

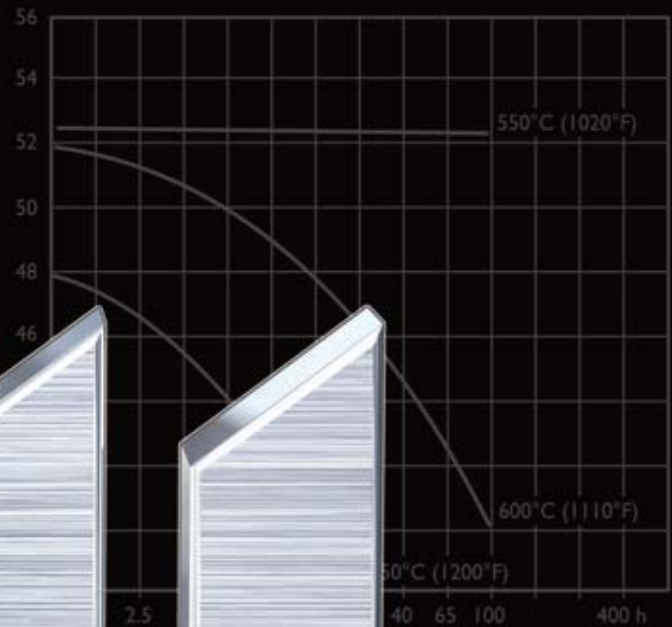
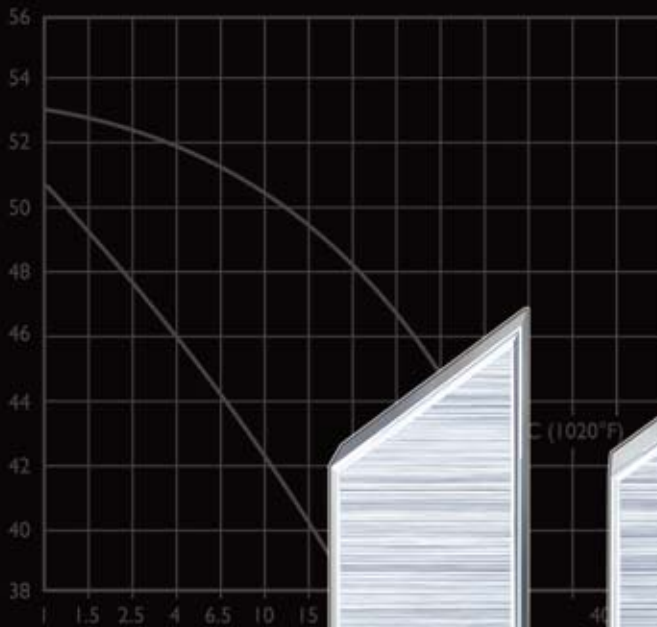
Rectificado de Acero para Moldes y Matrices

COLD WORK

PLASTIC MOULDING

HOT WORK

HIGH PERFORMANCE STEEL



Typical analysis %	C 2,05	Mn 0,8	Cr 4,5	W 0,2
Standard specification	AISI D6, (W.Nr. 1.2796)			
Delivery condition	Soft annealed condition to approx. 200 HB			
Colour code	Red			

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
Density kg/m ³ lbs/m ³	7 770 0,281	7 670 0,277	7 650 0,275
Modulus of elasticity N/mm ² psi	194 000 28,1 × 10 ⁶	188 000 27,3 × 10 ⁶	173 000 25,1 × 10 ⁶
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	to 100°C 11,7 × 10 ⁻⁶ to 212°F 6,5 × 10 ⁻⁶	to 200°C 12 × 10 ⁻⁶ to 400°F 6,7 × 10 ⁻⁶	to 400°C 13,0 × 10 ⁻⁶ to 750°F 7,3 × 10 ⁻⁶
Thermal conductivity W/m °C Btu in (ft ² h°F)	- -	27 187	32 221
Specific heat K/kg °C Btu/lbs °F	455 0,109	525 0,126	608 0,145

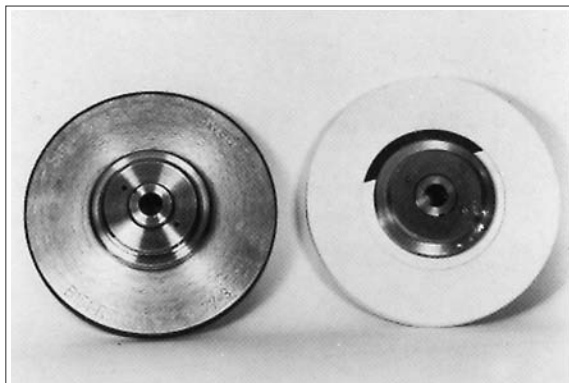
Contenido

Introducción	3
Diseño de la muela de rectificado	3
Como trabaja una muela de rectificado	5
La rectificadora	7
El fluido de corte	8
El acero para herramientas	8
Recomendaciones para rectificar el acero para herramientas de Uddeholm	12
Muelas de rectificado recomendadas	13
Velocidad de corte y alimentación	14

2. El Carburo de Silicio es un abrasivo que se utiliza principalmente para rectificar metal fundido y aceros inoxidable austeníticos, aunque puede también utilizarse en aceros de temple para herramientas. Aparece en dos principales variantes: el carburo de silicio negro y una variación verde algo más dura, que es más frágil que el material negro.

3. Nitruro Bórico se produce aproximadamente del mismo modo que el diamante sintético, es un tipo de abrasivo que se utiliza principalmente para rectificar acero de temple al carbono de alta aleación y acero rápido. Un aspecto negativo del nitruro bórico es su alto precio, casi el doble que el precio del diamante sintético.

4. El Diamante se utiliza raramente, a pesar de su alta dureza, para rectificar acero para herramientas, debido a su baja resistencia térmica. El diamante se utiliza principalmente para rectificar carburo cementado y materiales cerámicos.



Fotografía 1: Diferencia entre una muela de nitruro bórico y una muela de rectificado convencional. Como resultado del alto precio del nitruro bórico, las muelas rectificadas con éste material consisten en una fina capa de abrasivo aplicada a un eje central, normalmente de aluminio.

TAMAÑO DEL GRANO ABRASIVO

El tamaño del grano abrasivo es un factor importante cuando debe seleccionarse la muela de rectificado adecuada. Los distintos tamaños de grano están clasificados de acuerdo con una escala de medidas internacional que oscila entre 8 (basto) y 1200 (super fino).

El tamaño de grano para rectificar acero para herramientas está generalmente situado entre la escala de 24–100. El grano basto se utiliza para realizar una rápida eliminación de material, cuando se rectifican piezas de grandes dimensiones, rectificar materiales blandos o cuando la superficie de contacto con la muela de rectificado es grande. El tamaño de grano fino se utiliza para producir un buen acabado de la superficie, cuando deben rectificarse materiales duros o cuando la superficie de contacto de la muela de rectificado es pequeña.

La suavidad de la superficie de la zona rectificada no solo depende del tamaño de grano de la muela de rectificado. La agudeza de la muela, el material de unión utilizado y la dureza de ésta juegan también un papel de considerable importancia al determinar el acabado de la superficie.

En el caso de las muelas de diamante y de nitruro bórico, los fabricantes Europeos de muelas de rectificado indican el tamaño de grano mediante el diámetro de el grano abrasivo en micras, mientras que los Americanos y Japoneses lo indican en distintas medidas.

TIPO DE MUELA DE RECTIFICADO

El tipo de muela de rectificado se refiere a su dureza, por ejemplo, con qué seguridad están sujetos los granos abrasivos al material de unión. Por tanto no depende de la dureza del abrasivo utilizado en la muela.

El tipo de muela de rectificado se determina principalmente por la cantidad de material de unión utilizado en la muela. Una mayor proporción de este material de unión reduce la cantidad de poros de aire y produce una muela más dura.

El tipo de muela se indica mediante una letra, que indica la dureza por orden alfabético:

E = composición muy blanda
Z = composición muy dura.

Para el rectificado de acero para herramientas, la composición más común es la que se encuentra entre los niveles de dureza G–K. La indicación del tipo de muela viene en algunas ocasiones seguida de una cifra que indica la distribución de las partículas abrasivas en la muela.

MATERIALES DE UNION DE LAS MUELAS

Los siguientes materiales de unión son utilizados para sujetar los granos en la muela de rectificado:

- **Vitrificado** Designación: V
- **Resinas** „ B
- **Caucho** „ R
- **Metal** „ M

Las muelas de rectificado vitrificadas son las que se utilizan generalmente para rectificar acero para herramientas.

