



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Departamento de Metalurgia Electromecánica

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

*Título: Tecnología de fabricación de una fresa angular para el mecanizado
de los brazos de barrido de los hornos de reducción*

Autor: Yuleysis Batista Caboverde

Tutores: Dr. C. Tomás Hernaldo Fernández Columbié

M.Sc. Rodney Enrique Correa Suárez

Moa /2012

“Año 54 de la Revolución”



Declaración de Autoridad

Yo: Yuleysis Batista Caboverde

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Alfredo Breffe Fernández

Dr. C. Tomás H. Fernández Columbié

M Sc. Rodney E. Correa Suárez



Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mis familiares.

**A mi hijo, Cristian Alejandro Batista Pupo,
que le sirva de ejemplo.**

**A mi hermana, Yunelvis Batista Caboverde,
que tanto me ayudó para salir adelante.**

**A mí madre y a mi padre por darme su apoyo
en los momentos difíciles.**

A mis compañeros de aula, todos por igual.

**A nuestra revolución, por las posibilidades
que me ofrece.**



Agradecimientos

A todos mis profesores por los conocimientos transmitidos durante el desempeño de mi carrera en especial a los profesores Tomás, Alberto y a todos por igual.

A mi tutor por confiar en mí en la realización de este trabajo, el Dr. C. Tomás Fernández Columbié.

A mis familiares que me apoyaron en los momentos de mi vida en que más lo necesitaba.

A mis amigos que siempre creyeron en mí.

A los que de una forma u otra me apoyaron y ayudaron en la realización de este trabajo.

A la revolución, por darme la oportunidad de convertirme en profesional .

A todos

Muchas Gracias



Resumen

El trabajo tiene la finalidad de establecer la tecnología de fabricación de una fresa angular para el mecanizado de los brazos de barrido de los hornos de reducción, en los cuales para realizar el acabado final se realiza por medio de disco abrasivo, donde no se logra un acabado preciso para el ajuste de los dientes. Para desarrollar se seleccionó el acero rápido de la marca P 6 M 5, del tipo acero rápido para herramientas. La fresa elaborada es de vástago, donde para elaborarla se emplearon máquinas herramienta convencionales por arranque de virutas como el torno y la fresadora, luego de elaborada la fresa y para el incremento de las propiedades mecánicas, se le aplicó un tratamiento térmico el horno, con un enfriamiento en sales de cianuro, hasta obtener el autenizado a una temperatura de 790 °C. Se realizó el análisis microestructural, donde se pudo observar la formación de carburos primarios y finalmente una formación de austenita preutectoide. Se realizó la valoración económica, así como el análisis de la incidencia de los procesos de maquinado en el medio ambiente.



Abstract

It is paper has the purpose of establishing the manufacturing technology of an angular strawberry for the automated of the arms of sweeping of the reduction ovens, in which is carried out by means of abrasive disk to carry out the final finish, where a precise finish is not achieved for the adjustment of the teeth. To be developed it selected the quick steel of the mark P 6 M 5, of the type steel express for tools. The elaborated strawberry belongs to offspring, where to elaborate it conventional machines tool they were used by outburst of chips like the lathe and the milling machine, after having elaborated the strawberry and for the increment of the mechanical estates, he was applied a thermal treatment the oven, with a cooling in cyanide salts, until obtaining the autenizado to a temperature of 790 °C. He was carried out the analysis microstructure, where one could observe the formation of primary carbides and finally a formation of austenita preutectoide. He was carried out the economic valuation, as well as the analysis of the incidence of the processes of having schemed in the environment.



ÍNDICE	Pág
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1. Introducción	4
1.2. Mecanizado de piezas	4
1.3. Materiales para la fabricación de herramientas	5
1.3.1. Herramientas fabricadas de los aceros rápidos	7
1.4. Ángulos y filos de las herramientas de corte	10
1.5. Resistencia al desgaste de las herramientas de corte	11
1.6. Herramientas empleadas en el proceso de fresado	12
1.6.1. Materiales actuales para herramientas de corte	13
1.7. Máquinas herramienta empleada en la fabricación de fresa	14
1.7.1. Máquina herramienta torno	14
1.8. Empleo de los aceros inoxidable	15
1.9. Mecanismo de barridos de los hornos de reducción	16
1.9.1. Roturas de los brazos de barridos	17
1.10. Conclusiones del capítulo 1	19
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1. Introducción	20
2.2. Características del material para la fabricación de la herramienta	20
2.3. Regímenes de cálculo para la fabricación de la fresa	21
2.3.1. Tiempo tecnológico para el corte en la máquina herramienta 8 G 661	22
2.4. Selección de las herramientas de corte	22
2.4.1. Operación de refrentado	22
2.4.2. Taladrado para agujero de centro	24
2.4.3. Operación de cilindrado exterior	24
2.4.4. Operación de mandrinado	25
2.4.5. Operación de taladrado	27
2.4.6. Operación de roscado	27
2.5. Cálculo de los regímenes de corte para el torneado	29
2.5.1. Velocidad y avances para corte	29
2.6. Cálculo de los tiempos tecnológicos en el torno 16 R 25 P	32



2.6.1. Taladrado en torno	33
2.6.2. Tiempo empleado en el cilindrado	34
2.6.3. Mandrinado en torno	34
2.7. Elección de regímenes racionales de fresado	35
2.7.1. Profundidad de corte	35
2.7.2. Velocidad de corte	35
2.7.3. Potencia efectiva	35
2.7.4. Momento torsor	36
2.8. Cálculo del tiempo tecnológico durante el fresado	36
2.9. Elección de regímenes racionales de rectificado	37
2.9.1. Avance longitudinal	38
2.9.2. Fuerza de corte	38
2.9.3. Potencia de corte	39
2.10. Tiempo empleado en el rectificado	39
2.11. Conclusiones del capítulo 2	40
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	
3.1. Introducción	41
3.2. Análisis de los regímenes de corte	41
3.2.1. Análisis de los regímenes de corte en el torno	42
3.2.2. Análisis de los regímenes de corte para el fresado	42
3.2.3. Análisis de los regímenes de elaboración en el rectificado	43
3.3. Análisis de los tiempos tecnológicos	43
3.4. Análisis del tratamiento térmico	45
3.4.1. Análisis del comportamiento microestructural	46
3.5. Valoración económica	48
3.6. Impacto ambiental	49
3.6.1. Efectos negativos sobre el medio ambiente de un proceso tecnológico	49
3.6. Conclusiones del capítulo 3	51
CONCLUSIONES GENERALES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	



INTRODUCCIÓN

En la tecnología de lixiviación carbonato-amoniaca, los hornos de soleras múltiples representan un importante eslabón de la cadena productiva. En ellos se verifica la reducción de los óxidos de níquel y cobalto mientras que los óxidos de hierro se reducen hasta hierro metálico. En el proceso "Caron", la Planta de Hornos de Reducción se considera entre las de mayor influencia en la finalidad del proceso, ya que la producción del sinter depende directamente de la magnitud del extractable logrado durante la reducción del mineral.

Los Hornos de Reducción de la Empresa Che Guevara, están compuestos por un cilindro metálico vertical de 15 m de altura revestido interiormente con ladrillos refractarios y exteriormente con una carcasa metálica, sistemas de alimentación, barrido, descarga y cámaras de combustión. Los hornos están provistos de 17 hogares o soleras en forma de bóvedas esféricas a través de los cuales circula la carga (mena) que, proveniente de la planta de secaderos, se le suministra al horno por la parte superior a través de un alimentador sinfín.

Existen en la planta un total de 24 hornos agrupados en tres lozas de ocho hornos cada una. La homogeneización y arrastre de la carga dentro del horno se garantiza con un sistema de 68 brazos (4 en cada hogar) acoplados a un árbol central hueco. Los brazos tienen dispuestos dientes o paletas inclinadas que propician la descarga del mineral por la periferia o por el centro del horno en forma de zigzag.

Los brazos de barrido ([ver figura anexo 1](#)), son fabricados por procesos de manufactura, que incluye la fundición y el maquinado, a través de los cuales se logra su funcionalidad en los hornos de solera en la planta de reducción de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

Los metales son difíciles de mecanizar pero algunos tipos de metales son más difíciles que otros. Hoy en día la mayoría de los metales en diferentes formas y circunstancias son mecanizados de forma eficiente.

El mecanizado es un proceso de formación de viruta. Aunque el objetivo final es cortar el metal para obtener una determinada forma y tamaño, esto tiene que



hacerse creando virutas definidas. El mecanizado se ha convertido en un proceso de generación de virutas, rompiéndolas adecuadamente cuando es necesario.

El mecanizado es un proceso mecánico que consiste en la fabricación de piezas de gran precisión. El método se basa en el arranque de material de un bloque inicial de materia prima, mediante una herramienta, hasta la obtención de la geometría de la pieza final. Existen numerosas familias de arranque de metal, siendo el fresado uno caracterizado por una herramienta de filo geoméricamente definido.

A partir de lo antes expuesto declaramos la siguiente **situación problemática**: los brazos del mecanismo de barrido de los hornos de reducción son obtenidos por el proceso de fundición de la aleación HK 40 en la Empresa "Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche", para cumplir su función, a los mismos se le acopla un sistema de dientes, acoplados a través de una cola de milano, las protuberancias e irregularidades que quedan en el área de acople son eliminadas por proceso abrasivo manual, lo que implica, primero que no se obtenga una calidad superficial adecuada para su ajuste; segundo el esfuerzo físico que debe realizar el obrero durante todo el tiempo de trabajo si se tiene en cuenta que los mismos poseen una longitud de 2 648 mm, tercero su afectación al medio ambiente por la emanación de polvo, a todo lo anterior podemos añadirle que el empleo de esta operación incrementa los costos de producción.

El **problema** a investigar lo constituye: inexistencia de una herramienta de corte con la cual se logre eliminar las asperezas e irregularidades superficiales obtenidas en la cola de milano de los brazos del mecanismo de barrido de los hornos de reducción, los cuales se fabrican por el proceso de fundición.

La hipótesis de la investigación: con la fabricación de una fresa angular que permita el mecanizado de las asperezas e irregularidades presente en la cola de milano de los brazos del mecanismo de barrido, se podrá obtener una superficie que garantice el ajuste de los dientes y disminuir el esfuerzo físico del operario.



Objetivo: Establecer una tecnología para la fabricación de una fresa angular para el mecanizado de la cola de milano en los brazos del mecanismo de barrido de los hornos de reducción.

Campo: Tecnología de maquinado por arranque de virutas.

Objeto: Operaciones tecnológicas para la fabricación de una fresa angular.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el material para la fabricación de la herramienta de corte en correspondencia con las características de la aleación HK 40.
2. Establecer el procedimiento metodológico que permita la relación de las operaciones fundamentales por las cuales transita la fabricación de la fresa angular.
3. Establecer las cartas tecnológicas de la fabricación teniendo en cuenta los regímenes de corte, dispositivos y herramientas que permitan la elaboración de la fresa angular.

Tareas del trabajo

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Caracterización de las operaciones tecnológicas por las cuales transita la tecnología de fabricación de la fresa angular.
3. Análisis de los resultados y obtención de la tecnología de fabricación de la fresa angular.
4. Planteamiento de los efectos económicos, sociales y ambientales del proceso de maquinado derivado de la fabricación de piezas.

CAPÍTULO 1



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Los materiales para Herramientas de Corte están sujetos a intensos desarrollos tecnológicos. Esto se debe a una evolución que ha durado casi todo el siglo XX, especialmente desde la década de 1930. El mecanizado que en 1900 requería de 100 minutos, hoy requiere menos de un minuto. No resulta una exageración comentar que la evolución de los materiales para Herramientas de Corte ha contribuido al desarrollo de la industria moderna.

El objetivo del capítulo es realizar la búsqueda relacionada con los materiales empleados en la fabricación de herramientas de corte empleados en la industria metalmeccánica.

1.2. Mecanizado de piezas

Los Procesos de Conformado por Eliminación de Material, habitualmente denominados Procesos de Mecanizado, se caracterizan por la obtención de la geometría final de la pieza mediante la eliminación del material sobrante de una preforma de partida.

El mecanizado es uno de los procesos de fabricación más utilizado en la actualidad, especialmente en campos como el automovilístico o el aeronáutico. Por este motivo el estudio sobre estos procesos de eliminación de materiales está en auge en la industria actual (Kalpakjian *et al.*, 2002).

Dada la naturaleza amplia de la ciencia del corte de los metales, un estudio sobre este tema puede ser abordado desde muchas perspectivas, como el material de la pieza a fabricar, las características de la herramienta, la temperatura y la fuerza en la zona de corte, la velocidad de corte, la cantidad y el tipo de viruta generada, la rugosidad obtenida, o bien la combinación de todos ellos (Bäker, 2002).

El mecanizado es un proceso donde los componentes que intervienen en el proceso son dispuestos de tal forma que las fuerzas externas aplicadas causen la fractura. Esta fractura ocurre debido a la combinación de esfuerzos flexionantes, a la fuerza de corte y al esfuerzo cortante. La presencia de los esfuerzos flexionantes en la zona de deformación distingue el proceso de mecanizado de

otro proceso de manufactura de deformación y separación Haber-Guerra *et al.*, 2001).

En el mecanizado mediante un filo de corte, la herramienta deforma parte del material de la pieza que luego se separa debido a la deformación plástica. La capa de metal que se convertirá en viruta sufre grandes esfuerzos cuando se aproxima al filo de corte. A medida que se alcanza la tensión de fluencia del material, tiene lugar la deformación plástica y elástica del mismo. La forma de la viruta varía considerablemente según sea el material de la pieza y con los diferentes parámetros de corte, pero si el metal es suficientemente tenaz, el proceso se asemeja a un flujo continuo de elementos en forma de lámina que se desprenden por esfuerzos cortantes (Schmitt-Braess *et al.*, 2002).

