

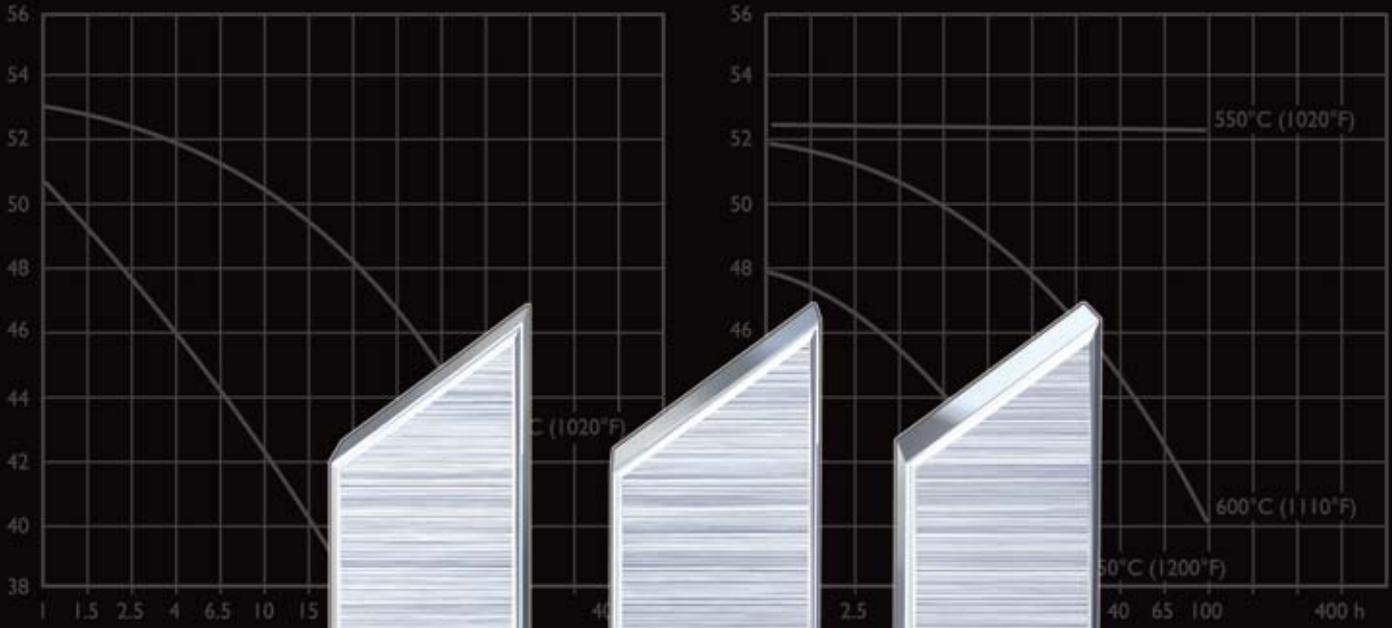
# Mecanizado por Electroerosion de Acero para Herramientas

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, ( )			
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 <sup>3</sup> lbs/m <sup>3</sup>	7 770 0,281	7 700 0,277	7 650 0,275
Modulus of elasticity N/mm <sup>2</sup> psi	194 000 28,1 × 10 <sup>6</sup>	188 000 27,3 × 10 <sup>6</sup>	178 000 25,8 × 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	to 100°C 11,7 × 10 <sup>-6</sup> to 212°F 6,5 × 10 <sup>-6</sup>	to 200°C 12 × 10 <sup>-6</sup> to 400°F 6,7 × 10 <sup>-6</sup>	to 400°C 13,0 × 10 <sup>-6</sup> to 750°F 7,3 × 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity W/m °C Btu in (ft <sup>2</sup> h°F)	-	27 187	32 221
Specific heat K/kg °C Btu/lbs °F	455 0,109	525 0,126	608 0,145

---

# Índice

Introducción .....	3
Los principios básicos del mecanizado electroerosivo (EDM) .....	3
Los efectos del proceso EDM en el acero para herramientas .....	4
Medición de los efectos .....	6
Máximo rendimiento de la herramienta .....	9
Pulido con mecanizado electroerosivo .....	11
Resumen .....	11

---

Los datos en este impreso están basados en nuestros conocimientos actuales, y tienen por objeto de dar una información general sobre nuestros productos y sus campos de aplicación. Por lo que no se debe considerar que sean una garantía de que los productos descritos tienen ciertas características o que sirven para objetivos especiales.

## Introducción

El uso del procedimiento de mecanizado mediante el sistema electroerosivo (también conocido por las siglas EDM, de «Electrical Discharge Machining») en la producción de herramientas de fabricación de matrices para plásticos, matrices para fundición a presión, forja, etc., se ha consolidado durante los últimos años. El perfeccionamiento de este sistema ha producido avances significativos en la técnica operativa, la productividad y la precisión, a la vez que se ha ampliado la versatilidad de dicho método.

Ha aparecido el mecanizado electroerosivo por hilo, como una alternativa eficaz y económica al mecanizado convencional para practicar aberturas en muchos tipos de herramientas, por ejemplo, matrices de punzón, de extrusión, y matrices para el corte de formas externas, tales como troqueles.

Empleando electrodos cilíndricos ahora pueden utilizarse formas especiales de EDM para pulir cavidades y herramientas, y para producir rebajes y practicar orificios cónicos.

Por tanto, el EDM prosigue su crecimiento, como una importante herramienta de producción en la mayoría de empresas que fabrican, herramientas mecanizando con igual facilidad el acero templado o recocido.

Uddeholm Tooling suministra una gama completa de aceros para herramientas que son notables por la homogeneidad de su estructura. Este factor, combinado con unos niveles de azufre muy bajos garantiza un rendimiento uniforme del mecanizado electroerosivo.