Las resina se utiliza como material de unión en muelas de rectificado en las que deba utilizarse una gran velocidad periférica, como algunas muelas de nitruro bórico.

Las muelas con caucho como material de unión son utilizadas para grandes presiones específicas de rectificado, como muelas de rectificadoras centerless.

El material metálico de unión se utiliza para muelas de diamante y ciertas muelas de nitruro bórico. Estos tipos de muelas pueden soportar altas velocidades periféricas.

Como trabaja la muela de rectificado

El rectificado es un proceso de corte en el cual los cantos cortantes están formados por granos de abrasivo. Los mismos principios se aplican para el rectificado como para otros métodos cortantes mediante eliminación de viruta, aunque varios factores indican que es necesario considerar la teoría del rectificado quizás de forma algo distinta. Las condiciones que son especiales en el rectificado son:

- La herramienta de corte cuenta con una geometría de corte irregular. Los granos de abrasivo se encuentran distribuidos de forma irregular.
- La geometría de corte puede cambiar. El modo de trabajo de un utillaje abrasivo incluye algún grado de «auto-corte», lo cual significa que granos de abrasivo se rompen o son reemplazados cuando se desgastan.
- Angulos negativos de corte. Las formas irregulares no afiladas de los granos significa que los ángulos inclinados son normalmente negativos.
- Gran cantidad de cantos cortantes.
- Alta velocidad de corte. La velocidad de corte más usual para realizar un rectificado de precisión ($35 \text{ m/s} = 210 \text{ m/min}$) está muy por encima de lo que se considera normal en otros procesos de corte.
- Virutas muy pequeñas, es decir muy poca profundidad de corte para cada canto cortante.

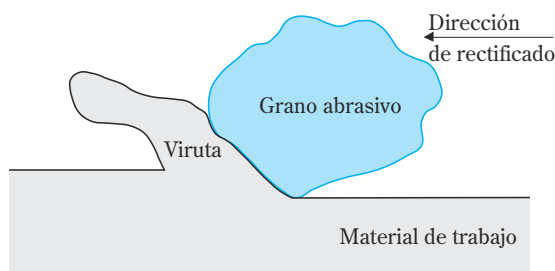


Figura 2: Formación de virutas al rectificar (muy esquemático). Los ángulos de corte son generalmente negativos.

FUERZAS DE RECTIFICADO

Las fuerzas de rectificado que actúan en cada grano individual de abrasivo se refieren a unas **fuerzas específicas**. Un valor significativo de las fuerzas específicas puede obtenerse dividiendo la fuerza total por el número de cantos cortantes, lo cual depende del tamaño del área de contacto y de la cantidad de cantos cortantes en la zona a rectificar. Las fuerzas específicas determinan varios efectos, incluyendo el grado de «auto-afilado» de la muela de rectificado, por ejemplo su «dureza de trabajo». **La fuerza total** es la fuerza que surge entre la muela de rectificado y el material de trabajo.

DESGASTE DE LA MUELA DE RECTIFICADO

Inicialmente los granos de abrasivo son agudos, pero del mismo modo que ocurre con otros cantos cortantes, se desgastan rápidamente con el uso y vuelven a perder afilado. Finalmente los granos están tan poco afilados que tienen dificultad en penetrar en el material de la pieza de trabajo. Dejan de extraer material y tan solo generan calor. Es entonces cuando se dice que la muela de rectificado empieza a quemar el material, lo cual puede causar grietas en éste.

Para que una muela de rectificado trabaje correctamente, las tensiones en el material de unión y la resistencia de éste deben estar equilibradas a fin de que, a medida que los granos estén desgastados, tanto como sea aceptable, sean desprendidos del soporte y reemplazados por granos nuevos y afilados. En otras palabras, la muela de rectificado se «**auto afila**». El auto afilado ocurre también con los granos que se rompen, formando nuevos cantos cortantes.

El grado de auto afilado, por ejemplo si la muela de rectificado es blanda o dura, se ve afectado por la composición de la muela (su dureza de diseño) y por las condiciones bajo las que trabaja.

PROMEDIO DEL ESPESOR DE LA VIRUTA

Aunque la viruta que se extrae mediante el rectificado es pequeña e irregular, el valor significativo de su espesor es, en un momento dado, relativamente constante. Este valor varía, dependiendo del tipo de operación de rectificado y en respuesta a los cambios en los parámetros de corte.

Si una muela de rectificado corta virutas de gran tamaño, ello tiene dos significados:

1. Demasiada carga en cada canto cortante, es decir altas fuerzas específicas. Ello aumenta las características de auto afilado de la muela y le confiere las características de una muela blanda.
2. La superficie de la pieza a rectificar es basta, ver figura 3.

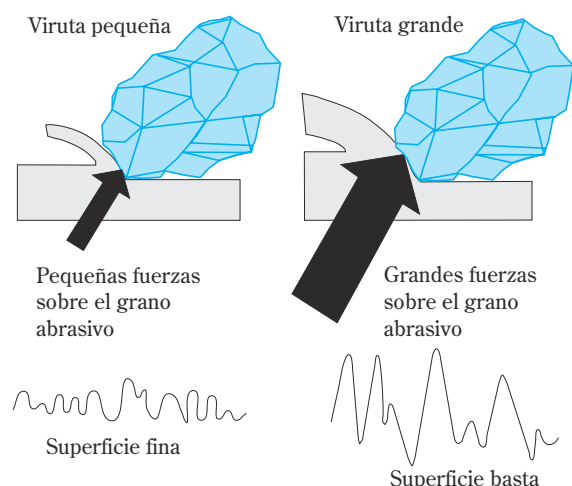


Figura 3: Una viruta de gran tamaño resulta en un acabado de superficie más basta en la pieza de trabajo.

Una reducción en el promedio del espesor de la viruta representa lo contrario. Es por tanto de vital importancia comprender como los cambios en los parámetros de corte y otras condiciones, afectan el promedio del espesor de la viruta.

ELIMINACION DE MATERIAL

Al rectificar, la cantidad de viruta extraída por unidad de tiempo puede fácilmente expresarse como mm^3/s . A menudo ello se refiere como cantidad de material extraído, y depende de el avance de la máquina, la composición de la muela de rectificado, su velocidad de corte (velocidad periférica) y (en algunos casos) del las dimensiones del material de trabajo.

Es amenudo más significativo hablar sobre porcentaje de extracción de material que sobre tablas de velocidad de avance, profundidad de avance, etc. y es también más fácil de calcular. Las consideraciones de costes dictan también que el porcentaje de eliminación de material debería ser lo más alto posible. Si se aumenta el porcentaje de eliminación de material sin incrementar la cantidad de granos de abrasivo que realizan el trabajo, es decir, mediante una mayor profundidad de avance, naturalmente el tamaño de la viruta se verá aumentado.

VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad de corte de una muela de rectificar tiene un efecto directo en la cantidad de cantos cortantes, que realizan realmente el trabajo de mecanizado. Si, por ejemplo, se dobla la velocidad de corte, el doble de granos de abrasivo pasarán por la zona de trabajo por unidad de tiempo. Si no se incrementa la velocidad de la pieza de trabajo, el espesor de la viruta se reducirá, reduciendo también las fuerzas de corte en cada grano. Un auto-afilado será menos efectivo, es decir si la muela de rectificar es eficazmente más dura, produciendo un acabado de superficie más fino, pero con un mayor riesgo de quemar la superficie.

Por el contrario, el reducir la velocidad de la muela aumentará el espesor de la viruta, con el resultado de que la muela de rectificar se comportará como una muela más blanda.

Generalmente, tanto la velocidad periférica como la velocidad de la pieza de trabajo son aumentadas a fin de incrementar la cantidad de material a eliminar.

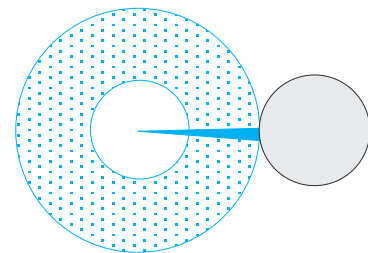
RATIO-G – DE UNA MUELA DE RECTIFICADO

El ratio G de una muela de rectificado se refiere a una relación entre la cantidad de material a eliminar y la cantidad de muela desgastada. El ratio G es una medida de la eficacia de trabajo de la muela de rectificado con un material de trabajo concreto.

