

# ALTAS Velocidades de Corte

## Aplicadas a La Fabricación en Moldes y Matrices.

Dr. Federico Martínez Aneiro  
MSc. Teresa Sánchez Battaille  
Facultad Ing. Mecánica. CUJAE  
Marianao  
Ciudad La Habana - Cuba.

### Resumen

**L**a demanda de componentes mecánicos de alta calidad y gran exactitud para sistemas de elevada precisión está aumentando considerablemente en los últimos años a nivel mundial; este hecho ha provocado el desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a los procesos de corte.

El desarrollo de las máquinas herramientas, las herramientas de corte y de la tecnología de maquinado posibilitó la aplicación del corte con altas velocidades de corte (High Speed Cutting HSC). El aumento de las velocidades de corte es una de las formas de incrementar la eficiencia de los procesos productivos a través de la reducción de los tiempos de fabricación y sustitución o minimización de otros procesos de elaboración que forman parte de la cadena productiva. Por

ser un proceso relativamente nuevo, apenas desde los años 90 es que se implementa la introducción del HSC y muchas cuestiones tecnológicas que aún se están investigando. Por otro lado, las características ya conocidas de esta nueva tecnología indican una buena perspectiva de aplicación en los más diversos segmentos de la industria sobre todo en la de moldes y matrices.

**Palabras claves:** Altas velocidades de corte, Altas velocidades de maquinado.

### Abstract

**T**he demand for mechanical components of high quality and great accuracy for high precision systems is increasing considerably

worldwide in the last years. This fact has caused the development of new technologies applied to the cutting processes.

The development of machining tools, cutting tools and machining technology allowed the application of cutting at high speeds, what is called High Speed Cutting, HSC.

The increase of cutting speeds is one of the ways to improve the efficiency of productive processes, through the reduction of manufacturing and substitution times and through the reduction of another elaboration processes that are part of the productive chain. As it's a relatively new process, HSC was implemented just since 90's, and many technological issues are still being studied. On the other hand, the characteristics of this already known of this technology show a good perspective of application in the most diverse segments in the industry, such as molds and dies.

**Key words:** HSM, HSC, High speed cutting, High Speed Machining.

## Introducción

El desarrollo integral de las maquinas herramientas (controles, husillos de alta velocidad), de las herramientas de corte (nuevos materiales para los substratos y capas) y de la tecnología de maquinado posibilitó la aplicación del corte con altas velocidades (High Speed Cutting, HSC).

El aumento de las velocidades de corte es una de las formas de incrementar la eficacia de los procesos productivos mediante la reducción de los tiempos de fabricación. El descenso de los tiempos de transformación, se logra no solo con los tiempos de maquinado, sino también por la sustitución o reducción de otros procesos que forman parte de la cadena productiva, que en ocasiones pueden tornarse lentos, tal es el caso de la electroerosión y el acabado manual en la producción de moldes y troqueles [1].

Por ser un proceso relativamente nuevo apenas desde los años 90, se implementa el HSC, aunque muchos puntos tecnológicos aun están sin respuesta, requiriendo de profundos y detallados estudios.

En la actualidad, las empresas productoras de moldes

y matrices en el mundo tienden a expandirse, al disponer de un mercado en desarrollo con altos niveles de exigencia en calidad con mayor complejidad de los herramientas.

Existen diversas razones para que los fabricantes de moldes y matrices tengan éxito en estos tiempos de cambios rápidos. Entre las más importantes se encuentran:

- Tienen una estructura más ágil para actualizar la producción y propiciar el desarrollo de nuevos productos y tecnologías con mayor facilidad.
- Los tipos de piezas maquinadas; este hecho exige que los fabricantes de moldes y matrices, productores de software, herramientas de corte y de maquinas herramientas presenten constantemente soluciones mejores.
- La rápida obsolescencia de los productos proporciona importantes volúmenes de trabajo para las empresas de herramientas [4] [5].

## Tendencias

Hay una tendencia clara de los fabricantes de herramientas en la búsqueda de maquinas herramientas CNC más avanzadas y herramientas de corte más efectivas, con altas velocidades de rotación del husillo superiores a las 25.000rpm [6].

También los fabricantes de controles numéricos computarizados (CNC) han desatado importantes cambios propiciados por la existencia de microprocesadores de nueva generación, así como otras tecnologías digitales.