1.3. Materiales para la fabricación de herramientas

Herramienta es el elemento que entra en contacto directo con la pieza y produce la eliminación del material sobrante de la preforma.

Una herramienta consta, en general, de una o varias aristas o filos, (figura 1.1) materializadas por la intersección de superficies, generalmente planas. Entre estas superficies, resultan de mayor interés la denominada cara de incidencia, aquella que queda enfrentada a la superficie mecanizada de la pieza y la cara de desprendimiento, aquella por la que se desprende el material eliminado o viruta. Las aristas se denominan aristas o filos de corte (Micheletti, 1986).

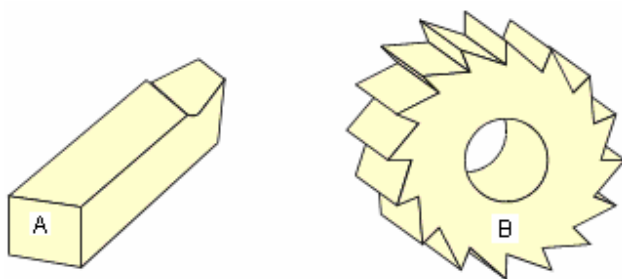


Figura 1.1. Herramientas de mecanizado. A) monofilos y B) multifilos.

Según Bruhis *et al.* (2007) la tipología existente de herramientas es muy amplia, ya que depende, entre otras, de la operación a realizar y condiciones de la misma,



de la máquina-herramienta en el que se desarrolla dicha operación y de las propiedades que se pretenden conseguir en la pieza una vez finalizado el proceso.

Plantean Garay *et al.* (2008) que en función del número de aristas de corte es frecuente considerar una primera clasificación de herramientas en herramientas monofilas, tales y como las empleadas en operaciones de torno, y herramientas multifilas, tales y como las empleadas en operaciones de fresado. La herramienta se completa con una parte no activa que permite su fijación a los elementos de sujeción de la máquina-herramienta.

Existe una amplia variedad de materiales empleados en la parte activa de la herramienta. La elección de uno u otro tipo depende fundamentalmente de las propiedades mecánicas del material a mecanizar y de los requerimientos del proceso a realizar. Por lo general, se requiere una elevada dureza y una elevada resistencia al desgaste que permita la eliminación continua de material. Resulta esencial que estas propiedades se mantengan en caliente debido al incremento de temperatura producido en la zona de corte como consecuencia del rozamiento entre la pieza y la herramienta. Este hecho descarta el uso de materiales tales como los aceros al carbono, al no mantener unas propiedades de dureza aceptables en caliente (Altintas, 2000).

Como materiales más usuales de la parte activa de la herramienta pueden considerarse los siguientes grupos según Koren (1997):

- Aceros rápidos
- Carburos metálicos
- Materiales cerámicos
- Cermets
- Materiales diamantados

Los aceros rápidos, denominados así por permitir altas velocidades de mecanizado en relación a otros aceros, están constituidos por un grupo de aceros con un contenido en carbono entre el 0,7 % y el 0,9 % y una serie de elementos de aleación tales como cobalto (5 % - 17 %), wolframio (18 % - 18,5 %), cromo (4 % - 4,5 %), molibdeno (0,5 % - 1,1 %) y vanadio (0,8 % - 2,5 %), que les



confieren sus propiedades de dureza y resistencia al desgaste en frío y en caliente. Para herramientas de geometría compleja estos aceros se obtienen por sinterizado.

Los carburos metálicos, también denominados metales duros, están constituidos por carburos de wolframio con adición de cobalto, carburos de titanio y carburos de tántalo. Presentan unos valores elevados de dureza y resistencia al desgaste en comparación con los materiales previamente mencionados. En la actualidad se trabaja en diferentes tipos de recubrimientos de estos materiales. Entre estos recubrimientos destacan el nitruro de boro, que confiere a la herramienta una dureza y una resistencia al desgaste muy elevadas. Los carburos metálicos son, junto con los aceros rápidos, los materiales más ampliamente utilizados.

Los materiales cerámicos tienen alúmina (Al_2O_3) o nitruro de silicio (Si_3N_4) como constituyentes básicos. Presentan una elevada dureza así como una gran fragilidad, hecho este que limita en gran medida su campo de aplicación. Existen materiales designados como los cermets, que son una mezcla de materiales cerámicos (TiC) y metales (Co, Ni, Mo) obtenida mediante sinterizado.

Los materiales diamantados emplean diamante en polvo y aglutinante como elementos básicos. Presentan la máxima dureza frente a los restantes materiales, aunque poseen una gran fragilidad y un elevado coste como principales inconvenientes.

Estas últimas herramientas se conocen con el nombre de "HSS" correspondientes a iniciales en inglés de High Speed Steel, que significa: aceros de alta velocidad. Estos aceros proporcionan una dureza entre 60 y 67 HRc y buena resistencia al impacto (Suárez, 1995).

1.3.1. Herramientas fabricadas de los aceros rápidos

Los aceros que contienen del 8,5 - 9 % de tungsteno y de 3,8 – 9,6% de cromo pueden ser utilizados para la fabricación de herramientas, las cuales no pierden sus propiedades de corte hasta no sobrepasar los 600 a 650 °C en el proceso de corte y son considerados como de alta velocidad (H.S.S); en ellos se pueden obtener durezas de 62 - 65 HRC con un adecuado tratamiento térmico y pueden



trabajar a velocidades de corte de 2 a 3 veces mayor que las utilizadas en los aceros al carbono (Schmitt-Braess, 1999).

Los aceros rápidos se designan con la letra P al comienzo de la clasificación, seguido de un número que indica el porcentaje de tungsteno, con las letras V y K indican el Vanadio y el Cobalto respectivamente.

El grado P18 es considerado el acero de alta velocidad básico, todos los demás grados son comparados con este. El grado P9 es de menor contenido de tungsteno pues solo tiene la mitad del P18 pero tiene mayor contenido de vanadio, el cual incrementa sus propiedades de corte haciéndolas comparables con el P18.

El método más efectivo para incrementar la dureza, resistencia en caliente y por consiguiente la resistencia al desgaste de los aceros de corte rápido es:

- Por incremento del contenido de vanadio
- Por adición de cobalto.

Otros grados de aceros de corte rápido son el P12, P 6 Mo5 y P 6 Mo 3 (Molibdeno) los cuales poseen habilidades de corte aproximado a la del P18 pero son menos costosas que éste y más fáciles de trabajar que el P9 ya que por lo difícil del rectificado del P9 no es recomendable para la producción masiva de herramientas, especialmente donde es un requisito fundamental un alto grado de rectificado como el caso de las afeitadoras y las brochas (Pérez, 2001).

Según Ray y Majumder (1984) los grados P 18, P12, P9, P 6 M 3, y P 18 2 son considerados de una capacidad normal de productividad, los demás grados P 95, P 144, P 9 K 5, P 9 K10, P 18 K 52 y P 10 K 55 son de mayor capacidad de trabajo, tienen mayor dureza, resistencia al rojo y resistencia al desgaste de 2 a 3 veces mayor que el P18.

Sus principales características son:

- Conservar su filo a temperaturas de 650 – 650 °C.
- Son menos duros en frío que los aceros al carbono.
- Permiten aumentar considerablemente la velocidad de corte.



Se emplea en la fabricación de cuchillas, brocas, brochas, fresas escariadores, herramientas de roscar, herramientas para elaborar ruedas dentadas, barrenas.

Las marcas P18 y P9 poseen una amplia aplicación en nuestra industria como es en la elaboración de aceros de construcción de $\sigma_t = 900 - 00$ MPa y HF de HB 270 - 280 MPa sin embargo el P 18 es más productivo que el P9 por tener el doble del contenido de W, lo que le permite soportar temperaturas superiores (Micheletti, 1980).

Si se señala más del 0,3 % de Mo a los grados P18 y P9, el contenido de tungsteno se reducen respecto a los demás acero de su tipo en las siguientes proporciones: 1 % de Mo reemplaza 2 % de W.

El P 9 $\Phi 5$ tiene mayor contenido de vanadio y carbono que el P 18 y 100 – 300 % más resistente al desgaste. Se recomienda para herramientas que trabajan a velocidades de corte bajas y cortan virutas finas como brochas, escariadores y machos.

Los aceros rápidos P 12, P 6 M 3, P 6 M 5 poseen buena plasticidad en caliente lo que los hace adecuados para la aplicación de la herramienta por técnicas de deformación plástica, como las brocas y barrenas helicoidales.

Las propiedades del grado P14 $\Phi 4$ son medios del P18 $\Phi 2$ y P9 $\Phi 5$.

Los grados P 9 K 5, P 9 K 10, P 18 K 5 $\Phi 2$ Y P 10 K 5 $\Phi 5$ tienen mayor dureza, dureza al rojo y resistencia al desgaste de 2 a veces mayor que el P 18 y son utilizados en herramientas que trabajan a velocidades de corte altas.

Los aceros de corte rápidos utilizados hasta ahora usados en; la elaboración de herramientas de corte ha seguido un proceso de constantes mejoras, el uso de nuevos elementos de aleación, sin embargo, a pesar de ello existen limitaciones, como son las segregaciones.

Las segregaciones son diferencias en la composición química del acero creadas en el proceso de enfriamiento y originadas por las diferentes velocidades de enfriamiento en diferentes puestos del lingote. El fenómeno de las segregaciones comienza con la formación del hierro (ferrita) llamado dentritas con bajo contenido



de carbono. Alrededor de estos núcleos llamados primarios, la colada se enriquece de carbono y elementos de aleación, solidificándose después eutécticamente, con la aparición de carburos y Austenita. Estos carburos (combinaciones de carbono y metal caracterizado por una gran dureza) son de carácter primario y durante el enfriamiento se orientan en forma de red, formando las segregaciones, que constituyen los principales problemas de los aceros de corte rápidos los cuales son: Problemas de mecanizado y pulido, dificultades durante el tratamiento térmico (cambios dimensionales), fragilidad después del tratamiento térmico.

1.4. Ángulos y filos de las herramientas de corte

El corte de los metales se logra por medio de herramientas con la forma adecuada. Una herramienta sin los filos o ángulos bien seleccionados ocasionará gastos excesivos y pérdida de tiempo. En casi todas las herramientas de corte existen de manera definida: superficies, ángulos y filos. Las superficies de los útiles de las herramientas según (Trigger y Chao, 1951) son:

- **Superficie de ataque:** parte por la que la viruta sale de la herramienta.
- **Superficie de incidencia:** es la cara del útil que se dirige en contra de la superficie de corte de la pieza.

Los ángulos son:

Ángulo de incidencia α (alfa): es el que se forma con la tangente de la pieza y la superficie de incidencia del útil. Sirve para disminuir la fricción entre la pieza y la herramienta.

Ángulo de filo β (beta): es el que se forma con las superficies de incidencia y ataque del útil. Establece qué tan punzante es la herramienta y al mismo tiempo que tan débil es.

Ángulo de ataque γ (gama): es el ángulo que se forma entre la línea radial de la pieza y la superficie de ataque del útil. Sirve para el desalojo de la viruta, por lo que también disminuye la fricción de esta con la herramienta.



Ángulo de corte δ (delta): es el formado por la tangente de la pieza y la superficie de ataque del útil. Define el ángulo de la fuerza resultante que actúa sobre el buril.

Ángulo de punta ϵ (epsilon): se forma en la punta del útil por lo regular por el filo primario y el secundario. Permite definir el ancho de la viruta obtenida.

Ángulo de posición χ (xi): se obtiene por el filo principal de la herramienta y el eje de simetría de la pieza. Aumenta o disminuye la acción del filo principal de la herramienta.

Ángulo de posición λ (lamda): es el que se forma con el eje de la herramienta y la radial de la pieza. Permite dar inclinación a la herramienta con respecto de la pieza.

1.5. Resistencia al desgaste de las herramientas de corte

Plantea Liang et al. (2004) que la resistencia al desgaste determina la duración de la herramienta y conservación de la geometría. El calor generado en los desprendimientos de material es el mayor enemigo de las propiedades físicas y químicas de las herramientas de corte, por eso es muy importante que se conserve la dureza a altas temperaturas.

En todo proceso de corte sucede un fenómeno inevitable que es el desgaste de la herramienta, siendo las tres principales causas: el desgaste por abrasión, por adhesión y por difusión (químico), en donde la velocidad de corte es el factor que más influye (Suárez, 1995). Principalmente, el desgaste en las herramientas de corte es estos fenómenos producido debido a las altas cargas normales que se generan y desplazan rápidamente sobre la superficie de la herramienta, la acción de corte y de fricción producida en la superficie incrementan la temperatura del material de la herramienta, la cual acelera los procesos físicos y químicos asociados con el desgaste de la misma (Sheng y Tomizuka, 2006).

Piedra (2007) plantea que para aumentar la dureza y mejorar las propiedades de corte del material se utilizan recubrimientos. Los recubrimientos utilizados son más duros y resistentes al desgaste que los materiales anteriormente mencionados,

que generalmente son hechos de nitruro de titanio (TiN), carburo de titanio (TiC) y óxido de aluminio (Al_2O_3) aplicados por técnicas de PVD o CVD sobre aceros rápidos. Otras técnicas de aplicación de recubrimientos como la proyección térmica, electrodeposición, electroplateado también son utilizadas.