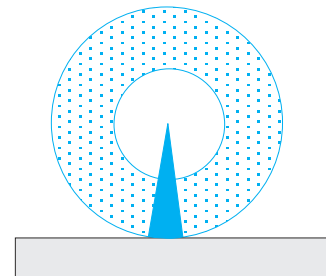
SUPERFICIE DE CONTACTO CON LA MUELA DE RECTIFICADO

Es en la superficie de contacto entre la muela de rectificado y la pieza de trabajo donde ocurre realmente la operación de corte. Una mayor superficie de contacto significa que un mayor numero de cantos cortantes participan en el proceso, reduciendo el tamaño de la viruta y las fuerzas específicas. Por otra parte, una reducida superficie de contacto resulta en un mayor tamaño de viruta y en mayores fuerzas específicas.

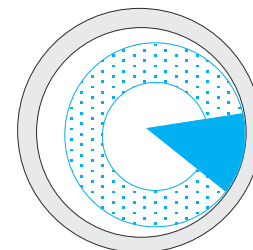
Rectificado cilíndrico



Rectificado superficial



Rectificado interno



Rectificado superficial por segmentos

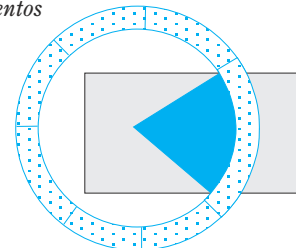


Figura 4: Diferencias en largo de contacto para distintas operaciones de rectificado.

En principio, la superficie de contacto es en forma de rectángulo. Su extensión en la dirección de corte se refiere como largo de contacto o arco de contacto, mientras que su extensión perpendicular a la dirección de corte se refiere como anchura de contacto.

El largo de contacto depende principalmente del tipo de operación de rectificado. Además, depende también del diámetro de la muela de rectificado, profundidad de corte y en todos los casos — excepto para el rectificado de superficie — de las dimensiones de la pieza de trabajo. Las diferencias en el largo de contacto, son las principales razones por las que deba seleccionarse entre distintas composiciones de muelas, para distintas operaciones de rectificado.

Si cuando se realiza un rectificado interno, se utiliza una muela de rectificado que tiene un diámetro tan solo algo inferior al del taladro a rectificar, el largo de contacto será muy grande, resultando ello en una baja fuerza de corte por grano.

Si la muela se autoafila adecuadamente, ésta debe ser de una composición más blanda que la de una muela destinada a un rectificado cilíndrico de una pieza similar. En éste último caso, el largo de contacto es más corto, lo cual significa que existen unas fuerzas de corte mayores en cada grano.

El ancho de contacto deberá ser igual al ancho de la muela de rectificar, como por ejemplo en rectificado de arranque. Aunque en operaciones como el rectificado superficial con mesa móvil, solo una parte de la muela está realmente cortando y ésta parte cambia cuando la muela se desgasta. En alguna ocasión es posible reducir el ancho de contacto, si ello se requiere, mediante el centrado de la muela de rectificado. Ello reduce el área de la superficie de contacto, resultando (tal como hemos descrito anteriormente) en un mayor espesor de la viruta, mayor carga en los granos abrasivos y en una muela de rectificado más blanda.

CANTIDAD DE CANTOS CORTANTES EN EL AREA DE CONTACTO

La cantidad de cantos cortantes en el área de contacto, es un factor que cuenta con una influencia considerable en el espesor de la viruta y por tanto, en el proceso de rectificado.

Una gran cantidad de cantos cortantes por unidad de área, significa que el trabajo de eliminación de material está repartido en una gran cantidad de granos, reduciendo el espesor de la viruta y las fuerzas específicas.

El tamaño de grano del abrasivo afecta asimismo la cantidad de cantos cortantes, que es la razón por la cual parece que las muelas de rectificar de grano fino sean más duras.

REVESTIMIENTO Y CENTRADO DE MUELAS DE RECTIFICAR

El revestimiento y centrado de un muela de rectificar se considera amenudo, ser la misma operación puesto que normalmente se realiza como una única operación.

El centrado se realiza para obtener cualquier perfil requerido en la cara de la muela y para asegurar concentricidad.

El revestimiento es un acondicionamiento de la superficie de la muela, para obtener la acción de corte deseada. El revestimiento de la muela expone cantos cortantes agudos. Una misma muela de rectificar puede contar con completamente diferentes características de rectificado, mediante la aplicación de distintos métodos de revestimiento. Por tanto el revestimiento es un parámetro importante para conseguir un buen rendimiento en la operación de rectificado.

El revestimiento que proporciona una superficie suave de la muela tiene los cantos cortantes de los granos de abrasivo muy juntos, mientras que el revestimiento que cuenta con una superficie más basta de la muela da a ésta una estructura más abierta. El revestimiento hace que una misma muela de rectificar proporcione unos resultados de rectificado completamente distintos.

El grado de auto-afilado afecta la estructura de la superficie de la muela de rectificar, es decir, la cantidad de cantos cortantes por unidad de área. Una muela de rectificar que cuente con un alto porcentaje de auto-afilado tiene una estructura distinta, más abierta que una muela con un bajo porcentaje de auto-afilado.

Existen muchos tipos de utillajes disponibles para revestir y centrar muelas de rectificar, por ejemplo rodillos de presión y herramientas de diamante. Las muelas de nitruro bórico se pueden revestir mejor mediante un rodillo recubierto de diamante.

Algunos tipos de muelas de rectificar, por ejemplo muelas de nitruro bórico con unión de resina, requieren ser «abiertas» después de revestir. Ello revela las partículas de abrasivo y crea espacio para la formación de viruta.

La rectificadora

El tipo de operación de rectificado y la máquina disponible tienen un efecto considerable en la elección de la composición de la muela de rectificar apropiada. La rectificadora deberá ser lo más rígida posible, a fin de permitir trabajar con grandes presiones de rectificado. Es la rigidez de la rectificadora y el método de sujeción la pieza de trabajo, quienes determinan la presión de rectificado permisible y por tanto restringen la elección de las muelas. Si la máquina no es lo suficientemente rígida, deberá seleccionarse una muela de rectificar con una composición más blanda o con una menor superficie de contacto entre la muela de rectificar y la pieza de trabajo, a fin de conseguir el grado de auto-afilado requerido.

La velocidad de la rectificadora afecta también la elección de la muela de rectificado. Las muelas de nitruro bórico requieren amenudo una velocidad periférica de 45 m/s a fin de conseguir un buen rendimiento de corte.

Fluido de rectificado

Al rectificar, al igual que en cualquier otra operación de corte, se utiliza un fluido de corte principalmente para:

- enfriar la pieza de trabajo
- actuar como lubricante y reducir el índice de fricción entre la viruta, la pieza de trabajo y la muela de rectificar
- eliminar las virutas de la zona de contacto.

Existen tres tipos principales de fluidos de corte que pueden utilizarse en las operaciones de rectificado:

- **Soluciones acuosas.** Estos son líquidos que consisten en agua con aditivos sintéticos, a fin de incrementar su rendimiento en humedad y prevenir la corrosión. Estos tipos de fluido no contienen aceites y proporcionan una buena refrigeración pero por otro lado su rendimiento, en cuanto a lubricación, es más bien bajo.
- **Emulsiones.** Estas consisten en agua con una mezcla de 2-5% de aceite distribuido de forma extremadamente uniforme. Aditivos de cloro o azufre pueden también ser utilizados, como aditivos EP.
- **Aceites de corte.** Estos están compuestos por una base de aceite mineral con aditivos tipo EP. Los aceites de corte proporcionan una lubricación efectiva, pero una pobre refrigeración.

Las soluciones acuosas son las más adecuadas al utilizar muelas de rectificar de diamante.

Las emulsiones se utilizan hoy en día para la mayoría de las operaciones de rectificado, puesto que son ecológicas y tienen un rendimiento adecuado.

Los aceites de corte proporcionan los mejores resultados al realizar rectificadores de perfil y arranque con muelas de grano fino, por ejemplo al cortar rosca. Los aceites de corte proporcionan también una mayor duración de las muelas de nitruro bórico con unión de resina, si bien normalmente se elige una emulsión de aceite por razones de reducción de polución.

El acero para moldes y matrices

Los elementos de aleación de un acero para moldes y matrices tienen un efecto considerable en el rectificado.

La variedad de acero de Uddeholm para moldes y matrices abarca aceros de baja aleación, como el tipo UHB 11, hasta aceros de alta aleación como VANADIS 10.

