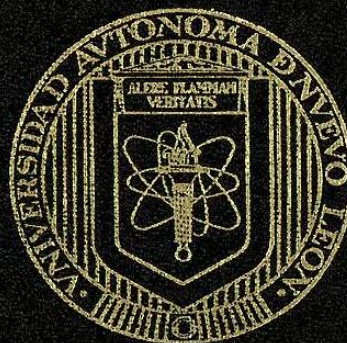


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN CALIENTE

POR

M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

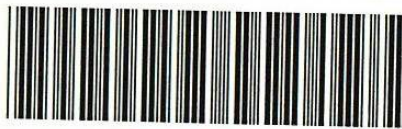
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

TM
Z5853
.M2
FIME
1999
F56

DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN CALIENTE

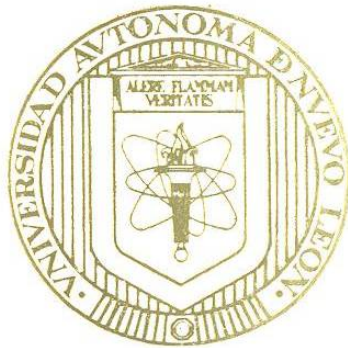
P.F.S.

99



1020130032

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN CALIENTE

POR

M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA

TESIS

OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN CALIENTE

POR

M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA

TESIS

OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

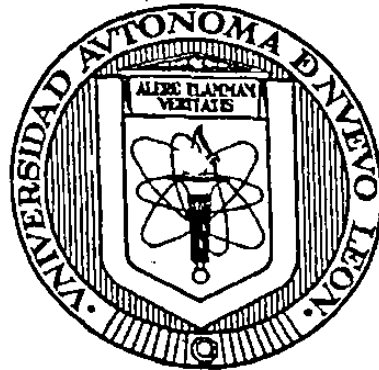
0135 75260

IM
Z5853
•M2
TIME
C90
F56



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJO EN
CALIENTE

POR

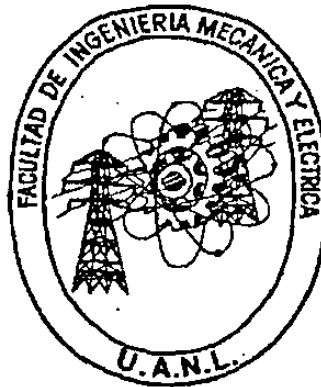
M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO
MECÁNICO.

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.
JUNIO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJO EN
CALIENTE

POR

M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA

TESIS

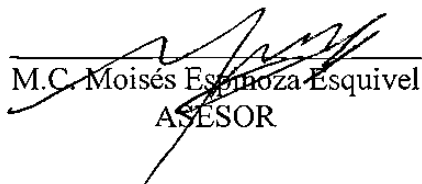
EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO
MECÁNICO.

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.
JUNIO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POST-GRADO.

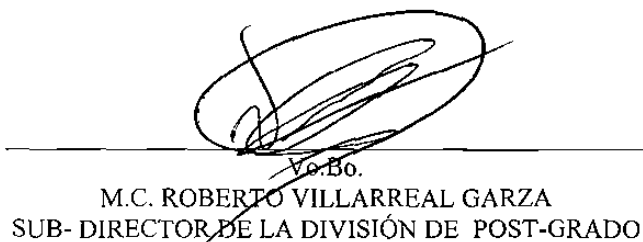
Los miembros del comité de tesis, recomendamos que la tesis, **Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en caliente** realizada por el **M.C. PAULINO FLORES SAAVEDRA**, matrícula **0101966** sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en Diseño Mecánico.

EL COMITÉ DE TESIS


M.C. Moisés Esquivel Esquivel
ASESOR


M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA
COASESOR


M.C. DAVID A. OLIVA ÁLVAREZ
COASESOR


Vo.Bo.
M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA
SUB- DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE POST-GRADO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L. A JUNIO DE 1999.

IN MEMORIAM

A

M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a Tratamientos Térmicos Omega, por permitirme utilizar sus instalaciones, para efectuar las pruebas prácticas de los diferentes tratamientos térmicos.

A mi asesor M.C. Moisés Espinosa Esquivel. Así como al M.C. David Oliva y al M.C. Rodolfo Ayala Estrada, por sus valiosas sugerencias e interés en la revisión de este trabajo.

A mi familia, por el apoyo moral que siempre me ha brindado y a todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de esta tesis.

Y a DIOS ante TODO y por TODO.

**CON TODO MI AMOR PARA
LUPANA, PAOLA Y NUÑOR
MOTIVOS DE MI TODO**

PROLOGO

1.- El proceso de diseño: Esta sección ofrece un punto de vista de algunos roles que deben ser tomados por el experto en selección de materiales. Y también revisa los procesos o métodos que pueden ser aplicados para mejorar la efectividad del proceso de diseño.

2.- Criterios y conceptos en el diseño: en esta sección se tratan temas referentes al diseño, como los procesos, seguridad, manufacturabilidad, y calidad. Todas ellas son de importancia crítica, porque las partes y el todo funcionen con seguridad y confiabilidad para el usuario.

3.- Diseño de herramientas: esta sección detalla las herramientas asociadas con el proceso de diseño. Como dibujos en papel, diseño y cambios ayudados por computadora, hacer prototipos, modelado, métodos del elemento finito, métodos de optimización, documentar y comunicar el diseño a otros.

4.- El proceso de selección de materiales: esta sección detalla de que pasos y métodos son actualmente requeridos para una adecuada selección de materiales y su correspondiente proceso de manufactura.

5.- Efectos de composición, procesamiento y estructura en las propiedades de los materiales: la ciencia de selección de materiales es introducida en esta sección como la relación entre diferentes familias de materiales (metales, cerámicos, plásticos). Además son discutidos los efectos del procesamiento térmico y mecánico en las propiedades de los materiales.

6.- Relación entre propiedades y funcionamiento de materiales: en esta sección se discuten las propiedades necesarias para un diseño general y la relación con el proceso de diseño. Además de la metodología para prevenir algunas necesidades de funcionamiento (corrosión, fatiga, desgaste, alta temperatura, oxidación etc.)

7.- Aspectos de manufactura en el diseño: esta sección discute cual puede ser el aspecto mas importante de un diseño exitoso. Como las ideas conceptuales son costos que pueden ser convertidos eficientemente en hardware.

SÍNTESIS

Capítulo 1.

En este capítulo se tiene la información del inicio de este proyecto, dicha información es lo que corresponde a los aspectos : Descripción del problema a resolver en lo referente al diseño de la cuchilla, problemas de selección del material y proceso de fabricación.

También se trata el objetivo de ésta tesis, el cual es el de establecer alternativas para obtener una herramienta óptima, éste trabajo se justifica por la sencilla razón de que en la industria metal mecánica local, regional y nacional hay tanto fabricantes de cuchillas y usuarios de las mismas, y ambos tienen necesidades; el fabricante tiene la necesidad de fabricar más y mejores cuchillas y el usuario quiere mayor rendimiento de ellas.

El método que se siguió fue el de consultar al fabricante y al usuario, sus requerimientos, y con ésta información se desarrollo la experimentación, la cual consiste en experimentar con cuchillas del mismo acero, pero diferente dureza, para procesar diferentes tipos de materiales, el límite que se puso fue el de hacer el seguimiento solo a ciertos aceros de herramienta y ciertas aplicaciones nada mas. Los aceros estudiados son el acero de herramienta H13 y el acero de herramienta M3:2.

Capítulo 2.-

En este capítulo se mencionan los antecedentes de la herramienta a fabricar y se analizan aspectos de funcionalidad y de aceros de herramienta.

Capítulo 3. En este capítulo se da una breve explicación de los conceptos de diseño y su análisis en cuanto a tipos de propiedades mecánicas y también del material a procesar.

Capitulo 4.

En este capitulo se trata lo referente a la selección del material partiendo de que hay diferentes aceros de herramienta para fabricar la cuchilla, también se habla de la geometría de forma y tamaño, además de propiedades relevantes del acero de herramientas.

Capitulo 5.

En este capitulo se habla del proceso de fabricación de la cuchilla y se dan dos alternativas para fabricarla, que son:

Alternativa “ A “

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- MAQUINADO DE ORIFICIOS
- MAQUINADO DE CUÑEROS
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

Alternativa “ B “

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- MAQUINADO POR HILOEROSIONADO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

Capítulo 6.

En este capítulo se habla de los tratamientos térmicos y principalmente de la comparación de dos secuencias a seguir:

Secuencia de tratamiento Térmico “ A “.

- Alivio de Esfuerzos
- Templado
- Primer Revenido
- Segundo Revenido
- Nitrurado

Secuencia de Tratamiento Térmico “ B “

- Alivio de esfuerzos
- Templado
- Primer Revenido
- Segundo Revenido
- Tercer Revenido
- Nitrurado

Capítulo 7.

En este capítulo se habla de pruebas de funcionalidad de la cuchilla y en forma especial a las de Resistencia al Desgaste y la de Tenacidad.

Capítulo 8.

En este capítulo se habla de los resultados obtenidos en los diferentes aspectos, a saber: Acero de herramienta, Geometría de forma y tamaño, Proceso de fabricación, Tratamiento Térmico, Propiedades Mecánicas y Funcionalidad de la cuchilla.

Capítulo 9.

En este capítulo se trata de las conclusiones a que se llegó a este proyecto en lo que se refiere a; Material de la cuchilla en el cual solo se experimentaron solamente dos tipos de aceros (H13 y M3:2), en lo que se refiere al proceso de fabricación se compararon dos alternativas (“ A “ y “ B “). La alternativa de fabricación “ A “ se utiliza para fabricar altos volúmenes de cuchillas y la secuencia “ B “ se emplea para una a cinco cuchillas. Y lo concerniente al tratamiento térmico también se compararon dos secuencias (“ A “ y “ B “). La secuencia de tratamiento térmico “ A “ se emplea para dar resistencia al desgaste y la secuencia “ B “ para dar tenacidad.

También se concluyó en el aspecto de la funcionalidad de la cuchilla en lo referente a la resistencia al desgaste. En la tabla 8.1 se dan los resultados de la resistencia al desgaste y en la tabla 8.2 se tienen los resultados de la tenacidad de dicha herramienta. La conclusión en cuanto al acero de herramienta para resistencia al desgaste es el acero de herramienta M3:2 y en cuanto a mejor tenacidad es el acero de herramienta H13.

Capítulo 10.

En este capítulo se presentan las recomendaciones de proyecto: en aspectos como son: Diseño, es fundamental para un buen funcionamiento de la cuchilla reducir los concentradores de esfuerzo y tener una geometría simétrica; Selección del acero de herramienta, debe hacerse tomando en cuenta el tipo de trabajo a desarrollar; Proceso de fabricación, debe de tomar en cuenta las propiedades de maquinabilidad y fabricabilidad; Tratamiento Térmico a emplear, debe ser acorde al requerimiento de dureza o tenacidad de la cuchilla; Funcionalidad de la cuchilla, la cual debe ser en base a las expectativas del usuario de la misma.

