

2
24j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES DE CORTE DE UN ACERO
M-2 NITRURADO IONICAMENTE

TESIS MANCOMUNADA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
PRESENTAN

FELIPE BANUELOS PASTRANA
IGNACIO FERNANDO BLANCO AGUILAR

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991.



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
OBJETIVO	3
CAPITULO I. PROCESOS DE ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL DE LOS ACEROS.	5
I.1. Tratamientos Termoquímicos	6
Definición y Clasificación	6
Nitruración Iónica	11
CAPITULO II. CORTE DE METALES.	14
II.1 Definición	15
II.2. Formación de la Viruta	18
II.3. Tipos de Viruta	24
II.4. Temperatura en el Corte de Metales	26
II.5. Influencia del Material de Trabajo	26
II.6. Maquinabilidad	29
II.7. Materiales para Herramienta de Corte	31
CAPITULO III. DESARROLLO EXPERIMENTAL.	39
III.1. Caracterización de los Materiales de Trabajo	40
III.2. Nitruración Iónica	43
III.3. Maquinado	44

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION. 49

CONCLUSIONES. 76

BIBLIOGRAFIA. 78

APENDICE I.

INTRODUCCION

Generalmente el maquinado o corte de metales se usa para producir cierta configuración con buena tolerancia dimensional, acabado superficial y con frecuencia geometría compleja; cabe mencionar que más del 80% de todas las piezas manufacturadas para usos industriales requieren de un maquinado en alguna de las etapas de su fabricación y por lo tanto se requiere de máquinas-herramientas que realicen el trabajo de maquinado con eficiencia durante el mayor tiempo posible.

Considerando las condiciones que soporta la superficie de las herramientas durante el corte, estas se desgastan, es decir, la resistencia al desgaste mecánico se ve influenciada; por lo que el costo de operación en procesos de maquinado es excesivamente alto. De lo anterior se deriva la necesidad de experimentar nuevas opciones para minimizar el deterioro que sufren las superficies de las herramientas bajo las tensiones de corte y al mismo tiempo incrementar el tiempo de vida útil de la herramienta.

Un tratamiento termoquímico de nitruración iónica se aplica en aceros para incrementar su dureza superficial, la resistencia a la fatiga, al desgaste y en alguna medida a la corrosión. Durante las últimas décadas, en países desarrollados, esta técnica ha encontrado aplicación industrial en gran escala en partes móviles de maquinaria, piezas de la industria automotriz como cigueñales, engranes, bielas, balancines, etc.; dando como resultado grandes incrementos en el tiempo de servicio.

OBJETIVO:

Someter a la herramienta de corte (acero M-2) a un tratamiento de nitruración iónica a diferentes condiciones, para disminuir su desgaste en procesos de corte de metal.

Objetivos Particulares:

- Determinar la condición óptima de nitruración iónica.
- Determinar si el comportamiento de la herramienta después del tratamiento mejora.

En este trabajo se presentan los principios básicos del proceso de nitruración iónica además de los fundamentos del proceso de corte de metales y se reportan los resultados obtenidos al efectuar pruebas de corte en un acero al carbono de corte libre (free-cutting) empleando herramientas de acero de alta velocidad, específicamente un acero M-2, nitruradas iónicamente teniendo como parámetro variable la velocidad de corte.

CAPITULO I.

PROCESOS DE ENDURECIMIENTO SUPERFICIAL DE LOS ACEROS.

TRATAMIENTOS TERMOQUIMICOS.

I.1. Definición y Clasificación.

Los tratamientos termoquímicos han sido definidos por el I.F.H.T.M. (3) como sigue:

"Es un tratamiento térmico en el cual la composición química de un objeto o material es intencionalmente cambiada por la difusión de uno o más elementos hacia adentro o hacia afuera de la superficie", es decir, estos tratamientos involucran procesos en los cuales la composición química del sustrato cambia como resultado de la difusión térmica de un elemento o elementos desde la superficie.

La característica de estos tratamientos es la deliberada adición o pérdida de los elementos de aleación para mejorar las propiedades del material base. Los tratamientos termoquímicos pueden llevarse a cabo en distintos medios sólido, líquido, gaseoso o de plasma (este último es el que nos interesa); en los cuales pueden difundir tanto elementos no metálicos (carbono, nitrógeno), como elementos metaloides (boro).

Los tratamientos termoquímicos con no-metales son ampliamente usados a nivel industrial principalmente para mejorar, en piezas de materiales ferrosos propiedades como,

la resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión y resistencia al desgaste.

Desde el punto de vista metalúrgico podemos clasificar estos tratamientos en dos grandes grupos:

A) Tratamientos Austeníticos

Los tratamientos austeníticos consisten en llevar al material ferroso a la fase austenítica, es decir, a temperaturas por encima de la línea de transformación A3 en contacto con un medio ambiente que puede variar.

Los principales tratamientos austeníticos son:

- Carburización por empaque
- Carburización gaseosa
- Carburización líquida
- Carbonitruración

Carburización por empaque: En este proceso las piezas que van a tratarse se empaquetan en un dispositivo adecuado para la carburización, los cuales se colocan en una caja de acero. Dentro de estos dispositivos se encuentra una mezcla de compuestos energizantes o catalizadores como Carbonato de Bario (BaCO_3) o Carbonato de Sodio (Na_2CO_3), con agentes carburantes como coque o carbón vegetal. Estas cajas se

sellan y se calientan en un horno adecuado a la temperatura requerida.

Carburización gaseosa: Esta se lleva a cabo para un volumen mucho mayor de producción respecto a los otros procesos de carburización. Con este proceso, la profundidad de capa y contenido de carbono puede lograrse fácilmente por un control seguro de la composición del gas. Los hidrocarburos son las fuentes más activas de carbono en el proceso, sin embargo, el metano y los hidrocarburos altos, pirolizan a altas temperaturas y el carbono se deposita tan pronto como su concentración esta en exceso de la requerida para saturar el acero y por lo tanto se usan raramente sin diluirse.

Carburización líquida: Es un método para el endurecimiento del acero mediante la elevación de la temperatura del material arriba de la línea crítica AC1 del diagrama Fe-C en un baño de sales cianuradas fundidas de tal manera que el carbono difunde desde el baño hacia el metal produciendo una capa comparable con la obtenida en un proceso de carburización gaseosa, con una atmósfera que contenga algo de amoníaco.

Carbonitruración: En este tratamiento, además de carbono se introduce nitrógeno dentro del acero mediante un proceso de difusión en el campo austenítico en un medio líquido o gaseoso, siendo este último el más utilizado.

B) Tratamientos Ferríticos.

Los tratamientos ferríticos se llevan a cabo a una temperatura por debajo de la línea crítica A₁, entre 500 °C y 700 °C, es decir, en el campo ferrítico del diagrama Fe-C. Este tipo de tratamientos pueden subdividirse en:

- Nitruración
- Nitrocarburoización
- Sulfinizado
- Nitruración Iónica

Características Generales de la Nitruración

Nitruración: Es un proceso de endurecimiento de capa por el cual la dureza superficial de ciertos aceros puede aumentarse por calentamiento en contacto con un medio nitrogenado líquido o gaseoso (4,5,6). El proceso se lleva a cabo a temperaturas debajo de la temperatura eutectoide e involucra la formación de compuestos de hierro aleados con nitrógeno que son duros, resistentes al desgaste y por lo tanto los aceros tratados no requieren templarse para lograr la máxima dureza en la capa producida. A la mayoría de los aceros aleados que se nitruran es práctica general austenizarlos, templarlos y revenirlos a una temperatura aproximada de 650 °C, para producir una estructura estable de martensita revenida lista para tratarse. Tanto la nitruración

líquida como la gaseosa tienen las mismas ventajas metalúrgicas. Enseguida se mencionan las más importantes:

- a) Incrementan la dureza superficial y la resistencia al desgaste.
- b) Incrementan la resistencia a la fatiga.
- c) Debido a la baja temperatura de tratamiento, hay muy poca distorsión; sin embargo se da un incremento dimensional.
- d) Alta resistencia al revenido.

Nitrocarburiación: Es un proceso de endurecimiento de capa muy similar a la nitruración, excepto que con este proceso se tratan también aceros al carbono comunes, aceros aleados y aceros inoxidable. Este tratamiento puede llevarse a cabo en una sal líquida o en un medio gaseoso, desde donde difunden carbono y nitrógeno hacia el interior del material. A la temperatura a la que se lleva a cabo la nitrocarburiación es mucho más soluble el nitrógeno que el carbono, y por lo tanto el nitrógeno difunde más rápidamente dentro del material, mientras que el carbono forma partículas de carburo de hierro o de algún otro elemento de aleación.

Sulfinitado: Es un tratamiento alternativo de la nitrocarburiación en baño de sales, en el cual además de carbono y nitrógeno difunde azufre a la superficie del material.