Este folleto proporciona información sobre:

- **Los principios básicos del mecanizado electroerosivo**
- **Los efectos del proceso electroerosivo en acero para herramientas**
- **Cómo asegurar el máximo rendimiento en la producción con herramientas que han sido mecanizadas mediante éste proceso.**

## Los principios básicos del mecanizado electroerosivo

El mecanizado electroerosivo (mediante la erosión producida por chispas) es un método que implica descargas eléctricas entre un ánodo (grafito o cobre) y un cátodo (acero u otro material para herramientas) en un medio dieléctrico. Las descargas son controladas de modo que se produzca erosión

en la herramienta o pieza trabajada. Durante el proceso, el ánodo (electrodo) se abre camino en la pieza trabajada, que de este modo adquiere los mismos contornos que el ánodo. El dieléctrico, o líquido de barrido, como también se llama, se ioniza durante el curso de las descargas. Los iones cargados positivamente golpean el cátodo, con lo cual la temperatura en la capa externa del acero aumenta hasta un nivel tal (10–50,000°C) que hace que el acero se funda o evapore, formando pequeñas gotitas de metal fundido, que son arrastradas por el dieléctrico como si se tratara de «virutas». Los cráteres (y, a veces, también «virutas» que no se han separado completamente) se reconocen fácilmente en una sección transversal de una superficie mecanizada con este sistema. Ver la figura 1.

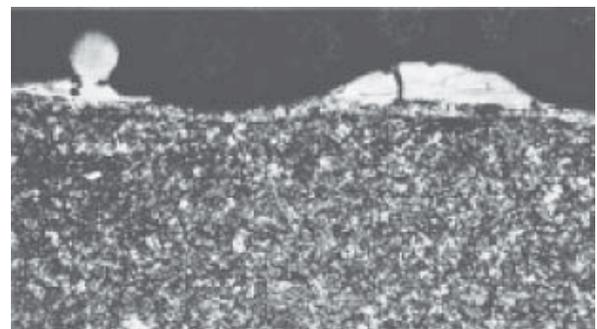


Fig. 1. Superficie sometida a un «mecanizado de desbaste» por el proceso EDM, con una sección transversal de virutas y cráteres. Material: ORVAR 2 Microdized. 100 x

Al considerar los parámetros en una operación de mecanizado electroerosivo de acero para herramientas hay que tener en cuenta cuatro factores principales:

- la velocidad de arranque de material
- el acabado superficial resultante
- el desgaste de los electrodos
- los efectos en el acero.

La influencia de la operación de EDM sobre las propiedades de la superficie del material mecanizado, en circunstancias desfavorables pueden malograr el rendimiento de la herramienta. En tales casos puede ser necesario, al elegir los parámetros de mecanizado, subordinar los tres primeros factores al cuarto, para optimizar este último.

# Los efectos del proceso EDM en el acero para herramientas

El efecto del proceso electroerosivo sobre el material mecanizado se diferencia completamente de los métodos de mecanizado convencionales.

Tal como se ha mencionado, la superficie del acero se somete a unas temperaturas extremadamente altas, provocando la fusión o evaporación del metal. El efecto sobre la superficie del acero ha sido estudiado por Uddeholm Tooling, para tener la seguridad que el fabricante de moldes matrices pueda obtener el máximo provecho del proceso, y fabrique al mismo tiempo una herramienta que tenga una vida de servicio satisfactoria.

En la mayoría de los casos ha sido imposible descubrir ninguna influencia en el funcionamiento operativo de una herramienta mecanizada electro-erosivamente. Sin embargo, se ha observado que por ejemplo, una herramienta para desbarbar se ha convertido en más resistente al desgaste, mientras que en otros casos se han producido roturas prematuras de herramientas al cambiar de mecanizado convencional a EDM. En otras situaciones, los fenómenos se han producido durante el propio mecanizado electroerosivo y han causado defectos inesperados en la superficie de la herramienta. Esto se ha debido al hecho que de el mecanizado se ha llevado a cabo de forma inadecuada.

## LA «RESISTENCIA SUPERFICIAL» UN FACTOR IMPORTANTE

Todos los cambios que se han observado se deben al enorme aumento de temperatura que se produce en la capa superficial.

En dicha capa, se ha observado que los cuatro factores (principales) asociados a la tan decisiva «resistencia superficial» del acero se ven afectados por este aumento en la temperatura:

- la microestructura
- la dureza
- el estado de tensiones
- el contenido de carbono.

La figura. 2 muestra la sección de una superficie normal mecanizada electroerosivamente con los diferentes cambios estructurales típicos.

## CAPA FUNDIDA Y SOLIDIFICADA

La **capa fundida y solidificada** producida durante el proceso EDM se denomina también como la «zona blanca» puesto que en general durante la preparación metalográfica no sufre el ataque químico. No obstante, la figura 3 muestra claramente que es una capa solidificada rápidamente, en donde se han formado cristales largos en forma de columna, directamente de la superficie del metal durante la solidificación. Una fractura producida en esta capa sigue invariablemente la dirección de los cristales. En el mecanizado basto normal, esta capa tiene un espesor de aproximadamente 15–30  $\mu\text{m}$ .

El contenido de carbono de la capa superficial también puede quedar afectado, por ejemplo, por la carburización del líquido de barrido o del electrodo, pero también puede producirse decarburación.

