

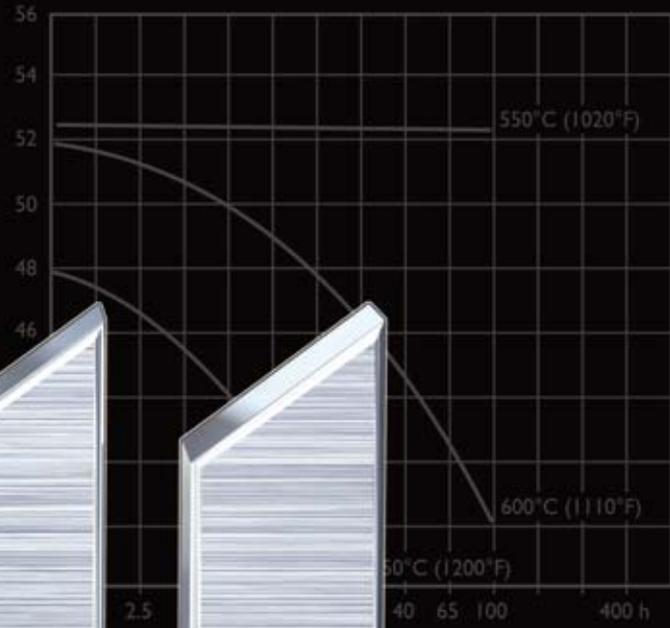
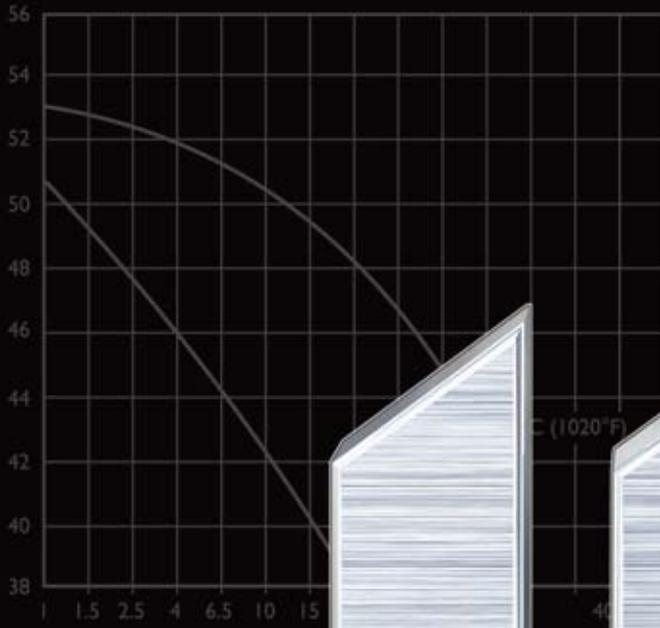
# Soldadura de Acero para Matrices y Utillajes

COLD WORK

PLASTIC MOULDING

HOT WORK

HIGH PERFORMANCE STEEL



Typical analysis %	C 2,05
Standard specification	AISI D6, ( )
Delivery condition	Soft annealed
Colour code	Red

Typical analysis %	Mn 0,8	Cr 4,5	W 0,2
Standard specification	D3 (W.Nr. 1.2796)		
Delivery condition	to approx. 200 HB		
Colour code	Your colour		

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

Temperature	200°C (390°F)	400°C (750°F)
Density kg/m <sup>3</sup> lbs/m <sup>3</sup>	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>	189 000 27,4 × 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	to 100°C 12,3 × 10 <sup>-6</sup> to 212°F 6,1 × 10 <sup>-6</sup>	to 200°C 14 × 10 <sup>-6</sup> to 400°F 6,7 × 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity W/m °C Btu in (ft <sup>2</sup> h°F)	20,5 142	21,5 149
Specific heat K/kg °C Btu/lbs °F	460 0,110	- -

