

Trabajo Fin de Grado

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Autor

Christian Gracia Langa

Director/es

Emilio Royo Vázquez

Jesús Casanova Agustín

Escuela Ingeniería y Arquitectura

Grado Ingeniería Mecánica

2017



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dña. Christian Gracia Langa

con nº de DNI 72997005-L en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Junio de 2017

Fdo: Christian Gracia Langa

Resumen

En el presente Trabajo de Fin de Grado se ha buscado analizar mediante un programa de CAM, llamado NX las estrategias más adecuadas para el mecanizado de matrices de estampación.

En primer lugar se ha buscado aplicar a una pieza experimental la influencia de los parámetros de corte en las diferentes variables propuestas.

En esta pieza se han analizado diferentes factores, como la variación de la altura de cresta en el acabado, el coste del tiempo de mecanizado, la rugosidad de los acabados y el sentido ascendente o descendente del mecanizado.

En esta parte del Trabajo se ha logrado explicar que a menor altura de cresta acabado en su superficie es mejor, también que el tiempo de mecanizado a menor altura de cresta aumenta y para finalizar que para ver una variación en el corte según el sentido hay que modificar el patrón de corte del acabado, a uno que siempre vaya en la misma dirección.

Para la pieza industrial propuesta se ha analizado el acabado de las piezas según diferentes estrategias de mecanizado.

Para esta pieza una parte de la pieza ha mostrado que las ranuras según si se hacen en una operación con el resto de cavidad deja unos acabados peores a los que aparecen en los que se hace una operación de mecanizado para la ranura.

Para la otra parte en la que se han realizado 5 opciones diferentes para encontrar el acabado más adecuado para esta pieza.

Se ha explicado que haciendo las operaciones sin diferenciar la pendiente de las cavidades el acabado es bueno pero deja un grosor de pieza mayor, sin embargo cuando se realiza una operación según el Angulo de la pendiente de la cavidad, el grosor de la pieza es mejor por lo tanto hay acabados mejores.

ÍNDICE

Resumen.....	2
1.Introducción	6
1.1 Objetivos	6
1.2 Metodología	6
1.3 Contenidos	6
2. Estado del arte	8
2.1 Fresado.....	8
2.2 Programación de Máquina-Herramienta	9
2.2.1 Programación CNC	9
2.2.2 Etapas en la programación CAM	10
2.2.3 Estrategia de mecanizado según la operación.....	10
2.2.4 Opciones en las diferentes estrategias	12
2.3.5 Aplicación de diferentes estrategias	13
2.2.5 Sistemas CAM.....	13
3. Análisis pieza experimental.....	15
3.1 Características principales para la mecanización de la pieza.....	15
3.2 Estrategias de mecanizado.....	16
3.2.1 Fabricación de las piezas	16
3.3Análisis altura de crestas.....	20
3.4 Tiempos de mecanizado.....	20
3.5 Sentido ascendente y descendente. Diámetro efectivo	21
3.5.1 Sentido ascendente y descendente	21
3.5.2Diámetro efectivo	22
3.5 Rugosidad	23
3.5.1 Pieza 1	24
3.5.2. Pieza 2	24
3.5.3. Pieza 3	24
3.5.4. Pieza 4	25
4. Análisis pieza técnica industrial.....	26
4.1 Características principales para la mecanización de la pieza.....	26

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

4.2 Explicación pieza industrial	27
4.2.1 Estrategias de mecanizado zona con ranura.....	28
4.2.1 Estrategias de mecanizado de la cavidad.....	32
4.3 Análisis acabados.....	34
4.4 Análisis tiempos de mecanizado	35
5. Conclusiones generales	37
6. Bibliografía	39
7. Anexos	40
7.1 Herramientas utilizadas	40
7.1.1 Fresa de plaquitas	40
7.1.2 Fresa torica	40
7.1.3 Fresa de bola	41
7.2 Aluminio	43
7.3 Máquina	44
7.4 Rugosidad	45
7.4.1 Información	45
7.4.2 Experimento rugosimetro	49
7.4.3. Graficas comparativas rugosidad	52
7.5 Artículos de mecanizado	55
7.6 Programas CAM.....	71
7.7 Método contención con pendientes	88
7.8 EDM y HSM en el mecanizado de moldes y matrices	90
7.8.1EDM.....	90
7.8.2Utilización del HSM y EDM en la fabricación de moldes.....	91
7.9 Parámetros de corte utilizados	92
7.10 Conceptos básicos torneado y fresado	94
7.10.1 Parámetros de corte.....	94
7.10.2 Parámetros de maquina	95
7.10.3 Variables de corte	96
7.11 Información sobre el CAD	97
7.11.1 ¿Qué es el CAD?	97
7.11.2 ¿Qué es el CAM?	97
7.11.3 Beneficios de un programa CAD/CAM	97
7.12 Parámetros de corte del fresado	98

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

7.13 Centros de mecanizado.....	104
7.13.1 Centros de mecanizado según husillo principal	104
7.13.2 Centros de mecanizado multieje (4/5 ejes)	104
7.13.3 Centros de mecanizado según estructura.....	105
7.14 Imágenes pieza experimental	107
7.15 Imágenes pieza industrial.....	111

1.Introducción

1.1 Objetivos

El objetivo del siguiente Trabajo de Fin de Grado va a ser analizar la adecuación de las distintas estrategias de mecanizado a los diferentes tipos de superficies que están presentes en las matrices de estampación.

Se validara su idoneidad mediante la aplicación de las diferentes opciones que hay disponibles en un CAM de alto nivel, como en el que a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se va a utilizar, que será el NX CAM, en el que se llevaran dos modelos de piezas, unas llamadas piezas tipo y el otro será un caso técnico industrial.

La validación física de las piezas tiene restricciones dadas las limitaciones de los recursos que se tienen en el taller.

1.2 Metodología

Inicialmente se definirán unas piezas tipo de pequeñas dimensiones, sobre las que se observaran la influencia de los diferentes parámetros de corte, como son la velocidad de corte, avances, pasadas axiales y radiales, tolerancias de cálculo, en las diferentes variables en las que nos hemos centrado en este caso, que van a ser la rugosidad de los acabados, según la cresta que hemos dejado en el acabado y el tiempo de mecanizado.

También estos parámetros se van a usar para implementar las estrategias de mecanizado más adecuadas para la realización de la pieza, tras el análisis de las diferentes opciones propuestas, La opción más convincente será fabricada en el centro de mecanizado del taller de la Universidad, teniendo en cuenta las limitaciones de la maquina.

1.3 Contenidos

Los contenidos plasmados en este Trabajo de Fin de Grado se basan en el análisis de los parámetros de corte, definición de las estrategias de mecanizado para fabricar diferentes modelos de piezas.

Dentro del análisis de las piezas tipo o experimentales se realiza el seguimiento al tiempo de mecanizado de las 4 piezas fabricadas, que varía según las operaciones realizadas, también se realiza un seguimiento de la rugosidad en las piezas, en diferentes zonas de la pieza, variando el ángulo y la posición del ensayo.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Por otra parte en la pieza industrial, llamada Cojín 20% del Meriva, se analizan las diferentes soluciones propuestas según las estrategias de mecanizado seguidas para fabricar la pieza, a su vez se analizara también el tiempo de mecanizado para cada fabricación.

2. Estado del arte

2.1 Fresado

Es un procedimiento consistente en el corte del material con una herramienta rotativa que puede tener uno o varios filos. Dicho corte de material se realiza combinando el giro de la herramienta con el desplazamiento, bien sea de la misma herramienta o de la pieza a trabajar.

Las operaciones de fresado que se pueden realizar:

- Planeado: La aplicación más frecuente de fresado es el planeado que tiene por objetivo conseguir superficies planas. Para el aplanamiento se utilizan generalmente fresas de aplanar de plaquitas intercambiables de metal duro, existiendo una gama muy variada de diámetros de estas fresas y del número de plaquitas que monta cada fresa. Los fabricantes de plaquitas recomiendan como primera opción el uso de plaquitas redondas o con ángulos de 45º como alternativa.

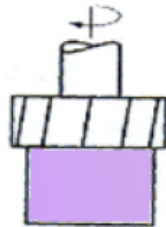


Figura1: Planeado

- Fresado en escuadra: El fresado en escuadra es una variante del planeado que consiste en dejar escalones perpendiculares en la pieza que se mecaniza. Para ello se utilizan plaquitas cuadradas situadas en el portaherramientas de forma adecuada.

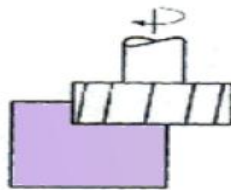


Figura 2: Fresado escuadra

Fresado de perfiles: Es una forma de fresado terminal en la cual se corta una parte plana de la periferia. Utilizado para el mecanizado de troqueles y perfiles.

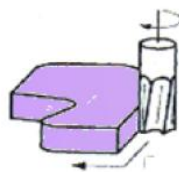


Figura 3: Fresado de perfiles

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Fresado de ranuras: Para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con la anchura de la ranura y a menudo, para aumentar la producción, se montan varias fresas en el eje portafresas permitiendo aumentar la productividad de mecanizado.

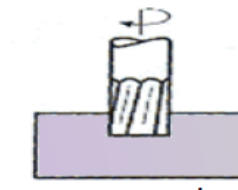


Figura 4: Fresado de ranuras

2.2 Programación de Máquina-Herramienta

2.2.1 Programación CNC

El objetivo de los sistemas de programación de CNC es obtener el programa CNC para M-H , en el que se integran las trayectorias de la herramienta, condiciones tecnológicas, preferiblemente optimizado y verificado.

Existen diferentes tipos de sistemas de programación.

Manual, con el código ISO, con simuladores de fabricantes CNC, con funciones básicas, ciclos de mecanizado y medición y a su vez programación paramétrica.

Conversacional, tiene mayor compatibilidad con MH, pero el uso para geometrías más sencillas, se busca la personalización de pantallas y ciclos, adecuando a la forma de trabajo del taller.

CAD/CAM, requiere un mayor coste de equipos y formación , con problemas de postprocesadores.

- Criterios de uso:

- Mayor complejidad de geometrías.
- Mayor variedad de tipos de M-H y controles CNC en un mismo taller.
- Más desplazamientos simultáneos.
- Mayor numero de programas diarios
- Capacidad de redistribución de cargas de trabajo.
- Mayor análisis en rentabilidad y seguridad

2.2.2 Etapas en la programación CAM

- Geometría pieza
 - Importación CAD nativos; ajuste parámetros formatos neutros.
 - Módulos 2D y 3D para retocar superficies y limpiar agujeros.
 - Importación de modelos sólidos → reconocimiento de características
- Geometría herramientas → compensar respecto al punto de contacto con la superficie
- Configuración del control: Modelo, nº programa, coord. Z cambio herramienta, MCS
- Configuración de la operación:
 - Estrategias y parámetros de mecanizado → secuencia reconfigurable y postprocesable o no;
 - Tipos de trayectorias en vacío y entradas.
- Cálculo de trayectorias (curvas de geometría compleja almacenadas en formato interno independiente de la M-H postprocesar programas.
 - Superficie → Triangularización → trayectoria con una igual secuencia de segmentos rectos
 - Cálculo sobre topología de superficie, programación en NURBS o Splines → menor longitud programa y menor discretización de trayectorias.
- Verificación
 - Verificación del programa CNC (código ISO) → detectar errores de sintaxis
 - Verificación del programa APT (CL-Data) → introducir preforma, utillajes, herramienta.
- Chequeo de colisiones.
- Comparación con CAD.

2.2.3 Estrategia de mecanizado según la operación.

- Desbaste: mayor caudal de viruta, con herramientas de mayor diámetro, mayor numero de pasadas mayor avance y menor número de rpm, el sobre espesor que queda en las piezas tras el desbaste queda entre 0.1 y 2 mm según el material y tamaño de la pieza, tiene una tolerancia entre 0.05 y 0.005.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Semiacabado: el objetivo es dejar creces uniformes con una tolerancia de 0.02 a 0.002, se utiliza la misma trayectoria que en el acabado.
- Acabado: Tiene diferentes objetivos con tolerancia entre 0.005 y 0.0005, es recomendable reducir el número de herramientas para evitar escalones por dilataciones térmicas del cabezal, se controla el desgaste de la herramienta.
- Bitangencias: se utilizan para evitar cargas de viruta excesiva en otras operaciones, logran redondeos interiores.
- Seguimiento de curvas de superficie: grabado de textos, acabados en bordes.

2.2.3.1 Estrategias de desbaste:

Capas Z: Optimización de capas Z según paredes de pieza, diámetro y tipo de herramienta.

El desbaste es no dejar grandes restos de material, con mecanizado de restos, bitangencias.

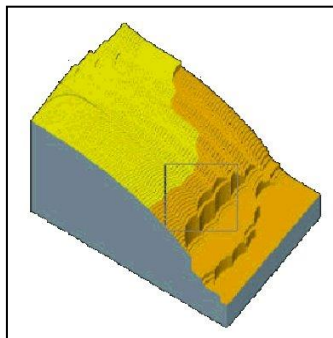


Figura 5: Capas Z

2.2.3.2 Estrategias de acabado:

Contorneado, niveles Z, con ajuste de pasadas en Z, constantes o variables.

Copiado 3D, raster o scanning, con proyección en Z de trayectorias establecidas en un plano XY según distintas estrategias; espiral, radial, uni-bidireccional, siguiendo contornos abiertos o cerrados.

Perfilado 3D, como isóclinas de superficie; tiene mayor sincronización de ejes M-H, mayor tiempo de cálculo, mejores acabados, de offset.

Para superficies verticales se utiliza el contorneado

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Para superficies suaves se utiliza el copiado

Para superficies complejas se utiliza el perfilado.

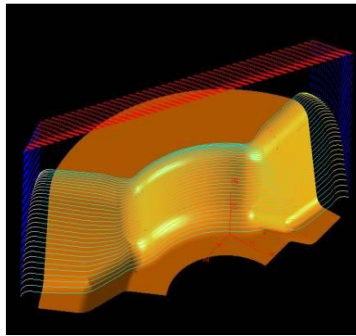


Figura 6; Copiado

2.2.4 Opciones en las diferentes estrategias

Herramientas, toroidales o esféricas, según número de ejes, refrigerante, ajuste de velocidades, relación de empuje, tipo de operación.

Orientar pieza para interpolar solo dos ejes contra copiado a 45° para poder reducir errores de seguimiento en la M-H.

Tipos de trayectorias según la carga de viruta.

Ajuste de trayectorias para dejar una cresta uniforme, se debe mantener la profundidad de pasada.

Fresado en concordancia o en oposición, según material y la M-H, se hace seguimiento en una dirección que supone más salidas y entradas del material.

Estrategias en cajas.

Transiciones suaves entre trayectorias, sobre todo en HSM:

- Entradas y salidas del material son suaves.
- Entre planos Z y cambios de trayectoria en un plano.
- Ajuste de puntos de trayectoria, para evitar caída del avance.

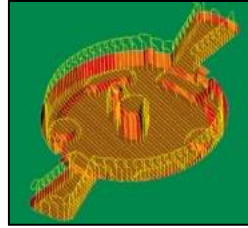


Figura 7: Diferentes estrategias

2.3.5 Aplicación de diferentes estrategias

Aplicación a zonas concretas de forma fácil:

- Selección de superficies de mecanizado y de chequeo.
- Selección sin procesar superficie, hacer mecanizado de restos dejados por herramientas de mayor diámetro o geometría, según la pendiente, se puede limitar geometría y cotas Z, se intentan evitar GAPS y pequeñas cajas.

2.2.5 Sistemas CAM

Aumento posibles aplicaciones: diversidad de prestaciones y costes

- Según proceso: chapa (corte 2D/3D, plegado), mecanizado (torneado, fresado 2 ½ D, fresado 3 a 5 ejes, W-EDM), inspección de piezas, robots y CFF, planificación montaje.
- Según sector: aeronáutico (5 ejes), moldes y matrices (soluciones verticales, funcionalidad 3 ejes y 3+2, solucionar gauges, estrategias HSM, control de trayectorias, rest milling), automoción (Multitarea (MTM)), madera, joyería.

Tendencias

- Estrategias HSM (transiciones de trayectorias, desbastes (plungee, trocoidal, ajuste de niveles Z), acabados, bitangencias) con mejoras en controles CNC (disminución del tiempo de procesamiento de bloque (1ms, depende de la capacidad de aceleración), menor tiempo de ciclo del servo (100µs), aumento de la capacidad almacenamiento y ethernet, interpolación NURBS, look-ahead (100-1000 bloques).
- Mecanizado de restos, mecanizado por zonas (contorneado en superficies muy verticales; copiado en superficies suaves).

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Mecanizado de sólidos, con AFR (reconocimiento automático de características) y KBM (mecanizado basado en el conocimiento) con bases de datos tecnológicas
- Mecanizado multitarea
- Verificación y Simulación integrando cinemáticas de M-H

Mercado

- Muy fragmentado, muy competitivo, pero con estabilidad de precios.
- Integrados: UGS/PLM Solutions (NX, Ideas), IBM/Dassault Systems (Catia); PTC (ProE)
- Específicos:
 - Delcam (PowerShape, PowerMill...); Tebis; Vero (Visi*)
 - Hitachi Zosen; OpenMind (HyperMill); CNC Software (MasterCAM); Cimatron; Missler (TopSolid); Pathtrace (EdgeCAM)
 - Teksoft (ProCAM); Surfware (SurfCAM); GibbsCAM

Algunos de los programas de CAM aquí propuestos se explican en el Anexo 7.6.

3. Análisis pieza experimental

El primer análisis que se va a realizar va a ser sobre la pieza experimental o pieza tipo, en la que se van a analizar los siguientes aspectos.

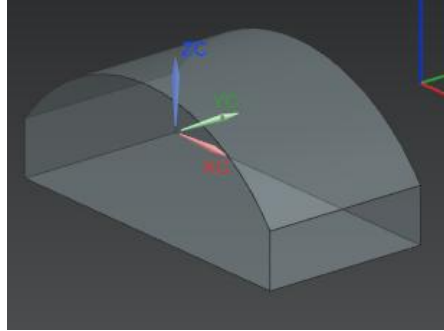


Figura 8: Pieza experimental

En primer lugar se hará una explicación sobre las piezas fabricadas y se realizará el análisis sobre los acabados en cresta que se han realizado en las piezas fabricadas.

En segundo lugar se va a llevar a cabo un análisis de la variación de los tiempos de mecanizado, con las diferentes operaciones y estrategias realizadas.

En tercer lugar se observará en una de las piezas mecanizadas las diferencias en el acabado al tener un sentido ascendente o descendente y veremos el cálculo del diámetro efectivo a diferentes ángulos.

Como último tema a tratar dentro del análisis de este modelo de pieza, se aportarán las medidas obtenidas y su análisis sobre un ensayo realizado con un rugosímetro.

Las piezas a fabricar previamente han sido escuadradas por los técnicos del taller de mecanizado de la EINA, que han dejado unos tochos de 60x27x30mm.

Las piezas fabricadas se van a realizar en aluminio, se ha elegido ese material, debido a su coste, sus propiedades y que las herramientas tengan mayor duración.

Las propiedades del aluminio se adjuntan en el anexo 7.1.

3.1 Características principales para la mecanización de la pieza

En esta pieza las herramientas utilizadas serán las incluidas junto a sus características en el anexo 7.1.

- Fresa de plaquitas de diámetro 25mm.
- Fresa torica de diámetro 6 mm con radio inferior de 1 mm.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Fresa de bola diámetro 6.

De nuevo el material utilizado será el aluminio en el que sus características se indican en el anexo 7.2.

A lo largo de toda la pieza las demasías utilizadas han sido las siguientes:

- Desbaste: 1mm
- Semiacabado: 0.5 mm
- Acabado: 0mm

Como se ha realizado en el análisis de la pieza tipo los parámetros de corte se han mantenido constantes para la mecanización de las piezas y poder entrar a valorar otras variables.

Los parámetros de corte utilizados para cada una de las operaciones y fases del mecanizado quedan mostrados en el anexo 7.9.

El centro de mecanizado utilizado para el mecanizado es una KONDIA B-500 en la que sus especificaciones técnicas se explican en el anexo 7.3.

3.2 Estrategias de mecanizado

En este apartado se van a explicar las diferentes operaciones realizadas hasta conseguir el acabado final de la pieza.

Se van a adjuntar imágenes obtenidas del programa de CAM e imágenes de tomadas de las piezas fabricadas.

3.2.1 Fabricación de las piezas

Desbaste pieza 1

- Para el desbaste de estas piezas se va a utilizar la fresa de 25 mm.
- La demasía propuesta para el desbaste es de 1mm.
- Operación: fresado de cavidades.
- Patrón de corte: Raster
- Profundidad de pasada: 1mm.
- Pasada: 25% diámetro herramienta.

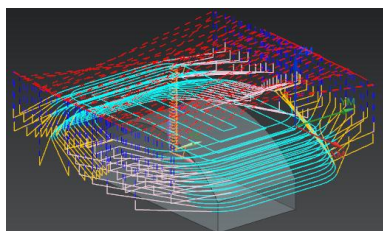


Figura 9: Trayectorias desbaste pieza 1

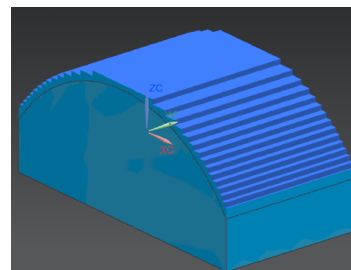


Figura 10: CAD desbaste pieza 1

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Semi acabado pieza 1

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el semi acabado es de 0.5mm.
- Operación: perfil nivel Z(topográfico).
- Profundidad de pasada 1.5 mm.
- Orden de corte: primero la profundidad.

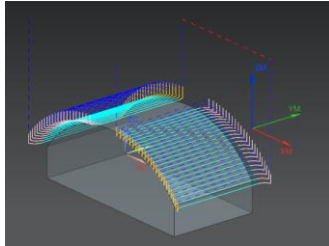


Figura 11: Trayectorias semi acabado pieza 1

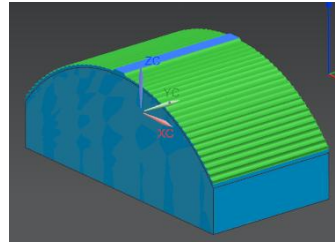


Figura 12: CAD semi acabado pieza 1

Acabado pieza 1

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.
- Patrón de corte: Zig-Zag
- Altura de cresa: 0.05mm.
-

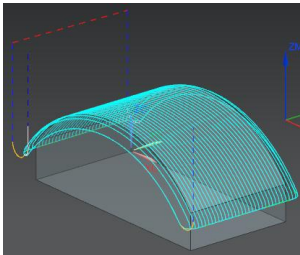


Figura 13: Trayectorias acabado pieza 1

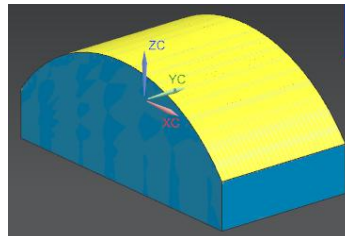


Figura 14: CAD acabado pieza 1

Desbaste pieza 2

- Para el desbaste de estas piezas se va a utilizar las fresa de 25 mm.
- La demasía propuesta para el desbaste es de 1mm.
- Operación: fresado de cavidades.
- Patrón de corte: Seguir el perfil
- Profundidad de pasada: 1mm.
- Orden de corte: Niveles

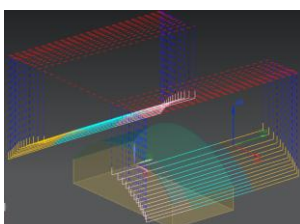


Figura 15: Trayectorias desbaste pieza 2

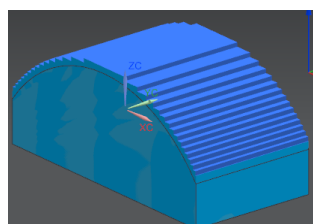


Figura 16: CAD desbaste pieza 2

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Semi acabado pieza 2

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el semi acabado es de 0.5mm.
- Operación: perfil nivel Z(topográfico).
- Profundidad de pasada 1 mm.
- Orden de corte: Primer nivel
- Transferencia entre regiones: Z inferior

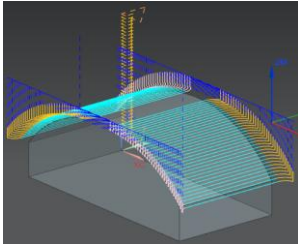


Figura 17: Trayectorias semi acabado pieza 2

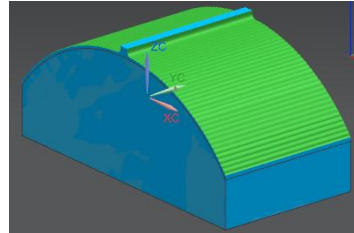


Figura 18: CAD semi acabado pieza 2

Acabado pieza 2

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.
- Patrón de corte: Zig-Zag
- Altura de cresa: 0.001mm.

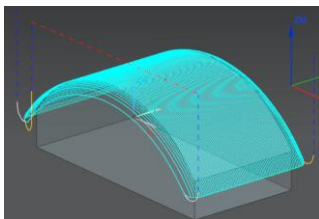


Figura 19: Trayectorias acabado pieza 2

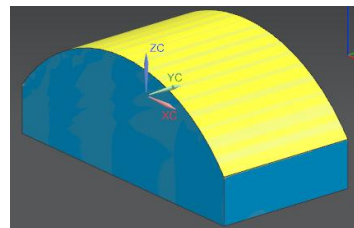


Figura 20: CAD acabado pieza 2

Desbaste pieza 3

- Igual que en la pieza 2

Semi acabado pieza 3

- Igual pieza 2

Acabado pieza 3

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Patrón de corte: Zig-Zag
- Altura de cresa: 0.005mm.

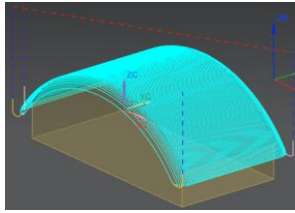


Figura 21: Trayectorias acabado pieza 3

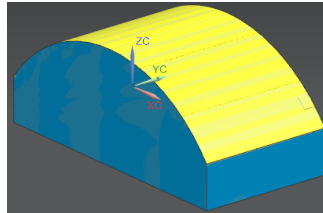


Figura 22: CAD acabado pieza 3

Desbaste pieza 4

- Igual pieza 2

Semi acabado pieza 4

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el semi acabado es de 0.5mm.
- Operación 1: Mecanizado de restos
- Patrón de corte: Zig-Zag a 90°
- Profundidad de pasada 0.5 mm.
- Pasada: 40% diámetro herramienta
- Orden de corte: Profundidad
- Operación 2: Mecanizado área de contorno
- Altura de cresta: 0.5

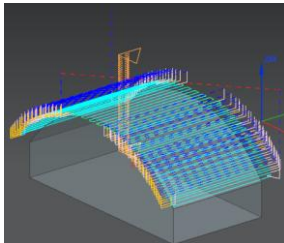


Figura 23: Trayectorias semi acabado pieza 4

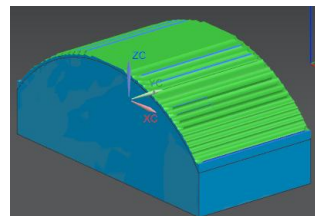


Figura 24: CAD semi acabado pieza 4

Acabado pieza 3

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.
- Patrón de corte: Zig
- Altura de cresa: 0.005mm

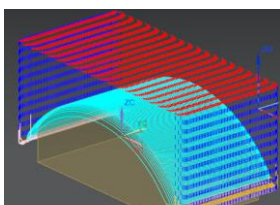


Figura 25: Trayectorias acabado pieza 4

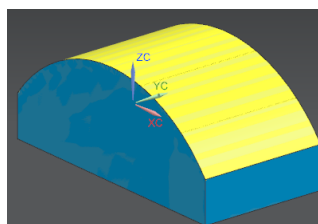


Figura 26: CAD acabado pieza 4

3.3 Análisis altura de crestas

En este apartado se va a analizar el acabado de las piezas en las que se ha realizado la variación en la altura de las crestas.

Las imágenes por las cuales se van a sacar las conclusiones al respecto de la altura de cresta se adjuntan en el anexo 7.14

Como conclusión se ha llegado que conforme se reduce la altura de cresta mejor acabado tiene la pieza.

Las imágenes con menor altura de cresta se muestra en las imágenes que tienen un menor grosor.

Se ha visto en la mecanización de la pieza que aparecen facetas en la superficie de menor altura de cresta. La conclusión posible es la situación de la herramienta o en su defecto que el semiacabado no era lo suficientemente adecuado como para que no aparezcan estas facetas.

A continuación se van a adjuntar imágenes de las piezas fabricadas y del grosor del material en el CAD, ajustado entre valores.

EN el CAD se han ajustado los valores entre 0.05 y -0.05 para ver las variaciones que se dan entre las tres piezas.

3.4 Tiempos de mecanizado

Otra de las variables elegidas para analizar van a ser los tiempos de mecanizado.

En el caso de la mecanización de las piezas propuestas se inicio el tiempo con un cronometro desde que se puso en marcha la primera operación de la pieza y se finalizo al acabar de mecanizarse la pieza.

Se adjunta una tabla con los tiempos de mecanizado de las 3 piezas de análisis fabricadas:

Tiempos de mecanizado	Pieza 1	Pieza 2	Pieza 3
Desbaste	9 minutos	3 minutos	3 minutos
Semiabado	9 minutos	9 minutos	9 minutos
Acabado	6 minutos	9 minutos	12 minutos

Tabla 1: Tiempos de mecanizado pieza experimental

Desbaste: Como se ve en el desbaste de las dos primeras piezas, según el patrón de corte utilizado se produce variación del tiempo.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Como vemos entre las imágenes las trayectorias de la pieza numero 1 provocan un aumento en el tiempo de mecanizado, ya que los parámetros de corte son iguales para las tres piezas.

Semiacabado: En el semiacabado el tiempo de mecanizado es igual para las 2 piezas que se fabrican con diferente estrategia.

La conclusión a la que se ha llegado ha sido que pese a que la profundidad de pasada sea mayor en la primera pieza, el que en la segunda se haya cambiado la transferencia en vacío provoca una igualdad en el tiempo de mecanizado.

Acabado: En el caso del acabado la variación del tiempo de mecanizado viene provocado en el cambio de la altura de las crestas del mecanizado.

Como conclusión se llega que a menor altura de cresta, por lo tanto mejor acabado, entonces el tiempo de mecanizado aumenta, ya que realiza un mayor número de pasadas para realizar la cresta.

3.5 Sentido ascendente y descendente. Diámetro efectivo

3.5.1 Sentido ascendente y descendente

En este apartado se va analizar la pieza numero 4 de las fabricadas.

La imagen de la pieza en CAD y mecanizada se encuentra adjunta en el anexo 7.14

En primer lugar se muestra el grosor de la pieza en el CAM y luego se mostrara la pieza mecanizada.

Ya que se ha modificado el patrón de corte en esta pieza se podrá ver la influencia que se produce al realizar las pasadas en una sola dirección, en la que puede variar el grosor y también se modificara el diámetro efectivo de corte de la herramienta.

En primer lugar viendo la pieza fabricada numero 3 y 4 vemos diferencia en su acabado siendo que la altura de cresta es igual.

Se ve que el acabado de la pieza 3 es peor debido a que el patrón Zig-Zag perjudica en este caso respecto al patrón en Zig, que deja un acabado mejor.

También se ve que el tiempo de mecanizado a misma altura de cresta es mayor cuando hacemos el Zig, debido a las trayectorias que cuando se realiza el Zig-Zag.

Ahora viendo la imagen en CAD se ve que el sentido de la mecanización es de derecha a izquierda, realizando el corte en contra, es decir la parte derecha de la pieza tiene un sentido ascendente y el izquierdo descendente.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

En el ascenso la pieza al principio la herramienta corta mas, luego se mantiene, bastante constante y reduce su corte de material hasta el centro de la pieza, en el inicio del descenso es un mecanizado constante, luego según zonas de corte aumenta el corte de material.

Como conclusión en la zona de mayor pendiente en ascenso la herramienta corta mas, en zonas intermedias el corte es constante y luego en el descenso aumenta un poco el corte sin llegar al límite ascendente.

3.5.2 Diámetro efectivo

Se va a realizar el análisis de nuevo sobre la pieza 4, cuya imagen esta en el anexo 7.14.

Se va a proceder a calcular el diámetro de corte efectivo en el acabado de la pieza.

Realizando las operaciones necesarias para el cálculo se obtendrán los resultados y se podrá ver lo que corta la herramienta a los ángulos requeridos

Se han tomado ángulos a 30° , 0° y -30° .