Raramente existen dificultades al rectificar acero de baja aleación. Aunque al otro extremo de la escala, los aceros de alta aleación, ricos en carbono pueden causar problemas al ser rectificadas, y requieren una elección cuidadosa de la muela de rectificado y de los parámetros de operación.

Cuanto mayor es la resistencia al desgaste de un acero, más dificultoso resulta el rectificado. La resistencia al desgaste de un acero, y por tanto su facilidad de rectificado, son factores determinados por su dureza básica y por el tamaño, dureza y cantidad de carburos que contenga éste acero.

A fin de potenciar la resistencia al desgaste de un acero para herramientas, el acero es aleado con elementos de formación de carburos, de entre los cuales los más importantes son el cromo y vanadio. El acero debe contar también un alto contenido en carbono si deben formarse los carburos.

El diagrama inferior muestra la dureza de las fases básicas que se encuentran en un acero para herramientas, la dureza de los carburos más comunes hallada en éstos aceros y la dureza de los granos abrasivos más comúnmente utilizados.

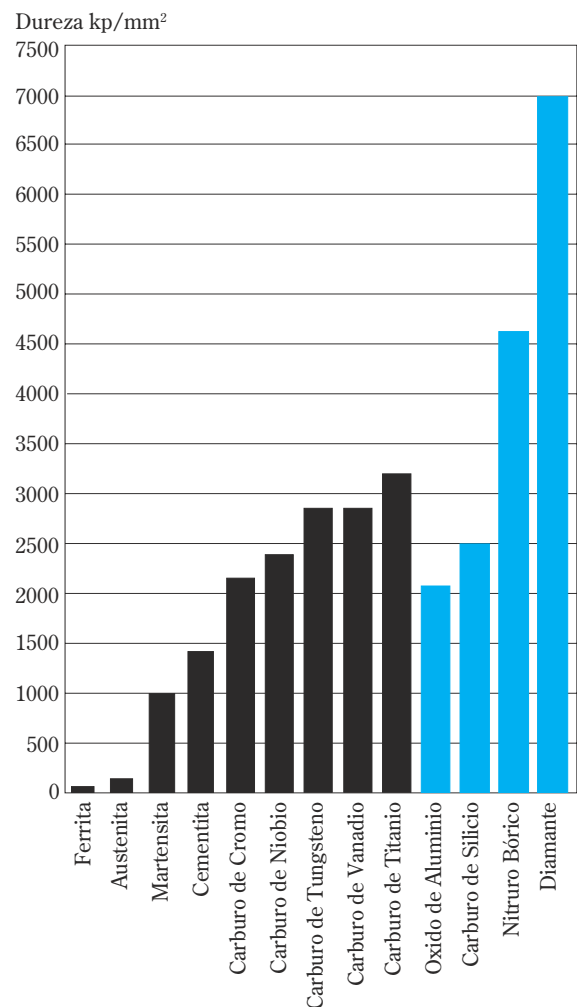


Figura 5: Dureza de los granos abrasivos, fases básicas que se encuentran en el acero para herramientas y carburos hallados en éstos.

Como se puede apreciar en la Figura 5, tan solo el diamante y el nitruro bórico son más duros que todos los carburos que se encuentran en un acero para herramientas. Aunque, tal como hemos mencionado anteriormente, el diamante no es adecuado para rectificar acero.

La cantidad y tamaño de los carburos en el acero tiene un considerable efecto sobre la facilidad de rectificado del material. Cuanto mayor cantidad y tamaño de los carburos, más difícil será rectificar el material. Esta es la razón por la cual, el acero para herramientas fabricado mediante el proceso pulvimetalúrgico, que contiene pequeños carburos, es mucho más fácil de rectificar que un acero fabricado mediante el proceso convencional que cuente con una composición similar.

En la práctica, la pulvimetalúrgica se emplea para incrementar la cantidad de carburos en el acero para herramientas, estos tipos de acero están más aleados que los aceros convencionales, lo cual normalmente significa que son más difíciles de rectificar.

El efecto de la dureza sobre la facilidad de rectificado, depende también de la cantidad de elementos de aleación de formación de carburos en el acero.

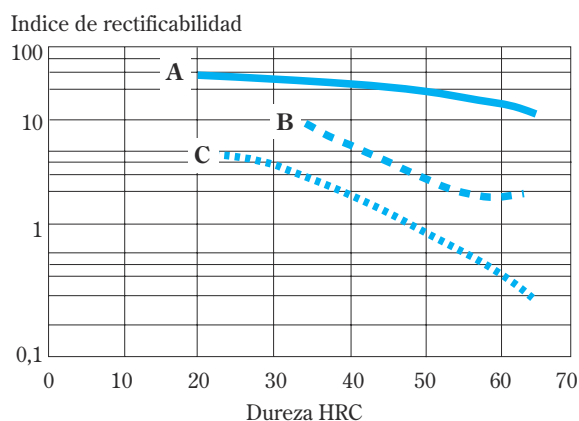


Figura 6: Efecto de la dureza sobre la rectificabilidad para:

- A - Acero de baja aleación tipo ARNE
- B - Material tipo SVERKER 21
- C - Material tipo VANADIS 10.

Tal como se puede apreciar en la Figura 6, la dureza tiene un gran efecto sobre la rectificabilidad en los aceros con gran cantidad de carburos.

A fin de obtener un buen rectificado con aceros para moldes y matrices de alta aleación ricos en carburos, es de vital importancia seleccionar la muela de rectificado adecuada. Los materiales que estén situados por ejemplo a nivel de la calidad VANADIS, contienen una gran cantidad de carburos de Vanadio. El cortar un carburo de Vanadio requiere un abrasivo más duro que el óxido de aluminio carburo de silicio. Las muelas de nitruro bórico se recomiendan como primera selección para rectificar este tipo de material.

El hecho de que, a pesar de esto, el material puede ser eliminado de aceros tipo VANADIS mediante rectificado con óxido de aluminio o carburo de silicio, se debe al factor de que es el material que contiene los carburos el que es rectificado, así que los carburos son arrancados del material base del acero. Aunque ello ocurre creando un alto desgaste en la muela y con el riesgo de un pobre rendimiento de ésta.

GRIETAS Y TENSIONES DE RECTIFICADO

La elección incorrecta de la muela y de los parámetros de rectificado, resulta en un considerable riesgo de creación de grietas en la pieza de trabajo.



Foto 2: Grietas de rectificado.

Generalmente, las grietas de rectificado no son fáciles de detectar, tal como se muestra en la foto 2. Normalmente es necesario examinar la pieza bajo microscopio, o mediante una inspección con polvo magnético, a fin de poder localizar las grietas.

La formación de grietas de rectificado, que acostumbra a ocurrir perpendicularmente en dirección al rectificado, nos indica que la herramienta debe ser raspada. Los aceros de temple son más sensibles a las grietas de rectificado que los aceros no templados. Un material que solo ha sido templado, y no revenido, nunca deberá ser rectificado: los materiales templados deberán siempre revenirse antes de rectificar.

La formación de grietas de rectificado puede explicarse del modo siguiente:

Casi toda la energía utilizada en el rectificado se convierte en calor, en parte por la pura fricción y en parte como resultado de la deformación del material. Si se ha elegido la muela de rectificado correcta, la mayor parte del calor va a eliminarse juntamente con la viruta, tan solo con una pequeña parte calentando la pieza de trabajo.

Un rectificado incorrecto de un acero templado puede resultar en una temperatura tan alta en la superficie rectificado, que sea excedida la temperatura de revenido del material. Todo ello resultará en una pérdida de dureza en la superficies. Si se permite un aumento de la temperatura, puede alcanzarse la temperatura de temple, resultando en un nuevo temple. Todo ello nos crea una mezcla de martensita revenida y sin revenir en la capa de la superficie, juntamente con austenita retenida, tal como puede apreciarse en la figura 3, aparecen grandes tensiones en el material, creando en la mayoría de los casos una formación de grietas o roturas.

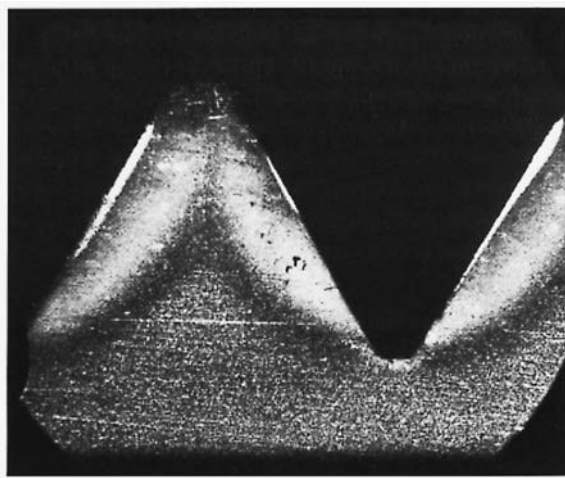


Foto 3: Capa retemplada en una matriz rectificada de forma incorrecta.

