsteno, molibdeno, tantalio e niobio.

**Cermet** - Material whose micro-structure consists essentially of ceramic particles, which are very hard and fragile, dispersed in a very tough metal base. Its main components are titanium carbide (TiC), titanium nitride (TiN) bonded together with (Ni) and cobalt (Co) additives with tungsten, molybdenum, tantalum and niobium carbides.



Fig. 24: Struttura del Cermet  
*Cermet structure*



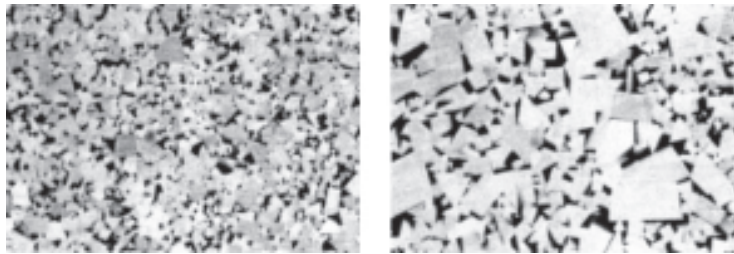
**Carbide** - Metallo duro

Materiale la cui microstruttura è composta essenzialmente da carburo di tungsteno (WC) il cui legante è costituito fondamentalmente da Cobalto (Co) additivati da carburo di titanio (TiC) e carburo di tantalio (TaC).

**Carbide** - Hard metal

Material whose microstructure consists essentially of tungsten carbide (WC) whose binder consists basically of cobalt (Co) and tantalum carbide (TaC).

Fig. 25: Struttura di metallo duro  
*Hard metal structure*



**Ceramici** - Materiale la cui struttura base è costituita da materiale ceramico, tipicamente Allumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oppure nitruro di silicio (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) al cui interno sono contenuti alcuni elementi additivanti quali carburo di Titanio (TiC), ossido di Zirconio (ZrO<sub>2</sub>), carburo di Silicio (SiC), allumina stessa.

**Ceramics** - Material whose basic structure consists of a ceramic material, typically aluminium oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) or silicon nitride (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) which contains within it some additive elements such as titanium carbide (TiC), zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>), silicon carbide (SiC), and aluminium itself.

Fig. 26: Struttura di materiale ceramico  
*Ceramic material structure*



Fig. 27: Composizione di alcuni metalli sinterizzati  
*Some sinterized metal composition*

Hard materials	Main components	Additives	Binder metal
Cermet	TiC, TiN	WC, MO <sub>2</sub> C TaC (NbC)	Co, Ni
Carbide	WC	Tic, Tac	Co
Ceramics	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiC, ZrO <sub>2</sub> SiC whisker	-
	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	AlO <sub>3</sub> , SiC	-

The composition of hard material is divided in main component, additives and binder metal.



**Ballnose:** Fresa a copiare con estremità emisferica, generalmente è a due taglienti che terminano nel centro della sfera. È caratterizzata dall'aver velocità di taglio nulla alla sua estremità. Per evitare problemi di cattiva finitura superficiale le frese sferiche di ultima generazione hanno i taglienti che superano il centro della sfera. Sono utilizzate fondamentalmente in semifinitura e finitura. Si trovano sia integrali che ad inserti.

**Bullnose:** Fresa con estremità toroidale. È la classica fresa da sbancamento in sgrossatura ed è preferibilmente ad inserti. Gli inserti sono tondi con diverse geometrie del tagliente in funzione del tipo di lavorazione e del materiale.

**Endmill:** Fresa con estremità piatta. Sono le cosiddette frese per spallamenti retti utilizzate quando si vogliono realizzare tasche con pareti diritte. Si trovano sia integrali che ad inserti, per operazioni di sgrossatura e di finitura.

**a<sub>e</sub>** - Profondità di taglio radiale

**a<sub>p</sub>** - Profondità di taglio assiale

**v<sub>c</sub>** - Velocità di taglio

**G** - Accelerazione gravitazionale pari a 9,81 m/s<sup>2</sup>. Questo parametro viene utilizzato per le macchine i cui assi superano l'accelerazione di 9,8m/s<sup>2</sup>. Oggi molti costruttori esprimono commercialmente il valore dell'accelerazione degli assi come frazione o multiplo di questa grandezza

**Look Ahead** - Capacità del controllo numerico di poter elaborare una certa quantità di blocchi di programma prima di eseguirli materialmente sul pezzo. Questa funzione permette di capire quale sarà il tipo di percorso che dovrà affrontare l'utensile, e scegliere i parametri cinematici ottimali al fine di garantire la precisione richiesta sulla traiettoria ed ottimizzando la dinamica della macchina.