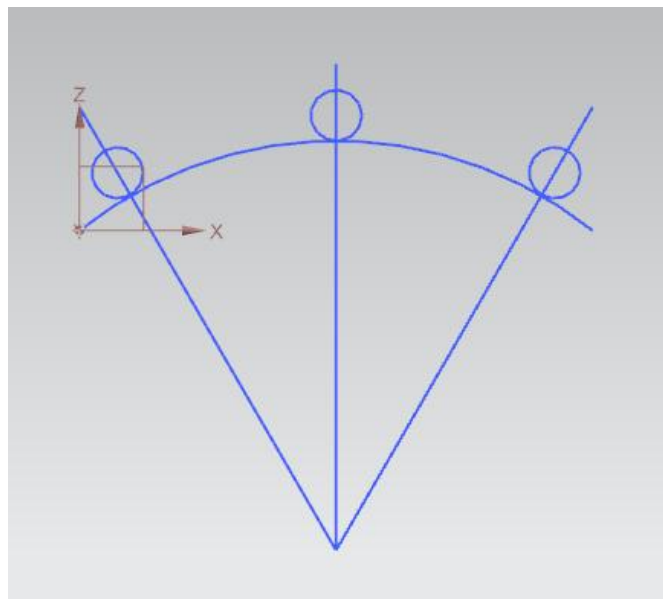


Figura 26: Diámetro efectivo

Los datos requeridos serán los siguientes:

$a_p = 0.005$ mm

diámetro= 6 mm

angulo1= 0

angulo2= 30°

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

angulo3=-30°

Las operaciones necesarias para el cálculo del diámetro de corte efectivo serán las siguientes:

$$\beta = 0$$

$$deef = 2\sqrt{d \times ap - ap^2} \quad [1]$$

$$\beta = 30$$

[2]

$$deef = d \times \sin[\beta + \cos^{-1}(\frac{d - 2ap}{d})]$$

$$\beta = -30$$

[3]

$$deef = d \times \sin[\cos^{-1}(\frac{d - 2ap}{d}) - \beta]$$

Tras la resolución de las operaciones con los datos presentados, los resultados del diámetro efectivo de corte son los siguientes:

Ángulo	Diámetro efectivo
0	0,34 mm
30 °	3,29 mm
(-)30 °	2,69 mm

Tabla 2:Diámetro efectivo

Como conclusión del diámetro efectivo de corte, se llega que en el sentido ascendente del mecanizado la herramienta come mas material. En el punto más alto de la pieza la herramienta come menos y en el sentido descendente disminuye un poco respecto al sentido ascendente.

3.5 Rugosidad

El experimento se ha realizado sobre 4 piezas, en las que tres de ellas lo único que ha variado ha sido la medida de la cresta en el acabado final, en la última aparte se ha modificado la estrategia de acabado.

En este experimento los valores que hemos obtenido del rugosímetro han sido el Ra y Rz, de los cuales habrá una explicación de dichos conceptos en el anexo 7.4.

Las imágenes de las piezas mecanizadas de las piezas se encuentran en el anexo 7.14.

En el anexo 7.4.3 se adjuntan a su vez la gráficas comparativas de los diferentes ángulos y posiciones donde se han realizado las mediciones.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

3.5.1 Pieza 1

La primera pieza tiene un acabado en zigzag con una cresta de 0.05 mm.

Como vemos esta pieza tiene un paso de cresta grande.

Se adjuntan las tablas con los resultados obtenidos.

	PIEZA 1	LUGAR 1	LUGAR 2	LUGAR 3
Ra	ANGULO 0º	1,83	0,73	0,75
	ANGULO 40º	0,32	1,30	0,62
	ANGULO -40º	0,34	0,26	1,17
Rz	ANGULO 0º	7,86	3,72	2,41
	ANGULO 40º	1,40	6,60	2,99
	ANGULO -40º	1,11	1,41	4,84

Tabla 3:Rugosidad pieza 1

3.5.2. Pieza 2

La segunda pieza tiene un acabado en zigzag con una cresta de 0.01 mm.

Como vemos esta pieza tiene un paso de cresta intermedio.

Se adjuntan las tablas con los resultados obtenidos.

	PIEZA 1	LUGAR 1	LUGAR 2	LUGAR 3
Ra	ANGULO 0º	0,67	0,69	0,90
	ANGULO 40º	0,29	0,53	0,56
	ANGULO -40º	0,30	0,33	0,28
Rz	ANGULO 0º	4,49	3,34	4,23
	ANGULO 40º	0,91	3,82	3,80
	ANGULO -40º	0,42	1,23	0,36

Tabla 4:Rugosidad pieza 2

3.5.3. Pieza 3

La tercera pieza tiene un acabado en zigzag con una cresta de 0.005 mm.

Como vemos esta pieza tiene un paso de cresta pequeño, por lo que tiene el mejor acabado según esta estrategia.

Se adjuntan las tablas con los resultados obtenidos.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

	PIEZA 1	LUGAR 1	LUGAR 2	LUGAR 3
Ra	ANGULO 0º	0,84	0,45	0,64
	ANGULO 40º	0,32	0,44	0,38
	ANGULO -40º	0,81	0,78	0,73
Rz	ANGULO 0º	3,41	4,21	3,69
	ANGULO 40º	0,97	1,64	1,77
	ANGULO -40º	3,97	3,70	4,07

Tabla 5:Rugosidad pieza 3

3.5.4. Pieza 4

La cuarta pieza tiene un acabado en Zig con una cresta de 0.005 mm.

En esta pieza además de modificar la altura de cresta se ha modificado también la estrategia utilizada para el acabado.

La estrategia utilizada es el Zig, en el que vemos que la única dirección de la pasada, deja un acabado mejor a la pieza, ya que se puede valorar junto a la pieza número tres en el que la altura de la cresta utilizada es la misma.

Se adjuntan las tablas con los resultados obtenidos.

	PIEZA 1	LUGAR 1	LUGAR 2	LUGAR 3
Ra	ANGULO 0º	0,75	0,53	0,43
	ANGULO 40º	0,45	0,47	0,39
	ANGULO -40º	0,57	0,68	0,53
Rz	ANGULO 0º	3,11	2,72	2,19
	ANGULO 40º	1,99	1,83	2,07
	ANGULO -40º	3,29	3,59	3,46

Tabla 6:Rugosidad pieza 4

Respecto al ensayo de rugosidad pese a la gran dispersión que hay entre los resultados obtenidos, se puede ver que según el Rz se ve que en el centro de la pieza sin girar la mordaza la rugosidad va disminuyendo conforme se reduce la altura de cresta, al igual que sucede a 40º, sin embargo y debido a la dispersión mostrada en los resultados a -40º no se puede sacar una conclusión exacta al respecto de este ensayo.

Respecto a la variación en el patrón de corte de los acabados se ve que disminuye la rugosidad conforme mejor acabado hay en la pieza mecanizada.

4. Análisis pieza técnica industrial

En este apartado se va a analizar la pieza industrial, que es una matriz de estampación llamada Cojín 20% del Meriva.

Se va a mostrar la influencia de las diferentes estrategias de mecanizado propuestas, eligiendo las estrategias más adecuadas para fabricarlas en el taller y poder mostrar diferencias entre ellas.

Con el CAD realizado de esta pieza y posteriormente con su fabricación se van a analizar las influencias del desbaste, semiacabado y acabado.

La pieza a mecanizar es la siguiente:

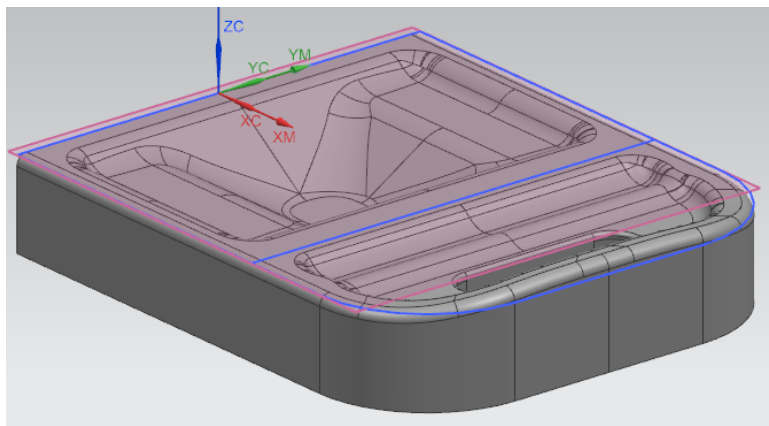


Figura 27: Pieza industrial

La pieza se ha separado en dos partes:

- La parte izquierda de la pieza, con forma de cavidad en la que se incluyen pisos, en la que se van a dar una gran variedad de estrategias para llevar a cabo su mecanizado y poder ver las variaciones entre ellas.
- La parte derecha de la pieza en la que se valoraran las opciones más adecuadas de mecanización. En esta parte de la pieza se encuentra un resalte en la parte final de la pieza, también hay una ranura que se analizara posteriormente.

4.1 Características principales para la mecanización de la pieza

En esta pieza las herramientas utilizadas serán las incluidas junto a sus características en el anexo 7.1.

- Fresa de plaquitas de diámetro 25mm.
- Fresa torica de diámetro 6 mm con radio inferior de 1 mm.
- Fresa de bola diámetro 6.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

De nuevo el material utilizado será el aluminio en el que sus características se indican en el anexo 7.2.

A lo largo de toda la pieza las demasías utilizadas han sido las siguientes:

- Desbaste: 1mm
- Semiacabado: 0.5 mm
- Acabado: 0mm

Como se ha realizado en el análisis de la pieza tipo los parámetros de corte se han mantenido constantes para la mecanización de las piezas y poder entrar a valorar otras variables.

Los parámetros de corte utilizados para cada una de las operaciones y fases del mecanizado quedan mostrados en el anexo 7.9.

Todas las entradas al mecanizado se realizan en forma de clavada para evitar problemas surgidos en la maquina.

El centro de mecanizado utilizado para el mecanizado es una KONDIA B-500 en la que sus especificaciones técnicas se explican en el anexo 7.3.

4.2 Explicación pieza industrial

Como se ha explicado en la introducción de este apartado la pieza se divide en dos partes.

Inicialmente se van a mostrar las estrategias de mecanizado de la parte derecha de la pieza que está definida con un resalte, una cavidad en la que dentro de ella hay una ranura.

El primer paso de realización de este proceso es la realización del mecanizado frontal, que su estrategia es un perfil en Z o Z-level que más adelante se explicara, esta operación se realiza con la fresa de 25mm.

Después para realizar el piso de esta parte de nuevo se ha utilizado la fresa de 25 mm y se ha hecho un fresado de cavidades para aplanar el suelo de la pieza.

Para esta pieza se ha decidido realizar dos modelos modificando la trayectoria de mecanizado sobre la ranura.

En primer lugar se va a realizar el mecanizado de la cavidad y el resalte y después la ranura en otra operación separada.

Después como segunda opción se va a realizar el mecanizado conjunto de cavidad y ranura.

Las estrategias utilizadas para la mecanización de esta parte de la pieza serán las siguientes:

- El desbaste será un fresado de cavidades con la fresa torica de diámetro 6 mm.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- El semiacabado se realizara mediante un mecanizado de restos de nuevo con la fresa torica de diámetro 6mm.
- Para el acabado se ha realizado una operación por área de contorno para la cavidad y un Z-level para la ranura en el primer caso y en el segundo se ha realizado un contour area.

Ahora se va a proceder a mostrar la explicación de los pasos que se han llevado a cabo para conseguir la pieza requerida.

4.2.1 Estrategias de mecanizado zona con ranura

Desbaste frontal

- Para el desbaste de esta zona se va a utilizar las fresa de 25 mm.
- La demasía propuesta para el desbaste es de 1mm.
- Operación: Perfil en Z(topográfico)
- $Z = -13.5\text{mm}$
- Profundidad de pasada: 1.5mm.

Acabado frontal

- Para el acabado de esta zona se va a utilizar las fresa de 25 mm.
- Operación: Perfil en Z(topográfico)
- $Z = -13.5\text{mm}$
- Profundidad de pasada: 0.5mm.

Para este desbaste y acabado se baja hasta $Z = -13.5\text{mm}$ para poder colocar las mordazas y sujetar la pieza.

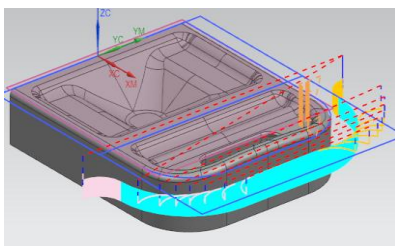


Figura 28: Trayectorias acabado frontal

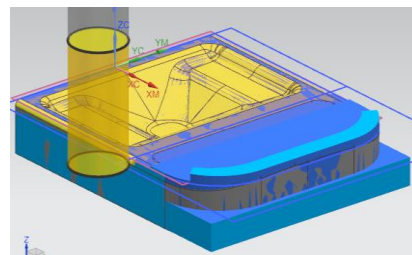


Figura 29: CAD acabado frontal

Desbaste piso

- Para el desbaste de estas piezas se va a utilizar las fresa de 25 mm.
- La demasía propuesta para el desbaste es de 1mm.
- Operación: Fresado de cavidades.
- Patrón de corte: Raster.
- Pasada 50% diámetro herramienta.
- Profundidad de pasada: 3mm.

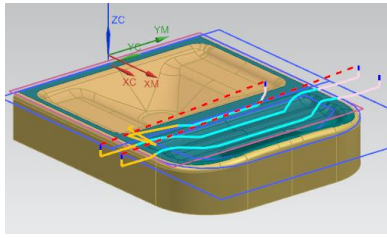


Figura 30: Trayectorias desbaste piso

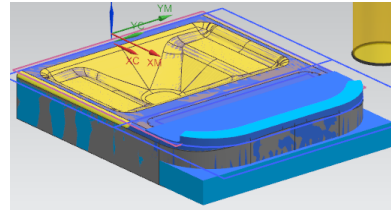


Figura 31: CAD desbaste piso

Desbaste cajera sin ranura y con ranura

- Para el desbaste se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el desbaste 1mm.
- Operación: Fresado de cavidades
- Patrón de corte: Seguir la pieza
- Profundidad de pasada 2 mm.
- Pasada: 50% diámetro herramienta
- Orden de corte: Primer nivel
- Añadir la geometría de la ranura para esta opción.

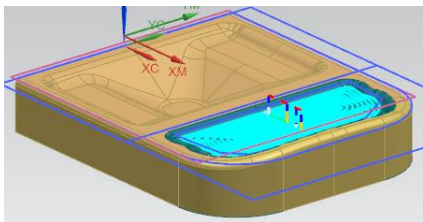


Figura 32: Trayectorias cajera sin ranura

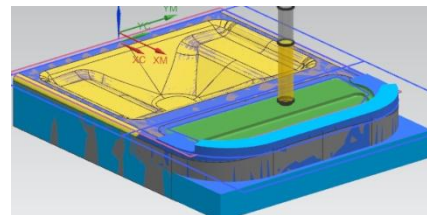


Figura 33: CAD cajera sin ranura

Desbaste ranura

- Para el desbaste de la ranura se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el desbaste 1mm.
- Operación: Fresado de cavidades
- Patrón de corte: Seguir la pieza
- Profundidad de pasada 1 mm.
- Pasada: 50% diámetro herramienta
- Orden de corte: Primer nivel.

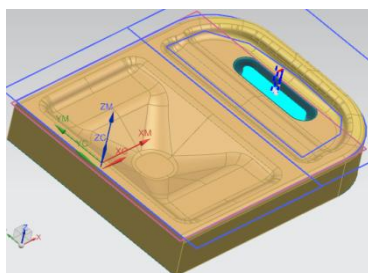


Figura 34: Trayectorias desbaste ranura

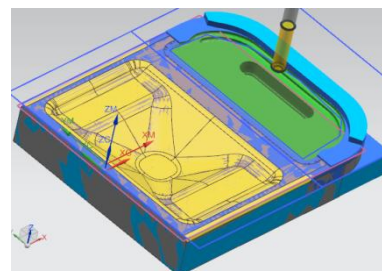


Figura 35: CAD desbaste ranura

Semi acabado resalte

- Para el semi acabado del resalte se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- La demasía propuesta para el desbaste 0.5mm.
- Operación: Mecanizado área de contorno.
- Patrón de corte: Seguir la periferia.
- Altura de cresta 0.1mm.

Se crea un croquis para reducir la zona de mecanizado y disminuir el tiempo de mecanizado.

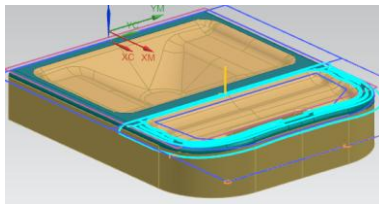


Figura 36: **Trayectorias semi acabado resalte**

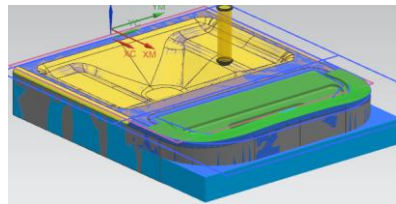


Figura 37: **CAD semi acabado resalte**

Semi acabado cajera sin ranura y con ranura

- Para el semi acabado se ha utilizado la fresa de bola de 6 mm.
- Operación: Mecanizado de restos
- Patrón de corte: Seguir la periferia
- Profundidad de pasada 0.75 mm.
- Pasada: 25% diámetro herramienta.
- Contención pieza en bruto en 3D.
- Para la operación con la ranura añadir a la geometría, más adelante se verán las diferencias

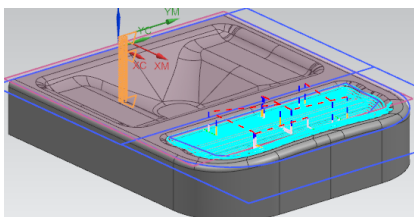


Figura 38: **Trayectorias semi acabado cajera sin ranura**

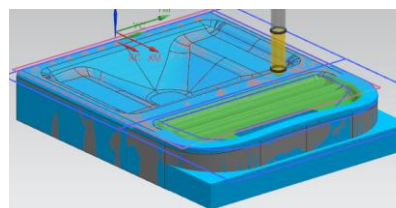


Figura 39: **CAD semi acabado cajera sin ranura**

Acabado resalte

- Para el acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.
- Patrón de corte: Seguir la periferia (Raster)
- Altura de cresa: 0.01mm

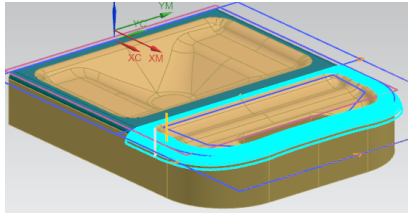


Figura 40: Trayectorias acabado resalte

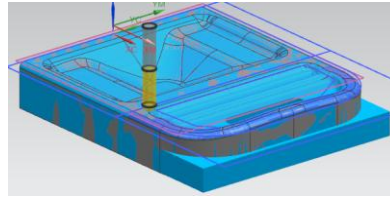


Figura 41: CAD acabado resalte

Acabado cajera sin ranura y con ranura

- Para el acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Mecanizado por área de contorno.
- Patrón de corte: Zig-Zag
- Altura de cresa: 0.01mm.
- Para el acabado con ranura añadir a la geometría la ranura.

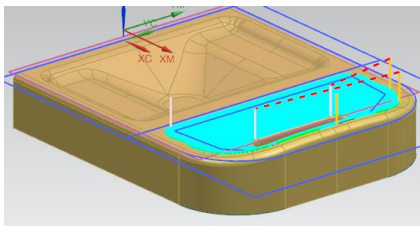


Figura 42: Trayectorias acabado cajera sin ranura

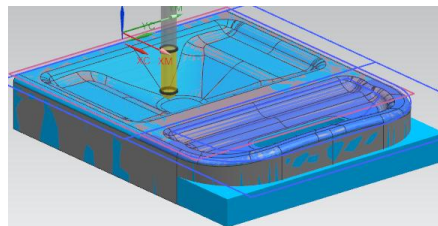


Figura 43: CAD acabado cajera sin ranura

Acabado ranura

- Para el acabado se ha utilizado la fresa de bola de diámetro 6mm.
- Operación: Perfil nivel Z(topográfico).
- Altura de cresta: 0.001mm.

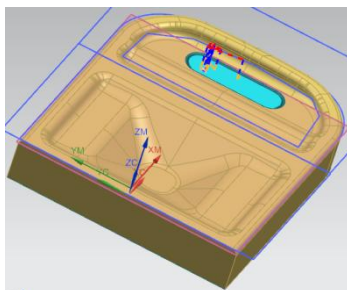


Figura 44: Trayectorias acabado ranura

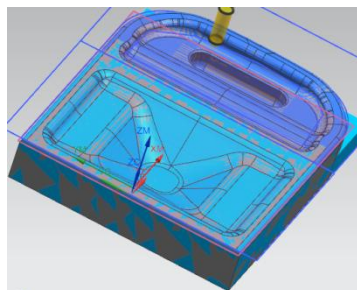


Figura 45: CAD acabado ranura

Hasta ahora se han mostrado las diferentes estrategias de mecanizado de las dos opciones propuestas para esta parte de la pieza

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Tras la mecanización de estas dos propuestas diferentes las conclusiones serán las siguientes:

Tas la mecanización de las piezas y con las imágenes adjuntas se puede concluir que la pieza en la que el mecanizado de la ranura se realiza en operaciones separadas al de la cajera el acabado lateral es mejor pero en el fondo de la ranura aparece un resalte de la pasada de la herramienta.

Sin embargo en el mecanizado conjunto se ve que el suelo de la ranura es totalmente liso pero en los laterales el acabado no es muy fino ya que las trayectorias provocan esta situación.

En el anexo 7.15, las piezas 1 y 2 muestran lo explicado en el párrafo anterior.

Como conclusión según el grosor que queda en la pieza se dice que cuando se realiza una operación aparte de la ranura el acabado es mejor tras la mecanización.

En el anexo 7.15 piezas 3 y 4 se muestra lo explicado en el párrafo anterior..

Tras analizar los tiempos de mecanizado se concluye que son muy similares, con la variación de 1 minuto entre ambas.

Como conclusión general y visto el grosor que queda en la pieza tras la realización el acabado es recomendable realizar un mecanizado por separado en el que la ranura se haga en una operación aparte.

4.2.1 Estrategias de mecanizado de la cavidad

A continuación se va a explicar la segunda parte de la pieza en la que se va a realizar el mecanizado de la cavidad de la parte izquierda.

Se van a mostrar las diferentes estrategias que se han propuesto para la fabricación de esta parte de la pieza.

Después de ello se va a realizar una comparación entre ellas, tanto en similitud de estrategias como general entre las diferentes propuestas.

Planeado cavidad

- Para el planeado del piso de la cavidad se va a utilizar las fresa de 25 mm.
- Operación: Piso.
- Patrón de corte: Zig-Zag.
- Pasada: 75% diámetro herramienta.
- Profundidad de pasada: 2mm.
- Se abre la entrada a la pieza a 15mm.

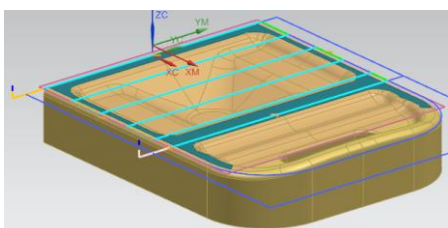


Figura 46: Trayectorias planeado cavidad

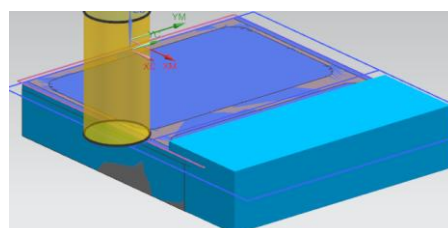


Figura 47: CAD planeado cavidad

Semi acabado cavidad

- Para el semi acabado del resalte se ha utilizado la fresa torica de 6mm y radio 1mm.
- Operación: Fresado de cavidades
- Patrón de corte: Raster y Zig-Zag.
- Pasada: 50% diámetro herramienta.
- Profundidad de pasada: 2mm.

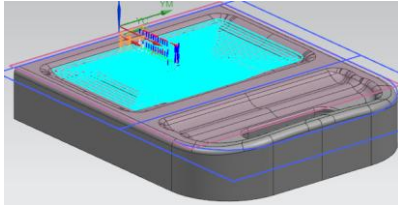


Figura 48: **Trayectorias semi acabado cavidad Raster**

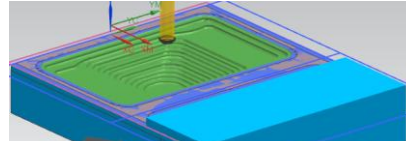


Figura 49: **CAD semi acabado cavidad Raster**

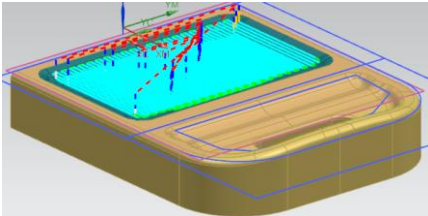


Figura 50: **Trayectorias semi acabado cavidad Zig-Zag**

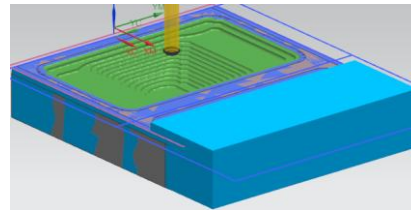


Figura 51: **CAD semi acabado cavidad Zig-Zag**

Redondeo extremos

- Para el redondeo se va a utilizar la fresa de bola de 6mm.
- Operación: Mecanizado área de contorno
- Patrón de corte: Zigzag.
- Altura de cresta: 0.01mm

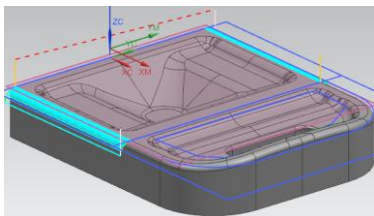


Figura 52: **Trayectorias Redondeos**

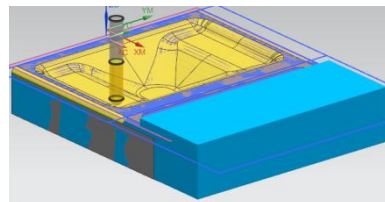


Figura 53: **CAD redondeos**

El siguiente paso va a ser explicar las diferentes estrategias propuestas para el acabado de la cavidad, de las cuales se sacaran las conclusiones oportunas.

En esta parte se van a mostrar los acabados propuestos de donde se podrán sacar las conclusiones del mejor mecanizado en la superficie de la cavidad.

Para todos estas opciones la altura de cresta va a ser de 0.01 mm

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Las imágenes de estas operaciones se encuentran en el anexo 7.15.

El raster y el Zig-Zag muestran unas trayectorias hasta completar el acabado (pieza 6)

Ya que no se tiene el mecanizado del acabado en Zig-Zag, la comparativa entre estas dos estrategias saldrán a partir de los tiempos de mecanizado y el grosor de las piezas.

Las siguientes estrategias propuestas serán las que las zonas planas de la pieza, se mecanizaran a partir de una operación en piso, por contención por pendiente y sin pendiente con un ángulo de 75°.

Para las zonas planas del mecanizado se utiliza la fresa torica de 6mm y para el resto la fresa de bola.

Las operaciones con pendiente varían entre Raster y Zig-Zag pero la zona de piso siempre se mecaniza con el patrón de corte del Raster (piezas 7 y 8)

La explicación de este método esta adjunto en el anexo 7.7.

La última de las opciones propuestas es un mecanizado con perfil Z(topográfico) el cual requiere de dos operaciones, la del Z-Level y el piso.(pieza 9)

La operación de piso se realiza de nuevo con un patrón de corte de Raster.

La profundidad de corte del Z-Level es de 0.46mm.

Hasta aquí se han explicado las diferentes estrategias de mecanizado utilizadas para la fabricación de esta pieza.

Como se ha visto el acabado por área de contorno se ha realizado con cuatro variantes en las que dos son completar y en otras dos se ha realizado la operación piso para las zonas planas de la cavidad.

Tras esto se podrán sacar las conclusiones entre ellas.

Se van a sacar las conclusiones de tiempos de mecanizado, grosor de la pieza y acabados visuales de las piezas fabricadas.

Como última opción se ha explicado el acabado en Z-level que se comparara con los otros acabados.

4.3 Análisis acabados

Los análisis que se van a realizar en este apartado van a ser tanto visuales como con el programa de CAD

En primer lugar se va a hablar de los acabados superficiales en el mecanizado realizando las comparativas requeridas para cada una de las fases

Las imágenes en mecanizadas a excepción del Zig-Zag se encuentran adjuntas en el anexo 7.15.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Como se puede ver el acabado Raster y el acabado Zig-Zag el acabado que queda en el Raster es más fino que el Zig-Zag.

En el raster la zona superior previa al piso el acabado es un poco peor.

Sin embargo en el Zig-Zag pese a ser la misma altura de cresta el acabado es peor y parece que la pasada es mas grande.

El Raster con piso en comparación con el Raster normal se ve que la zona de los pisos es mucho más fina pese a aparecer marca de la herramienta. En caso del mecanizado aparece algo facetada una zona de la pendiente.

En este caso puede ser que los parámetros de corte no sean los más adecuados.

Puede ser debido también a que los escalones del semiacabado provocan estos defectos en el acabado.

La comparación del Raster con piso con el Zig-Zag con piso es igual a la que hay entre los mecanizados continuos, a excepción de la zona de los pisos que no hay comparativa ya que el mecanizado es el mismo.

Respecto al Z-Level se ha llegado a la conclusión que el defecto producido en el acabado respecto al resto de mecanizados puede ser debido a que la profundidad de pasada es muy elevada(0.46mm)

Como última imagen mecanizada se tiene la realizado del semiacabado, el que se ve que en la zona de los pisos la situación es muy buena y que los escalones pueden provocar facetitas en los acabados si la profundidad de pasada es grande.

Vistas las imágenes mecanizadas ahora se va a proceder a ver su similitud según los grosores del CAD.

Estas imágenes están adjuntas en el anexo 7.15.

Se puede ver en esas imágenes que los pisos mecanizados según medidas son perfectos.

También se puede ver que el acabado Z-Level tiene unos mayores grosores de pieza.

Se ve también que el Zig-Zag continuo hay zonas de pendiente que aparece un mayor grosor de pieza.

Para terminar en el semiacabado se ven zonas muy diferenciadas donde los grosores varían desde 1.4mm(azul) a 0.3mm en la zona de piso, que hace referencia a la demasía del semiacabado.

4.4 Análisis tiempos de mecanizado

En este apartado se van a dar las conclusiones acerca del mecanizado de esta pieza.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

El tiempo de mecanizado de las distintas opciones propuestas .

Estrategia	Tiempos de mecanizado
Raster	32 min 22 seg
Zig-Zag	32 min 55 seg
Raster-piso	29min 47 seg
Zig-Zag-piso	30 min 2 seg
Z-level	22 min 45 seg

Tabla7: **Tiempos de mecanizado acabado**

Según se ha podido comprobar manteniendo los mismos parámetros de corte para todas las operaciones se ve la variación que se produce en los diferentes mecanizados con estrategias diferentes.

Como se ve en la tabla anterior la estrategia topográfica demuestra que su tiempo de mecanizado es el menor de los propuestos.

Después se ve que las estrategias a las que se les añade el mecanizado del piso en otra operación son de menor tiempo de mecanizado respecto de los continuos.

En el siguiente apartado se muestran las conclusiones generales del TFG.

5. Conclusiones generales

En primer lugar se van a sacar las conclusiones al respecto de la pieza experimental.

Altura de crestas

Conforme mas se reduce la altura de cresta a iguales parámetros de corte el acabado de las piezas es mejor.

También se ve con las imágenes adjuntas que al reducir la cresta el grosor de las piezas es menor.

Aparecen facetas que pueden venir del exceso de material que tiene que mecanizar la herramienta para dejar el acabado

Tiempos de mecanizado

Las variaciones de tiempo que hay en el desbaste se produce debido a las trayectorias propuestas para la primera pieza aumentan el tiempo de mecanizado.

Para el semiacabado se concluye que la igualdad ente tiempos es debida a que pese al tener mayor profundidad de pasada en la primera pieza, el cambiar la transferencia de mecanizado en la segunda provoca esa igualdad.

En el acabado la variación se produce al cambio en la altura de cresta. A necesidad de mejor acabado mayor será el tiempo de mecanizado.

Como conclusión se llega que a menor altura de cresta, por lo tanto mejor acabado, entonces el tiempo de mecanizado aumenta, ya que realiza un mayor número de pasadas para realizar la cresta.

Sentido ascendente y descendente y diámetro efectivo de la herramienta

En la zona de mayor pendiente en el ascenso la herramienta corta mas, en zonas intermedias el corte es constante y en el descenso aumenta de nuevo sin ser como en el ascenso.

El diámetro efecto muestra que en el ascenso la herramienta come mas material, en el punto más alto come poco material y en el descenso se disminuye respecto al ascenso.

Rugosidad

Las tablas muestran una dispersión la cual no se puede valorar.

Ahora se va a pasar a valorar la pieza industrial .

Acabados

En la zona donde se encuentra la ranura que es la parte a valorar de esta parte de la pieza se ve que cuando se realizan operaciones continuas donde la ranura se mecaniza en una operación se ve que el acabado en el piso de la ranura es bueno pero en los laterales, zonas

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

donde la herramienta sube el acabado es mucho mas rugoso y más pobre que en los casos en los que se realiza una operación aparte con un Z-Level para la ranura, con la única contra que aparece un escalón debido a que al ser un mecanizado en capas Z, en la zona central no llega el diámetro de la herramienta.