El diagrama inferior muestra el perfil de dureza a través de la superficie de un acero para herramientas rectificado de forma incorrecta, de modo que se ha producido un nuevo temple.

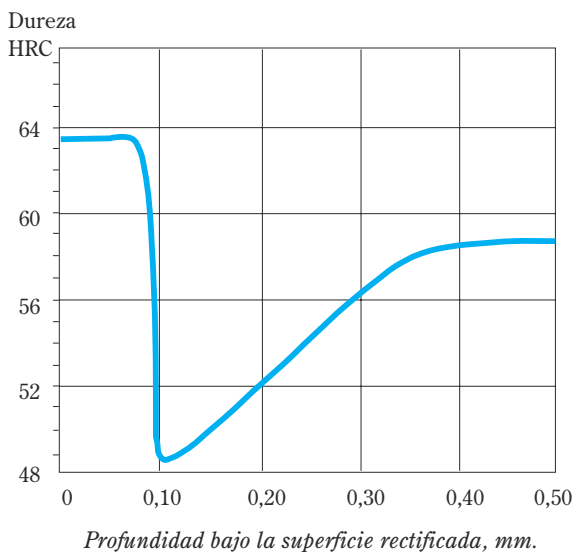


Figura 7: Perfil de dureza en la capa superficial de una herramienta rectificada de forma incorrecta.

La superficie muestra una alta dureza debido a la martensita no revenida. Una zona sobre-revenida aparece justo debajo de la superficie, donde la dureza es inferior a la dureza base de la pieza de trabajo.

Un rectificado incorrecto, que conlleve una capa superficial modificada, se revela normalmente mediante señales de quemaduras – decoloración de la superficie rectificada. A fin de evitar las quemaduras y las grietas de rectificado, es necesario mantener baja la temperatura de la pieza a rectificar, por ejemplo mediante una buena refrigeración, y empleando muelas de rectificar revestidas adecuadamente que corten el material con cantos agudos cortantes, en lugar de simplemente generar calor a través de la fricción.

Un sencillo ejemplo de como un rectificado incorrecto puede acusar grietas o roturas se muestra en la figura 8. Un punzón templado con cabeza deberá ser rectificado cilíndricamente, con la cabeza (b) siendo rectificada plana en la misma operación.

La alternativa A muestra la utilización de una muela de rectificado centrada con un ángulo de 90°.

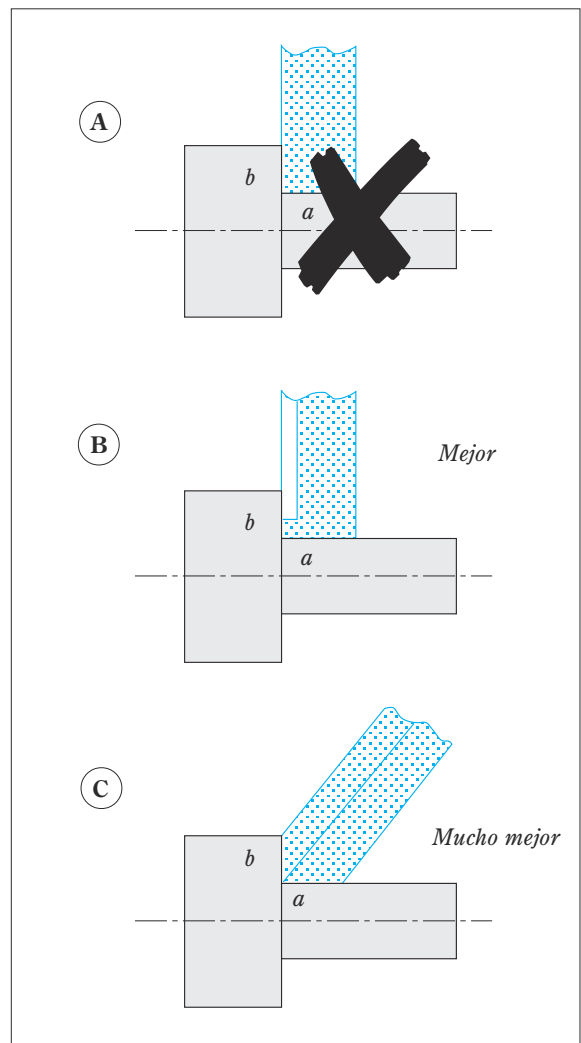


Figura 8: Un rectificado incorrecto puede conllevar normalmente grietas de rectificado.

La muela de rectificado que sea adecuada para realizar un rectificado cilíndrico de la superficie (a) produce un buen resultado en la superficie (a). Aquí, la superficie de contacto es pequeña por tanto el rendimiento de auto-afilado es bueno. Por otra parte, la cabeza, que debe rectificarse de forma plana, presenta una superficie mayor de contacto a la muela de rectificado. Las fuerzas específicas sobre los granos abrasivos son bajas por lo que la muela no se auto-afila. Por otro lado, la superficie (b) está sujeta principalmente al roce y el calor generado podría conllevar grietas de rectificado.

La alternativa B muestra un mejor modo de rectificar el punzón. En éste caso, el lado de la muela de rectificar ha sido centrado tal como se muestra, por lo que la superficie de contacto en (b) es menor. Ello resulta en un mejor auto-afilado y en un rectificado «más frío».

El caso C muestra el modo preferible de rectificar ésta pieza. La muela de rectificar se coloca en ángulo, de éste modo las dos superficies de contacto son aproximadamente del mismo tamaño.

El contenido en austenita retenida de un material templado puede también afectar el resultado del rectificado. Altos niveles de austenita retenida aumentan el riesgo de formación de grietas durante la operación de rectificado.

La mayor parte de las operaciones de rectificado dejan tensiones residuales en la superficie rectificada. Estas tensiones se encuentran normalmente muy cerca de la superficie, y pueden causar una deformación permanente de la pieza al rectificar materiales poco gruesos.

De los tres ejemplos mostrados anteriormente en la Figura 9, el *Ejemplo 1* es el que conlleva más riesgo en cuanto a la formación de grietas se refiere. Muestra tensiones en la superficie que pueden, si exceden el límite de resistencia a la tensión del material, resultar en la rotura de éste. Los *Ejemplos 2 y 3* no son tan peligrosos – las tensiones de la superficie son tensiones de compresión, lo que resulta en una mejora de la resistencia a la fatiga de la piezas rectificadas.

Desafortunadamente, es muy difícil realizar una simple comprobación para determinar la estructura de tensiones creada en la pieza rectificada a menos que las tensiones sean tan grandes que las grietas de rectificado sean visibles.

Las tensiones de rectificado pueden reducirse mediante un estabilizado (revenido de liberación de tensiones) después de realizar el rectificado. La temperatura de revenido deberá estar 15° C por debajo de la temperatura anterior de revenido a fin de evitar cualquier riesgo de reducción de dureza en la pieza de trabajo. Otro modo de evitar las tensiones de rectificado es perforar las piezas rectificadas.

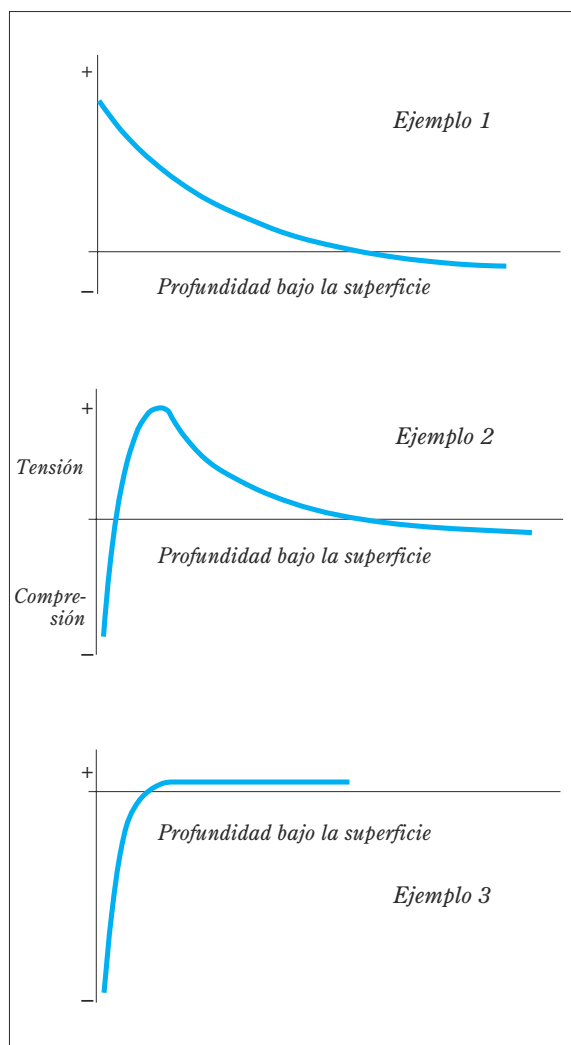


Figura 9: Tres ejemplos típicos de distribución de tensiones en una superficie rectificada.