Nitruración Iónica.

La finalidad de este proceso es obtener como ya se había mencionado, una capa superficial con propiedades al desgaste y a la corrosión. También, llamada nitruración en plasma o en descarga gaseosa, este proceso hace uso de un plasma que contiene nitrógeno ionizado y de un campo eléctrico controlado, que provoca la aceleración de los iones y su penetración por impacto sobre la superficie de la pieza, formando una capa de nitruros de hierro y de los elementos aleantes presentes, llamada capa nitrurada o capa de nitruros (7,8).

Para la generación del plasma, se usa un recipiente que funciona como ánodo y en el que se hace vacío, en tanto que la pieza por nitrurar funciona como cátodo (9,10). El plasma se genera en la cámara con una presión de vacío y aplicando una diferencia de potencial.

La aplicación del voltaje y la corriente hacen que se forme una franja luminosa (11,12,13) que rodea la pieza independientemente de su configuración, esta franja luminosa es producida por la excitación de los átomos ionizados y neutros cercanos a la superficie catódica.

Los parámetros que se miden y que sirven para controlar el proceso de formación y composición de la capa son: el voltaje, la densidad de corriente, la proporción de nitrógeno e hidrógeno dentro de la cámara, la presión en la cámara, la temperatura de la pieza y el tiempo del tratamiento.

La temperatura de la pieza es función del voltaje y de la presión de la cámara, estos controlan la frecuencia y la energía con que chocan las partículas sobre la superficie catódica. Los gases reactivos que se usan como fuente de nitrógeno para el tratamiento son el amoníaco y nitrógeno.

Dentro de la cámara y durante el tratamiento se usa un vacío que se mantiene entre 0.1 y 12 Torr. La temperatura de tratamiento es un parámetro que sirve para controlar el espesor de la capa nitrurada, su valor depende del voltaje aplicado y del tipo de material que se someta.

La operación de un tratamiento de nitruración iónica consiste en varias etapas que se pueden modificar según el diseño del equipo con que se esté operando. A continuación se mencionan las características principales (14):

A) Colocación de las piezas dentro de la cámara y su conexión como cátodo, limpieza de la atmósfera al hacer el vacío recomendado.

B) Purga de la cámara con la mezcla de los gases para nitrurar y ajuste del valor deseado de la presión con la cual se va a operar el proceso.

C) Elevación gradual del voltaje, para promover el calentamiento y limpieza superficial de la pieza, hasta la temperatura de tratamiento establecida.

D) Control del proceso a través de la medición de los parámetros establecidos durante el tratamiento.

E) Apagado del plasma y enfriamiento de la pieza con la circulación de un gas inerte, hasta alcanzar el equilibrio con la presión atmosférica.

F) Descarga del sistema eléctrico y vaciado de la cámara.

Los aceros que pueden ser sometidos a este proceso son aquellos que contienen elementos formadores de nitruros como por ejemplo: aluminio, titanio, cromo, manganeso, molibdeno y tungsteno, en concentraciones muy bajas de lo contrario se produce un efecto el cual frena la penetración del nitrógeno por debajo de la superficie y se formarían capas muy delgadas de nitruros.

CAPITULO II.

CORTE DE METALES

II.1 Definición.

El proceso de eliminar volúmenes seleccionados de material de una pieza dada a fin de darle la forma deseada dentro de especificaciones para producir superficies planas, cilíndricas, angulares e irregulares, se llama maquinado (15, 16). Los procesos de remoción de material (maquinado), se utilizan para conformar partes de materiales, como metales, plásticos, cerámica y madera. La gran mayoría de los productos manufacturados requieren de algún maquinado en alguna etapa de la producción, desde un trabajo burdo o de no precisión, tal como una limpieza de fundiciones o forjas, hasta un trabajo de alta precisión que involucra tolerancia de 0.002 mm o menos, por ejemplo pistones, cuerdas milimétricas, etc. De aquí que el corte de metales es uno de los procesos más importantes de manufactura que exige tiempo y desperdicio de material, sin embargo, es muy preciso y puede producir una tersura de superficie difícil de lograr con otros procesos.

Los procesos para remoción de material se clasifican como convencionales o con formación de viruta y no-convencionales o sin formación de viruta; ver tabla 1.

Procesos Convencionales.

En los procesos convencionales para remoción de material, los tres elementos básicos son la pieza de trabajo, la herramienta de trabajo y la máquina-herramienta.

TABLA 1

**Clasificación de los Procesos de Remoción de Material
Convencionales y No Convencionales.**

Convencionales	No Convencionales
Fresado Esmerilado Torneado Cepillado Taladrado	Ultrasónico Electroquímico Rayo Láser Arco Plasma Haz de Iones

Por medio de máquinas se fabrican piezas de formas cilíndricas o planas y piezas provistas de roscas, así como ruedas dentadas y piezas de cualquier otra forma. Todas estas máquinas trabajan con una herramienta; razón por la cual se llaman máquinas-herramienta.

Las funciones básicas de la máquina herramienta son:

- 1.- Proveer los movimientos relativos entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo en forma de velocidades y

avances.

2.- Mantener las posiciones relativas de la herramienta de corte y de la pieza de trabajo, a fin de que la remoción de material resultante produzca la forma requerida, al variar las posiciones y movimientos entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte, se puede efectuar más de una operación en la máquina herramienta.

Con los avances de la tecnología se han desarrollado materiales de trabajo más resistentes y más duros. El procesamiento eficiente de esos materiales no era posible por métodos convencionales para la remoción de material, por lo tanto se han creado varios procesos nuevos y especializados.

Procesos no-convencionales (17)

Al contrario de los procesos convencionales en donde la remoción del material necesita una herramienta de corte, los procesos no-convencionales se basan en los fenómenos ultrasónicos, químicos, electroquímicos, de electro-descarga, haz de electrones, laser y iones.

En estos procesos la remoción de material no sólo está influida por la relación herramienta-material sino también por otras propiedades tales como reactividad química.

II.2. Formación de la Viruta.

La remoción de material incluye la formación de una viruta. En todo el proceso de maquinado se producen virutas que se desechan hasta que se logran la forma y tamaño deseado del producto.

La formación de las virutas es tan importante en el maquinado que merece una breve explicación. Las virutas, básicamente son el resultado del movimiento de una herramienta de corte debajo o dentro y a lo largo del material de trabajo. Cuando la herramienta se mueve a lo largo de la pieza, hay una deformación del material y se produce la viruta. El corte ortogonal es un corte bidimensional en el cual la herramienta está perpendicular al trabajo y al sentido del avance(18). (Figura 2.1)

Las propiedades del material de trabajo son importantes en la formación de la viruta. Los materiales con alta resistencia mecánica requieren fuerzas mayores que los materiales con baja resistencia, lo que provoca una mayor tensión sobre la herramienta y en sí del material de trabajo incrementándose la fricción y la generación de calor, por lo tanto requiriendo una mayor cantidad de trabajo. La estructura y la composición son factores que influyen en el corte de metales, como constituyentes duros o abrasivos por ejemplo carburos que se presentan en los aceros que aceleran el desgaste de la herramienta. Por otro lado, los materiales blandos no se maquilan bien provocando un atasco de la

herramienta.

Los elementos geométricos de la herramienta de trabajo están relacionados con la formación del borde cortante y con la dirección de corte. Por tanto, la forma y posición de la herramienta relativas a la pieza de trabajo tienen una influencia importante en las características de un corte específico, la posición relativa de la herramienta con respecto al material de trabajo será la inclinación de la cara de la herramienta que actúa como punta de corte, medida en la dirección en que la viruta fluye. La inclinación verdadera de una herramienta de corte tiene una influencia fundamental sobre la formación de virutas, determinando en gran medida su pendiente relativa al grado de compresión y la declinación de la zona de corte sobre el material delante del borde cortante; un ángulo de inclinación pequeño producirá una alta compresión y se creará una viruta gruesa, caliente y altamente deformada. Un ángulo de inclinación mayor, reduce la compresión y se producirá una viruta más delgada y menos deformada. (ver figura 2.0)

La herramienta se mueve con una velocidad (V_0) dentro del material de trabajo por la fuerza de la acción cortante (FC) y la fuerza de avance (FF). Cuando la herramienta penetra en el material con una profundidad de corte (H), las fuerzas FC y FF hacen que se comprima el material que está hacia adelante de la herramienta. El área debajo de la zona de compresión sufre una deformación plástica en una sección denominada zona de cizallamiento o de corte. La rotura o interrupción del material dentro de la zona de cizallamiento

ocurre en el llamado plano de cizallamiento o de corte, dicho plano ocurre en el ángulo de cizallado (X).