Los diferentes acabados muestran que el Z-Level tiene un acabado más desfavorable debido a la profundidad de pasada para esta operación.

El grosos de pieza es mayor que el resto de operaciones.

Después la comparación entre las operaciones que tienen piso y que no lo tienen se basan en que pese a tener la marca de la herramienta tanto el grosor de la pieza como el acabado superficial de la pieza es mejor que las operaciones que se realizan continuas

Entre Raster y Zig-Zag el acabado es mejor en el raster, puede ser debido a las trayectorias que realiza la herramienta para mecanizar, que es más favorable al Raster.

En el Zig-Zag parece que la altura de cresta es mayor que en el Raster pese a ser la misma.

Las facetas que aparecen en el Raster continuo vienen provocadas por un semiacabado con demasiado grosor o que quizá los parámetros de corte no sean todo lo correctos para esta operación.

Tiempos de mecanizado

En la fase donde se realiza la ranura en una o dos operaciones el tiempo de mecanizados exactamente igual para ambas operaciones, cosa que demuestra que en este caso es importante el acabado que queda para elegir el proceso más adecuado.

Como se ve en la tabla de tiempos el mecanizado de menor duración es el topográfico, a su vez como se ha comentado antes su acabado es peor, puede venir provocado por ello, si se redujese la profundidad de corte el acabado sería mejor y se igualaría con el resto de mecanizados.

Las operaciones con piso y continuas por separado tienen unos tiempos de mecanizado similares entre sí, se puede decir que debido a las trayectorias propuestas se puede reducir el tiempo de las operaciones con piso.

Dadas estas conclusiones y vistos los mecanizados se llega a la conclusión que el mecanizado más adecuado para esta pieza es el que tiene un acabado de Raster con piso, pese a las facetas que aparecen.

6. Bibliografía

http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DPMCM01_Contenidos/website_331_parmetros_de_mecanizado.html

<http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/20.pdf>

<http://scialert.net/fulltext/?doi=ajsr.2008.12.21>

<http://esatjournals.net/ijret/2013V02/i09/IJRET20130209044.pdf>

http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/4396/MTG_D.pdf
(CATALOGO SANDVIK)

<http://www.imh.eus/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/introduccion-a-los-procesos-de-fabricacion/conformacion-por-mecanizado/mecanizado-por-arranque-de-viruta/torneado>

<http://www.imh.eus/es/comunicacion/dokumentazio-irekia/manuales/introduccion-a-los-procesos-de-fabricacion/conformacion-por-mecanizado/mecanizado-por-arranque-de-viruta/fresado>

<https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2013/11/operaciones-de-torneado.pdf>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5146/fichero/Documentaci%C3%B3n+adicional%252FF%C3%B3rmulas+y+par%C3%A1metros.pdf>

Artículos mecanizado " Catalogo unizar"

Wikipedia

Libro NX CAM

Archivo PDF manual NX CAM para fabricación.

7. Anexos

7.1 Herramientas utilizadas

Estas herramientas son las disponibles en el taller de EINA, por ello son estas las utilizadas en la fabricación de las piezas.

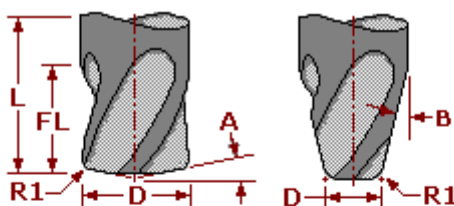
7.1.1 Fresa de plaquitas

La fresa utilizada para el desbaste de la pieza es de diámetro 25 mm con Z2.

Esta fresa ha sido obtenida de la biblioteca del programa NX

VC	fz
600	0,15

Tabla8: Especificaciones Fresa 25mm



Cotas

(D) Diámetro	25.0000
(R1) Radio inferior	0.0000
(B) Ángulo de desmoldeo	0.0000
(A) Ángulo de punta	0.0000
(L) Longitud	45.0000
(FL) Longitud de la acanaladura	25.0000
Acanaladuras	2

Figura 54: Especificaciones Fresa 25mm

7.1.2 Fresa torica

La fresa torica es la utilizada para el semiacabado, tiene un diámetro 6 mm con un radio 1mm y un Z4.

VC	fz	ap	ae
550	0,055	1,5	6

Tabla9: Especificaciones Fresa torica

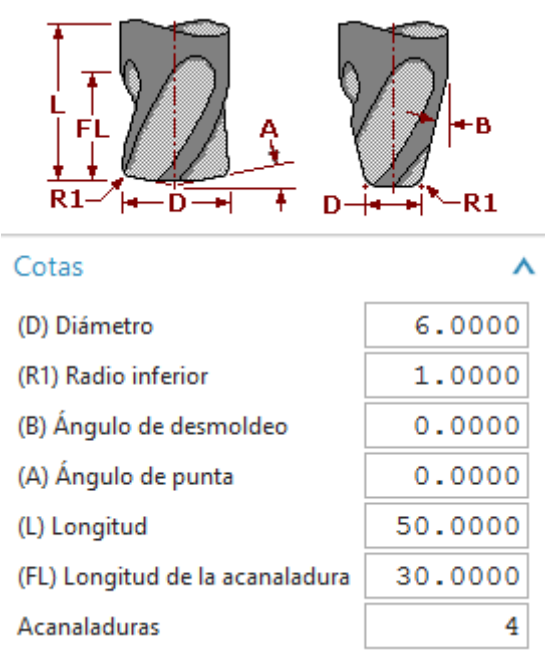


Figura 55: Especificaciones Fresa torica

7.1.3 Fresa de bola

La fresa de bola es la que se utilizara en el acabado que tiene un diámetro 6mm y un Z2.

VC	fz	ap	ae
650	0,09	0,3	0,6

Tabla10: Especificaciones Fresa de bola

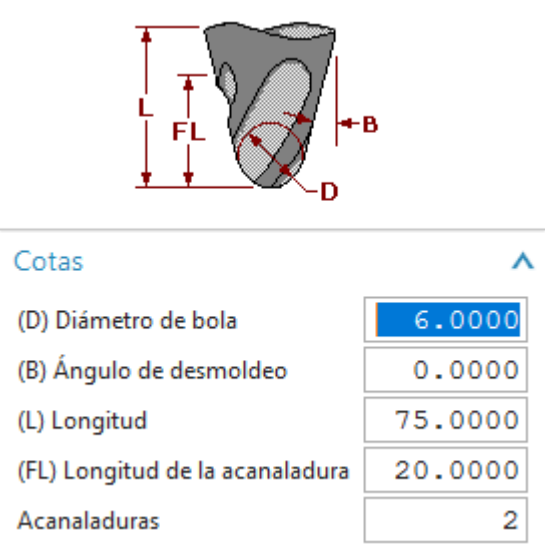


Figura 56: Especificaciones Fresa de bola

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

7.2 Aluminio

El material elegido para la fabricación de las piezas ha sido el aluminio, el cual sus propiedades son las siguientes.

El material utilizado para la fabricación de estas piezas es una aleación de aluminio-magnesio-silicio designado en norma americana como 6060. Ahora se van a presentar las características de este material.

-6060- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)

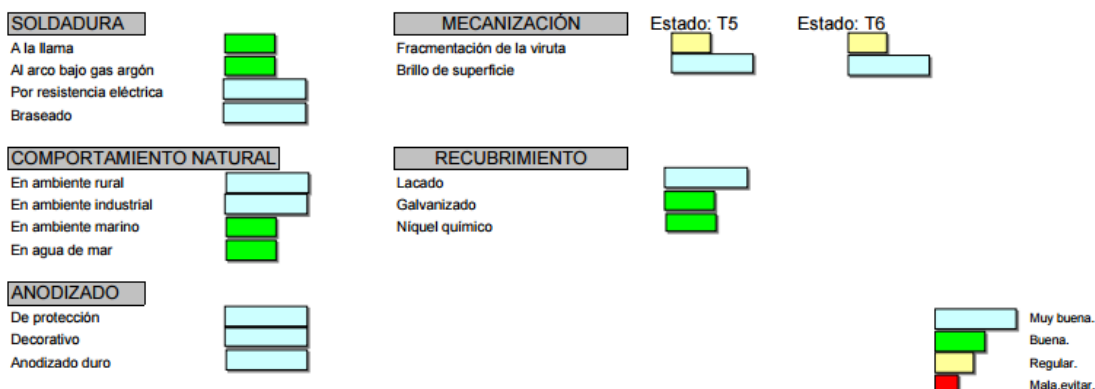
COMPOSICIÓN QUÍMICA

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos	Al
Mínimo	0,30	0,10			0,35				Total	
Máximo	0,60	0,30	0,10	0,10	0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	El resto

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Características a la tracción			Limite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Limite elástico Rp 0,2, N/mm ²	Alargamiento A 5,65%			
0	100	50	27	110	70	25
T1	150	90	25		95	45
T4	160	90	20		105	50
T5	220	185	13	160	140	75
T6	245	215	13	160	150	85

APTITUDES TECNOLÓGICAS



Este material tiene unas propiedades como su ligereza, resistencia a la corrosión, resistencia, buen conductor de electricidad y calor, muy dúctil además de no ser ni magnético ni toxico.

Las aplicaciones de este material serán las de perfiles para arquitectura, puertas, ventanas, muros cortina, mobiliario, estructuras, escaleras, peldaños, barandillas, verjas enrejadas, barreras, cercados, disipadores de calor, módulos electrónicos, carcasas para motores eléctricos, sistemas de ensamblado, remaches, elementos especiales para maquinaria, carrocerías de camión, instalaciones neumáticas, tubos de riego, calefacción y refrigeración.

7.3 Máquina

Para fabricar las piezas propuestas se ha utilizado un centro mecanizado KONDIA B-500, la cual tiene las siguientes especificaciones.



Figura 57: KONDIA B-500

Especificaciones técnicas:

- Superficie mesa 700 x 360 mm
- Recorridos 560x380x380 mm
- Velocidades 100-6000 rpm
- Potencia cabezal 5,5 -7,5 Kw
- Husillo ISO – 40
- Cambiador de boina de 18 posiciones
- CNC Fagor 8055

7.4 Rugosidad

7.4.1 Información

Rugosidad Superficial

El constante progreso en el área industrial exige métodos cada vez más eficientes para la obtención de productos cada vez más sofisticados. El diseño de nuevos mecanismos exige una perfección creciente y las tolerancias de fabricación se hacen cada día menores, tanto que las formas anteriormente aceptadas debido a su método de obtención a través de máquinas-herramientas, ya no podrán ser más aplicadas sin previa verificación de su geometría y textura superficial.

Superficies reales, por más perfectas que sean, presentan particularidades que son una marca del método empleado para su obtención, por ejemplo: torneado, fresado, rectificado, bruñido, lapidado, etc. Las superficies así producidas se presentan como conjunto de irregularidades, espaciamiento regular o irregular y que tienden a formar un patrón ó textura característica en su extensión. En esta textura superficial se distinguen dos componentes distintos: rugosidad y ondulación.

La rugosidad ó textura primaria, está formada por surcos o marcas dejadas por los agentes que atacan la superficie en el proceso de mecanizado (herramienta, partículas abrasivas, acción química, etc.) y se encuentra superpuesta al perfil de ondulación. Los espacios entre crestas varían entre 4 y 50 veces la profundidad de la depresión.

La ondulación o textura secundaria es el conjunto de irregularidades repetidas en ondas de paso mucho mayor que la amplitud y que pueden ocurrir por diferencia en los movimientos de la máquina-herramienta, deformación por tratamiento térmico, tensiones residuales de forja o fundición, etc.

Los espaciamientos entre las ondas (compresiones de ondulación) pueden ser de 100 a 1000 veces su amplitud.

- 1- Extensión de rugosidad.
- 2- Extensión de ondulación.
- 3- Orientación de los surcos.
- 4- Amplitud de ondulación.
- 5- Amplitud de rugosidad (Altura pico-valle).

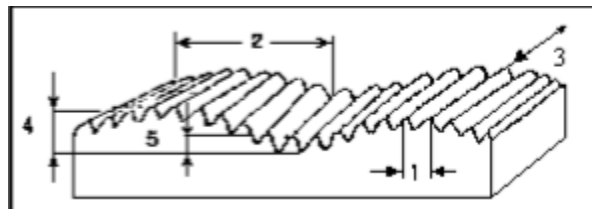


Figura 58: **Parámetros rugosidad**

Dentro de los parámetros de rugosidad este TFG está basado en parámetros según la profundidad de la rugosidad, especialmente en el Ra y el RZ.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Ra – Rugosidad media aritmética: Conocido también como CLA (Center Line Average, de Inglaterra), AA (Aritmetical Average de U.S.A.) y hm (término usado por las normas IRAM). Está definido como la media aritmética de los valores absolutos de las coordenadas de los puntos del perfil de rugosidad en relación a la Línea Media dentro de la longitud de medición L_m ,

Esta medida puede ser definida también como: siendo (a) la altura de un rectángulo cuya área sea igual a la suma absoluta de las áreas delimitadas entre el perfil de rugosidad y la Línea Media, siendo la longitud de medición L_m .

$$Ra = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} |y| dx$$

[4]

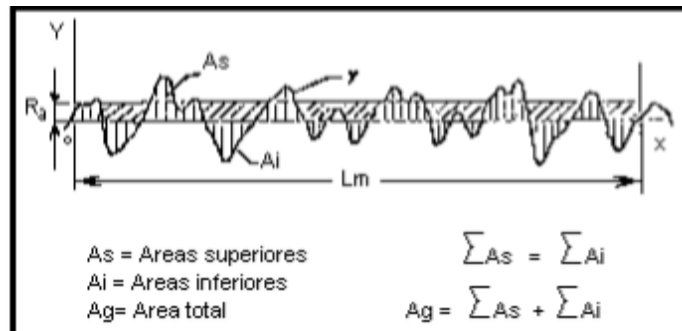


Figura 59: Ra

NOTA: Por aproximación se puede determinar el valor de Ra por medio de un cierto número

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y|$$

[5]

de ordenadas de puntos del perfil.

y = ordenada

n = número de ordenadas consideradas

El valor de "n" es prefijado de acuerdo con el tipo de aparato.

La medida del valor Ra puede ser expresada en μm o en μin (sistema métrico ó en pulgadas respectivamente).

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Ra [μm]	Aplicaciones típicas de rugosidad superficial
0,01	Bloques patrón – Reglas de alta precisión – Guías de aparatos de medida de alta precisión
0,02	Aparatos de precisión- Superficies de medida en micrómetros y calibres de precisión
0,03	Calibradores. Elementos de válvulas de alta presión hidráulica
0,04	Agujas de rodamientos. Superacabado de camisas de block de motores
0,05	Pistas de rodamientos. Piezas de aparatos control de alta precisión
0,06	Válvulas giratorias de alta presión. Camisas block de motor.
0,08	Rodamientos de agujas de grandes rodamientos
0,1	Asientos cónicos de válvulas. Ejes montados sobre bronce, teflón, etc. a velocidades medias. Superficies de levas de baja velocidad.
0,15	Rodamientos de dimensiones medias. Protectores de rotores de turbinas y reductores.
0,2	Anillos de sincronizados de cajas de velocidades
0,3	Flancos de engranaje. Guías de mesa de máquinas-herramientas
0,4	Pistas de asientos de agujas en crucetas.
0,6	Válvulas de esfera. Tambores de freno.
1,5	Asientos de rodamiento en ejes c/carga pequeña. Ejes-agujeros de engranajes. Cabezas de pistón
2	Superficies mecanizadas en general, ejes, chavetas, alojamientos, etc.
3	Superficies mecanizadas en general. Superficies de referencia. Superficies de apoyo
4	Superficies desbastadas
5 a 15	Superficies fundidas y estampadas
>15	Piezas fundidas, forjadas y laminadas.

Tabla 11: Valores Ra

Empleo del parámetro Ra

- Cuando sea necesario el control de la rugosidad en forma continua en las líneas de producción, debido a la facilidad de obtención del resultado.
- Superficies donde el acabado presenta los surcos de mecanizado bien orientados (torneado, fresado)
- Superficies rectificadas, bruñidas, lapidadas, etc.
- Superficies de poca responsabilidad, por ejemplo, acabados con fines apenas estéticos.

Ventajas del parámetro Ra

- Es el parámetro más utilizado en todo el mundo.
- Es un parámetro aplicable a la mayoría de los procesos de fabricación.
- Debido a su gran utilización, casi la totalidad de los equipos presentan este parámetro, en forma analógica o digital.
- Las marcas inherentes al proceso de mecanizado no alteran sustancialmente su valor.
- Para la mayoría de las superficies la distribución está de acuerdo con la curva de Gauss y es generalmente observado que el valor de Ra, da un buen parámetro estadístico que caracteriza la distribución de amplitud.

Desventajas del parámetro Ra

- El valor de Ra en un módulo de medición representa la media de la rugosidad, por eso un pico o valle no típico en una superficie, va a alterar el valor de la medida, no representando fielmente el valor medio de la rugosidad.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- El valor de R_a no define la forma de la irregularidad de un perfil, de esa forma podremos tener un valor de R_a prácticamente igual para superficies con procesos de acabado diferentes.
- Ninguna distinción es hecha entre picos y valles.
- Para algunos procesos de fabricación donde hay una diferencia muy alta de picos y valles, como ocurre en los sinterizados, el parámetro no es el adecuado, ya que la distorsión provocada por el filtro eleva el error a niveles inaceptables.

Z - Rugosidad parcial Z_i ($i = 1$ a 5): Es igual a la suma de las ordenadas (en valor absoluto) de los puntos más alejados de la línea media dentro de cada módulo, figura 17. En la representación gráfica del perfil este valor corresponde a la distancia entre los puntos máximo y mínimo del perfil dentro del recorrido correspondiente a cada módulo de medición l_e .

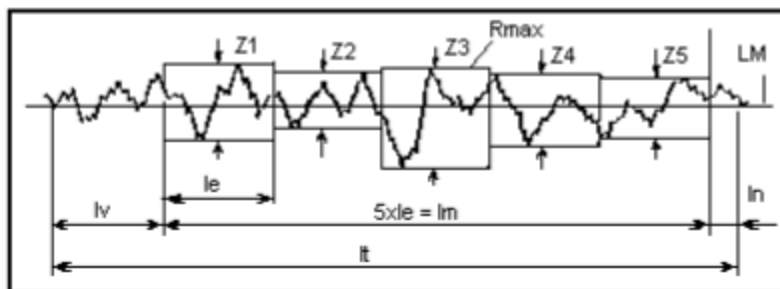


Figura 61: Z_i

Empleo del parámetro Z

- Usado apenas para el análisis de superficies, ya que no es aconsejable para especificaciones de diseño.
- Usado para determinar R_{\max} , R_a , y R_z .

Ventajas del parámetro Z

- Indica información complementaria al parámetro R_a .
- Indica la posición en que se encuentra el mayor Z, esto es, indica el número de recorridos evaluados en que se encuentra el mayor Z.
- Responsable de la obtención de R_{\max} y R_z .
- Cuando el equipamiento de medición lo indica, el gráfico de superficie es de fácil obtención.

Desventajas del parámetro Z

- No todos los equipos de medición de rugosidad indican este parámetro.
- Individualmente no caracteriza al perfil de la superficie.
- Parámetro auxiliar, no debe ser especificado en diseño.

R_z – (DIN 4768) Rugosidad media: Es la media aritmética de los valores de rugosidad parcial Z_i correspondientes a cada uno de los cinco módulos integrantes de la longitud de medición (el tramo individual de mayor Z_i se designa como R_{\max}).

$$R_z = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) \quad [6]$$

Empleo del parámetro RZ

- Puede ser usado en los casos en que los puntos aislados no influyen la función de la pieza a ser controlada. Por ejemplo, superficies de apoyo de deslizamiento, ajustes prensados, etc.
- En superficies donde el perfil es periódico y conocido.

Ventajas del parámetro RZ

- De fácil obtención a través de equipos que ejecuten gráficos.
- En perfiles periódicos define muy bien la superficie.
- Surcos aislados serán considerados parcialmente, de acuerdo a la cantidad de puntos aislados.

Desventajas del parámetro RZ

- En algunas aplicaciones esa consideración parcial de los puntos aislados no es aconsejable, pues una alteración significativa en un “punto aislado”, será ponderada solo en un 20%.
- Al igual que $R_{máx}$, no posibilita ninguna información sobre la forma del perfil, como así tampoco la distancia entre las ranuras. ☐ No todos los equipos suministran este parámetro.

7.4.2 Experimento rugosímetro

7.4.2.1. Rugosímetro

En la parte experimental de este TFG se ha desarrollado un experimento de rugosidad en el que con la ayuda de un rugosímetro se han podido determinar tanto la rugosidad media aritmética (R_a) y la rugosidad media (R_z) y en el que a partir de estos resultados obtenidos se sacaran unas conclusiones, según las estrategias de mecanizado que se han llevado a cabo con las piezas fabricadas y mostradas anteriormente.

Para la realización de este experimento se han utilizado diferentes elementos:

- Mordaza angular.
- Plataforma elevadora.
- Calces de sujeción de piezas.
- Calces para la plataforma.
- Nivelador.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Gato de sujeción.
- Rugosímetro



Figura 62: **Mordaza angular**

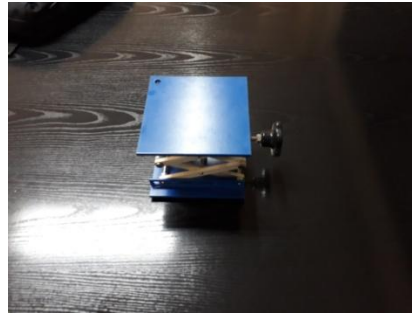


Figura 63: **Plataforma elevadora**



Figura 64: **Nivelador**



Figura 65: **Gatos**



Figura 66: **Rugosímetro**

Una vez mostrados los componentes utilizados para la realización del experimento se va a llevar a cabo la explicación del montaje de estos componentes y a su vez la forma de realización.

También se procederá a plasmar los resultados obtenidos.

7.4.2.2 Montaje

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Con los elementos mostrados en la introducción del experimento se realiza el montaje utilizado para la medición de la rugosidad de las piezas fabricadas.

Se coloca la mordaza en una mesa, que es sujeta por un gato, que evita el movimiento de la mordaza.

Una vez montada se coloca el nivelador en la parte superior de la mordaza para la correcta linealidad de la mordaza.

Teniendo la mordaza con una colocación correcta se procede a poner la plataforma, que se calza para superar la sujeción de la mordaza, la plataforma se eleva hasta la posición requerida.

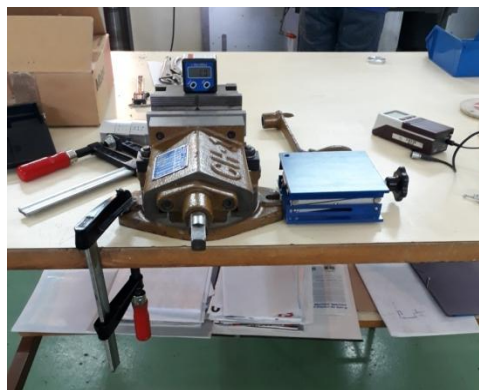


Figura 67: Montaje previo

Después se enchufa a la luz el rugosímetro y se coloca en la plataforma a la altura adecuada, para poder realizar las mediciones en el lugar correcto.



Figura 68: Montaje final

7.4.2.3 Realización del experimento

Para la realización del experimento se han realizado mediciones en tres puntos diferentes en cada uno de los 3 ángulos que hemos elegido.

Los ángulos en los que se ha decidido ver la rugosidad de las piezas han sido 0° , 40° y -40° .

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Una vez situada la pieza para poder sacar la medida por parte del rugosímetro, primero hay que hacer cero en la punta del rugosímetro, y después colocarlo en este caso en la plataforma, hay que colocarlo en la pieza a medir.

Después en la siguiente imagen se muestra el funcionamiento del rugosímetro. Al pulsar el botón en rojo señalado, el propio rugosímetro realiza su función para medir la rugosidad.

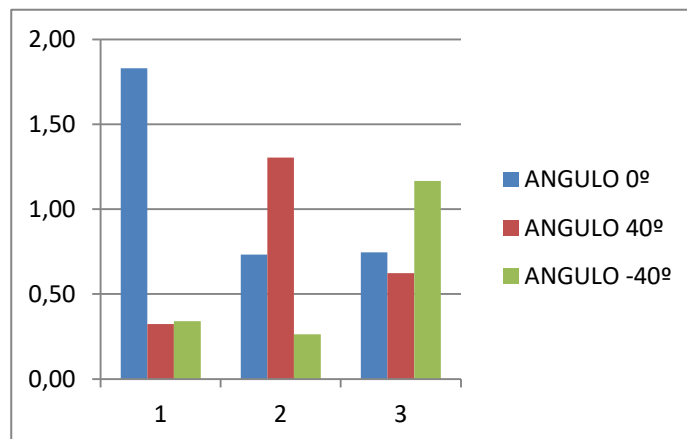
Para poder visualizar los diferentes parámetros que te da el rugosímetro hay que pulsar el botón marcado en azul.



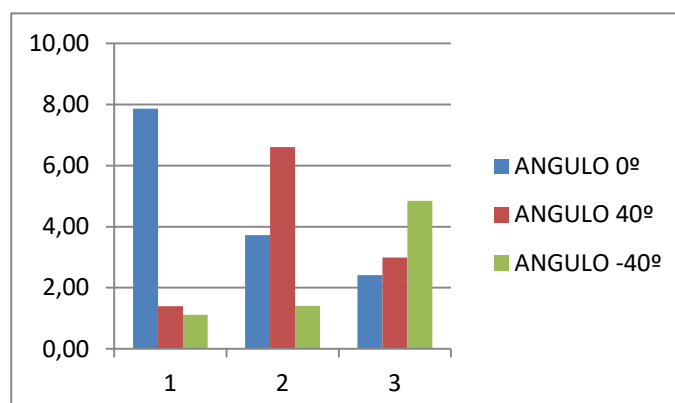
Figura 69: Funcionamiento rugosímetro

7.4.3. Graficas comparativas rugosidad

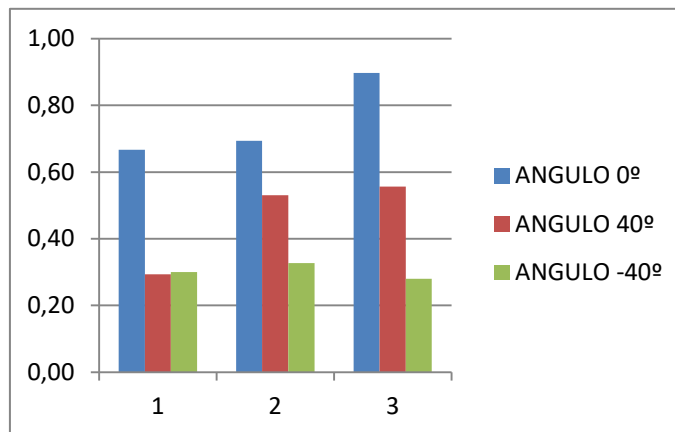
Ra pieza 1



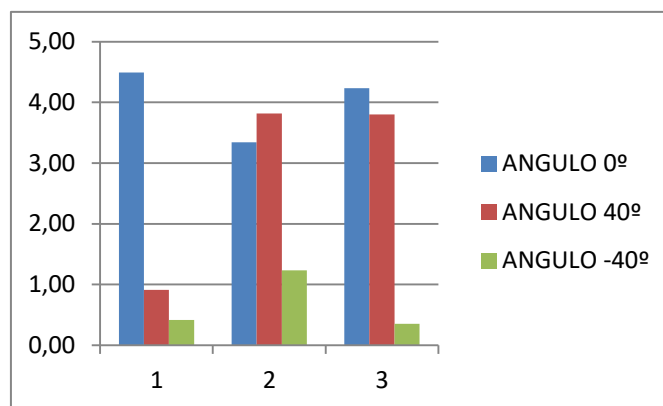
Rz pieza 1



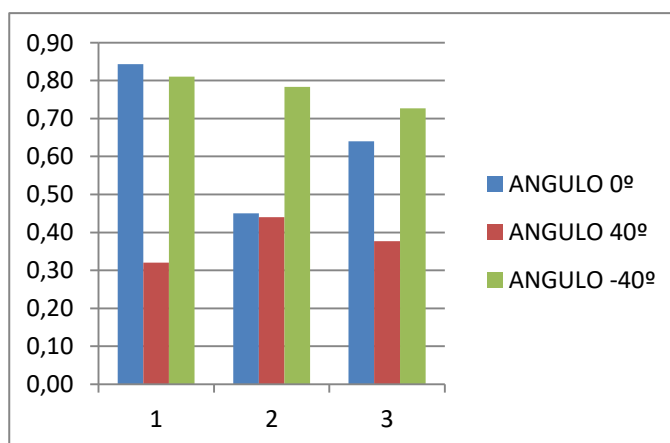
Ra pieza 2



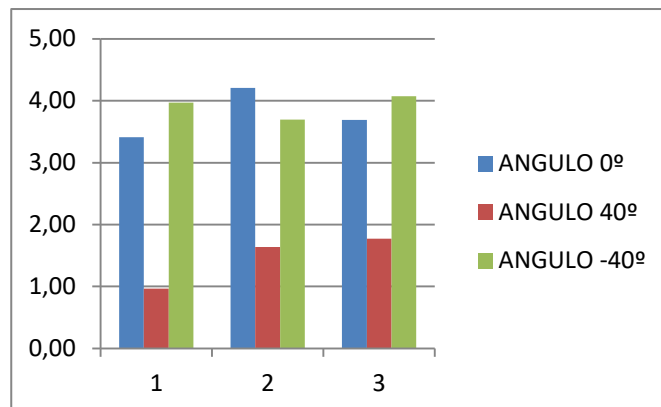
Rz pieza 2



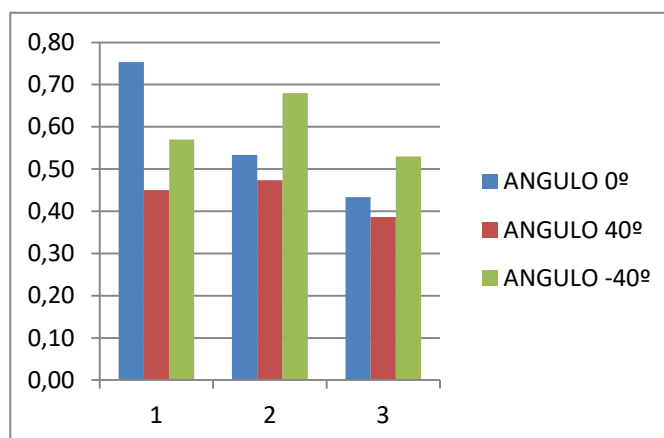
Ra pieza 3



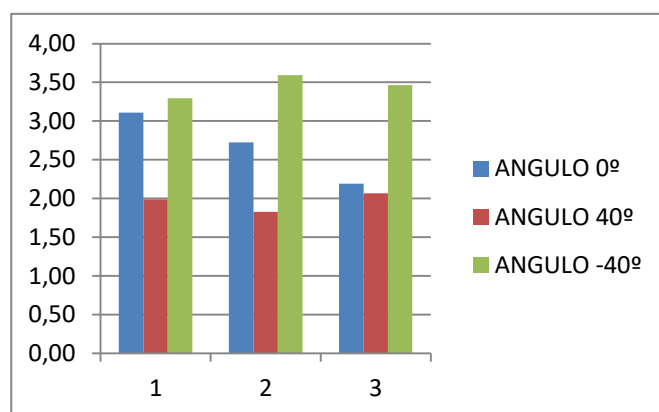
Rz pieza 3



Ra pieza 4



Rz pieza 4



7.5 Artículos de mecanizado

Advanced Materials Research
ISSN: 1662-8985, Vols. 488-489, pp 836-840
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.488-489.836
© 2012 Trans Tech Publications, Switzerland

Online: 2012-03-15

Influence of machining strategies on surface roughness in ball end milling of inclined surfaces

Sh.Shajari^{1,a}, M.H.Sadeghi^{2,b}, H.Hassanpour^{3,c} and B.Jabbaripour^{4,d}

¹MSc. student of mechanical engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

²Professor of mechanical engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

³PHD. student of mechanical engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

⁴PHD. student of mechanical engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

^ashgh.shajari@gmail.com, ^bdr.sadeghi@gmail.com, ^ch.hassanpour.n@gmail.com

^dbjabbaripour@yahoo.com

Keywords: Milling Strategies, Surface Roughness, Scallop Height, Inclined Surface

Abstract. Inclined surfaces are commonly used in the aerospace and die/mold industries. For machining this kind of surfaces, many aspects have to be considered as machinability considerations including milling strategies, machining parameters and etc. In machining, achieving better quality is challenging task. Various tool-path strategies during milling operation leads to variable surface roughness on machined samples. The objective of this study is to analyze different machining strategies in 3-axis milling of a typical curved geometry part. The machining parameters used in this study, are cutting speed, feedrate and stepover. This paper also presents an approach to develop a mathematical model for measuring Scallop height size and distribution for different machining strategies to show that Scallop height size has direct relation with Surface roughness measurements in each strategy. Finally the optimized strategy based on the results was determined.

