



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

“INTRODUCCIÓN AL MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD EN LA FORMACIÓN PROFESIONAL”

AUTORÍA SEBASTIÁN DÍAZ BECERRO
TEMÁTICA FABRICACIÓN MECÁNICA
ETAPA FORMACIÓN PROFESIONAL

Resumen

La técnica del mecanizado se imparte fundamentalmente en el ciclo de grado medio de Mecanizado y en el ciclo de grado superior de Producción por mecanizado, dentro de la familia profesional de fabricación mecánica. El ciclo de Mecanizado ha sido reformado recientemente y ya se desarrolla el primer curso en su nueva estructura en los institutos de Formación Profesional de Andalucía. Pretendemos dar una primera visión del mecanizado de alta velocidad.

Palabras clave

Mecanizado de alta velocidad, ciclos formativos, Fabricación Mecánica, familia profesional, módulo profesional.

1. INTRODUCCIÓN.

La Familia Profesional de Fabricación Mecánica está compuesta por dos subfamilias, “Desarrollo y Fabricación de Productos” y “Construcciones Metálicas”, y la conforman los siguientes sectores o actividades: Industrias de la Construcción de Maquinaria y Equipo Mecánico, Industrias de Fabricación de Material de Transporte, Construcciones Metálicas e Industria Pesada.

Dentro de la primera subfamilia: “Desarrollo y Fabricación de Productos” se encuentran el ciclo formativo de grado medio Mecanizado y el de grado superior Producción por mecanizado.

Entre los objetivos a perseguir por una industria del sector del metal que utilice máquinas-herramientas se encuentran:

- Obtener el máximo aprovechamiento del material.
- Conseguir tolerancias dimensionales cada vez más estrictas, sobre todo en algunos sectores concretos.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

- Conseguir tolerancias de acabado que permitan que los rozamientos y la eficiencia del proceso en el que vaya a estar involucrada la pieza sea lo más rentable y eficaz posible.
- Reducir los tiempos de mecanizado.
- Reducir los costes de uso de las herramientas.

Hace tres o cuatro años estos objetivos se perseguían mediante herramientas clásicas, con condiciones de mecanizado bastante conservadoras para disminuir esfuerzos en el proceso de copia y evitar malformaciones, tanto en la herramienta como en la máquina o en la propia pieza. Había que evitar vibraciones para mejorar el acabado superficial. Y evitar sobrecalentamientos. Todo ello requería máquinas rígidas y muy pesadas y tornos térmicamente estables especialmente en mecanizados de muy larga duración y largos tiempos de mecanizado.

Iniciado el siglo XXI es prácticamente inimaginable la revolución experimentada por la tecnología de fabricación en los últimos 10 - 15 años. La evolución de los ordenadores, de las nuevas tecnologías de comunicación, etc., están revolucionando el mundo en general y en particular el mundo de la fabricación. En el campo que nos concierne, mecanizado-fresado, "el cambio" ya ha llegado y, aunque todavía queda mucho camino por recorrer, el denominado Mecanizado a Alta Velocidad (MAV) es ya una realidad que muchas empresas y mucha gente todavía desconocen.

El Mecanizado a Alta Velocidad (MAV) hoy en día es una tecnología de corte con bases sólidas que abre las puertas del mecanizado de materiales y figuras que antes no se podían mecanizar mediante el mecanizado convencional, como por ejemplo: materiales con una dureza superior a 50 Hrc o paredes delgadas de 0.2 mm., etc.

2. DEFINICIÓN DEL MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD.

Cuando nos planteamos definir el mecanizado de alta velocidad nos surge unas primeras cuestiones sobre si la alta velocidad se refiere a altas velocidades de corte, de husillo o a altos avances.

Actualmente, el mecanizado de alta velocidad (MAV) tiene muchas definiciones. Pero una cosa clara es que no significa obligatoriamente mecanizar a altas revoluciones de husillo, ya que muchas de las aplicaciones se realizan con velocidades de husillo moderadas (3.000 - 6.000 rpm) y herramientas de gran diámetro (25 - 30 mm.). Las condiciones del proceso (velocidad de corte, avance, profundidades de corte radial y axial, etc.) dependerán del material a mecanizar, así como de las máquinas y herramientas disponibles.

Cada material y aleación que pretendamos mecanizar posee sus propias características de maquinabilidad, lo que nos marcará los límites operativos del proceso. Por ejemplo, no es lo mismo mecanizar:

- Materiales blandos (aluminio, cobre, magnesio, etc.) que duros (aceros templados, titanio, níquel, etc.).