**TCPM (Tool Center Point Management)** - Funzione del controllo numerico che permette la compensazione dinamica della lunghezza utensile nella movimentazione a cinque assi continui.

**Feed Forward** - Funzione del controllo numerico che permette l'adeguamento della velocità degli assi nei movimenti interpolati per mantenere la precisione richiesta sulla traiettoria.

**Jerk Control** - Funzione del controllo numerico che permette di regolare le variazioni di accelerazione degli assi in modo tale da ridurre le eccessive sollecitazioni dinamiche (vibrazioni) della macchina e garantire una migliore finitura superficiale del pezzo.

**Active Tuning** - funzione che permette di ottimizzare in automatico i parametri che regolano le lavorazioni ad Alta Velocità permettendo così di ridurre l'errore di traiettoria sui percorsi utensili.

**Spline** - Funzioni matematiche polinomiali per ottimizzare l'approssimazione di una serie di punti con una curva. Le più utilizzate sono le NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) e le Bezier. L'utilizzo di queste funzioni all'interno di un controllo numerico per definire delle traiettorie permette una migliore approssimazione delle traiettorie di punti provenienti dal CAM, un miglior sfruttamento della dinamica della macchina e quindi una migliore finitura superficiale.

**Ballnose:** Contour mill with hemispherical end, generally it has two cutting edges that end in the centre of the sphere. It has a zero cutting speed at its end.

To avoid problems of poor surface finish, the spherical mills of the latest generation have cutting edges that protrude from the centre of the sphere. They are basically used in semi-finishing and finishing work. They can be either integral or with inserts.

**Bullnose:** Mill with a toroid-shaped end. This is the classical stripping mill in the rough-machining stage, and is preferably the type with inserts. The inserts are round-shaped with different geometry of the cutting edges depending on the type of work and on the material.

**Endmill:** Mill with flat end. These are the mills for straight shoulders, used when you wish to make cavities with straight sides. They are available both integral and with inserts, for rough-machining and finishing operations.

**a<sub>e</sub>** - Radial cutting deep

**a<sub>p</sub>** - Axial cutting deep

**v<sub>c</sub>** - cutting speed

**G** - Gravitational acceleration, which is 9.81 metres/sec<sup>2</sup>. This parameter is used for machines whose axes exceed the acceleration of 9.81 metres/sec<sup>2</sup>. Nowadays, many manufacturers express (commercially) the value of the acceleration of the axes as a fraction or multiple of G.

**Look Ahead** - Capacity of the numerical control to be able to process a certain quantity of program blocks before actually carrying them out on the piece. This function permit to understand which type of travel the tool will have to undertake, to choose the best kinematic parameters, in order to ensure the precision required on the trajectory and optimise the dynamics of the machine.

**TCPM (Tool Centre Point Management)** - Function of the numerical control that allows dynamic compensation for the tool length in the continuous five-axes mechanism.

**Feed Forward** - Function of the numerical control that allows the speed to be adjusted of the axes in the interpolated mechanisms to maintain the required precision on the trajectory.

**Jerk Control** - Function of the numerical control that allows you to adjust the acceleration variations of the axes so as to reduce the excessive dynamic stresses (vibrations) of the machine and ensure a better finish of the piece.

**Active Tuning** - Function of the numerical control that allows the automatic optimisation of the parameters which regulate high speed milling, permitting to reduce the trajectory error on the tool path.

**Spline** - Polynomial mathematical functions to optimise the approximation of a series of points with a curve. The most commonly used are the NURBS (Non-uniform Rational B-Spline) and the Bezier. The use of these functions inside a numerical control to define the paths allows a better approximation of the paths coming from the CAM, a better use of the dynamics of the machine, and so a better surface finish.

**Elettromandrino** - Componente basilare per le lavorazioni ad Alta Velocità. È costituito fondamentalmente da un corpo all'interno del quale è montato un motore elettrico, generalmente asincrono trifase, il cui rotore è calettato sull'albero principale dell'elettromandrino supportato alle due estremità da due banchi di cuscinetti. L'albero del mandrino porta nella parte anteriore la sede per l'alloggiamento del cono portautensile, ha l'interno forato per il passaggio dell'asta di blocco/sblocco utensile, mentre la parte posteriore è attrezzata con elementi accessori necessari per la gestione del mandrino stesso. La parte esterna del corpo mandrino è generalmente termostata con fluido refrigerante a circuito chiuso. Attraverso l'asta di blocco/sblocco utensile viene portata l'adduzione di liquido refrigerante interno all'utensile, che può essere a bassa o alta pressione.