Introduction

Advances in the aerospace and automotive industry have led to the introduction of many new shapes with complex geometries. These shapes are typical of turbine blades, as well as molds and dies. The conformity of the manufactured geometry to the design requirements such as better surface quality and texture depends on several factors. These involve cutting tool selection, proper selection of machining strategies, as well as optimization of machining conditions. In machining of sculptured surface parts, the tool path strategy is crucial to surface quality [1]. Most of research focuses on cutter path generation techniques, studies with regard to cutter path evaluation on surface integrity are scant. Toh [2] found that in Pocket machining with the offset strategy in contrast to raster, scallop marks left can be removed creating smooth surface. Ramos et al. [3] claimed that machining strategies are important to minimize surface roughness and dimensional deviations. Griffiths and Marshall [4] found that hybrid strategy combined of two cutter path despite of resulting in redundant machining affect the cusp height which is a function of workpiece surface inclination. Chen et al. [5] claimed that in order to achieve high qualified surfaces, the scallop generation mechanism must be well controlled.

In this paper, different kind of cutter path strategies were investigated to improve surface finish by controlling cusp height and surface roughness. Calculations and experiments were carried out and the results indicate that radial strategy is the best to target high surface finish.

Cutter path strategies

In this study four cutter path strategies were considered. They included spiral, radial, 3D-Offset and raster tool paths. Spiral machining creates a spiral tool path from a given focal point, while keeping constant contact between the cutter and workpiece. Radial machining converges tool path to a central point. In Raster machining, the passes are parallel in the XY-plane and follow the surface in Z-direction. In 3D-Offset milling, the cutter starts at the periphery to the inner of the surface to be machined. The various 3D-tool path strategies are illustrated in Fig. 1.

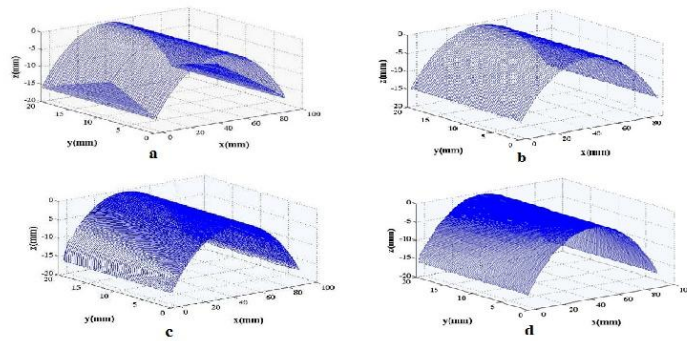


Fig. 1, Various 3D-tool path strategies: a)3D-offset b)raster c)spiral d)radial

Scallop height Calculation

Finish milling with a ball nose end mill leaves cusps between cutter paths. The cusps left on the machined surface directly affect workpiece roughness and accuracy. Selection of the appropriate cutter path with respect to cusp height is therefore critical in order to minimize grinding 0. The cutter location (CL) path represents the trajectory of the cutter center for a particular tool path. The cutter contact path (CC) represents the tangential points between the ball-end mill and the designed surface. If r would be the radius of ball cutter, the (CL) points can be defined from Eq. 1:

$$[CL] = [CC] + nr \quad (1)$$

Where n is the unit normal vector from the surface points. For our common parametric surface $P(u,v)$ which is modeled by NURBS curve, the unit normal vector can be calculated from Eq. 2. This curves show the most appropriate way to generally model free form surfaces.

$$n = \frac{P_u \times P_v}{|P_u \times P_v|} \quad (2)$$

In order to calculate scallop height, series of step should be followed. First, O_1 and O_2 (CL points) as cutter centers for two tool path based on Eq. 1, should be obtained. Then, a vertical section by the known tangent points P_1 and P_2 (CC points) is produced. In this section, 2D circular profiles of two adjacent cutters and the inclined surface of workpiece is determined. O_{11} and O_{22} are the cutter centers for these new circles with their radius r_1 and r_2 . The distance between the point which these two circles are crossed and the curve P_1P_2 (approximately regarded as a line) is scallop height. The circle 1 in XY-section can be defined from Eq. 3, 0:

$$\begin{cases} d_1 = \frac{|(y_{p1} - y_{p2})x_{o1} + (x_{p2} - x_{p1})y_{o1} + x_{p1}y_{p2} - x_{p2}y_{p1}|}{\sqrt{(y_{p1} - y_{p2})^2 + (x_{p2} - x_{p1})^2}} \\ r_1 = \sqrt{r^2 - d_1^2} \\ [O_{11}] = [O_1] + d_1 \times \overline{O_1 O_{11}} \end{cases} \quad (3)$$

Where d_1 is the distance between the cutter center and vertical section. This operation can also be repeated for circle 2. In this work scallop heights in pick feed direction were measured for each strategy. The 3D-Offset, Raster and Radial strategy was planned on the YZ section of cutter location. ZX-section profiles of cutter path locations was composed to the spiral strategy. The proposed solution approach was coded in software MATLAB 10.

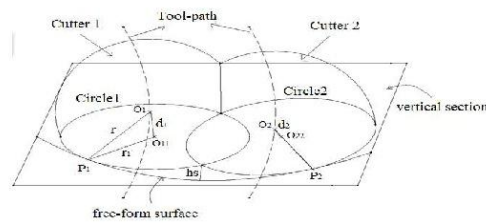


Fig.2, Calculation of scallop height in vertical section

Experimental setup

9 experiments have been conducted for each strategy based on Taguchi Method. The orthogonal array was the L9(3³) has 9 rows corresponding to the number of experiments (Three factors with three levels each). Three factors were determined as controllable cutting parameters included cutting velocity (V_c), feedrate (f_z) and stepover (So) as shown in Table 1. The amount of axial depth of cut was 0.5 [mm] and constant for all experiments.

Table 1, Experimental Design

Exp. No	V_c [m/min]	f_z [mm/tooth]	So [mm]
1	60	0.06	0.3
2	60	0.12	0.7
3	60	0.18	1.1
4	120	0.06	0.7
5	120	0.12	1.1
6	120	0.18	0.3
7	180	0.06	1.1
8	180	0.12	0.3
9	180	0.18	0.7

The tests were performed on 3-axis CNC milling HARFORD with FANUC-M controller. The cutting tool used in this research was 2-fluted inserted ball end mill with diameter 12 mm, TiN coating made by Walter company. Fig.3, shows the workpiece which was made of stainless steel 1.4903 (DINX10CrMoVNb9-1) and the experimental step up. The Surface roughness was measured by Mahr Roughness Tester at different places in each strategy.



Fig.3, Experimental equipment

Results and discussion

Test 1 is considered to be verification test. Table 2, presents cusp heights which were calculated in pick feed direction for each of cutting strategies in test 1 regarding surface curvature. From outcomes in Table 2, it can be seen that as surface inclination angle respect to tool axis increases, the cusp heights showed different trends in each strategy. With an increase in surface inclination angle, the cusp heights decrease in raster and 3D-Offset strategy and increase in radial strategy. Although in spiral the cusp height magnitudes increase slowly.

Table 2, Cusp height measurements for different cutter strategy

$\theta(\text{degree})$	<i>raster</i> (μm)	<i>radial</i> (μm)	<i>3D-Offset</i> (μm)	<i>Spiral</i> (μm)
0	6.0003	0.0685	6.0017	5.3906
2	5.6008	0.2085	5.6518	5.3928
4	5.5341	0.4048	5.5531	5.4180
6	5.1786	0.4541	5.1597	5.4981
8	5.0876	0.5965	5.0642	5.5491
10	4.7179	0.6903	4.6753	5.5623
12	4.5076	1.0886	4.5545	5.6801
14	4.1149	1.2309	4.1507	5.6913
15	4.0152	1.2982	4.0820	5.7618
16	3.6168	1.2993	3.9808	5.8718
18	3.5227	1.4595	3.5929	5.9319
20	3.2325	1.7530	3.4950	6.1420
22	2.9954	1.7551	3.0624	6.1021
24	2.9105	1.7967	2.9320	6.3621
26	2.4875	2.3189	2.4909	6.4122
28	2.3819	2.6661	2.3994	6.5923
30	1.9747	3.5678	2.3923	6.6224
32	1.8365	3.9959	0.1580	6.8325

The results of test 1 for mean surface roughness (R_a) represent the same trend in different strategies. Fig. 4, shows that as surface inclination angle increases, surface roughness increases in spiral and radial strategy and decreases in raster and 3D-Offset strategy.

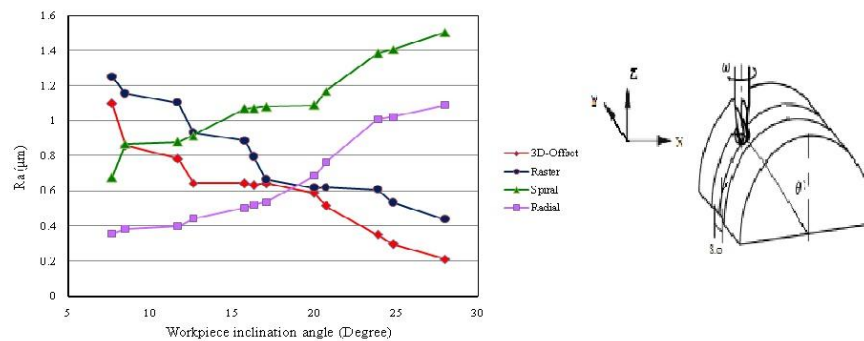


Fig. 4, Surface roughness versus surface inclination angle in different cutter path strategy

Moreover, Mean cusp height for different strategies illustrated in Fig. 5(a). It shows that mean cusp height value is the most for spiral and the least for radial machining, and mean cusp height for 3D-offset and raster are close. By the way, R_a was measured for all the strategies in all experiments as shown in Fig. 5(b). It is clear that in all tests, radial machining provoked the lowest surface roughness, and the highest roughness was obtained for spiral. Therefore, radial is the most suitable strategy for machining of these curved surface with specified curvature.

After radial, 3D-Offset is preferred since its roughness is less than the other strategies (spiral and raster). This result confirmed the relation between cusp height and surface roughness for each tool path strategy. Since it is found that one of the reasons for roughness remarkable difference between radial and spiral is due to the mean cusp height value difference.

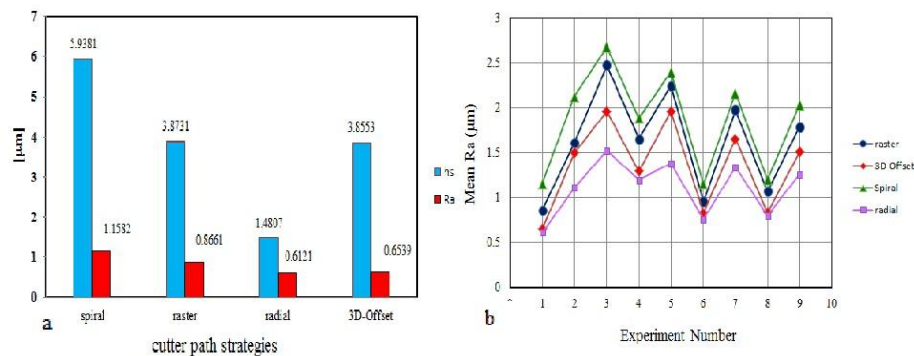


Fig.5, a) Mean cusp height (h_s) and Mean surface roughness (R_a) for different cutter path b) R_a versus experiments number

On the other hand, Fig5.(b), shows that in test 1-3 when feed rate and step over grows in constant cutting speed condition(see Table 1) surface roughness will be raised. Since machining vibration due to growth in feedrate and cusp height due to growth in stepover will be increased.

Conclusions

In this paper, the following conclusions are drawn.

- 1) Cusp height is calculated for each strategy in pick feed direction with regard to surface angle.
- 2) Surface quality will be improved when radial machining and will be deteriorated when spiral machining.
- 3) As inclination angle respect to tool axis increases, the cusp height and the surface roughness magnitudes increases in spiral and radial strategy and decreases in 3D-offset and raster tool path.

References

- [1] C.K.Toh: Cutter path orientations when high-speed finish milling inclined hardened steel. Int Adv Manuf Technol, Vol. 27 (2006), p. 473-480
- [2] C.K.Toh: A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling. Journal of Manufacturing Processes, Vol. 152 (2004), p. 346-356
- [3] A.M.Ramos, C.Relvas, J.A.Simoes: The influence of finishing strategies on Texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 136 (2003), p. 209-216
- [4] C.K.Toh: Design, evaluation and optimization of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials, Materials And Design. Vol. 26 (2005), p. 517-533
- [5] Jenq-Syong Chen, Yung-Kuo Huang, Mao-Son Chen: A study of the surface scallop generating mechanism in the ball-end milling process. International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45 (2005),p. 1077-1084
- [6] X.F.Zhang, J.Xie, H.F.Xie, L.H.Li: Experimenal investigation on various tool path strategies influencing surface quality and form accuracy of CNC millied complex free form surface. Int Adv Manuf Technol (2011)



Journal of Materials Processing Technology 152 (2004) 346–356

Journal of
**Materials
Processing
Technology**

www.elsevier.com/locate/jmatprotec

A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling

C.K. Toh*

School of Engineering (Mechanical), University of Birmingham, Edgbaston Park Road, Birmingham B15 2TT, UK

Received 19 February 2003; received in revised form 3 March 2004; accepted 20 April 2004

Abstract

The implementation and selection of cutter path strategies and orientations when milling is particularly critical in the aerospace and mould and die industries. Proper selection can lead to substantial savings in machining time, improvement of workpiece surface quality and improvement in tool life, thereby leading to overall cost reduction and higher productivity. The paper identifies and reviews three main areas of literature studies namely analytical analysis on plane milling, entrance and exit effects of the cutter motion and inclined milling effects.

© 2004 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Cutter path strategies; Orientation; Milling; Evaluation

1. Introduction

Research on cutter path generation techniques has been plentiful over the past decade. Nevertheless, the implementation of the cutter path techniques has been strictly limited to machining the so-called easy-to-machine workpiece materials. Proper selection of cutter path strategy is crucial for achieving desired machined surfaces. Without considering the impact of cutter path selection with adequate consideration of the machining outcome such as cutting forces, vibration analysis, tool life, cutting temperature and workpiece surface integrity, the result can lead to catastrophic cutter failure and therefore lead to unnecessary waste of time, cost and poor surface quality.

This paper aims to give a brief review on the effects of the milling strategies adopted when employing a milling process over the past years of research in order to gain a better understanding on the cutter path effects in milling so as to gear towards the implementation of cutter path strategies and orientations when using a high speed milling process.

1.1. Cutter path strategies

Many forms of cutter path strategies have evolved over the past 30 years to mill free form surfaces. In general, they can be classified into three main strategies namely offset, single direction raster and raster strategies. Offset milling, also known as window frame, spiral, meander-type or bull's eye milling, where the cutter usually starts at the periphery of the face and then proceeds spirally inwards [1]. The cutter comes back to the starting point in each cycle and then cuts inwards to the next inner cycle. The cutter then proceeds towards the centre until the entire workpiece surface is machined. The cutter path bridges are used to connect the cutter path from the cutter path of outer window frame to inner frame thus achieving a continuous cutter path motion. An illustration of this offset strategy is shown in Fig. 1(a). The cutter path is often used in pocket milling and requires more difficult cutter path calculations than raster milling [2]. This strategy is commonly used for machining pocket features. The strategy can also be of an expanded version, i.e. the offset cutter path expands from the inner face gradually to the peripheral boundaries of the surface to be machined.

Raster milling, also known as zigzag, staircase, sweep, hatch or lacing is a strategy where the cutter moves back and forth across the workpiece in the X – Y plane, see Fig. 1(b). This strategy causes the cutter to mill alternatively along the spindle direction and then against it, giving up and down milling, respectively [3]. Such actions are known as

* Present address: Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech), Machining Technology Group, 71 Nanyang Drive, Singapore 638075, Singapore. Tel.: +65-67938593; fax: +65-67925362.
E-mail address: cktoh@simtech.a-star.edu.sg (C.K. Toh).

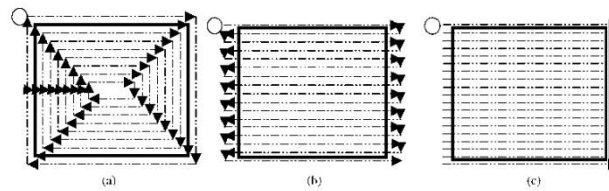


Fig. 1. (a) Offset, (b) raster and (c) single direction raster cutter path strategies.

switchbacks [4]. When employing this strategy, machining time is tremendously reduced and much simpler computationally [5].

When using a single direction raster strategy, the cutter moves in parallel lines scanning across an area to be machined. The cutter mills across the machined surface, steps over a fixed amount, moves back to the original position through air before milling across another line. Fig. 1(c) illustrates this cutter path strategy. This results in a down/climb milling or up/conventional milling direction.

2. Analytical analysis on plane milling effects

Wang et al. [6], Prabhu et al. [1], Lakkaraju and Raman [7] and Jamil [8] conducted analytical studies to identify the best cutter path strategies and the optimum angle orientation of a cutter path with respect to a plane workpiece. The studies were all carried out on plane surfaces without internal islands of material.

Early examples of evaluation studies for milling were published [1,6] in terms of orientation of cutter paths with respect to a reference point on a flat plane and selection of a starting point on a convex polygon. Wang et al.'s [6] work involved a systematic study to identify the optimum cutting angle orientation, which affected the total length cut when face milling a surface. The work concentrated on basic polygons from triangles to heptagons. Two milling strategies were employed: (a) offset milling; (b) raster milling. In offset milling, each vertex was chosen as the starting point, whereas in staircase milling, the cutting orientation was examined by varying the orientation angle between cutter paths and workpiece polygon in 1° increments. By altering the starting point and cutting orientation, a calculation was performed for the length of cut and cutting time (assuming that the latter was proportional to the former). The process planning procedures for offset and raster milling were developed. The conclusions of the work were:

- In offset milling, the selection of a starting point did not significantly affect the length cut, although a small variation occurred.
- The cutting orientation in raster milling had a significant impact on the length of cut (5–100%).

- There appeared to be no correlation between the optimal cutting orientation and other parameters, such as cutter diameter and number of cutting edges.
- The length cut generated by raster milling was shorter than that generated by offset milling.
- For raster face milling of plane surfaces, the optimum cutting orientation was generally parallel to the longest edge of the polygon. Fig. 2 is a plot of length cut versus cutting orientation for the triangle and Fig. 3 shows the sample triangle. The shortest cutter path is at an angle of 67° , which is parallel to the longest edge, AB.

Sun and Tsai [9] investigated the effect of offset face milling on triangular plane surfaces by developing a

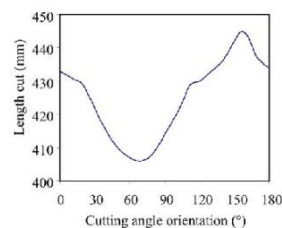


Fig. 2. Effect of cutting angle orientation on length cut on face milling of an irregular triangle shown in Fig. 2 [6].

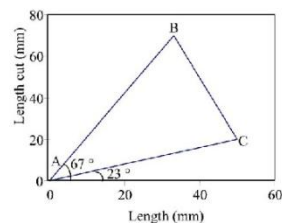


Fig. 3. A sample triangle for optimisation in terms of the cutting angle orientation of cutter path [6].

mathematical model to determine the effects of varying starting points and short cuts on total length cut. They deduced that varying the starting point on different position in each vertex angle resulted in a variation of about 10% in length cut. The inclusion of short cut had a variation of about 9–18% where the starting point was located at the same vertex angle. When compared to raster milling [10], Sun and Tsai proved that cutter path length cut required for offset milling was shorter. This conclusion was in contrast with Wang et al. [6] because from the evaluation results, they suggested that the variation of a starting point did not significantly alter the length cut. However, Sun and Tsai did realise a major impact on the shortening of length cut by varying the starting point.

Lakkaraju and Raman [7] claimed that although analytical modelling is an easy way to determine the optimum cutter path for a face milling operation, it ignores several physical parameters and in many cases this makes the modelling unrealistic. In order to make things more realistic, factors such as cutter diameter and cutter path overlap were considered in addition to cutter path orientation. Only the raster milling strategy was used and the radial depth of cut was taken as 80% of the tool diameter. Experiments were carried out on three-, four- and five-sided convex shapes. Sets of cutter path for each geometry were generated by applying rotations of 5° after each simulation, thus changing the orientation of the object relative to the cutter path. At each orientation, the distance travelled by the cutter was measured. Graphs of distance travelled against cutter path orientation with respect to the part were developed. These indicated a cyclic relationship with maxima and minima occurring at regular intervals. It was also found that the minimum values occurred at different orientation angles for different shapes. In other words, there exists an optimum path for every shape at a specific orientation. In their later work [10], they developed an analytical model to relate the total length cut to orientation as an arithmetic progression of trigonometric functions based solely on object geometry and cutter diameter. Their analytical modelling results are consistent with Wang et al. [6] and Prabhu et al. [1] such that the lowest length cut can be obtained by moving the cutter parallel to the longest edge.

Jamil [8] introduced a modified raster method for evaluating cutter path for face milling three-sided convex surfaces. Unlike previously discussed methods, this did not adopt an iterative approach but instead a semi-analytical approach and it was claimed that this produced better results as compared to previous models. Findings indicated that optimal cutter paths were most likely to be obtained when the number of 'stairs' was minimised and corresponded to the parallel side of the largest edge, particularly when the triangle had an obtuse angle. However, this was not confirmed when the triangle had no obtuse angle. In this case, the path length should be evaluated for each side of the triangle to determine the optimum solution. The analytical models developed by the above mentioned researchers are far too complex for simple polygonal shapes. On the other hand, Arantes and Sriramulu

[11] derived much simpler equations and deduced that the optimal length cut could be obtained by limiting the calculations to the directions parallel to the edges of the polygon.

Sarma [4] suggested that the number of switchbacks in raster milling, rather than length cut is a major contributor to machining time. It is believed that the ratio of maximum cutting velocity to maximum acceleration is huge especially in the context of HSM. Therefore, switchbacks contribute to a majority of the total machining time. To reduce the number of switchbacks, the author developed a concept known as crossing function, which is a measure of how many times the radial depth of cut at some angle intersects with the contour of a polygon. It is further proved that the reduction of the crossing function, i.e. the number of switchbacks, always correspond to the minimum width of a convex polygon by orienting the cutter path across it.

Raster and offset cutter path strategies have their advantages and disadvantages. Although raster milling has generally been found to produce a shorter cutter path, scallop marks that are left on the walls of a machined pocket cannot be completely removed. With the offset strategy, scallop marks left can be removed creating a smooth surface. A hybrid machining strategy developed by Gay and Veeramani [12] combined the benefits of both cutter path strategies such that scallops could be eliminated at the same time as achieving a low cutter path length. Their analytical results showed that the hybrid machining strategy was better than offset strategy in terms of length cut and the results more significant with larger pocket size and smaller internal angles. This was because the radial depth of cut required to avoid material overlap decreased as the inner angle increased and subsequently resulted in a shorter length cut, see Fig. 4 for illustrations.

The analytical models developed by the researchers mentioned above do not take into account the state of tool wear on a cutter that is influencing the length cut. The ignorance of taking tool wear into consideration can result in poor tool life and workpiece surface quality. This in effect will result in an increase in cost and waste of time. Based on these facts, Fry et al. [13] investigated the effect of varying cutting angle orientation on tool wear when raster face milling a rectangular hot rolled medium carbon steel. Fig. 5 depicts an illustration of raster milling at a cutting orientation angle of 60° and the graph detailing the effect of length cut and tool wear area per length on the cutting angle orientation. In general, tool wear and length cut increased with increasing orientation angles. The results suggest that the cutting angle orientation and length cut have a significant effect on the tool wear. The cutting angle orientation of 0° resulted in a length cut of about 4800 mm. Fry et al. [13] proved that by raster milling in *Y* instead of *X* direction parallel to the longest edge, the length effectively could be reduced by approximately 914 mm making it the shortest cutter path. Therefore, the study confirms the findings of Wang et al. [6], Prabhu et al. [1] and Lakkaraju and coworkers [7,10] that the lowest length cut can be obtained by moving the cutter

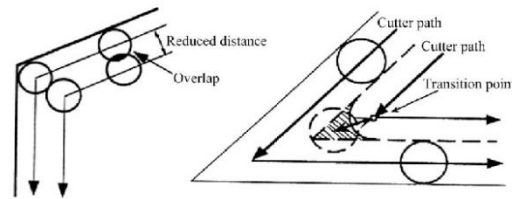


Fig. 4. Illustrations of cutter paths when manoeuvring around a smaller inner angle and a larger inner angle to reflect the unmachined area [12].

parallel to the longest edge, subject to optimal selection of the starting point of cut.

3. Entrance and exit effects

Most of the papers mentioned above suggest that shorter length cut results in lower machining time and higher tool life. This conclusion may be misleading, as they did not consider other process parameters. Raman and Lakkaraju [14] developed a software program to incorporate the effect of entrance and exit angles of the cutter and cutter geometry with reference to the raster cutter path employed. Their simulation results showed that cutter geometry and entrance and exit conditions had a detrimental effect on tool life. Ng and Raman [15] concluded that by increasing the radial depth of cut, shorter length cut resulted since more material was removed. However, this was coupled with high cutting forces and surface error that could eventually cause tool fracture and consequently low tool life. When finish milling where the workpiece surface quality is crucial, low radial depth of cut is preferable such that low cutting forces can be maintained to avoid undesirable vibrations. Hence, low

workpiece surface roughness and surface accuracy can be achieved. On the other hand, length cut is longer that can have a detrimental effect on tool wear formed on the cutter.

Every time the cutter enters and leaves a machined surface, it is subjected to rapid cutting load changes. Such conditions arise when milling and are characterised as entrance and exit conditions [16]. When high speed milling, the constant material removal rate resulted along the cutter path creates a uniform cutting load. When milling in a corner or a concave surface, the material to be removed increases due to a higher engagement angle, see Fig. 6. This increases the radial depth of cut and chip area rapidly creating a fluctuation in cutting forces that can result in excessive cutter vibrations. Consequently, the fluctuating cutting forces create undercutting of the corner [17]. Raman and Lakkaraju [16] analysed the impact of the locus of cut, entrance and exit on face milling through extensive literature. They integrated these tool life process variables into their program to enable simulation of machining strategies to be more realistic. Law and Geddard [19] developed analytical equations for estimating the cutting forces and tool deflection errors for straight and corner slot cutting as well as milling inside corners with small radial immersion. The instantaneous

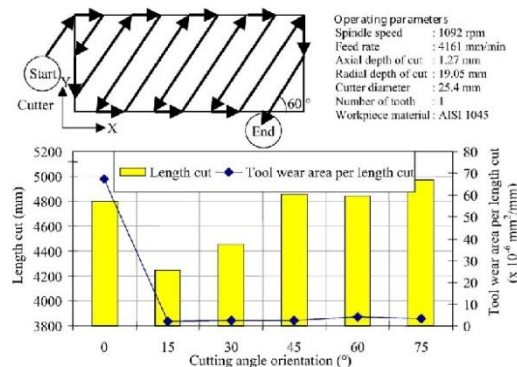


Fig. 5. Effect of cutting angle orientation on length cut and tool wear area per length cut [13].

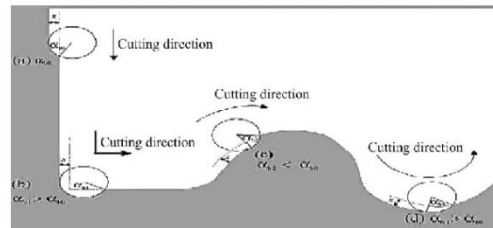


Fig. 6. Change of engagement angles when milling at (a) a straight lane, (b) a corner, (c) a convex surface and (d) a concave surface [18].

cutting forces were obtained by determining the varying radial width of cut during corner cutting. Based on the calculated cutting forces, the estimated deflection errors were then calculated for the contour accuracy of the pocket and verified using a coordinate measuring machine (CMM).

Iwabe et al. [20] developed a simple novel cutter path strategy to avoid excessive fluctuation in cutting loads when milling in corners. An improved cutter path strategy was devised such that instead of cutting at right angle, the cutter path looped at the inside corner. Fig. 7(a) illustrates the effect of changing the cutter path variation on the radial depth of cut and Fig. 7(b) the maximum chip area. The double chain line A–B–C illustrates the original cutter path without a loop and the improved looped cutter path strategy is depicted as A–A₁–B₁–B₂–B₃–A₁–B₁–C. From Fig. 7(a), the original cutter path exhibited a large radial depth of cut when cutting at the inside corner. By introducing a looped cutter path, the radial depth of cut reduced to half; hence it effectively reduces excessive vibrations that may be encountered without reducing the feed rate. By using a smaller cutter diameter, the looped cutter path resulted in a smaller chip area as compared to the original cutter path; see Fig. 7(b). Therefore, the use of a smaller cutter diameter coupled with the improved strategy greatly reduces the impact caused when

milling corners thus improving the dimensional accuracy of the corners.

Milling using a worn cutter often introduces edge defects on the workpiece material produced. Such edge defects are most likely in the form of protrusions or ragged materials, known as burrs [21]. Therefore, substantial time may be needed to spend on manual polishing to remove the burrs formed at the edges. To minimise burr formation, the key factor is to prevent the cutter from exiting the workpiece material during milling. Based on this concept, Chu and Dornfield [21] derived three methodologies to avoid burr formation by altering the cutter exit conditions. The cutter path strategies deduced had been mathematically proved without cutter exits. Fig. 8 presents a modified cutter path strategy C₁ → C₂ → C₃ → C₄ milling around a corner to avoid cutter exit. In this diagram, the exit burrs that exist along P₁P₂ caused by the original cutter path shown as dotted arrows will be eliminated. However, a disadvantage is that the cutter path strategies implemented are not suitable for milling thin walled sections or ductile materials.

Cutter path strategies for machining thin walled sections have to be viewed in a different angle. High speed milling of thin webs has been demonstrated successfully by Smith and Dvorak [22] albeit for aluminium workpiece material.

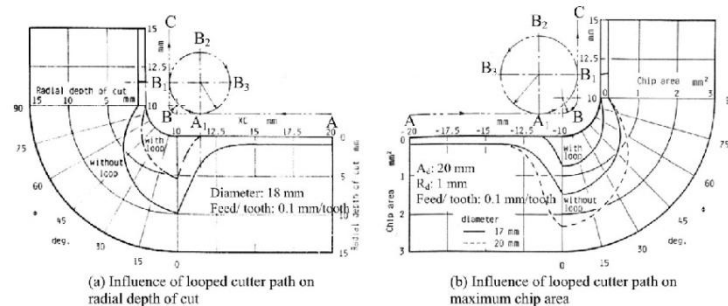


Fig. 7. Influence of the looped and original cutter paths on radial depth of cut and maximum chip area [20].

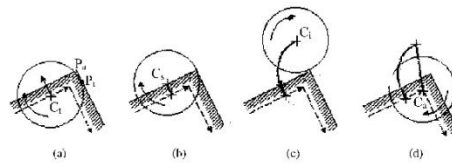


Fig. 8. A modified cutter path strategy that mills around a corner to avoid cutter exit [21].

It was concluded that cutter paths should be chosen such that the areas being machined were supported by as much unmachined material as possible and the direction of cutting should proceed from the least supported area to the best-supported area. When milling thin walled sections, particular attention has to be paid in the correct selection of cutting speed, feed rate and axial depth of cut in order to avoid distortion to the workpiece structure. Lower cutting forces, cutting temperatures and tool chatter are particularly instrumental to the reduction in distortion [23]. With low cutting forces, cutter deflections can be reduced, which in turn reduces the distortion of the finish part. Lower cutting temperatures reduce the thermal strains induced in the workpiece and high cutting speed enables the thin structure to be machined since chatter is reportedly reduced [23].

4. Effects of inclined milling

For finish milling free form moulds and dies, the cutter path varies along the surface curvature. When finish milling

using a three-axis or five-axis NC machine, the tool axis with respect to the workpiece surface is crucial in achieving optimum workpiece surface roughness and accuracy [24]. A minimum tool or workpiece inclination angle, known as Sturz method or inclined method [25] is defined such that cutter axis or workpiece material is tilted at a constant angle with respect to a surface normal. Ball nose cutter is generally used for finish milling due to the fact that the cutter readily adapts well to machining free form surfaces. However, finish milling on a plane surface generally results in poor tool life since the effective cutting speed at its tip is zero and the effective chip space is very small [26]. A minimum cutter or workpiece inclination angle is therefore needed to avoid cutting at the tip of the cutter. A large inclination angle on the other hand can increase surface roughness due to the reason that the cutter deflects more due to higher cutting forces. In general, four different cutter path orientations are proposed and identified as shown in Fig. 9.

