

FRESADO DE ALTA VELOCIDAD DE MOLDES Y MATRICES

50051

A. Gómez
Proyectos RDI

ASCAMM Centre Tecnologic - España

INTRODUCCIÓN

La técnica de mecanizado de alta velocidad dentro del sector de moldes y matrices se puede clasificar en dos aplicaciones bien diferenciadas: fresado sobre aceros endurecidos y fresado sobre materiales blandos.

Los procesos de fabricación de esta forma divididos, se caracterizan por fenómenos distintos dentro de lo que es el mecanizado, y la aplicación del MAV (*Mecanizado de Alta Velocidad*) en cada uno de ellos es, aunque conceptualmente similar, de puesta en práctica muy distinta.

APLICACIONES DEL MAV DENTRO DEL SECTOR DE MOLDES Y MATRICES

Fresado de alta velocidad sobre aceros endurecidos

Al dejar de lado por un instante la ventaja en cuanto a la reducción de tiempo que puede suponer la aplicación del MAV si se compara con el fresado convencional, existe un hecho que no es comparable con ninguna otra tecnología de arranque de viruta por corte; la capacidad que proporciona el MAV de fresar templados hasta durezas de 65 HRC o superiores.

Por este motivo, si se desea cuantificar la eficacia del MAV en este tipo de aplicación sobre todo en la fase de

acabado de la figura, es necesario compararlo con la tecnología de electroerosión por penetración, la cual cuenta como principal característica la de mecanizar materiales con independencia de su dureza, a la vez que es capaz de reproducir geometrías muy complejas, en muchos casos imposible de obtener por fresado.

En la fase de acabado de una figura componente de un molde o una matriz, es, como se ha comentado en el párrafo anterior, donde aparentemente el MAV entra en competencia con la tecnología EDM (*Electrical Machining Technology = Tecnología de Mecanizado por Descargas Eléctricas*)

En la mayoría de los casos, no es trivial la elección de la tecnología a emplear para fabricar una determinada pieza. Lo que sí está claro es la superioridad del rendimiento del MAV frente al de EDM, entendiendo como rendimiento, en este caso, la cantidad de superficie acabada por unidad de tiempo (cm^2/min), aun a sabiendas de que, en muchos casos, la única solución es la aplicación del EDM. Ambas tecnologías son, por lo tanto, complementarias.

A continuación, se describen, de una manera breve, las tareas a realizar en un proceso de acabado sobre acero templado, tras un previo desbaste y semiacabado en el hipotético caso de que el MAV fuera aplicable al 100% (Tabla 1)

Como se pone de manifiesto en esta comparación, siempre que sea posible aplicar el MAV en la fase de acabado, se pueden reducir bastante los tiempos de fabricación del molde o de la matriz.

Existe una tendencia generalizada de comparar y enfrentar la técnica de Mecanizado de Alta Velocidad con la tecnología EDM para poder determinar cuánto más es de eficaz una frente a la otra, pero como se ha comentado, en el sector de Moldes y Matrices, donde las geometrías son tan variadas y de elevada complejidad, estas dos tecnologías de fabricación se complementan.

En pocos casos la geometría de la figura permite terminarla, ya, por fresado, ya que existen multitud de radios demasiado pequeños que obligan a utilizar herramientas muy pequeñas a unas profundidades cuyo voladizo de herramienta hace inviable la aplicación del MAV, así como aristas interiores sin radio generadas por planos inclinados, las cuales no se pueden obtener por un fresado de tres ejes.

Este hecho implica que la mayoría de piezas de este sector se pueden acabar entre un 80 y 90% con la Técnica MAV, y realizar el acabado final de las zonas mencionadas con tecnología EDM, con el consecuente ahorro; por una parte, de tiempo; por otra, de material y tiempo de

MAV	EDM
Diseño CAD 3D figura	Diseño CAD 3D figura
Generación programas CAM (MAV)	Diseño CAD 3D electrodo
Ejecución programas CNC	Generación programas CAM (electrodo)
Pulido figura	Ejecución de programas CNC (electrodo)
	Pulido electrodo
	Ejecución EDM
	Pulido figura

Tabla 1. Proceso de acabado sobre acero templado

mecanizado de electrodos, ya que, en este caso, no tienen que reproducir la totalidad de la superficie de la figura, sino sólo aquellas zonas donde no ha podido entrar la herramienta de corte.