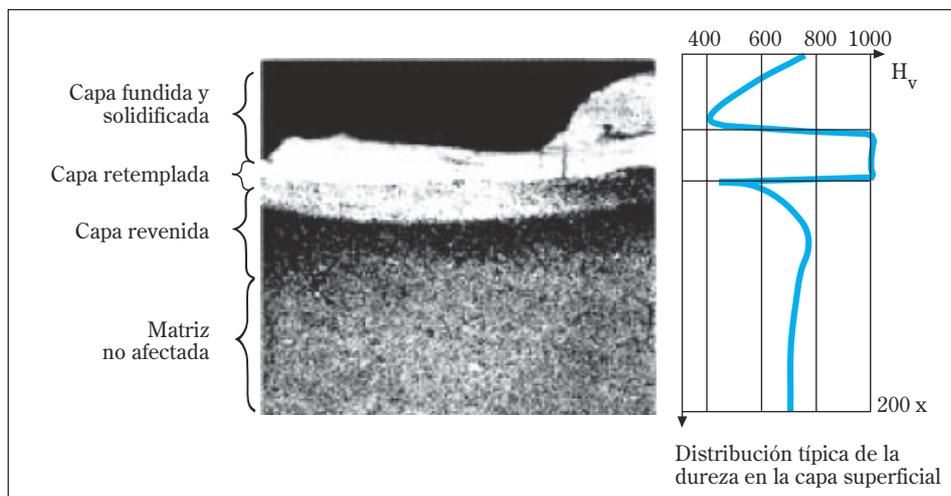


Fig. 2. Sección de una superficie mecanizada con el sistema electroerosivo, mostrando cambios en la estructura, material: RIGOR, templado a 57 HRC.

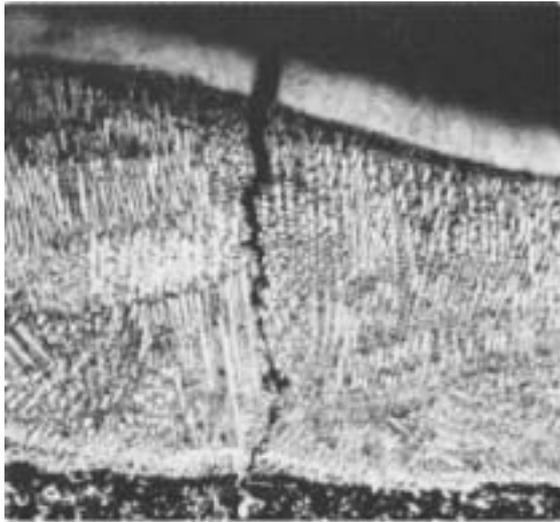


Fig. 3. Cristales en forma columna formados durante la solidificación.

### CAPA REVENIDA

En la **capa revenida** el acero no ha sido calentado en un grado tal como para alcanzar la temperatura de temple y lo único que se ha producido es un nuevo efecto de revenido. El efecto disminuye naturalmente hacia el núcleo de material; ver la curva de dureza en la figura 2.

Con objeto de estudiar los cambios estructurales provocados con diferentes variables de mecanizado, se hizo el desbaste y el acabado con grafito en siete diferentes aceros para herramientas; ver la tabla 1.

*Nota:* Puesto que la calidad de *CORRAX* es un acero de temple por precipitación, la superficie electroerosionada tiene características distintas. La «capa blanca», consiste en material fundido y resolidificado con una dureza aproximada de 34 HRC. No existirá otra zona importante afectada por el calor

### CAPA RETEMPLADA

En la **capa retemplada**, la temperatura ha aumentado por encima del nivel de austenización (temple) y ha formado martensita. Esta martensita es dura y frágil.

Calidad Uddeholm	UNE	Austenización	Revenido	Dureza	
		Tiempo 20 min. Temperatura °C	Tiempo 2 x 30 min. Temperatura °C	Templado HRC	Recocido HB
ARNE	F-5220	810	220	60	190
CALMAX	–	960	200	58	200
RIGOR	F-5227	940	220	60	–
SVERKER 21	F-5211	1020	250	60	220
GRANE	F-5305	840	250	54	–
IMPAX SUPREME	F-5303	850	580	30	–
ORVAR SUPREME	F-5318	1025	560	50	180

Tabla 1. Los aceros se ensayaron en estado templado y revenido, y algunos de ellos también recocidos.

# Medición de los efectos

Se han medido los **espesores** de las zonas afectadas por el calor. Las **durezas** en estas zonas también han sido medidas, al igual que las **frecuencias** y **profundidades de las fisuras**. A través de estos ensayos se han obtenido **valores de resistencia**.

Los **espesores de la capa** parecen ser muy independientes de la calidad del acero y del material del electrodo. Por otro lado, hay una clara diferencia entre las muestras templadas y las que habían estado sometidas a un recocido blando. La figura 4 muestra, en forma de gráfico, los espesores de capa y frecuencia de fisuras en **ORVAR SUPREME**, con diferentes duraciones de pulso. En el material recocido, las zonas son más delgadas y hay menos fisuras. La zona frágil, templada apenas existe (fig. 4b).

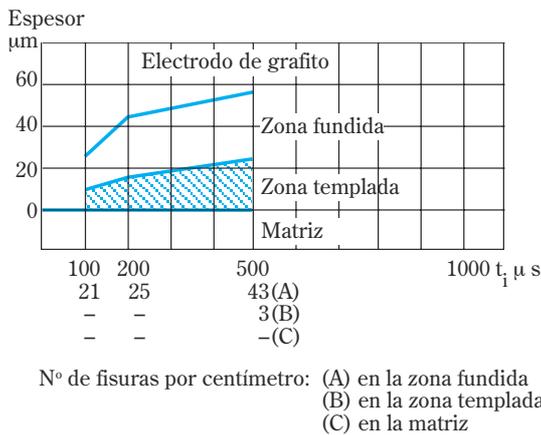


Fig. 4a. Espesores de capa y frecuencia de fisuras en la capa superficial de ORVAR SUPREME templado (54 HRC) mecanizado con el proceso electroerosivo con diferentes duraciones de los pulsos.