---

# Contenido

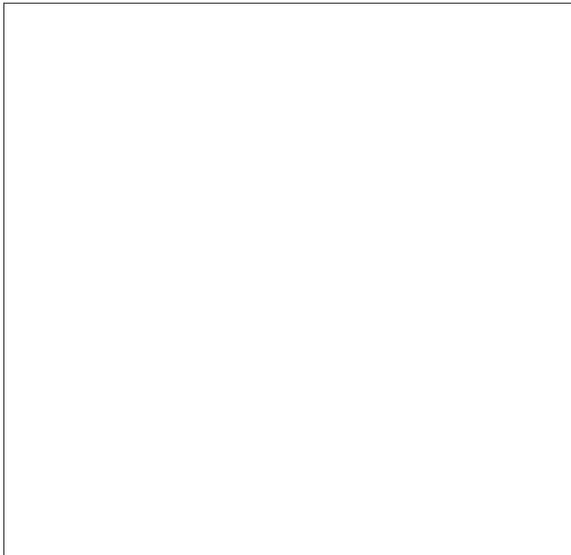
Introducción .....	3
Información general sobre .....	3
Soldadura de acero para matrices y utillajes .....	4
Métodos de soldadura .....	5
La zona de soldadura .....	6
¡ Cuidado con el hidrógeno ! .....	9
Temperatura de trabajo elevada .....	10
Procedimiento de soldadura .....	11
Reparación mediante soldadura de acero para:	
– aplicaciones de trabajo en caliente .....	14
– moldes de plástico .....	15
– aplicaciones de trabajo en frío .....	16

---

## Introducción

La aptitud de soldadura de los aceros con más del 0,2 % de carbono es considerada normalmente pobre. Por tanto, aceros para matrices y utillajes con un contenido de 0,3–2,5 % de carbono son difíciles de soldar y muchos suministradores de acero no recomiendan la aplicación de soldadura. De todos modos, la mejora en la calidad de los consumibles, los nuevos equipos de soldadura, nuevos desarrollos en la técnica de soldadura y no menos mejoras en la calidad del acero para herramientas, se han combinado para hacer que la soldadura del acero para herramientas sea una realidad que conlleve consecuencias económicas considerables.

Sin duda, Uddeholm reconoce que los aceros para matrices y utillajes requieren a menudo ser soldados; ello es especialmente cierto cuando los utillajes de costo elevado, como por ejemplo los moldes de fundición inyectada, grandes moldes para forja, moldes de plástico, moldes de carrocerías para automoción, utillajes de estampación, es donde la reparación y los ajustes mediante soldadura tienen un costo atractivo en comparación con el alto costo de fabricar un nuevo utillaje.



*Zona de soldadura.*

## Información general sobre soldadura de acero para matrices y utillajes

El acero para herramientas contiene un 0,3–2,5 % de carbono, así como elementos de aleación tales como manganeso, tungsteno, vanadio y níquel. El problema principal en la soldadura de acero para herramientas radica en su alta templabilidad. La soldadura se enfría rápidamente una vez la fuente de calor se aparta de la zona a soldar, y el metal de soldadura y la zona afectada por el calor se templará. Esta transformación genera tensiones puesto que la soldadura está normalmente muy forzada, creando un elevado riesgo de aparición de grietas, a menos que se tenga un gran cuidado.

A continuación efectuamos una descripción del equipo de soldadura, técnica de aplicación y consumibles a utilizar, que son necesarios a fin de obtener una soldadura adecuada del acero para herramientas. Evidentemente, la experiencia y habilidad del operario que realice la operación es de vital importancia para obtener resultados satisfactorios. Con el cuidado suficiente, es posible obtener reparaciones mediante soldadura o ajustes que, en términos de rendimiento del utillaje, difícilmente sean inferiores al rendimiento del material base.

Puede requerirse la soldadura de un utillaje por cualquiera de las razones siguientes:

- Restauración y reparación de utillajes rotos o dañados.
- Renovación de cantos cortantes dañados por melladuras, por ejemplo en utillajes de corte.
- Ajuste de errores de mecanizado durante la fabricación del utillaje.
- Cambios de diseño.

# Métodos de soldadura de acero para herramientas

## SOLDADURA POR ARCO CON ELECTRODO PROTEGIDO (SMAW O MMA)

### Principio

Un arco eléctrico es generado por una fuente de alimentación de corriente continua o alterna creando la unión entre un electrodo revestido y la pieza de trabajo (Fig. 1).