Las velocidades de procesamiento hoy en día han pasado de los 70 m/s, en los controles actuales a velocidades de procesamiento menores de un m/s. La precisión de la producción tiene una estrecha relación con la tolerancia utilizada para generar una trayectoria de contorno punto a punto. Mientras mas preciso es el programa, es necesario más puntos para describir la trayectoria de la herramienta con menor distancia entre los puntos [6]. Otra tendencia que se observa esta relacionada con el corte de materiales endurecidos del orden de 60 HRC.

### Posibilidades Del HSC

Lo más importante es que la tecnología HSM no solamente reduce los tiempos de corte, sino que interviene en todo el proceso de producción de un molde o una matriz lográndose hasta un 51% de reducción del tiempo de producción.

En el maquinado convencional de piezas de acero con dureza entre 32 y 63 HRC, se siguen los siguientes pasos en la mayoría de las ocasiones:

- Maquinado de desbaste y semi-acabado en estado recocido.
- Tratamiento térmico para alcanzar la dureza final necesaria.
- Maquinado por electroerosión de radios pequeños y cavidades profundas en las cuales la accesibilidad de la herramienta de corte es limitada.
- Acabado o súper-acabado de las superficies con herramientas de metal duro, Cermet, cerámica mixta o CBN.

También en muchos casos hay que incluir el acabado manual final, lo cual resulta un proceso largo y especializado, aumentando los costos de producción y los plazos de entrega.

Utilizando el HSM, simplifica el proceso tecnológico eliminando algunos pasos:

- La producción de los moldes o troqueles se realiza en una única colocación.

- Mejora la precisión geométrica de la matriz o del molde con el maquinado, reduciendo o eliminando el trabajo manual.
- Los procesos intermedios, como el tratamiento térmico, el fresado de electrodos y la electroerosión pueden ser minimizados o eliminados.

- Los avances en la tecnología de corte y de las máquinas herramientas están ofreciendo alternativas al uso de mayores velocidades de corte.
- Algunos autores afirman que el término "Maquinado con altas velocidades de corte" (HSC) está relacionado con aplicar velocidades de corte de 5-10 veces mayores comparadas con velocidades de corte y de rotación utilizadas usualmente.

Uno de los sectores que se está beneficiando de esta innovación tecnológica, es el sector de la fabricación de herramientas.

Las mayores ventajas en la aplicación de la tecnología de corte con altas velocidades, están relacionadas con las elevadas tasas de remoción de virutas, disminución de los tiempos entre las diversas operaciones del proceso productivo y bajos esfuerzos de corte, ofreciendo una posibilidad en el maquinado con paredes finas sin distorsión de forma, mayor disipación de calor a través de la viruta y con ello, el descenso de las distorsiones y daños térmicos de la pieza, capacidad de obtener superiores niveles de acabado superficial, reducción de las rebabas, facilidad de remoción de las virutas de la región de corte y simplificación del herramienta.

### Condiciones que Favorecen las Herramientas de Corte

Los productores de piezas moldeadas, exigen que los acabados superficiales de los herramientas que emplean sean superiores para satisfacer las exigencias de los clientes.

En este sentido, la aplicación del HSM puede contribuir a elevar la calidad en el acabado superficial en moldes, matrices y piezas con geometría tridimensional compleja, además de la economía de los costos de manufactura.

Actualmente, las reglas del mercado son cada vez más exigentes; quien sea capaz de satisfacer las exigencias en menor tiempo de entrega, bajos costos y alta calidad de los herramientas, será el que se mantenga en el mercado.

Por eso, la necesidad del desarrollo de nuevos procesos de producción y nuevas técnicas, incluyendo el HSM.

Las mayores ventajas de la aplicación de la tecnología de corte con altas velocidades están relacionadas con las elevadas tasas de remoción de virutas

Además de estos aspectos, también propician la introducción del HSC los avances logrados en la calidad de los materiales para herramientas, especialmente en los substratos y las capas o multicapas que posibilitan el trabajar con elevadas velocidades y cortar materiales endurecidos. También, los productores de máquinas herramientas se han puesto a tono con estos desarrollos [7].

## Régimen de Corte para HSM

Los valores de las velocidades de corte aplicadas en el HSC son muy superiores a las que convencionalmente conocemos en los procesos de producción tradicionales:

En primer lugar, las velocidades de corte dependen del material de la pieza a elaborar, existiendo grandes diferencias entre ellos, sobre todo cuando nos referimos por ejemplo a aluminio o aceros endurecidos o termo-resistentes. alguna bibliografía especializada establece un incremento de hasta 10 veces, comparada con las velocidades convencionales.