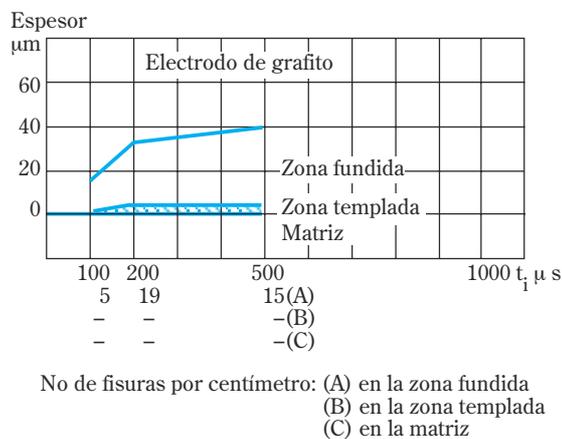


Fig. 4b. Al igual que antes, pero con ORVAR SUPREME mecanizado electroerosivamente en estado recocido.

Los espesores de capa pueden variar considerablemente, desde 0 μm hasta unos valores máximos ligeramente debajo del  $R_{max}$  especificado en las instrucciones de mecanizado. En las fases de desbaste ( $t_1 \geq 100 \mu s$ ), los espesores de las capas varían mucho más que en las fases de acabado. Los espesores, tanto de la zona fundida como de la templada aumentan con la duración de las chispas, que parece ser la variable de control individual más importante.

La figura 5 muestra el efecto beneficioso del «acabado fino», es decir, de la producción de una zona muy fina refundida y afectada por el calor.



Fig. 5. RIGOR después de ser sometido a mecanizado de acabado. Duración de los pulsos 10 μs.

## ESTRUCTURAS DE CAPAS MECANIZADAS POR ELECTROEROSION

Con unas duraciones más prolongadas de los pulsos, el calor penetra más profundamente en el material. Una mayor intensidad de corriente y densidad (y por tanto, energía de las chispas) proporcionan una mayor «cantidad de calor» en la superficie, pero el tiempo que necesita el calor para diseminarse parece ser lo más significativo.

La figura 6 muestra cómo en **SVERKER 21** (templado y revenido) las zonas superficiales varían según la duración de los pulsos y el material de los electrodos.

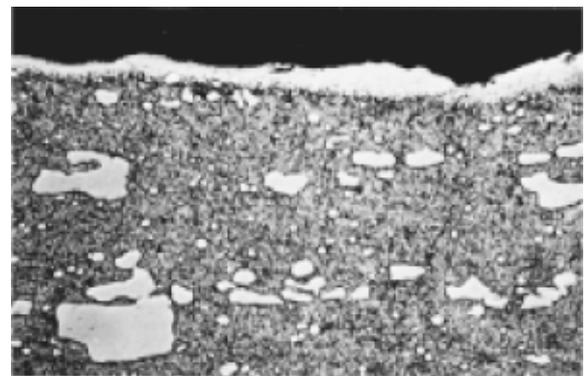


Fig. 6a. Electrodo de cobre

$t_1 = 10 \mu s$ . 500 x

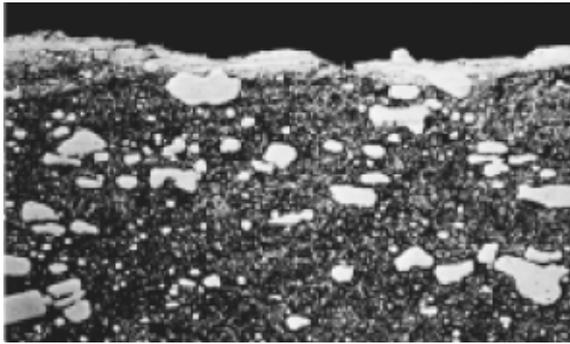


Fig. 6b. Electrodo de grafito.

$t_1 = 10 \mu s$ . 500 x

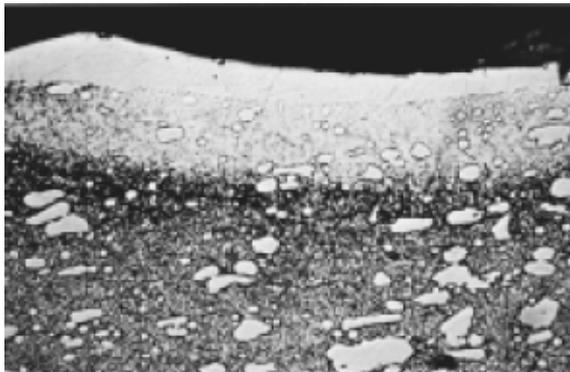


Fig. 6c. Electrodo de grafito.

$t_1 = 100 \mu s$ . 500 x

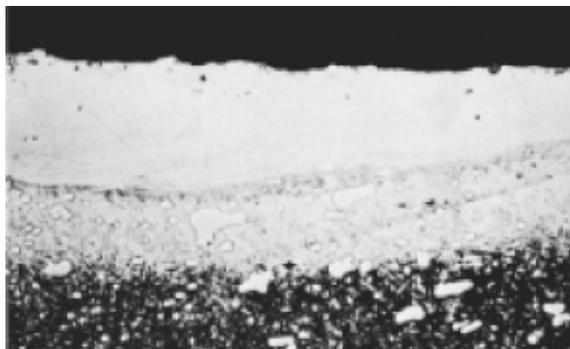


Fig. 6d. Electrodo de cobre.