Un ejemplo práctico donde se ponen de manifiesto las ventajas de aplicar las dos tecnologías mencionadas para acabar una figura, se muestra a continuación:



Figura 1. Ejemplo de aplicación de MAV y EDM en la fase de acabado.

Otra aplicación importante del MAV aparece cuando se plantea la fabricación de placas de figura de

moldes en las que la cantidad de material excedente es poco. En estos casos, es muy interesante partir de la placa ya tratada, con las características de dureza y resistencia especificadas para su funcionamiento final, y realizar el desbaste, semiacabado y acabado aplicando la técnica MAV y de una sola estacada de la pieza en la máquina (Figura 2).

Este tipo de moldes es donde la aplicación del MAV ofrece la ventaja adicional de poder enlazar las diferentes fases de fabricación a que se somete una placa de figura, como lo son el desbaste, y el semiacabado, sin tener que cambiar la pieza de máquina una vez realizado el tratamiento térmico al inicio.

En este tipo de aplicación de la técnica de MAV, no es oro todo lo que reluce; para hacer viable el proceso de desbaste es necesaria una correcta generación de los programas de CNC, mediante sistemas de CAM, hasta que la programación de estas estrategias sea muy laboriosa y delicada.

En nuestra opinión, la inversión de tiempo de programación en CAM necesaria para realizar desbastes sobre aceros endurecidos, con la finalidad de tener garantías de estabilidad térmica a lo largo de todo el mecanizado, no es justificable en todos los casos, teniéndose que valorar para cada aplicación en particular el nivel de garantías alcanzado y cómo afectará a la vida de la herramienta.



Figura 2. Molde multicavidad indicado para realizar todas las fases con MAV

Fresado de alta velocidad de materiales blandos

Electrodos

Comentada, ya, la complicidad necesaria que debe existir entre MAV y EDM, más aún se manifiesta cuando se trata de aplicar la técnica del MAV sobre materiales blandos o de fácil mecanización.

Las ventajas que conlleva el fresado de alta velocidad para la fabricación de electrodos frente -esta vez, sí- al fresado convencional con CNC, son bien conocidas, ya que el caudal de viruta que se puede extraer con una fresadora de altas prestaciones es

muy superior al extraído con una fresadora convencional, al igual que el acabado superficial y precisión obtenidos en la pieza (Figura 3).

Cuando se mecanizan materiales para la fabricación de electrodos -con cobres electrolíticos y grafitos- el rendimiento del proceso viene limitado por las prestaciones de la máquina, y tanto más tiempo se ahorrará como mayores sean las prestaciones de la fresadora. No así cuando se mecanizan aceros tratados, ya que en estos casos el límite en el proceso viene marcado por la vida de la herramienta.

Mecanizado de aleaciones no férricas

El mecanizado de moldes prototipo en metales no férricos, en especial, aleaciones de aluminio, continúa siendo habitual para las empresas del sector.

La aplicación del mecanizado de alta velocidad en la fabricación de las figuras con este tipo de materiales se basa, como ya se ha comentado, en las prestaciones de la máquina. Cabe

decir que esta aplicación no es tan delicada como el fresado de aceros endurecidos, ya que, por una parte, si las trayectorias programadas de la herramienta no son las más óptimas en todo momento, las consecuencias sobre su vida no son tan severas y, por tanto, el rendimiento del proceso se mantiene en un nivel aceptable, y por otra, en la fase de acabado las marcas que puedan quedar en las superficies debidas a los cambios de herramienta o a la generación de estrategias de acabado poco adecuadas, son mucho menos costosas de eliminar en la fase de pulido manual (Figura 4).