When ball nose end milling on inclined surfaces, the tool-chip contact area varies significantly when using different cutter path orientations. Fig. 10 shows the tool-chip

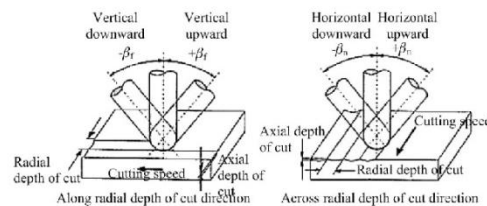


Fig. 9. An illustration of four different cutter path orientations [26].

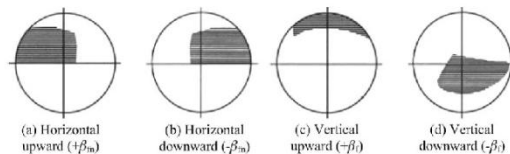


Fig. 10. Tool chip contact areas on cutter planes based on different cutter path orientations [27].

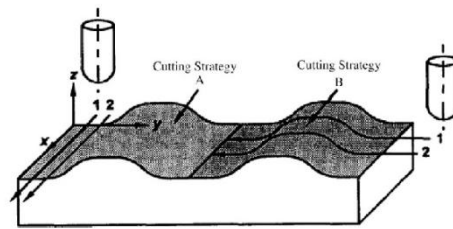


Fig. 11. Sculptured core surfaces and cutter path machining strategies [28].

contact areas on the cutter planes projected along the cutter axis. From the figure, the cutter plane is defined as a circular plane, which is perpendicular to the cutter axis. The cutter path orientation, surface inclination angle and axial depth of cut have a direct influence on the size of the tool–chip contact area. When milling in a vertical upward orientation, the tool chip contact area lies on the upper half of the cutter plane. For vertical downward orientation, the tool–chip contact area shifts toward the centre of the cutter plane. For horizontal upward or downward orientation, the tool–chip contact area moves outward and simultaneously decreasing its width as the surface inclination angle decreases. The chip geometry change due to the inclination angle has a significant effect on cutting forces [27]. Kim et al.'s work [27] on the simulation and experimental results of cutting forces on inclined surfaces showed that axial and radial cutting forces generally decreased as the inclination angle increased when milling in horizontal or vertical upward orientations. It was also observed that cutting forces were in general lower in horizontal cutter path orientations as compared to milling in vertical cutter path orientations. No particular reason is

mentioned in the paper, however, it is highly believed that tool chip contact area has a significant influence.

Further work [28,29] investigated the machining errors caused by cutter deflection when ball nose end milling sculptured surfaces. The authors took into account four main issues such as chip geometry and engagement, cutting force, cutter deflection and deflection sensitivity of the workpiece surface geometry and conducted an experiment to investigate two different cutter path strategies on two adjacent 2D sculptured core surfaces, see Fig. 11. The results showed that machining errors varied over the surfaces and were different for both surfaces, see Fig. 12. The graph shows that for cutting strategy A, when milling in a horizontal downward orientation, larger machining errors resulted as compared to milling in a horizontal upward orientation. In addition, the simulated cutting force magnitude when milling in a horizontal downward orientation was higher than in a horizontal upward orientation. For cutting strategy B, vertical downward orientation caused an undercut machining error. On the other hand, an overcut machining error resulted when milling in a vertical upward orientation.

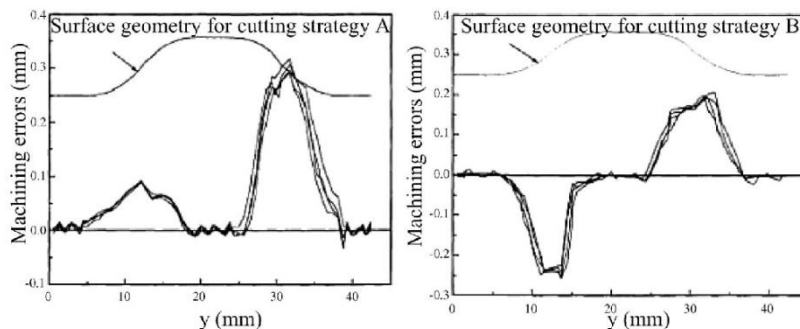


Fig. 12. Effect of cutter path strategies on machining errors [28].

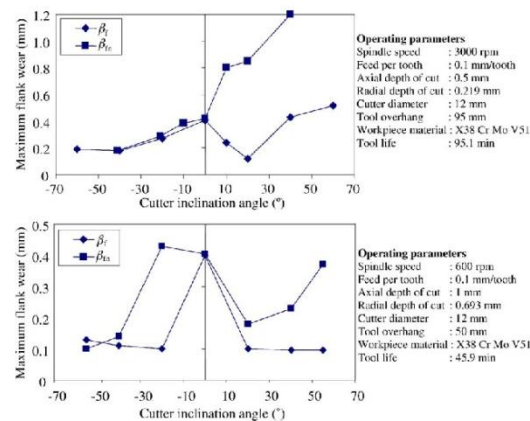


Fig. 13. Effect of cutter inclination angle and tool overhang on maximum flank wear [31].

Lower cutting forces were resulted when milling in a vertical downward orientation, causing the cutter to deflect more towards the machined surface. Conversely for a vertical upward orientation, higher cutting forces resulted and the cutter deflected away from the machined surface resulting in an undercut machining error. The researchers attributed this phenomenon mainly due to chip load distribution and the variation of the specific cutting force coefficients at the ball end part of the cutter. It was concluded that the size of machining errors were also determined by the geometry of the sculptured surface, the cutting direction, cutter deflection, machine tool geometric errors, tool wear and thermal effects [29]. Cutter deflection was identified as the main factor. A surface generation model was also developed to study cutter deflection errors produced by ball nose end milling. This predicted the machining errors accurately and that could provide high product quality and productivity when applied in the automotive and aerospace industries.

Several researchers have addressed cutter path orientations on inclined workpiece surfaces over the past 15 years. Elbestawi et al. [30] stated that for high speed semi-finish and finish milling of AISI H13 hot work tool steel using polycrystalline cubic boron nitride (PCBN) ball nose end mills, a significant increase in tool life was observed when upward milling at an workpiece inclination angle of 10°. The cutter axis was inclined in the feed direction with respect to the surface normal. Tool life increased because the tool workpiece contact area was very small and cutting with the centre of the cutter was avoided.

By increasing the cutter inclination angle with respect to the workpiece, the thickness of cut is reduced. At the same

time, the radial width of cut increases and consequently increases tool chip contact length [31]. Fig. 13 shows the results of the effect of tool overhang and cutter inclination angle on maximum flank wear of the cutters obtained by Tonshoff and Camacho [31]. Their results showed that in general, maximum flank wear decreased with increase in cutter inclination. It was attributed to the fact that cutting work was distributed along the increased cutting edge length that reduced the thermal and mechanical loads acting on the cutting edges. Their results also showed that vertical upward or downward orientations in general fared better than horizontal upward or downward orientations in terms of maximum flank wear regardless of tool overhang. Milling in horizontal upward or downward orientations caused tool chatter due to the combination of cutting force direction and cutter position leading to lower system stiffness. It was further determined that tool overhang had an adverse effect on tool life. By reducing the tool overhang, tool life improved due to lower tool vibrations coupled with higher rigidity.

Schulz and Hock [26] conducted experiments in order to improve the tool life of ball nose end mills using four different cutter path orientations as shown in Fig. 9. It was concluded that a vertical upward orientation at an inclination angle of 15° was found to be the best for maximum tool life because the cutting forces on the cutting edges and the cutter vibrations were minimum, see Fig. 14. Tool life in terms of length cut for a horizontal upward orientation with the cutter perpendicular to the feed direction was the lowest. Different inclination angles were tested in order to avoid engagement of the centre tip of the cutter because the zero speed causing edge chippings would lead to high workpiece

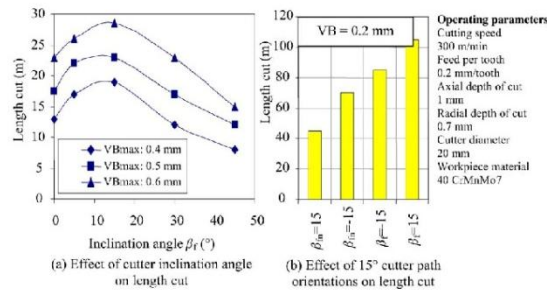


Fig. 14. Effect of cutter inclination angle and cutter path orientations on length cut [26].

surface roughness. It was deduced that thermomechanical loads on the cutting edge increased with greater cutter inclination angles. At the same time, there was a more uniform distribution of cutting speed along the active part of the cutting edge. Another study conducted by Dewes and Aspinwall [32] showed that a longer length of cut was achieved on a horizontal workpiece rather than the one orientated at 60°. It was claimed that a higher average cutting temperature at 60° caused more rapid tool wear.

Chu et al. [33] conducted inclination angle experiments in order to determine the effects of vibration and feed rate on inclined cutter path orientations. The cutter used was uncoated tungsten carbide ball nose end mill and the workpiece material was a zinc-based alloy. Graphs of fast Fourier transform (FFT) on magnitude versus frequency for various inclination angles were plotted with a cutter rotational speed of 3000 rpm, together with axial and radial depths of cut of 0.05 and 0.08 mm, respectively. The results revealed that vertical upward orientation at low inclination angles gave better stability than vertical downward orientation as faster cutting speeds with the former resulted in lower cutting forces. However, as inclination angle increased, vertical downward orientation became more favourable because the angle between the tool axis and the resultant cutting force was much

smaller than with vertical upward orientation. Cutting forces are important in determining workpiece tolerances. Low cutting forces, ideally in the direction of the cutter axis are essential for high workpiece dimensional accuracy. Forces also relate to spindle power and torque requirements. Kruth and Klewais [34] proposed an algorithm, which evaluated the cutter inclination dynamically when milling free form surfaces. They determined that the best surface roughness was always achieved at low inclination angles <10°. The best result was always achieved in a horizontal upward/downward direction using a corner radius end mill.

Ng et al. [35,36] carried out experiments based solely on 45° workpiece inclination on ball nose end milling Inconel 718 nickel based super alloys. Fig. 15 depicts the effect of different cutter path orientations on tool life in terms of length cut using a two-flute ball nose end mill. Their results showed that milling in a horizontal downward direction gave the lowest tool wear and longest length cut regardless of tool coatings used, see Fig. 15(a). The effect of tool coatings and cutter path orientation on resultant cutting forces is shown in Fig. 15(b).

Here, higher cutting forces were observed when milling in downward orientations than in upward orientations. This is in line with the results obtained by Kang et al. [37]. They

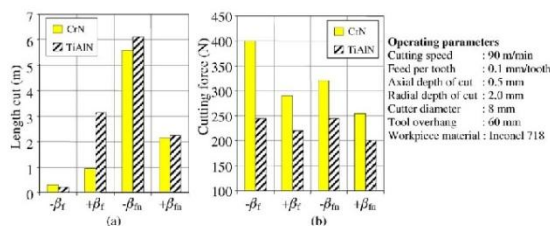


Fig. 15. Effect of cutter path orientations on length cut and cutting forces [35].

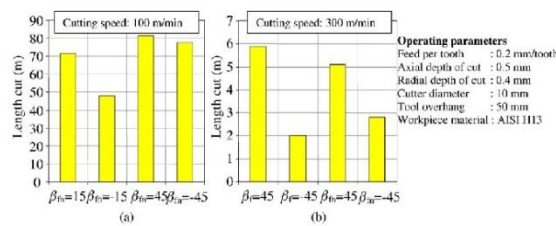


Fig. 16. Effect of different cutter path orientations on length cut [37].

suggested that this was due to lower cutting speed and hence lower cutting temperature that would favour increased workpiece/tool adhesion and BUE. That in fact caused the lowest tool life when milling in a vertical downward orientation. FFT vibration analysis showed that vibrations were present when milling in horizontal upward and vertical upward orientations. They deduced that when milling in downward orientations, the resultant forces acted at an angle of 16–45° from the cutter Z-axis. This meant that the majority of the forces were transmitted to the Z-axis that caused a stable machining process. Whereas with upward orientations, the cutter milled the workpiece at an angle between 45 and 74° from the cutter Z-axis. This created a higher tendency for chatter because the majority of the cutting forces acted to push the cutter away from the machined surface.

Gaida et al. [38] conducted milling tests using two inclination angles of 15° and 60° on P20 cold work tool steel. The cutter path orientation adopted was horizontal upward orientation. Despite the large scatter, tool life was optimal at 60 m/min for 15° and 120 m/min for 60°. A general trend was observed such that tool life decreased with increase in cutting speed. It was also observed that tool life was lower for 60° inclination angle compared to 15° inclination angle. They deduced that this could be due to the difference in cutting speed distribution along the contact zone and the chip formation process at different inclination angles.

Kang et al. [37] carried out comparative studies of milling characteristics on different inclined planes using the four cutter path orientations as shown in Fig. 9. Fig. 16(a) shows that when milling in a horizontal downward orientation at an inclined angle of 15°, tool life was the lowest. It was because up and down milling occurred simultaneously around the tool axis promoting excessive vibrations that resulted in excessive tool chipping and flank wear. Here, the results generally suggested that milling in vertical or horizontal upward orientations gave better results than in vertical or horizontal downward orientations in terms of length cut. From their analysis of results, it was deduced that up and down vibrations occurred along the feed direction when milling in a vertical downward orientation. This in turn resulted in a detrimental effect on tool life. This was in stark contrast with Ng et al.'s results [35,36]. Analysis of the chip formation

for horizontal upward orientation showed that long-wedged shape chips were produced, which showed that stable milling was achieved by dispersing the stresses acting on the cutting edge.

5. Conclusions

There are three main cutter path strategies that are commonly employed in industries namely, offset, raster and single direction raster. The analytical analysis on the cutter path strategies has been mainly on the evaluation and determination of the best cutting angle orientation on a plane surface. Furthermore, a substantial amount of literature study focuses on the entrance and exit effects when the cutter enters or exits a corner. The survey also suggests that inclined machining has been carried out in relation to tool life, cutting force and workpiece surface quality. It can be concluded that tool life is optimum when machining in a vertical upward orientation at an inclined workpiece angle of 15°. When machining at a workpiece inclination angle of 45° or above, the general consensus is that downward orientation in particular the horizontal downward orientation is preferable in terms of longer tool life.

Finish milling are the subject of attention for most of the work mentioned above. In comparison, rough milling appears to receive little attention. Furthermore, there is little or no data on the effects of cutter path strategies and orientations on workpiece surface integrity. Future work will focus on these two main areas when adopting a high speed milling methodology.

Acknowledgements

The author would like to extend his gratitude to Professor Alan Ball, former head of the School of Manufacturing and Mechanical Engineering, Professor Mike Loretto, former head of the Interdisciplinary Research Centre, Mr. David Aspinwall, Head of the Machining Research Group for the provision of facilities and Universities UK for funding via the award of an Overseas Research Scholarship. Thanks also

extend to Mr. Steve Hobbs, Delcam International Plc. and Mr. Alan Pearce, Miracle Engineering Europe for their involvement in this project.

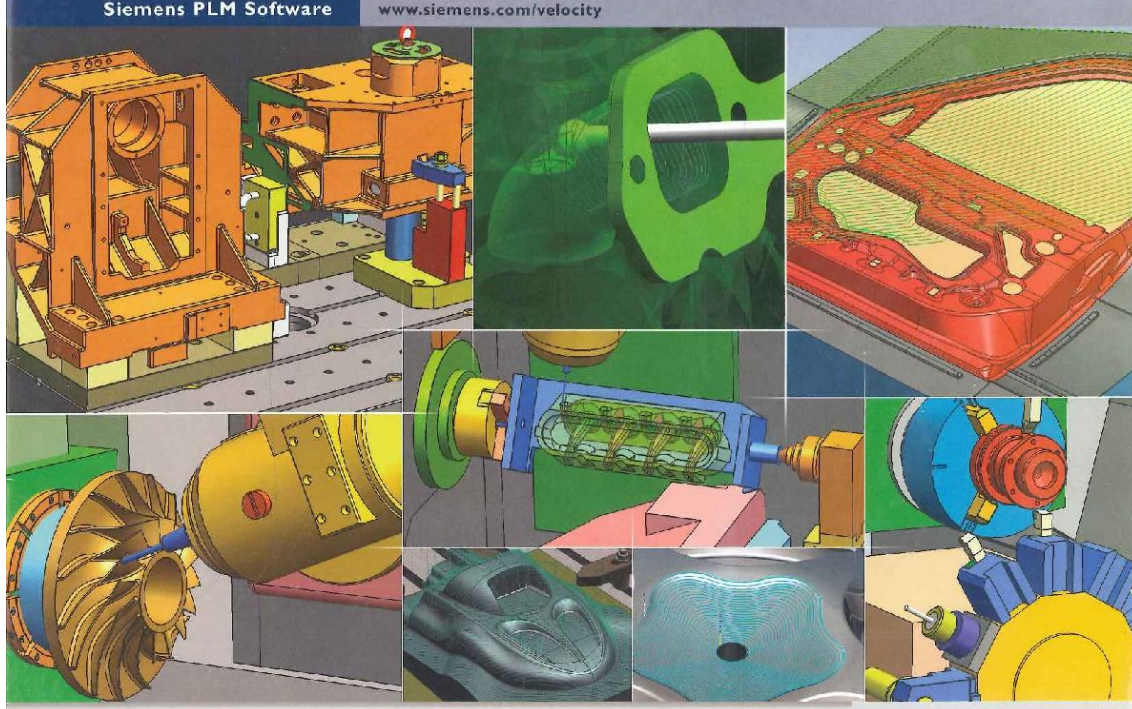
References

- [1] P.V. Prabhu, A.K. Gramopadhye, H.P. Wang, A general mathematical model for optimising NC tool path for face milling of flat convex polygonal surfaces, *Int. J. Prod. Res.* 28 (1) (1990) 30–101.
- [2] Y.S. Suh, K.W. Lee, NC milling tool path generation for arbitrary pockets defined by sculptured surfaces, *Comput.-Aided Des.* 22 (5) (1990) 273–284.
- [3] A. Hatna, R.J. Grieve, P. Broomhead, Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issue, *Comput. Integr. Manuf. Syst.* 11 (4) (1998) 309–330.
- [4] S.E. Sarma, The crossing function and its application to zigzag tool paths, *Comput.-Aided Des.* 31 (9) (1999) 881–890.
- [5] K. Tang, S.Y. Chou, L.L. Chen, An algorithm for reducing tool retractions in zigzag pocket machining, *Comput.-Aided Des.* 30 (2) (1998) 123–129.
- [6] H. Wang, H. Chang, R.A. Wysk, A. Chandawarkar, On the efficiency of NC tool path planning for face milling operations, *J. Eng. Ind., Trans. ASME* 109 (4) (1987) 370–376.
- [7] R. Lakkaraju, S. Raman, Optimal NC path planning: is it really possible? *Comput. Ind. Eng.* 19 (1–4) (1990) 462–464.
- [8] A.T.M. Jamil, A semi-analytical method of finding an optimum cutter path for face milling 3-sided convex surfaces, *Int. J. Prod. Res.* 36 (2) (1998) 343–355.
- [9] R.H. Sun, Y.C. Tsai, An analytical model for optimisation of NC tool path, *J. Chin. Soc. Mech. Eng.* 14 (5) (1993) 483–491.
- [10] R.K. Lakkaraju, S. Raman, S.A. Irani, An analytical model for optimisation of NC tool cutting path, *Int. J. Prod. Res.* 30 (1) (1992) 109–127.
- [11] J.C. Arantes, P. Sriramulu, Optimisation of tool path in staircase milling operation, in: *Proceedings of the second Industrial Engineering Research Conference*, 1993, pp. 345–349.
- [12] Y.S. Gay, D. Veeramani, Hybrid machining strategy for 2.5D pocket machining, in: *Proceedings of the 1996 Fifth Industrial Engineering Research Conference*, Minneapolis, MI, USA, 1996, pp. 187–192.
- [13] C.G. Fry, T.L. Fry, S. Raman, Experimental verification of tool wear effects in alternate path traversal in milling, in: *Proceedings of the 1999 ASME Energy Sources Technology Conference*, Houston, TX, USA, 1999, 10 pp.
- [14] S. Raman, R. Lakkaraju, The effect of tool life and other process variables in NC path planning, *Comput. Ind. Eng.* 24 (2) (1993) 315–328.
- [15] K.W. Ng, S. Raman, Forces, surface error and path length in tool path selection, in: *Proceedings of the 1997 Sixth Annual Industrial Engineering Research Conference*, Miami Beach, FL, USA, 1997, pp. 948–953.
- [16] S. Raman, R.K. Lakkaraju, Incorporation of tool life variables in NC path planning, *Int. J. Prod. Res.* 30 (11) (1992) 2545–2558.
- [17] S. Coromant, Die and Mould Making: Application Guide, C-1120: 2 Eng., 1999.
- [18] J. Kloyprayan, Y.S. Lee, Material engagement analysis of different end mills for adaptive control in milling processes, *Comput. Ind. Eng.* 47 (1) (2002) 55–76.
- [19] K.M.Y. Law, A. Geddam, Prediction of contour accuracy in the end milling of pockets, *J. Mater. Process. Technol.* 113 (1–3) (2001) 399–405.
- [20] H. Iwabe, Y. Fujii, K. Saito, T. Kishinami, Study on corner cut by end mill, *Int. J. Jpn. Soc. Precis. Eng.* 28 (3) (1994) 218–223.
- [21] C.H. Chu, D. Dornfield, Tool path planning for avoiding exit burrs, *J. Manufact. Process.* 2 (2) (2000) 16–123.
- [22] S. Smith, D. Dvorak, Tool path strategies for high speed milling aluminium workpieces with thin webs, *Mechatronics* 8 (4) (1998) 291–300.
- [23] E.I. Agba, D. Ishee, J.T. Berry, High speed machining of unsupported thin-walled structures, in: *Proceedings of the Third International Machining and Grinding Conference*, MR99-204, Cincinnati, OH, USA, 1999, 10 pp.
- [24] R. Baptista, J.F.A. Simoes, Three and five axes milling of sculptured surfaces, *J. Mater. Process. Technol.* 103 (3) (2000) 398–403.
- [25] P. Gray, S. Bedi, N. Rao, G. Morphy, Comparison of 5-axis and 3-axis finish machining of hydroforming die inserts, *Int. J. Adv. Manufact. Technol.* 17 (8) (2001) 562–569.
- [26] H. Schulz, S. Hock, High speed milling of dies and moulds—cutting conditions and technology, *Ann. CIRP* 44 (1) (1995) 35–38.
- [27] G.M. Kim, P.J. Cho, C.N. Chu, Cutting force prediction of sculptured surface ball end milling using Z-map, *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 40 (2) (2000) 277–291.
- [28] E.M. Lim, H.Y. Feng, C.H. Menq, Z.H. Lin, The prediction of dimensional error for sculptured surface productions using the ball end milling process. Part 1. Chip geometry analysis and cutting force prediction, *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 35 (8) (1995) 1149–1169.
- [29] E.M. Lim, C.H. Menq, The prediction of dimensional error for sculptured surface productions using the ball end milling processes. Part 2. Surface generational model and experimental verification, *Int. J. Mach. Tools Manufact.* 35 (8) (1995) 1171–1185.
- [30] M.A. Elbestawi, L. Chen, C.E. Becze, T.I. El-Wardany, High speed milling of dies and moulds in their hardened state, *Ann. CIRP* 46 (1) (1997) 57–62.
- [31] H.K. Tonshoff, J.H. Camacho, Die manufacturing by 5- and 3-axes milling, *J. Mech. Work. Technol.* 20 (1989) 105–119.
- [32] R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, New developments in the high speed machining of hardened mould and die steels, *Time-Compress. Technol.* 6 (6) (1999) 52–58.
- [33] C.N. Chu, S.Y. Kim, J.M. Lee, Feed rate optimisation of ball end milling considering local shape features, *Ann. CIRP* 46 (1) (1997) 433–436.
- [34] J.P. Kruth, P. Klewais, Optimisation and dynamic adaptation of the cutter inclination during five-axis milling of sculptured surfaces, *Ann. CIRP* 43 (1) (1994) 443–448.
- [35] E.-G. Ng, D.W. Lee, A.R.C. Sharman, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, High speed ball nose end milling of Inconel 718, *Ann. CIRP* 49 (1) (2000) 41–46.
- [36] E.-G. Ng, D.W. Lee, R.C. Dewes, D.K. Aspinwall, Experimental evaluation of cutter orientation when ball nose end milling Inconel 718TM, *J. Manufact. Process.* 2 (2) (2001) 108–115.
- [37] M.C. Kang, K.K. Kim, D.W. Lee, J.S. Kim, N.K. Kim, Characteristics of inclined planes according to the variations of cutting direction in high speed ball end milling, *Int. J. Adv. Manufact. Technol.* 17 (5) (2001) 323–329.
- [38] W.R. Gaida, C.A. Rodriguez, T. Altan, Y. Altintas, Preliminary experiments for adaptive finish milling of die and mould surfaces with ball nose endmills, in: *Proceedings of the North American Manufacturing Research Conference (NAMRC XXIII)*, Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Houghton, MI, USA, 1995, pp. 193–198.

7.6 Programas CAM

CAM Express
Ofrecer valor de máquinas herramientas

Siemens PLM Software www.siemens.com/velocity



Un software CAM probado y funcional, que ofrece un rango y una profundidad de programación excelentes y proporciona el máximo rendimiento de las máquinas herramientas: el software CAM Express es fácil de usar y de aprender y muy rentable.

VELOCITY SERIES

SIEMENS

Eficacia en un mercado global competitivo

Para poder ser competitivos en un mercado global, los fabricantes y tiendas de maquinaria deben aprovechar al máximo las máquinas herramientas más eficaces, innovadoras y capaces, como las fresadoras de alta velocidad, las máquinas de 5 ejes o los equipos de fresado-torneado multifunción.

Para obtener el rendimiento esperado de estas inversiones, es obligatorio poder utilizar estas avanzadas máquinas herramientas de forma eficaz y hacerlo lo más rápidamente posible.

A un reducido porcentaje del coste de las máquinas, el software avanzado CAM, respaldado por un proveedor de primera clase, puede aprovechar un valor incremental importante de la adquisición de estas máquinas herramientas nuevas.

Alto rendimiento a un bajo coste de propiedad

Para cubrir los presupuestos y los objetivos empresariales, los clientes necesitan aplicaciones de software CAM que combinen rango y profundidad de capacidad además de un rendimiento técnico avanzado con un reducido coste total de propiedad.

El rendimiento incremental de la inversión en máquinas herramientas nuevas es un factor clave a la hora de reducir el verdadero coste de propiedad y el valor del software CAM avanzado.

Un precio de software competitivo, la facilidad de implementación y de utilización con una curva de aprendizaje corta constituyen factores directos hacia un bajo coste de propiedad.

Un sistema que ofrece ayuda al usuario acerca de cómo abordar una tarea de programación de control numérico y a continuación automatiza algunas partes estándar de dicho trabajo, puede contribuir en gran medida a la hora de convertir al programador de control numérico menos experimentado en una persona más productiva y reducir costes de forma anticipada.

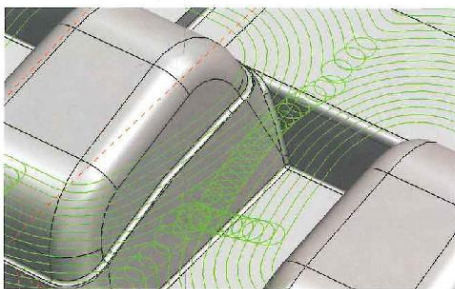
Elevar al máximo el valor de máquinas herramientas avanzadas

Programación de control numérico probada y en profundidad de Siemens

Siemens PLM Software cuenta con más de 25 años de experiencia y una amplia gama de clientes en programación de control numérico, desde las empresas de ingeniería más grandes del mundo hasta varios miles de pequeñas tiendas de maquinaria.

Aprovechando su capacidad reconocida en software CAM, Siemens ofrece CAM Express para proporcionar la capacidad avanzada que necesitan los programadores de control numérico para utilizar plenamente máquinas herramientas avanzadas y eficaces.

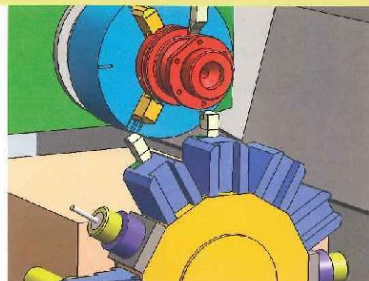
CAM Express es un sistema muy flexible y exhaustivo gracias al cual los usuarios pueden aumentar al máximo el valor de sus inversiones en las máquinas herramientas más recientes, más eficaces y más capaces.



Respecto a las máquinas de fresado de alta velocidad, la funcionalidad en profundidad y los métodos probados del cliente integrados en CAM Express ayudan a aumentar al máximo el volumen de eliminación de material al tiempo que optimizan la vida útil de la máquina: los objetivos principales de las máquinas de alta velocidad.

La capacidad de mecanizar de forma precisa las partes más complejas puede ofrecer una gran ventaja competitiva. CAM Express contribuye a eleva al máximo el valor de las nuevas máquinas de 5 ejes al ofrecer programas de control numérico eficaces incluso para las tareas más exigentes.

Las máquinas de fresado-torneado pueden proporcionar un importante ahorro de taller. CAM Express tiene el rango y la profundidad necesarios para tratar la programación de estas máquinas gracias a unas configuraciones típicas innovadoras.

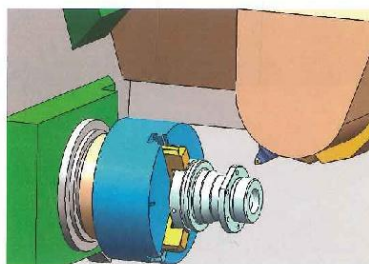
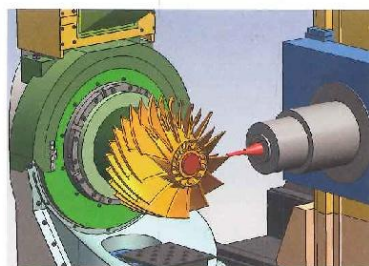


VALOR PROBADO

Máxima valoración para Siemens PLM Software

CIMdata considera que la oferta CAM de Siemens PLM Software se encuentra "entre las ofertas de producto más sólidas que hay en el sector".

Extraído del 17º informe anual de CIMdata para el mercado del CN



La ventaja de CAM Express

Paquetes modulares centrados en la industria

CAM Express está disponible en paquetes centrados en aplicaciones para:

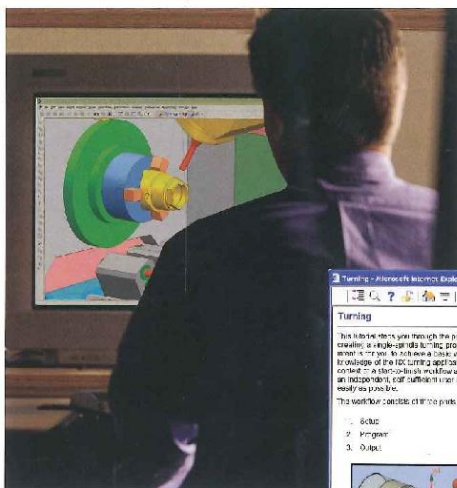
- Mecanizado de 2 1/2 ejes
- Mecanizado de 3 ejes
- Mecanizado de fresado-torneado
- Mecanizado avanzado

CAD neutro

CAM Express se ha diseñado para utilizarse independientemente de cualquier sistema CAD específico. Cuenta con traductores industriales clave para la importación de datos.

Integrado con Solid Edge y NX

CAM Express también se encuentra disponible para su uso integrado con aplicaciones CAD de Siemens (software NX[®] o Solid Edge[®]) basado en los mismos paquetes descritos anteriormente.



Una solución completa

Una base completa en cada paquete

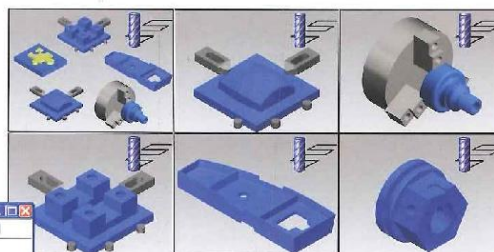
Cada paquete de CAM Express se entrega con una base completa de tecnología fundamental que incluye acceso a la biblioteca de postprocesadores en línea de Siemens, una aplicación gráfica para la creación y edición de postprocesadores, comprobación de trayectorias de herramienta, traductores de archivos CAD, ayuda en línea, documentación de taller, tratamiento de ensamblajes, acceso a la biblioteca de parámetros de mecanizado con datos probados y mucho más.

Soporte al cliente de primera clase

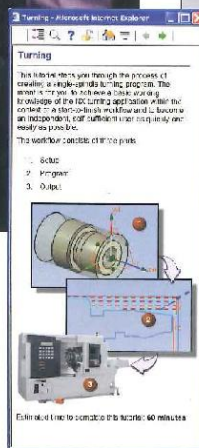
Basado en los 25 años de éxito de Siemens en el mercado del CAM ofreciendo software probado y fiable, CAM Express está respaldado con un soporte técnico de primera clase.

Preconfigurado con las prácticas recomendadas del sector

Los entornos de usuario preconfigurados preparan el sistema para su uso inmediato con el fin de tratar los tipos convencionales de programación y ayudan a aplicar las prácticas recomendadas del sector.