El material de trabajo se mueve hacia arriba y contra la cara de la herramienta de corte y se desprende de la matriz del material. La acción cortante hace que el material de trabajo que está en el plano de cizallamiento se comprima y se mueva hacia arriba y contra la cara de la herramienta. La deformación ocurre tanto en la viruta como en la pieza de trabajo debajo de la herramienta de corte, como se ilustra en la figura 2.1.1.

La deformación por cizallamiento puede compararse con lo que ocurre cuando se empuja una baraja y se deslizan las cartas figura 2.2.

Algunas condiciones importantes son plenamente reconocidas para ser asociadas con este mecanismo generalizado de formación de viruta.

Primero, tensiones de compresión y cizallamiento alcanzan niveles lo suficientemente altos para causar la deformación plástica al pasar por la zona de cizallamiento y también para exceder la resistencia del material localmente cerca de la punta de corte. Tales tensiones son asociadas con la presión extrema y con las fuerzas (las cuales pueden ser grandes), actuando sobre la herramienta de corte y el material de trabajo.

Segundo, la acción involucrada en la formación de la viruta también causa distorsión en la pieza de trabajo, y la superficie maquinada no es suave, pero si, en cambio

desgarrada y fragmentada. Estos efectos pueden verse claramente en la fotografía 2.1. la cual muestra la sección de una pieza en la parte superficial de la zona maquinada. Estos efectos pueden ser dañinos y afectar adversamente el comportamiento en servicio a menos que sean eliminados.

Tercero, como una consecuencia del trabajo requerido para deformar la pieza de trabajo, la viruta y también por la fricción entre la viruta y la superficie de herramienta de corte, se genera una cantidad considerable de calor en la zona de corte. Algunos estudios (19) indican que en una operación típica alrededor del 75 % del calor generado es causado por la deformación y cizallamiento del metal y cerca del 25 % por fricción.

Esta generación resulta en altas temperaturas en la zona de corte, especialmente en las virutas y en la herramienta de corte, la cual esencialmente está en contacto continuo con la pieza de trabajo. Aunque varía considerablemente, típicamente al rededor del 60 al 80 % de ese calor es eliminado del sistema en las virutas, y del 5 al 25 % por la pieza de trabajo.

Las fuerzas de fricción tienden a restringir el movimiento a lo largo de la superficie de la herramienta y las fuerzas han sido consideradas en términos de un coeficiente de fricción (M) entre herramienta y los materiales de trabajo.

El concepto de fricción deriva de varios trabajos que demostraron muchos ejemplos comunes del deslizamiento de una superficie sólida sobre otra, la fuerza (F) requerida para iniciar o continuar el deslizamiento es proporcional a la

fuerza (N) normal a la interfase en donde tiene lugar el deslizamiento.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (II.0)$$

Este coeficiente de fricción (μ) es dependiente solamente de estas fuerzas y es independiente del área de deslizamiento de las dos superficies.

El movimiento del material de trabajo sobre la superficie de la herramienta no pueden ser descritos adecuadamente usando los términos de deslizamiento y fricción como son comunmente entendidos. El concepto de fricción no es un concepto adecuado para tratar con la relación entre fuerzas en el corte de metales por dos razones (1) No puede haber una relación simple entre la fuerza normal con y la paralela a la superficie de la herramienta y (2) la fuerza paralela a la superficie de la herramienta no es independiente del área de contacto sino por el contrario, el área de contacto entre la herramienta y el material de trabajo es un parámetro muy importante en el corte de los metales.

La condición cuando dos superficies están entrelazadas o unidas es referida como la condición de cizallamiento que se opone a las condiciones de deslizamiento en la interfase. Las condiciones de cizallamiento son posibles porque el área de cizallamiento es pequeña y es aplicada fuerza suficiente para cizallar el material de trabajo cerca de la interfase

cizallada. Los materiales de herramienta tienen una alta tensión de fluencia para evitar la destrucción bajo tensiones muy severas que impone la condición de cizallamiento. Bajo las condiciones de deslizamiento, el movimiento relativo puede ser considerado que tiene lugar en la superficie la cual es la interfase entre dos cuerpos (20,21).

El movimiento ocurre en la interfase porque la fuerza requerida para cizallar los puntos de contacto es mucho menor que la requerida para cizallar cualquiera de los dos cuerpos. Bajo condiciones de cizallamiento nada más puede ser asumido que el movimiento relativo tiene lugar en la interfase debido a que la fuerza requerida para vencer el entrelazamiento y la unión normalmente requerida es mayor que aquella requerida para cizallar el metal adyacente.

El movimiento relativo bajo cizallamiento en masa en el más débil de los cuerpos, en una región de espesor finito la cual puede caer inmediatamente adyacente a la interfase o alguna distancia de ella dependiendo del sistema de tensiones involucrado. En secciones através de virutas y en secciones de parada-rápida, son observadas normalmente zonas de cizallamiento intenso cerca de la interfase, excepto cuando se presentan condiciones de deslizamiento.

II.3. Tipos de Virutas.

Virutas discontinuas o segmentadas:

Este tipo de viruta se forma porque el material de trabajo tiene alta resistencia a la compresión y a la deformación plástica, por lo tanto el material se rompe en virutas pequeñas, segmentadas. El acabado superficial es de alta calidad cuando se forman virutas de este tipo, además la potencia requerida para maquinarse el material es más baja.

Se pueden también formar virutas discontinuas al cortar un material dúctil si se utilizan bajas velocidades de corte y un avance muy fuerte. Las virutas discontinuas se eliminan con mayor facilidad que otros tipos de viruta. (Fotografía 2.2)

Virutas continuas:

Son las que se producen con la deformación continua del material directamente delante de la herramienta de corte; las virutas se extienden a lo largo de la herramienta de corte sin fractura. Por lo general, la viruta continua se forma al cortar un material dúctil con una velocidad alta; esta viruta tiene una superficie posterior lisa (lado de la herramienta de corte) y un frente áspero y deformado en forma helicoidal.

Cuando se presentan virutas continuas, tienden a enmarañarse en la herramienta de corte, en vez de rizarse y romperse como las virutas discontinuas. (Fotografía 2.2)

Virutas continuas con borde acumulado:

Estas virutas son muy semejantes a las continuas, pero se forma una masa acumulada de material junto al filo de la herramienta. Durante el maquinado se fusionan entre si particulas del material; mientras se hace el corte, estas particulas se quedan en la herramienta un corto tiempo y luego se resbalan y caen en la superficie maquinada, se vuelven a acumular particulas y se repite el proceso.

Cuando se forman virutas continuas de borde acumulado, la acción de corte se convierte en fricción. La fricción aumenta el rozamiento entre la herramienta y la pieza de trabajo generando temperaturas altas, las cuales aumentan la deformación de la pieza de trabajo y disminuyen la duración de la herramienta.

La longitud de las virutas determinará la facilidad para ser removidas, ya que si estas son continuas, implica que existe una mayor área de contacto entre la viruta y la herramienta provocando fricción y por lo tanto un desgaste de la herramienta. (Fotografía 2.2)

II.4. Temperatura en el corte de metales.

La gran mayoría de los procesos de maquinado son conducidos con la pieza de trabajo a temperatura ambiente, existe un significativo aumento en la temperatura debido a la gran deformación plástica y altas velocidades de deformación.

Esto tiene una notable importancia en la elección de materiales de herramienta, como por ejemplo, su vida útil y en el sistema lubricante requerido. La energía de cizallamiento requerida para formar la viruta casi en su totalidad es convertida a calor; también el calor es generado por el arrastre de la viruta sobre la cara de incidencia de la herramienta. Como resultado de ésta acción de arrastre una zona de deformación secundaria se desarrolla en la viruta junto a la interfase viruta-herramienta, esto contribuye también a la generación de calor.

La transferencia de calor es fuertemente dependiente de la velocidad de corte, a muy bajas velocidades de corte habrá el tiempo adecuado para que la conducción ocurra, principalmente hacia la pieza de trabajo y prevalecerán condiciones casi isotérmicas. En el otro extremo, a velocidades de corte muy altas existirá muy poco tiempo para la conducción de calor y una condición casi adiabática es la que existirá con altas temperaturas locales en la viruta. Las condiciones usuales del maquinado están entre estos dos extremos.

II.5. Influencia del Material de Trabajo.