1.6. Herramientas empleadas en el proceso de fresado

Las fresas van provistas e su periferia, o también en su cara frontal, de dientes o de cuchillas (figura 1.2), son útiles de varios filos y tienen respeto a los útiles de un solo filo, para cepillar y para torneear, la ventaja de que no se calienten tanto y de que tampoco se embotan tan rápidamente. Cada filo está cortando nada más que una fracción del tiempo que dura su revolución y durante el resto del tiempo se vuelve a enfriar (Suryanarayana, 2001).

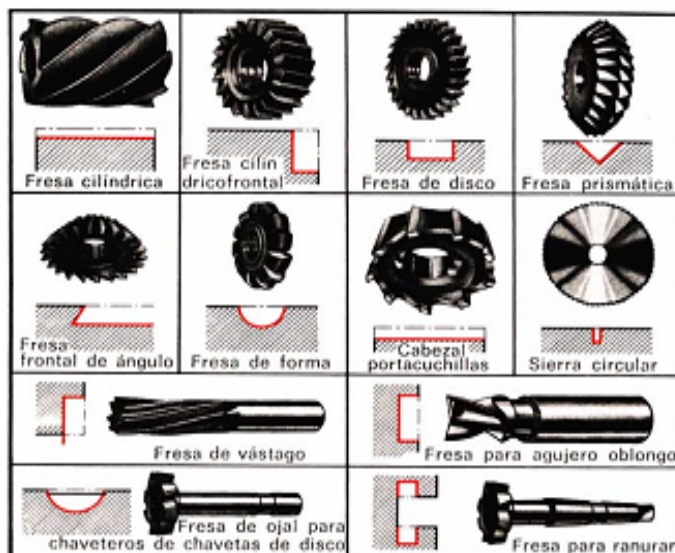


Figura 1.2. Diferentes herramientas para el fresado.

En los últimos años se ha ido imponiendo el uso del husillo vertical, y con él también ha aumentado el empleo de las fresas del tipo de espiga y de cabeza o frontales.

Por su parte, el incremento de temperatura debido al rozamiento, resulta más crítico en la herramienta que en la pieza. La razón es que la pieza presenta en general unas dimensiones mayores que permiten la evacuación del calor por conducción hacia el interior y por convección hacia el exterior de la misma y que sólo una pequeña parte de la superficie de mecanizado se ve afectada en cada

instante por el proceso. En el caso de la herramienta la situación es la inversa, es decir, sufre continuamente el efecto del rozamiento durante el proceso de corte y no dispone de las mismas posibilidades de evacuación del calor generado.

1.6.1. Materiales actuales para herramientas de corte

La introducción y el continuo desarrollo de los materiales ya existentes han mejorado el corte de metales en los últimos años (figura 1.3) aunque todavía no existe un material de herramienta óptimo para cada operación de mecanizado.

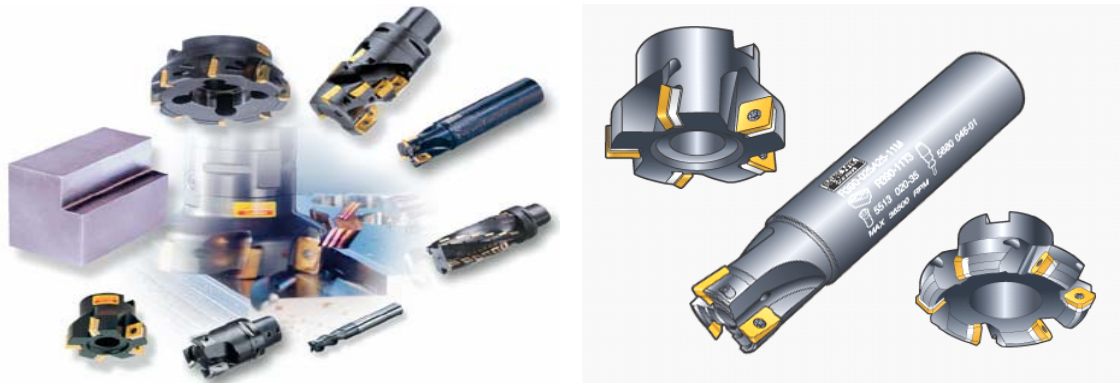


Figura 1.4. Características de las herramientas modernas.

Plantea Landers et al. (2004) que seleccionar la calidad más correcta requiere un análisis y conocimientos de los diferentes materiales, además de tener en cuenta los factores mencionados. El material idóneo debe ser:

- Duro, que resista al desgaste.
- Tenaz, para resistir la rotura.
- Químicamente inerte con la pieza y estable, para resistir la oxidación y la disolución.
- Resistente a los choques térmicos.

Denai *et al.* (2007) afirma que una sola calidad no puede cubrir toda la demanda de mecanizado. Aunque haya calidades que cubren una amplia gama de aplicaciones, son los metales duros y aceros rápidos los que dominan totalmente las aplicaciones.

Los materiales más usados para recubrimiento son: el Carburo de Titanio (TiC), el Nitruro de Titanio (TiN), el Oxido de Aluminio-cerámico (Al_2O_3) y el Carbo-Nitruro de Titanio (TiCN). El TiC y el Al_2O_3 son materiales duros que proporcionan buena

resistencia al desgaste. El TiN no es un material duro, pero proporciona bajos coeficientes de fricción en las caras de las placas y una mayor resistencia al desgaste en cráter, debido a lo cual se aplica en herramientas de corte a temperaturas no muy altas (Grzesik y Brol, 2003).

1.7. Máquinas herramienta empleada en la fabricación de fresa

Existen diferentes máquinas empleadas para el mecanizado de piezas, sin embargo, las máquina utilizada en la elaboración de una fresa es la fresadora, las cuales pueden ser vertical u horizontal (figura 1.4a y 1.4b) y el torno paralelo.



Figura 1.3a. Fresadora vertical



Figura 1.3b. Fresadora horizontal.

La fresadora es una máquina herramienta donde el movimiento de corte, que es circular, corresponde a la herramienta (fresa), la pieza, que posee el movimiento de avance, se puede desplazar en varios sentidos, siguiendo diversas trayectorias, lo que le permite obtener piezas de las más variadas formas geométricas, como: piezas poliprismáticas, piezas ranuradas y taladradas, engranajes, levas helicoidales y espiroidales (Zhao *et al.*, 2006).

1.7.1. Máquina herramienta torno

El torno (figura 1.4) es una de las de las máquinas herramienta más útil, por cuanto sirve para ejecutar un gran número de trabajos, valiéndose de herramientas que se preparan en un tiempo muy breve y además son de forma simple. Es la máquina más utilizada en las pequeñas industrias mecánicas y talleres de reparaciones (Altintas y Weck, 2004).



Figura 1.5. Tono paralelo.

Según Mukherjee y Ray (2006) el tipo de torno más corriente es el llamado torno paralelo en sus diversas variedades. Los otros tipos de tornos se comprenden, en general, con el nombre de tornos especiales.

El torno emplea una herramienta monofilos y un movimiento de rotación de la pieza para la eliminación del material. Es, junto con la fresadora, la máquina herramienta más universal y versátil. Permite el mecanizado de superficies de revolución con unos grados de acabado superficial suficientemente buenos si la elección de las condiciones de corte se realiza adecuadamente. Permite asimismo la obtención de superficies planas perpendiculares al eje de rotación de la pieza y otra serie de trabajos (Byrne *et al.*, 2003).

1.8. Empleo de los aceros inoxidables

Dentro del total de la producción mundial de aceros inoxidables, el 52 % pertenece a los aceros austeníticos inoxidables al cromo-níquel. La selección de estos materiales para aplicaciones que implican resistencia a la corrosión a altas temperaturas requiere de un conocimiento profundo sobre los mecanismos y la cinética de la formación de capas superficiales, su composición química, estructura, mecanismos de difusión. Todos estos factores y otros que están estrechamente relacionados con las propiedades mecánicas y estructurales a altas temperaturas permiten la adecuación del acero para usos específicos (De Meyer *et al.*, 2001).

Los surtidos de estos productos generalmente aparecen en forma de laminados (barras, perfiles, planchas y tubos) o en productos fundidos. Los laminados se caracterizan por poseer contenidos de carbono inferiores a 0,1 %, lo que les



asegura buena soldabilidad y la mínima presencia de fases de carburos en la estructura; mientras que los fundidos poseen contenidos de carbono superiores al 0,25 % e inferiores a 0,5 %.

Los aceros inoxidable fundidos usualmente se dividen en dos grupos principales: los termo-resistentes, pertenecientes a la serie H y los resistentes a la corrosión, pertenecientes a la serie C.

En las aleaciones fundidas, donde se requiere elevar la resistencia mecánica, los contenidos de carbono se incrementan hasta 0,4 – 0,5 %, por lo que se acentúan las diferencias en los potenciales químicos en relación con los laminados. Como resultado, en los aceros fundidos los comportamientos en cuanto a los mecanismos de segregación y precipitación de fases difieren del comportamiento manifestado en las aleaciones laminadas cuando se incrementa el contenido de elementos de aleación.

Durante el desbaste y el maquinado de los aceros inoxidable, ambas operaciones dejan una superficie áspera que puede incluir surcos, solapamientos y rebabas. Cada una de ellas puede también deformar el metal hasta una profundidad tal que el metal dañado no pueda ser eliminado por el decapado, electropulido o blastinado.

La superficie áspera puede actuar como un sitio para que se inicie la corrosión o queden atrapados productos. El pulido con abrasivos gruesos debería limitarse a aquellas operaciones tales como eliminación de defectos de soldadura antes de volver a soldar, o eliminación de refuerzos excesivos de soldadura. En el último caso, se sugiere un posterior pulido con abrasivo más fino.

1.9. Mecanismo de barridos de los hornos de reducción

Los Hornos de Reducción de la Empresa Che Guevara, están compuestos por un cilindro metálico vertical de 15 m de altura revestido interiormente con ladrillos refractarios y exteriormente con una carcasa metálica, sistemas de alimentación, barrido, descarga y cámaras de combustión. Los hornos están provistos de 17 hogares o soleras en forma de bóvedas esféricas a través de los cuales circula la



carga (mena) que, proveniente de la planta de secaderos, se le suministra al horno por la parte superior a través de un alimentador sinfín.

Existen en la planta un total de 24 hornos agrupados en 3 tres lozas de 8 hornos cada una. La homogeneización y arrastre de la carga dentro del horno se garantiza con un sistema de 68 brazos (4 en cada hogar) acoplados a un árbol central hueco. Los brazos tienen dispuestos dientes o paletas inclinadas que propician la descarga del mineral por la periferia o por el centro del horno en forma de zig zag.

El movimiento del árbol central se garantiza por una transmisión cónica accionada por un electromotor de 20 kW que proporciona una frecuencia de rotación de 1,4 a 1,5 rev/min. La energía térmica y los agentes necesarios para la reducción del mineral se obtienen de la combustión de petróleo en las cámaras y del petróleo aditivo que se añade al mineral en la planta de secado.

1.9.1. Roturas de los brazos de barridos

Los brazos de barridos de los hornos de reducción son fabricados de la aleación HK 40. El incremento del flujo productivo ha conllevado a buscar soluciones que disminuyan las frecuentes roturas que surgen en ellos.

Pardo (1993) reporta casos de roturas en componentes fabricados con aceros HK 40, pero en fallas inducidas por corrosión de la aleación en presencia de la mezcla 82 % K_2SO_4 -18 % V_2O_5 a temperaturas de 560 – 820 °C. Aunque aquí se establece la cinética de la corrosión de la aleación, no se analizan siquiera los efectos de las temperaturas sobre la microestructura del metal. Mientras que Avery (1988), se refiere a la microestructura de aleaciones HH y HK 40 después de procesos de carburización, mencionando solamente el fenómeno de precipitación de carburos.

Autores como Velázquez y Mariño (1996); Girón *et al.* (1997) y Velázquez y Mariño (1997) consideran que los problemas de roturas de brazos se han asociado con la presencia de entallas mecánicas relacionadas con defectos de fundición. Entre estos últimos se pueden citar: poros, micro y macrogrietas de solidificación e inadecuada calidad de las superficies y entallas metalúrgicas

como: composición química fuera de los parámetros establecidos y segregación de fases secundarias.

Domínguez (1995) y Prevot (1994) han atribuido el fenómeno de la rotura de brazos fabricados con la aleación HH a la presencia de entallas mecánicas (defectos de fundición) y sobrecargas durante las operaciones. Ambos analizaron teóricamente, en ausencia de cálculos verificativos de resistencia, los efectos de las sobrecargas producidas durante las operaciones debido a la formación y desprendimiento del clinker, el que ofrece gran resistencia al movimiento del mecanismo de agitación sin llegar a establecer relación alguna entre las roturas y la microestructura de la aleación.

Los brazos de barridos empleados en los hornos de soleras (figura 1.6) presentan en su parte inferior una ranura o cola de milano donde se introducen los dientes, los cuales son los encargados del movimiento del mineral dentro del horno.

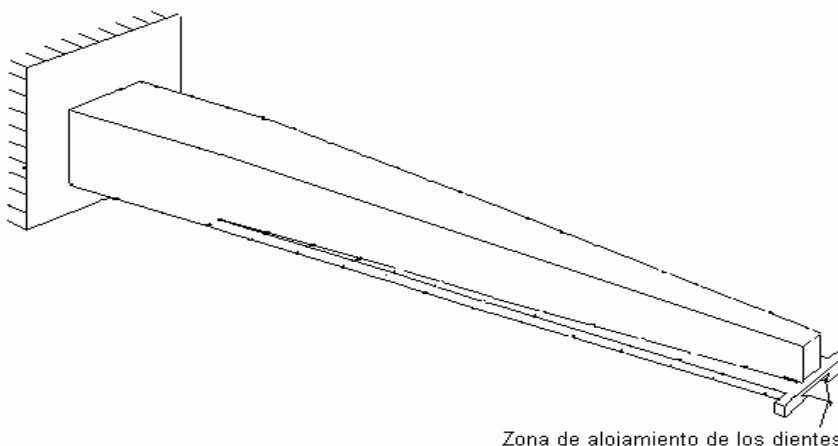


Figura 1.6. Brazo de barrido (área de alojamiento de los dientes).