Los electrodos consisten en un núcleo central, normalmente formado por un acero bajo en carbono, recubierto por una compactación de polvo. La constitución de este revestimiento es compleja y consiste en polvo de acero, aleaciones de hierro, formadores de inclusiones y material de sujeción. El electrodo se consume bajo la acción del arco durante la operación de soldadura y gotas de metal fundido son transferidas a la pieza de trabajo. La contaminación por aire durante la transferencia de gotas fundidas desde el electrodo hasta la pieza de trabajo y durante la solidificación y enfriamiento del depósito de soldadura, se evita parcialmente por las inclusiones formadas por los constituyentes del revestimiento del electrodo, y parcialmente por los gases creados durante la fusión de éste.

La composición del depósito de metal soldado es controlada mediante la constitución del recubrimiento del electrodo.

### Fuente de alimentación

Para la soldadura MMA, es posible utilizar tanto una fuente de alimentación con corriente continua como corriente alterna. Aunque, cualquiera que sea la que se utilice, la fuente de alimentación

deberá proporcionar una corriente y un voltaje compatible con el electrodo. Los voltajes normales del arco son:

- Electrodos de recuperación normales: 20–30 V
- Electrodos de recuperación alta: 30–50 V

Los consumibles de soldadura de Uddeholm son del tipo de recuperación normal. Una fuente de alimentación adecuada para ellos es una unidad DC con un voltaje abierto de 70 V que sea capaz de enviar 250 A/30V al 35% de intermitencia.

## SOLDADURA CON ARCO DE TUNGSTENO (GTAW O TIG)

### Principio

En la soldadura MMA, el polo del electrodo desde el cual se forma el arco, se consume durante la operación.

El electrodo en soldadura TIG está compuesto por tungsteno o por una aleación de tungsteno que tiene un alto punto de fusión (sobre los 3300° C) y por tanto no se consume durante éste proceso (ver figura 2). El arco se forma inicialmente mediante la unión del electrodo – pieza de trabajo a un voltaje de alta frecuencia. La ionización resultante permite la formación del arco sin necesidad de que exista contacto entre el electrodo y la pieza de trabajo. El electrodo de tungsteno está siempre conectado al terminal negativo de una fuente de alimentación DC, puesto que ello minimiza la generación de calor, y por tanto cualquier riesgo de fundir el electrodo. La corriente se conduce hacia el electrodo mediante un contacto dentro de la pistola TIG. Cualquier tipo de consumible que se requiera durante la operación de soldadura TIG deberá alimentarse de forma oblicua al arco, en forma de varilla o electrodo. Puede prevenirse la oxidación del pozo de soldadura mediante una capa de gas inerte que emana desde la pistola TIG por el electrodo y la soldadura.

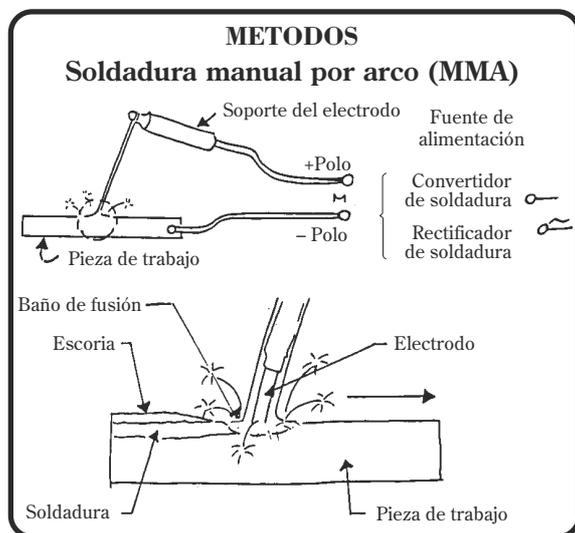


Fig. 1.

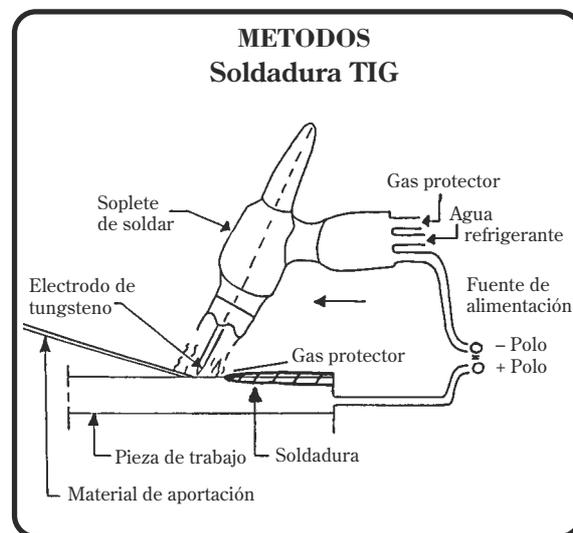


Fig. 2.