El maquinado es una operación de trabajo en frío en la cual la punta de corte de la herramienta forma virutas del material que está siendo maquinado, de lo expuesto anteriormente, el proceso será facilitado si se forman grietas minúsculas justamente adelante de la punta de corte,

debido a las altas concentraciones de tensión establecidas por la punta de corte. Como ya se mencionó, las aleaciones muy dúctiles no se maquinan bien, debido a que no presentan fácilmente fracturas locales bajo la presión de la herramienta de corte. En su lugar, el metal fluirá y se esparcirá alrededor de la punta de corte produciendo, tal vez, el atascamiento de la herramienta. Por otro lado, las aleaciones frágiles, serán generalmente inapropiadas en servicio, particularmente en condiciones de choque. Sin embargo, podemos llegar a un punto intermedio entre estos extremos, introduciendo lo que es denominado fragilidad local en una aleación y al mismo tiempo producir un cambio mínimo despreciable en las propiedades mecánicas y/o físicas del material. Esto puede darse en tres formas (16,19,25):

- 1.- Por la presencia de un constituyente que existe como partículas aisladas en la microestructura. Tales partículas, ya sean de material duro o suave, tienen el efecto de establecer concentraciones de tensiones localmente cuando la punta de corte se acerca a ellas. Una fractura minúscula, por lo tanto, viajará desde la punta de corte a la partícula en cuestión y de esta forma se reduce la fricción entre la herramienta de corte y el material que se corta. Además de la reducción de desgaste de la herramienta también habrá una reducción de la potencia total requerida.

Aún más, debido a la discontinuidad introducida por las partículas la viruta producida será en forma segmentada lo cual es muy conveniente, en lugar de las virutas largas y

espirales obtenidas con un material dúctil. En los aceros de corte libre la presencia del azufre es utilizada para que este se combine con el manganeso y forme el sulfuro de manganeso el cual existe como glóbulos aislados en la microestructura, mientras que el sulfuro de hierro, que se formará si hay ausencia de manganeso, existirá como películas intercrystalinas que son muy frágiles. De aquí que en aceros ordinarios de buena calidad, el azufre usualmente esté presente solo en cantidades menores a 0.06% mientras que en aceros de corte libre hasta 0.20% de azufre puede presentarse y el contenido de manganeso se eleva hasta 0.90-1.20% para asegurar que todo el azufre se combinará con éste.

2.- Por un tratamiento térmico del material antes de la operación de maquinado.

Los aceros de bajo carbono son los más fáciles de maquinar cuando están en la condición de normalizado. Este tratamiento produce pequeñas zonas de perlita las cuales rompen la continuidad de la ferrita, tal que durante el maquinado se comportará en forma muy similar a los glóbulos de sulfuro de manganeso en los aceros de corte libre.

Los aceros de grano fino tienen propiedades de maquinado más pobres que los aceros de gran grueso de composición similar de aquí que el maquinado de aceros de grano fino puede ser facilitado por medio de un calentamiento a una temperatura suficientemente alta para causar el crecimiento de grano y así producir una austenita de grano grueso, la

cual dará perlita y ferrita gruesas.

3.- Por medio de un trabajado en frío del material antes del maquinado.

Este tratamiento da lugar a un mejoramiento de la maquinabilidad, debido a que su resistencia a ser deformado se incrementa con lo que aumenta su dureza y por lo tanto su fragilidad.

II.6. Maquinabilidad.

La facilidad o dificultad con la cual se puede remover un material se llama MAQUINABILIDAD. Hay varios criterios que definen esta maquinabilidad; tales como el acabado de la superficie, duración de las herramientas (vida de la herramienta), consumo de energía, tipo de viruta generada.

1.- Desgaste de la herramienta.

Este es el término que regularmente está más relacionado con la maquinabilidad. La rapidez con la cual la herramienta se desgasta, bajo ciertas condiciones de corte (velocidad y profundidad de corte, etc.), determina la frecuencia con la cual son requeridos ajustes y/o reemplazo de esta, llevando asociado el tiempo necesario para esta operación. La vida de la herramienta como medida de la maquinabilidad, es la cantidad de material removido por la herramienta, bajo condiciones regulares de corte, antes de que el

comportamiento de la herramienta llegue a ser inaceptable, o sea, que la herramienta esté desgastada.

2.- Virutas.

El corte de metales principalmente involucra la formación de virutas, las cuales pueden constituir desde una pequeña cantidad hasta más del 50% de la pieza inicial del trabajo, además de que no son aprovechadas y únicamente son el medio para llegar al final deseado. La formación de virutas es un proceso ineficiente que normalmente provoca efectos laterales no deseados, se desperdicia material y aún la disposición de las virutas frecuentemente presenta problemas.

3.- Acabado de superficie.

El acabado de superficie es el grado de tersura obtenido en una superficie después de ser maquinada; este acabado superficial está relacionado con el desgaste de la herramienta, la zona acumulada en la zona de corte y material por maquinar.

4.- Zona acumulada en la punta de corte.

La tendencia del material de la pieza de trabajo a adherirse en la punta de corte de la herramienta (también relacionado a ciertas condiciones de maquinado) afecta directamente la capacidad para tener un control dimensional y obtener un buen acabado superficial.

Las propiedades físicas que afectan en la maquinabilidad: son dureza, resistencia a la tensión y a la compresión. Los materiales blandos producen una considerada fricción o arrastre de la herramienta, que genera calor, reduce la duración de la misma y ocasiona un mal acabado de superficie. Con materiales cada vez más duros, se reduce el calor, se tiene un mejor acabado de superficie y mayor duración de la herramienta. La estructura interna del material de trabajo, como la estructura del grano e inclusiones abrasivas, se reflejan en la facilidad de trabajarlo. Si tenemos una herramienta que forma un borde acumulado no necesariamente genera una superficie mala; sin embargo, una herramienta que no genera borde acumulado nos da una superficie mala.

II.7. Materiales para Herramientas de Corte.

Las herramientas están sometidas a grandes fuerzas bajo condiciones de alta temperatura y desgaste. Existen tres tipos básicos de desgaste que ocurren en el corte de metales (16). En el desgaste "por adhesión" la herramienta y la viruta se sueldan en asperezas locales y el desgaste ocurre por la fractura de las uniones soldadas. El desgaste "abrasivo" se presenta como resultado de la abrasión de las partículas duras por debajo de la viruta y en la cara de la herramienta por la acción mecánica de la viruta al pasar sobre la cara de incidencia. Las partículas duras pueden ser resultado ya sea de la pieza de trabajo o de la herramienta, o también de fragmentos endurecidos por la gran deformación

del borde acumulado. El desgaste también puede presentarse a partir de la difusión en estado sólido desde la herramienta hacia la pieza de trabajo a una alta temperatura y como consecuencia de un contacto íntimo el cual existe en la interfase entre la viruta y al herramienta. De aquí, que en un buen material de herramienta de corte debe poseer una alta dureza en caliente y resistencia al desgaste también en caliente con suficiente tenacidad para resistir la fractura o segmentación. Deberá tener una buena resistencia al choque térmico y baja reactividad con el material de la pieza de trabajo.

Dos tipos principales de desgaste se observan en una herramienta de corte: 1.- Desgaste lateral. El cual es el desarrollado de una capa de desgaste en la herramienta debida a la acción abrasiva entre la cara lateral de la herramienta y la superficie generada. 2.- Desgaste en forma de cráter. Es la formación de un cráter circular; su principal causa es el desgaste por difusión, el cráter se forma aproximadamente en el punto medio de la superficie de contacto herramienta viruta y a una distancia que corresponde al punto de máxima temperatura.

El proceso de desgaste predominante depende de la velocidad de corte, a mayores velocidades de desgaste por cráter es predominante, mientras a bajas velocidades es el desgaste lateral.

Los principales materiales utilizados para la fabricación de herramientas de corte son (16,19,20):

Aceros al carbono:

Los materiales más antiguos para ser usados como materiales de herramienta son los aceros con alto contenido de carbono, conteniendo de 0.7 a 1.5 % de carbono. Estos aceros son básicamente endurecidos en agua, tiene una buena dureza, resistencia y tenacidad adecuada. Sin embargo, su aplicación es limitada a bajas velocidades de corte ya que a temperaturas mayores de 200 C pierde sus propiedades.

Aceros de alta velocidad:

Estos aceros altamente aleados son marcadamente superiores a los anteriores en el hecho de que retienen su habilidad de cortar a temperaturas de orden de 600 C, exhibiendo lo que es llamado dureza en rojo, estos pueden cortar al doble de la velocidad de corte con la misma vida de la herramienta su composición es: de 0.8 a 1.25 % de C, W=16%, Mo=5%, Cr=4%, V=2%.

Carburos:

Típicamente contienen 40% de Co, 35% de Cr y 20% de W. Esta variedad de herramientas son producidas por procesos de metalurgia de polvos, la estructura de estos materiales está compuesta básicamente por compuestos intermetálicos complejos los cuales retienen su dureza (90-93 HRC) hasta alrededor de 750 C, pueden ser operados a velocidades de corte de 2 a 5 veces mayores que aquellas empleadas para aceros de alta velocidad.

Cerámicos:

La mayoría de estos están fabricados de óxido de aluminio puro conformadas en pastillas sinterizadas alrededor de 980 C en forma de partículas muy finas. Los cerámicos pueden operar de 2 a 3 veces la velocidad de corte de los carburos.