El efecto de la profundidad de pasada axial (a_p) es despreciable en lo que respecta a la vida de la herramienta. Si a_p es mayor o menor a nivel diferencial, se puede aplicar el estudio bidimensional aquí expuesto con lo que se desvincula toda dependencia con dicha variable. Por una parte, esto supone que se considera que la producción de calor es constante a lo largo de toda la arista de contacto de la herramienta, y por otra, aquellas

partes donde se produzca una mayor concentración de flujo de calor y, por lo tanto, mayor gradiente de temperaturas, el desgaste que se producirá será más acusado. Esta hipótesis es corroborable con facilidad con la experiencia, ya que la zona de mayor desgaste suele estar localizada en las puntas de filo donde se produce la irregularidad del flujo de calor descrita.



Figura 4. Ejemplo de molde prototipo mecanizado en aluminio



Figura 3. Diferentes electrodos para emplear en EDM

La correcta determinación de los parámetros de corte, junto con una estrategia de mecanizado adecuada, son los factores claves para aplicar con éxito el mecanizado de alta velocidad.

¿Según qué desviaciones de los valores óptimos que pueden parecer no significativos o conservadores, aun siguiendo un criterio razonable en mecanizado convencional, pueden dar como resultado un desgaste prematuro, vibraciones o, incluso, en el peor de los casos, una destrucción completa del filo de la herramienta?

Los subapartados que siguen exponen, de una forma ordenada y sistemática, el procedimiento de determinación de dichas condiciones.

Velocidad de corte V_c

Los elevados valores utilizados de V_c

es la característica inherente del mecanizado de alta velocidad. No obstante, hablar de altos valores V_c sin mencionar el material que se está trabajando, no es significativo, ya que una V_c que sea propia de trabajo bajo la técnica MAV no tiene por qué ser la misma para otro material.

En primer lugar, dado un material y un tiempo de vida de la herramienta deseado, hay que recurrir a la información procedente de análisis experimental e interpretarla de una forma adecuada para saber cuál es la velocidad de corte y el avance por diente recomendado.

Si no es posible obtener dicha información a partir de otros resultados prácticos, habrá que utilizar alguna estimación de dichos valores.

Para obtener un primer valor posible de V_c , se puede recurrir a la siguiente expresión:

$$V_c = 3 \cdot 10^5 \text{ HV}^{-1.48}$$

donde HV es la dureza en Vickers del material en cuestión.

Esta expresión se ha deducido por estadística en función de la documentación disponible y hay que insistir que sólo ofrece los valores orientativos razonables para el mecanizado de acero; son un primer punto de partida y siempre deben verificarse en la práctica.

PARÁMETROS DE CORTE QUE DEFINEN EL PROCESO DE FRESADO

En este apartado, se expone el efecto de la variación de las condiciones de corte sobre la temperatura del proceso de fresado y, lo que es más importante, sobre la vida útil de la herramienta de corte. De esta manera, se comprenderá mejor la necesidad existente de diseñar estrategias de mecanizado específicas para la generación de las sendas de mecanizado aplicando la técnica MAV (Figura 5).



Figura 5. Zonas de intercambio de calor en la herramienta durante el proceso de fresado

Los parámetros de corte que definen un proceso de fresado son los siguientes:

- Velocidad de corte V_c (m/min)
- Pasada radial A_e (mm)
- Avance por diente (mm)
- Pasada por axial A_p (mm).

Cualitativamente se podría decir que al aumentar V_c , sólo aumenta la pendiente de la recta de calentamiento (Figura 6). En un extremo, si la velocidad tendiese a infinito, la pendiente de la recta sería vertical, lo que implicaría que el punto de T_{max} , tras la producción de una viruta, también se situaría en un valor elevadísimo. Por otra parte, si aumentamos a_g , estaremos actuando al mismo tiempo sobre la potencia de corte implicada y sobre el tiempo de contacto. No obstante, para pequeñas variaciones, es más importante la variación de t_c , ya que condicionará el enfriamiento y, por lo tanto, el punto T_{max} , por cuanto la herramienta tendrá más o menos tiempo para evacuar la misma cantidad de calor (Figura 6).

La extrapolación de este primer resultado a otros materiales no férricos debe ser cautelosa y, al igual que antes, también es necesario una comprobación práctica.