Las guías de flujo de trabajo ayudan a obtener un inicio rápido que reduce el tiempo necesario para ser totalmente productivo.



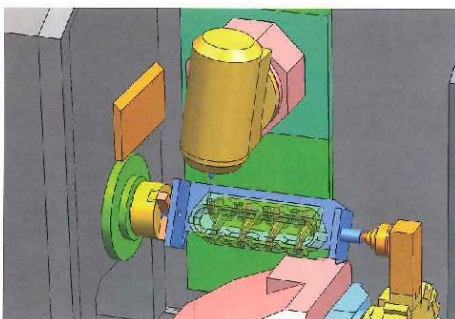
Fácil de implementar

Biblioteca de postprocesadores en línea

Siemens ofrece un acceso en línea a una biblioteca de postprocesadores respaldada por el Global Technical Access Center (GTAC) de Siemens. Los clientes pueden buscar y descargar archivos de postprocesadores directamente en CAM Express, lo que permite ahorrar tiempo y ser más productivos.

Kits de soporte de máquinas herramientas

Las máquinas avanzadas necesitan postprocesamiento avanzado y simulaciones completas en 3D. Siemens trabaja con fabricantes de máquinas herramientas para crear y ofrecer combinaciones probadas de éstas con ejemplos, configuraciones listas para usar y documentación.



VALOR PROBADO

"CAM Express tiene por objeto ofrecer una capacidad exhaustiva para las áreas principales claramente definidas de la maquinaria, como las máquinas de moldeado y troquelado o las de fresado-torneado, en un software fácil de implementar y utilizar. Un fácil acceso a los elementos clave, como una biblioteca de postprocesadores o un software preconfigurado con las prácticas recomendadas del sector, hacen más fácil y rápido que los clientes sean más productivos, y todo ello a un menor coste."

Alan Christman
Presidente, CIMdata

Fácil de utilizar

Navegadores

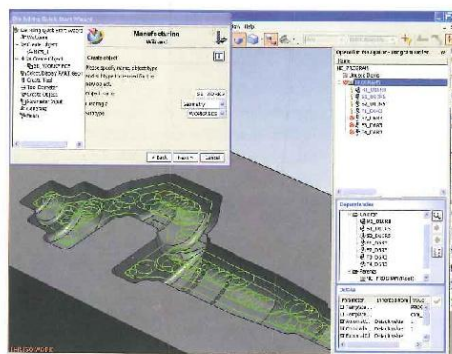
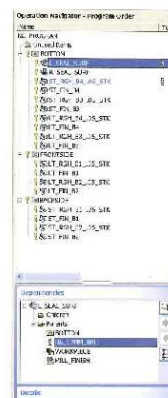
CAM Express incluye una serie de navegadores coherentes que gestionan los elementos clave del sistema. Proporcionan un software potente y fácil de usar.

Uso de plantillas

Las plantillas se utilizan exhaustivamente en todo el sistema para capturar y volver a aplicar métodos, geometrías, configuraciones, operaciones y selecciones de herramienta. Son fáciles de usar y optimizan las tareas de programación.

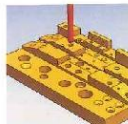
Asistentes

Los asistentes ofrecen al usuario un nivel completamente nuevo de interacción automatizada. Prácticamente cualquier persona puede seguir los pasos. CAM Express se entrega con el generador de asistentes de arrastrar y soltar.



Toda una gama de funciones

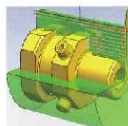
CAM Express ofrece una amplia gama de funciones de programación de control numérico en profundidad, de modo que se evita la necesidad y el coste de contar con varios sistemas CAM en la tienda de maquinaria, lo que ofrece flexibilidad al usuario y aumenta el valor de la inversión de software en un producto.



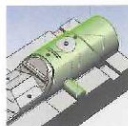
Taladrado: realiza el taladrado, escariado, perforado, troquelado, punzado y ciclos personalizados. La realización automatizada de agujeros se encuentra disponible en las opciones de mecanizado basadas en operaciones.



Fresado de 2 1/2 ejes: se pueden aplicar 2 modelos de 1/2 eje en función de los datos de límites básicos o de la geometría de sólidos. El fresado en zig-zag, de compensación o de inmersión son ejemplos de las trayectorias de herramienta que se ofrecen. También se encuentran disponibles trayectorias de herramienta de desbastado de alta velocidad, como las trocoidales. Las funciones de mecanizado basadas en características automatizan la identificación y programación de ranuras y caras.



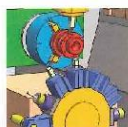
Torneado: una solución completa que resulta fácil de usar con programas sencillos y lo suficientemente capaz como para abordar las geometrías más difíciles en aplicaciones de varios husos o varias corretas. El sistema puede funcionar con sólidos, tramas alámbricas o incluso perfiles 2D.



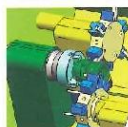
Fresado de 3 ejes: para el desbastado, el fresado de restos, el semiacabado y el acabado de las superficies con contornos, con un conjunto completo de estrategias de fresado para cubrir las dificultades de la geometría compleja. Esta capacidad incluye funciones adicionales necesarias para el mecanizado de alta velocidad.



EDM con cable: una solución completa para programar 2 máquinas EDM con cable de 4 ejes. Se encuentra disponible toda una serie de operaciones con cable, incluido el perfil de varios pasos, la inversión de cable y la eliminación de áreas.



Sincronización: una forma gráfica de mostrar un número ilimitado de canales, con código de desplazamiento en varios formatos, visualización de tiempo y funciones para añadir códigos de espera y sincronización. El gestor de sincronización está directamente vinculado al postprocesador interno y se ejecuta desde la salida enviada para una mayor precisión.



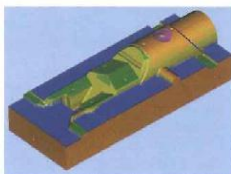
Simulación de mecanizado: con el fin de evitar dedicar una máquina a realizar pruebas que no son productivas, la simulación integrada de la máquina herramienta ofrece una simulación más completa que la mayoría de los sistemas gracias a un movimiento dirigido por el código de la máquina.



Fresado de 5 ejes: CAM Express ofrece funciones de programación de 5 ejes muy flexibles que combinan elementos altamente automatizados para las tareas tediosas (como la selección de geometrías) y un control de usuario detallado para un mecanizado preciso.

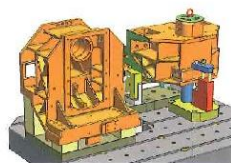
Una base completa

CAM Express incluye funciones que otros sistemas no pueden ofrecer ni presentar como una ventaja. Los programadores de control numérico necesitan un conjunto completo de capacidades que respalden y mejoren la tarea de programación.



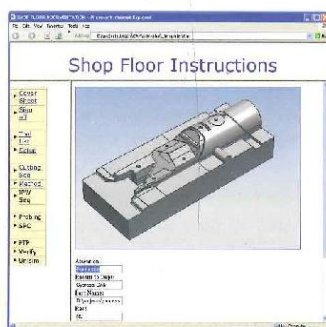
Comprobación de la trayectoria de herramienta

Con desplazamiento de pantalla y zoom dinámicos durante la reproducción y la visualización de la eliminación de material.



Entorno de ensamblaje

Utilice las herramientas de modelado de ensamblaje de CAM Express para crear entornos detallados de máquinas o para colocar piezas y monturas.



Documentación de taller

CAM Express genera automáticamente la documentación, incluidas las hojas de configuración, las secuencias de las operaciones y las listas de herramientas. Se obtienen en formato de texto ASCII o HTML para el acceso por intranet para taller.

Bibliotecas

Las herramientas, máquinas, parámetros de corte, plantillas y artículos se organizan para una reutilización eficaz y una sencilla selección.

Los datos de los parámetros de mecanizado se extraen automáticamente de la biblioteca a medida que se van creando las operaciones.

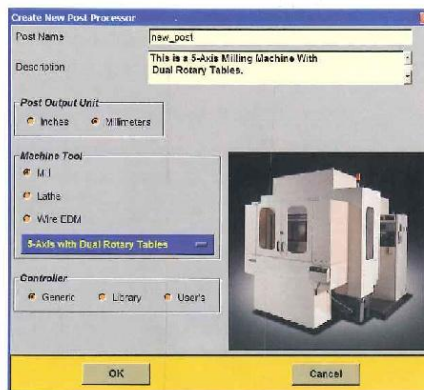


Cada paquete de CAM Express también incluye:

- Una serie completa de traductores de archivos CAD
- Funciones de edición de modelos para afrontar cualquier manipulación de modelo que se requiera para la programación de control numérico, incluidas las innovadoras funciones de modelado síncrono
- Una base de datos de parámetros de corte con los datos introducidos con anterioridad para los materiales utilizados más habitualmente
- Ayuda en línea completa
- Acceso a la biblioteca de postprocesadores en línea directamente desde CAM Express

Postprocesamiento integrado

CAM Express incluye una función de generación gráfica de postprocesadores. Unas sencillas selecciones en los menús es todo lo que se necesita para generar o editar un postprocesador.

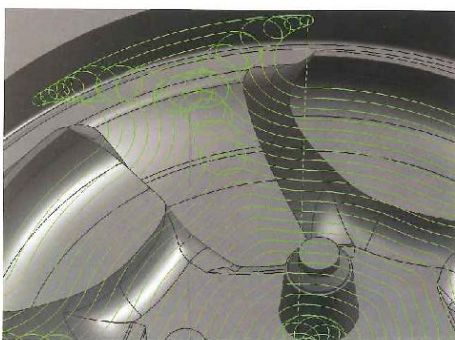


Máxima eficacia de taller

Mecanizado de alta velocidad

Las máquinas de alta velocidad han transformado las actividades de moldeado y troquelado. Unos acabados más ajustados, una mayor precisión, menos electrodos y menor tiempo de elaboración son la recompensa para los fabricantes que pueden programar estas máquinas de forma eficaz.

Para elevar al máximo el valor de la tecnología de trayectorias de herramienta avanzadas, los usuarios de CAM Express tienen acceso a los métodos probados y los conocimientos necesarios para ofrecer una solución de mecanizado eficaz de alta velocidad.



Los modelos de desbastado de alta velocidad mantienen las cargas de viruta especificadas sin sobrecarga.

[illegible]

Los datos de los parámetros de mecanizado se extraen automáticamente de la biblioteca a medida que se van creando las operaciones.

CAM Express atiende las demandas del mecanizado de alta velocidad

Eliminación de material uniforme

Una serie de métodos, incluidos los movimientos trocoidales, garantiza un nivel constante de eliminación de material.

Fresado de restos

El fresado en Z y el cortado de valle reservan las herramientas más pequeñas únicamente para las regiones necesarias.

Acabado coherente

Una serie de métodos ofrecen saltos con espaciado uniforme, independientemente de que las superficies sean pronunciadas o poco profundas.

Corte suave continuo

La tecnología de mecanizado de flujo libre proporciona patrones de corte suavizados e ininterrumpidos que resultan ideales para el mecanizado de alta velocidad.

Datos de mecanizado probados e integrados

Los datos de mecanizado precisos y probados en CAM Express ayudan al programador a lograr resultados óptimos.

Salida ajustada para el mecanizado de alta velocidad

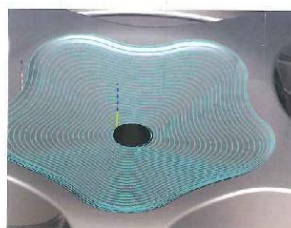
Las trayectorias de herramienta se optimizan para los controladores de alta velocidad de la máquina con puntos distribuidos uniformemente, interpolaciones suaves y opciones de salida de splines.

Control de estriado

Siemens ofrece a los operarios un método para calibrar sus equipos mediante el cual se evita el estriado que limita la velocidad de alimentación y la profundidad de corte.

Operación de optimización

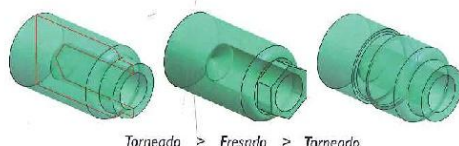
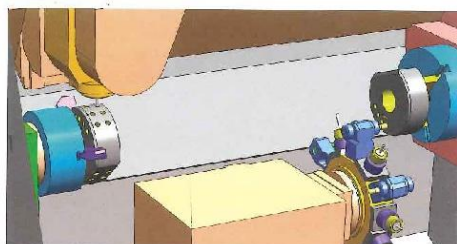
Siemens introduce la operación de optimización para ofrecer un planteamiento completamente nuevo a la creación de trayectorias de herramienta. La operación de optimización se puede comparar con el concepto de un líquido que fluye por una pieza que se va a mecanizar o por encima de ella. El resultado se traduce en trayectorias de flujo libre que siguen de forma natural el contorno de la pieza global.



La operación de
optimización
proporciona una
calidad de acabado
excelente

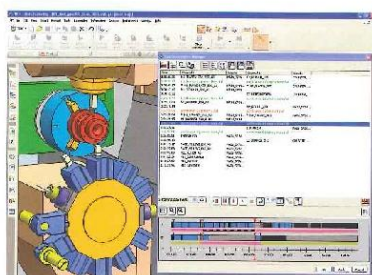
Programación de máquinas multifunción

La maquinaria de varias torretas, varios husos y de fresado-torneado proporciona una eficacia de producción incluso mayor, ya que una máquina sustituye a varias. El reto es programar esas máquinas y aprovechar sus innovadoras funciones y reducir al mínimo la duración de los ciclos.



Simulación de mecanizado

CAM Express ofrece una simulación precisa al utilizar los códigos G reales en lugar de la representación interna de trayectorias de herramienta. La simulación funciona directamente con el gestor de sincronización, todo ello integrado en CAM Express.



Fresado-torneado

CAM Express cuenta con todos los componentes necesarios para programar eficazmente equipos multifunción como máquinas combinadas de fresado-torneado.

Todos los elementos funcionan conjuntamente en un entorno de usuario coherente; el programa resultante de fresado-torneado aparece inmediatamente en el navegador de operaciones.

Postprocesamiento de máquinas multifunción

CAM Express tiene una completa función de postprocesamiento que permite gestionar fácilmente postprocesadores de varios canales. El postprocesador se conecta directamente a las trayectorias de herramienta y la base de datos de mecanizado en lugar de interpretar los archivos CL.

Piezas en proceso

El mantener un seguimiento del estado de proceso de las piezas es un componente clave de un fresado-torneado eficaz. CAM Express utiliza una sólida tecnología para ofrecer una transferencia uniforme de la configuración de las piezas entre el fresado y el torneado.

Sincronización

Los centros de torneado de varias torretas y varios husos se pueden sincronizar fácilmente en CAM Express, con visualización completa y comparaciones de tiempo. Dichas herramientas ofrecen las visualizaciones de secuencias fundamentales que permiten optimizar la duración del ciclo.

Mecanizado basado en características

Reconocimiento de características

La sólida función de reconocimiento de características las encuentra en la topología de cualquier modelo, incluidos los datos importados.

Base de conocimientos

El potente editor de conocimientos aplica elementos básicos de procesos de plantilla para mecanizar una amplia gama de características.

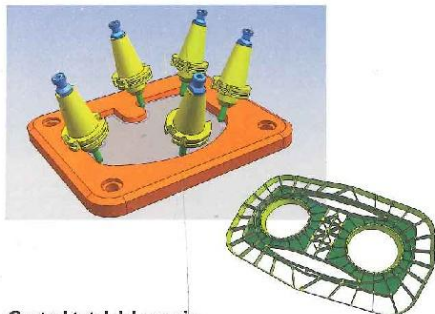
Programación de piezas complejas

Mecanizado de 5 ejes

La geometría compleja requiere la versatilidad de las máquinas herramientas de 5 ejes. Para programarlos se necesita un software flexible y un importante control del usuario. La comprobación de colisiones y la simulación precisa de la máquina reducen la necesidad de realizar una comprobación en funcionamiento.

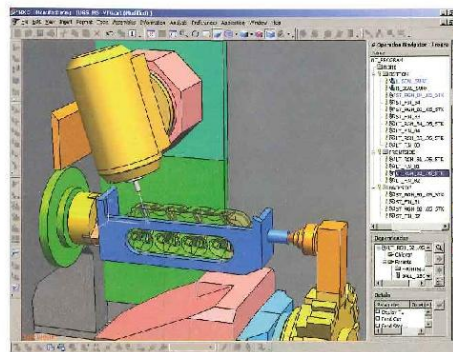
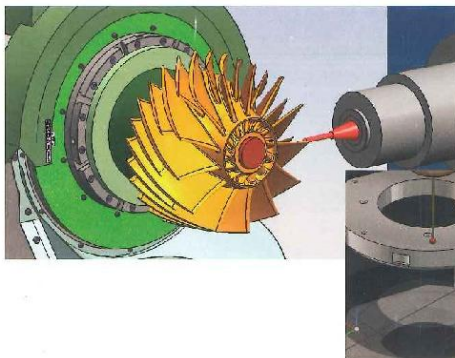
Programación optimizada y automatizada

CAM Express permite un mecanizado rápido y preciso de las piezas aeroespaciales complejas típicas. La selección de la geometría está muy automatizada a fin de contar con una programación más fácil y rápida y la comprobación de colisiones reduce el riesgo de cometer errores.



Control total del usuario

Cuando se necesita un control preciso sobre el eje de la herramienta a medida que ésta se mueve a lo largo de las superficies, CAM Express proporciona al usuario una capacidad completa de dirección/pieza/comprobación.



Modelos 3D cortesía de Mori Seiki

Simulación de mecanizado

La simulación de mecanizado integrada en CAM Express elimina la necesidad de contar con un software externo para esta tarea.

Simulación de mecanizado dirigida por códigos

La simulación de CAM Express se controla mediante la salida del postprocesador, lo que garantiza que todo el movimiento del programa final esté disponible para su revisión.

Visualización simultánea

El usuario puede revisar la eliminación simultánea de metal con una trayectoria de herramienta en directo en el contexto de una simulación total de la máquina herramienta, con desplazamientos de pantalla y zoom dinámicos de la vista.

Detección de colisiones

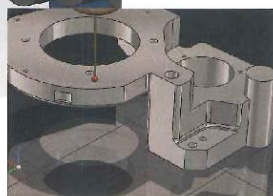
El sistema detecta las colisiones reales o próximas entre la pieza, la pieza en proceso, las herramientas y monturas y la estructura de la máquina herramienta.

Sin necesidad de duplicación

No es necesario transferir datos a ningún otro sistema. Todo está en CAM Express, lo que permite ahorrar tiempo y reducir el número de errores.

Sondeos en máquina

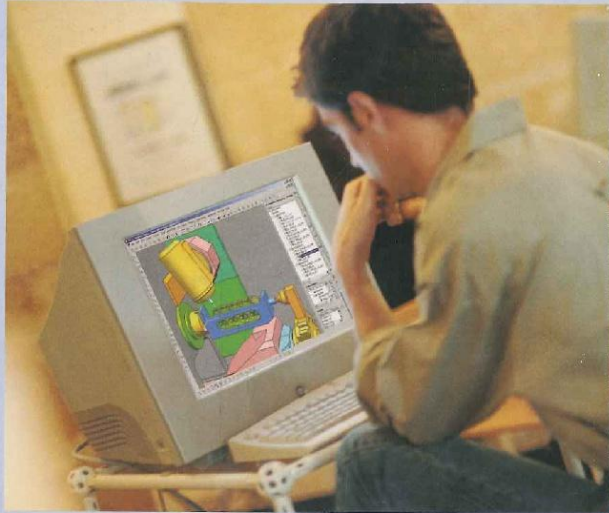
Los ciclos de sondeo en máquina disponibles se simulan con herramientas sólidas para obtener una visualización completa.



CAM Express

CAM Express es:

1. Es un sistema muy flexible y exhaustivo de programación de control numérico que permite a los usuarios aumentar al máximo el valor de sus inversiones en las máquinas herramientas más recientes, más eficaces y más capaces.
2. Está disponible como software probado y fiable de Siemens, el proveedor CAM nº 1, con más de 25 años de éxito en el mercado CAM.
3. Se suministra con soporte de software de primera clase de Siemens.
4. Se ofrece en paquetes neutros modulares CAD para adaptarse a los requisitos clave del sector.
5. Está disponible como paquetes integrados con aplicaciones CAD de Siemens (NX y Solid Edge), que ofrecen toda una gama CAD/CAM con valor y capacidades líderes del mercado.
6. Se empaqueta con una base completa de funciones principales, desde la creación y edición de postprocesadores hasta la salida de la documentación de taller.
7. Es un sistema CAM de amplia gama que permite al taller tener únicamente un solo paquete de software CAM de un proveedor para cubrir todos los requisitos de simulación de mecanizado y programación.
8. Está preconfigurado según las prácticas recomendadas del sector para aumentar la productividad del usuario, con entornos que éste puede seleccionar para ajustar los tipos clave de mecanizado.
9. Es fácil de instalar y usar con acceso en línea a la biblioteca de postprocesadores de Siemens y opciones para kits completos de soporte de máquinas herramientas.
10. Está diseñado para ofrecer un bajo coste total de propiedad.



Paquetes CAM Express

En la tabla se muestra el contenido funcional de cada paquete de CAM Express. Cada paquete contiene la extensa base de las funciones principales.

Familia de productos CAM Express

	Mecanizado de 2 ejes	Mecanizado de 3 ejes	Mecanizado de fresado-torneado	Mecanizado avanzado
Base	•	•	•	•
Fresado de 2 ejes	•	•	•	•
Torneado	•		•	•
Fresado de 3 ejes		•		•
EDM con cable		•		•
Simulación de mecanizado			•	•
Sincronización			•	•
Fresado de 5 ejes				•

Acerca de Siemens PLM Software
Siemens PLM Software, unidad de negocio de Siemens Industry Automation Division, es proveedor líder global de software y servicios para la gestión del ciclo de vida del producto (PLM) y cuenta con 5,5 millones de licencias y 51.000 clientes en todo el mundo. Con sede central en Plano, Texas, las soluciones empresariales abiertas de Siemens PLM Software permiten un mundo en el que las organizaciones y sus socios colaboren mediante redes globales de innovación para ofrecer productos y servicios de primera clase. Para obtener más información sobre los productos y servicios de Siemens PLM Software, visite www.siemens.com/plm.

Siemens PLM Software lleva a una mayor innovación

No existe un único camino hacia la innovación, pero existen indicadores que ponen de manifiesto que sigue la dirección correcta. Los líderes innovadores llegan antes al mercado, gestionan el cumplimiento de normativas, optimizan los recursos y consiguen la globalización. También tienen cuatro veces más posibilidades de utilizar software de PLM para planificar, desarrollar, ejecutar y proporcionar asistencia a sus productos. El paquete de soluciones PLM de Siemens PLM Software ayuda a las empresas a establecer redes globales de innovación que transforman su proceso de innovación. Lleve su empresa a una mayor innovación y acelere su crecimiento.



ACCELERAR



CUMPLIR NORMAS



OPTIMIZAR



GLOBALIZAR

SIEMENS

Sedes corporativas

América
800 807 2200
Fax 314 264 8922

Europa
+44 (0) 1202 243455
Fax +44 (0) 1202 243465

Asia-Pacífico
+852 2230 3308
Fax +852 2230 3210

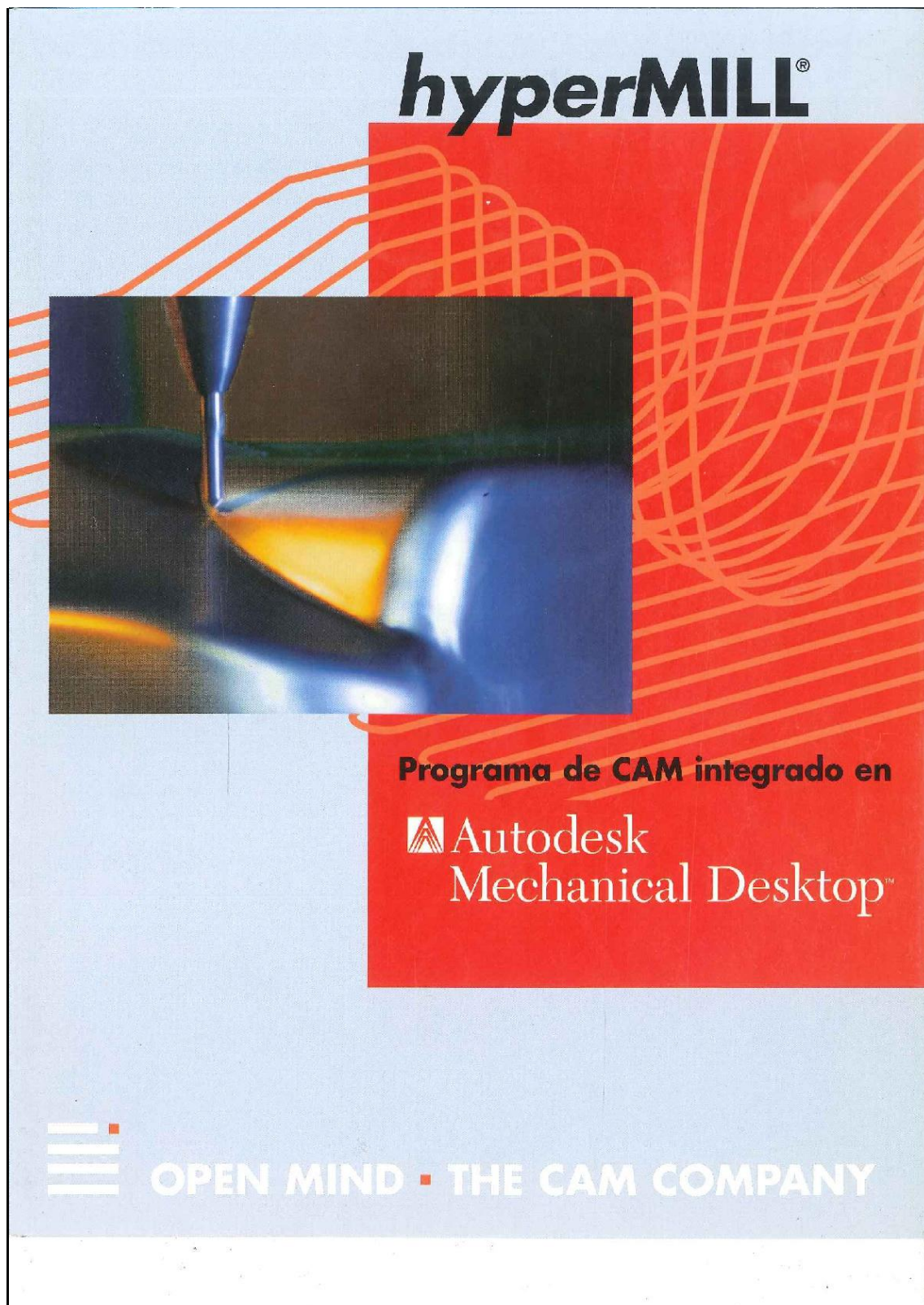
Passeig de Gràcia, 56 4^a C
08007 Barcelona
Tel. 93 510 22 00
Fax 93 510 22 85
barcelona.plm@siemens.com

Parque Tecnológico de Zamudio
C/ Laida Edificio 205 Planta 1^a
48170 Zamudio
Tel. 94 439 71 71
Fax 94 439 71 81
bilbao.plm@siemens.com

Parque Empresarial San Fernando
Edificio Dublin 2 B
28830 San Fernando de Henares
Tel. 91 677 66 67
Fax 91 677 65 44
medrie.plm@siemens.com

© 2008 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Todos los derechos reservados. Siemens y el logotipo de Siemens son marcas comerciales registradas de Siemens AG. Teamcenter, NX, Solid Edge, Tecnomatix, Parasolid, Farnas, I-deas, Velocity Series, Geolux y los signos de Innovation Trade Dress son marcas comerciales o registradas de Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. o sus filiales en Estados Unidos y en otros países. El resto de logotipos y marcas registradas que se mencionan en este documento pertenecen a sus respectivos propietarios.

1604-VV 22 SP 9/08



hyperMILL® contempla todas mis expectativas.

Law Kung Ying - Cheung Woh Metal Works Pte Ltd.

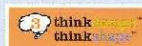
Competencia en CAM. En OPEN MIND sabemos de programas de CAM. Añadimos nuestra experiencia de más de diez años desarrollando algoritmos de CN. Basado en estos conocimientos, hemos desarrollado nuestras soluciones de CAM, las cuales se están usando hoy en día en cientos de instalaciones en todo el mundo.

Paquete de hyperMILL® V4.5 en Mechanical Desktop™ de Autodesk

Funcionalidad/Módulos	BASIC 2D	CLASSIC	PRO	EXPERT	Funcionalidad/Módulos	BASIC 2D	CLASSIC	PRO	EXPERT
Ciclos 2.5D					Editor Inxy: herr. TOOLPATH EDIT V1.1	-	■	■	■
Fresado de Cáteras	■	■	■	■	nightSHIFT (meco en diforido con la misma llave)	-	■	■	■
Fresado de Contornos	■	■	■	■	Funciones Administrativas				
Taladrado	■	■	■	■	Lista de Tareas	■	■	■	■
Taladrado/Roscado Helicoidal	■	■	■	■	Base Datos de la Herramienta	■	■	■	■
Editor de Mazcos para Ciclos de Taladrado	■	■	■	■	Cálculo de tiempos	■	■	■	■
Roscado Fresa	■	■	■	■	Conocimiento Base de Datos	■	■	■	■
Material Resistente	■	■	■	■	Documentación integrada de CN	■	■	■	■
Ciclos 3D					Opciones				
Desbastado y Acabado de Perfiles	-	■	■	■	Indexación de 4ª eje	■	■	■	■
Fresado ISO	-	■	■	■	Licencia de Red	■	■	■	■
Desbastado Nivel-Z	-	■	■	■	hyperMILL® CATIA CONNECT V1.0	■	■	■	■
Acabado Nivel-Z	-	■	■	■	nightSHIFT (modo en diforido con distinta llave)	■	■	■	■
Acabado Optimizado XY	-	■	■	■	hyperVIEW Standard 2D	■	■	■	■
Fresado de Gargantas Automático	-	■	■	■	hyperVIEW Turbo 3D	■	■	■	■
Material Resistente Automático	-	■	■	■	hyperVIEW STL Compare (necesita Turbo)	■	■	■	■
Mecanizado dependiente inclinación	-	■	■	■	Postprocesadores				
Acabado Equidistante	-	■	■	■	PP 3 ejes para la librería estándar CAM	■	■	■	■
Mecanizado Material Restante Nivel Z	-	■	■	■	PP 3 ejes adaptación	■	■	■	■
Desbastado Forma Arbitraria	-	■	■	■	PP 4 a 5 ejes adaptación	■	■	■	■
Desbastado Equidistante Forma	-	■	■	■	Plataformas				
Características					Windows® 95	■	■	■	■
hyperVIEW Preview (simulación de NC)	■	■	■	■	Windows NT™ 4.0	■	■	■	■
Ver. colisión trayectorias herr.	■	■	■	■					
Ver. colisión portaherramienta	■	■	■	■					
Soporte métrico/pulgadas	■	■	■	■					

■ Estándar ■ Opción - No disponible

hyperMILL® también está disponible en otras plataformas:



hyperMILL® es una marca registrada de OPEN MIND Software Technologies GmbH; AutoCAD®, AutoSurf® y Autodesk Mechanical Desktop™ son marcas registradas de Autodesk Inc; thinkdesign™ y thinkshape™ son marcas registradas de think3 Inc.; CATIA® es una marca registrada de Dassault Systems SA; Windows® y Windows NT™ son marcas registradas de Microsoft Corp. Todos los demás nombres de marcas o de productos son marcas registradas de sus respectivos propietarios.

© OPEN MIND Software Technologies GmbH. Impreso en Alemania Abril 1999. Sujeto a modificaciones técnicas.

Su distribuidor de hyperMILL®

S A MEC S L

Sistemas Automáticos de Mecanizado S.L.

B-0111109

Milana 39 local B

Tel/Fax: (93) 896 1180 Móvil: 999 76 53 63

08810 SANT PERE DE RIBES BARCELONA

Europe

OPEN MIND

Software Technologies GmbH

Kanalstrasse 7

D-85774 Unterföhring

Germany

Tel: +49-89-9 50 03-05

Fax: +49-89-9 50 69 79

Sales.Euro@openmind.de

Americas

OPEN MIND

Software Technologies, Inc.

26011 Evergreen Road

Suite # 315

Southfield, Michigan 48076

Phone: +1-2 48-3 55 30 00

Fax: +1-2 48-3 55 12 25

Sales.Americas@openmind-tech.com

Asia/Pacific

OPEN MIND

Software Technologies Pte Ltd

Temasek Polytechnic

Mechatronics Design Centre

21 Tampines Ave 1

EN 18-2-91

Singapore 529757

Tel: +65-7 87 53 28

Fax: +65-4 26 98 47

Sales.Asia@openmind.de



OPEN MIND ■ THE CAM COMPANY

Internet: <http://www.openmind.de>

La libertad de elección

La solución de CAD/CAM que necesita

hyperMILL® con el Mechanical Desktop™ de Autodesk es la solución de CAD/CAM que ha estado esperando, porque es exactamente el sistema que necesita.