Diamante:

Es el material más duro que se conoce, ya sea natural o artificial, tienen una aplicación muy limitada en operaciones de maquinado.

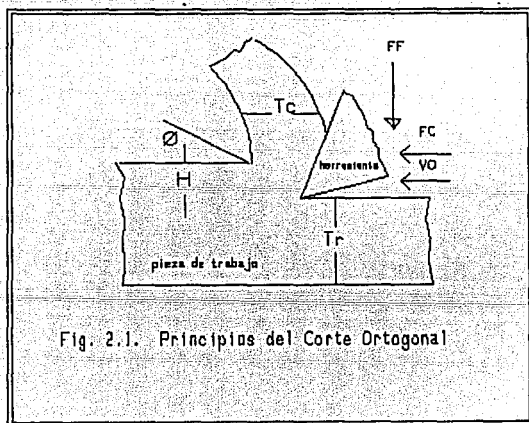
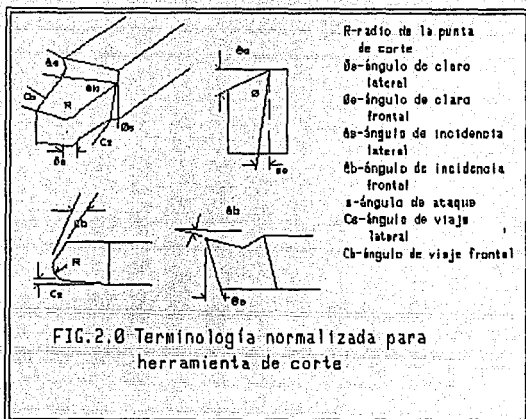


Fig. 2.1.1. Formación de Viruta

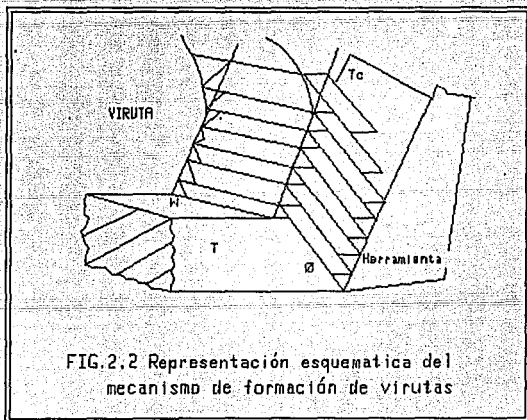
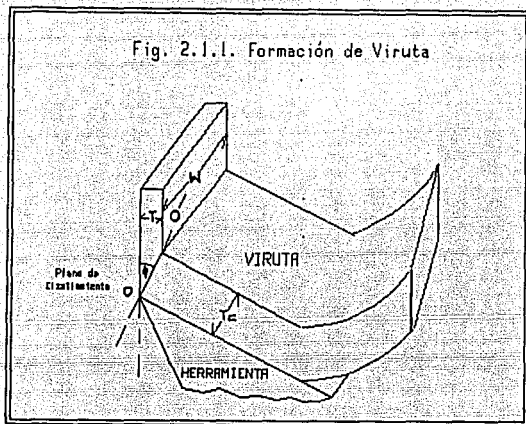
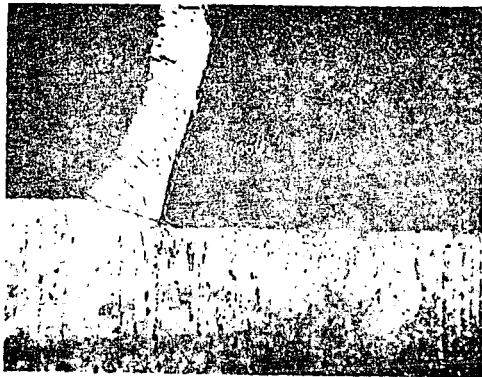
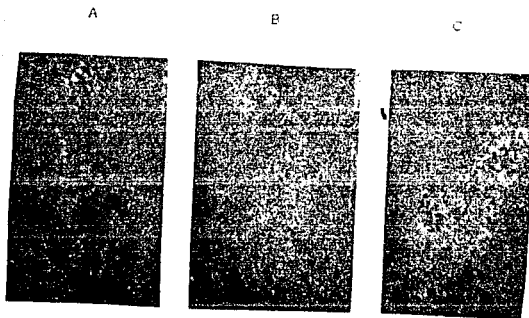


FIG.2.2 Representación esquemática del mecanismo de formación de virutas



Fotografía 2.1 Deformación por cizallamiento (100x)

Vista ampliada de una viruta mostrando el plano de cizallamiento y la estructura intergranular deformada adelante de la herramienta.



Fotografia 2.2 Tipos de viruta (50x)

A) Segmentada o Discontinua

B) Continua

C) Continua con borde acumulado

CAPITULO III.

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

III.1. Caracterización de los Materiales de Trabajo.

Para la realización del presente trabajo se utilizaron los siguientes aceros:

- Acero de alta velocidad (HSS) de la serie M como material de corte.
- Acero de corte libre (FREE CUTTING) como material a ser cortado.

Por la conveniencia de tener registradas las características de los materiales de llegada se efectuaron estudios metalográficos (ver fotografía 3.1 y 3.2), pruebas de dureza y análisis químicos (ver tabla 3.1).

Tabla 3.1

Composición química del material de trabajo

Acero de alta velocidad (HSS)							
%C	%Ni	%Mn	%Cr	%Mo	%V	%W	%Co
0.8	0.1	0.13	3.3	8.0	0.88	-	8.2

Los resultados corresponden en la clasificación de la AISI a un acero M-2.

Tabla 3.1

Acero de corte libre (FREE CUTTING).				
%C	%Mn	%P	%S	%Si
0.13	1.0	0.03	0.25	0.16

Los resultados corresponden en la clasificación de la AISI a un acero de corte libre C1113.

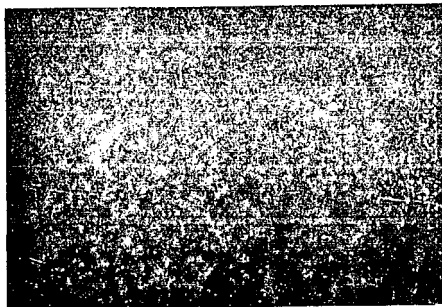


FOTO 3.1

Acero M-2 de llegada atacado con nital al 3% (600x).

La estructura presenta una matriz ferrítica conteniendo pequeñas partículas de carburos de los elementos de aleación y otros de forma masiva grandes. Presenta una dureza de 62 HRC uniforme.

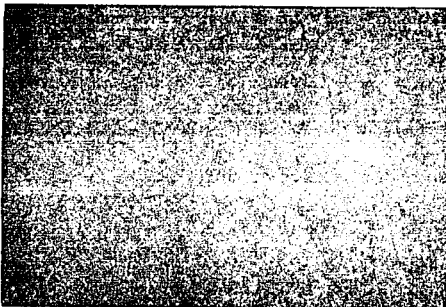


FOTO 3.2

Acero de corte libre (free cutting) de llagada atacado con nital al 3% (300x).

La estructura del acero de corte libre presenta una matriz ferrítica conteniendo partículas de sulfuro de manganeso en forma dispersa. Presenta un dureza de 54 HRB.

III.2. Nitruración Iónica.

Las pruebas de nitruración iónica se efectuaron con un equipo que consta de una cámara de acero al carbon sin recubrimiento interno con un volumen de 5 metros cúbicos, equipada con un sistema de vacío, una fuente de poder de corriente directa de 0 a 5 Kv, un tanque de gas con una mezcla comercial de 82% Hidrógeno y 18% Nitrógeno, un termopar de chromel-alumel con su registrador. La conexión catódica se logra con un atravesador de alto voltaje. (Ver fotografía 3.3)

Se diseñó un porta muestras (platina) de acuerdo a las necesidades de las piezas por nitrurar (Ver fotografía 3.4).

Las condiciones de operación se fijaron de acuerdo a trabajos previos de nitruración iónica en acero M-2 14,26,27,28). Los parámetros controlados fueron la presión, el voltaje, la corriente, la temperatura y el tiempo cuyos valores y rangos se reportan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2
Condiciones de Operación

Parámetros	Rango de trabajo
Voltaje	3400 - 3600 (volts)
Presión	0.9 - 0.110 (torr)
Temperatura	480, 510, 580 (°C)
Tiempo	2, 4, 8 (horas)
Atmosfera	82%H ₂ , 18%N ₂ (cte)

III.3. Maquinado.

Las pruebas de corte se efectuaron en un torno semiautomático marca SANCHEZ & BLANS modelo C.R. de velocidad variable de 0 a 1200 rpm (ver fotografía 3.5).