ÍNDICE

PROLOGO

SÍNTESIS

| | |
|---|----------|
| CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1.- Descripción del problema a resolver | 1 |
| 1.2.- Objetivo de la tesis | 1 |
| 1.3.- Justificación del trabajo | 2 |
| 1.4.- Metodología | 2 |
| 1.5.- Límites del estudio | 2 |
| 1.6.- Revisión bibliográfica | 3 |
| 1.7.- Diseño y solución de problemas | 3 |
| 1.8.- El proceso de diseño | 4 |
| CAPITULO 2: ANTECEDENTES | 6 |
| 2.1.- Introducción | 6 |
| 2.2.- Material de la cuchilla | 6 |
| 2.3.- El proceso de fabricación | 7 |
| 2.4.- El tratamiento térmico | 7 |
| 2.5.- Pruebas de funcionalidad | 7 |
| CAPITULO 3: CRITERIOS DE DISEÑO | 8 |
| 3.1.- Introducción | 8 |
| 3.2.- Conceptos de diseño | 8 |
| 3.2.1.- Requerimientos | 9 |
| 3.2.2.- Hiloerosionado | 9 |
| 3.2.3.- Funcionalidad | 10 |
| 3.2.4.- Resistencia al desgaste | 10 |
| 3.2.5.- Análisis | 12 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.6.- Superficie ----- | 12 |
| 3.2.7.- Propiedades mecánicas ----- | 12 |
| 3.2.8.- Espesor----- | 13 |
| 3.3.- Tenacidad ----- | 13 |
| 3.4.- Análisis del diseño----- | 14 |
| 3.5.- Fuerza de corte ----- | 14 |
| 3.6.- Diseño para resistencia al desgaste----- | 15 |
| 3.6.1.- Situaciones de desgaste----- | 16 |
| 3.6.2.- Mecanismos de desgaste----- | 16 |
| 3.7.- Diseño para tratamiento térmico----- | 19 |
| 3.7.1.- Reglas del diseño de tratamiento térmico----- | 21 |
| CAPITULO 4: SELECCIÓN DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA ----- | 22 |
| 4.1.- Acero para trabajo en caliente: Acero H13----- | 23 |
| 4.1.1.- Datos generales ----- | 23 |
| 4.1.2.- Aplicaciones----- | 24 |
| 4.1.3.- Propiedades----- | 26 |
| 4.2.- Acero para trabajo en caliente: Acero M3:2 ----- | 29 |
| 4.2.1.- Datos generales ----- | 29 |
| 4.2.2.- Propiedades----- | 30 |
| CAPITULO 5: SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA ----- | 34 |
| 5.1.- Introducción----- | 34 |
| 5.2.- Tipos de procesos de fabricación ----- | 34 |
| 5.3.- Proceso “A” seleccionado para fabricar la cuchilla ----- | 34 |
| 5.4.- Proceso “B” seleccionado para fabricar la cuchilla ----- | 35 |
| CAPITULO 6: SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA CUCHILLA ----- | 36 |
| 6.1.- Factores a considerar en la selección del tratamiento térmico----- | 36 |
| 6.1.1.- Facilidad de maquinado ----- | 36 |
| 6.1.2.- Temple ----- | 37 |
| 6.1.3.- Revenido----- | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1.4.- Rectificado ----- | 39 |
| 6.1.5.- Cambios dimensionales al temprar aceros ----- | 39 |
| 6.2.- Tratamiento térmico de los aceros seleccionados ----- | 42 |
| 6.2.1.- Acero H13 ----- | 42 |
| 6.2.2.- Acero M3:2----- | 47 |
| 6.3.- Secuencia “A” de tratamiento térmico ----- | 49 |
| 6.4.- Secuencia “B” de tratamiento térmico ----- | 49 |
| CAPITULO 7: PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LA CUCHILLA --- | 50 |
| 7.1.- Introducción----- | 50 |
| 7.2.- Tipos de pruebas de la cuchilla ----- | 50 |
| 7.3.- Prueba de tenacidad de la cuchilla----- | 51 |
| 7.4.- Prueba de desgaste de la cuchilla ----- | 51 |
| CAPITULO 8: RESULTADOS----- | 52 |
| CAPITULO 9: CONCLUSIONES----- | 54 |
| 9.1.- Introducción----- | 54 |
| 9.2.- Diseño de la cuchilla ----- | 54 |
| 9.3.- Selección del acero ----- | 55 |
| 9.4.- Selección del proceso----- | 55 |
| CAPITULO 10: RECOMENDACIONES----- | 56 |
| 10.1.- Introducción ----- | 56 |
| 10.2.- Diseño de la cuchilla----- | 56 |
| 10.3.- Selección del acero ----- | 57 |
| 10.4.- Resistencia al desgaste----- | 57 |
| 10.5.- Tenacidad----- | 57 |
| 10.6.- Proceso de fabricación----- | 57 |
| BIBLIOGRAFÍA----- | 58 |
| LISTADO DE TABLAS----- | 59 |
| LISTADO DE FIGURAS ----- | 60 |
| APÉNDICE A : GLOSARIO----- | 61 |
| AUTOBIOGRAFÍA----- | 64 |

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.

En la industria metal - mecánica se utilizan herramientas como son las cuchillas para cortar materiales metálicos, poliméricos, cerámicos y compuestos. Estas cuchillas deben tener una vida útil, una resistencia al desgaste y una tenacidad adecuadas para la aplicación en cuestión. En ésta tesis se pretende resolver los problemas que se presenten en los siguientes aspectos: diseño de la cuchilla, selección del tratamiento térmico, proceso de fabricación, resistencia al desgaste y la tenacidad.

1.2.- OBJETIVO DE LA TESIS.

El objetivo que tiene éste trabajo es el de establecer ciertos requisitos, secuencias o alternativas para fabricar cuchillas, por ejemplo; que características debe cumplir una cuchilla para poder procesar un acero al carbono de determinado espesor, o para cortar una aleación de aluminio, qué tipo de cuchilla hay que usar, con qué dureza y de qué acero de herramienta hay que fabricarla. También es objetivo de éste trabajo el determinar la secuencia de tratamiento térmico para la cuchilla.

También se persigue el objetivo de conocer la funcionalidad de la cuchilla en los aspectos de resistencia al desgaste, tenacidad y vida útil, en operaciones de corte en caliente.

1.3.- JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.

En la industria metal - mecánica local, regional y nacional hay fabricantes y usuarios de cuchillas. Este trabajo tiene el propósito de respaldar al fabricante en ciertas cuestiones del proceso de selección del material y el proceso de fabricación de la cuchilla, así como en cuestiones de tratamiento térmico, dureza, desgaste y tenacidad.

A los usuarios de las cuchillas se les orienta respecto a la funcionalidad de éstas ya en operación, para que lleven una bitácora de la cuchilla y así tengan un registro de dicha herramienta.

1.4.- METODOLOGÍA.

El método empleado en ésta tesis fue el de comparar materiales diferentes en la misma aplicación y observar su comportamiento ya en operación.

Se experimento con cuchillas de un mismo acero pero a diferentes durezas y el mismo espesor a cortar.

También se comparó el rendimiento de cuchillas fabricadas con el mismo acero pero cortando materiales diferentes, por ejemplo acero al carbono, acero inoxidable, aleación de aluminio, aleación de cobre, etc.

Y por ultimo se comparó el rendimiento de cuchillas de diferentes aceros para corte en caliente de materiales de diferente espesor.

1.5.- LÍMITES DEL ESTUDIO.

El estudio de ésta tesis tiene como límite la comparación de dos tipos de aceros de herramienta como son el acero de herramienta H-13 y M3:2.

El acero de herramienta M3:2 se utiliza para resistencia al desgaste y espesores de hasta 3.16mm, éste acero tiene mejor resistencia al desgaste, pero peor tenacidad sobre todo en durezas de 60 a 62 HRC.

El acero de herramienta H-13 se usa para espesores de hasta 25.4 mm, éste acero tiene mayor tenacidad, pero menor resistencia al desgaste.

1.6.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En lo que conierne a la revisión bibliográfica se tomo información de ciertos fabricantes de cuchillas de la localidad como:

- Cuchillas Industriales K.T.M., S.A. DE C.V.
- ADEK, S.A. DE C.V.
- GARVAX, S. A DE C.V.
- MASETEC, S.A. DE C.V.

Y de los manuales de la A.S.M. y de la A.S.T.M.E

Fundamentalmente, el diseño es un proceso de resolver problemas. Los ingenieros de diferentes especialidades lo aplican en su labor cotidiana.

1.7.- DISEÑO Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La ingeniería es definida como la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas y las ciencias naturales son aplicadas para lograr objetivos que beneficien a la comunidad.

Lo que diferencia la ingeniería de otros campos es que intenta ir de la teoría a la práctica, con el propósito de desarrollar productos y procesos útiles para los consumidores, en lugar de ser un simple observador de los fenómenos, como hacen los científicos.

Una parte de la ingeniería es el proceso de diseño, en el cual se diseña un sistema, componente o proceso que satisfaga las necesidades deseadas. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño están el establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación.

1.8.- EL PROCESO DE DISEÑO

La tarea de diseñar una “ nueva “ pieza que sea casi idéntica a una pieza ya existente, es una tarea sencilla ya que se puede utilizar el mismo material y procesarlo de la misma manera. Sin embargo la tarea de diseñar y seleccionar un material para una nueva pieza de la que no hay antecedentes es una tarea mucho mas compleja y requiere conocimiento de cargas, distribución de cargas, conocimientos ambientales e incluso hay que tomar en cuenta expectativas del cliente y factores referentes a la fabricación. En estos factores el selector de materiales debe tomar en cuenta los cambios en las propiedades del material inducidos en la fabricación debido a tratamientos mecánicos y térmicos. La tarea de diseñar es compleja, pero al atacar un problema conviene hacerlo siguiendo un procedimiento específico, que según los expertos en el proceso de diseño involucran seis pasos (fig. 1)

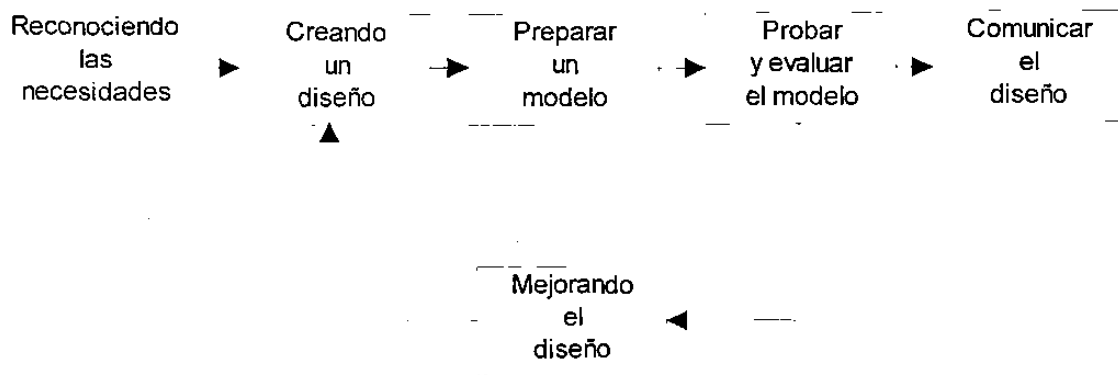


Fig 1: Los seis pasos en el proceso de diseño

PASO 1.- Reconocer las necesidades

Los productos y procesos creados por un ingeniero de diseño son una respuesta directa a necesidades específicas de la sociedad.

PASO 2.- Crear un diseño

Una vez que las necesidades han sido claramente reconocidas el próximo paso es empezar a crear ideas de diseño, que satisfagan estas necesidades.

PASO 3.- Preparar un modelo

Una vez que la idea ha sido creada, el próximo paso es construir el diseño de esa idea. Pero hacer la construcción final es impráctico. Por eso los ingenieros para ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo, hacen un modelo simplificado para evaluar la idea del diseño. El modelo puede ser real o abstracto.

PASO 4.- Prueba y evaluación del modelo

Una vez que el modelo ha sido preparado, es el momento de evaluar la idea propuesta, probando el modelo.

PASO 5.- Mejorando el diseño

Como resultado de las pruebas hechas al modelo, el ingeniero tiene mediciones cualitativas y cuantitativas de la idea del diseño y estas le sirven para tomar una decisión de si la idea se debe desechar o esta se puede mejorar. este paso nos lleva de regreso al paso de la creación y como muchas ideas de diseño pueden ser tratadas, modificadas y mejoradas antes de la selección final del diseño, el proceso mostrado en la fig. 1 es bastante iterativo.

PASO 6.- Comunicación del diseño

No importa que tan bien un diseño pueda satisfacer una necesidad. No podrá ser convertido a un proceso o producto útil, si los detalles del diseño no son comunicados a quienes implementaran su uso. El paso de la comunicación es una parte muy importante del proceso de diseño. La comunicación de las ideas de diseño puede ser por diferentes medios, hablada, escrita, fotografías, gráficas, dibujos, etc.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1.- INTRODUCCIÓN.

El punto de partida de esta tesis es la de revisar y rediseñar una cuchilla para trabajo de corte de materiales como son: metales y polímero, pero también se van a revisar los siguientes aspectos:

- El material de la cuchilla
- El proceso de fabricación
- El tratamiento térmico
- Pruebas de funcionalidad

2.2.- MATERIAL DE LA CUCHILLA.

Hay diversidad de materiales para fabricar cuchillas, pero en este caso se van a analizar dos aceros de herramienta, como son el acero M3:2 y el acero H13. Estos aceros se utilizan preferentemente para trabajo en caliente.

2.3.- EL PROCESO DE FABRICACIÓN.

Para fabricar la cuchilla se van a comparar dos secuencias o alternativa del proceso de fabricación a las cuales se les ha denominado: secuencia de fabricación “A” y secuencia de fabricación “B”.

2.4.- EL TRATAMIENTO TÉRMICO.

Los tratamientos térmicos que se utilizan en las cuchillas para trabajo en caliente de metales o polimeros suelen ser diferentes, en consecuencia se van a analizar dos secuencias de tratamientos térmicos, las cuales son: La secuencia “A” y la secuencia “B” de tratamiento térmico.

2.5.- PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD.

Las pruebas de funcionalidad de la cuchilla que se van a desarrollar son:

- Tenacidad
- Desgaste
- Fatiga

Estas pruebas se van a desarrollar en servicio de la cuchilla, para de esta forma poder evaluar el comportamiento de la misma en operación.

CAPITULO 3

CRITERIOS DE DISEÑO

3.1.- INTRODUCCIÓN.

El diseño de una herramienta, como es una cuchilla para trabajar materiales metálicos o polímeros es vital para lograr un funcionamiento óptimo. Los aspectos que hay que tomar en cuenta en el diseño de una cuchilla o herramienta en general son: La geometría de forma, geometría de tamaño, el material, el proceso de fabricación, el tratamiento térmico, condiciones de trabajo y pruebas de funcionalidad.

3.2.- CONCEPTOS DE DISEÑO.