Recomendaciones para rectificar acero para herramientas de Uddeholm

RECTIFICADO DE ACERO PARA HERRAMIENTAS CON ALTO CONTENIDO EN CARBONO

El alto contenido en carbono de éstos tipos de acero proporciona una excelente resistencia al desgaste, y requiere por tanto recomendaciones especiales en cuanto a las operaciones de rectificado y selección de las muelas. Los aceros que se encuentran en éste grupo son los del tipo *SVERKER*, *ELMAX*, *ASP* y *VANADIS*. Para la mayoría de las operaciones de rectificado, las muelas de nitruro bórico son la mejor elección para éstos aceros.

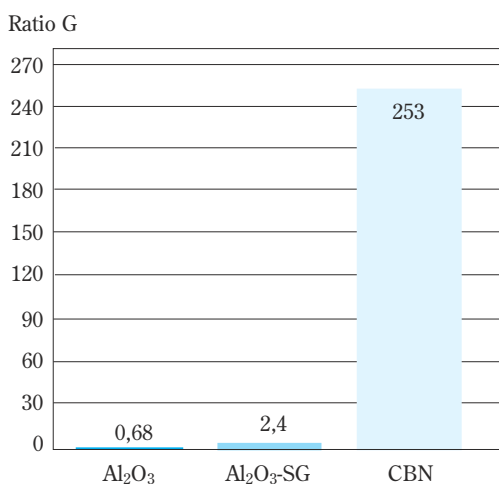
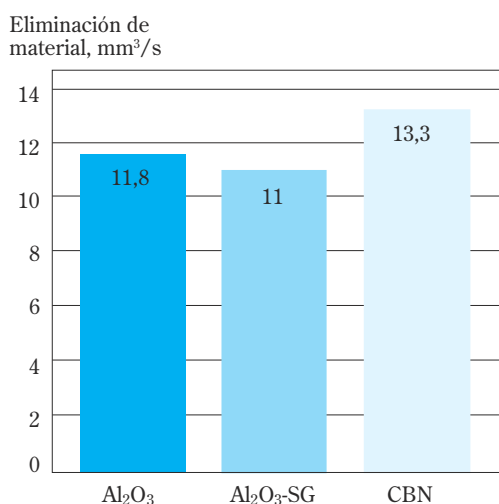


Figura 10: Superficie rectificada de VANADIS 10 con distintas muelas de rectificado. (Espesor de la muela de rectificado: Al₂O₃ 40 mm, CBN 20 mm.)

La Figura 10 muestra los resultados de unas pruebas de rectificado realizadas en *VANADIS 10* con oxido de aluminio, aluminio cristalino fino y muelas de nitruro bórico.

Tal como se puede apreciar en la figura 10, el material se extrae de forma más rápida, y el ratio G es mayor, utilizando muelas de nitruro bórico. Estos tipos de muela cuentan con un corte «más frío», con menor riesgo de «quemaduras» en la superficie.

Si el material debe rectificarse de perfil, deberá tenerse en cuenta que una cantidad considerable de calor va a generarse. Experimentos han demostrado que las muelas de nitruro bórico vitrificado son preferibles para esta aplicación. Estas muelas también funcionan bien para otras operaciones de rectificado, siempre y cuando pueda mantenerse una alta velocidad periférica.

Donde no pueda utilizarse muelas de nitruro bórico, deberá seleccionarse con sumo cuidado el tipo de muela para rectificar. Se recomiendan muelas de oxido de aluminio blanco o carburos verdes de silicio. Muelas de aluminio cristalino fino, como la Norton SG, dan buenos resultados si la situación del rectificado es rígida.

Al rectificar aceros con alto contenido en carbono, la muela de rectificar deberá ser siempre algo más blanda, a fin de asegurar un buen rendimiento en el auto-afilado.

Además, deberán tenerse siempre en cuenta los siguientes puntos:

- La rectificadora no deberá tener vibraciones, deberá ser rígida y estar en buenas condiciones.
- La pieza de trabajo deberá estar bien sujeta. Utilizar algún punto de apoyo al rectificar piezas largas y finas.
- Utilizar diamante cónico agudo al revestir muelas de Al₂O₃ y SiC. El revestimiento de acabado deberá ser basto.
- Mantener una alta velocidad periférica en las muelas de rectificar.
- Asegurar un suministro adecuado de refrigerante en la zona de rectificado.
- Si se realiza el rectificado sin refrigerante, seleccionar una muela que sea un grado más blanda que la que se utilizaría si el rectificado se realizara con refrigerante.
- Nunca rectificar una pieza de trabajo templada antes de que esta haya sido revenida.

RECTIFICADO DE ACERO PARA HERRAMIENTAS CONVENCIONAL

Este grupo cubre todos los otros tipos de acero fabricados convencionalmente. Considerando que todas las recomendaciones comunes son tenidas en cuenta, difícilmente se encuentran problemas al rectificar éstos tipos de acero. Para éstos, las muelas de rectificar de oxido de aluminio ordinarias son perfectamente adecuadas. Las muelas de nitruro bórico pueden también utilizarse si el acero debe rectificarse en condición templada y revenida.

RECTIFICADO DE ACEROS DE TEMPLE POR PRECIPITACIÓN

Los aceros de temple por precipitación, como la calidad *CORRAX*, se comportan al rectificar de forma algo distinta que las otras calidades de acero para utillajes. Tienden a embozar la muela de rectificar, especialmente si ésta es dura y tiene una estructura similar. Este embozo de la muela puede causar problemas como poco arranque de material y un acabado basto de la superficie. A fin de prevenirlo deberían tenerse en cuenta las recomendaciones siguientes:

- La muela debe tener una estructura abierta y porosa.
- Utilizar un tipo de muela más blanda (dureza), que la que se utiliza en otros tipos de acero para utillajes.
- El recubrimiento de la muela deberá realizarse de forma frecuente y basta.
- La concentración de refrigerante deberá ser alto (> 5 %) para obtener una lubricación eficiente.

Se recomiendan muelas Al_2O_3 convencionales, pero las muelas de SiC pueden ser una buena elección para un mejor acabado de la superficie si debe rectificarse poca cantidad de material. No existen diferencias particulares de rectificado entre un material tratado en solución y un material envejecido. En la tabla de muelas de rectificado, se recomiendan las muelas standard más adecuadas. De todas formas, si hay que realizar gran cantidad de rectificado en éste tipo de aceros, es mejor seleccionar una muela con una estructura abierta, mejor que una muela del tipo standard.



Muelas de rectificado recomendadas

Las recomendaciones que se indican en la tabla a continuación se han realizado consultando al fabricante de muelas, y están basadas en nuestras propias y otras experiencias. De todas formas, deseamos hacer notar que la elección de la muela de rectificar depende en sobremanera del tipo de rectificadora, rigidez de sujeción y tamaño de la pieza de trabajo, todo ello significa que las recomendaciones que encontrarán a continuación deberán ser consideradas como punto de partida, desde el cual cada proceso en particular deberá ser optimizado.

Las muelas de rectificar son del tipo SlipNaxos¹⁾, Tyrolit²⁾, Norton³⁾ y Unicorn⁴⁾. Aunque las designaciones cumplen esencialmente los standard internacionales.