$t_1 = 200 \mu s$ . 500 x

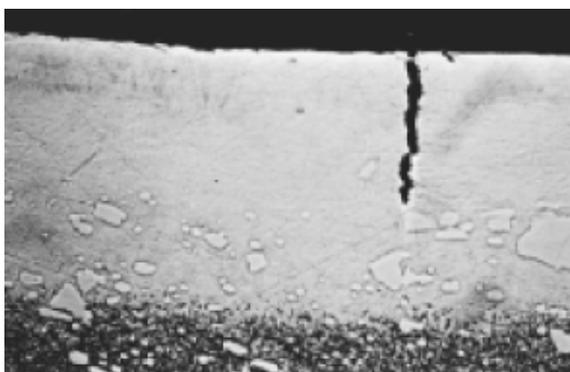


Fig. 6e. Electrodo de grafito.

$t_1 = 500 \mu s$ . 500 x

### LA CAUSA DE LA FORMACION DE UN «ARCO ELECTRICO»

Unos intervalos de desconexión o pausa cortos, proporcionan más chispas por unidad de tiempo y con ello, mayor arranque de material. Durante el tiempo de desconexión, el fluido dieléctrico debe disponer de tiempo para desionizarse. Un intervalo de desconexión demasiado corto puede provocar «igniciones», lo cual puede causar la formación de arcos constantes entre el electrodo y la pieza trabajada, resultando esto en graves defectos superficiales.

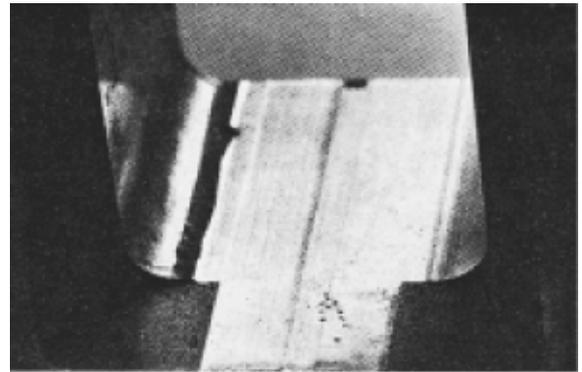


Fig. 7. Los «poros» sospechosos pueden verse en la superficie de la herramienta.

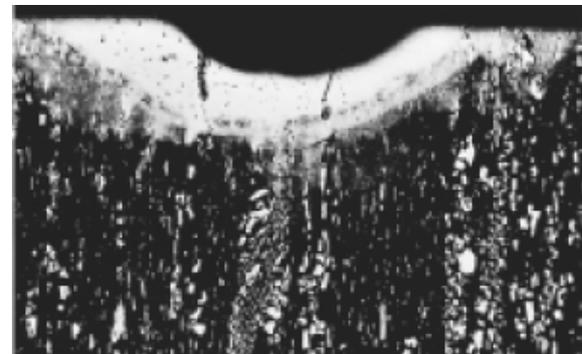


Fig. 8. Sección a través de unos de los «poros» sospechosos.

El riesgo de formación de arcos se incrementa si las condiciones de barrido del fluido dieléctrico son difíciles.

Como resultado de la formación de arcos entre zonas locales del electrodo y la pieza trabajada, en la superficie se forman grandes cráteres o «quemaduras». A menudo, éstas han sido confundidas con inclusiones de escorias o porosidad del material. Las figuras 7 y 8 muestran la superficie de una herramienta seccionada a través de uno de los «poros» sospechosos.

Una de las causas principales de este tipo de defecto es un barrido inadecuado, o el mecanizado de ranuras estrechas, etc, lo cual hace que las virutas y otras partículas sueltas formen un puente entre el electrodo y la pieza trabajada. El mismo efec-

to puede suceder con un electrodo de grafito que tenga restos de materiales extraños. En máquinas modernas provistas de control de corriente, se ha eliminado el riesgo de formación del arco eléctrico.

### La frecuencia de las fisuras se incrementa también con la profundidad de penetración

Con tiempos superiores a 100  $\mu\text{s}$ , todos los aceros muestran varias grietas en la capa fundida. La máxima frecuencia de fisuras la tienen los aceros de alto contenido de carbono o de temple al aire. Las muestras recocidas no contienen ninguna fisura en la matriz.

El número de grietas que llega a penetrar en la zona templada es de alrededor del 20 %, mientras que muy pocas grietas penetran hasta la matriz. En esta última, la profundidad de las fisuras raramente es superior a algunas décimas de  $\mu\text{m}$ . Las fisuras en la matriz se observan principalmente en los aceros de trabajo en frío altamente aleados.

La tabla 2 muestra la frecuencia de formación de fisuras en diversos aceros para herramientas.

	N° de fisuras		
	Zona fundida	Zona templada	Matriz
Acero de alta aleación para trabajo en frío, tipo <i>SVERKER</i>	20–50	2–10	0–5
Acero para trabajo en caliente, tipo <i>ORVAR</i>	10–40	2–5	0–2
Acero para trabajo en frío tipo <i>RIGOR, ARNE</i>	10–30	0–5	0–2
Acero para moldes de plástico, tipo <i>IMPAX SUPREME</i>	0–5	0–2	0

Tabla 2.

La diferencia en la **velocidad de arranque de virutas** asciende como máximo a aprox. el 15 % entre las diferentes calidades de acero para herramientas con los mismos parámetros de regulación de la máquina.

Las durezas de las diferentes capas también pueden variar considerablemente, pero en principio rige el mismo modelo en todas las calidades.

La figura 9 muestra una distribución típica de dureza. La diferencia en dureza y volumen entre las capas origina tensiones que, al medirlas, se ha observado que tienen la misma profundidad que las capas de superficie afectadas. Dichas tensiones pueden reducirse sustancialmente mediante operaciones adicionales de termotratamiento. Un nuevo revenido (235° C, 30 minutos) en la muestra de la figura 9 derivó en una reducción del nivel de dureza hasta la curva dibujada con trazos.