Los conceptos de diseño para una cuchilla son:

- Requerimientos
- Funcionalidad

3.2.1.- Requerimientos.

Los requerimientos de una cuchilla se refiere a lo requisitos que se necesitan de esta herramienta, tomando factores como maquinabilidad y geometría.

La maquinabilidad de un acero de herramienta es muy importante sobre todo cuando es utilizado el maquinado convencional con arranque de viruta. Un buen sistema de medición del maquinado de dichos aceros de herramienta es su valor V_{22} . El valor V_{22} representa la velocidad de corte que da una vida de la herramienta de 22 minutos con ciertas características específicas de corte, por lo tanto el V_{22} es una medida para el desgaste de la herramienta. En la siguiente tabla se muestra esta característica.

| Aceros de herramienta | V_{22} (m/ min) |
|-----------------------|---------------------|
| H13 | 65 |
| S7 | 55 |
| L6 | 50 |
| O1 | 55 |
| A2 | 55 |
| D2 | 30 |
| D6 | 30 |
| M2 | 30 |
| M3:2 | 30 |
| M4 | 30 |

Tabla 3.1 Maquinabilidad de aceros de herramienta.

3.2.2.- Hiloerosionado.

El maquinado por hiloerosionado (maquinado por chispa), es un proceso de maquinado no convencional por lo tanto de alto costo, pero su ventaja primordial es que

se efectúa en herramientas ya endurecidas y su desventaja es que afecta la capa superficial, pero con un alivio de esfuerzos o rectificado/ pulido se elimina dicha capa.

3.2.3.- Funcionalidad.

La funcionalidad de la cuchilla se refiere a como se comporta en el trabajo de corte de materiales metálicos o poliméricos en aspectos como son: desgaste y tenacidad.

3.2.4.- Resistencia al desgaste.

Una característica muy importante es la vida de la herramienta, la cual está relacionada con la resistencia al desgaste del material de la misma.

La resistencia al desgaste depende de la dureza del acero y de su contenido de carburos.

El efecto combinado de estos dos factores da al acero de herramienta su resistencia al desgaste. Después de un tratamiento térmico normal dicha resistencia al desgaste puede ser clasificada como sigue.

| Acero de Herramienta | Resistencia al Desgaste |
|----------------------|-------------------------|
| L6 | Menor |
| H13 | A |
| S1 | U |
| S7 | M |
| O1 | E |
| A2 | N |
| D2 | T |
| D6 | A |
| M2 | ↓ |
| M3:2 | ↓ |
| M4 | Mayor |

Tabla 3.2.- Resistencia al Desgaste de aceros de herramienta.

Tanto la dureza como el contenido de carburo son afectados por el tratamiento térmico. La austenitización disuelve los carburos, siendo este efecto más pronunciado a altas temperaturas y a tiempos de estancia más largos. cuando los carburos se han disuelto; el contenido de carbono en la matriz se incrementa y junto con esto la dureza de la estructura templada (martensita). Sin embargo como regla, la reducción correspondiente de tenacidad limita el incremento de dureza que de está manera puede permitirse. En otras palabras el incremento de dureza de la matriz toma lugar a costa de la cantidad de partículas de carburo presentes en la misma. Los aceros altamente aleados contienen carburos de tal tamaño y composición que no son disueltos completamente después de la austenitización. Estos son los carburos que imparten una buena resistencia al desgaste. Los carburos son considerablemente más fuertes que la matriz y soportan mucha presión de la superficie generada por el deslizamiento del desgaste abrasivo. La siguiente tabla muestra la vida relativa de una herramienta cuando es usada para cortar, en diferentes tipos de aceros.

| Acero de Herramienta | Dureza (H.R.C.) | Vida de la Herramienta |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| H13 | 54 - 56 | Menor |
| A2 | 58 - 60 | ↓ |
| D2 | 60 - 62 | AU |
| D6 | 60 - 63 | MEN |
| M2 | 62 - 63 | TA |
| M3:2 | 63 - 64 | ↓ |
| M4 | 63 - 64 | Mayor |

Tabla 3.3.- Vida de la herramienta de diferentes aceros.

El desgaste al cortar también es afectado por diferentes características del material a procesar, como son:

- Análisis
- Superficie

- Propiedades Mecánicas
- Espesor

3.2.5.- Análisis.

La composición química del material afecta de diferentes maneras el desgaste al cortar. Por ejemplo al cortar un acero inoxidable austenítico 304, el material se adhiere a la herramienta, causando “desgaste adhesivo”.

La situación inversa se encuentra al cortar lámina de acero de alto contenido de silicio. Aquí el desgaste es principalmente abrasivo sin que ningún material se adhiera a la herramienta.

3.2.6.- Superficie.

La superficie del material que será cortado afecta también al desgaste, por ejemplo el desgaste es mayor cuando se corta un material con superficie oxidada que con superficie brillante.

La capa de óxido sobre la superficie del material de trabajo actúa como un abrasivo causando un desgaste más agresivo.

También afecta el cortar materiales con recubrimientos superficiales tales como los de plástico y zinc.

3.2.7.- Propiedades Mecánicas.

El desgaste se ve afectado especialmente por la Resistencia a la Tensión, la Resistencia a la Cedencia y el porcentaje de elongación del material a cortar.

Conforme la relación entre la Resistencia a la Cedencia y la Resistencia a la Tensión decrece, el desgaste aumenta. De esta manera al aumentar el % de elongación aumenta también el desgaste. Por lo tanto el bajo % de elongación conduce a un desgaste menor.

3.2.8.- Espesor.

El espesor de la lámina tiene una influencia considerable sobre el desgaste al cortar, pero el desgaste es mayor al cortar un material endurecido. En la siguiente tabla se muestra como se incrementa la vida de la herramienta al disminuir el espesor de la lámina.

| Espesor de la lámina (mm) | Dureza de la Herramienta (HRC) | Vida de la Herramienta |
|--------------------------------|--|------------------------|
| 1.10 | 52 | menor |
| 1.10 | 54 | + |
| 1.10 | 56 | + |
| 1.10 | 58 | + |
| 0.5 | 54 | + |
| 0.5 | 56 | + |
| 0.5 | 58 | + |
| 0.5 | 60 | mayor |

Tabla 3.4.- Incremento de la vida de la herramienta al reducir el espesor.

3.3.- TENACIDAD.

En operaciones de corte, las herramientas deben poseer cierta tenacidad. Los requerimientos de tenacidad aumentan a medida que aumenta el espesor del material cortado. Al cortar una placa o barra gruesa, los cantos cortados están sujetos a una presión superficial muy alta. La herramienta debe poseer una alta tenacidad para que no se astille. Para este propósito deben ser utilizados los aceros resistentes al impacto. Las mismas exigencias son hechas para trabajo en caliente, la siguiente tabla muestra la tenacidad relativa de diferentes aceros de herramienta.

| Acero de Herramienta | Tenacidad |
|----------------------|-----------|
| S7 | Máxima |
| L6 | ↓ |
| H13 | DIS |
| S1 | MI |
| O1 | NU |
| A2 | YE |
| M3:2 | ↓ |
| M2 | ↓ |
| D2 | ↓ |
| D6 | Mínima |

Tabla 3.5.- Tenacidad de diferentes aceros de herramienta.

3.4.- ANÁLISIS DEL DISEÑO.

El análisis del diseño de cuchillas para trabajo de corte de materiales metálicos y poliméricos se efectúa en base a los tipos de esfuerzos a que esta sometida la cuchilla al efectuar la operación de corte.

3.5.- FUERZA DE CORTE.

La fuerza de corte que se requiere para efectuarlo está en función de la Resistencia a la Tensión (R.T.) del material a cortar y el área de corte (A_c), pero la fricción entre la cuchilla y el material hace que se incremente la fuerza de corte.

La siguiente fórmula empírica se usa para el cálculo:

$$F_{\text{máx}} = 0.7 \text{ R.T. } A_c$$

en donde:

$F_{\text{máx}}$ = Fuerza máxima de corte en Lbf

A_c = Área de corte en pulgadas cuadradas

Sí el corte es circular la fórmula es:

$F_{\text{máx}} = 2.2 R.T. D t$: siendo D el diámetro de la circunferencia y t el espesor del material en pulgadas.

3.6.- DISEÑO PARA RESISTENCIA AL DESGASTE.

El desgaste es un daño a una superficie sólida, como resultado de un movimiento relativo entre esta y otra superficie o sustancia. El daño resulta generalmente en una pérdida progresiva de metal. La medida utilizada científicamente para el desgaste, es la pérdida de volumen. Sin embargo en ingeniería el desgaste se mide con el cambio en la apariencia y en las dimensiones, en lugar de la pérdida de volumen.

Para cualquier material el desgaste puede ocurrir por una variedad de mecanismos, dependiendo de las propiedades del material y de la situación en la cual es usado. La resistencia al desgaste no es una propiedad intrínseca del material como lo son la dureza y el modulo de elasticidad. El desgaste y la resistencia al desgaste son una respuesta al trabajo desarrollado.

Los factores que pueden afectar el comportamiento al desgaste son: las propiedades de los materiales, la naturaleza del movimiento relativo, el tipo de carga, la forma y el acabado de la superficie, la temperatura del medio de trabajo y la composición de la atmósfera en la que ocurre el desgaste.

Fundamentalmente. El diseño al desgaste consiste en identificar estos factores de diseño que pueden afectar el desgaste y luego determinar valores para ellos en la base de sus efectos o razón de desgaste. Los parámetros para un diseño tribológico común son: materiales, contornos de superficie, lubricación y acabado superficial, cargas, movimiento relativo y parámetros ambientales.

Hay cuatro formas fundamentales para reducir la razón de desgaste:

1. Modificar la superficie para hacerla mas resistente al desgaste
2. Usar un material mas resistente al desgaste
3. Incrementar la separación entre las superficies
4. Reducir la severidad del contacto

3.6.1.- Situaciones de desgaste.

Hay tres tipos generales de situaciones de desgaste:

- El primero ocurre cuando dos cuerpos sólidos están en contacto y se mueven en forma relativa, uno con respecto al otro.

Nota: Movimiento relativo: rolado, deslizamiento e impacto

- La segunda situación ocurre cuando el desgaste es causado por un movimiento relativo, entre un líquido y una superficie sólida. Este desgaste es llamado erosión o desgaste erosivo.
- La tercera situación, la cual es llamada desgaste abrasivo, ocurre cuando el desgaste es causado por partículas duras.

3.6.2.- Mecanismos de desgaste.

Hay 4 tipos generales de mecanismos de desgaste:

1. Desgaste adhesivo. Es el proceso que ocurre cuando dos superficies están en contacto y la separación subsecuente de estas superficies causara desgaste debido a que cada superficie jalara metal de la otra.
2. Desgaste abrasivo. Ocurre en procesos de corte y deformación plástica en la que un material mas duro arranca un material mas suave. Este mecanismo tiende a producir rebaba.
3. Desgaste por fatiga. Iniciación y propagación de grietas causado por un esfuerzo de contacto repetitivo.

| Movimiento | Ambiente | Mecanismo |
|--------------------------|----------------|--------------------------------|
| Dos cuerpos en contacto | | |
| Rolado con deslizamiento | Sin partículas | Fatiga Adhesivo |
| | Con partículas | Fatiga Adhesivo Abrasivo |
| Sin deslizamiento | | Fatiga |

Tabla 3.6.- Clasificación operacional de situaciones de desgaste.

Tendencias: incremento de desgaste con el incremento de deslizamiento y en presencia de partículas. Pueden predominar desgastes adhesivos y abrasivos, pero si es solo rolado predomina el modo por fatiga. Situaciones de desgaste medio es recomendable que la superficie este pulida.

| | | |
|--------------------------|------------------------|--|
| Impacto | | |
| con cuerpo en reposo | | Fatiga (elástica o plástica) |
| Con cuerpo en movimiento | Seco sin partículas | Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo |
| | Seco con partículas | Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo Abrasivo |
| | Líquido sin partículas | Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo |
| | Líquido con partículas | Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo Abrasivo |

Tendencias: con cuerpo estacionario la mala alineación y la vibración ocasionan incremento de desgaste. La deformación plástica es inaceptable excepto en aplicaciones de corto tiempo, pero para duraciones mayores 10^6 los esfuerzos de contacto deben estar en rango elástico, con cuerpo en movimiento el desgaste se incrementa. El desgaste se reduce al utilizar un lubricante, pero si hay partículas con el líquido el desgaste tiende a incrementarse.

| | | |
|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Deslizamiento Unidireccional | Seco | Fatiga Adhesivo |
| | Líquido | Fatiga Adhesivo |
| | Partículas | Adhesivo Abrasivo |
| Deslizamiento Cíclico | Gran amplitud, seco | Fatiga Adhesivo |
| | Gran amplitud, líquido | Fatiga Adhesivo |
| | Gran amplitud, partículas | Fatiga Adhesivo Abrasivo |
| | Pequeña amplitud, seco | Fatiga Adhesivo |
| | Poca amplitud, líquido | Fatiga Adhesivo |
| | Poca amplitud, partículas | Fatiga Adhesivo Abrasivo |

Tendencias: mas de un tipo de mecanismo involucrado.