¿Necesita un buen rendimiento, una producción orientada a las funciones 2D? hyperMILL® lo tiene, incluyendo indexado de 4 ejes.

¿Tiene que mecanizar sofisticados modelos 3D?

hyperMILL® le ofrece todas las funciones que necesite,

incluyendo material restante automático y mecanizado de gargantas.

No más concesiones:

Con hyperMILL® usted decide como quiere que el programa trabaje, y no viceversa.

Escija la generación de código de CN automática o la definición de los parámetros bajo el control del usuario.

Lo que sea más conveniente para usted.

¿Procesado paso a paso o procesado en diferido? Le

toca a usted decidirlo.

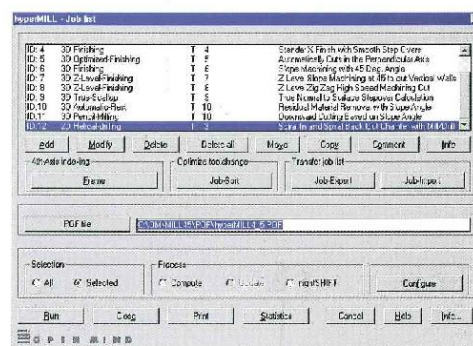
¿Mecanizado de modelos de superficies o de sólidos? La elección es suya.

Somos el vendedor* de programas de CN con un mayor

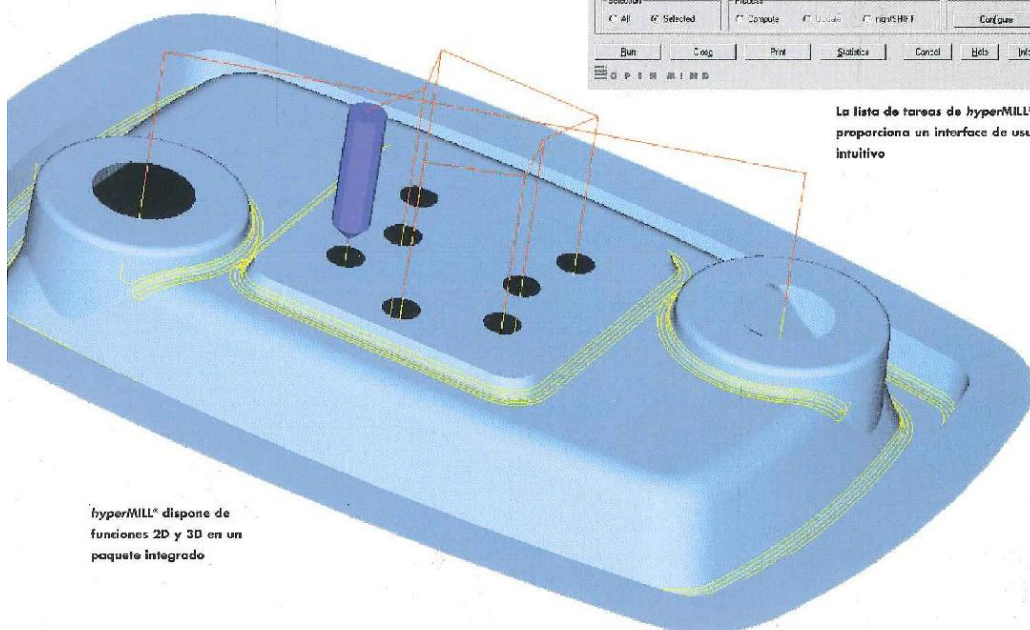
crecimiento en el mundo, porque

hyperMILL® ofrece al usuario un beneficio realmente único: La libertad de elección.

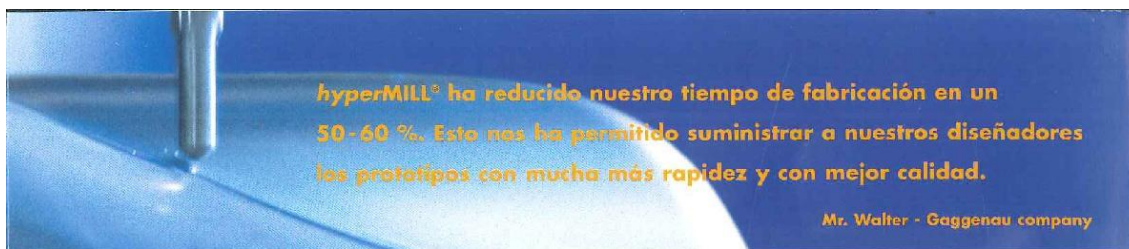
* Fuente: CIMdata Report '98



La lista de tareas de hyperMILL® le proporciona un interface de usuario intuitivo



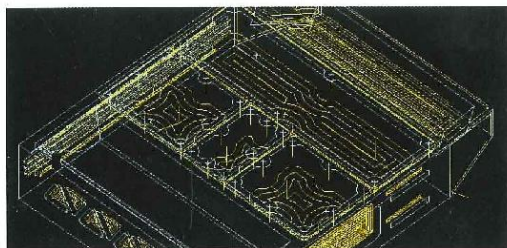
hyperMILL® dispone de funciones 2D y 3D en un paquete integrado



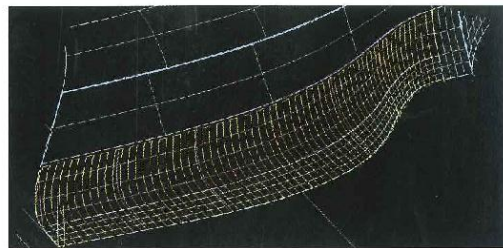
Funciones versátiles, ahorro en tiempo

Desbastado y acabado nivel-Z, fresado a lo largo de curvas directoras, acabado de paredes inclinadas, fresado de material restante completamente automático – y muchas cosas más. hyperMILL® ofrece una amplia gama de estrategias de fresado

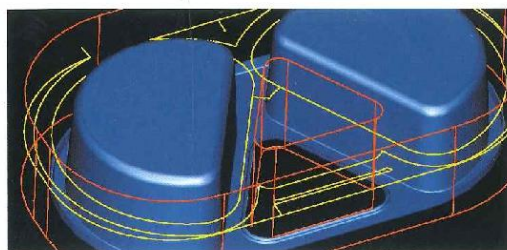
para funciones complejas. El cálculo automático de áreas de fresado y los movimientos mínimos de la herramienta reducen substancialmente el tiempo de programación y mecanizado. Para usted, este es un medio seguro para incrementar la productividad.



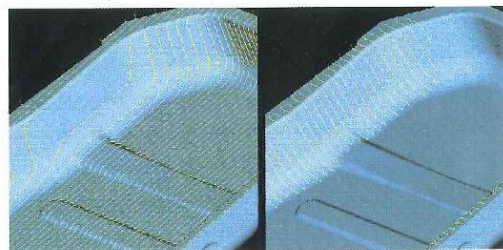
Indexación 4º eje Soporte eficiente de los centros de mecanizado con multi-ejes



Fresado ISO 3D Mecanizado individual de superficies a lo largo de las líneas U y V



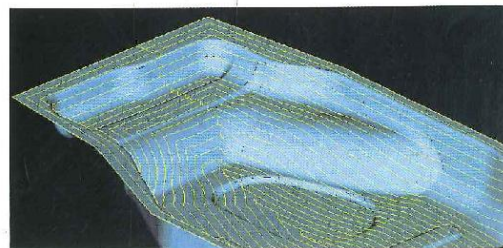
Desbastado Forme Arbitrario Definición libre de la geometría en bruto para evitar movimientos de corte innecesarios



Acabado Optimizado XY Perfectos resultados mediante un reconocimiento automático de los ejes óptimos de mecanizado



Fresado de Gorgantas Detecta y mecaniza las ranuras y los empalmes para una óptima preparación del HSC

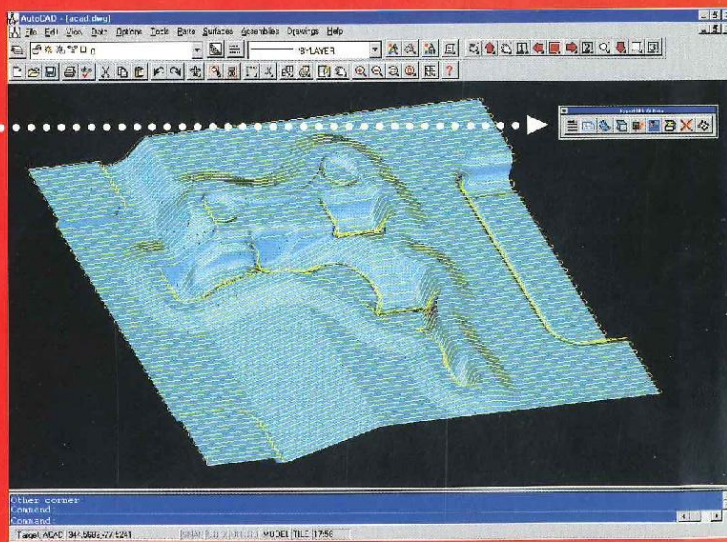


Acabado Equidistante Mecanizado de crestas exacto con una carga de corte constante

Los beneficios de la integración

hyperMILL® dentro del Mechanical Desktop® de Autodesk – le proporciona una solución de CAD/CAM totalmente integrada. Usted genera el programa de CN directamente en el entorno de su programa de CAD. De este modo, usted está trabajando con un solo modelo de datos y un único interface del usuario durante todo el proceso, que va desde el diseño hasta la fabricación. Los beneficios para usted son obvios: Tiempos de formación mínimo, máxima fiabilidad y un tiempo mas corto para colocar su producto en el mercado.

hyperMILL® dentro del Mechanical Desktop™ de Autodesk:
La síntesis de un interface estándar para importar datos, funciones de CAD completas y un CAM de alta gama.



7.7 Método contención con pendientes

Para realizar este método se realizan dos operaciones, en las que se diferencia el piso y el resto de la cavidad.

Una vez que se separan las regiones de corte, se marcan las que se quieren mecanizar en cada operación.

Los pasos a seguir para hacer un mecanizado con la elección de contención por pendiente:

1. Método de trabajo: Contour area
2. Método guía: Fresado de área.
3. Contención por pendiente.
 - Con pendiente y sin pendiente.
 - Angulo 75°

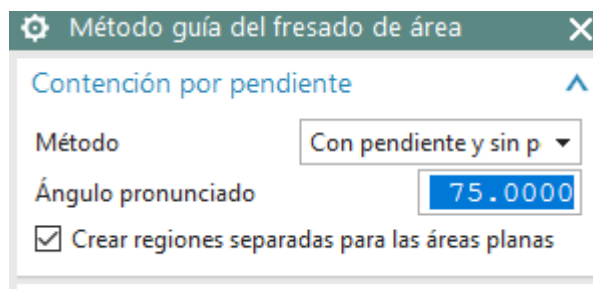


Figura 70: Método guía

4. Regiones de corte

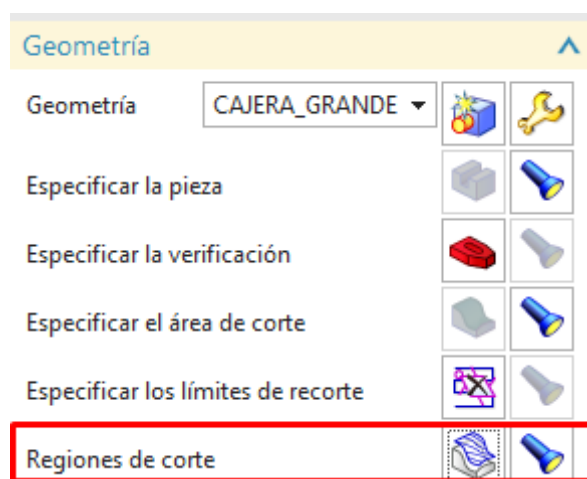


Figura 71: Regiones de corte

5. Marcar las regiones a mecanizar

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

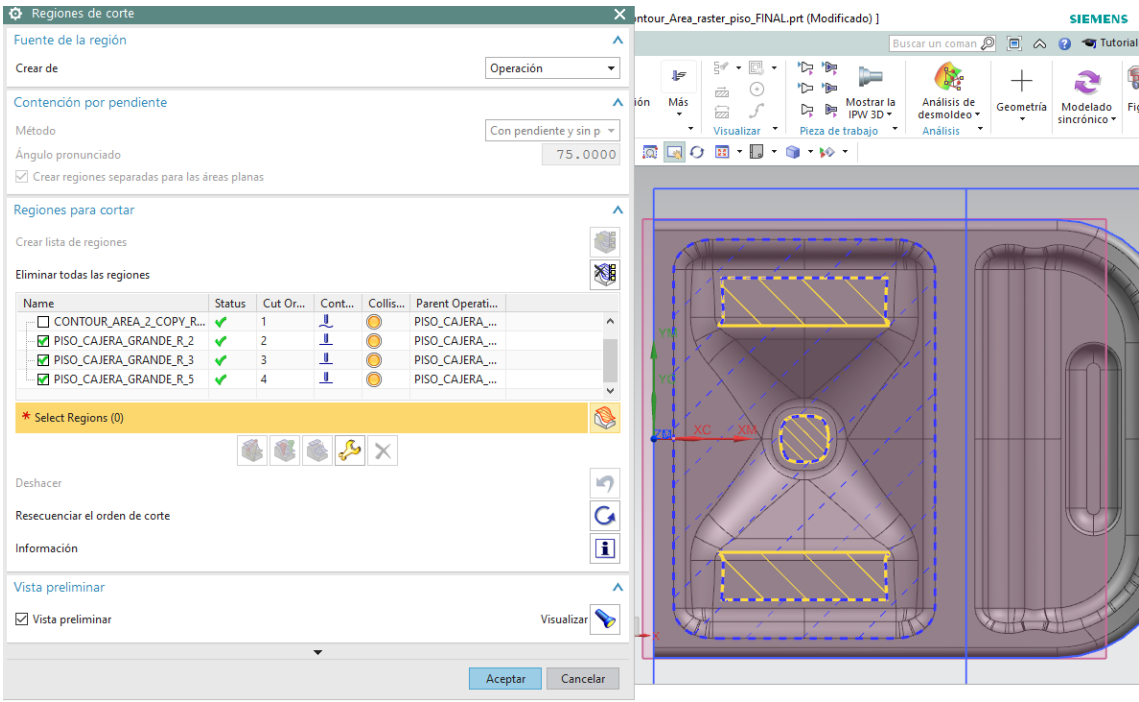


Figura 72: Regiones a mecanizar

7.8 EDM y HSM en el mecanizado de moldes y matrices

7.8.1 EDM

El EDM tiene las siguientes propiedades:

- No existen fuerzas de corte, es un proceso independiente de características mecánicas.
- Proceso lento: penetración, $V_w = 900 \text{ mm}^3/\text{min}$; hilo, $V_w = 300 \text{ mm}^3/\text{min}$.
- Rugosidad multidireccional, con R_a (rugosidad media) superior a 0.2 mm .
- Precisión: $\pm 0.025 \text{ mm}$.
- Problemas :
 - Es necesario mecanizar los electrodos.
 - Transformación metalúrgica de las capas superficiales debida a la naturaleza térmica del proceso \Rightarrow capa blanca de ledeburita debida al proceso de temple \Rightarrow muy dura, pero muy frágil.
- Auge en los últimos años:
 - Bajo coste de las máquinas.
 - Máquinas automatizadas.
 - Fácil predicción del tiempo de proceso.

Existen diferentes tipos de EDM

- Penetración (RAM EDM): El electrodo tiene la forma que se desea mecanizar y debe existir un movimiento relativo vertical entre electrodo y pieza.
- Mecanizado de agujeros y formas ciegas o pasantes.
- Hilo (WIRE EDM): El electrodo es un hilo continuo ($\varnothing 0.25$ a 0.025 mm), con movimiento en los tres ejes del espacio, que va cortando la pieza.
- Mecanizado de agujeros pasantes y contornos de formas muy complejas.



Figura 73: Pieza EDM 1

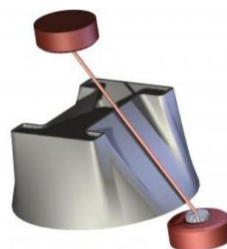


Figura 74: Pieza EDM 2

Las principales diferencias entre HSM y EDM son las siguientes:

El HSM tiene la calidad de las superficies como uno de sus puntos fuertes, también da la posibilidad de trabajar con aceros tratados y se produce un menor calentamiento de las piezas al ser desalojado con las virutas.

Por otra parte el EDM es independiente de la dureza del material, también tiene posibilidad de mecanizar los nuevos materiales, tiene capacidad de mecanizar formas complejas a profundidades importantes.

A mayor dureza del material utilizado se utilizara el EDM en vez del HSM.

7.8.2 Utilización del HSM y EDM en la fabricación de moldes

- Uso combinado/alternativo: fuerte competencia entre fabricantes de M-H de ambos procesos de mecanizado por el solape de aplicaciones en la fabricación de moldes y matrices.
- HSM hasta donde las limitaciones tecnológicas lo permiten y entonces EDM.
 - Adaptación a cualquier geometría de pieza/molde.
 - Racionalización de inversiones al reducir riesgos excesivos.
 - Mecanización de electrodos mediante HSM.

Las aplicaciones de CAD incluyen módulos de diseño de electrodos.

El HSM se utiliza para las formas con cavidades poco profundas y sin aristas vivas, sin embargo el EDM se utiliza para cavidades profundas y aristas vivas.

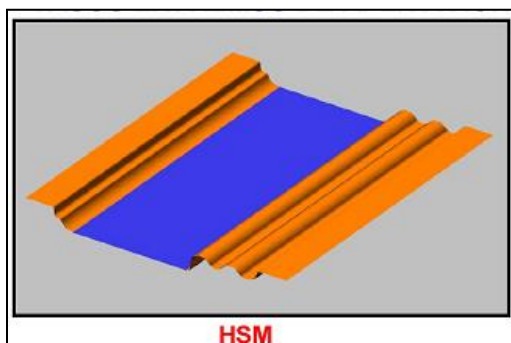


Figura 75: Pieza HSM

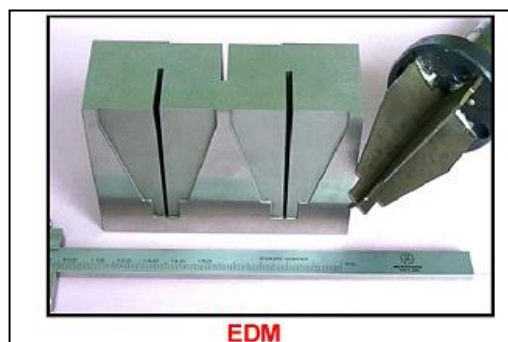


Figura 76: Pieza EDM 3

7.9 Parámetros de corte utilizados

En las diferentes operaciones que se han realizado se han sugerido parámetros de corte iguales para cada una de las fases del mecanizado.

Fresa 25 mm

- Desbaste

- Velocidad de avance: 1.27m /min
- Velocidad de giro: 3183 rpm
- Avance: 0.2 mm/vuelta
- Velocidad superficie: 250 mm/s

- Acabado

- Velocidad de avance: 0.954m/min
- Velocidad de giro: 3183 rpm
- Avance: 0.15 mm/vuelta
- Velocidad superficie:250 mm/s

Fresa torica

- Desbaste

- Velocidad de avance: 1.2 m/min
- Velocidad de giro: 4000 rpm
- Avance: 0.15 mm/vuelta
- Velocidad superficie:75 mm/s

-Semiacabado

- Velocidad de avance: 1.2 m/min
- Velocidad de giro: 4000 rpm
- Avance: 0.15 mm/vuelta
- Velocidad superficie: 75 mm/s

- Acabado

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

- Velocidad de avance: 0.72 m/min
- Velocidad de giro: 4000 rpm
- Avance: 0.09 mm/vuelta
- Velocidad superficie: 75 mm/s

Fresa de bola

- Semiacabado

- Velocidad de avance: 0.891m/min
- Velocidad de giro: 3979 rpm
- Avance: 0.112 mm/vuelta
- Velocidad superficie: 75 mm/s

- Acabado

- Velocidad de avance: 0.72 m/min
- Velocidad de giro: 4000rpm
- Avance: 0.09 mm/vuelta
- Velocidad superficie: 75 mm/s

7.10 Conceptos básicos torneado y fresado

Se define procesos de mecanizado aquellos procesos de conformación en los que se genera la geometría deseada, se elimina el material en forma de viruta por medio de una herramienta, realizando los movimientos relativos entre la pieza y la herramienta a través de una Máquina-Herramienta.

La separación del material en forma de viruta es debido a un esfuerzo de cizalladura en el que se concluye que la deformación plástica a una velocidad elevada genera calor.

En el mecanizado de moldes y matrices intervienen principalmente los siguientes procesos:

- Torneado
- Fresado
- Taladrado
- EDM

Los movimientos realizados durante los procesos mecanizados son los siguientes:

- Movimiento de corte

Se realiza un movimiento relativo entre la pieza y la herramienta, en el cual se aplica una velocidad de corte, que se define como la velocidad a la que la pieza se ve impulsada con respecto a la pieza.

- Movimiento de avance

Es el movimiento con el que combinado con el de corte se hace posible que haya un arranque de viruta continuado.

El avance es la distancia recorrida por la pieza o la herramienta en cada revolución o carrera de la pieza o la herramienta.

- Movimiento de penetración

Junto con el movimiento de avance se determina la sección de viruta a arrancar, la profundidad de corte es la distancia perpendicular desde la superficie que se elimina hasta la superficie expuesta por una herramienta de corte.

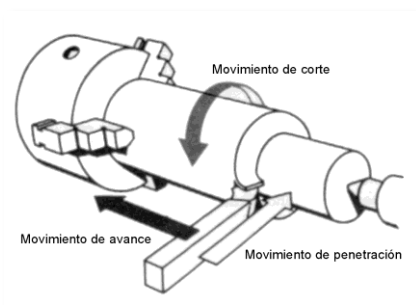


Figura 77: Movimientos de corte

7.10.1 Parámetros de corte

Los parámetros de corte son los que definen el proceso de mecanizado.

- Velocidad de corte(V_c): es la velocidad relativa entre el filo de la herramienta y la pieza.
- Avance por filo(f) : distancia que recorre la herramienta por cada revolución de la pieza.
- Profundidad de pasada(a_p): Distancia a la que penetra la herramienta en dirección perpendicular al avance.
- Sección de viruta (A_c) : área de contacto entre la superficie de desprendimiento de la herramienta y de la pieza.
- Geometría de la sección de viruta :
 - o Espesor (h): cantidad de material que corta la herramienta en dirección perpendicular al filo.
 - o Anchura (b): representa la longitud del filo en contacto con la pieza.
 - o La fuerza de corte (f_c) depende de estas dos dimensiones.

7.10.2 Parámetros de máquina

- Velocidad de husillo principal (N): es la velocidad a la que gira la máquina.
- Velocidad de avance.

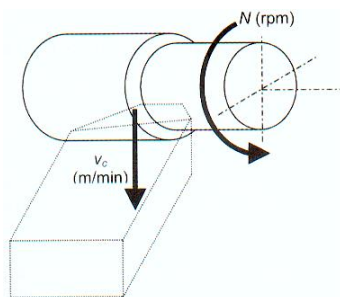


Figura 78: Parámetros máquina 1

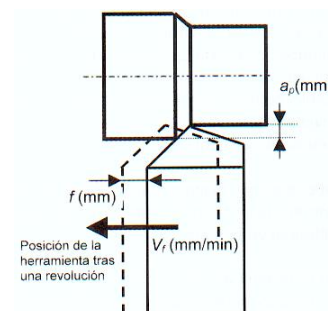


Figura 79: Parámetros máquina 2

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad [7]$$

$$b = \frac{a_p}{\sin K} \quad [8]$$

$$h = f \cdot \sin K \quad [9]$$

$$A_c = f \cdot a_p = h \cdot b \quad [10]$$

7.10.3 Variables de corte

Las variables de corte que se modifican para los diferentes procesos de mecanizado son las siguientes:

- Potencia de corte: relaciona una constante de energía específica de corte con la sección de viruta.

$$F_c = K_c \cdot A_c = K_c \cdot f \cdot a_p = K_c \cdot h \cdot b \quad [11]$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = K_c \cdot A_c \cdot v_c = K_c \cdot f \cdot a_p \cdot v_c = K_c \cdot Q \quad [12]$$

- Tiempo de mecanizado: relaciona la longitud de corte con la velocidad de avance.

$$t_{act} = \frac{L}{v_f} \Rightarrow t_{act} = \int_{L_o}^{L_f} \frac{dL}{v_f} = \int_{L_o}^{L_f} \frac{dL}{f \cdot n} \quad [13]$$

- Acabado superficial: relaciona el avance con el radio de corte de la herramienta.

$$R_a = \frac{f^2}{32r_\epsilon} \quad R_{\max} = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad [14]$$

7.11 Información sobre el CAD

7.11.1 ¿Qué es el CAD?

El CAD son las siglas de Computer Aided Design, es una tecnología que se basa en el diseño de geometrías, a partir de las matemáticas y extensas bases de datos. Estos programas son utilizados para realizar el diseño de piezas y conjuntos en 3D y luego poder tener los planos en 2D de dichas piezas.

7.11.2 ¿Qué es el CAM?

El CAM son las siglas Computer Aided Manufacturing, que son el conjunto de herramientas informáticas para la programación y control de maquinaria para fabricación.

La utilización del CAM está destinada a la programación para que un CNC pueda realizar la pieza previamente definida en el CAD. El CAM permite calcular todas las operaciones, movimientos, cambios de herramientas para poder simular la pieza a fabricar en el ordenador. Si tras esto todo es correcto se podría utilizar el CAM para poner en marcha la fabricación de las piezas.

7.11.3 Beneficios de un programa CAD/CAM

La implantación de un programa de CAD ha provocado un incremento de la productividad en el diseño, porque tiene numerosas variantes dentro del programa de CAD y ayuda a la realización de las piezas a diseñar.

También puede provocar un incremento en la productividad de la ingeniería porque el CAD/CAM ayuda a que muchas de las tareas propuestas puedan ser vistas previamente y además se pueden automatizar, con los ahorros tanto de tiempo como de costes.

Una de las acciones que generan mayor importancia dentro del CAD/CAM es la facilidad con la que se pueden realizar cambios de especificaciones para la modificación de un producto.

7.12 Parámetros de corte del fresado

- Velocidad de corte (v_c): Velocidad periférica tangencial de los filos de corte de la fresa. Depende del diámetro efectivo de la fresa y la velocidad del husillo de la máquina.

$$[16] \quad v_c = \frac{\pi D n}{1000}$$

v_c , velocidad de corte (m/min)
 D , diámetro de la fresa (mm)
 n , velocidad de rotación del cabezal (rpm)

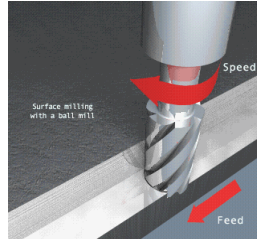


Figura 80: Parámetros corte 1

- Avance por diente (f_z): Es la distancia que recorre un diente al entrar en contacto con el material, cada una de las herramientas tiene Z dientes. Conociendo f_z , Z y N se puede determinar la velocidad de avance, v_f .

$$[17] \quad v_f = f_z \cdot Z \cdot n$$

v_f , velocidad de avance (mm/min)
 f_z , avance por diente (mm/diente)
 Z , número de dientes
 n , velocidad de rotación del cabezal (rpm)

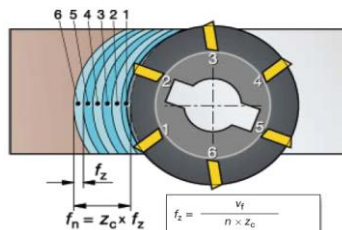


Figura 81: Parámetros corte 2

- Profundidad de pasada: Hay dos tipos de profundidad de pasas, axial (a_p) y la radial (a_e).

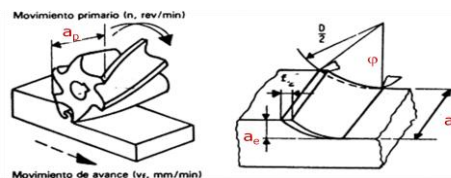


Figura 82: Parámetros corte 3

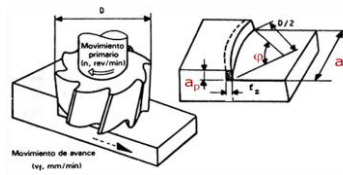


Figura 83: Parámetros corte 3

Diámetro de corte efectivo

Se considera el diámetro efectivo para la velocidad de corte y el avance por diente. Se considera la pendiente de la superficie y también el corte como se realiza, si de forma ascendente o descendente.

Fresado de plaquitas de planear

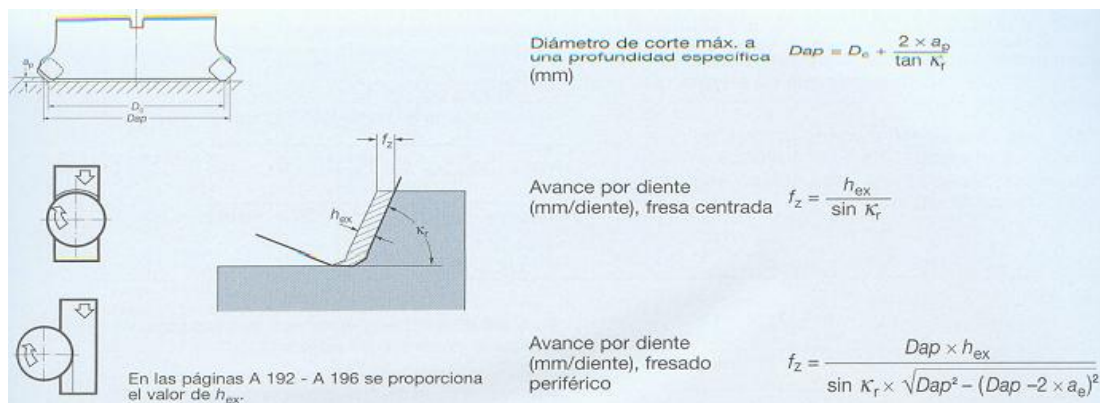


Figura 84: Fresado plaquitas planear

Fresado de plaquitas redondas

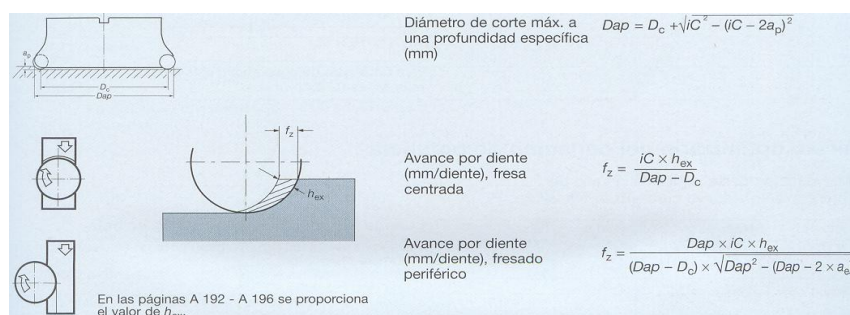


Figura 85: Fresado plaquitas redondas

Fresas de punta esférica

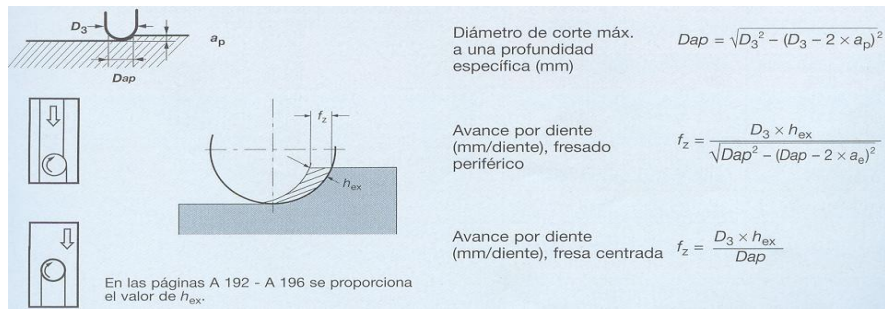


Figura 86: Fresado punta esférica

Explicación del cálculo del diámetro efectivo

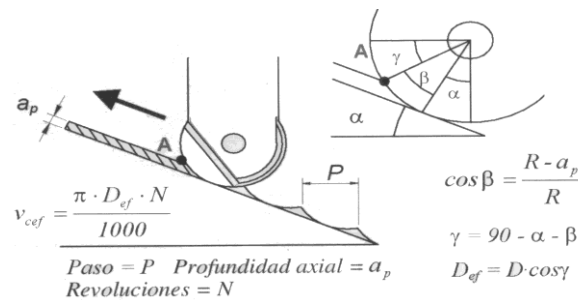


Figura 87: Fresado punta esférica

Espesor de viruta

Al aumentar K el espesor de viruta aumenta, al igual que si se aumenta el avance por diente.

Cuando aumentamos la relación de la profundidad de pasada radial entre el diámetro el espesor frontal disminuye al contrario que el espesor en coma.