Electrodo de grafito  
 $t_1 = 200 \mu\text{s}$

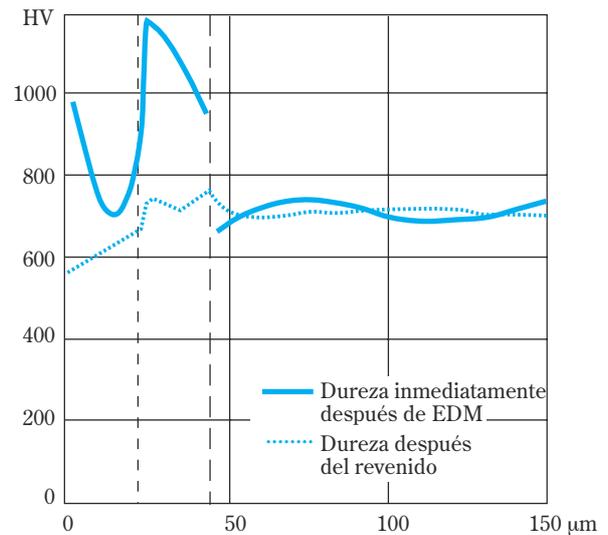


Fig. 9. Distribución típica de la dureza en *SVERKER 21* templado, después de ser mecanizado con el proceso electroerosivo y de ser nuevamente revenido.

Si el mecanizado electroerosivo se realiza adecuadamente, con una fase final de acabado, los defectos superficiales se eliminan en su mayoría.

Si esto no fuera posible por alguna razón o si fuera necesario eliminar todos los defectos, pueden hacerse diferentes operaciones:

- **Un revenido para relajar las tensiones**, a una temperatura de revenido unos 15° inferior a la utilizada anteriormente, reduce la dureza superficial sin influenciar en la dureza de la matriz.
- **Un rectificado o pulido** eliminará tanto la estructura de la superficie como las fisuras, dependiendo, evidentemente, de la profundidad hasta la que se realice (aproximadamente 5–10  $\mu\text{m}$  en un mecanizado de acabado).

### PRUEBA DE DOBLADO

Para evaluar los probables efectos de la capa refundida, las irregularidades superficiales y grietas que se producen en el proceso EDM y como influyen sobre la resistencia de una herramienta, se efectuó una prueba de doblado. Se probaron varias combinaciones de acabado superficial con mecanizado electroerosivo y tratamientos posteriores, por ejemplo, relajación de tensiones/pulido, en piezas rectangulares de 5 mm de RIGOR a 57 HRC. Las piezas probadas se mecanizaron electroerosivamente por una cara hasta diferentes etapas de EDM, y se doblaron considerablemente, dejando la superficie sometida a EDM en la cara exterior.

La figura 10 evidencia que la muestra acabada con mecanizado electroerosivo y pulida fue la que proporcionó los mejores resultados. Otra muestra también mecanizada con este sistema, sin ningún tratamiento posterior, poseía la menor resistencia al doblado.

Resistencia al doblado  
N/mm<sup>2</sup>

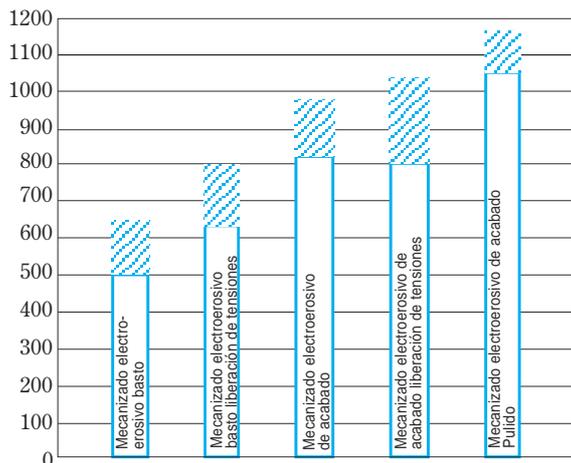


Fig. 10. Resistencia al doblado en distintas etapas de mecanizado electroerosivo y con diferentes operaciones posteriores. Material RIGOR 57 HRC. Las zonas sombreadas muestran la variación de los resultados medidos.

### ANTECEDENTES DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE DOBLADO

Las capas duras, solidificadas y retempladas causan, en primer lugar, las grietas que se forman al aplicar la carga y en segundo lugar hacen que las que ya estaban presentes actúen como iniciadores de fisuras en la matriz. A 57 HRC la matriz no es lo suficiente tenaz como para detener el crecimiento de las grietas y, en consecuencia, los desperfectos se producen ya en la parte elástica de la curva de carga. Normalmente, debería haber existido una cierta deformación plástica en una barra de prueba en este material.

## Máximo rendimiento de la herramienta

### MECANIZADO ELECTROEROSIVO EMPLEANDO ELECTRODOS SOLIDOS (COBRE/GRAFITO)

Tal como se ha mencionado, en la mayoría de casos en los que el proceso EDM se ejecuta con cuidado no se observan efectos adversos en el rendimiento de la herramienta. No obstante, como medida de prevención, se recomienda seguir las siguientes etapas:

#### Mecanizado electroerosivo de material templado y revenido

- A Mecanizar convencionalmente.
- B Templar y revenir.
- C EDM inicialmente, evitando la «formación de arcos» y un arranque excesivo de material; acabado con «EDM fino» es decir, intensidad de corriente baja y alta frecuencia.
- D (i) Rectificar o pulir la superficie electroerosionada.
- D (ii) Revenir la herramienta a 15° C por debajo de la temperatura de revenido original.
- D (iii) Seleccionar una dureza inicial más baja en la herramienta, para mejorar la tenacidad general.