Es preferible esfuerzos de contacto bajos. Desgaste medio a severo con la transición de la deformación elástica a plástica. En presencia de partículas el desgaste por abrasión predomina.

| | | |
|-----------------------|----------------|------------------------------------|
| Un cuerpo en contacto | | |
| Con líquido | | |
| Impregnado | | |
| Ángulo pequeño | Sin partículas | Fatiga |
| | Con partículas | Abrasivo (corte) |
| Ángulo grande | Sin partículas | Fatiga |
| | Con partículas | Fatiga Abrasivo (deformación) |
| Flujo | | |
| laminar | Sin partículas | No |
| | Con partículas | Abrasivo (corte) |
| turbulento | Sin partículas | Fatiga |
| | Con partículas | Fatiga Abrasivo |

Tendencias: en situaciones de flujo, sin partículas, hay desgaste por cavitación. Gotas de líquido impregnado actúan como partículas. Efectos de corrosión siempre están presentes.

3.7.- DISEÑO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO.

La selección de materiales y procesos de manufactura para el diseño de una cuchilla o componente es un proceso complejo y casi siempre requiere de hacer varias iteraciones para poder decidir cuál opción es la óptima. La cuchilla es diseñada para que

cumpla cierta función y por lo general esta limitada por cuestiones de espacio, costos, fuerzas mecánicas, etc. Basándose en el diseño y las condiciones de carga, el material y el proceso de manufactura son seleccionados para lograr tener un bajo costo y las propiedades que se necesitan en la operación de corte requerida. En la cuchilla es necesario el proceso de tratamiento térmico y así lograr las exigencias de esta. En la siguiente tabla se muestra el procedimiento experimental.

| |
|--|
| Selección del acero : |
| <ul style="list-style-type: none"> • Grado de acero • Composición química |
| Selección de la cuchilla: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Forma • Tamaño |
| Selección de la secuencia de tratamiento térmico: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Austenitización • Temperatura • Tiempo de estancia • Atmósfera |
| Templado |
| <ul style="list-style-type: none"> • Medio de enfriamiento • Temperatura • Agitación |
| Revenido |
| <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Tiempo |
| Resultados del tratamiento térmico: |
| <ul style="list-style-type: none"> • Dureza obtenida • Microestructura • Distorsión • Esfuerzos residuales |
| Registro de parámetros del tratamiento térmico |
| <ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas • Tiempos • Características del enfriamiento |

3.7.1.- Reglas del diseño de tratamiento térmico.

1. Diseñar la cuchilla lo más simétrica posible. Una cuchilla asimétrica causa asimetría térmica y también gradientes de transformación, y dan como resultado; distorsión y deformación plástica no uniforme.
2. Mantener una sección uniforme. Cambios en la sección causan grandes gradientes térmicos, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, si los cambios son bruscos, estos actuarán como concentradores de esfuerzo y por lo tanto causan distorsión.
3. Minimizar orificios y cuñeros. Estos elementos alteran la simetría de la herramienta y actúan como concentradores de esfuerzo durante el tratamiento térmico. Para minimizar el efecto concentrador se utilizan pequeños radios, para hacer el cambio de la sección en forma gradual.
4. Evitar aristas agudas. Estas deben de diseñarse con grandes radios. Si la arista no puede evitarse, una buena practica es hacer un bisel.
5. Evitar secciones delgadas y largas. Cualquier sección cuya longitud sea mayor que 15 veces el diámetro, es considerada como una sección larga y delgada y puede causar problemas de distorsión, las cuales son mayores en función de la severidad del medio de enfriamiento. Para evitar la distorsión en piezas largas y delgadas, estas deben ser prensadas durante el enfriamiento o templarse por inducción.

CAPITULO 4

SELECCIÓN DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA

Los aceros de herramientas designados específicamente para trabajo en caliente son categorizados en tres grupos principales - tipos cromo, tungsteno y molibdeno - los cuales son designados por la norma AISI con la letra H (HOT WORK). Estos aceros deben mantener una combinación de resistencia y tenacidad aún a temperaturas elevadas.

En este trabajo se seleccionaron aceros que se venden en nuestro país, uno de ellos es un acero para trabajo en caliente base cromo. Este grupo de aceros (H 10-H 19) contiene cromo y en ciertos casos, cantidades de tungsteno, molibdeno, vanadio y cobalto. El carbono en este grupo es mantenido relativamente bajo, alrededor de 0.35 a 0.40 %, y esto, junto con la baja aleación , proporciona tenacidad a la dureza de trabajo normal, entre 40 y 54 HRc.

El alto cromo aparejado con el bajo porcentaje de carbono, asegura una dureza profunda. por lo tanto estos aceros pueden ser templados totalmente al aire en piezas con secciones arriba de 30 cm.

En este grupo de aceros el H 10, H 11, el H 12 y el H 13 representan el mas alto tonelaje de aceros usados en el trabajo en caliente. Las cualidades de endurecimiento al aire y el balance de contenido de aleación son responsables de la baja distorsión en el templado. La principal ventaja de este grupo es la habilidad de resistir exposición continua a 540°C.

El mas alto contenido de tungsteno y molibdeno de los aceros H 10 y H 14 incrementan la dureza al rojo y la resistencia en caliente, pero tienden a reducir la tenacidad, debido a esta característica, uno de los aceros que seleccionamos es el acero H 13.

Otro acero seleccionado es el acero M 3-2, el cual aparte de ser un acero de alta velocidad base molibdeno, es un acero que también se utiliza en herramientas de corte que trabajan a altas temperaturas.

Este acero proporciona al ingeniero, un material, que tiene matriz tenaz y una dispersión de carburos de alta dureza, lo cual le dan un amplio rango de propiedades en el rango de temperaturas utilizadas en el trabajo de corte.

Resumiendo, los aceros seleccionados son el acero H 13 y el acero M 3-2 y a continuación damos información técnica importante sobre cada uno de ellos.

4.1.- ACERO PARA TRABAJO EN CALIENTE: ACERO H-13

4.1.1.-Datos Generales:

Análisis: C= 0.39%, Si= 1.0%, Mn=0.4%, Cr=5.3%, Mo=1.3%, V=0.9%

Estado de suministro: Recocido blando a aprox. 185 HB

El acero H-13 es un acero aleado con cromo-molibdeno-vanadio que tiene las siguientes características:

- Buena resistencia a los choques térmicos y a la fatiga térmica
- Buena resistencia mecánica a altas temperatura
- Alta tenacidad y ductilidad en todas direcciones
- Buena maquinabilidad
- Buena capacidad de pulimento

- Buenas propiedades de endurecimiento total
- Buena estabilidad dimensional durante el temple

4.1.2.- Aplicaciones:

Herramientas de fundición a presión:

| Componente | Aleaciones de estaño, plomo y zinc HRC | Aleaciones de aluminio y magnesio HRC | Aleaciones de cobre HRC |
|-------------------------------------|---|--|-------------------------------|
| Matrices | 46-50 | 42-48 | 40-44 |
| Accesorios fijos, almas | 48-52 | 46-50 | 40-44 |
| Partes del eyector | 48-52 | 46-48 | 40-44 |
| Toberas | 46-50 | 42-48 | 42-48 |
| Pasadores del eyector | 46-50 | 46-50 | 46-50 |
| Émbolos, manguitos de disparo | 42-46 | 42-48 | 42-46 |
| Temperatura de austenización | 1000 ⁰ C | 1020 ⁰ C | 1050 ⁰ C |

Herramientas de extrusión:

| Componente | Aleaciones de aluminio y magnesio HRc | Aleaciones de cobre HRc | Acero inoxidable HRc |
|--|--|------------------------------------|---------------------------------|
| Dados | 44-50 | 43-47 | 45-50 |
| Embudos, contras, soportes, dummies | 41-50 | 40-48 | 40-48 |
| Temperatura de austenitización | 1020 ⁰ C | 1050 ⁰ C | 1050-1080 ⁰ C |

Herramientas de prensado en caliente:

| Material | Temperatura de austenización | HRc |
|----------------------------|-------------------------------------|------------|
| Aluminio, magnesio | 1020 ⁰ C | 44-52 |
| Aleaciones de cobre | 1050 ⁰ C | 44-52 |
| Acero | 1050 ⁰ C | 40-50 |

Moldes para plásticos:

| componente | Temp. de austenización (aprox) | HRc |
|--------------------------------|---------------------------------------|------------|
| Moldes de inyección | 1020 ⁰ C | 50-52 |
| Moldes de transferencia | | |
| Moldes de compresión | revenido a 540 ⁰ C | |

Otras aplicaciones:

| Aplicaciones | Temp. de austenización | HRC |
|---|--|---|
| Punzonado fuerte en frío, cizallas en frío | 1000-1030 ⁰ C revenido a 540 ⁰ C | 50-52 |
| cizallado en caliente | 1020 ⁰ C revenido a 540 ⁰ C revenido a 575 ⁰ C | 50-52 45-50 |
| Anillos de contracción | 1020 ⁰ C revenido a 575 ⁰ C | 45-50 |
| Componentes resistentes al desgaste | 1020 ⁰ C revenido a 575 ⁰ C nitruración a gas 10-60 hrs. a 520 ⁰ C | alma a 50-52 superficie aprox. a 1000 HV |

4.1.3.- Propiedades:**Propiedades mecánicas:**

Resistencia al choque (aprox.) a temperatura ambiente

| Dureza | 52 HRC | 45 HRC |
|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Resistencia a la tracción | 1820 N/mm ² 220,000 Psi | 1420 N/mm ² 206,000 Psi |
| Limite elástico | 1520 N/mm ² 220,000 Psi | 1280 N/mm ² 185,000 Psi |
| Reducción de área (%) | 45% | 55% |
| Alargamiento (%) | 10% | 12% |

En la Fig 4.1.- se da la resistencia aproximada al choque, a diferentes temperaturas de revenido.

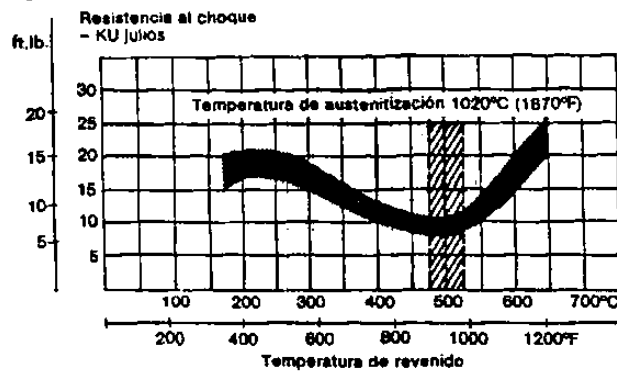


Fig 4.1.- Resistencia al choque en función de la temperatura de revenido

Normalmente no se recomienda el revenido a temperaturas entre 475 y 525⁰C, debido a la reducción de las propiedades de tenacidad.

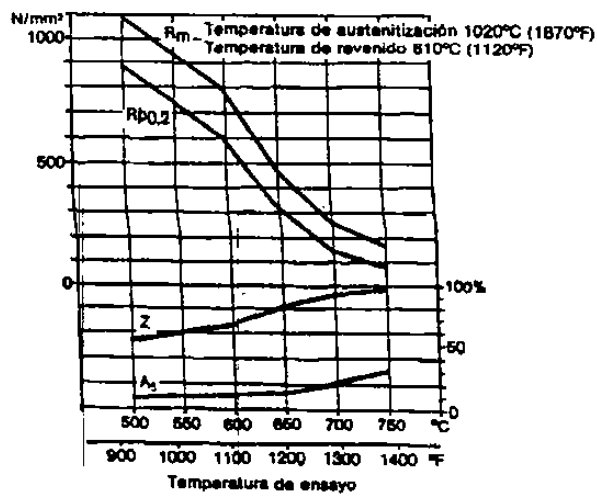
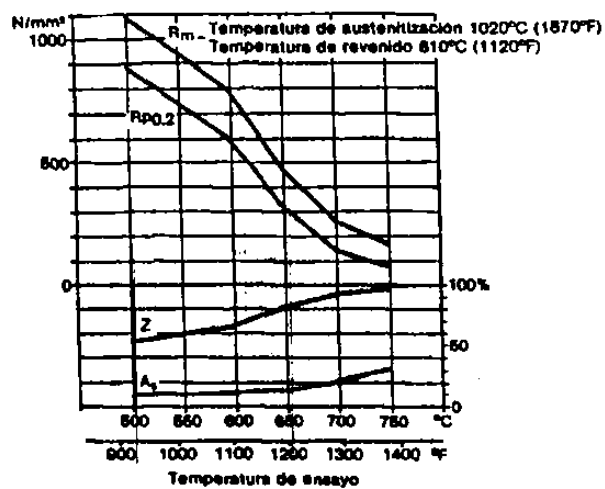


Fig 4.2.- Resistencia mecánica a altas temperaturas:



Resistencia a la tracción a altas temperaturas

Fig 4.3.- Resistencia a la tracción a altas temperaturas

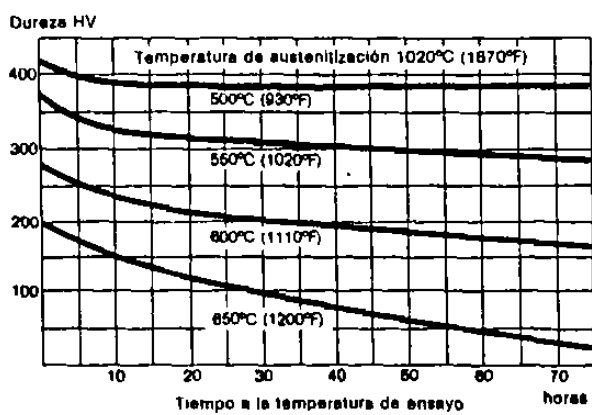


fig 4.4.- Dureza al rojo a altas temperaturas

Características físicas:

| Temple y revenido a 45 HRC | | | |
|--|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Datos a temperatura ambiente y a altas temperaturas | | | |
| Temperatura | 20⁰C | 400⁰C | 800⁰C |
| Densidad | | | |
| Kg/m³ | 7800 | 7700 | 7550 |
| Lbs/in² | 0.281 | 0.277 | 0.272 |
| Modulo de elasticidad | | | |
| N/mm² | 194,000 | 173,000 | 125,000 |
| Psi | 28.2*10 ⁶ | 25.1*10 ⁶ | 18.1*10 ⁶ |
| Coefficiente de dilatación térmica por ⁰C, desde 20⁰C | - | 12.6*10 ⁻⁶ | 13.9*10 ⁻⁶ |
| Conductividad térmica W/m⁰C | 24.6 | 26.2 | 27.6 |

4.2.- ACERO PARA TRABAJO EN CALIENTE Y DE ALTA VELOCIDAD: ACERO M3:2

4.2.1.- Datos Generales:

Análisis: C= 1.27%, Si= 0.3%, Mn=0.3%, Cr=4.2%, Mo=5.0%, V=3.1%, W=6.4%

Estado de suministro: Recocido blando a aprox. 260 HB.

El acero M3:2 es un acero aleado con cromo-molibdeno-tungsteno-vanadio que tiene las siguientes características:

- Gran resistencia al desgaste
- Buena rectificabilidad
- Buena estabilidad dimensional durante el templado
- Excelente tenacidad
- Buena resistencia a los choques térmicos y a la fatiga térmica
- Buena resistencia mecánica a altas temperatura

4.2.2.- Propiedades:

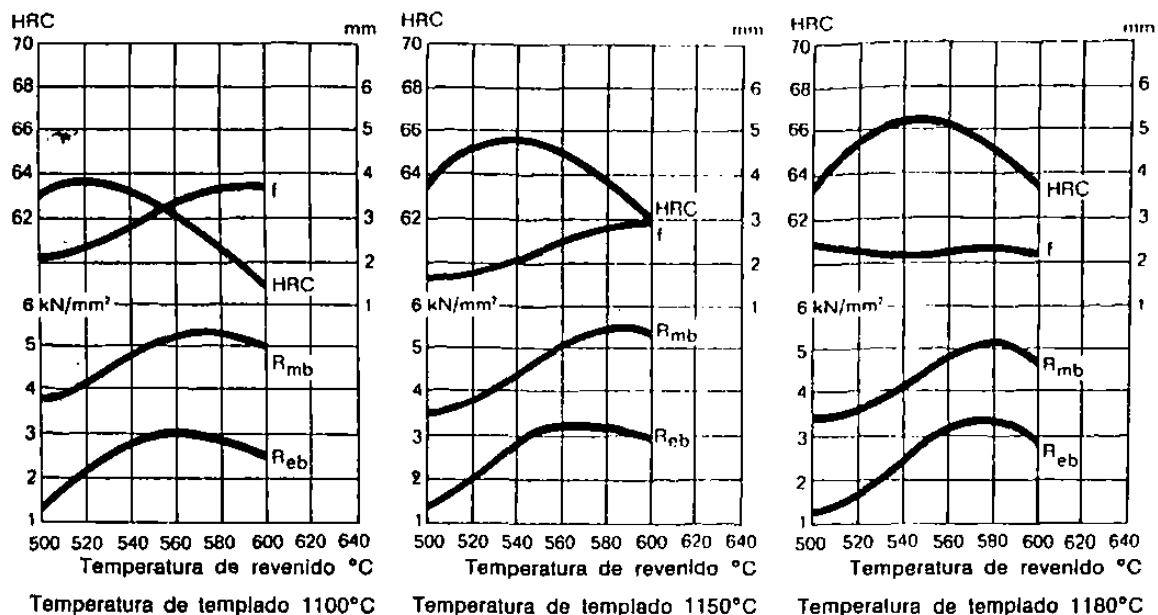
Características físicas:

| Temperatura | 20 ⁰ C | 400 ⁰ C | 600 ⁰ C |
|--|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Densidad Kg/m ³ | 8050 | 7940 | 7875 |
| Modulo de elasticidad KN/mm ² | 230 | 205 | 184 |
| Coefficiente de dilatación térmica por ⁰ C, desde 20 ⁰ C | - | 11.4*10 ⁻⁶ | 12.3*10 ⁻⁶ |
| Conductividad térmica W/m ⁰ C | 24 | 28 | 27 |

FORMADO

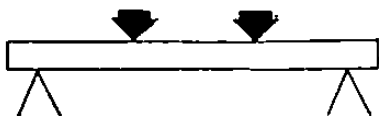
Debido a su estructura uniforme, la forjabilidad y rolabilidad en caliente, resultan excelentes. Estas características también son de gran importancia para otras operaciones en caliente tales como: recalado en caliente de punzones cabeceadores, cuchillas para trabajo en caliente, etc.

Resistencia al doblado



- HRC = Dureza ± 1 HRC
 f = Deflexión a la ruptura, mm $\pm 10\%$
 R_{mb} = Última resistencia al doblado
 kN/mm² $\pm 10\%$
 R_{eb} = Punto de cedencia al doblado
 kN/mm², $\pm 5\%$

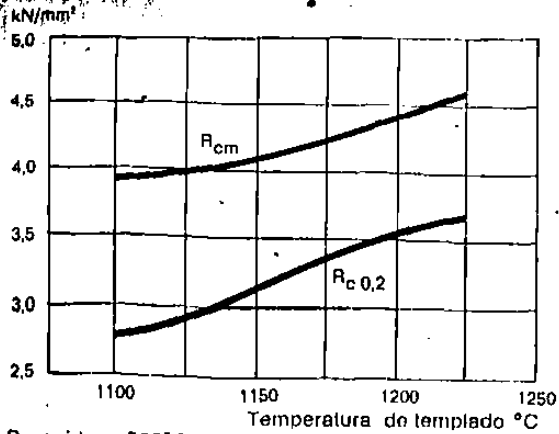
La resistencia al doblado se determinó en barras de prueba con un diámetro de 5 mm en el cual la carga fue tomada en dos puntos.



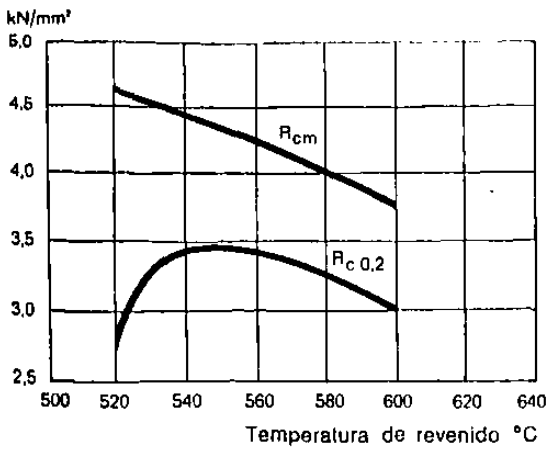
Fueron registrados los siguientes valores:

- 1) Deflexión en mm
- 2) Última resistencia al doblado en kN/mm²
- 3) Punto de cedencia al doblado en kN/mm²

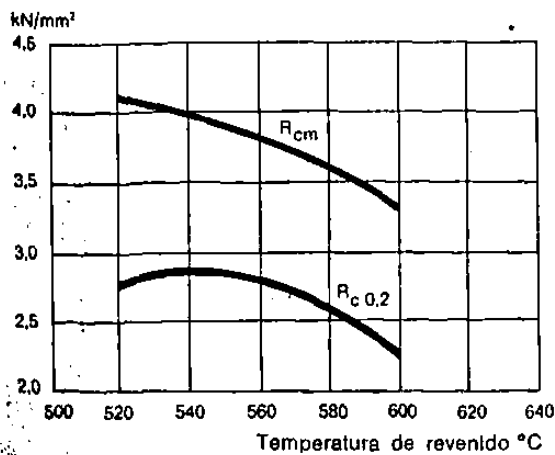
Resistencia a la compresión



Revenido a 560°C, 3 x 1 h
 R_{cm} = Resistencia al doblado por compresión \pm 10%
 $R_{c0,2}$ = Límite residual de rotura, \pm 5%



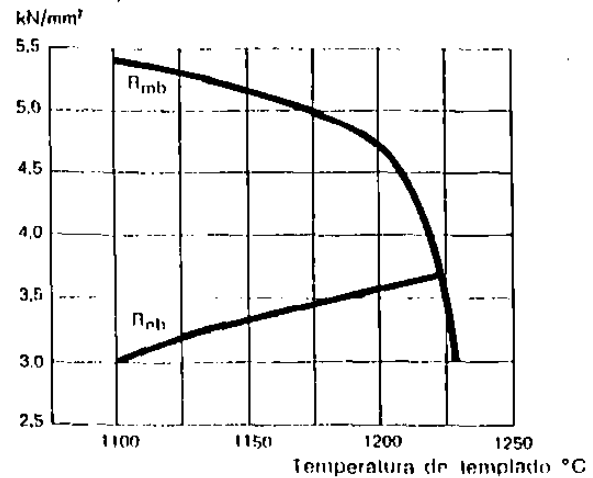
Temperatura de templeado 1180°C
 R_{cm} = Resistencia al doblado por compresión \pm 10%
 $R_{c0,2}$ = Límite residual de rotura, \pm 5%



Temperatura de templeado 1100°C
 R_{cm} = Resistencia al doblado por compresión \pm 10%
 $R_{c0,2}$ = Límite residual de rotura, \pm 5%

Tenacidad después del revenido

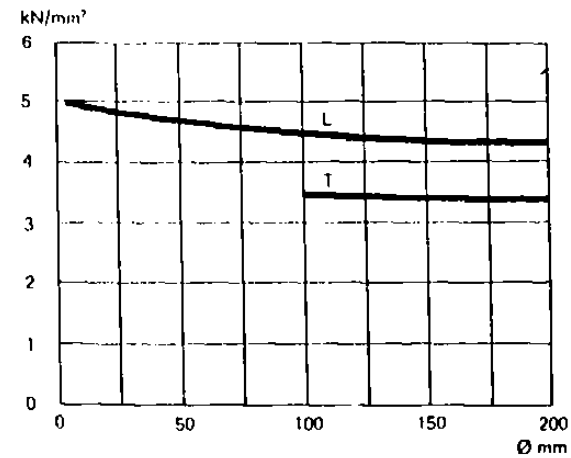
a 560°C, 3 x 1 h



R_{mb} = Última resistencia al doblado \pm 10%
 R_{eb} = Punto de cedencia al doblado \pm 5%

Última resistencia al doblado

en dirección longitudinal (L) y transversal (T) para diferentes diámetros.

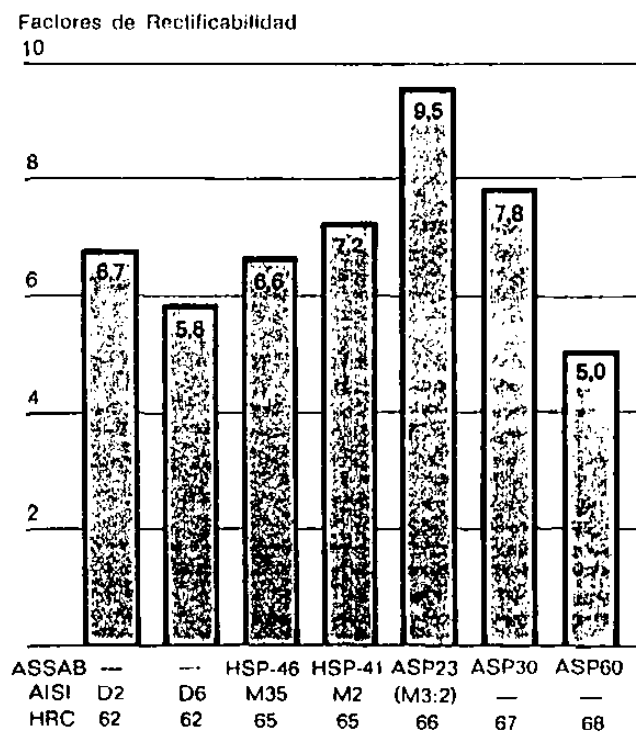


Temperatura de templeado 1180°C, revenido a 560°C, 3 x 1 h
 Valores válidos dentro de \pm 10%

Rectificado

El acero M3:2 posee buenas propiedades de rectificado a pesar de su alta aleación. El rectificado de este acero es superior a los aceros de alta velocidad convencionales de una composición similar. esto se debe a que el tamaño del carburo es pequeño y parejo y retiene la misma rectificabilidad sin importar las dimensiones.