Los avances y las profundidades de corte para operaciones de acabado y semiacabado se toman relativamente mas pequeñas que en el maquinado convencional. Así, por ejemplo, los valores recomendados de profundidades de corte son del orden de 0.01mm hasta 0.5mm. Los avances se recomiendan en el orden de 0.25 mm/diente

Los avances se recomiendan en el orden de 0.25 mm/diente. Estos valores podrían ser pequeños; pero en el caso del avance, cuando se tienen en cuenta el número de dientes de la fresa y el número de revoluciones del husillo, éstos pueden alcanzar hasta 30m/min.

Por otro lado, ciertamente las profundidades son pequeñas, lo que puede indicar que el volumen de remoción de virutas fuera también pequeños; pero al tener en cuenta las altas velocidades de corte y el avance resultante, los volúmenes de remoción de virutas son superiores al maquinado convencional.

La gama de diámetros de herramientas comúnmente usadas para dar la forma a las superficies es de 1-20 mm. Las herramientas de corte son en un 80-90% de



Figura 1. Motor de alta velocidad con rodamiento magneticos

dos tipos: fresas de cabeza recta de metal duro o fresas de cabeza con punta esférica (Ball Nose); también, se utilizan fresas de cabeza con radios en los bordes.

Las herramientas de metal duro enterizas deben tener las aristas de corte reforzadas y ángulos de ataque negativo o neutro, principalmente para los materiales endurecidos por encima de 54 HRC.

Una característica típica de diseño importante para las fresas de cabeza es su sección central (alma) reforzada para aumentar la resistencia a la deflexión. De igual manera, es favorable utilizar las fresas de cabezas rectas y esféricas con longitudes de arista de corte y de contacto reducidas.

Una segunda característica importante es la conicidad inversa con relación al diámetro de corte, sobre todo cuando se elaboran paredes altas con pequeños ángulos de inclinación.

Otras consideraciones que se deben tener en cuenta al aplicar HSM en las operaciones de acabado y acabado fino, son las pequeñas profundidades de corte que no deben exceder 0.2/0.2 mm ( $a_e/a_p$ ) para evitar deflexiones excesivas en el conjunto soporte/herramienta de corte logrando mantener las tolerancias establecidas y la precisión del molde o la matriz elaborada. El sobre metal debe ser uniforme para garantizar la elevada y constante productividad.

Las velocidades de corte y de avance podrán ser mantenidas en niveles altos y constantes cuando  $a_e$  y  $a_p$  sean constantes, propiciando menores variaciones mecánicas en la arista de corte y así, obtener mayor vida útil de la herramienta [8] [9].

### Ejemplo de Parámetros de Corte

Las siguientes propuestas o recomendaciones de datos de corte se dan para fresas de cabeza de metal duro enterizas con recubrimientos de TiCN o TiAlN para el maquinado de aceros endurecidos:

#### Desbaste

$V_{c\text{real}}$ : 100 m/min

$a_p$ : 6-8% del diámetro de la fresa

$a_e$ : 35-40% del diámetro de la fresa

$f_z$ : 0.05-0.1 mm/z.

#### Semi-acabado

$V_{c\text{real}}$ : 150-200 m/min

$a_p$ : 3-4% del diámetro de la fresa

$a_e$ : 20-40% del diámetro de la fresa

$f_z$ : 0.05-0.15 mm/z.

#### Acabado y acabado fino

$V_{c\text{real}}$ : 200-250 m/min

$a_p$ : 0.1-0.2 mm. del diámetro de la fresa

$f_z$ : 0.02-0.2 mm/z.

Estos valores, dependen de la rigidez y fijación, del balanceo de la herramienta, estabilidad en las aplicaciones, diámetro de la fresa, dureza del material, etc; que a su vez, pueden verse como reales y típicos.

### Ejemplos donde se Demuestran las Ventajas Económicas de la Aplicación del HSM

De la referencia consultada, hemos tomado un ejemplo que puede ser ilustrativo de la aplicación comparativa de corte convencional con la aplicación de las altas velocidades de corte.

#### Material de la Pieza:

H13

CMC03

11 Dureza 200-300HB.



Figura 2. Centro de mecanizado de altas velocidades

Herramienta: fresa con pastillas redondas con  $D=32$  mm  
 $Z_n=3$ .

### Variantes de Corte:

#### Variante 1

Pastilla de la herramienta de corte Gc4040. Tiempo total de maquinado: 20h.

#### Variante 2

Optimizando la velocidad de corte de 140 m/min. a 190 m/min. Sustituyendo GC4040 por GC4030, clase con mayor resistencia al calor. Tiempo total de corte: 15h. El tiempo de maquinado fue reducido de 20h a 15h.