Fuente: Velázquez (2002).

La ranura, luego del proceso de fundición debe ser limpiada para lograr que el ajuste de los dientes sea lo más rígido posible, sin embargo el proceso de maquinado que actualmente se emplea es por medio de abrasivo, lo cual no permite obtener una superficie con el mejor acabado posible, lo que en ocasiones provoca la caída de los dientes, para paliar esta dificultad se hace necesario buscar alternativa, donde la más factible y económica es la fabricación de una fresa para realizar el desbaste del material sobrante que queda del metal fundido.



1.10. Conclusiones del capítulo 1

- Los procesos de mecanizados por arranque de virutas se emplean para la elaboración de piezas a partir de un semiproducto hasta obtener un producto semiacabado con las dimensiones que se quieren lograr.
- Dentro de los aceros para la fabricación de herramientas de corte, los aceros rápidos presentan buenas propiedades mecánicas, sobre todo su resistencia a altas temperaturas y su fácil maquinabilidad.
- Los brazos de barridos de los hornos de soleras se obtienen por fundición, sin embargo el proceso de limpieza de la ranura donde se alojan los dientes se realiza por esmerilado, por lo que se hace necesario la elaboración de una fresa.

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

El procedimiento de conformación por arranque de viruta está basado en la obtención de las superficies elementales que constituyen una pieza (plana, cilíndrica y cónica) por separación de capas delgadas de material en forma de viruta. La separación de viruta está motivada por el procedimiento relativo (movimiento de corte) de la pieza y el filo de una herramienta que penetra en ella. Además del movimiento de corte, el mecanizado necesita la concurrencia de otros dos movimientos: el de avance y el de penetración.

En este capítulo se plantea como objetivo establecer la metodología de cálculo relacionada con la fabricación de la fresa angular de vástago mostrada en el anexo 1, así como la relación de las máquinas herramientas por donde transita para su elaboración.

2.2. Características del material para la fabricación de la herramienta

Las herramientas de corte se fabrican de aleaciones que contienen cromo, molibdeno, vanadio, wolframio. Además son empleados los carburos de tungsteno y de wolframio. El material empleado para realizar la fabricación de la fresa angular de vástago aparece en la tabla 2.1 y sus propiedades mecánicas en la tabla 2.2.

Tabla 2.1. Composición química en % del material P 6 M 5

C	Cr	W	V	Mo	Fe
0,85 %	4,15 %	6,2 %	1,8 %	5,2 %	Balance

Tabla 2.2. Propiedades mecánicas del material P6M5

Resist a la tracción	Límite de fluencia	Elongación	Dureza Brinell
3 200 – 3 600 MPa	900 – 1 000 MPa	8 %	255 HB

Se selecciona el acero P 6 M 5 por poseer buena plasticidad en caliente, lo que lo hace adecuado para la aplicación de la herramienta por técnicas de deformación plástica.

Por ello, la principal propiedad que se exige a este tipo de acero es que presente una elevada resistencia, tenacidad y dureza acompañadas de buena resistencia al desgaste y templabilidad. Estas propiedades se consiguen, siempre en estado de

temple y revenido de martensita referidos en la carta tecnológica de tratamiento térmico (ver anexo 2), tras un tratamiento de solubilización de carburos y temple. Sin embargo, como la martensita no es una fase de equilibrio, se produce una degradación de estas propiedades, de manera progresiva, cuando se exponen a temperaturas intermedias. Tal es el caso de un sobrecalentamiento durante la utilización de la herramienta de corte.

2.3. Regímenes de cálculo para la fabricación de la fresa

El tronzado consiste en realizar una sección en el plano transversal del semiproducto, para ello es necesario conocer la naturaleza del material a seccionar y así escoger la velocidad de corte del mismo y ajustarla a las características de la máquina herramienta que se va a emplear. La velocidad de corte recomendada para el tronzado de la aleación P6M5 según Casillas (1987) es de $v_c = 20$ m/min. A partir de la misma se determina la frecuencia de rotación de la sierra circular modelo 8 G 661.

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (2.1)$$

Donde:

- n – frecuencia de rotación de la sierra circular; rev/min
- v_c – velocidad de corte de la sierra circular; m/min
- D – diámetro de la sierra circular; mm

En la tabla 2.3 aparecen las características fundamentales de la sierra circular que se emplea para el corte del semiproducto.

Tabla 2.3. Características de la fresa circular de dientes segmentados

Parámetros	Dimensiones
Diámetro exterior	710 mm
Ancho de triscado	7 mm
Cantidad de segmentos dentados	10 mm

La selección de la sierra radica en las propiedades mecánicas que presenta la misma, buena resistencia al rojo, además el ancho de triscado, con la cantidad de segmentos dentados permitirá el desprendimiento de la virutas sin calentamiento

excesivo ya que esta disposición de los dientes además de la evacuación fácil, permite también la fácil refrigeración.

2.3.1. Tiempo tecnológico para el corte en la máquina herramienta 8 G 661

Para realizar el proceso de corte se empleo la máquina herramienta 8 G 661, de la cual fue relacionada sus características anteriormente.

$$T_o = \frac{d + l_1 + l_2}{S_M} \quad (2.2)$$

Donde:

T_o – tiempo necesario para realizar la operación tecnológica; min

d – diámetro del semiproducto; mm

l_1 – longitud de acercamiento de la sierra circular; mm

l_2 – longitud de salida de la sierra; mm

S_M – avance circular de la sierra circular; mm/min

$l_1 = (2 - 3) \text{ mm}$ y $l_2 = (3 - 10) \text{ mm}$

2.4. Selección de las herramientas de corte

Las herramientas de corte empleadas para la fabricación de piezas se eligen en dependencia de la operación tecnológica de mecanizado, las cuales deben garantizar el buen acabado del material que se elabora, las herramientas seleccionadas para la fabricación de la fresa se hizo según los criterios de Sandvik Coromant (2007), los cuales están referenciados en la carta tecnológica de maquinado (ver anexo 3).

2.4.1. Operación de refrentado

Para la operación de refrentado se empleo una plaquita CNMG 150 608 GC 4025 (figura 2.1), con un Soporte PSSNR 2525 P15.

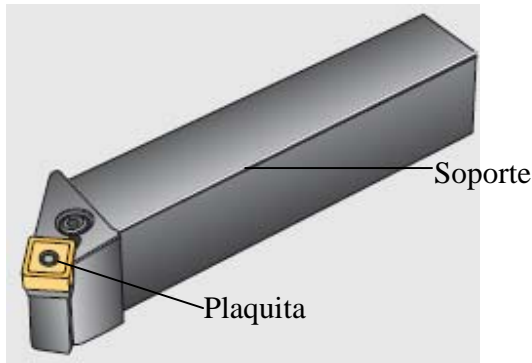


Figura 2.1. Herramienta empleada en el torneado.

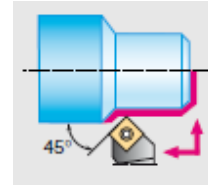


Figura 2.1a. Planos de corte.

En la figura 2.2 se muestra las características de la plaquita T – MAX P, la cual se emplea en el mecanizado medio.

CNMG 150 608 GC 4025
ap = 0,5 - 5,0 mm
fn = 0,17 - 0,5 mm/rev

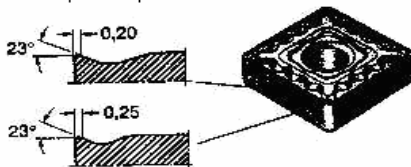


Figura. 2.2. Plaquita para el refrentado T – MAX P.

Esta plaquita presenta un filo robusto con borde fiable. Buen rendimiento en superficies con cascarilla y cortes discontinuos, generando un buen control de la viruta.

Nomenclatura

C – Plaquita cuadrada

N – ángulo de incidencia de la plaquita en grados.

M – campo de tolerancia $\pm 0,13$ mm.

G – doble cara de corte

15 – longitud de la arista de corte; mm

06 – espesor de la plaquita; mm

08 – radio de la punta de la plaquita; mm

Soporte PSSNR 2525 P15

P – sujeción por agujero

- S – geometría de la plaquita cuadrada
 - S – ángulo de la geometría del soporte 45°
 - N – ángulo de incidencia del soporte en grados.
 - R – sentido de la plaquita (derecha)
 - 25, 25 – dimensiones de la sección transversal; mm
 - P15 – longitud del mango; 150 mm
 - GC 4025 – Se emplea para el mecanizado de todo tipo de material.
 - GC - Metal duro recubierto
- Las letras GC significan en inglés "cubierta gamma"

2.4.2. Taladrado para agujero de centro

Cuando la longitud del mecanizado de la pieza en el torno tiene la condición de $l = 2 \cdot D$, entonces la misma se elabora entre plato y punto, en nuestro caso es necesario aplicar la condición anterior, por lo que se hace necesario el empleo de agujero de centro.

Según Гжуроб (1983) para semiproductos de 90 mm de diámetro se realizan agujero tipo A (ver detalle I del anexo 1).

La herramienta a emplear será una broca combinada de diámetro 6,3 mm con un ángulo de 60° y fabricada con material HSS (figura 2.3).



Figura 2.3. Broca combinada de 6,3 mm de diámetro.

2.4.3. Operación de cilindrado exterior

La operación de cilindrado consistió en la eliminación del metal sobrante del diámetro exterior del semiproducto, para ello se empleó una cuchilla de plaquita TNMG 220 404 GC 4025 (figura 2.4).

Plaquita TNMG 220 404 GC 4025

$a_p = 0,7 - 5$ mm

$f_n = 0,14 - 0,3$ mm/rev



Figura 2.4. Plaquita para el cilindrado T – MAX P.

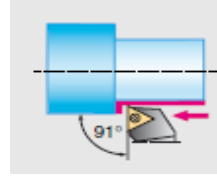


Figura 2.4a. Herramienta de corte.

Figura 2.4b. Plano de corte.

Plaquita del tipo T – MAX P empleada en el mecanizado medio para el acabado, tiene una acción de corte suave u fuerza de corte bajas.

Nomenclatura

T – Plaquita triangular

N – Ángulo de incidencia de la plaquita es 0 grados.

M – Campo de tolerancia $\pm 0,13$ mm.

G – Doble cara de corte

22 – Longitud de la arista de corte; mm

04 – Espesor de la plaquita; mm

04 – Radio de la punta de la plaquita; mm

Soporte PTGNR 2525 M22

P – Sujeción por agujero

T – Geometría de la plaquita triangular

G – Ángulo de la geometría del soporte 90°

N – Ángulo de incidencia del soporte es 0 grados.

R – Sentido de la plaquita (derecha)

25, 25 – Dimensiones de la sección transversal; mm

P22 – Longitud del mango; 220 mm

2.4.4. Operación de mandrinado

De forma análoga al cilindrado exterior, el mandrinado se realiza en la parte interior de la pieza, es un cilindrado interior para eliminar el material sobrante. Para ello se empleó una cuchilla de plaquita CNMG 090 304 GC 235 como se muestra en la figura 2.5.

CNMG 090 304 GC 235
 $a_p = 0,7 - 4 \text{ mm}$
 $f_n = 0,15 - 0,5 \text{ mm/rev}$

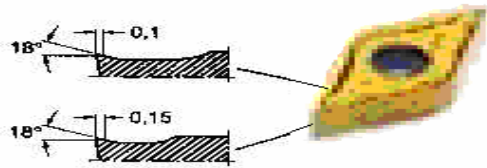


Figura 2.5. Plaquita para el mandrinado CORO TUR "107".

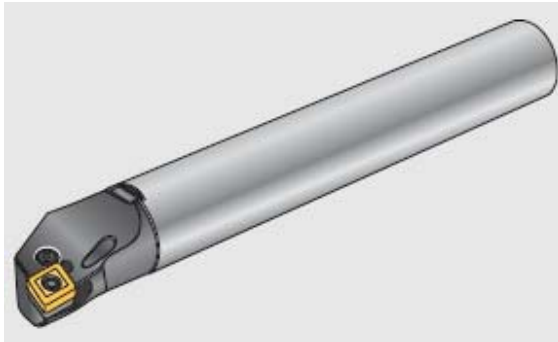


Figura 2.5a. Soporte de mandrinar.

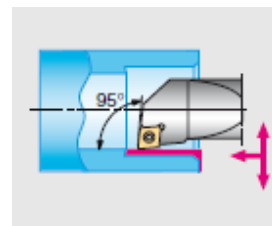


Figura 2.5b. Plano de corte.

Plaquita que presenta excelente acabado superficial combinado con elevado con elevado avance, incrementando la utilización de la productividad.

Nomenclatura

D – Plaquita rómbica de 55° .

N – Ángulo de incidencia de la plaquita en grados.

M – Campo de tolerancia $\pm 0,13 \text{ mm}$.

G – Doble cara de corte

09 – Longitud de la arista de corte; mm

03 – Espesor de la plaquita; mm

04 – Radio de la punta de la plaquita; mm

GC 235 – Se emplea para el mecanizado de aceros al carbono y aleados.