Fig 4.7.- Factores de rectificabilidad de diferentes aceros



CAPÍTULO 5

SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA.

5.1.- INTRODUCCIÓN.

Al fabricar la cuchilla es necesario saber las diferentes alternativas de procesos para la elaboración de la misma y así utilizar la técnica apropiada para dicho fin, la selección óptima se logra en relación a los parámetros técnicos y económicos de cada caso en particular.

5.2 .- TIPOS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.

Hay diversidad de procesos para fabricar una cuchilla, pero los más empleados son:

- Mediante máquinas herramientas
- Mediante máquinas de hiloerosionado

La fabricación mediante máquinas herramientas se utiliza frecuentemente para fabricar un número de medio a alto de cuchillas, en cambio el procedimiento con máquinas de hiloerosionado es para fabricar de una a cinco, es decir un número pequeño.

5.3 .- PROCESO “ A “ SELECCIONADO PARA FABRICAR LA CUCHILLA.

Este proceso involucra las siguientes etapas :

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- MAQUINADO DE ORIFICIOS
- MAQUINADO DE CUÑEROS
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

5.4 .- PROCESO “ B “ SELECCIONADO PARA FABRICAR LA CUCHILLA.

Este proceso involucra las siguientes etapas :

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- MAQUINADO POR HILOEROSIONADO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

En las siguientes figuras se muestran diferentes tipos de cuchillas.

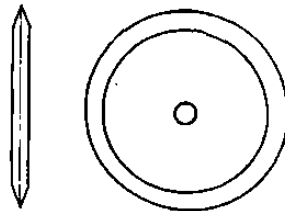


Fig 5.1.- Cuchilla circular

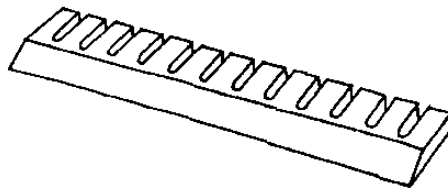


Fig. 5.2 .- cuchilla rectangular

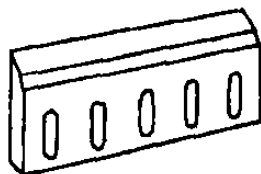


Fig.5.3.- cuchilla rectangular

CAPÍTULO 6

SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA CUCHILLA.

6.1 .- FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO.

6.1.1 .- Facilidad de maquinado:

La facilidad de maquinado o maquinabilidad de un acero es sumamente difícil clasificarla en vista de que una misma calidad de acero puede variar su maquinabilidad dependiendo de si se tornea, se fresa , se taladra, se cepilla o se forma cuerda.

Inclusive una operación como taladrar, puede requerir diferentes condiciones, dependiendo del diámetro o largo del agujero que se vaya a hacer. En general se puede medir en la practica la maquinabilidad comparando el tiempo que trabaja la herramienta (buril, broca, cuchilla, etc.) entre cada afilada.

La maquinabilidad de los aceros depende de la aleación, la dureza y de la estructura. por ejemplo altamente aleados (aceros rápidos y aceros con 12% de cromo)

que contienen grandes cantidades de carburos, son difíciles de maquinar. Debido a la alta dureza de estos carburos, las herramientas tienden a desgastarse.

6.1.2.- Temple:

Es de máxima importancia que los aceros de herramientas reciban un cuidadoso tratamiento térmico. El temple correcto es el único camino a seguir para asegurarse que una herramienta hecha del acero adecuado de el máximo rendimiento.

El mejor acero de nada sirve si no se le ha dado el tratamiento térmico adecuado. Es por esto de suma importancia seguir las instrucciones de temple al pie de la letra.

6.1.2.1.- Precalentar:

Antes de templar conviene siempre precalentar el acero. En vista de que los aceros de herramienta aleados son malos conductores del calor, el precalentado ofrece las siguientes ventajas:

- 1.- Elimina las tensiones del maquinado.
- 2.- Acorta el tiempo necesario para templar y así reduce la decarburación y oxidación al templar.
- 3.- Disminuye la deformación que pudiera resultar.

Las temperaturas de precalentamiento pueden variar de 650 a 700°C para los aceros normales y suben hasta 850°C para los aceros de trabajo en caliente y los aceros rápidos.

6.1.2.2.- Temple:

Templar consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar rápidamente en el medio correspondiente según el tipo de acero (aire, agua, aceite).

En la practica se puede calentar el acero dentro del horno, o en el caso de que el horno ya este a temperatura, introducir el acero precalentado, al horno. El tiempo

requerido para que el calor penetre es diferente en cada caso, pero se puede calcular de 5 a 10 min. por cada 10 mm de espesor.

En los aceros mas aleados es necesario tener presente que la disolución de los carburos requiere mas tiempo. La dureza deseada y su penetración se obtienen tomando todas estas consideraciones en cuenta.

Los agujeros deben llenarse con barro refractario o asbesto. Las herramientas débiles y de poca sección deben de soportarse dentro del horno, para evitar que se deformen por su propio peso. Como regla general las herramientas de menor sección se deben temprar a las temperaturas inferiores marcadas en los catálogos. Es primordial tener cuidado que la temperatura sea uniforme, que no sea sobrepasada y que no se prolongue su tiempo mas de lo indicado de lo contrario habrá fuerte decarburación y crecimiento del grano.

Si el acero se temple en agua esta debe tener una temperatura de 20-30°C y si el acero se temple en aceite, este debe tener una temperatura de 50°C. Es indispensable tener una cantidad suficiente de agua o aceite para que no suba mucho la temperatura al enfriar el acero.

Al enfriar bruscamente de la temperatura de temple al medio de temple (aire, agua, aceite) una herramienta, esta sufre un cambio de volumen, la cual crea fuertes tensiones internas en el acero, las cuales pueden causar fracturas. Por esta razón nunca debe permitirse que el acero se enfríe completamente. La herramienta debe de sacarse del medio de enfriamiento cuando todavía tiene algo de calor - suficiente para poder tocarla con la mano - e inmediatamente después revenirla para liberar estas tensiones y así evitar fracturas.

6.1.3 .- Revenido:

El propósito del revenido es primeramente liberar las tensiones del temple y por eso debe de revenirse el acero inmediatamente después. Además el revenido aumenta la tenacidad del acero y da la dureza apropiada según la aplicación que se le vaya a dar al acero. Deben consultarse las curvas de revenido para saber a que temperatura se obtiene la dureza deseada.

El proceso de revenir consiste en calentar la herramienta a la temperatura apropiada por un tiempo definido seguido por un enfriamiento en el medio ambiente. En la información técnica sobre cada acero vienen las curvas de revenido, las cuales son una guía para determinar la temperatura de revenido y obtener así la dureza deseada.

Las durezas indicadas sufren algunas variaciones pero se pueden considerar exactas en +/- 2 puntos Rockwell C.

El tiempo requerido para revenir varia según la temperatura del revenido. Si el revenido se hace de 200-300°C se recomienda calcular como mínimo una hora por cada 10 mm. de espesor; si el revenido se hace a 150°C es necesario revenir unas 2 horas por cada 10 mm. de espesor y si el revenido se hace de 450-650°C basta con calcular 30 min. por cada 10 mm. de espesor.

6.1.4.- Rectificado:

Generalmente toda herramienta es maquinada antes del temple para evitar un rectificado excesivo posterior. Sin embargo en la mayoría de los casos es ineludible el rectificado. Al seleccionar la piedra abrasiva hay que tener en cuenta que entre mas duro este el acero, mas blanda debe estar la piedra y mas ligera la presión. Piedras duras o presiones fuertes causan calentamientos locales en el acero. Estos calentamientos pueden revenir y ablandar el acero en la superficie e inclusive causar grietas.

Debe procurarse no calentar la superficie excesivamente al rectificar, usando suficiente aceite soluble y cortes ligeros.

Muchas fallas en herramientas que se deben al rectificado incorrecto se le atribuyen injustamente, a la calidad del acero o a un temple defectuoso.

6.1.5.- Cambios dimensionales al templar aceros:

Una de las muchas características que se requieren en los aceros finos para herramientas, es estabilidad dimensional al temple. Antes se decía aceros indeformables, hoy seria mas correcto al referirse a los aceros que sufren poco cambio dimensional al templarse como aceros dimensionalmente estables.

La deformación puede ser causada por malos manejos en el temple, pandeaduras por falta de soporte, enfriamiento y calentamiento disperejo etc.. Esta deformación se puede evitar mejorando la técnica de temple.

Sin embargo, los aceros sufren un cambio en dimensión inevitables, por el mismo proceso de temple. Al templar el acero se forman nuevas estructuras y estas tienen un volumen mayor al del acero recocido.

El mayor aumento en volumen es manifiesto en los aceros al carbono (0.7-1 % C) temple al agua; le siguen los aceros de baja aleación (0.3-0.5 % C) temple al aceite, mientras que los aceros de alta aleación, con calidades dimensionalmente estables, especialmente los aceros de alto cromo, alto carbono, exhiben un incremento en volumen mucho menor.

A continuación se listan algunos errores comunes en el temple, sus consecuencias y sus remedios.

Hay que tomar en cuenta que dos o mas errores pueden suceder simultáneamente.

| ERRORES | CONSECUENCIAS | | REMEDIO |
|---|---|---|--|
| | DUREZA | GRANO (FRACT.) | |
| Acero calentado muy de prisa, sin penetración de calor y desuniforme. | Dureza desuniforme, puede rajarse y agrietarse | Estructura del grano desuniforme | Recocer completamente y templar lenta y uniformemente |
| Acero enfriado en un medio inapropiado, Ej. aceite en lugar de agua. | Muy baja | Buena estructura en las orillas, corazón blando | Recocer completamente y volver a templar enfriando en un medio mas brusco. |
| Acero enfriado en un medio muy brusco, Ej. agua en lugar de aceite. | Dureza alta, grietas y deformación, acero quebradizo. | Penetración muy profunda. | Si no se fracturado el acero, recocer y volver a templar correctamente. |
| Acero con insuficiente temperatura de temple. | No da mucha dureza | Similar al acero sin temple | Recocer y volver a templar a la temperatura correcta. |
| Acero sobrecalentado, sin quemarlo. | Dureza alta, acero quebradizo y con grietas. | Grano grueso. | Calentar para normalizar, en algunos casos recocer y volver a templar. |
| Acero sobrecalentado, quemado. | Baja, con grietas. Fundido | Grano grueso | Chatarra |
| Acero decarburizado en el temple, falta de maquinado tiene el mismo resultado | Superficialmente poca dureza. Dureza correcta en el interior. | En la superficie grano grueso. | Rectificar toda la superficie blanda. |

6.2 Tratamientos térmicos de los aceros seleccionados.

6.2.1.- Acero H-13

Recocido suave:

Proteger el acero y calentarlo hasta 850°C . Enfriarlo en el horno a 10°C por hora, hasta que la temperatura baje a 650°C , y luego dejarlo enfriar libremente al aire.

Recocido para eliminar tensiones:

Después del mecanizado de desbaste, la herramienta deberá calentarse hasta los 650°C durante 2 horas. hacer que baje la temperatura lentamente hasta los 500°C , y luego dejar que la herramienta se enfríe libremente al aire.

Temple:

Temp. de precalentamiento= $600-850^{\circ}\text{C}$

temperatura de austenizacion= $980-1080^{\circ}\text{C}$

| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | Tiempo de mantenimiento* en min. | Dureza antes del revenido |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| 980 | 45 | 50 +/- 3 HRc |
| 1050 | 30 | 53 +/- 3 HRc |
| 1080 | 15 | 55 +/- 3 HRc |

* Tiempo de mantenimiento: Tiempo a temperatura de temple después que la herramienta este perfectamente calentada.

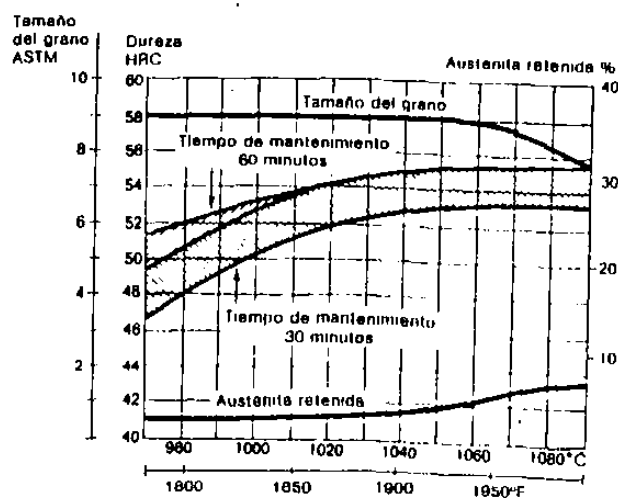
Proteger la pieza contra decarburación y oxidación durante el templado.