- **Viruta en coma**, tiene una relación de cálculo:

$$[18] \quad h_m = f_z \cdot \frac{a_e}{D} \cdot \frac{360}{\pi \varphi(^{\circ})} \operatorname{sen} K = \frac{360 \cdot f_z \cdot a_e}{\pi \cdot D \cdot \arcsen 2 \sqrt{\frac{a_e}{D} \left(1 - \frac{a_e}{D}\right)}} \operatorname{sen} K$$

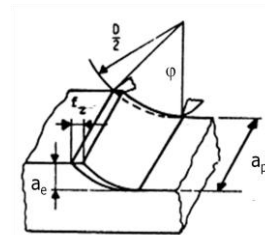


Figura 88: Viruta en coma

- **Fresado frontal**, tiene la siguiente relación de cálculo:

$$[19] \quad h_m = f_z \cdot \frac{a_e}{D} \cdot \frac{360}{\pi \varphi(^{\circ})} \operatorname{sen} K = \frac{180 \cdot a_e \cdot h_{ex}}{\pi \cdot D \cdot \arcsen(a_e/D)} \operatorname{sen} K$$

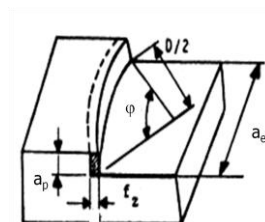


Figura 89: Fresado frontal

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Afinado de viruta

El espesor máximo de la viruta es el parámetro más importante para conseguir un proceso de fresado productivo y fiable.

El mecanizado eficaz sólo se producirá si se mantiene un valor adaptado correctamente a la fresa que se esté utilizando.

- Una viruta delgada con un valor de h_{ex} demasiado bajo, es la causa más habitual de un rendimiento deficiente que reduce la productividad. Puede afectar negativamente a la vida útil de la herramienta y a la formación de viruta.
- Un valor muy alto sobrecargará el filo y puede provocar su rotura.

Es posible **incrementar el avance** por diente en las tres situaciones siguientes gracias al efecto adelgazador de la viruta:

- Al utilizar fresas de filo recto con ángulo de posición inferior a 90° .
- Al utilizar plaquitas redondas o plaquitas con radio grande, a menor profundidad de corte, a_p . (mantener $K < 60^\circ$)
- Al realizar fresado periférico con empañe radial pequeño, a_e/D_e .

Al aumentar el avance se produce una disminución del tiempo de mecanizado.

Angulo de posición

El ángulo de posición afecta al espesor de la viruta, fuerza de corte y a la vida de la herramienta.

Al disminuir el ángulo de posición (K) la viruta sale más fina, produce que disminuya el espesor real máximo y aumente K_s con una entrada gradual, se disminuya la presión radial y aumente la presión axial.

Fuerza y potencia de corte

La fuerza de corte depende de K_s y de la sección de viruta y la potencia de corte depende de la fuerza de corte y la velocidad de corte.

$$F_c = K_s \cdot A_c = K_s \cdot \frac{f_z \cdot Z \cdot a_e \cdot a_p}{\pi \cdot D} \quad [20]$$

$$P_c = F_c \cdot v_c = K_s \cdot A_c \cdot v_c = K_s \cdot a_e \cdot a_p \cdot v_f = K_s \cdot Q \quad [21]$$

A su vez la sección de viruta es definida como:

$$A_c = h_m \Big|_{real} b \Big|_{real} Z = (h_m \cdot \sin K) \frac{a_p}{\sin K} Z' = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi D} \quad [22]$$

Dependiendo del avance número de dientes profundidad de pasada y diámetro.

A su vez la profundidad de corte depende de los mismos parámetros y Q .

$$Q = v_c \cdot A_c = v_c \cdot \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z}{\pi D} = v_f \cdot a_e \cdot a_p \quad [23]$$

Mecanizado en concordancia y en oposición

- Fresado en concordancia. (downmilling)

- La velocidad de corte y la de avance tienen el mismo sentido en el punto de contacto del diente.
- Los dientes chocan con el máximo espesor al entrar en contacto con la pieza con un impacto inicial (herramientas tenaces y elevadas fueras de impacto) lo que provoca vibraciones.
- El espesor va disminuyendo gradualmente pero no en superficies irregulares como forja y fundición.
- Mantiene la pieza asentada hacia abajo y la herramienta arrastra a la pieza.
- En MH sin juego del husillo.

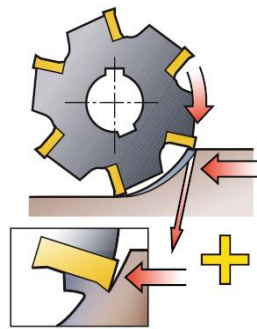


Figura 90: Fresado concordancia

- Fresado en oposición. (upmilling, conventional)

- La velocidad de corte y la de avance llevan sentidos contrarios.
- El filo comienza a cortar con espesor nulo, para aumentar gradualmente.
- Se produce un rozamiento muy elevado por lo que no está cizallando el material, sino aplastándolo.
- F_v separa la pieza se producen problemas de sujeción de la pieza
- El gran espesor de la viruta y la alta temperatura a la salida pueden provocar que la viruta se pegue o suelde al filo.

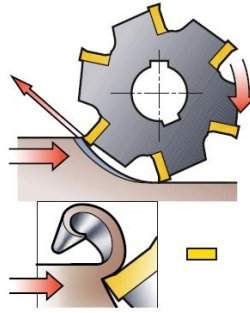


Figura 91: Fresado oposicion

Formación de la viruta según la posición de la fresa

Las recomendaciones de la posición de la fresa durante el mecanizado:

- Evitar virutas gruesas a la salida del corte, ya que reducen la vida de la herramienta.
- Reduce la fuerzas radiales y vibraciones.
- Reducir calentamiento, aumentar avance y velocidad de corte , para mecanizado de alta velocidad.

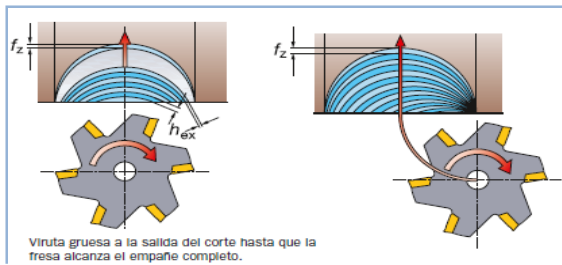


Figura 91: Formación de viruta 1

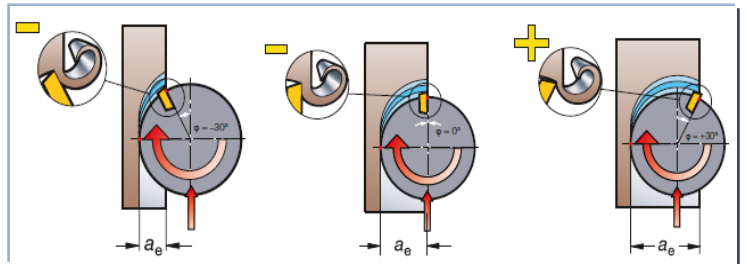


Figura 92: Formación de viruta 2

7.13 Centros de mecanizado

7.13.1 Centros de mecanizado según husillo principal

- Vertical: es el tipo de centro de mecanizado más común, suponen un menor coste, se utiliza para piezas tipo placa más grandes y pesadas, centros de 5 ejes mediante cabezales de dos ejes.

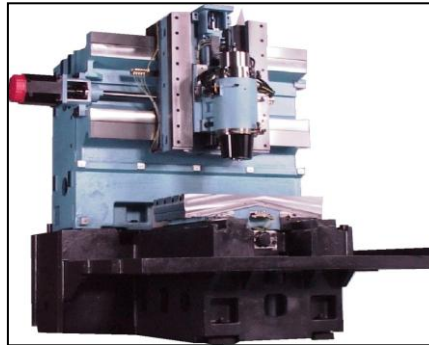


Figura 93: CM vertical

- Horizontales: son maquinas más versátiles, para piezas de menor tamaño y multiprocesos, preferiblemente en CFF porque permiten ejes más rápidos y mayores carruseles de hts, son 5 ejes mediante mesas giratorias de 2 ejes.

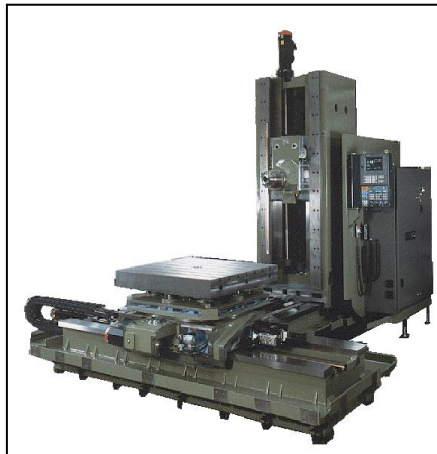


Figura 94: CM horizontal

7.13.2 Centros de mecanizado multieje (4/5 ejes)

Busca mantener la herramienta inclinada respecto a la superficie mecanizada.

Se mejora la calidad superficial, la vida de la herramienta con una sección de viruta mas uniforme.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Se reduce el tiempo de mecanizado.

Se reduce el voladizo de las herramientas y facilita el acceso a redondeos en cavidades profundas.

A mayor voladizo menor estabilidad de la herramienta y a menor voladizo menor estabilidad de la pieza. Con grandes voladizos se recomienda un ángulo de posición pequeño y alta fuerza de corte axial. Con piezas con paredes delgadas se requiere un ángulo de posición grande y una baja fuerza de corte.

Algunos centros de mecanizado tienen cambio automático de cabezal.

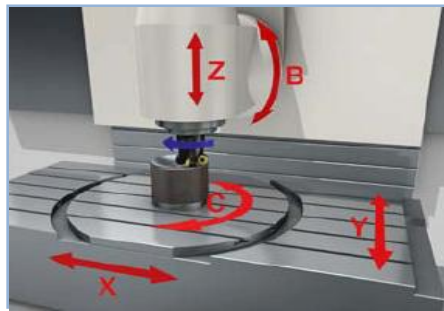


Figura 95: CM multieje

7.13.3 Centros de mecanizado según estructura

Paralelo o en serie con columna fija o móvil.



Figura 96: CM Serie

Sector de moldes y matrices de tamaño pequeño-mediano.

Maquinas pequeñas, generalmente de ejes, se utilizan los 5 ejes para planeados inclinados para reducir voladizos y mejorar accesibilidad.

- Electrohusillos compactos suministran par a bajas rpm, ofreciendo 18 Kw a 18000 rpm.
- Husillos con acoplamiento directo al motor, hasta 12000 rpm para mayor fiabilidad y robustez.

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Sector moldes y matrices de tamaño grande.

- Componentes de grandes dimensiones, con HSM para acabado final de matriz, pisador y embutidor.
- Maquinas pórtico, para grandes volúmenes de trabajo, con cabezales de dos grados de libertad.
- Se utilizan M-H con cambios automáticos de cabezal

7.14 Imágenes pieza experimental

Pieza 1

Imagen CAD

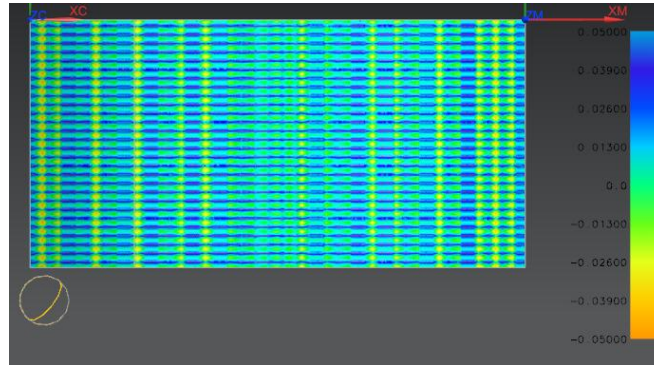


Figura 97: Grosor pieza 1

Imagen de pieza mecanizada

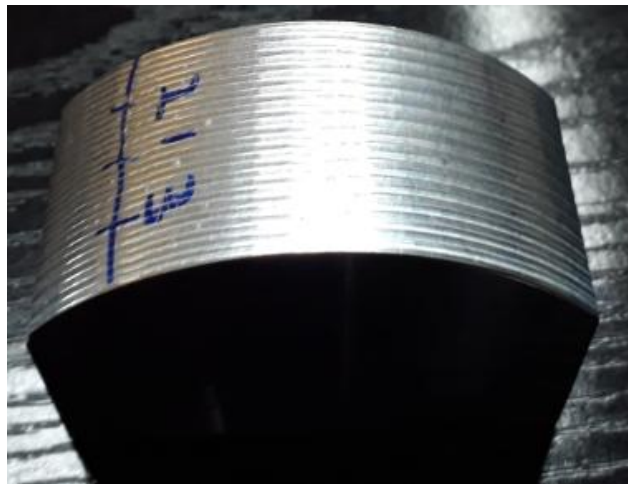


Figura 98: Mecanización pieza 1

Pieza 2

Imagen CAD

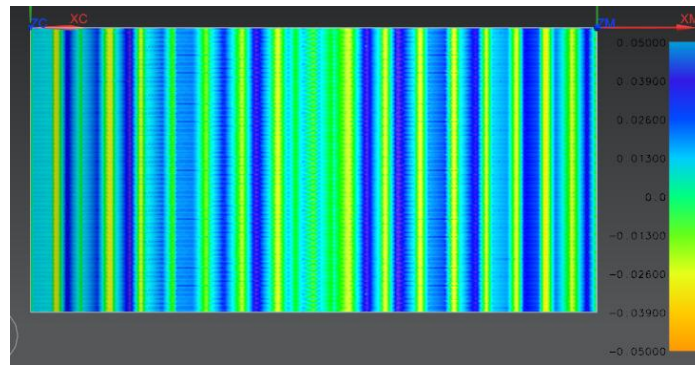


Figura 99: Grosor pieza 2

Imagen de pieza mecanizada

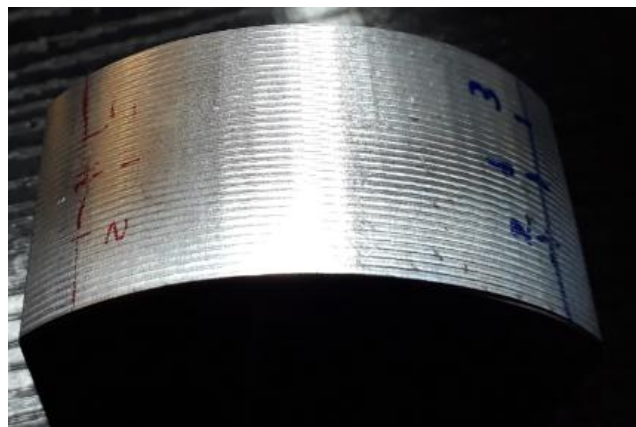


Figura 100: Mecanización pieza 2

Pieza 3

Imagen CAD

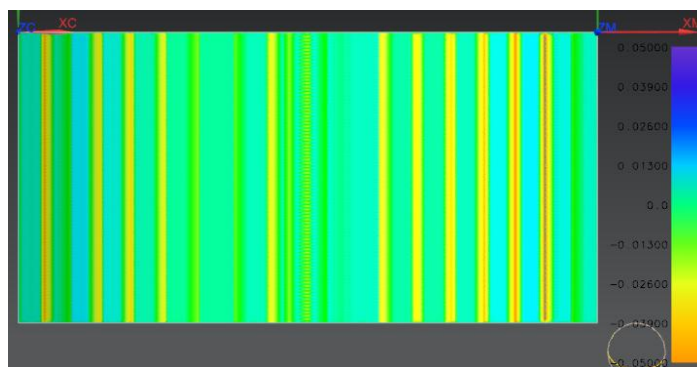


Figura 101: Grosor pieza 3

Imagen de pieza mecanizada

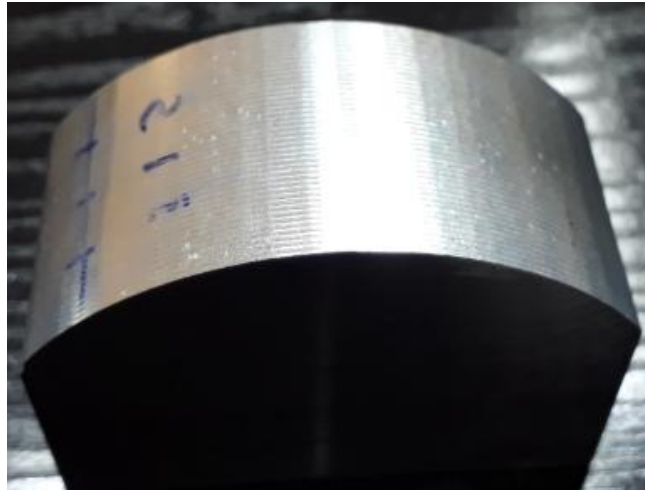


Figura 102: Mecanización pieza 3

Pieza 4

Imagen CAD

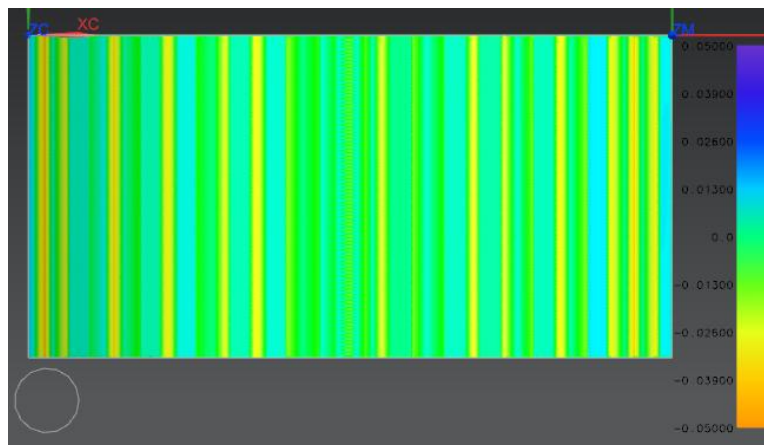


Figura 103: Grosor pieza 4

Imagen pieza mecanizada

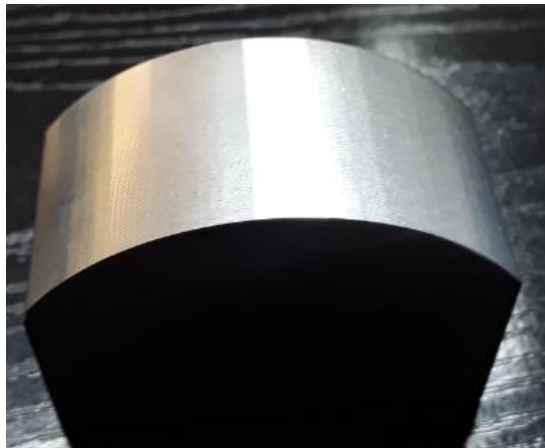


Figura 104: Mecanización pieza 4

7.15 Imágenes pieza industrial

Mecanizado ranura conjunta(pieza1)



Figura 105: **Mecanización ranura conjunta**

Mecanizado ranura separada (pieza 2)



Figura 106: **Mecanización ranura separada**

CAD ranura conjunta(pieza 3)

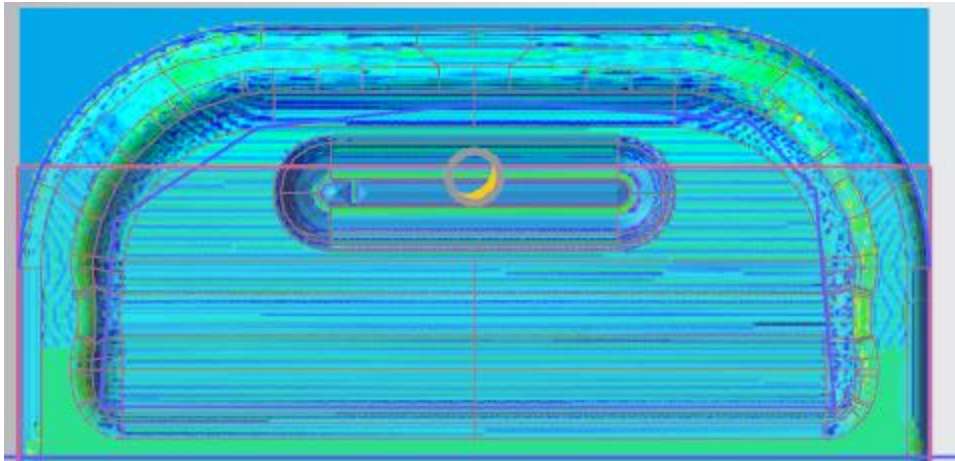


Figura 107: **Grosor pieza ranura conjunta**

CAD ranura separada (pieza4)

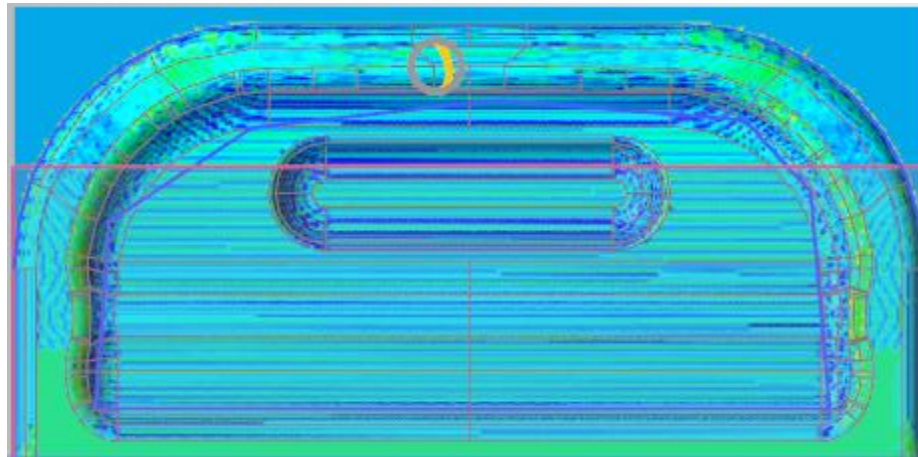


Figura 108: **Grosor ranura separada**

Mecanizado del semiacabado (pieza 5)

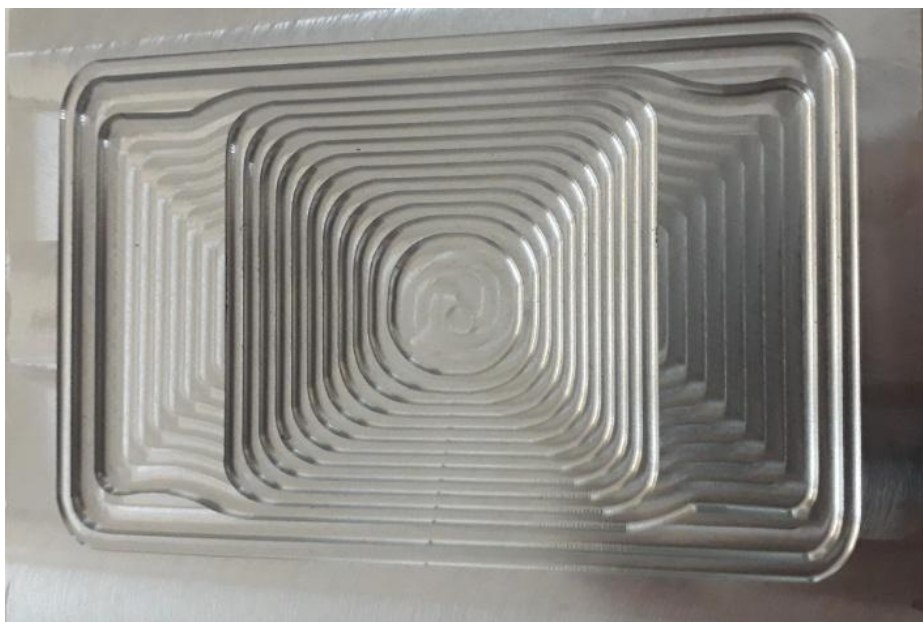


Figura 109: **Mecanización semiacabado**

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

Mecanizado Raster(pieza 6)

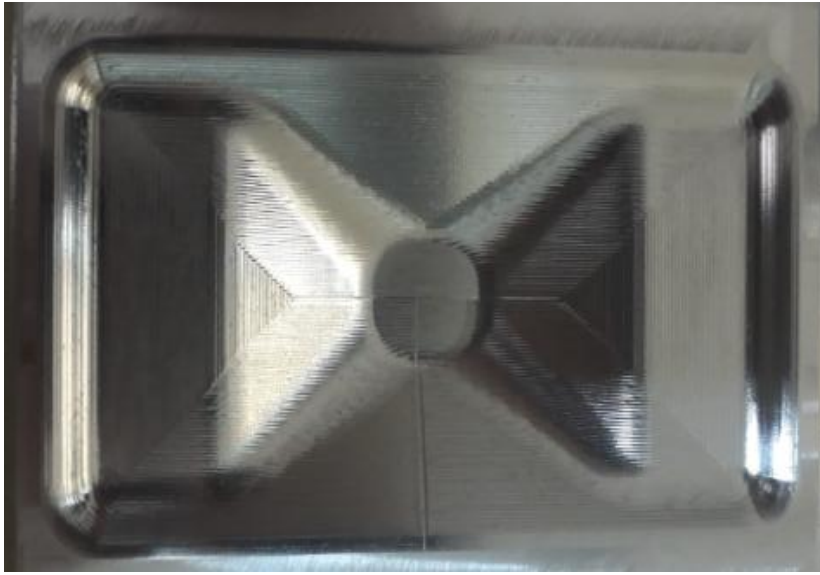


Figura 110: **Mecanizado Raster**

Mecanizado Raster con piso (pieza 7)



Figura 111: **Mecanizado Raster con piso**

Mecanizado Zig-Zag con piso (pieza 8)



Figura 112: **Mecanizado Zig-Zag piso**

Mecanizado Z-Level (pieza 9)



Figura 113: **Mecanizado Z-Level**

CAD Raster(pieza 10)

Leyenda 0.5 a -0.5

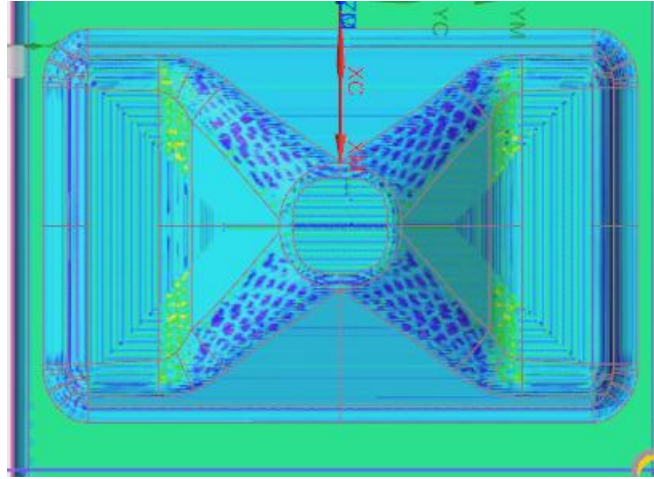


Figura 114: Grosor Raster

CAD Zig-Zag (pieza 11)

Leyenda 0.5 a -0.5

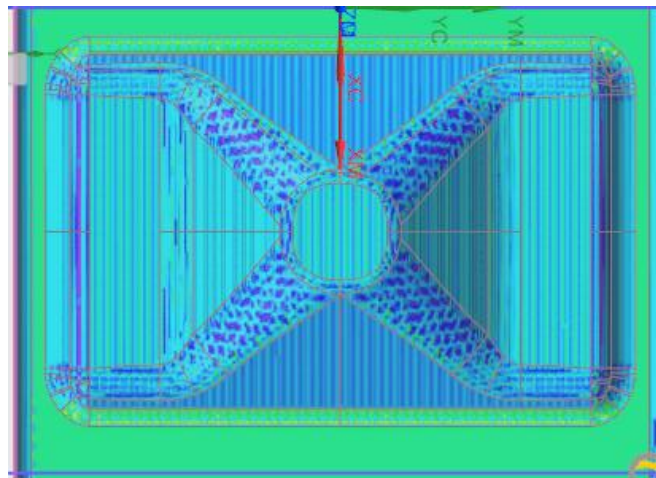


Figura 115: Grosor Zig-Zag

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

CAD Raster piso (pieza 12)

Leyenda 0.5 a -0.5

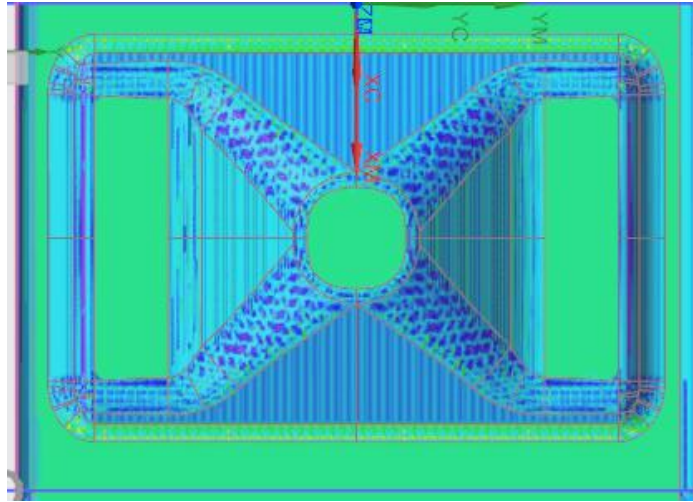


Figura 116: Grosor Raster piso

CAD Zig-Zag piso (pieza 13)

Leyenda 0.5 a -0.5

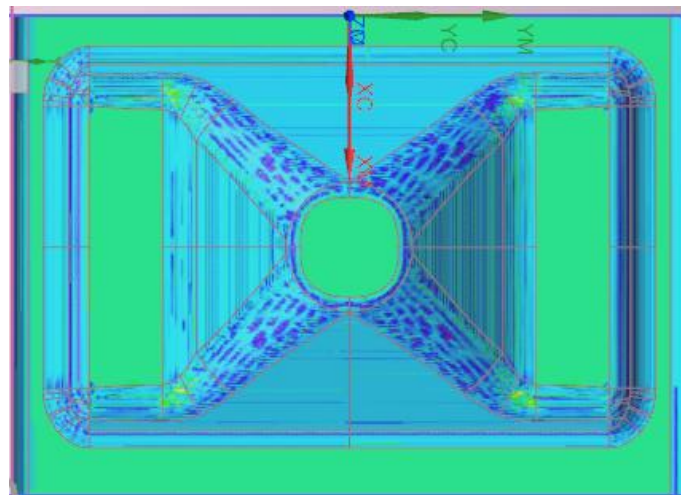


Figura 117: Grosor Zig-Zag piso

Análisis de las estrategias de CAM del mecanizado de matrices

CAD Z-Level (pieza 14)

Leyenda 0.5 a -0.5

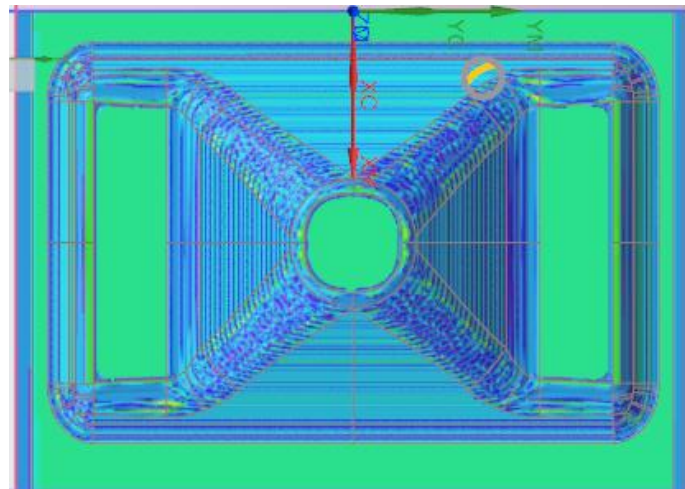


Figura 118: Grosor Z-level

CAD semiacabado (pieza 15)

Leyenda 1.6 a 0

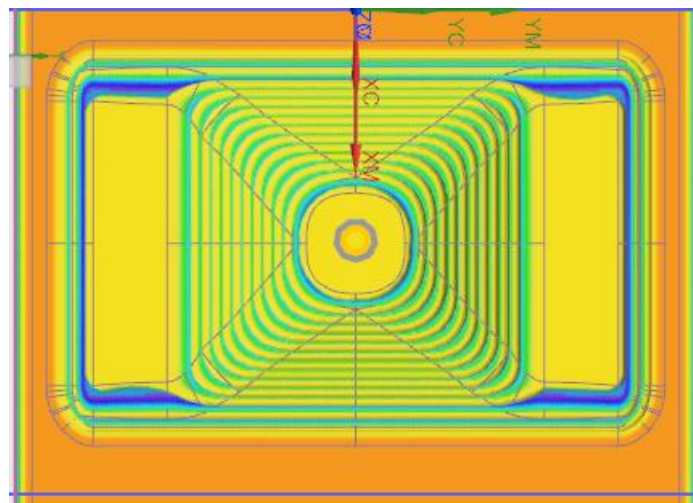


Figura 119: Grosor Semiacabado