El soporte empleado para la sujeción de la plaquita es:

Soporte S 16 R - PCLNR 09

S – Barra de acero enteriza

16 – Diámetro de la barra; mm

R – Longitud del mango; 180 mm

P – Sujeción por agujero

- C – Geometría de la plaquita rómbica
- L – Ángulo de la geometría del soporte 97°
- N – Ángulo de incidencia del soporte es 0 grados.
- R – Sentido de la plaquita (derecha)
- 09 – Longitud de la arista de corte; mm

2.4.5. Operación de taladrado

En el taladrado se utilizó una broca helicoidal de diámetro 17,5 mm (figura 2.6), por las dimensiones de la broca se empleó un cono morse número 2, el material de la broca es Hight Steel Speed (HSS), con una longitud de trabajo de 130 mm.



Figura 2.6. Broca helicoidal

2.4.6. Operación de roscado

En el roscado la selección de la herramienta depende del tipo de rosca (métricas, cuadradas, trapezoidales (Métrica o ACME) y redondas) así como el ángulo de perfil de las mismas (29, 30, 33, 45, 55 ó 60°).

El proceso consiste en realizar hélices en la superficie cilíndrica, tanto exterior como interior de los elementos que integran la fresa, para ello se utilizó la siguiente herramienta (ver figura 2.7).

Plaquita R 166.0L – 16MM01 – 250 GC 1020

R166.0 – Plaquita T – MAX U – Lock

L – Mecanizado Interior

16 – Tamaño de la plaquita; mm

MM0 – Rosca métrica 60°

(1) – Un diente

(-) – Filo redondeado

250 – Paso multiplicado por 100; mm

GC 1020 – Calidad universal con recubrimiento PVD para roscar aceros, combina una buena resistencia al desgaste con tenacidad del filo.



Figura 2.7. Plaquita para roscar

Soporte R166.4 KF – 16 – 16

R116.4 – Portaherramienta con tornillo QC

KF – Mecanizado interior

16 – Diámetro del mango; mm

16 – Diámetro mínimo del agujero en la pieza a trabajar; mm

En la figura 2.7 se muestra la herramienta empleada en el proceso de roscado.

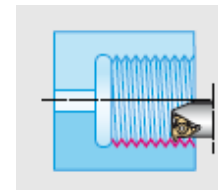


Figura 2.7a. Soporte para roscar

Figura 2.7b. Plaquita

Figura 2.7c. Plano de corte

La velocidad de corte se disminuirá de un 20 - 25 de la empleada en el torneado.

Se mantienen todos los regímenes de corte calculados. Para el tiempo del proceso en el tallado de rosca se emplea la siguiente ecuación:

$$T_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{S_p \cdot n} \cdot i \quad (2.3)$$

Donde:

S_p – avance de la cuchilla; mm/rev

El cálculo de esta expresión se determina según Аоаматобекий (1982) como:

$$S_p = p \cdot n_e \quad (2.4)$$

Donde:

p – paso de la rosca; mm

n_e – número de entradas de la rosca; adimensional

$l_1 = (1 - 2)$ mm y $l_2 = (0,5 - 2)$ mm.



2.5. Cálculo de los regímenes de corte para el torneado

El objetivo fundamental en los Procesos de Manufactura por Arranque de Viruta es obtener piezas de configuración geométrica requerida y acabado deseado. La operación consiste en arrancar de la pieza bruta el excedente (mal sobrante) del metal por medio de herramientas de corte y maquinas adecuadas. Los parámetros fundamentales de los regímenes de corte son: avance de la herramienta, números de revoluciones del husillo, velocidad de corte, profundidad de corte.

2.5.1. Velocidad y avances para corte

La velocidad a la cual gira la pieza de trabajo en el torno es un factor importante y puede influir en el volumen de producción y en la duración de la herramienta de corte. Una velocidad muy baja en el torno ocasionará pérdidas de tiempo; una velocidad muy alta hará que la herramienta se desafilé muy pronto y se perderá tiempo para volver a afilarla. Por ello, la velocidad y el avance correctos son importantes según el material de la pieza y el tipo de herramienta de corte que se utilice. La velocidad de corte empleada para el mecanizado de la aleación P 6 M 5 en tornos se encuentra en la tabla 2.4 (Bäker, 2006).

Tabla 2.4. Velocidad de corte recomendadas

Operación tecnológica	Desbaste	Acabado	Roscado
Velocidad de corte (v_c) (mm/min)	21	27	9

Según Casillas (1987) y Feschenkov y Majmutov (1989), los avances recomendados para las operaciones de mecanizado de desbaste es de 0,4 mm/min y para acabado es de 0,2 mm/min). Siendo el avance de un torno la distancia que avanza la herramienta de corte a lo largo de la pieza de trabajo por cada revolución del husillo.

Al determinar los regímenes de elaboración en las máquinas herramienta, una condición necesaria e imprescindible es que la potencia que se calcule debe ser menor que la que presenta la máquina según la recomendación del fabricante, ya que esta es la potencia necesaria para ejecutar el trabajo. La ecuación 2. 5 permite determinar la potencia de corte para el mecanizado de la fresa.

$$P_z = C_{fz} \cdot t^{x_{fz}} \cdot S^{y_{fz}} \cdot K_{fz} \quad (2. 5)$$



Donde:

P_z – fuerza de corte; MPa

C_{fz} – factor que depende de las propiedades mecánicas del material

t – profundidad de corte; mm

S – avance; mm/rev

x_{fz} – exponente de la profundidad de corte

y_{fz} – exponente del avance

K_{fz} – coeficiente de corrección

El momento torsor que realiza el husillo para mover al semiproducto se determina por la ecuación:

$$M_{tor} = \frac{P_z \cdot d}{2} \quad (2.6)$$

Donde:

M_{tor} – momento torsor; N. m

d – diámetro del semiproducto; mm

La potencia eficaz de la plaquita para realizar el desprendimiento del material se evalúa por la expresión matemática.

$$N_e = \frac{P_z \cdot v_c}{6120} \quad (2.7)$$

Donde:

N_e – Potencia eficaz para realizar el arranque de virutas; kW

v_c – velocidad de corte; m/min

La flecha máxima (desviación) que surge respecto a la línea media como resultado de la masa del semiproducto y de los puntos de apoyo que éste tenga así como de la distancia se determina:

Para el mecanizado entre plato y punto



$$f = \frac{P_z \cdot l^3}{48EI} \quad (2.8)$$

Para el mecanizado con un extremo empotrado y el otro en voladizo

$$f = \frac{P_z \cdot l^3}{3EI} \quad (2.9)$$

Donde:

f – es la flecha máxima; mm

P_z – componente radial de la fuerza de corte; N

E – módulo de elasticidad; N/m²

l – longitud del semiproducto; mm

I – momento de inercia en mm⁴ y está dado por la ecuación:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{4} \quad (2.10)$$

Donde:

d – diámetro del semiproducto; mm

La altura del filete de la rosca de una superficie interior está dada por la ecuación:

$$a_p = 0,54127 * P \quad (2.11)$$

Donde:

a_p , altura del filete de la rosca; mm

P – es el paso de la rosca; mm

0,51127 - es una constante

La penetración radial por pasadas se determina por la expresión matemática:

$$\Delta Px = \frac{a_p}{\sqrt{n_{ap} - 1}} \cdot \sqrt{\psi} \quad (2.12)$$



Donde:

ΔP_x , penetración radial; mm

n_{ap} – es la cantidad de pasadas

ψ – coeficiente que depende del número de pasadas

$\psi = 0,3$ para la primera pasada de penetración

$\psi = 1$ para la segunda pasada de penetración

$\psi = x - 1$ para la tercera y más pasadas de penetración

Durante el mecanizado de la superficie cónica se debe tener en cuenta la Ley del Seno, lo que fue reportado por (Casillas, 1998) y está dada por la ecuación matemática:

$$H = C \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (2. 13)$$

Donde:

H – es la diferencia de diámetro; mm

C – longitud de comprobación; mm

α – ángulo del cono; grados

2.6. Cálculo de los tiempos tecnológicos en el torno 16 R 25 P

En el proceso de mecanizado es preciso realizar previamente la operación de tecnológica de refrentado la cual se realiza en el plano axial del semiproducto con el objetivo de garantizar un correcto centraje y atenuar las pulsaciones axiales, esta operación requiere de un tiempo tecnológico el cual está dado por la siguiente expresión matemática.

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i \quad (2.14)$$

Donde:

S – avance de la herramienta cortante; mm/min



n – frecuencia de rotación del husillo; rev/min

i – número de pasadas (adimensional), depende de la profundidad de corte (t), la cual se expresa como:

$$t = \frac{D - d}{2} \quad (2. 15)$$

Donde:

t – profundidad de corte; mm

D – dimensión actual del semiproducto; mm

d - dimensión desea por diseño; mm

L – recorrido de trabajo de la herramienta de corte en milímetros y está dada por la ecuación:

$$L = \frac{d}{2} + l_1 + l_2 + l_3 \quad (2. 16)$$

Donde:

d – diámetro del semiproducto; mm

l_1 – longitud de acercamiento de la herramienta de corte; mm

l_2 – longitud de salida de la herramienta de corte en el plano axial; mm

l_3 – longitud de salida de la herramienta de corte en el plano radial; mm

Casillas (1987) plantea que cuando la razón longitud/diámetro del semiproducto es mayor a cinco milímetros ($\frac{L}{D} > 5 \text{ mm}$), es preciso elaborar un agujero para centraje para realizar el mecanizado entre plato y punto. Por lo que el tiempo estimado para esta operación se determina por la ecuación:

$$T_o = \frac{l + l_1}{S \cdot n} \quad (2. 17)$$

Donde:

l – profundidad del agujero; mm

2.6.1. Taladrado en torno

El proceso de taladrado en el torno se realiza de forma horizontal, la pieza se coloca en el plato autocentrante y la herramienta en el cabezal móvil, o en el carro

portaherramienta. La ecuación 2.7 establece el procedimiento de cálculo de esta operación.

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{S \cdot n} \quad (2. 18)$$

Donde:

l_1 – longitud de acercamiento de la broca, mm

La longitud de acercamiento de la broca se determina por la siguiente ecuación.

$$l_1 = \frac{D}{2} \cdot Ctg(\varphi) \quad (2. 19)$$

Donde:

D – diámetro de la broca helicoidal; mm

φ – mitad del ángulo formado entre las dos generatrices de la punta de la broca; grados

El ángulo de corte de las brocas helicoidales oscila de 116 – 118° (Casillas, 1987).

2.6.2. Tiempo empleado en el cilindrado

El tiempo recomendado para realizar la operación tecnológica de cilindrado está dado por la expresión:

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{S \cdot n} \cdot i \quad (2. 20)$$

La longitud de acercamiento de la herramienta de corte en el cilindrado (l_1) se determina a través de la ecuación:

$$l_1 = \frac{t}{\tan(\varphi)} \quad (2. 21)$$

Donde:

φ – ángulo de posición de la cuchilla; grados

La profundidad de corte (t) del proceso de mecanizado de desbaste es de 2 – 5 mm y para el mecanizado de acabado de 0,2 – 0,5 mm (Casillas, 1998).

2.6.3. Mandrinado en torno

Para el mandrinado se ubica la cuchilla en el carro portaherramienta del torno en dirección al eje X, luego de un previo taladrado se realiza la operación de



desbaste y acabado con la herramienta de corte, la fórmula para determinar el tiempo de maquinado es:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i \quad (2.22)$$

El recorrido de trabajo de la herramienta de corte en milímetros está dado por la ecuación:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3 \quad (2.23)$$

2.7. Elección de regímenes racionales de fresado

Elegir un régimen racional de fresado en la máquina preestablecida, significa que en las condiciones dadas de maquinado (material y marca de la pieza bruta, su forma y dimensiones, sobreespesor para el mecanizado) hay que tomar el tipo y dimensiones adecuadas de la fresa, la marca de su material y los parámetros geométricos de la parte cortante de ésta, el líquido refrigerante.

2.7.1. Profundidad de corte

Se designa la profundidad de corte en dependencia del sobreespesor para el maquinado, los requisitos respecto de la rugosidad de la superficie y la potencia de la máquina. Es deseable arrancar el sobreespesor con una sola pasada, teniendo en cuenta la potencia de la máquina. Por regla general, la profundidad de corte durante el fresado de desbaste no supera de 4 – 5 mm y para el fresado de acabado la profundidad de corte no excede de 0,5 – 1 mm (Barbashov, 1981).

2.7.2. Velocidad de corte

Como ésta influye en el mayor grado sobre la durabilidad de la herramienta de corte, se elige partiendo de la norma de durabilidad adoptada para la herramienta dada. Según Scharkus (1992) la velocidad de corte en desbaste para el mecanizado de la aleación P 6 M 5 con una fresa de acero de alta velocidad (HSS), es de 14 m/min y para el mecanizado de acabado es de 18 m/min.

2.7.3. Potencia efectiva

Es la potencia necesaria para llevar a cabo el corte (descontando el rendimiento de la máquina) y está dada por la ecuación:



$$P_e = \frac{P_z \cdot v_c}{6120} \quad (2.24)$$

Donde:

P_z – fuerza circunferencial de corte; kW

Está dada por la siguiente expresión matemática:

$$P_z = P \cdot F \quad (2.25)$$

Donde:

P – presión de corte; MPa

F – área de la sección transversal de corte en mm² y está dada por la expresión:

$$F = a \cdot b \quad (2.26)$$

Donde:

b – ancho de fresado; mm

a – longitud de la viruta en mm y está dada por la ecuación:

$$a = 0,9 \cdot S_z \quad (2.27)$$

Donde:

S_z – avance; mm/diente

2.7.4. Momento torsor

Es el momento necesario para la herramienta cortante realizar el corte y su ecuación es:

$$M_{tor} = \frac{P_z \cdot D_f}{2} \quad (2.28)$$

Donde:

M_{tor} – Momento torsor; MPa

D_f – Diámetro de la fresa; mm



2.8. Cálculo del tiempo tecnológico durante el fresado

La máquina fresadora para realizar las operaciones de fresado es la modelo 6 T 83 SH, la cual presenta las siguientes características técnicas:

La superficie útil de mesa es de 320 x 1250 mm. Potencia del motor Nm = 7 kW. Rendimiento de la fresadora $\eta = 0,8$. Frecuencia de rotación del husillo (rev/min): 32,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600. Avances longitudinales y transversales de la mesa (mm/rev): 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250. Avances verticales de la mesa (mm/min): 8; 10,5; 13,3; 16,6; 21; 26,6; 33,3; 41,6; 53,3; 66,6; 83,3; 105; 133,3; 166,6; 210; 266,6; 333,3; 400.