### Fuente de alimentación

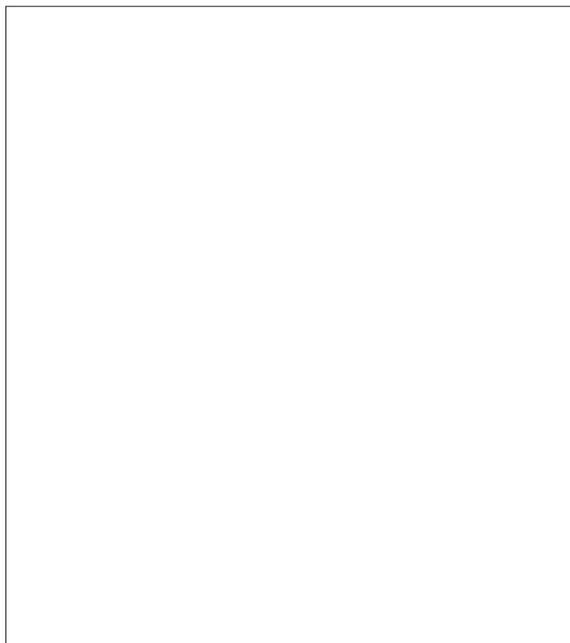
La soldadura MMA puede realizarse con una fuente de alimentación normal para MMA, teniendo en consideración que ésta cuente con una unidad de control TIG. La pistola deberá ser de refrigeración por agua y capaz de manejar una corriente mínima de 250 A al 100% de intermitencia. Una lente de gas es también una característica conveniente a fin de que la protección del gas inerte sea lo más eficaz posible. La soldadura se ve facilitada si la corriente puede verse incrementada sin discontinuidad, desde cero hasta el nivel óptimo.

## La zona de soldadura

A fin de poder aplicar de forma satisfactoria la soldadura en el acero para herramientas, el siguiente equipo se considera como requisito mínimo. (Aparte del equipo de soldadura.)

### CABINA SECA

Los electrodos para soldadura MMA son muy higroscópicos, por tanto no debería permitirse entrar en contacto con otra cosa que no fuera aire seco. Si no fuera así, la soldadura se vería contaminada por hidrógeno (informaremos más adelante). Por tanto, la zona de soldadura debe contar con una cabina seca para el almacenaje de los electrodos. Esta debería estar controlada de forma termostática entre 50–150° C. Los electrodos deben sacarse de su envoltorio y dejarse sueltos en el interior de la cabina.



*Cabina seca para almacenamiento de electrodos.*

Para aplicar soldadura en utillajes fuera de la zona de soldadura, es siempre útil tener un contenedor que cuente con calor, para poder transportar los electrodos.

### BANCO DE TRABAJO

Es especialmente importante, durante las operaciones de soldadura críticas, por ejemplo del tipo de las que se realizan en acero para utillajes, que el operario que vaya a realizar la soldadura adopte una posición de trabajo confortable. Por tanto, el banco de trabajo debe ser estable, con la altura correcta a un nivel suficiente a fin de que la pieza de trabajo pueda posicionarse de forma precisa y segura. Es ventajoso contar con un banco de trabajo rotatorio y ajustable verticalmente, puesto que éstas dos características facilitan la operación de soldadura.

### EQUIPO DE PRECALENTAMIENTO

El acero para herramientas no puede soldarse a temperatura ambiente sin contar con un considerable riesgo de aparición de grietas, siendo generalmente necesario precalentar el molde o matriz antes de iniciar la operación de soldadura (ver información más adelante). Mientras que es posible soldar herramientas con éxito, realizando el precalentamiento en un horno, las posibilidades de que la temperatura descienda excesivamente antes de haber concluido el trabajo son muchas. Por tanto, se recomienda mantener el utillaje a la temperatura adecuada, utilizando un calentador eléctrico regulado por una fuente de alimentación con corriente DC. Este equipo permite que el utillaje se caliente de forma uniforme y controlada.