Calidad Acero Uddeholm	Condición	Rectificado sin centros/Centerless	Rectificado superficial muela plana	Rectificado superficial por segmentos
Acero convencional UHB 11 UHB 20 FORMAX ARNE GRANE ORVAR 2 M ORVAR SUPREME VIDAR SUPREME THG 2000 QRO 90 SUPREME CALMAX STAVAX ESR REGIN 3 ALVAR 14 HOTVAR DIEVAR	Recocido	¹⁾ 33A 60 LVM ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 MVX ⁴⁾ 51A 601 L5V MRAA	¹⁾ 43A 46 HVZ ²⁾ 91A 46 2 I 8 V111 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 HV	¹⁾ 43A 24 FVZ ²⁾ 88A 36 H8A V2 ³⁾ 86A 30 G12 VXPM ⁴⁾ WA 24 GV
	Templado	¹⁾ 62A 60 LVX ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 MVX ⁴⁾ 48A 601 L8V LNAA	¹⁾ 48A 46 HVZ ²⁾ 93A 46 H8A V217 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 GV	¹⁾ 48A 46 FVZP ²⁾ 89A 30 1 I 10A V237 P20 ³⁾ 86A 36 F12 VXPC ⁴⁾ WA 36 GV
IMPAX SUPREME HOLDAX CARMO RAMAX S	Pretemplado	¹⁾ 33A 60 LVM ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 MVX ⁴⁾ 51A 601 L5V MRAA	¹⁾ 43A 60 HVZ ²⁾ 91A 46 2 I 8 V111 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 HV	¹⁾ 43A 24 FVZ ²⁾ 88A 36 H 8A V2 ³⁾ 86A 36 F12 VXPC ⁴⁾ WA 24 GV
	Templado	¹⁾ 62A 60 LVX ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 MVX ⁴⁾ 48A 601 L8V LNAA	¹⁾ 48A 46 HVZ ²⁾ 91A 46 2 I 8 V111 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 GV	¹⁾ 48A 46 FVZP ²⁾ 88A 36 H 8A V2 ³⁾ 86A 36 E12 VXPC ⁴⁾ WA 36 GV
Aceros de temple por precipitación: CORRAX	Tratado en solución, Envejecido	¹⁾ 33A 60 KVM ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 KVX ⁴⁾ 48A 601 J8V LNAA	¹⁾ 43A 46 GVZ ¹⁾ 15C 46 HVM ²⁾ 91A 46 2 H 8 V111 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 GV	¹⁾ 43A 36 FVZ ¹⁾ 15C 36 GVM ²⁾ 89A 30 1 I 10A V 237 P20 ³⁾ 1TGP 36 F12 VXPC ⁴⁾ WA 24 GV
Acero con alto contenido en carbono SVERKER 3 SVERKER 21 RIGOR VANADIS 4 VANADIS 6 VANADIS 10 VANADIS 23 VANADIS 30 VANADIS 60 ELMAX SLEIPNER	Recocido	¹⁾ 33A 60 LVM ²⁾ 89A 60 2 K5A V217 ³⁾ SGB 60 LVX ⁴⁾ 51A 601 L5V MRAA	¹⁾ 43A 46 HVZ ²⁾ 91A 46 2 I 8 V111 ³⁾ SGB 46 G10 VXPM ⁴⁾ WA 46 HV	¹⁾ 43A 36 FVZ ²⁾ 89A 30 1 I 10A V237 P20 ³⁾ 53A 30F12 VBEP ⁴⁾ WA 24 GV
	Templado	¹⁾ 48A 60 LVZ ¹⁾ 820A 60 LVQ ²⁾ 89A 60 L5 V217 ³⁾ SGB 60 LVX ⁴⁾ 48A 601 L8V LNAA ⁴⁾ 43A 601 L8V LNAA	¹⁾ B151 R50 B3 ¹⁾ 420A 46 H12VQP ²⁾ B126 C 50 B54 BA ²⁾ 93A 46 H8A V217 ³⁾ SGB 46 HVX ³⁾ 3SG 46 G10 VXPM ⁴⁾ B126 V18 KR237 ⁴⁾ 27A 46 HV	¹⁾ 420A 46 FVQP ²⁾ 89A 30 1 I 10A V237 P20 ³⁾ 3SG 36 HVX ⁴⁾ WA 36 HV
SVERKER 3 VANADIS 4 VANADIS 6 VANADIS 10 VANADIS 60 ELMAX	Templado	¹⁾ 48A 60 LVZ ¹⁾ 820A 60 LVQ ²⁾ 89A 60 L5 V217 ³⁾ SGB 60 LVX ⁴⁾ 48A 601 L8V LNAA ⁴⁾ 43A 601 L8V LNAA	¹⁾ B151 R50 B3 ¹⁾ 420A 46 H12VQP ²⁾ B126 C 50 B54 BA ²⁾ 93A 46 H8A V217 ³⁾ SGB 46 HVX ³⁾ 3SG 46 G10 VXPM ⁴⁾ B126 V18 KR237 ⁴⁾ 27A 46 HV	¹⁾ 420A 46 FVQP ²⁾ 89A 30 1 I 10A V237 P20 ³⁾ 3SG 46 FVSPF ⁴⁾ WA 46 FV

Calidad Acero Uddeholm	Condición	Rectificado cilíndrico	Rectificado interno	Rectificado de perfil
Acero convencional UHB 11 UHB 20 FORMAX ARNE GRANE ORVAR 2 M ORVAR SUPREME VIDAR SUPREME THG 2000 QRO 90 SUPREME CALMAX STAVAX ESR REGIN 3 ALVAR 14 HOTVAR DIEVAR	Recocido	¹⁾ 33A 46 KVM ²⁾ 89A 60 2 K 5A V217 ³⁾ 19A 60 KVS ⁴⁾ 48A 46 LV	¹⁾ 77A 60 K9VX ²⁾ 89A 60 2 J6 V111 ³⁾ 32A 46 L5 VBE ⁴⁾ WA 46 JV	¹⁾ 42A 100 IVZ ²⁾ 89A 60 2 I 6 V111 ³⁾ 32A 100 KVS ⁴⁾ WA 100 LV
	Templado	¹⁾ 48A 60 KVZ ²⁾ 89A 60 2 J 5A V217 ³⁾ SGB 60 KVX ⁴⁾ WA 60 JV	¹⁾ 77A 80 K9VX ²⁾ C 60 H 5 V15 ³⁾ 32A 60 K5 VBE ⁴⁾ WA 60 IV	¹⁾ 42A 1003 HVZ ²⁾ 97A 60 1 G10 A V257 P23 ³⁾ 32A 100 KVS ⁴⁾ WA 120 JV
IMPAX SUPREME HOLDAX CARMO RAMAX S	Pretemplado	¹⁾ 33A 46 KVM ²⁾ 89A 60 2 K 5A V217 ³⁾ 19A 60 KVS ⁴⁾ 48A 46 LV	¹⁾ 77A 60 K9VX ²⁾ 89A 60 2 J6 V111 ³⁾ 32A 46 L5 VBE ⁴⁾ WA 46 JV	¹⁾ 42A 100 IVZ ²⁾ 89A 60 2 I 6 V111 ³⁾ 32A 100 KVS ⁴⁾ WA 100 LV
	Templado	¹⁾ 48A 60 KVZ ²⁾ 89A 60 2 K 5A V217 ³⁾ SGB 60 KVX ⁴⁾ WA 60 JV	¹⁾ 77A 80 K9VX ²⁾ 89A 60 2 J6 V111 ³⁾ 32A 60 K5 VBE ⁴⁾ WA 60 IV	¹⁾ 42A 1003 HVZ ²⁾ 89A 60 2 I 6 V111 ³⁾ 32A 100 KVS ⁴⁾ WA 120 JV
Aceros de temple por precipitación: CORRAX	Tratado en solución, Envejecido	¹⁾ 77A 60 JVX ¹⁾ 15C 60 IVM ²⁾ 89A 60 2 J 5A V217 ³⁾ SGB 60 JVX ⁴⁾ 77A 461 K7V LNAA	¹⁾ 77A 60 J9 VX ¹⁾ 15C 60 IVM ²⁾ 89A 60 2 I6 V111 ³⁾ 32A 46 K5 VBE ⁴⁾ 25A 601 J85VP MCNN	¹⁾ 42A 100 HVZ ²⁾ 89A 60 2 H 6 V111 ³⁾ 32A 100 JVS ⁴⁾ 77A 100 J8V LNAA
Acero con alto contenido en carbono SVERKER 3 SVERKER 21 RIGOR VANADIS 4 VANADIS 6 VANADIS 10 VANADIS 23 VANADIS 30 VANADIS 60 ELMAX SLEIPNER	Recocido	¹⁾ 62A 60 KVX ²⁾ 89A 60 2 K 5A V217 ³⁾ SGB 60 KVX ⁴⁾ 48A 46 LV	¹⁾ 77A 60 K9 VX ²⁾ 89A 60 2 J6 V111 ³⁾ 32A 46 L5 VBE ⁴⁾ WA 46 JV	¹⁾ 42A 100 IVZ ²⁾ 89A 60 2 I 6 V111 ³⁾ 32A 100 KVS ⁴⁾ WA 100 LV
SVERKER 21 RIGOR VANADIS 23 VANADIS 30 SLEIPNER	Templado	¹⁾ B151 R50 B3 ¹⁾ 420A 54 JVQ ²⁾ B126 C75 B54 BA ²⁾ 92A 60 1 J5A V237 ³⁾ SGB 60 KVX ³⁾ SGP 70 JVX ⁴⁾ B126 V18 KR191 ⁴⁾ 27A 60 JV	¹⁾ B151 R75 B3 ¹⁾ 420A 80 K9 VQ ²⁾ B126 C75 B54 BA ²⁾ 91A 60 1 J6 V111 ³⁾ 3SG 60 JVX ⁴⁾ B126 V24 KR237 ⁴⁾ 27A 60 HV	¹⁾ B126 R100 B6 ¹⁾ 820A 1003 GVQ ²⁾ B126 C75 B53 ²⁾ F13A54 FF22V STRATO ³⁾ 5SG 80 KVX ⁴⁾ B126K V24 KR237 ⁴⁾ 27A 100 JV
SVERKER 3 VANADIS 4 VANADIS 6 VANADIS 10 VANADIS 60 ELMAX	Templado	¹⁾ B151 R50 B3 ¹⁾ 420A 54 JVQ ²⁾ B126 C75 B54 BA ²⁾ 92A 60 1 J5A V237 ³⁾ SGB 60 KVX ³⁾ SGP 70 JVX ⁴⁾ B126 V18 KR191 ⁴⁾ 27A 60 IV	¹⁾ B151 R75 B3 ¹⁾ 420A 80 K9 VQ ²⁾ B126 C75 B54 BA ²⁾ 91A 60 1 J6 V111 ³⁾ 3SG 60 JVX ⁴⁾ B126 V24 KR237 ⁴⁾ 27A 60 HV	¹⁾ B126 R100 B6 ¹⁾ 820A 1003 GVQ ²⁾ B126 C75 B53 ²⁾ F13A54 FF22V STRATO ³⁾ 5SG 80 JVX ⁴⁾ B126K V24 KR237 ⁴⁾ 27A 100 IV