El cálculo del tiempo tecnológico se determina como:

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{S_m} \cdot i \quad (2.29)$$

Donde:

l – longitud de fresado; mm

l_1 – longitud de acercamiento de la fresa, mm

La longitud de acercamiento se determina a través de la ecuación.

$$l_1 = \sqrt{B(D - B)} \quad (2.30)$$

Donde:

El avance por minuto de la mesa se calcula por la siguiente ecuación:

$$S_m = S_z \cdot Z \cdot n \quad (2.31)$$

Plantea Aoamatobekий (1982) que para el mecanizado de la aleación P 6 M 5, el avance en milímetro por diente (S_z) para una profundidad de corte ($t = 1,5$ mm) es $S_z = 0,1$ mm/diente.

2.9. Elección de regímenes racionales de rectificado

En el esmerilado es preciso conocer la velocidad de la muela, la cual está diseñada para operar a velocidades de 30 – 35 m/s.

Además se debe tener en cuenta la velocidad periférica de la pieza la cual debe estar de 15 a 55 m/min, lo que fue reportado por (Fernández, 2004)



La frecuencia de rotación correspondiente a la velocidad periférica asignada está dada por la expresión matemática:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot d_p} \quad (2.32)$$

Donde:

v_p – velocidad periférica de la pieza; m/min

d_p – diámetro de la pieza; mm

Según (Fernández, 2004) la profundidad de corte para el esmerilado exterior de desbaste y acabado es de $t = 0,0025 - 0,05$ mm.

2.9.1. Avance longitudinal

Es el avance que desarrolla la muela rectificadora en el eje axial en dependencia del ancho de la misma y está dado por las ecuaciones 2.33 y 2.34.

Para desbaste

$$S_{long} = (0,7 - 0,85)B \quad (2.33)$$

Para acabado

$$S_{long} = (0,2 - 0,4)B \quad (2.34)$$

Donde.

S_{long} – avance longitudinal; mm/rev

B – ancho de la muela abrasiva; mm

2.9.2. Fuerza de corte

Es la fuerza necesaria que desarrolla la muela rectificadora para esmerilar a la pieza, la cual se determina por la ecuación:

$$P_z = \frac{v_p \cdot t \cdot S_{long}}{60 \cdot v_m} \quad (2.35)$$



Donde:

P_z – fuerza de corte; *MPa*

2.9.3. Potencia de corte

Es la potencia necesaria para llevar a cabo el esmerilado (descontando el rendimiento de la máquina) y está dada por la ecuación:

$$N_c = \frac{P_z \cdot v_m}{102 \cdot \eta} \quad (2.36)$$

Donde:

N_c – potencia de corte; *kW*

η – rendimiento del proceso de rectificado; %

2.10. Tiempo empleado en el rectificado

El tiempo recomendado para realizar la operación tecnológica de rectificado está dado por la expresión:

$$T_o = \frac{L \cdot h}{n_p \cdot S_{long} \cdot t} K \quad (2.37)$$

Donde:

t – tiempo de esmerilado; *min*

L – longitud de rectificado; *mm*

h – holgura de la muela respecto a la pieza por ambos lados ($h = 0,2 \text{ mm}$)

K – coeficiente de corrección

$K = 1,3$ para el rectificado de desbaste

$K = 1,6$ para el rectificado de acabado



2.11. Conclusiones del capítulo 2

- Se relacionaron las propiedades químicas y mecánicas de la aleación P 6 M 5 por poseer buena plasticidad en caliente, lo que lo hace adecuados para la aplicación de la herramienta por técnicas de deformación plástica, la misma posee una elevada resistencia, tenacidad y dureza acompañadas de buena resistencia al desgaste y templabilidad.
- Los procedimientos descritos permiten determinar los regímenes de corte adecuados para efectuar el mecanizado con los esfuerzos de cortes y factor de desgaste de las herramientas de corte mínimos.
- Las ecuaciones desarrolladas permiten establecer el procedimiento metodológico de los regímenes del proceso de mecanizado de la aleación P 6 M 5, donde se consideran las máquinas y herramientas necesarias.

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción

La maquinabilidad de los materiales se caracteriza por la resistencia al corte y por la calidad de la superficie a labrar. La maquinabilidad depende de la composición química y las propiedades físico - mecánicas del material. La elección de la herramienta de corte está dada por la calidad de la superficie a obtener, la cual debe presentar un buen acabado superficial ya que las ondulaciones y rugosidades definen el contacto de los cuerpos sólidos, estas herramientas están diseñadas para altas velocidades de corte y pocas pasadas. En éste capítulo se exponen los resultados obtenidos a través del desarrollo de la metodología de cálculo para la fabricación de la fresa angular de vástago de acero P6 M 5 empleada para el mecanizado de la ranura tipo cola de milano en los brazos del mecanismo de barrido de los hornos de reducción.

El objetivo del capítulo es establecer el procedimiento para la fabricación de la fresa angular de vástago a partir de los regímenes de corte empleados en el mecanizado de piezas.

3.2. Análisis de los regímenes de corte

Para la elaboración de la fresa angular, que se empleará en el mecanizado de la ranura del mecanismo de barrido de los hornos de reducción se tendrán en cuenta diferentes procesos como son, el torneado que incluye: cilindrado exterior, taladrado, roscado, fresado, tratamiento térmico y rectificando. La figura 3.1 muestra la forma final de la fresa angular de vástago.

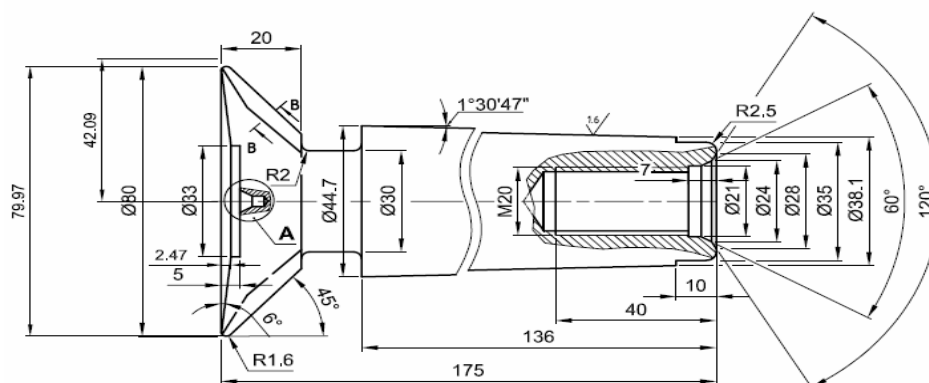


Figura 3.1. Fresa angular de vástago.



3.2.1. Análisis de los regímenes de corte en el torno

La fuerza de corte (P_z) ejercida por la plaquita en el proceso de torneado durante el arranque de virutas con las variables: profundidad de corte (t) = 4,79 mm, avance (S) = 0,2 mm/min, exponente de la profundidad de corte, $x_{fz} = 0,75$, exponente del avance $y_{fz} = 1$ y coeficiente de corrección $K_{fz} = 0,68$ para la aleación P 6 M 5, sustituyendo los valores sería:

$$P_z = 221 \cdot 4,79 \cdot 0,2 \cdot 0,68 = 13\ 870\ MPa$$

El momento torsional (M_{tor}) surgido en el husillo, para un diámetro del semiproducto ($d = 90\ mm$) y una fuerza de corte ($P_z = 13\ 870\ MPa$) es $62,42\ N \cdot m$.

La potencia eficaz (N_e) de la plaquita para vencer la resistencia del material a mecanizar con una fuerza de corte ($P_z = 13\ 870\ MPa$) y una velocidad de corte ($v_c = 27\ m/min$) es 2,2 kW.

La flecha máxima (f) para el mecanizado entre plato y punto, con una fuerza de corte ($P_z = 13\ 870\ MPa$), longitud del semiproducto ($l = 180\ mm$), módulo de elasticidad ($E = 2,1 \times 10^6\ N/mm^2$) y momento de inercia ($I = 51\ 529\ 974\ mm^4$) es 0,2 mm y para el maquinado con un extremo empotrado y el otro en voladizo es 0,4 mm.

3.2.2. Análisis de los regímenes de corte para el fresado

Durante el fresado la colocación de la pieza se realizó en el cabezal divisor, entre el plato y el punto, lo cual permitió la fabricación de 10 labios o filos de corte, para trabajar en el cabezal se seleccionó el círculo 54, lo cual permite mayor precisión en la ejecución y la elaboración.

Se determinó el cálculo en el cabezal de las divisiones por la ecuación 3.1.

$$n = \frac{40}{10} = 4$$

Esto significa que se realizarán 4 vueltas completas en el círculo de 54 orificios.

Este ciclo se repite cada vez que se requiera elaborar un labio cortante,

La fuerza de corte (P_z) ejercida por cada diente de la fresa con una presión de corte ($P = 4500\ MPa$), avance ($S_z = 0,1\ mm/diente$), un área de la sección



transversal de corte ($F = 1,35 \text{ mm}^2$) para una longitud de la viruta ($a = 0,09 \text{ mm}$) y un ancho de fresado ($b = 15 \text{ mm}$) es $6\,075 \text{ MPa}$.

El momento torsional (M_{tor}) surgido en el husillo, para un diámetro de la fresa ($D_f = 80 \text{ mm}$) y una fuerza de corte ($P_z = 6\,075 \text{ MPa}$) es 243 N.m .

La potencia eficaz (N_e) de la fresa para vencer la resistencia del material a mecanizar con una fuerza de corte ($P_z = 6\,075 \text{ MPa}$) y una velocidad de corte ($v_c = 18 \text{ m/min}$) es 18 kW .

3.2.3. Análisis de los regímenes de elaboración en el rectificador

Durante el proceso de mecanizado en la rectificadora se elaborará entre puntos y con plato de arrastre, la muela seleccionada fue de $600 \times 40 \times 305 \text{ mm}$ del tipo corindón puro blanco.

Se rectificó con los parámetros: velocidad periférica de la pieza ($v_p = 40 \text{ m/min}$) y diámetro de la pieza ($d_p = 44,7 \text{ mm}$), la frecuencia de rotación de la pieza (n_p) es 280 rev/min .

El avance longitudinal (S_{long}), condicionado para una muela abrasiva de ancho ($B = 40 \text{ mm}$) es 32 mm/rev .

La fuerza de corte (P_z) necesaria para efectuar el rectificado con las variables: velocidad periférica de la pieza ($v_p = 40 \text{ m/min}$), la profundidad de corte ($t = 0,02 \text{ mm}$), avance longitudinal ($S_{long} = 32 \text{ mm/rev}$) y velocidad de la muela ($v_m = 35 \text{ m/s}$) es 24 MPa .

Las variables: fuerza de corte ($P_z = 24 \text{ MPa}$), de la muela ($v_m = 35 \text{ m/s}$) y rendimiento del proceso de rectificado ($\eta = 0,75$) permite determinar que la potencia de corte (N_c) necesaria para la operación es 1 kW .

3.3. Análisis de los tiempos tecnológicos

En los gastos tecnológicos se tuvo en cuenta los tiempos en lo que se incurre como el tiempo auxiliar, el tiempo del proceso tecnológico, el tiempo de descanso por necesidades personales, el tiempo preparativo conclusivo y el tiempo organizativo.



En el proceso de tronzado para una velocidad de corte ($V_c = 20$ m/min) el tiempo tecnológico necesario para realizar el corte en una sección transversal de 90 mm de diámetro fue de 2,0 min.

En el mecanizado de refrentado para las variables: diámetro del semiproducto, $D = 90$ mm, longitud de acercamiento de la plaquita, $l_1 = 2$ mm, longitud de alejamiento de la plaquita, $l_2 = 5$ mm, longitud de corte, $l_3 = 5$ mm, velocidad de corte, $V_c = 21$ m/min, avance, $S = 0,3$ mm/min, frecuencia de rotación del husillo, $n = 80$ rev/min fue preciso un tiempo de 1 min.

Para la elaboración del agujero para centraje de 3,15 mm de diámetro y 6,97 mm de profundidad se tuvo en cuenta la naturaleza de la aleación a trabajar, y se empleó una velocidad de corte ($V_c = 7$ m/min), para un tiempo de 0,3 min.

Para el taladrado del orificio de 17,5 mm de diámetro por 45 mm de profundidad, con los parámetros: diámetro de la broca ($D = 17,5$ mm), longitud de acercamiento de la broca para un semiángulo de la misma de $\varphi = 59^\circ$ ($l_1 = 6,6$ mm), longitud de alejamiento de la broca ($l_2 = 50$ mm), velocidad de corte ($V_c = 7$ m/min), avance ($S = 0,2$ mm/min); frecuencia de rotación del husillo ($n = 80$ rev/min) se empleó un tiempo de 2 min.

Durante el mecanizado de las superficies cilíndricas y cónicas con la variables: velocidades de corte ($V_c = 21$ m/min), frecuencia de rotación del husillo ($n = 250$ rev/min) y profundidad de corte ($t = 3$ mm) en las operaciones de desbaste y velocidades de corte ($V_c = 27$ m/min), frecuencia de rotación del husillo ($n = 315$ rev/min) y profundidad de corte ($t = 0,5$ mm) en acabado, se requiere un tiempo de 80 min.