Para pequeñas reparaciones y ajustes, puede ser aceptable precalentar el utillaje utilizando un soplete de propano. Por tanto, cargas de propano líquido deberán encontrarse disponibles en la zona de soldadura.



*Elementos eléctricos para cámara aislada de precalentamiento.*

#### MAQUINARIA DE RECTIFICADO

El material siguiente debería encontrarse disponible:

- Rectificadora de disco con diámetro mínimo 180 x muela de 6 mm para preparar la junta y eliminar los defectos que puedan aparecer con la soldadura.
- Rectificadora plana de >25000 rpm para rectificar los pequeños defectos y efectuar el acabado de la soldadura.
- Si el molde soldado debe ser pulido o fotograbado posteriormente, puede ser necesario contar con un rectificadora capaz de ofrecer un acabado fino.

## Características del metal de aportación

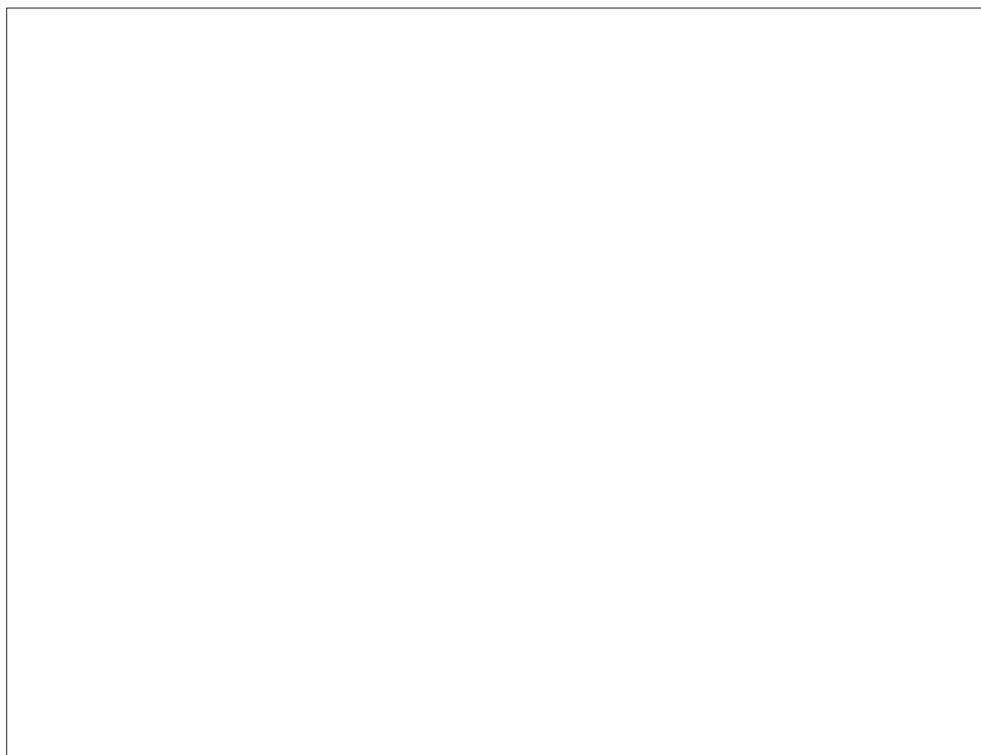
La composición química de un depósito de soldadura viene determinada por la composición del consumible (metal de aportación), la composición del acero base y la cantidad de material que se ha fundido durante la operación de soldadura.

El electrodo o la varilla debería mezclarse fácilmente con el acero base fundido, resultando en un depósito con:

- Una composición uniforme, dureza y respuesta al tratamiento térmico.
- Libre de inclusiones no metálicas, porosidades o roturas.
- Propiedades adecuadas para la aplicación del utillaje en cuestión.

Dado que la soldadura en acero para herramientas cuenta con una alta dureza, ésta es particularmente susceptible a roturas que se pueden originar a partir de partículas de escoria o poros. Por tanto, el consumible a utilizar debería ser capaz de producir una soldadura de alta calidad. De modo similar, es también necesario que los consumibles se fabriquen con un control de análisis muy estrecho, a fin de que la dureza de la soldadura y la respuesta de ésta al tratamiento térmico se reproduzca de pasada en pasada. El material de relleno de alta calidad es asimismo esencial si el molde debe ser pulido o fotograbado, después de aplicar la soldadura. Los consumibles para soldadura de Uddeholm cuentan con todos éstos requisitos.