#### Mecanizado electroerosivo del material recocido

- A Mecanizado convencional.
- B Mecanizado electroerosivo inicial, según C en el punto anterior.
- C Rectificar o pulir la superficie electroerosionada. Esto reduce el riesgo de la formación de grietas durante el calentamiento y enfriado. Se recomienda precalentamiento lento, en etapas, hasta la temperatura de temple.

*Nota:* al electroerosionar en estado recocido, la tenacidad de CORRAX no se ve afectada. Se recomienda que toda la electroerosión sea realizada después del envejecimiento puesto que en caso contrario se verá reducirá la tenacidad.

Asimismo es aconsejable eliminar la «capa blanca» mediante rectificado, pulido o arenado.

### MECANIZADO ELECTROEROSIVO POR HILO

Las observaciones realizadas sobre la superficie mecanizada electroerosivamente en las páginas anteriores son en su mayor parte aplicables al proceso EDM por hilo. Sin embargo, la capa superficial afectada es relativamente delgada ( $<10\mu\text{m}$ ) y puede compararse más bien con el mecanizado electroerosivo «de acabado». Normalmente no existen fisuras visibles en la superficie rebajada después de la electroerosión por hilo. Pero, en ciertos casos, se han encontrado otros problemas.

Después de tratar un acero de temple en profundidad, la pieza contiene unas tensiones muy elevadas (cuanto mayor sea la temperatura de revenido, menores son las tensiones). Dichas tensiones toman la forma de tensiones de tracción en la zona superficial y de compresión en el centro, siendo opuestas. Durante el proceso de electroerosión por hilo se arranca más o menos cantidad de acero de la pieza tratada. En los lugares en donde se arranca una gran cantidad de material, esto puede conducir, a veces, a deformaciones o incluso grietas. El motivo de ello es que se modifica el equilibrio de tensiones en la pieza, y ésta tiende a recuperarlo. El problema de la formación de grietas normalmente sólo se produce en secciones transversales relativamente gruesas, por ejemplo, superiores a 50 mm de espesor. En estas secciones pesadas es muy importante efectuar un temple y doble revenido correcto. Un sobrecalentamiento o homogeneización de temperaturas excesiva a la temperatura

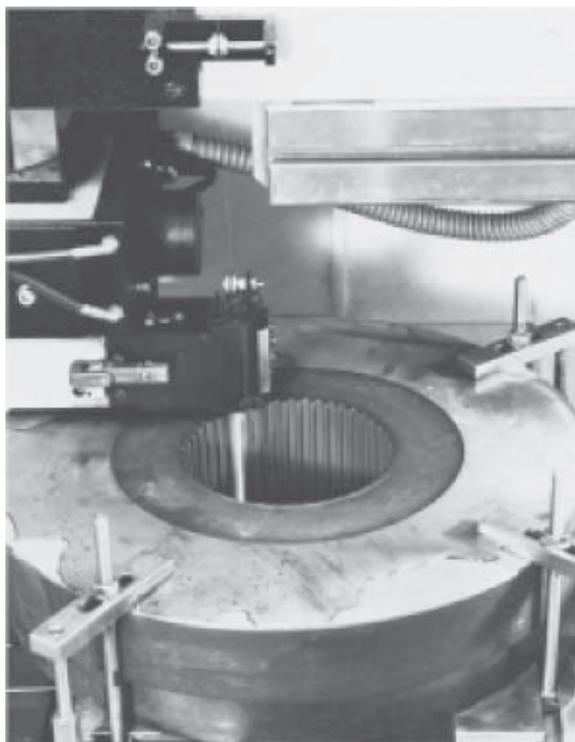


Fig. 11. Mecanizado electroerosivo por hilo de un troquel de acero templado y revenido.

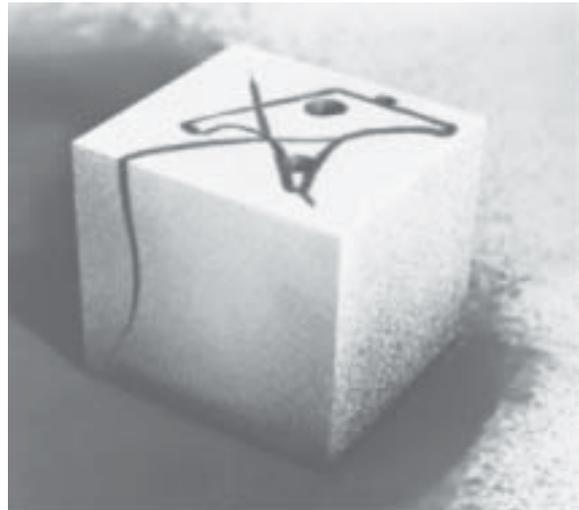


Fig. 12. Este bloque de acero D2 de aprox. 50 x 50 x 50 mm se partió durante la operación de EDM debido a un tratamiento térmico inadecuado.

de temple puede resultar en unas cantidades excesivas de austenita retenida. La subsiguiente operación de mecanizado electroerosivo produce entonces una martensita sin revenir, con riesgos de fisuración.

En ciertos casos los riesgos pueden reducirse adoptando distintas precauciones:

- 1: Reducir el nivel de tensiones general en la pieza reviniendo a una temperatura alta. Esto presupone el uso de una calidad de acero que tenga gran resistencia al revenido.
- 2: Realizando varios taladros en la zona a rebajar y unirlos cortando con sierra antes del temple y revenido. Entonces cualquier tensión liberada durante el termotratamiento es absorbida en las zonas pretaladradas, reduciéndose o eliminándose el riesgo de distorsión o agrietamiento durante el mecanizado electroerosivo por hilo. La figura 13 ilustra cómo puede realizarse esta operación previa.