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

- Materiales de gran maquinabilidad (aluminio, magnesio...) que de poca maquinabilidad (titanio, acero para herramientas, etc.).

Así, los factores: material, herramienta y máquina limitará los parámetros de corte, estrategias de mecanizado, volumen de material extraído por unidad de tiempo, etc. La velocidad de corte y las condiciones del proceso en general dependerán del material a mecanizar. Por ejemplo en la siguiente lista de materiales: plástico reforzado con fibra, aluminio, bronce, latón, fundición, acero, titanio y aleaciones de níquel; la velocidad de corte irá disminuyendo desde el plástico hasta el níquel.

Definición: El Mecanizado de Alta Velocidad consiste en la optimización del mecanizado con las posibilidades existentes limitado por la pieza/material a mecanizar y las herramientas-máquinas (CAD/CAM/CNC) disponibles. Esto puede suponer mecanizar a velocidades de corte entre 5 y 10 veces superiores a las que se utilizan de manera convencional “para cada material”.

Podemos considerar que con el Mecanizado a Alta Velocidad se ha dado un paso importante hacia el mecanizado óptimo de cada material. A medida que se vayan desarrollando y mejorando las máquinas, herramientas, los programas de CAD-CAM, los CNC, etc. se irá avanzando hacia la optimización general del mecanizado, en el que cada material tendrá sus óptimas condiciones de corte, sus estrategias, sus herramientas, etc.

3. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MECANIZADO.

Afortunadamente la investigación en materiales ha permitido desarrollar recubrimientos de herramientas que permiten aumentar notablemente las velocidades de corte, por lo menos las teóricamente permisibles. La velocidad de mecanizado venía limitada por la temperatura, el agotamiento y otros factores. Distintas bibliografías pueden dar valores ligeramente distintos en función del material.

Con nuevos recubrimientos es posible superar las condiciones conservadoras hasta ahora establecidas. Con poca fuerza del mecanizado, y teóricamente, y en casos muy concretos, es posible conseguir algunas ventajas. Las principales son:

- Gran volumen de inacción del material por unidad de tiempo.
- Mejor calidad superficial.
- Fuerzas de corte pequeñas, lo cual permite la realización de mecanizados de piezas de pared delgada, hasta ahora muy difíciles.
- Ventaja adicional: las frecuencias de excitación escapan del margen crítico de frecuencias de vibración de la máquina, con lo que disminuye el riesgo de vibraciones y se altera el transporte del calor, que se canaliza a través de la viruta.

Para establecer estos requisitos *no basta con una herramienta con el recubrimiento necesario* o el que aconseje el fabricante, sino que es preciso arropar todo el sistema con distintos elementos que van mucho más allá de la propia herramienta. Es preciso tener muy en cuenta las posibilidades y



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

limitaciones del cabezal de las herramientas, hay que re estudiar el fluido, y la máquina debe ser capaz de responder a las velocidades de mecanizado deseada y al perfil objetivo.

En cuanto a los controles numéricos ya no basta con programar cota a cota o con funciones sencillas: las velocidades y las dinámicas de las máquinas a considerar requieren funciones especializadas, funciones que permitan prever cómo va a cambiar la trayectoria exigida a esa herramienta en el instante de tiempo siguiente.

Para conseguir tolerancias dimensionales estrictas es preciso controlar muy bien la temperatura, y otorgar mucha mayor atención que hasta ahora a la estrategia del mecanizado. A saber: filo herramienta, geometría, material, proceso que ha de seguir el programa de control numérico. Se pueden obtener grandes ventajas en cuanto a la herramienta y el mecanizado atendiendo a la estrategia de mecanizado con mayor detenimiento que hasta ahora.

Para conseguir buenas tolerancias dimensionales, especialmente en mecanizados de larga duración, es muy importante la estabilidad térmica. También hay mecanizados en los que, aunque la duración del propio proceso no sea elevada (por ejemplo en el caso de taladros rápidos para mecanizar una caja) pueden transcurrir pocos minutos pero, sin embargo, requieren una serie muy larga y muy repetitiva en cuanto a tolerancias. El control de la temperatura es pues fundamental.

Así pues, habrá que procurar la eliminación de las fuentes de distorsión térmica. Tradicionalmente, se mantiene la máquina en un entorno de temperatura controlada, pero en ocasiones ello no es posible. Así pues, los fabricantes de máquinas deben de tener en cuenta este factor en sus diseños constructivos, de forma que las fuentes de calor lo repartan de manera uniforme sin que sea aplicado en puntos concretos para poder compensarlo mucho más fácilmente.