Avance y velocidad de corte

VELOCIDAD DE LA MUELA (VELOCIDAD DE CORTE)

Al utilizar rectificadoras pequeñas, la velocidad del eje restringe amenudo la elección de la velocidad de corte.

Un límite común de seguridad para muelas de rectificar vitrificadas es 35 m/s. Aunque algunas muelas están capacitadas para alcanzar velocidades periféricas de 125 m/s.

Una velocidad de corte común para rectificado superficial y cilíndrico es 20–35 m/s. Variando la velocidad periférica de la muela es posible modificar su rendimiento en el rectificado. Incrementar la velocidad periférica de la muela, mientras se retiene la velocidad de la pieza de trabajo significa que la muela se comporta como si fuera más dura. Reducir la velocidad periférica hace que la muela parezca más blanda.

Una velocidad periférica adecuada para muelas de nitruro bórico con resina es 30–40 m/s. Para muelas de nitruro bórico vitrificadas, se requiere amenudo una velocidad de >45 m/s.

Al rectificar aceros con alto contenido en carbono, la velocidad periférica de la muela de rectificar deberá ser alta. Pruebas realizadas en rectificado cilíndrico de *ELMAX* han mostrado que el ratio G de la muela de rectificar desciende de 127 a 28 cuando la velocidad periférica baja desciende de 60 m/s a 30 m/s. La velocidad de corte, en otras palabras, cuenta con un efecto considerable en la economía del rectificado.

VELOCIDAD DE LA PIEZA DE TRABAJO

Para el rectificado superficial, la velocidad de la pieza de trabajo debería ser 10–20 m/s. Para un rectificado convencional cilíndrico, esta velocidad debería ser de 15–20 m/min. Esta velocidad debe reducirse para piezas pequeñas, para las que la velocidad adecuada es de 5–10 m/s.

El hecho de variar la velocidad de la pieza de trabajo, proporciona también un cambio en el rendimiento de la muela rectificado. El aumentar la velocidad de la pieza de trabajo hace que la muela parezca más blanda, mientras que la reducción de la velocidad produce una muela más dura.

ALIMENTACION TRANSVERSAL

La velocidad de alimentación transversal de una muela de rectificado, es decir su movimiento de lado a lado, es más alta para un rectificado basto que para un rectificado de acabado.

En el caso de rectificado cilíndrico, la alimentación transversal deberá ser de 1/3–1/2 del ancho de la muela para cada revolución de la pieza de trabajo.

Para un acabado superficial fino, éste ratio deberá reducirse a 1/6–1/13 del ancho de la muela de rectificar.

Si se requiere un alto acabado en la superficie, puede reducirse el avance de ancho de la muela de rectificar a 1/8–1/10.

Al rectificar la superficie con una muela plana, elegir una alimentación transversal de 1/6–1/3 del ancho de la muela para cada pasada. Una vez más reducir esta alimentación si existen requisitos de acabado fino.

Tener en cuenta que cuando se incrementa el avance transversal, la zona de contacto activa de la superficie entre la muela de rectificado y la pieza de trabajo es mayor, resultando en un aumento aparente de dureza de la muela de rectificado.

AVANCE

El avance de la muela de rectificado depende del tipo de muela y de la rigidez de la rectificadora y/o la sujeción de la pieza de trabajo.

Existen unos valores guía para rectificado cilíndrico utilizando muelas de rectificar convencionales:

Acabado basto ~0,05 mm/pass.

Acabado fino ~0,005–0,010 mm/pass.

Las alimentaciones mencionadas deben ser consideradas para rectificado cilíndrico, utilizando muelas de nitruro bórico.

Para acabado de superficie con muela plana, el avance para muelas convencionales es:

Acabado basto ~0,025–0,075 mm/pass.

Acabado fino ~0,005–0,010 mm/pass.

Al utilizar muelas de nitruro bórico, el avance deberá ser:

Acabado basto ~0,010–0,040 mm/pass.

Acabado fino ~0,005–0,010 mm/pass.

Al utilizar muelas de rectificado con abrasivo de óxido de aluminio cristalino fino, tipo Norton SG, deberá incrementarse la profundidad de avance algo por encima de los valores mencionados anteriormente, a fin de conseguir una mayor presión de rectificado e incrementar el buen rendimiento en auto-afilado.

Revestimiento de la muela de rectificar

Al revestir se crea una hélice a lo largo de la periferia de la muela. Ello afecta la estructura de la muela. El de la depende de las r.p.m. de la muela y de la velocidad del utillaje revestido.

Las normas siguientes son muy útiles para el revestimiento de muelas de rectificar con diamante de una sola punta y utillajes similares

	Recubrimiento basto	Recubrimiento fino
Avance diamante (mm)	0,02–0,04	0,01–0,02
Ratio diamante transversal (mm/rev. Muela)	0,15–0,30	0,05–0,10

El diamante es sensible a altas temperaturas. Por tanto, el revestimiento con diamante deberá realizarse con gran cantidad de refrigerante. El refrigerante deberá ponerse siempre en marcha antes de que el diamante contacte la muela. Un utillaje con revestimiento puntual deberá ser girado de forma sistemática a fin de mantener el filo.

PROBLEMAS DE RECTIFICADO — REMEDIOS

El cuadro siguiente nos indica algunas de las más importantes acciones a realizar para solucionar distintos problemas de rectificado.

Síntoma	Remedio
Marcas de picado	Comprobar el equilibrio de la muela Asegurar que el diamante es agudo Asegurar que el diamante está bien sujeto
Acabado demasiado Basto	Utilizar un recubrimiento fino y lento Reducir velocidad de trabajo Utilizar una muela más fina Utilizar una muela más dura
Quemaduras, Grietas de rectificad	Asegurar que el diamante es agudo Utilizar revestimiento más basto Asegurar que el refrigerante alcanza el punto de contacto Utilizar una muela más blanda
Corta vida de la muela	Asegurar que la velocidad de corte es suficiente Reducir la profundidad de corte y el avance Utilizar una muela más dura
Salpicaduras en una superficie acabada	Comprobar la filtración de refrigerante Limpiar la protección de la muela