Las condiciones de operación fueron velocidad de corte, profundidad de corte, velocidad de alimentación y tiempo de corte (ver tabla 3.3). Las pruebas fueron efectuadas sin lubricante (en seco).

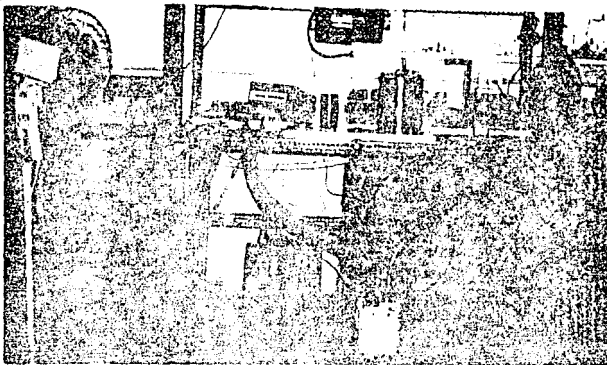
Tabla 3.3
Condiciones de Operación Constantes

Parámetros	Valores
Geometría de la herramienta	radio de la punta 0.75 mm
	ángulo de claro lateral 6°
	ángulo de claro frontal 11°
	ángulo de incidencia lateral 5°
	ángulo de incidencia frontal 0°
	ángulo de ataque 0°
	ángulo de viaje lateral 0°
	ángulo de viaje frontal 0°
Profundidad de corte	1.0 mm cte.
Velocidad de avance	0.4 mm por rev.

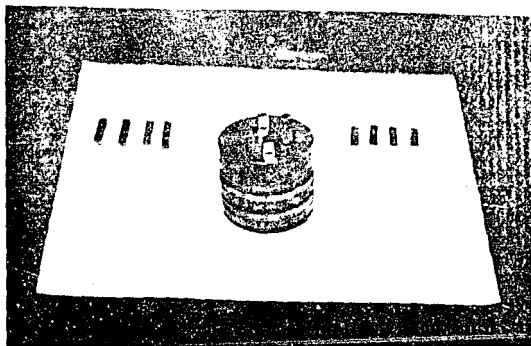
Tabla 3.4
Velocidad de Corte

RPM	m/min
105	25.13
129	30.88
173	41.41
223	53.38
667	159.67
1164	278.40

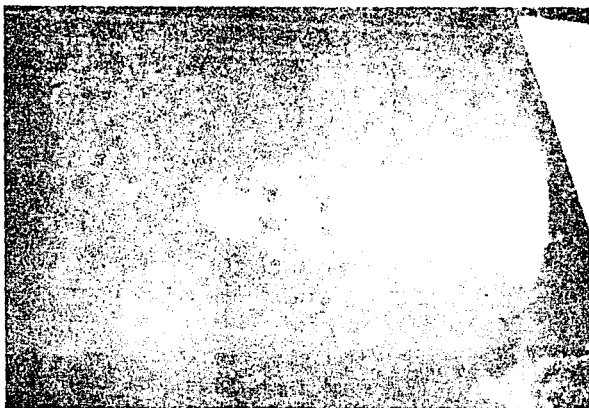
Se obtuvieron muestras de "Parada Rápida" (Quick Stop Section), después de 30 segundos de corte para que el proceso se estabilizara (29), las cuales fueron preparadas para su observación bajo el microscopio metalográfico y electrónico de barrido, al igual que la herramienta que generó dicha muestra.



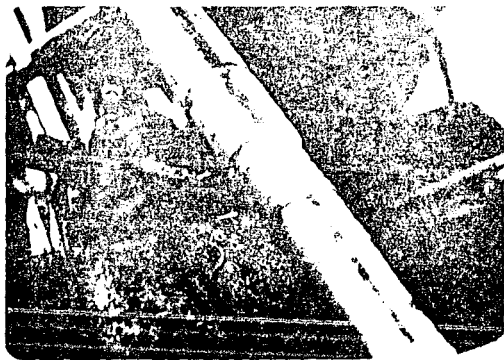
Fotografía 3.3 Vista de la instalación física.



Fotografía 3.4 Portamuestras (platina).



Fotografía 3.4



Fotografía 3.5 Obtención de muestras.

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Independientemente del tipo de proceso de nitruración que se efectue se produce la siguiente reacción:



Esta reacción corresponde a la disociación del amoniaco a alta temperatura; el nitrógeno que se libera de esta reacción se combina con el cromo, molibdeno y hierro que forman parte de la composición química del acero M-2 para formar los nitruros en la superficie de la herramienta.

Las temperaturas utilizadas para efectuar el proceso de nitruración se encuentran en el intervalo de 480 C a 540 C, que es marcado por la aparición del eutectoide, son las más adecuadas para la nitruración ya que en el acero de herramienta se disuelve la cantidad adecuada de nitrógeno. Temperaturas mayores de tratamiento no son recomendables porque los aceros tienen capas duras superficiales más profundas por la facilidad de difusión de nitrógeno, que son muy frágiles y el acero presentaría baja tenacidad(14,26,27,30). La naturaleza de la capa nitrurada superficial esta constituida por una dispersión fina y homogénea de nitruros y carbonitruros en una matriz de ferrita como se logra apreciar en las fotomicrografías 4.2, 4.3, y 4.4.

En este trabajo NO se realizó un estudio profundo sobre la capa nitrurada, es decir, no se hizo ninguna medición

cuantitativa de la misma, así como tampoco una metalografía detallada.

Las pruebas de maquinado fueron realizadas con el propósito de determinar el comportamiento que sufre una herramienta de acero de alta velocidad (HSS) M-2 nitrurada iónicamente bajo diferentes condiciones de temperatura y tiempo (ver tabla 3.2) y herramientas del mismo acero no nitruradas.

Las pruebas de corte se efectuaron con el propósito de obtener secciones de "Parada Rápida" que permiten observar el proceso de corte del material o del acero de corte libre y su interacción con la herramienta de corte y con todo esto definir el tipo de desgaste de la herramienta de corte que se presenta.

Se pudieron evaluar un total de 54 combinaciones diferentes de herramienta de corte y velocidad de corte obtenidas durante el proceso de corte con sus respectivas secciones (virutas). En las pruebas realizadas se presenta como variable la velocidad de corte que nos servirá como criterio para evaluar la modificación en la maquinabilidad del acero de corte libre al usar herramientas de corte sometidas a diferentes condiciones de nitruración iónica y su comparación con el comportamiento que se tiene al usar herramientas del mismo acero sin nitrurar.

A continuación se presenta una descripción de los resultados obtenidos (fotomicrografía 4.2, 4.3, y 4.4).

A la temperatura de tratamiento de 480 °C y tiempo de 2 horas no se presenta la formación de un borde acumulado por lo que se observa un flujo continuo de material, únicamente en la sección a la velocidad de 278.40 m/min se observa un borde acumulado pequeño y corto. En las herramientas no se observa desgaste alguno, es decir, todas conservan su geometría sin variación alguna. A la misma temperatura anterior pero al tiempo de 4 horas de nitruración tiene igual comportamiento que al tiempo de 2 horas hasta la velocidad de 41.41 m/min porque, a la velocidad de 53.38 m/min se presenta un borde acumulado pequeño y corto que tiende a disminuir en tamaño y a alargarse a las velocidades de 159.67 m/min y 278.40 m/min. En las herramientas, a este tiempo no se denota deformación alguna o desgaste apreciable únicamente apartir de la velocidad de 53.38 m/min y hasta la velocidad de 278.40 m/min se presenta una pequeña deformación en la zona de la punta de corte de la herramienta. Al tiempo de 8 horas la tendencia es similar a las anteriores pero a la velocidad de 278.40 m/min se observa la presencia de un cráter de forma circular y en el punto medio de la superficie de contacto herramienta-viruta.

En las muestras sometidas a una temperatura de 510 °C se observa el siguiente comportamiento: al tiempo de 2 horas en contraste con las muestras de 480 °C y 2 horas, las herramientas presentan desgaste pero a la velocidad de 53.38 m/min se observa que la punta presenta un desgaste por

deformación y además la formación de un ligero cráter en el punto medio de la superficie de contacto herramienta-viruta. Al tiempo de 4 horas únicamente se observa que a las velocidades de 30.88 m/min y 41.41 m/min existe un borde acumulado muy pequeño y corto; las herramientas a estas mismas velocidades presentan un ligero achatamiento de la punta de corte, la herramienta sometida a la velocidad de 278.40 m/min presenta un ligero desgaste lateral. Al tiempo de 8 horas únicamente se observan bordes acumulados en las velocidades de 41.41, 53.38 y 159.67 m/min. Estos tienen una tendencia de ser altos y angostos a baja velocidad y se van haciendo pequeños y anchos conforme aumenta la velocidad; las herramientas correspondientes a las bajas velocidades de corte (41.41 a 159.67 m/min) son las que presentan un desgaste por deformación, en la herramienta sometida a la velocidad de 30.88 m/min se observa una pequeña fractura en la punta de corte.