4. ESTRATEGIAS DE MECANIZADO.

Las características singulares de las piezas son inconvenientes que con los principios y condiciones de corte vistos hasta ahora, no se pueden solventar. Es aquí donde las estrategias de corte cumplen su función. Cada operación tendrá una forma distinta de atacar la pieza.

- *Desbaste*: el objetivo de éste es obtener la mayor cantidad de viruta en el menor tiempo posible, dejando unas creces uniformes y minimizando las cantidades de material residual dejado en redondeos. Para cumplir todo esto la elección del diámetro de la herramienta es fundamental, debe quitar el mayor material posible, sin dejar restos o los menos posibles. Y para dejar las creces lo más uniformes posibles, con el fin de que la carga de la herramienta sea constante, hay que evitar grandes crestas de material, con profundidades axiales y radiales no muy grandes. En el desbaste la estrategia más usada el mecanizado por niveles Z, aunque van surgiendo más estrategias novedosas como las trocoides, que aunque no se han implementado en muchos CAM, desalojan grandes caudales de viruta.
- *Acabado*: el objetivo es eliminar las creces uniformes dejadas, dejando la mejor calidad superficial posible, sin tener tanta importancia el tiempo de mecanizado. Hay muchas estrategias de acabado, como el copiado, en zig-zag, radial y offset, los contorneados en planos Z o espiral y por



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

zonas. Con respecto a los aspectos que hay que considerar en la alta velocidad, mencionar los redondeos o arcos de las trayectorias en esquinas para evitar cambios bruscos, entradas y salidas suavizadas en rampas, de forma tangencial, helicoidal y con interpolaciones circulares. Búsqueda de trayectorias que eviten trabajar con todo el diámetro de la herramienta. Posibilidad de editar las trayectorias. Finalmente, concluir con las estrategias utilizadas en las piezas del estudio.

5. NUEVO CONCEPTO DE CABEZAL.

El límite tradicional de los cabezales venía dado por la temperatura alcanzada por los rodamientos.

A lo largo del tiempo se han conseguido algunos logros y avances puntuales, cambiando los recubrimientos de las pistas de rodadura, utilizando híbridos cerámicos-acero o cambiando las lubricaciones. Recientemente han hecho aparición en el mercado los cojinetes electromagnéticos: ya no hay contacto y, en principio, desaparecen las limitaciones en cuanto al giro (si bien aparecen limitaciones en su excitación) y se consigue una vida media útil mucho mayor. Es un nuevo concepto.

El elemento que ha posibilitado que estas herramientas puedan trabajar a estas velocidades ha sido el estudio de nuevos materiales. Teniendo en cuenta que el coeficiente de fricción de acero contra acero del mecanizado tradicional está en torno a 0.8, se ha conseguido reducir este coeficiente con los nuevos recubrimientos hasta valores de 0.2 con lo cual el calor que se puede generar a iguales velocidades de corte puede ser bastante más reducido. Estas ventajas también se producen al eliminar o reducir el fluido refrigerante. Sin embargo, hay herramientas que tienen un rango estrecho de utilización óptima.

Cada pieza a mecanizar tiene su conjunto óptimo de recubrimiento de la herramienta, su geometría, el fluido refrigerante, el fluido de corte y la estrategia de mecanizado. Incluso, debido a las legislaciones medioambientales, el fluido refrigerante puede ser función del país, pues puede requerir un proceso que no sea viable al no existir procesos alternativos. En definitiva, cada pieza requiere su propio compromiso.

El control numérico debe ser muy rápido. Hay que obtener ciclos por debajo del segundo. Debe tener cierto grado de previsión, de forma que pueda esperar qué cambios de velocidades, aceleraciones y cotas llegarán en el instante de tiempo posterior, y ello para poder reaccionar con el tiempo suficiente teniendo en cuenta las características dinámicas y la respuesta de la propia máquina.

Otra tendencia que está confirmada ya es la tendencia a controles abiertos, controles en los que el usuario final pueda incluir su propio software para el control de temperaturas, de vida de la herramienta, etc.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

6. IMPORTANCIA DEL MAV EN EL PROCESO PRODUCTIVO.

La incorporación de MAV constituye un paso importante hacia el mecanizado en óptimas condiciones y la posibilidad de mecanizar algunos materiales (aluminio, magnesio, etc.) a altas velocidades de corte V_c (>30.000 rpm), altos avances (2g), etc.