Medios de enfriamiento.

- Aire o gas a presión
- Soplo de aire
- Baño de temple escalonado a 200-550⁰C durante 1-100 min, luego enfriamiento al aire.
- Aceite

Nota : Revenir la herramienta inmediatamente al llegar su temperatura a 50-70⁰C

Fig. 6.1: Dureza, tamaño de grano y austenita retenida, en función de la temperatura de austenización.



REVENIDO:

Elegir la temperatura de revenido según la dureza requerida, tomando como referencia las curvas de temperatura. Revenir dos veces, con enfriamiento intercalado a temperatura ambiente. Temperatura mínima de revenido: 180⁰C. Tiempo de mantenimiento a temperatura : mínimo 2 horas. Para evitar la fragilidad por revenido, este no se debe hacer a temperaturas entre 475 y 525⁰C.

Fig 6.2: Gráfico de revenido

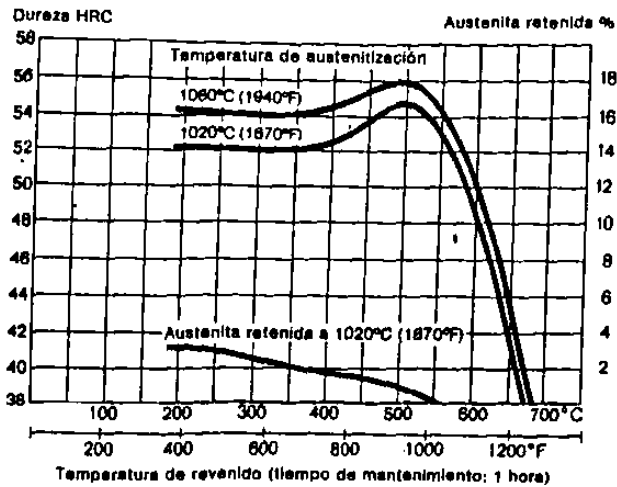
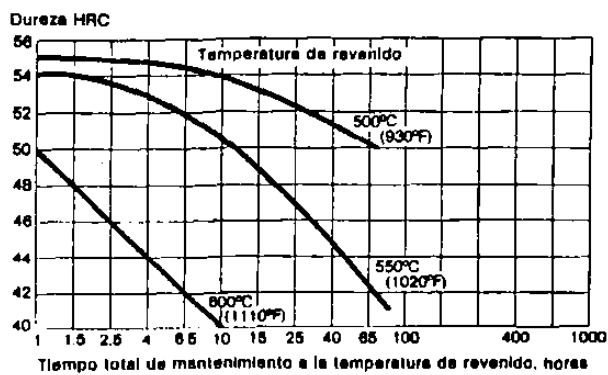


Fig 6.3: Efecto del tiempo a temperatura de revenido

Efecto del tiempo a temperatura de revenido

**NITRURACIÓN:**

La nitruración produce una capa superficial muy resistente al desgaste y a la erosión, al mismo tiempo que aumenta la resistencia a la corrosión. La nitruración en gas amoníaco a 525⁰C da una dureza superficial aproximada de 1000-1250 HV

| Temperatura de nitración °C | Tiempo de nitración (horas) | Profundidad de nitración | |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------|
| | | mm | in |
| 525 | 20 | 0.20 | 0.008 |
| 525 | 30 | 0.25 | 0.010 |
| 525 | 60 | 0.30 | 0.012 |

La carbonitración a 570⁰C durante dos horas, da una dureza superficial aproximada de 950-1000 HV. La profundidad de nitración correspondiente a esta dureza es de (0.004 - 0.008 in).

Alteración de dimensiones

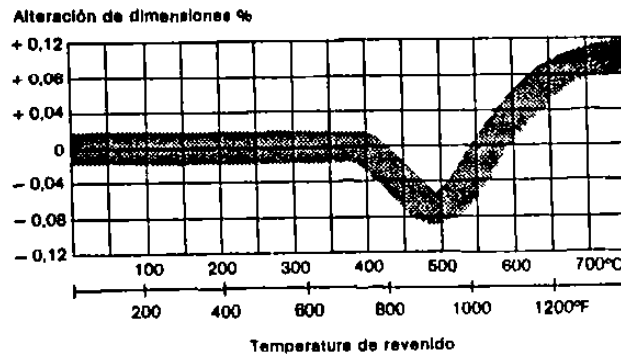
A).- Durante el templeado

Muestra de 4*4*1 in.

| | | Ancho % | Largo % | Espesor % |
|--|-----|------------|------------|--------------|
| Temple en aceite desde 1000 ⁰ C | Min | -0.08 | -0.06 | 0.00 |
| | Max | -0.15 | -0.16 | +0.30 |
| Temperatura al aire desde 1020 ⁰ C | Min | -0.02 | -0.05 | 0.00 |
| | Max | +0.03 | +0.02 | +0.05 |
| Temple al vacío desde 1020 ⁰ C | Min | +0.01 | -0.02 | +0.08 |
| | Max | +0.02 | -0.04 | +0.12 |

B).- Durante el revenido

Fig 6.4.- Alteración de dimensiones en %



Nota: Las alteraciones de dimensiones en el temple y el revenido deben sumarse.

Soldadura:

Debido al riesgo de fisuración, debe evitarse, en general, la soldadura de herramientas. Sin embargo, siempre que sea necesaria para efecto de reparación, es indispensable precalentar las piezas antes de soldarlas. Inmediatamente después de la soldadura hay que:

- Eliminar tensiones internas del material que se haya soldado en estado recocido blando.
- Revenir dos veces el material que se haya soldado en estado de templado y revenido.

MECANIZADO ELECTROEROSIVO:

Si se aplica la electroerosión al material en estado de templado y revenido, la herramienta debe someterse a un revenido adicional, a una temperatura aproximadamente 25⁰C mas baja que la del revenido anterior.

RECTIFICACIÓN:

Una técnica adecuada de rectificación siempre evita que se produzcan grietas y prolonga la vida de la herramienta. Las herramientas que se han revenido a baja temperatura son particularmente delicadas durante la rectificación. Únicamente deben utilizarse muelas blandas de grano aglomerado que estén bien formadas y talladas. La velocidad periférica no debe ser excesiva, y es importante que se use una buena cantidad de refrigerante.

CROMADO DURO:

Después del cromado, las piezas deben de recocerse a 180⁰C durante 4 horas, a fin de evitar el riesgo de fisuración por efecto del hidrogeno.

6.2.2 Acero M3:2

Recocido

proteger el acero y calentarlo hasta 850-900⁰C. Enfriarlo en el horno a 10⁰C por hora, hasta que la temperatura baje a 700⁰C, y luego dejarlo enfriar libremente al aire. Dureza máxima después del recocido 260 HB.

Alivio de tensiones (Relevado de esfuerzos)

Después del mecanizado de desbaste, la herramienta deberá calentarse hasta los 650⁰C durante 2 horas. hacer que baje la temperatura lentamente hasta los 500⁰C, y luego dejar que la herramienta se enfríe libremente al aire.

Templado

Pre calentamiento en dos etapas, temperatura de 450-500⁰C en horno de convección y después a 850-900⁰C en sal.

Temperatura de austenización 1100-1180⁰C. Se recomienda baño de sal

Medios de enfriamiento en:

- Aire o gas forzado
- Aceite
- Temple escalonado a aprox. 550°C

Es recomendado el temple escalonado. Este proporciona una excelente superficie de acabado y se corre un mínimo riesgo de distorsión anormal. El aire o gas forzado (horno al vacío) deben emplearse hasta un diámetro máximo de 20mm. Para dimensiones mayores este método de templado es muy lento, dando como resultado una dureza inadecuada.

El aceite proporciona la dureza correcta hasta en medidas grandes, pero implica mayor riesgo de distorsión.

La costra del rolado o del formado deben ser removidas antes del templado. El material debe tener maquinadas las superficies para evitar agrietamiento durante el templado. el amplio rango de temperatura es debido a la gran variedad de aplicaciones. La alta temperatura de temple proporciona mayor dureza, mientras que una temperatura de temple mas baja nos dará mayor tenacidad. El material deberá de ser revenido inmediatamente después del templado.

Revenido

Este acero debe ser revenido tres veces. Esto es debido al alto contenido de carbono, lo cual da una gran cantidad de austenita retenida. El tiempo a temperatura de revenido uniforme deberá ser de por lo menos 1 hora cada vez. Se podrá lograr una excelente combinación de dureza y tenacidad si el revenido se efectúa a aprox. 20°C arriba de la temperatura correspondiente a la máxima dureza.

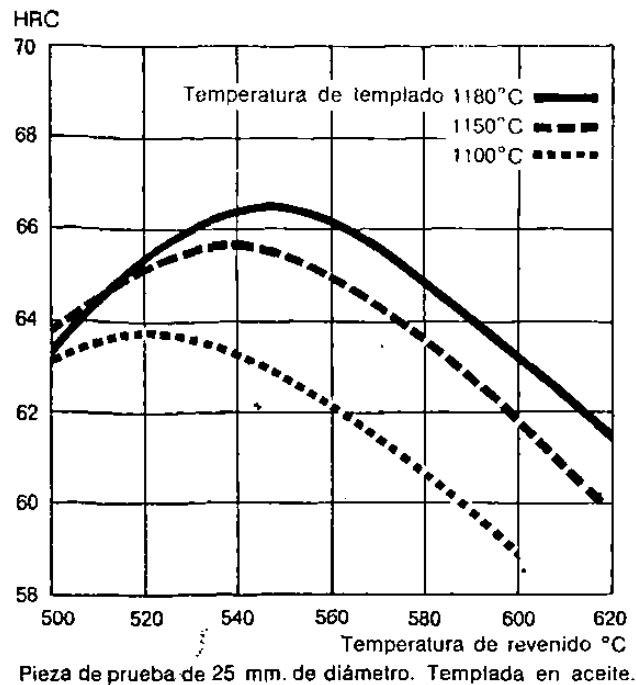


Fig 6.5.- Gráfica de revenido

6.3 .- SECUENCIA “ A “ SELECCIONADA DE TRATAMIENTO TÉRMICO.

La secuencia “A “ de tratamiento térmico seleccionada es:

- Relevado de esfuerzos
- Templado
- Primer revenido a 480⁰C
- Segundo revenido a 480⁰C
- Nitrurado (opcional)

6.4 .- SECUENCIA “ B “ SELECCIONADA DE TRATAMIENTO TÉRMICO.

La secuencia “ B “ de tratamiento térmico seleccionada es :

- Relevado de esfuerzos
- Templado
- Primer revenido a 540⁰C
- Segundo revenido a 540⁰C
- Nitrurado (opcional)

CAPÍTULO 7

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LA CUCHILLA

7.1.- INTRODUCCIÓN.

Es de suma importancia el efectuar pruebas mecánicas a los materiales con el cual se van a fabricar las cuchillas y de esa manera evaluar el comportamiento mecánico de dichos materiales, los resultados obtenidos de las pruebas son utilizados como punto de partida, si bien es cierto que las condiciones de servicio no son iguales a las pruebas efectuadas en el laboratorio. Estas pruebas fueron efectuadas en servicio

7.2- TIPOS DE PRUEBA DE LA CUCHILLA

Las pruebas mecánicas que se le aplicarán a la cuchilla son :

- Prueba de tenacidad
- prueba de desgaste

7.3 .- PRUEBA DE TENACIDAD DE LA CUCHILLA

En ésta prueba se determina el comportamiento de la cuchilla a fuerzas de impacto y por lo tanto estimar la funcionalidad de la misma al trabajar los siguientes materiales:

- Acero
- Aluminio o aleación de aluminio
- Cobre o aleación de cobre

7.4.- PRUEBA DE DESGASTE DE LA CUCHILLA

La prueba de desgaste de la cuchilla tiene como finalidad determinar su funcionalidad en condiciones para trabajar diversidad de materiales como son:

- Acero
- Aluminio o aleación de aluminio
- Cobre o aleación de cobre

CAPÍTULO 8

RESULTADOS.

En las pruebas de tenacidad y desgaste efectuados en las probetas después de los tratamientos térmicos se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8.1: Tabla de resultados de la resistencia al desgaste.

Resultados de la resistencia al desgaste de cuchillas y su vida en trabajo en frío y en trabajo en caliente.

| Material de la cuchilla | Dureza de la cuchilla (HRC) | Material a cortar | Espesor mm (plg.) | Desgaste acumulado mm (plg.) | Vida entre rectificadas (hrs.) |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|------------------------------|--------------------------------|
| S7 | 52 - 54 | acero 1010 | 19.1 (3/4 “) | .5 (.025”) | 125 |
| S7 | 45-50 | acero 1010 | 19.1 (3/4 “) | 1.5 (.075”) | 110 |
| D2 | 58 - 60 | acero 1018 | 6.36 (1/4”) | .1 (.005”) | 150 |
| D2 | 56 - 58 | acero 1018 | 6.36 (1/4”) | .2 (.012”) | 150 |
| M2 | 60 - 62 | acero 1010 | 19.1 (3/4”) | 1.5 (.075”) | 1000 (*) |
| H13 | 40 - 42 | aluminio | 127 (5 “) | 3.0 (.15 “) | 1500 (*) |

Nota. (*). Esta cantidad está expresada en toneladas métricas.