#### Variante 3

Optimizando la velocidad de corte  $V_c$  de 140 para 335m/min, aplicando los conceptos de HSM, además de reducir la profundidad de corte  $a_p$  de 4mm. a 2mm. Logrando aumentar el avance por diente  $f_z$  de 0.12 a 0.3 mm/z. Tomando como sustituto la clase GC 4030 por GC 4020, clase con una mayor resistencia al calor. El tiempo total de maquinado: 6h.

Con una reducción en la profundidad de corte se consigue minimizar la presión de corte sobre la herramienta y la fricción entre la pastilla y la superficie de contacto. La reducción de estos valores permitió el

Tabla 1. Comparación entre las diferentes variantes

| Variante | D<br>mm | ap<br>mm | ae<br>mm | Vc<br>m/min | fz<br>mm/z | N<br>rpm | fn<br>mm/rpm | Q<br>cm <sup>3</sup> | Numero<br>Pases | Tiempo Total<br>Horas |
|----------|---------|----------|----------|-------------|------------|----------|--------------|----------------------|-----------------|-----------------------|
| 1        | 31,3    | 4        | 16       | 140         | 0.12       | 1424     | 0.35         | 33                   | 1               | 20                    |
| 2        | 31,3    | 4        | 16       | 190         | 0.12       | 1932     | 0.36         | 45                   | 1               | 15                    |
| 3        | 28,9    | 2        | 16       | 335         | 0.3        | 3686     | 0.9          | 106                  | 2               | 6                     |

aumento de la velocidad de corte Vc y el avance por diente, obteniendo aun más ganancia en la productividad.

El volumen de metal cortado Q que era de 33cm<sup>3</sup> en la condición convencional se incrementó a 106 cm<sup>3</sup>. El tiempo de maquinado se redujo de 20h a 6h, adquiriendo una ganancia de 14h. Tabla No. 1 comparación entre las diferentes variantes.

## CONCLUSIONES

En este trabajo solo se ha pretendido dar a conocer algunas de las características más importantes del maquinado con altas velocidades de corte, sus tendencias y las posibilidades de su aplicación en sectores claves de la industria mecánica, especialmente de moldes y troqueles.

La introducción de la tecnología del corte con altas velocidades de corte ha revolucionado la industria mecánica de producción de piezas, y para satisfacer sus requerimientos, los productores de máquinas herramientas, herramientas de corte, controles de máquinas, etc; también han tenido que mejorar la calidad de estos productos, permitiendo el desarrollo e introducción de esta tecnología.

Los países en vía de desarrollo disponen de máquinas herramientas con CNC "convencionales" y es imperioso investigar hasta dónde es posible la aplicación de las bondades que brinda esta tecnología. En este sentido, es necesario aunar los esfuerzos y recursos disponibles para posibilitar las investigaciones en esta dirección. 

## REFERENCIAS

1. SANDVIK. *Usinagem com "Altas Velocidades de Corte e Usinagem" Convencional de Moldes e Matrizes 36 (1998).*
2. SCHULZ, H., MORIWAKI, T. "High Speed Machining". *Annals of the CIRP* Vol. 41 n.2. pp 637-643 (1992).
3. Komanduri, R. and Subramanian, K. and Turkovich, B. F. "High speed machining". ASME PED Vol. 12 1984. ASME Journal of engineering for industry. Vol. 115 Noviembre p 432-437(1993).
4. Fallböhmer, P., Altan, T., Tönshoff, H. K. and Nakagawa, T. "Survey of the Die and Mould Manufacturing Industry". "Journal of Materials Processing Technology", n.59 p.158-168 (1996).
5. HOLLISTER, G. "Die Mold Process Training High Speed Machining for Milling Machines" Student Manual, Makino Die/Mold Division Publication, p. 1541 (1998).
6. R. E Haber, et al "Tendencia actual y desarrollos futuros de nuevos controles basados en la lógica borrosa y su aplicación al mecanizado a alta velocidad". Revista de Metalurgia. Madrid 38 p124-133 (2002).
7. Tomita, K. "O Atual Estágio da HSM e dos Materiais de Ferramentas de Corte." *Máquinas e Metais*, n.405, p. 20-39, octubre (1999).
8. Wong, S. Y. and Dong, W. C. "Accurate 3-D cutting force prediction using cutting condition independent coefficients in end milling". *International Journal of machine tool and manufacture*. Vol. 41 Issue 4 March pp 463-478 (2001).
9. SCHULZ, H., MORIWAKI, T. "High Speed Machining". *Annals of the CIRP* Vol. 41 n.2. p 637-643 (1992).