A la temperatura de tratamiento de 540 C y al tiempo de 2 horas se observa la tendencia del borde acumulado descrita arriba para las condiciones a T=510 C y 8 hrs; las herramientas sometidas a las velocidades de corte de 30.88, 41.41, 159.67 y 278.40 m/min presentan un desgaste apreciable con una deformación en la punta de corte y un desgaste en la capa nitrurada a las velocidades de 159.67 y 278.40 m/min. Al tiempo de 4 horas a la misma temperatura se observa la misma tendencia de formación del borde acumulado que al tiempo de 2

horas; en las herramientas no se observa un desgaste severo, es decir, no hay desgaste por deformación o formación de cráter. Al tiempo de 8 horas se observa la misma tendencia del borde acumulado que presentan a 2 y 4 horas; las herramientas únicamente tienen un desgaste apreciable en la zona de la capa nitrurada en la zona de la interfase viruta-herramienta sobre la cara de incidencia.

Las muestras sin tratamiento a la velocidad más baja (41.41 m/min) no muestra borde acumulado únicamente flujo continuo de material y la herramienta no presenta desgaste alguno. De la velocidad de 53.38 m/min a la de 278.40 m/min se observa la formación de bordes acumulados altos y angostos pero no presentan la misma tendencia que los buriles tratados, es decir, el borde acumulado no varía en su forma pero en comparación a las muestras tratadas estas presentan adherencia del material de trabajo prácticamente soldado a la cara de la herramienta; el borde acumulado está tan fuertemente unido a la superficie de la herramienta que después de obtener las secciones de parada rápida este continúa así en la herramienta (fotomicrografía 4.1)

La velocidad de corte no es el único criterio que gobierna el proceso de corte ya que al variar las condiciones generales de corte tales como material de la herramienta, geometría y lubricación puede variar el criterio de maquinabilidad, y aún más se determina cual es el tiempo de vida de la herramienta se podrá ver que la maquinabilidad

también es dependiente del tiempo (16). Por lo tanto debe notarse que los datos reportados no son de una cantidad constante de material removido por la herramienta bajo diferentes velocidades de corte.

En el intervalo de velocidades de corte utilizadas (25.13 m/min a 278.40 m/min) en las pruebas de maquinado se produce la formación de un borde acumulado. Este borde acumulado consiste de capas sucesivas de material de trabajo altamente endurecidas por una severa deformación tal, que es capaz de resistir las tensiones de compresión impuestas por la acción de corte. El tamaño del borde acumulado no se incrementa indefinidamente, parte del borde acumulado continuamente es cizallado y llevado por la cara lateral y/o por la parte inferior de la viruta como se observa en la fotomicrografía 4.4.a.

Como el borde acumulado se presenta en varias formas y tamaños, no existe una línea bien definida que indique la separación entre el borde y la zona de flujo, y es difícil predecir cuando estará presente o ausente durante una operación de maquinado. El borde acumulado durante el corte afecta la vida de la herramienta, aumentándola o reduciéndola, dependiendo de su estabilidad. Cuando se forma un filo recrecido inestable, los fragmentos altamente endurecidos por la deformación que se adhieren a la viruta y a la superficie generada, pueden aumentar el desgaste de la herramienta por la abrasión de las superficies de la misma.

Por otra parte, cuando se cortan materiales muy duros, la presencia del borde acumulado puede ser benéfica porque protege del desgaste la superficie de la herramienta y el mismo realiza el corte. Sin embargo, la presencia del borde ocasiona un cambio en el plano de corte, debido a que no se puede controlar la geometría de la herramienta, siendo esta su principal desventaja, además de que, en operaciones con tolerancias dimensionales restringidas, no es aconsejable establecer condiciones de corte que produzcan borde acumulado.

El borde acumulado varía de acuerdo con la velocidad de corte. A baja velocidad, el borde acumulado es angosto pero alto cuando se incrementa la velocidad de corte, la parte más alta de este se desplaza hacia atrás y resulta en un borde más ancho. Esto sugiere que el borde acumulado tiende a desaparecer al incrementar la velocidad de corte para ser reemplazado finalmente por una zona de flujo en la cara de incidencia en la herramienta.

Al realizar un análisis puntual por medio de microsonda se observó que la herramienta tratada contenía % de S y Mn, indicando la presencia de MnS (sulfuro de manganeso); el cual actúa como lubricante en el proceso de corte. (Fotomicrografía 4.5, Tabla 4.1 y 4.2)

Si se requiere que la vida de la herramienta sea muy alta la velocidad de metal removido debe ser tal que evite el calentamiento del acero de herramienta a altas temperaturas, en el caso de las muestras nitruradas no se observa que haya existido un calentamiento severo, al no encontrarse una gran deformación. Esto nos lleva a poder afirmar que una de las propiedades de la capa nitrurada producida por el proceso iónico es producir una disminución de la fricción por lo cual se reduce el trabajo necesario para deslizar la viruta por la cara de incidencia de la herramienta. Por otro lado, también se puede decir que la mayor cantidad de calor producido se tendrá en las herramientas que en sus secciones tengan borde acumulado ya que como se explicó existe un gran cizallamiento lo cual lleva a la generación de calor.

De las muestras obtenidas, los tipos principales de desgaste observados en las herramientas son, redondeo de la punta de corte y formación de cráter. El redondeo de la punta de corte de la herramienta fué observado al usar velocidades de corte relativamente bajas (25.13 a 41.41 m/min), por otro lado, la formación del cráter se presentó en el límite superior del intervalo de velocidades empleado (278.40 m/min), (fotomicrografía 4.6, 4.7.). Algunas observaciones muestran que la forma de la punta de la herramienta de corte es modificada por deformación plástica. Debe ser considerado que otro proceso de desgaste, desgaste lateral ó del flanco, involucra alguna pérdida del material

de la herramienta así también puede incluir deformación plástica tal que no existe una línea de separación clara entre estos dos mecanismos de desgaste. Cuando se corta acero y otros materiales de alto punto de fusión a altas velocidades de corte y alimentación.

Fotomicrografía 4.1.

Muestra de Acero de Alta Velocidad M-2 sin Tratamiento (100x).

Velocidades

Buril

Sección

41.41 m/min



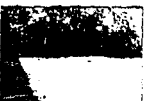
53.38 m/min



159.67 m/min



278.40 m/min



Fotomicrografía 4.2.a.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100X)

Temperatura = 480 °C

Tiempo = 2 horas

Velocidad

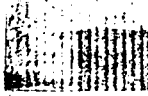
Buril

Sección

25.38 m/min



30.88 m/min



41.41 m/min



53.38 m/min



159.67 m/min



278.40 m/min



Fotomicrografía 4.2.b.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100X).

Temperatura = 480 C

Tiempo = 4 horas

Velocidad

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografia 4.2.c.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 480 C

Tiempo = 8 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



sección



Fotomicrografía 4.3.a.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 510^o C

Tiempo = 2 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

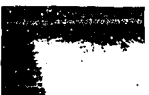
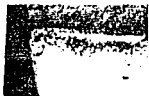
41.41 m/min

53.38 m/min

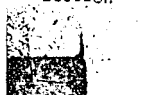
159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografía 4.3.b.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 510 °C

Tiempo = 4 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografía 4.3.c.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 510 C

Tiempo = 8 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografia 4.4.a.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (110x).

Temperatura = 540 °C

Tiempo = 2 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografía 4.4.b.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 540 C

Tiempo = 4 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

278.40 m/min

Buril



Sección



Fotomicrografia 4.4.c.

Muestras de Acero de Alta Velocidad M-2 Sometidas a Tratamiento (100x).

Temperatura = 540 °C

Tiempo = 8 horas

Velocidades

25.13 m/min

30.88 m/min

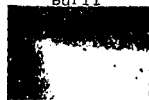
41.41 m/min

53.38 m/min

159.67 m/min

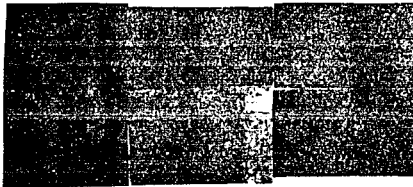
278.40 m/min

Buril



Sección

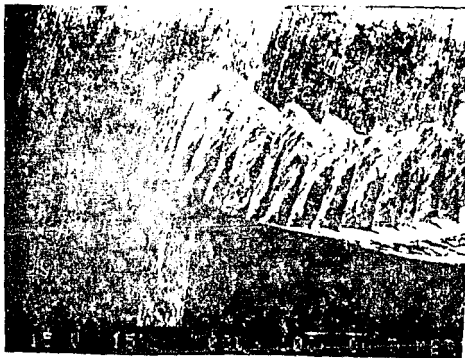




Fotomicrografia 4.4.a Proceso de corte de un acero de corte libre a una velocidad de corte de 159.67 m/min.