1. Cambio de mentalidad y distribución del tiempo.

- Diferencias en la distribución del tiempo que deben ser asumidas.
- En el proceso MAV, el gasto en tiempo CAD/CAM es generalmente mayor que el gasto de tiempo en mecanizado.
- Esto genera una mayor necesidad de personal en CAD/CAM y menor a pie de máquina.

2. Nuevas infraestructuras, formación del operario, herramientas, controles, etc.

- La máquina: Debe ser capaz de responder a las velocidades de mecanizado deseada y al perfil objetivo (rígida, precisa, segura, etc.).
- CNC: Deben ser capaces de prever cómo va a cambiar la trayectoria exigida a esa herramienta en el instante de tiempo siguiente.
- CAD Y CAM: Debe ser capaz de crear adecuadas estrategias para el MAV.
- La herramienta: Debe ser resistente al desgaste y adecuada para la operación requerida. Los recubrimientos aumentarán la vida de las herramientas.

El mecanizado a alta velocidad supone un cambio en las necesidades y la mentalidad desarrollada en el proceso productivo con el mecanizado convencional.

El MAV tiende a sustituir las pasadas de gran profundidad a baja velocidad de corte por muchas pasadas rápidas de menor profundidad de corte, obteniendo un considerable aumento de viruta desalojada (volumen de material por unidad de tiempo). Las altas velocidades de corte y los elevados avances disminuyen las fuerzas de corte gracias a espesores de viruta cada vez más pequeños.

7. VENTAJAS Y CAMPO DE APLICACIÓN DEL MECANIZADO DE ALTA VELOCIDAD.

Las principales ventajas del MAV son:

- Disminución de las fuerzas de corte en los materiales dúctiles, posibilidad de mecanizar paredes delgadas (0,2 mm.).
- Mayor precisión de los contornos, mejor calidad superficial y tolerancias dimensionales más precisas.
- Reducción del tiempo de pulido.
- Mecanizado de una sola pasada para el desbaste y acabado.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

- Mecanizado de paredes finas.
- Reducción del tiempo de mecanizado y coste global.
- Disminución del coeficiente de rozamiento viruta-herramienta.
- Evacuación casi total del calor por medio de la viruta.
- Aumento en la vida de la herramienta.
- Posibilidad de mecanizado de aceros duros (>50 Hrc) como si fuera mecanizado en caliente.

Los principales campos de aplicación de esta tecnología son:

- Aleaciones ligeras de metal, acero y fundición, debido al gran volumen de corte por unidad de tiempo. Ejemplos: sector aeronáutico y fabricación de moldes y troqueles.
- Mecanizado de precisión y piezas especiales; debido a la alta calidad superficial. Ejemplos: óptica y mecanizado de precisión superficial.
- Mecanizado de piezas de pared delgada, debido a las fuerzas de corte pequeñas. Ejemplos: sector aeronáutico y sector del automóvil.
- No mecanizado en frecuencias críticas. Ejemplos: mecánica de precisión e industria óptica.
- Mecanizado de piezas con influencia crítica del calor. Ejemplos: mecánica de precisión.

8. LIMITACIONES DE LA ALTA VELOCIDAD.

- Relación del diámetro de las herramientas con la profundidad y la calidad.
- Relación del diámetro de las herramientas con la velocidad de giro del cabezal. En ocasiones se habla de llegar hasta las 70.000 rpm pero, si se está trabajando aluminio con ciertos diámetros, haría falta llegar a 100.000 rpm, cosa que hoy por hoy la tecnología no permite.
- El control numérico debe ser tal que pueda prever la trayectoria hacia donde se va para poder establecer estrategias.
- El sistema CAM también tiene que ser capaz de realizar estrategias, dado que la mentalidad de la alta velocidad es completamente diferente a la del trazado convencional.
- Precio actual de las máquinas.

Existe también un factor añadido: el riesgo que supone una masa moviéndose a muy alta velocidad. La energía cinética aumenta con el cuadrado de la velocidad, y ésta resulta ser en la práctica hasta un orden de magnitud superior a la del mecanizado convencional: la energía involucrada en estos procesos es muy elevada. Ello implica protecciones para el usuario que pueden suponer un incremento de coste adicional con respecto a lo que tradicionalmente se considera una protección (chapa, cristal). Tienen que estar preparadas para soportar impactos de mayor envergadura (carenados, etc.). El control



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

numérico tiene que permitir entradas y salidas rápidas para reaccionar con prontitud. Y las masas en rotación tienen que estar equilibradas con mucho más cuidado.