Tabla 8.2: Resultados de la prueba de la tenacidad.

Resultados obtenidos de cuchillas de corte en frío y en caliente

| Tipo de corte | Material a cortar | Espesor del material a cortar mm (plg.) | Material de la cuchilla | Dureza de la cuchilla HRC | Servicio de la cuchilla antes de rectificar |
|----------------------|------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|--|
| Placa | acero 1010 | Hasta 25.4 (1.0") | S7 | 50 - 52 | 100000 cortes |
| Placa | Acero 1010 | Hasta 19.1 (3/4") | S7 | 52 - 54 | 110000 cortes |
| Lámina | Acero galvanizado | Hasta 4.74 (3/16") | D2 | 58 - 60 | Una semana |
| Lámina | Latón | Hasta 4.74 (3/16") | S7 | 54 - 58 | 5000 cortes |
| Lámina | Aleación de aluminio | Hasta 25.4 (1.0") | D2 | 58 - 60 | 450000 cortes |
| Barra | Acero inoxidable ferrítico | Hasta 31.76 (1.25") | M2 | 60 | 30000 cortes |
| Barra | Acero inoxidable austenítico | Hasta 31.76 (1.25") | M2 | 60 | 10000 cortes |
| Planchón | Latón | Hasta 44.48 (1.75") | H13 | 42 | 15000 cortes |
| Placa | Aleación de aluminio | Hasta 127 (5") | H13 | 44 - 46 | 800000 cortes |

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

9.1.- INTRODUCCIÓN.

Al fabricar una cuchilla o herramienta para efectuar la operación de corte de materiales como, acero al carbono, acero inoxidable austenítico, aluminio, cobre, etc., se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Diseño de la Cuchilla
- Selección del Acero
- Selección del Proceso de Fabricación.

Pero además de obtener la información mediante pruebas de funcionalidad de la cuchilla en aspectos como, Resistencia al Desgaste y La Tenacidad.

9.2.- DISEÑO DE LA CUCHILLA.

En el diseño de la cuchilla se tomaron en cuenta parámetros como son; El diseño para Tratamiento Térmico, El Diseño para Resistencia al Desgaste y El diseño para Tenacidad. En cada uno de estos parámetros se obtuvo la información necesaria para el logro del objetivo de este proyecto que es el de obtener un diseño óptimo.

9.3.- SELECCIÓN DEL ACERO.

Al seleccionar aceros para cuchillas o herramientas de corte frecuentemente resulta difícil predecir que factores serán decisivos para determinar la vida de la herramienta, pero en este proyecto se determinó que es primordial hacer el seguimiento de la cuchilla o herramienta desde el proceso de diseño hasta la etapa de operación y mantenimiento de la misma y de esta forma visualizar los problemas o dificultades que se presentan en todo el proceso y así poder hacer las acciones correctivas y lograr el objetivo deseado.

9.4.- SELECCIÓN DEL PROCESO.

En la selección del proceso de fabricación de la cuchilla o herramienta se compararon dos alternativas, la primera de ellas involucra los procesos de maquinado convencionales y la segunda alternativa a procesos no convencionales.

Los procesos de maquinado convencional son adecuados para fabricar de medio a altos volúmenes de cuchillas o herramientas y los procesos de maquinado no convencional son adecuados para fabricar de una a cinco cuchillas o herramientas.

CAPITULO 10

RECOMENDACIONES

10.1.- INTRODUCCIÓN.

En este proyecto las recomendaciones que se dan son en varios aspectos:

- Diseño de la cuchilla
- Selección del acero
- Resistencia al Desgaste
- Tenacidad
- Proceso de Fabricación

10.2.- DISEÑO DE LA CUCHILLA.

En el diseño de la cuchilla se recomienda reducir al máximo los cambios bruscos de sección en donde sea posible y además de reducir en lo posible los concentradores de esfuerzos. También es importante el aspecto termodinámico, es decir lo concerniente a la simetría de la cuchilla.

10.3.- SELECCIÓN DEL ACERO.

En la selección del acero se recomienda utilizar el acero adecuado para cada aplicación, por ejemplo si se va a cortar lámina de acero al carbono menor a 50.8 mm, en caliente se recomienda un acero de herramienta H13 y una dureza de 46 a 48 HRC, pero si se va a cortar el mismo material pero de 100 mm de espesor o mayor se recomienda un acero de herramienta M3:2.

10.4.- RESISTENCIA AL DESGASTE.

La resistencia al desgaste es función de la dureza y de los carburos del acero de herramienta, aquí se recomienda para aceros M3:2 una dureza de 60 a 62 HRC y para los aceros H13 una dureza de 52 a 54 HRC.

10.5.- TENACIDAD.

La tenacidad de los aceros es inversa a la dureza es decir a mayor dureza de la cuchilla menor tenacidad de la misma, por lo tanto se recomienda para los aceros M3:2 62 a 63 HRC para resistir desgaste y de 56 a 58 HRC para tenacidad.

10.6.- PROCESO DE FABRICACIÓN.

Al fabricar la cuchilla se recomienda lo siguiente, si la cuchilla que se va a fabricar no existen antecedentes hay que fabricar un prototipo y ponerla a trabajar, también se recomienda hacer una bitácora para llevar las anotaciones de cada etapa, es decir desde el diseño hasta la operación y el mantenimiento de la cuchilla o herramienta y así tomar la **DECISIÓN FINAL**.

BIBLIOGRAFÍA

ASM Handbook
Mechanical Testing
Volumen 7, 1990

ASM HANDBOOK
Materials Selection and Design
Volumen 20, 1997

ASM HANDBOOK
Heat Treating
Volumen 4, 1990

William F. Smith
Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales
Ed. M^c. Grawhill 2^a Edición, 1993
Tool Engineers Handbook
A.S.T.M.E., 1988

Die Design Handbook
A.S.T.M.E., 1990

Stuart Pugh
Total Design
Addison - Wesley Publishing, Co. 1991

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 3.1.- Maquinabilidad de aceros de herramienta ----- | 9 |
| Tabla 3.2.- Resistencia al desgaste de aceros herramienta ----- | 10 |
| Tabla 3.3.- Vida de la herramienta de aceros----- | 11 |
| Tabla 3.4.- Incremento de la vida de la herramienta al reducir el espesor ----- | 13 |
| Tabla 3.5.- Tenacidad de diferentes aceros de herramientas ----- | 14 |
| Tabla 3.6.- Clasificación operacional de situaciones de desgaste ----- | 17 |
| Tabla 4.1.- Herramientas de fundición a presión ----- | 24 |
| Tabla 8.1.- Tabla de resultados de la prueba resistencia al desgaste ----- | 52 |
| Tabla 8.2.- Tabla de resultados de la prueba de tenacidad ----- | 53 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1.- Los seis pasos en el proceso de diseño ----- | 4 |
| Fig. 4.1.- Resistencia al choque en función de la temperatura de revenido----- | 27 |
| Fig. 4.2.- Resistencia mecánica a altas temperaturas----- | 27 |
| Fig. 4.3.- Resistencia a la tracción a altas temperaturas ----- | 28 |
| Fig. 4.4.- Dureza al rojo a altas temperaturas ----- | 28 |
| Fig. 4.5.- Resistencia al doblado ----- | 31 |
| Fig. 4.6.- Propiedades mecánicas ----- | 32 |
| Fig. 4.7.- Factores de rectificabilidad de diferentes aceros----- | 33 |
| Fig. 5.1.- Cuchilla circular ----- | 35 |
| Fig. 5.2.- Cuchilla rectangular----- | 35 |
| Fig. 5.3.- Cuchilla rectangular----- | 35 |
| Fig. 6.1.- Dureza, tamaño de grano y austenita retenida en función de la temperatura de austenización----- | 43 |
| Fig. 6.2.- Gráfica de revenido para un acero H13 ----- | 44 |
| Fig. 6.3.- Efecto del tiempo a temperatura de revenido----- | 44 |
| Fig. 6.4.- Alteración de dimensiones ----- | 46 |
| Fig. 6.5.- Grafica de revenido para un acero M3:2 ----- | 49 |

APÉNDICE A

GLOSARIO

Acero para herramientas.- Grupo de aceros aleados que tienen una combinación de alta dureza, alta resistencia a la tensión, alta resistencia al desgaste etc.

Alivio de esfuerzos.- Tratamiento térmico aplicado a un metal para reducir los esfuerzos residuales ocasionados por el maquinado o formado.

Austenita retenida.- Austenita que no se transformo en martensita durante el templado y que causa problemas en herramientas de alta precisión, ya que la austenita es una microestructura metaestable.

Desgaste abrasivo.- Remoción de material de la superficie ocasionado por partículas de alta dureza.

Desgaste adhesivo.- Remoción de material de la superficie ocasionado por la unión de dos materiales bajo presión en la acción de corte.

Desgaste corrosivo.- Desgaste ocasionado por reacciones químicas o electroquímicas con el medio.

Desgaste por erosión.- Pérdida progresiva de material ocasionado por la acción mecánica entre la superficie y un líquido, o también entre la superficie y un líquido impregnado.

Dureza.- Es la medida de la resistencia a la penetración o a la abrasión. No hay una escala absoluta para la dureza; por lo tanto para expresar cuantitativamente la dureza, cada tipo de prueba tiene su propia escala.

Esfuerzo de fluencia o de cedencia.- Esfuerzo aplicado a un material que provoca una deformación plástica permanente.

Esfuerzo.- Fuerza aplicada dividida entre el área transversal original del material.

Lámina galvanizada.- Producto plano de acero que tiene recubrimiento de zinc.

Lámina.- Producto plano de metal que tiene un espesor máximo de 6.36 mm ($\frac{1}{4}$ ").

Martensita de revenido.- Mezcla de ferrita y cementita que se forma en el revenido.

Martensita de temple.- Mezcla de ferrita y cementita que se forma durante el temple.

Metaestable.- Fase estructural no estable, es decir cambia con el tiempo hacia ser estable.

Módulo de elasticidad.- Se determina por la pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la región elástica, también se le llama Modulo de Young.

Nitrurado.- Tratamiento térmico superficial, el cual consiste en difundir átomos de nitrógeno en la superficie de la herramienta para formar nitruros; de cromo, de hierro, de aluminio, etc.. La finalidad de este proceso es aumentar substancialmente la resistencia al desgaste.

Recocido total.- Tratamiento térmico que sirve para eliminar la dureza que tiene un acero y de esta manera maquinarlo.

Relevado de esfuerzos.- Tratamiento térmico que sirve para eliminar los esfuerzos residuales causados por el maquinado burdo, soldadura, formado, etc.

Resistencia a la fatiga.- Esfuerzo requerido para provocar la ruptura por fatiga en 500 millones de ciclos.

Resistencia a la tensión.- Esfuerzo que corresponde a la fuerza máxima en la prueba de tensión.

Resistencia al desgaste.- Es la propiedad que tiene un material en oponerse a la acción de abrasión.

Revenido.- Tratamiento térmico que tiene por objeto primordial regular la dureza y a su vez la tenacidad, pero sacrificando dureza y resistencia al desgaste.

Temple.- Tratamiento térmico cuya finalidad es incrementar la dureza, la resistencia a la tensión, la resistencia al desgaste, pero con poca ductilidad y alta fragilidad.

Tenacidad.- Medida cualitativa de las propiedades al impacto de un material. Un material que resiste a la fractura por impacto, es tenaz.

Tratamiento sub-cero.- Tratamiento térmico que se aplica a los aceros de herramientas, para eliminar la austenita retenida obtenida en el temple. Este tratamiento consiste en someter a la herramienta a temperaturas de -80 a -160°C.

“ Slitting “.- Corte de lámina a lo largo de ésta para obtener cinta o banda.

“ Strain “ .- Deformación elástica o plástica. El término strain es frecuentemente utilizado para la deformación plástica. En el corte strain esta asociado con un cambio de ángulo entre planos que se intersectan.

“ Trimming “ .- Es el término aplicado a la operación de cortar bordes o aristas.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

PAULINO FLORES SAAVEDRA

Candidato para el grado de

Maestro en Ciencias con especialidad en Diseño Mecánico.

Tesis: **DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJO EN CALIENTE..**

Campo de Estudio: Ciencias Aplicadas.

Biografía:

Datos Personales: Nacido en Monterrey, Nuevo León el 30 de Agosto de 1953, hijo de Paulino Flores Arrambide y Esther Saavedra de Flores.

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido; Ingeniero Mecánico Administrador en 1975, M.C. en ingeniería mecánica con especialidad en materiales, Diciembre de 1996.

Experiencia Profesional: Maestro de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León desde 1973. Jefe de Academia de la clase de Procesos de Manufactura de 1990 a 1995 y actualmente Jefe de Academia de las clases de Metalurgia II.