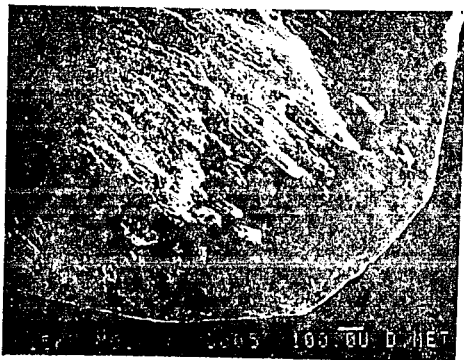
El borde acumulado desplaza la viruta de un contacto directo con la herramienta.

Ataque con nital al 3% (150x).



Fotomicrografia 4.4.b Proceso de corte de un acero de corte libre a una velocidad de corte de 159.67 m/min.

Se logra apreciar la antigua superficie removida al formarse la viruta y al nueva superficie generada.



Fotomicrografía 4.5 Punta de corte de una herramienta con tratamiento de nitruración, después de ser sometida a proceso de corte.



Fotomicrografia 4.6 Sección que muestra un desgaste por deformación de la punta de corte con un tratamiento de 8 horas a una temperatura de 510 °C y una velocidad de corte de 41.41 m/min (100x).



Fotomicrografia 4.7 Sección que muestra un desgaste por cráter en la punta de corte con un tratamiento de 8 horas a una temperatura de 480 °C y una velocidad de corte de 278.40 m/min (100x).

Tabla 4.1

EG&G Ortec System 5000
Standardless ZAF Analysis
AUTOZAP vers 3.08

Sample ID: Herramienta de corte con tratamiento
Análisis de la zona lejana de la punta
de material adherido.

Acquisition Date: 13-Apr-88 16:54:37

Analysis Date : 13-Apr-88 16:58:30

----- Analyticas Results -----

Element	Line	Weight %	Normalized Atomic %	Net Intensity
S	K	1.40	2.41	67.91
Mn	K	6.53	6.56	119.74
Fe	K	92.07	91.03	1423.18

Tabla 4.2

Sample ID: Herramienta de corte con tratamiento

Análisis en zona cerca de la punta de corte.

Acquisition Date: 13-Apr-88 17:00:05

Analysis Date : 13-Apr-88 17:00:56

----- Analytical Results -----

Element	Line	Weight %	Normalized Atomic %	Net Intensity
S	K	40.25	53.61	1906.33
Mn	K	54.54	42.40	845.80
Fe	K	5.21	3.99	68.23

CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas de esta investigación son:

El tratamiento ionico que presenta mejor comportamiento a las pruebas de corte fue el que se realizo a una temperatura de 480 °C con un tiempo de 2 horas ya que no presenta desgaste ni deformación de la punta de corte.

El resto de los tratamientos utilizados presentan problemas de desgaste de la capa nitrurada y deformaciones; los tratamientos con tiempos y temperaturas mayores al recomendado generan una capa nitrurada dura, por lo tanto frágil al trabajo de corte.

RECOMENDACION: Para determinar el tiempo de vida útil de las herramientas sometidas a tratamientos de Nitruración Ionica, seria conveniente trabajar exclusivamente con el tratamiento recomendado en este trabajo y someter a la herramienta a condiciones de trabajo diferentes.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Thelning Erik Karl. Steel and Its Heat Treatment.
Bofors Handbook Butterworths 1978 pp 80-115.
- 2.- Apraiz Barreirio, J. Tratamientos térmicos de los
aceros. Ed. Dorsat, Tercera Edición, 1981.
pp 60-85.
- 3.- Comité de terminología de la "International
Federation for Heat Treatment of Materials".
- 4.- Metals Handbook, Heat treating. Vol 4 8th Edition,
1981, Asm.
- 5.- A.M Staines and T. Bell. Thin solid films; 86. 201
(1981).
- 6.- T.Bell. Procceedings Springs Review Conference
Institution of Metalurgists; 1979 London pp 1-19.
- 7.- W. Wiesel and B. Brant; Forschungsberichte Wirtschafts
on Vrekehrministerium Nordhen-Wetsfalen, 267 (1956).
- 8.- B. Edenhofer, Heat Treatment of metals, 1, 23,
(1974).
- 9.- C. K. Jones E., Heat Treatment '73 The Metals
Society Ed 1975 pp 71-77 London.
- 10.- B. Chapman, Glow discharge processes, Sputtering and
Plasma Etching, John Wiley 1980 pp 1-350.
- 11.- A.M. Taylor and K.M. Tookey, Metallurgia, 2, 64,
(1981).

- 12.- V. Anchev and Yachkov; Mashinostroene, 4, 168, (1978).
- 13.- Idem 8 pp 3-181 (1974).
- 14.- Albarrán Gómez, J.L. Cisneros Rios, J.T. Loveras Frutos, R. Robles Piedras, E.F. Villagrán Roldan, M.A. Nitruración Iónica de Aceros de Herramienta y Aleados de Fabricación Mexicana. Tesis licenciatura, U.N.A.M. Facultad de Química 1985. pp 10-140.
- 15.- H.C. Kazanas, G.E. Baker and T.G. Gregor. Procesos Básicos de Manufactura. Ed. Mc Graw Hill. pp198-270.
- 16.- E.M. Trent Metal Cutting. Butterworths. Great Britain, pp 4-8, 1977.
- 17.- Idem 15 pp 160-175.
- 18.- Merchant. M.E. Mechanics of the Metal Cutting Process I. Orthogonal Cutting and type chip. Journal of Applied Physics, 1945, 16, 5, 267.
- 19.- Boothroyd G. The fundamental of metal machining. E. Arnold L.T.D. 1965 pp150-158.
- 20.- Idem 16 pp 18-60.
- 21.- García, C.R. y Dr. Houbart. I. Teoría y práctica del maquinado. Bufete Metal-Mecánico S.C. pp50-58.
- 22.- Idem 18.
- 23.- Lee, E.H y Shaffer, B.W. The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining. Journal Applied Mechanics. Vol 18 N.4, 1951, pp 405-413.
- 24.- Idem 21 pp 60-65.
- 25.- Higgins, R.A. Engineering Metallurgy. 1. Applied Physical Metallurgy. 4 Edition, pp 394- 399.

- 26.- Jindal, P.C. Ion Nitriding of Steels.
J. Vac. Sch. Technol. Mar 1978 Vol. 15 N. 2, 313.
- 27.- Robino, C.V. and Inal, O.T. Ion Nitriding Behavior of
Several Low Alloy Steels. Journal Materials Science
and Engineering. Vol. 59, 1983, pp 79.
- 28.- B.H. Bialy, A.H. Redford and B. Mills. Proposed Wear
Mechanism for Titanium Nitride Coated High Speed
Steel. Surface Engineering. 1986, Vol.2. pp 29-34.
29. López Peña, G. Diseño y construcción de un
dispositivo para medición de maquinabilidad de
metales. Tesis, Licenciatura. U.N.A.M. Facultad de
Química México, 1981, 38 Hojas.
- 30.- Rivadeneyra, B.G. y Sánchez, H.O. Tratamientos
térmicos de los aceros grado herramienta de alta
velocidad. Trabajo monográfico U.N.A.M. Facultad de
Química 1985 pp189-190.
- 31.- E.S. Tsirlin, V.E. Kurdyomova, V.N. Blinov, G.A.
Solodkin and E.L. Erman. Ion Nitriding of Machine
Tools and Cutting Instruments. Termicheskaya
Obrabotka Metallor. Vol. 25 No 5 May 1983, pp 346-
351.
- 32.- Seybolt A.V. Some observations on the metallografia
of ion nitridal. Trans, ASME, Metall Soc. Vol. 245
(1969) pp 769-778.
- 33.- P.K. Wright, E.M. Trent. Metallurgical Appraisal of
Wear Mechanisms and Processes on High-Speed-Steel
Cutting Tools. Metals Technology, January 1974, 13.

34. - Marine-Sprissler. Differences in he Structure of The Compound Layer and its Dependen on The Nitriding Process. Journal of Practical Mettallografy. 1987, 24, 337.
35. - R. Krishnamurthi. Wear Characteristic of Ion Implanted Cutting Tools. Journal Applied Mechanics. 1987, 25, 665.
36. - T.C. Wells. An Introduction to Surface Coatings and Treatment. Surface Treatments for Protections. pp 1-13.
37. - Aceros Fortuna. Catalogo General de Productos. Mexico, 1979.