9. COMPARACIÓN ENTRE EL MAV Y LA ELECTROEROSIÓN.

La alta velocidad comienza a ocupar cierta parte de mercado de un tipo de aplicaciones hasta ahora cubierto por la electroerosión, pero el sesgo existente es evidente en muchas de las comparaciones que se realizan entre el MAV y la electroerosión.

Las estimó faltas de rigor por confundir al usuario en la medida en que se presentan como una panacea a partir de conclusiones realizadas sobre situaciones no comparables. Muestra piezas para las cuales un conocedor de la electroerosión nunca consideraría esta tecnología, pero que habían sido usadas para presentar el mecanizado de alta velocidad como un 60% más rápido que realizada por electroerosión, con más razón por cuanto se contabilizaba el tiempo de fabricación de unos taladros.

Para mejor ilustrar su argumentación acudió provisionalmente al sentido contrario, mostrando realizaciones imposibles de obtener con la alta velocidad, indicando que sería deshonesto por su parte declarar más eficiente la tecnología de la electroerosión en base a este ejemplo.

Acudió también a la historia reciente ejemplificando sobre la aparición del corte por láser para el que, tras las máquinas de electroerosión por hilo, muchos usuarios estimaron que el láser no sobreviviría. No fue así. A la aparición de la electroerosión por hilo se preguntaron por cuál era la mejor. Depende.

Hay una diversidad de piezas mecanizables por alta velocidad y otras por electroerosión. Y, en muchas ocasiones, distintas fases de mecanizado o de acabado pueden ser realizadas con las diferentes tecnologías. Es pues preciso estudiar colaboraciones y avances tecnológicos para evitar que los usuarios tengan que acatar a ciegas la inversión de una máquina de uno u otro tipo. Es preciso realizar estudios comparativos de piezas en las cuales existe competencia entre tecnologías; analizar los aspectos técnicos y económicos de una tecnología pero sin olvidar ninguno, con el fin de conocer con rigor la inversión necesaria.

Finalmente, es muy posible que existan otros condicionantes ajenos al debate tecnológico. Por ejemplo: el tipo de trabajo que realiza habitualmente la empresa le puede condicionar decisivamente. La alta velocidad podría ser una buena tecnología para cierto tipo de estampas de forja pero, si es un moldista de formas complejas podría no resultarle adecuado. También es de gran importancia el tipo de máquinas de que disponga la empresa y su cartera de pedidos: no parece adecuada una máquina de alta velocidad para tenerla parada durante mucho rato.

10. BIBLIOGRAFÍA.

10.1. Bibliografía.

Coca Rebollero, P. y Rosique Jiménez, J. (2002). *Tecnología mecánica y metrotecnia*. Madrid: Editorial Pirámide.



ISSN 1988-6047 DEP. LEGAL: GR 2922/2007 Nº 13 – DICIEMBRE DE 2008

Lasheras Esteban, J.M. (1997). *Tecnología mecánica y metrotecnica*. San Sebastián: Editorial Donostiarra.

Morris, J. (1961). *Procesos modernos de fabricación*. Barcelona: Editorial Labor.

Wirt Suárez, F. (1957). *Tecnología mecánica*. Madrid: Editorial Aguilar.

10.2. Legislación.

- D. 13/1996, de 16 de enero, por el que se establecen las enseñanzas correspondientes al Título de Formación Profesional de Técnico Superior en Producción por Mecanizado en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

- D. 12/1996, de 16 de enero, por el que se establecen las enseñanzas correspondientes al Título de Formación Profesional de Técnico en Mecanizado en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

- R.D. 1635/1995, de 6 de octubre, por el se adscribe el profesorado de los Cuerpos de Profesores de Enseñanza Secundaria y Profesores Técnicos de Formación Profesional a las especialidades propias de la Formación Profesional Específica.

- R.D. 777/1998, de 30 de abril, por el que se desarrollan determinados aspectos de la ordenación de la formación profesional en el ámbito del sistema educativo.

- O. de 25 de septiembre de 1997, por la que se establecen orientaciones y criterios para la elaboración de proyectos curriculares, así como la distribución horario y los itinerarios formativos de los Títulos de Formación Profesional Específica, que se integran en la Familia Profesional de Fabricación Mecánica.

Autoría

- Sebastián Díaz Becerro.
- I.E.S. La Rosaleda, Málaga, Málaga.
- E-mail: sedibec@gmail.com