En el tallado de la rosca métrica M 20, con los parámetros: paso de rosca ($P = 3,5$ mm), profundidad de corte ($ap = 1,89$ mm), número de pasadas ($nap = 10$), longitud de acercamiento de la plaquita ($l_1 = 2$ mm), longitud de roscado ($l = 40$ mm), longitud de alejamiento de la plaquita ($l_2 = 2$ mm), velocidad de corte ($V_c = 9$ m/min), avance ($Sp = 3,5$ mm/rev) y frecuencia de rotación del husillo ($n = 80$ rev/min) se requiere de un tiempo de 6 min.



Para realizar el mandrinado con dimensiones espaciales de 21 mm de diámetro y 7 mm de profundidad, con velocidad de corte ($v_c = 27$ m/min), avance ($S = 0,2$ mm/min) y frecuencia de rotación del husillo ($n = 400$ rev/min) es necesario un tiempo de 2 min.

Para el mecanizado de los 10 dientes de la fresa con los parámetros: longitud de fresado, $l = 20$ mm, longitud de acercamiento de la fresa, $l_1 = 31$ mm, longitud de alejamiento de la fresa, $l_2 = 5$ mm, velocidad de corte, $v_c = 18$ m/min, avance de la mesa ($S_m = 38$ mm/min) y número de pasadas ($i = 2$), se requiere de un tiempo de 30 min.

El tiempo (T_o) recomendado para realizar la operación tecnológica de rectificado en la superficie cónica de $1^\circ 30' 47''$ con aspereza superficial de $1,6 \mu m$, con los parámetros: longitud de rectificado ($L = 126$ mm), holgura de la muela respecto a la pieza por ambos lados ($h = 0,2$ mm), frecuencia de rotación de la pieza ($n_p = 280$ rev/min), avance longitudinal ($S_{long} = 32$ mm/rev), profundidad de corte ($t = 0,02$ mm) y coeficiente de corrección ($K = 1,6$) es 2 min.

3.4. Análisis del tratamiento térmico

Los aceros para herramientas presentan determinadas características metalúrgicas que son necesarias a tener en cuenta a la hora de establecer un procedimiento para su soldadura. Debido a que ellos generalmente contienen al menos 0,6 % de carbono, para proveer dureza martensítica, esto provoca que posean una dureza mínima de 60 HRc.

El carbono en exceso de la composición eutectoide va a estar presente en los aceros como carburos insolubles en la matriz martensítica. Algunos tipos de aceros para herramientas contienen menos % de carbono para proveer tenacidad y resistencia al impacto.

La fresa angular fue sometida a tratamiento térmico para mejorar sus propiedades mecánicas. En la figura 3.2 aparece el ciclo de tratamiento impuesto al acero P 6 M 5, cuyos elementos aleantes más frecuentes son el Cr, el Mn, el W, el Mo y el V.

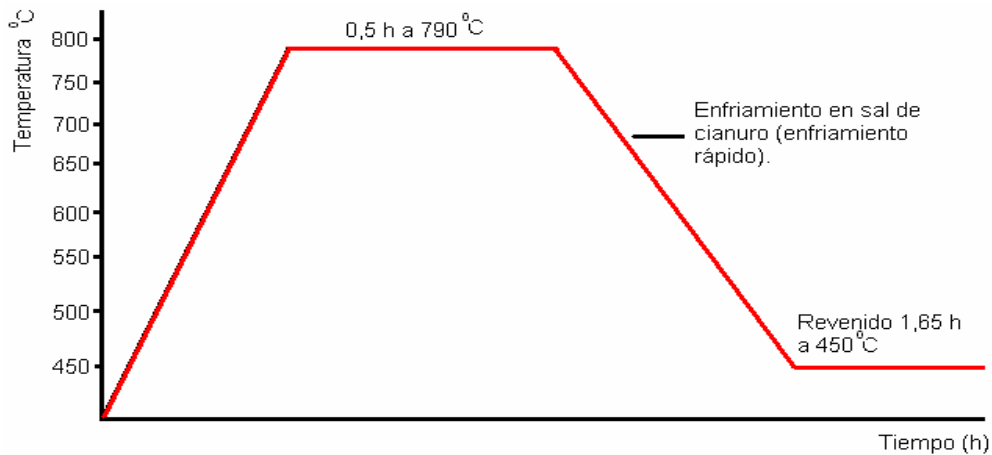


Figura 3.2. Ciclo de tratamiento térmico al acero P 6 M 5.

Según el ciclo de tratamiento térmico realizado al acero rápido, la misma es autenizada a una temperatura de 790 °C para alcanzar la temperatura de proceso en el horno en un tiempo de 2 h, luego la permanencia en el mismo horno es de 30 minutos, culminando el proceso de temple. El enfriamiento se realiza en sal de cianuro, para alcanzar una dureza de 62 HRC.

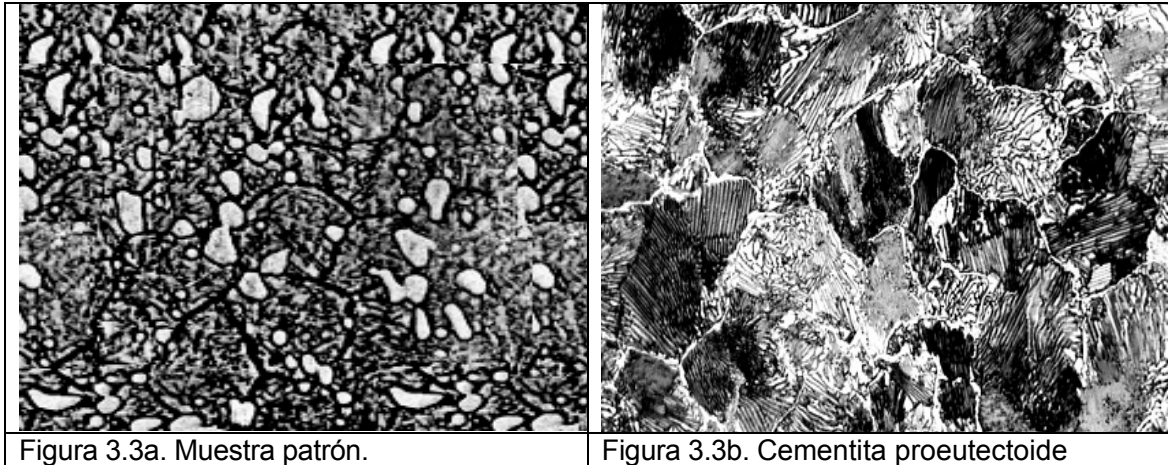
Para realizar el alivio de tensiones (1er género o zonales) se somete a proceso de revenido, aquí el horno demora un tiempo de 1,85 h en alcanzar la temperatura del proceso que es de 450 °C y con una permanencia de 1,64 h se logra atenuar las tensiones perjudiciales y obtener la dureza de 58 HRC, el enfriamiento se realiza en aire libre de corriente.

Para el contenido de carbono en la aleación P 6 M 5 (0,85 %) en la austenita, es más lenta su transformación a otras estructuras. La austenita de alto porcentaje de carbono puede quedar retenida a temperatura ambiente, con altas velocidades de temple. El enfriamiento subsiguiente, por debajo de la temperatura ambiente, va a transformar la austenita retenida en martensita.

3.4.1. Análisis del comportamiento microestructural

Para determinar el comportamiento microestructural, se preparó una muestra sin tratar y otra con tratamiento térmico, en el microscopio óptico se colocaron las probetas en plastilina la que luego se nivelaron que permitió la nivelación adecuada

de estas. En las figuras 3.3a y 3.3b, se muestran las estructuras del acero P 6 M 5 en estado de suministro y luego del tratamiento térmico, fueron observadas a 800 x.



Los aceros rápidos mantienen su dureza al rojo, tienen carburos estables a alta temperatura; el Cr aumenta la templabilidad ya que se encuentra disuelto; el tungsteno y el molibdeno son los formadores de carburos.

Los carburos de elementos de aleación, como el Cr, Mo, W, V, se ponen de manifiesto como "lagunas blancas" al microscopio. Tienen puntos de fusión bajos; sin embargo, una vez solidificados, tienen una gran dureza (70 -80 HRC) siendo las estructuras más duras que se encuentran en los aceros, superando a la martensita.

La figura 3.3a se corresponde con la muestra patrón, la cual está compuesta por carburos en su matriz, la figura 3.3b, la muestra tratada térmicamente, el constituyente matriz es la cementita proeutectoide que aparece a modo de contorno u orillo englobando en su interior las colonias de perlita. También se observan algunas agujas de cementita que penetran hacia el interior de los granos, originando una estructura similar a la estructura de la ferrita Widmanstätten. La cementita en junta de grano es blanca

Esta estructura, característica de un hipereutectoides, con estructura de equilibrio, es decir, un contorno de cementita a lo largo de todas las colonias de perlita tienen, evidentemente, características de tenacidad muy bajas, alargamientos prácticamente nulos y requieren tratamientos térmicos para romper esa



continuidad de la cementita, dando origen a cementitas de tipo globular. Los tratamientos térmicos adecuados son, los recocidos de austenización incompleta o bien los recocidos subcríticos.

3.5. Valoración económica

Esta consiste en evaluar todos los consumos generados desde el inicio del proceso tecnológico de fabricación hasta su total culminación, desarrollada a partir de la ficha de costo (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1. Análisis de los costos

Empresa Mecánica del Níquel UEB Maquinado				Orden de Trabajo 07 – R – 52		Orden de Producción: 002 – 0310A			
Solicitada por:		Emp. Cdte Ernesto Che Guevara		Fecha inicio	XX/XX/2011	Cantidad: 1		No. de Consecutivo	
Turno de trabajo		Turno "A"		Fecha fin	XX/XX/2011	Plan: X	Real:		
No. Plano: HC – 0020310A		XXX		Ejecutante		UEB Maquinado			
Tipo de Fabric.		M	X	C	Denominación de la Producción: Fresa angular de vástago				
Observación:				Tiempo Planificado		Brigada			
				Operador					
				J' brigada					
				Ayudante					
				Gruero					
				Afilador					
Gastos de Fuerza de Trabajo									
Chapa	Calificación	Tarifa						Total Horas	Importe
2120	Cortador	2,47						0,03	0, 0700
2539	Tornero	2,64						1,52	4, 0128
5842	Fresado	2,64						0,50	1,3200
366	Rectificado	2,64						0,03	0,0792
7903	Afilado	2,64						0,04	0, 1056
4360	Temple	2,50						2,50	6, 2500
2378	Revenido	2,50						3,50	8, 7500
4015	J' Brigada	2,99						1,73	5,1727
1922	Ayudante	2,36						0,40	0,9534
1045	Gruero	2,47						0,59	1,4573
Total							10,84 h		28, 1710 CUP
No. de vales	Códigos	Denominación de los materiales			U/M	Cantidad	Precio	Importe	
XXXXXXXX	27359980090	Barra redonda acero P6M5 Ø90			kg	9,49	8,6547 CUC	82,13 CUC	
Total									82,13 CUC

En la tabla 3.1 se puede apreciar que para un tiempo total de 10,84 horas de proceso tecnológico y costos generados de 28, 1710 CUP y 82,13 CUC, se logra fabricar la fresa angular de vástago que se necesita para el mecanizado de las ranuras tipo cola de milano en los brazos del mecanismo de arrastre de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", hecho que constituye un logro significativo para la Empresa "Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche" al ahorrarse 500 euros por concepto de importaciones en fresas con este tipo de

diseño. En la figura 3.4 aparece la fresa de vástago angular fabricada para el mecanizado de la cola de milano del mecanismo de barrido.

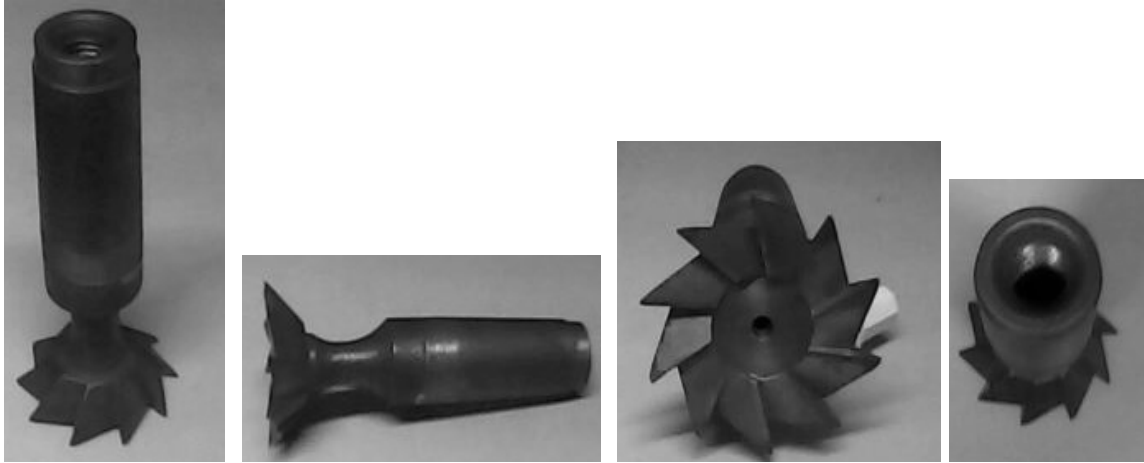


Figura 3.4. Vistas de la fresa angular de vástago fabricada.