Pasada radial A_e

Tal como se indicaba, la variable que domina la relación del tiempo de

contacto relativo de la herramienta con la pieza es la pasada radial.

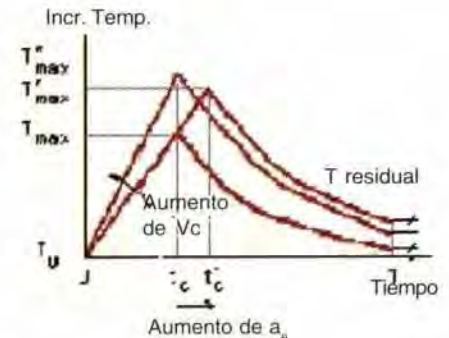


Figura 6. Efecto de V_c y A_e sobre el incremento de la temperatura de la herramienta

Al igual que en el caso anterior, es preferible disponer de algún tipo de dato experimental que proporcione información sobre la magnitud de este parámetro en condiciones óptimas similares y el resultado obtenido.

De no ser así y como primera referencia se suele adoptar entre un 2,5 y un 10% del diámetro de la herramienta. Hay que prestar especial atención en la determinación de este parámetro, ya que las sollicitaciones térmicas son muy sensibles con la pasada radial; las excesivas deteriorarán la herramienta con rapidez.

En ocasiones, sobre todo cuando se realizan desbastes, es inevitable tener que utilizar, incluso, el 100% del diámetro de la herramienta. Cuando no se pueda evitar esta situación y, en especial, en materiales de mecanizado difícil, habrá que procurar ajustar el resto de parámetros de acuerdo con los criterios especificados.

Es aconsejable que la pasada radial se mantenga lo más constante posible a lo largo de todo mecanizado, en aras de conseguir un acabado óptimo y un desgaste regular de la herramienta.

Avance por diente Az

Fijada la pasada radial, el avance por diente influirá en el grosor medio de la viruta (h_m) que se desea obtener.

Al igual que antes, es preferible tener información sobre una realización práctica experimental que, a lo sumo, nos garantizará una determinada vida de herramienta. Si esto no es posible, habrá que intentar estimar este parámetro. Los valores medios óptimos de la viruta dependerán de cada material en cuestión.

Valores por debajo implican que cualquier pequeño desgaste o redondeo del filo de corte implicará un aumento en la dificultad para obtener la viruta, ya que la herramienta tenderá a empujar el material y no a cortarlo. Por otra parte, valores por encima suponen unos grandes esfuerzos sobre el filo de corte que podrían ocasionar la rotura de éste y/o disminuirían la calidad superficial obtenida.

Pasada axial Ap

El efecto de la profundidad axial es el menos importante en lo que respecta a la vida de la herramienta.

No obstante a_p tiene un papel muy importante en el acabado superficial y en la integridad de la herramienta. Cuanto mayor sea a_p , mayor será la flecha de la herramienta respecto al eje de la máquina debido a flexión.

En el fresado, al tratarse de un mecanizado por corte interrumpido, la flexión del mango de la herramienta dará lugar a irregularidades sobre la superficie mecanizada (bajará la calidad superficial). Se recomienda no utilizar valores por encima del 50% del diámetro de la herramienta.

Por último, también, hay que recordar que valores muy pequeños de a_p pueden ocasionar láminas de viruta demasiado delgadas que, según con qué potencias, darían lugar a la aparición de viruta incandescente con

las consecuencias comentadas en el apartado anterior.

EJEMPLOS DE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA MAV EN EL SECTOR DE MOLDES Y MATRICES

Pieza 1. Placa de figura de doble cavidad para inyección de termoplástico

Características de la pieza

- Material : acero 1.2419 (ARNE)
- Dureza: 60 hrC
- Dimensiones de la placa: 180 x 80 x 30 mm
- Funcionalidad: Cavidad de molde para inyección de termoplástico
- Especificaciones de acabado: Pulido
- Herramienta mínima exigida por la geometría: $R = 0$ mm
- Herramienta mínima utilizada: $R = 1$ mm (Figura 7)



Figura 7. Modelo CAD 3D de la figura

La fabricación de esta pieza se ha realizado en un 95% de su totalidad con la técnica de mecanizado de alta velocidad; el 5 % restante es indispensable realizarla mediante la tecnología EDM, ya que existe una arista viva interior generada por planos inclinados.