**Tecnologia Digitale** - È la tecnologia oggi sfruttata per la realizzazione di azionamenti e motorizzazioni, che permette di ottenere una migliore regolazione e controllo degli azionamenti uniti ad una più elevata dinamica di comando rispetto alla oramai superata gestione analogica. Questo incremento di performances è stato possibile grazie all'incremento di prestazioni dei microprocessori.

**Banda passante** - Si definisce banda passante la frequenza più elevata alla quale la macchina riesce ad eseguire dei comandi con ritardo trascurabile.

**Matrici Smorzanti** - Con l'avvento dell'Alta Velocità, quindi di condizioni dinamiche delle macchine e di velocità di taglio sempre più esasperate, si stanno affermando sempre più nelle macchine di ultima generazione quelle che potremo chiamare Matrici Smorzanti. Sono strutture composite, semplici o aggregate, che insieme alla caratteristica di rigidità e resistenza agli sforzi di lavoro uniscono una notevole capacità di smorzamento delle vibrazioni. Questo permette alla macchina di avere una banda passante più elevata, una maggiore precisione e di ottenere una migliore finitura superficiale del pezzo.

**Direct Drive** - Sono motorizzazioni ad azionamento diretto nelle quali l'organo condotto è fissato direttamente al motore. In sostanza sparisce l'organo riduttore (riduttore epicicloidale, coppie di ingranaggi o cinghie, vite a ricircolazione di sfere, ecc...) che negli azionamenti classici era interposto tra motore (organo conducente) ed attuatore (organo condotto). Questa tipologia di motorizzazioni è esclusivamente digitale ed ha la caratteristica di avere una elevatissima coppia con giri limitati. Le motorizzazioni direct drive sono sia di tipo rotativo che lineare. Il loro utilizzo rende la macchina quattro, cinque volte più dinamica rispetto ad una soluzione tradizionale. La loro diffusione non è però elevata in quanto questo tipo di motorizzazioni necessitano ancora di avere una diffusa conferma dal campo per quanto riguarda affidabilità, tipo di applicazioni e gestione ottimale da parte degli attuali controlli numerici.

**Electrospindle** - Basic component for high speed milling. It basically consists of a body, which has an internal electric motor, generally asynchronous, three-phase, whose rotor is keyed onto the main shaft of the milling head supported at the two ends by two sets of bearings. The shaft of the milling head holds, in its front, the housing to take the tool-holding cone, it has the inside part perforated for the passage of the tool locking/unlocking rod, while the rear part is fitted with accessories necessary to control the electrospindle itself. The external part of the electrospindle body is generally thermostatically-controlled with closed-circuit cooling fluid. Through the tool locking/unlocking rod is carried the supply of coolant liquid inside the tool, that can be at low or high pressure.

**Digital Technology** - This is the technology used today to achieve the activation and drives that permit us to obtain excellent regulation and control of the mechanisms together with a much higher control dynamic with respect to analogue control, which is already outdated. This increase in performance has been possible thanks to an increase in the performance of microprocessors.

**Band-pass** - This is the highest frequency at which the machine manages to carry out the commands with negligible delay.

**Vibration-Dampening Matrices** - With the introduction of high speed milling, and the consequent dynamic conditions for the machines, and more and more stressful cutting speeds, what we could call dampening matrices are becoming more and more important in the latest generation of machines. These are composite structures, either simple or combined, that together with the characteristics of strength and resistance to the work forces, produce a considerable dampening effect on vibration. This allows the machine to have a higher band-pass, greater precision, and to obtain a better surface finish on the piece.

**Direct Drive** - A direct-drive system means that the driven part is fixed directly to the motor. Basically, this means there is no reduction gear (epicyclic reduction unit, pair of gears or belts, recirculating-ball screw, etc.) that in traditional mechanisms was placed between the motor (drive unit) and the actuator (driven unit). This type of drive is exclusively digital, and has the characteristics of having a very high torque with low revs. There are both rotary and linear types of drive. Their use makes the machine four or five times more dynamic compared to the traditional solution. They are not very widespread however, since this type of drive still requires a large confirmation from the field as regards reliability, type of applications and optimum control by the current numerical controls.