3.6. Impacto ambiental

En la inspección realizada en la EMNI se puede decir de forma general que el orden e higiene de la UEB de Maquinado son aceptables. Los desechos sólidos son clasificados adecuadamente permitiendo de esta manera la eliminación de las basuras y el reciclaje de la chatarra.

Los desechos sólidos están compuestos fundamentalmente por virutas de los procesos de mecanizado, escorias, metal fundido, arenas de moldeo, lana de vidrio, materiales refractarios, aserrín, madera y goma. Las cenizas de hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] producto de la producción de acetileno se vierten en una presa que se encuentra en la parte sur de la instalación, la cual tiene una capacidad de 6 570 m³ al año. Esto soluciona uno de los problemas ambientales más significativos señalados en controles y auditorias.

3.6.1. Efectos negativos sobre el medio ambiente de un proceso tecnológico

Algunos de los procesos tecnológicos de producción que se deben estudiar y valorar cuidadosamente son los de elaboración de los metales por corte, mediante el torneado, fresado, taladrado, rectificado y acepillado. Operaciones que se ejecutan en casi todas las fábricas y talleres del país, y cuya influencia sobre el consumo energético y gasto de materiales es elevado.



En estas operaciones la productividad y calidad de las piezas que se elaboran, dependen, entre otros parámetros, del correcto cálculo y establecimiento de los elementos del régimen de corte. La alteración de alguno de estos elementos, además de afectar la productividad de piezas, así como, el acabado y precisión de las mismas, lo que traería como consecuencia el incumplimiento de su asignación de servicio y afectaciones a otras piezas de las máquinas y mecanismos donde se instalan.

Si se tiene en cuenta que existen miles de máquinas herramienta en las fábricas y talleres de todo el país, los errores tecnológicos que se cometen diariamente multiplican innecesariamente el consumo energético, aumentando al mismo tiempo su efecto negativo sobre el medio ambiente.

Algunos de estos conceptos son: medio ambiente, actitud, aguas subterráneas, agua contaminada, agua potable, aguas superficiales, aguas territoriales, atmósfera, biodegradable, bioenergía, biogás, biósfera, calentamiento global, calidad ambiental, capa de ozono, conservación, comunidad ecológica, conciencia ambiental, comunidad, comunidad escolar, contaminación, contaminación subjetiva, contaminante, calentamiento global, desecho ambiental, dióxido de carbono, efluentes, energía, impacto ambiental, lluvia ácida, metales pesados, metano, monóxido de carbono, naturaleza, nivel de ruido, oxidación, ozono, efecto invernadero, gases de efecto invernadero, productos peligrosos, daño ambiental, delito ambiental, derecho ambiental, desechos, desechos peligrosos, desechos tóxicos, minimización, recuperación, solución ambiental, stress, tecnología limpia, yacimiento, y otros que se consideren necesarios por su relación con el medio ambiente.

3.6. Conclusiones del capítulo 3

- Las variables y parámetros establecidos en los cálculos, posibilitaron la realización de las múltiples operaciones tecnológicas, con el consumo mínimo de los parámetros (energía y tiempo) y sin generar gastos supérfluos por concepto de mecanizado.



- En el proceso de fabricación de la fresa angular de vástago para un tiempo total de 10,84 horas de proceso tecnológico, los costos en los cuales se incurre por concepto de operaciones y materiales fundamentales están en el orden de los 28, 1710 CUP y 82,13 CUC.
- La contaminación sonora, por aceites y grasas lubricantes, taladrina y óxidos metálicos en suspensión provocan efectos negativos sobre el medio ambiente.



Conclusiones generales

- Las fuentes bibliográficas consultadas permitieron caracterizar los procesos tecnológicos asociadas al desprendimiento de material (arranque de virutas) con diferentes tipos de máquinas y herramientas cortantes.
- Los procedimientos descritos permiten determinar los regímenes de corte adecuados para efectuar el mecanizado con los esfuerzos de cortes y factor de desgaste de las herramientas de corte mínimos.
- Las expresiones matemáticas desarrolladas permiten establecer el procedimiento metodológico de los regímenes del proceso de mecanizado de la aleación P 6 M 5, donde se consideran las máquinas y herramientas necesarias.
- El proceso de fabricación de la fresa angular de vástago incurre en costos por concepto de operaciones tecnológicas y materiales fundamentales del orden de los 28, 1710 CUP y 82,13 CUC, con lo que se logra un ahorro de 500 Euros por sustitución de importaciones.

Recomendaciones

- Simular por el Método de los Elementos Finitos (MEF) el comportamiento de las tensiones de Von Misses y las deformaciones que se originan en el ángulo principal de corte (α) de la fresa angular de vástago bajo condiciones de trabajo en aleaciones inoxidables de tipo austenítico.
- No exceder los regímenes de trabajo establecido para la elaboración de la ranura del mecanismo de barrido, lo cual por ser fundido queda una superficie abrupta y puede provocar su rotura.

Referencias bibliográficas



Bibliografías

1. Altintas, Y., Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design; Cambridge University Press, 2000.
2. Altintas, Y. y Weck, M., Chatter stability of metal cutting and grinding, CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 53, pp. 619-642, 2004.
3. Bäker, M., Finite element simulation of high speed cutting forces, Journal of Materials Processing Technology. Vol. 176, pp. 117 – 126, 2006.
4. Bruhis, Y.; Sebring, W.; Noland, D., Meeting the Challenge of Milling Aerospace Materials; Aerospace Manufacturing and design, 2007.
5. Byrne, G.; Dornfeld, D. y Denkena, B., Advancing cutting technology, CIRP Annals-Manufacturing Technology, vol. 52, pp. 483-507, 2003.
6. Denai, M.; Palis, F. y Zeghib, A., Modeling and control of non-linear systems using soft computing techniques, Applied Soft Computing Journal, vol. 7, pp. 728 - 738, 2007.
7. Garay, J.; Villar, L.; Iriarte, P. y Arrazola, J., Estudio de la Maquinabilidad de Aceros a través del Empleo de Técnicas Experimentales Avanzadas, Congreso Nacional de Máquina Herramienta, 2008.
8. Grzesik, W. y Brol, S., Hybrid approach to surface roughness evaluation in multistage machining processes, Journal of Materials Processing Technology, vol. 134, pp. 265-272, 2003.
9. Haber-Guerra, R.; Haber, R.; Peres, C; Alique, A.; Ros, S., Model of the milling process on the basis of cutting force: A Neural network approach, Advances in Neural Networks and Applications (N. Mastorakis Ed.), Vol. I, 378-384, 2001.
10. Landers, R., Ulsoy, A. y Ma, H. A comparison of model-based machining force control approaches, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 44, pp. 733-748, 2004.
11. Liang, S.; Hecker, R.; y Landers, R., Machining process monitoring and control: The state-of-the-art, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME, vol. 126, pp. 297-310, 2004.
12. Lobert, J., Prontuario de metales. 3ª. Edición. Barcelona: Editorial Reverte S.A. 1992.



13. Micheletti, G., Mecanizado por Arranque de Viruta, Editorial Blirne, España 1980 (traducido por D. Tomás López Doménech).
14. Mukherjee, I. y Ray, P., A review of optimization techniques in metal cutting processes, Computers and Industrial Engineering, vol. 50, pp. 15-34, 2006.
15. Pérez, C., Supervisión Inteligente del Proceso de Mecanizado en una Máquina Herramienta, Tesis Doctoral, Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid. 2001.
16. Ray, K. y Majumder, D., Application of Circle Criteria for Stability Analysis of Linear SESS and MEMS Systems Associated with Fuzzy Logic Controller, IEEE Trans. on SMC 14 (2), pp.345-349, 1984.
17. Sandvik Coromant., Catálogo de herramientas, 2007.
18. Suárez, R., Herramientas de corte: materiales y aplicaciones. Informador Técnico (Cali). No 49, Enero 1995. p 23 - 33.
19. Suryanarayana, C., Mechanical alloying and Milling. Progress in Materials Science. Colorado. Pergamon , 2001. 184 p.
20. Schmitt-Braess, G., Frequency domain evaluation of Circle Criterion, Popov Criterion and Off-Axis Criterion in the MIMO case. International Journal of Control, 72(13) pp. 1299-1309, 1999.
21. Schmitt-Braess, G., Haber-Guerra, R.; Haber, R. y Alique A., "Multivariable Circle Criterion: Stable Fuzzy Control of Milling Process", Proceedings of IEEE Conference on Control Applications, Glasgow, Scotland, UK. 2002.
22. Sheng, Y. y Tomizuka, M., Intelligent modeling of thrust force in drilling process, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transactions of the ASME, vol. 128, pp. 846 - 855, 2006.
23. Trigger, K. y Chao, B., An Analytical Evaluation of metal-Cutting Temperatures, ASME Transactions, Vol. 73, 1951, pp. 57.
24. Zhao, J.; Ai, X.; Li, Z., Finite Element Analysis of cutting forces in high speed machining Materials Science Forum. Vol.532 - 533, pp.753 756, 2006

Anexos



ANEXO 2

CARTA TECNOLÓGICA DE TRATAMIENTO TÉRMICO 07 – R – 59																		
Empresa Mecánica del Níquel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche					Denominación de la pieza: Fresa angular de vástago				Orden de trabajo: 002 – 0310A									
					N° de Plano: HC – 0020310A				No. Tecnología: 500									
					Denominación y grado del material: Acero P6M5								Masa (kg) 1,17					
No.	Operac. Tecnológ	Equipo	Utilillaje	Medio ambiente	Dureza HRC	Penet rac	Régimen de trabajo			Cantidad		Norma rendimiento		Volumen	TPC:0,1 h T. Efectivo: 6,0 h T. Total: 6,1h			
							T (oC)	Exp.	V (oC/h)	Pzas Disp.	Prof	Cant	Tta			V		
1.	Temple	CW4	Disp							1	1	Tta	V	1	2,5 h			
	Calentamiento						790											
	Permanencia							0,47 h	50									
	Enfriamiento			Ag														
	Comp dureza	DP			60													
2.	Revenido	CW4	Disp												3,5 h			
	Calentamiento						450											
	Permanencia							1,63 h										
	Enfriamiento			Air														
	Comp dureza	DP			58													
Observaciones:												Firma	Fecha					
Cant pzas por eventos	1	Cant	No. Notif	Firma	Fecha: 5/6/2012	Elaboró	Yuleysis						8/6/2012					
Cant de eventos	1					Revisó	Rodney				8/6/2012							
Tiempo Supervisor	0,46h					Aprobó	Tomás				8/6/2012							
Tiempo Ayudante	0,31h																	Cantidad
Tiempo Guerrero	0,45h																	1



ANEXO 3

	Carta de ruta para maquinado 07 – R – 57			EMPRESA MECANICA DEL NIQUEL "Cmdte. Gustavo Machin Hoed de Beche" Grupo Técnico		
No. De Plano: HC – 0020310A	DENOMINACION: Fresa angular de vástago			Material: Acero P6M5	Hoja: 1	No. Hojas: 1
Orden de Trabajo 002 – 0310A				SEMIPRODUCTO: Barra Ø90 ; L = 182		MASA: 9,49 kg
Fecha: 5/6/12	OPERACIÓN TECNOLÓGICA			HERRAMIENTAS:	N	S
G. HOMOGÉNEO: 8G661	Tronzar semiproducto: Ø90 x 182 mm Supervisor: VII - 0,001			Sierra de disco segmentado Ø710	--	--
CAT. SAL.: IV						
TPC: 0,01						
T. EFECTIVO: 0,02						
G. HOMOGÉNEO: 16R25P	Instalando en plato universal, centrando con reloj indicador e invirtiendo la pieza y dejando 0,5 mm de sobremedida para la operación tecnológica de rectificado, mecanizar hasta lograr las medidas prescritas en el plano de diseño. Supervisor: X - 0,11			PSSNR2525M15 QM-4025 Broca Helic. HSS Ø17,5 PTG NR2525M15 QM-4025 R166.01MM01-250 GC 235	125	0,04
CAT. SAL.: VII					200	0,02
TPC: 0,1					250	0,04
T. EFECTIVO: 1,42					315	0,02
G. HOMOGÉNEO: --					100	2,5
CAT. SAL.: --						
TPC: --						
T. EFECTIVO: --						
G. HOMOGÉNEO: 6T83SH	Instalando en cabezal divisor y centrando con reloj indicador, elaborar los 10 labios cortantes garantizando las dimensiones prescritas de diseño.			Fresa frontal cónica HSS Ø60 Z4 α 70°	80	32
CAT. SAL.: VII						
TPC: 0,1						
T. EFECTIVO: 0,4						
G. HOMOGÉNEO: T. T	Tratar térmicamente según carta de tratamiento térmico anexada al efecto.			Horno	---	--
CAT. SAL.: V						
TPC: --						
T. EFECTIVO: --						
G. HOMOGÉNEO: 3M152	Instando entre punto, empleando plato de arrastre y centrando de cara y diámetro con reloj indicador de carátula, rectificar la superficie cónica garantizando la medida prescrita en el plano de diseño. Supervisor: 0,002			Muela abrasiva de electrocorindón puro blanco	45	0,04
CAT. SAL.: VIII						0,02
TPC: 0,01						
T. EFECTIVO: 0,02						
G. HOMOGÉNEO: Ayudante: II – 0,10	Afilador: VII – 0,04 Gruero: IV – 0,15					
CAT. SAL.:						
TPC:						
T. EFECTIVO:						
Elabora: Yulexis	Firma:	Fecha: 5/6/12	Aprobó: Tomás	Firma:	Fecha: 6/6/12	Tecnología No:500
Observaciones: Las dimensiones a las que se hace referencia en esta tecnología se medirán con instrumentos de precisión no menor que 0.02 mm. Las cintas métricas y las reglas utilizadas deben estar calibradas por un órgano competente.						