Las cavidades son lo suficientemente pequeñas para que sea rentable el fresado de alta velocidad en todas sus fases; desbaste, semiacabado y

acabado con el material endurecido. Las estrategias de mecanizado deben estar diseñadas de manera que los parámetros de corte fijados en un principio en función tanto del material de la pieza, como de la herramienta y geometría se mantengan constantes a lo largo de todo el proceso.

Mediante la combinación de la técnica de MAV y la tecnología EDM se ha conseguido reducir, en este caso, el electrodo a una simple plaquita para clavar el escalón de la zona indicada en la figura anterior.

Características del proceso

1 - Desbaste Offsets a Z constante

- Herramienta: Esférica de $\phi 8$, 4 labios (HM + TiAlN)
- A_p : 1 mm
- V_c : 200 m/min
- $A_e = 0.2$ mm
- F_z : 0.1 mm/min
- Sobreespesor : 0.3 mm (Figuras 8 y 9)

2- Semiacabado: Copiado en Raster a 30°

- Herramienta esférica de $\phi 6,2$ labios (HM + TiAlN)
- V_c : 200 m/min
- $A_e = 0.15$ mm
- F_z : 0.1 mm/min
- Sobreespesor: 0.1 mm (Figura 10)

3 - Acabado copiado en Raster a 30°

- Herramienta : $\phi 4$ esférica 2 labios (HM + TiAlN)
- V_c : 250 m/min
- F : 3200 mm/min
- Sobreespesor: 0 mm (Figura 11)

Tiempo real de fresado de una cavidad: 170 min

Tiempo total de fresado de una cavidad: 170 min.

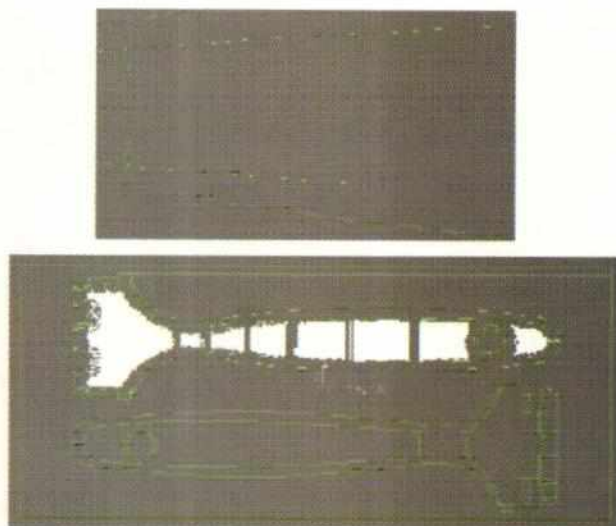


Figura 8. diferentes offsets realizados para desbastar las dos cavidades



Figura 9. Desbaste de una de las cavidades por offsets



Figura 11. Cavidades terminadas; el acabado superficial es muy bueno

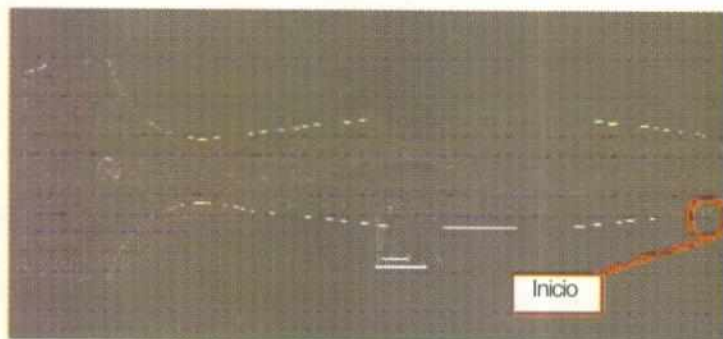


Figura 10. Estrategia de raster a 30° para la realización del semiacabado y del acabado