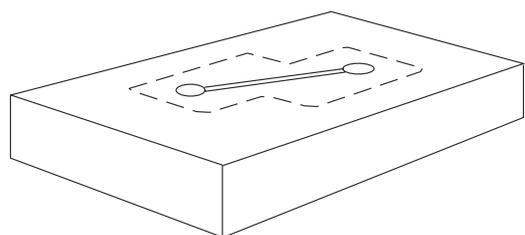


Fig. 13. Agujeros pretaladrados, unidos mediante un corte con sierra, antes del temple y revenido contribuyen a evitar deformaciones o fisuras al mecanizar con electroerosión secciones gruesas.

## ELECTROEROSION POR HILO DE PUNZONES DE CORTE

Al fabricar punzones de corte mediante el procedimiento electroerosivo, se recomienda (al igual que en el mecanizado convencional) cortar con la dirección de grano del acero orientada en el sentido del movimiento de corte. Esto no es tan importante al emplear aceros ASP, debido a su estructura de grano no-direccional.

## Pulido con mecanizado electroerosivo

Hoy en día algunos fabricantes de equipos EDM ofrecen, mediante una técnica especial, la posibilidad de erosionar las superficies hasta un grado de acabado muy alto. Es posible alcanzar un acabado superficial de alrededor de 0,2–0,3  $\mu\text{m}$ . Estas superficies son suficientes para la mayor parte de aplicaciones. Las mayores ventajas del sistema EDM se consiguen en las cavidades complicadas. Estas son difíciles, lentas de obtener y por tanto, caras de pulir manualmente, pero con la máquina de EDM pueden realizarse fácilmente.

Investigaciones efectuadas en nuestras calidades *IMPAX SUPREME*, *ORVAR SUPREME*, *STAVAX ESR* y *RIGOR* muestran que la capa blanca refundida que se produce es muy fina y uniforme en estas calidades. Su espesor es de aproximadamente 2–4  $\mu\text{m}$ . Debido a que no muestra signos de influencia térmica, los efectos del EDM en las propiedades mecánicas son insignificantes.

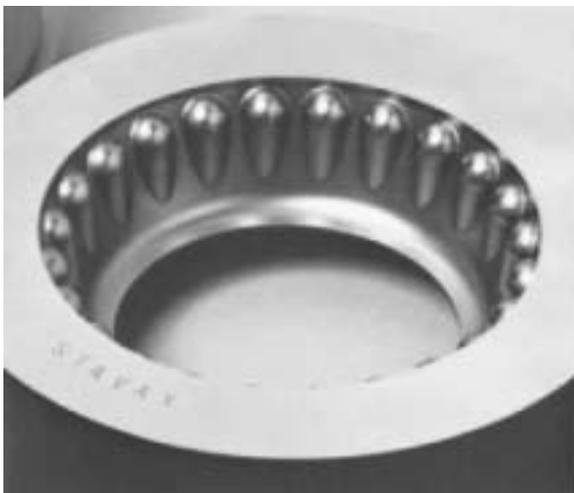


Fig. 14. Este inserto en *STAVAX ESR* fue acabado mediante «pulido» con el sistema EDM.

## Resumen

En síntesis puede decirse que el mecanizado electroerosivo bien ejecutado, empleando una fase de desbaste y otra de acabado de acuerdo con las instrucciones del fabricante, elimina los efectos superficiales producidos en el desbaste. Naturalmente, siempre persisten ciertos efectos estructurales, pero en la gran mayoría de casos son insignificantes, siempre que el proceso de mecanizado haya sido normal. Además, los efectos estructurales no han de considerarse necesariamente como del todo negativos. En ciertos casos la estructura de la superficie, por ejemplo, la capa retemplada, — debido a su alta dureza — mejora la resistencia de la herramienta al desgaste abrasivo. En otros casos se ha comprobado que la topografía de cráteres de la superficie tiene una mayor capacidad de retener lubricante que las superficies convencionales, reportando una vida de servicio más larga. Sin embargo, si surgieran dificultades en torno al rendimiento de las herramientas realizadas con EDM, pueden efectuarse algunas operaciones adicionales relativamente simples, tal como se ha indicado anteriormente.

Se ha observado un apariencia ligeramente rayada en materiales con abundancia de carburos — tales como herramientas con alto contenido de carbono para trabajo en frío, y acero rápido, donde siempre se produce un cierto grado de segregación de carburo — o en material con un gran contenido de azufre.

La diferencia entre las probetas desbastadas y acabadas con el sistema electroerosivo se debe en gran parte a la diferencia en la distribución de las grietas y a la presencia de la capa blanca sólo en zonas fortuitas en las muestras de piezas sometidas a acabado electroerosivo. En realidad el acabado superficial más basto de la muestra desbastada no ha sido importante. Independientemente de las circunstancias, tal como irregularidades superficiales, éstas son relativamente inofensivas como iniciadores de fisuras, en comparación con las fisuras de solidificación. Durante el pulido efectuado en la probeta acabada, la profundidad de la capa blanca retemplada no se eliminó del todo, sino que solamente se redujo.

Un mayor pulido probablemente hubiera resultado en la completa recuperación de la resistencia de doblado. Las herramientas y partes de ellas sometidas a grandes tensiones, por ejemplo, secciones muy finas que sean mucho más propensas al doblado, pueden justificar una operación de acabado adicional.

Cuando menor sea la dureza de la matriz, menos sensible será el material a los efectos adversos a la resistencia producidos por el mecanizado electroerosivo. Por tanto, otra alternativa puede ser la reducción del nivel de dureza de toda la herramienta.