Pieza 2. Electrodo de cobre electrolítico para mecanizado por EDM

Características de la pieza

- Material : cobre electrolítico
- Dureza : —————
- Dimensiones del bloque: $\varnothing$ 120 x 60 mm
- Funcionalidad: electrodo para proceso EDM
- Especificaciones de acabado: Pulido
- Herramienta mínima exigida por la geometría: $\varnothing$ 4 mm. La principal dificultad para fresar esta pieza viene dada por la esbeltez

de las agujas que la conforman, ya que por el efecto de las vibraciones que se generan en la propia pieza, se pueden doblar con mucha facilidad. La reducción del tiempo de mecanizado era el objetivo principal del ensayo (Figura 12)

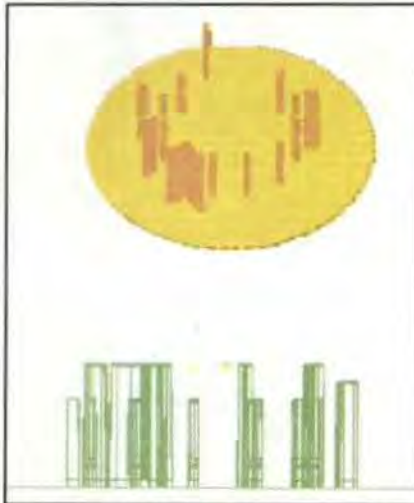


Figura 12. Máxima esbeltez de las agujas: 1.4 x 4 x 24 mm



Figura 13. Electrodo terminado; el acabado superficial ha sido bueno

Características del proceso

Estrategias de mecanizado

1-Desbaste: Raster lineal por capas

- Herramienta: $\varnothing 12$ plana 4 labios (HM + CrN)

- A_p : 6 mm
- V_c : 250 m/min
- A_e : 2 mm
- f : 1500 mm/min
- Sobreespesor: Vectores X-Y: 1mm
- Vector Z: 0 mm

Estrategia de desbaste en pasadas axiales de 6 mm

2- Acabado: contorneado aguja por aguja

- Herramienta: $\varnothing 4$ mm 2 labios (HM+CrN)
- A_p : 0.06 mm
- V_c : 200 m/min
- f : 3000mm/min
- Sobreespesor: 0 mm

(Figura 13)

El tiempo total de fresado de esta pieza ha sido de 150 min.

Placa figura punzón para molde de inyección de plástico

Característica de la pieza

Material: Acero 1.2344

Dureza: 54 HRx

Dimensiones del bloque: 245 x 196 x 70mm

Funcionalidad: Figura punzón molde

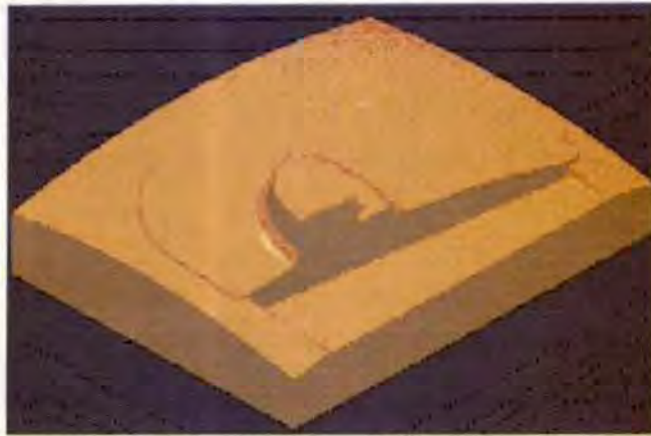


Figura 14. Geometría CAD 3D de la pieza

Especificaciones de acabado:

Pulido

Herramienta mínima exigida por la geometría: $\varnothing 6$ mm. (Figura 14)

Características del proceso

Estrategias de mecanizado

1- Desbaste Raster lineal por capas y por cuadrantes

Se mantendrá, siempre, el mismo sentido de giro de la herramienta respecto al sentido de la velocidad de avance; éste es material a la derecha de la herramienta, igual que en el caso de la cavidad.

Se divide la pieza en cuatro cuadrantes creados; a partir de ahí, se mecanizan de modo individual para controlar, en todo momento, la cantidad de material que está arrancando de la herramienta y, así, evitar las zonas más conflictivas a lo largo de todo el mecanizado, como son los rincones, en los cuales la herramienta mecaniza con un tanto por ciento de su diámetro demasiado elevado para la velocidad de corte programada.

- Herramienta: $\varnothing 12$ tórica r 1 6 labios (HM + TiAlN)

- A_p : 5 mm
 - V_c : 180 m/min
 - $A_e = 0.3$ mm
 - F : 2500 mm/min
 - Sobreespesor: 0.5 mm
- (Figura 15)

2 – Semiacabado: offsets en 3D

- Herramienta: $\phi 12$ tórica r 1
6 labios (HM + TiAlN)
- A_p : 5 mm
- V_c : 180 m/min
- $A_e = 0.3$ mm
- f : 2500 mm/min
- Sobreespesor: 0.2 mm

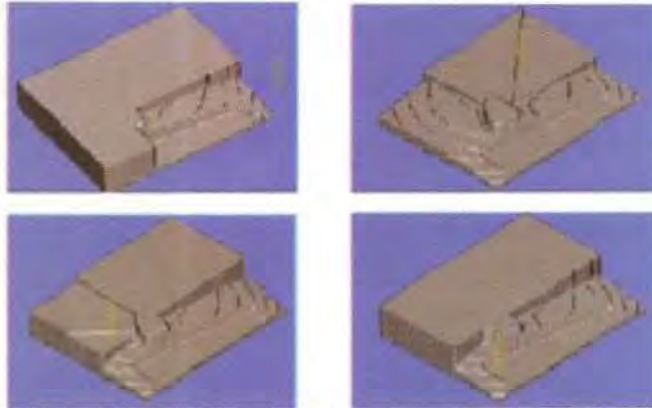


Figura 15. Muestra de las cuatro etapas en las que se ha dividido la fase de desbaste

La estrategia diseñada para realizar el semidesbaste es un mecanizado por "offsets" desde el exterior hacia el centro de la pieza. Con esta estrategia, se eliminan los movimientos en vacío, que son los que originan el bajo rendimiento en el mecanizado de una pieza (Figura 16).

3- Acabado: Copiado por raster

La fase de acabado de toda la superficie de la pieza se realiza con una herramienta esférica de diámetro 12, practicando una pasada lateral de 0.15 mm. El acabado de los rincones se perfecciona con una herramienta esférica de diámetro 6, y el perfilado de las aristas, con una tórica de diámetro 8 y radio de punta de 0.5 mm.

- Herramienta: $\phi 12$ esférica
2 labios (HM + TiAlN)
 - V_c : 250 m/min
 - $A_e = 0.15$ mm
 - f : 1800 mm/min
- (Figura 17)

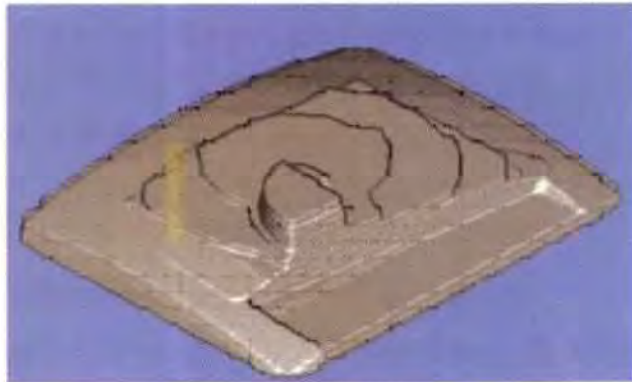


Figura 16. Fase de semiacabado. Los offsets se realizan del exterior hacia el interior



Figura 17. Pieza terminada en la mordaza de la máquina

BIBLIOGRAFÍA

Memorias VI Seminario Internacional
"Soluciones Automatizadas para
Empresas Industriales."

Santiago de Cali- Colombia, Octubre
21 al 25 de 2002