La varilla de soldadura TIG se fabrica normalmente partiendo de escoria electro afinada, mientras que los electrodos revestidos son del tipo básico, y son muy superiores a los electrodos de Rutilo, en lo que se refiere a limpieza de soldadura. Otra de las ventajas con electrodos recubiertos básicos sobre los del tipo Rutilo es que los primeros aportan una menor cantidad de hidrógeno en el material soldado.



*Consumibles para soldadura MMA de Uddeholm.*

En general, el consumible utilizado para la soldadura de acero para herramientas debe ser similar en composición al material base. Al soldar en condición de recocido, por ejemplo, si un molde o matriz debe ser ajustado durante el proceso de producción, es de vital importancia que el material de relleno cuente con la mismas características de tratamiento térmico que el material base, si no fuera así, la zona soldada en el utillaje terminado contaría con una dureza distinta. Las grandes diferencias en composición, son también asociadas a un incremento de riesgo de aparición de grietas, en conexión con la dureza.

Los consumibles para soldadura de Uddeholm están diseñados con la finalidad de ser compatibles con la calidad de acero correspondiente, (QRO 90 WELD y QRO 90 TIG WELD se recomiendan para todos los aceros de Uddeholm para aplicaciones de trabajo en caliente) sin considerar si la soldadura se lleva a cabo en material recocido o templado y revenido, como material base.

Obviamente, el metal de soldadura de los utillajes soldados requerirán distintas propiedades para cada distinta aplicación.

Para los tres principales segmentos de aplicación de aceros para herramientas (trabajo en frío, trabajo en caliente y moldes de plástico), las propiedades más importantes del metal de soldadura son:

#### Trabajo en frío

- Dureza
- Tenacidad
- Resistencia al desgaste.

#### Trabajo en caliente

- Dureza
- Resistencia al revenido
- Tenacidad
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a la fatiga térmica.

#### Moldes de plástico

- Dureza
- Resistencia al desgaste
- Pulibilidad
- Capacidad de fotograbado.

Comentamos brevemente éstas propiedades a continuación.

### DUREZA

Si el molde o matriz es soldado en condición de temple y revenido, es importante que la soldadura cuente con la misma dureza que el material base, una vez realizada la soldadura. Siendo éste el caso, pueden realizarse pequeñas soldaduras sin necesidad de revenir el utillaje. Todos los consumibles para soldadura de Uddeholm reúnen éstos requisitos. (Fig. 3.)

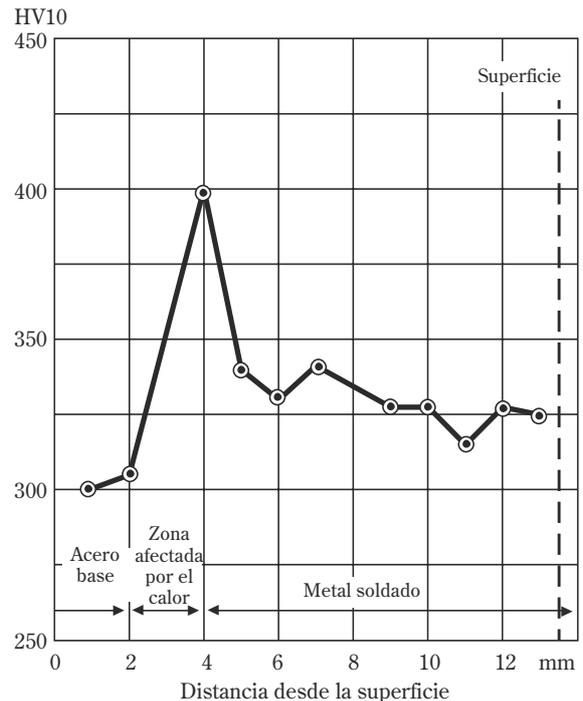


Fig. 3. Perfil de dureza en una soldadura realizada en IMPAX SUPREME (Soldadura MMA utilizando electrodos IMPAX WELD) Es de notar la distribución uniforme de dureza, tan solo marginalmente por encima de la dureza base, y la muy estrecha zona afectada por el calor, con tan solo un modesto incremento de dureza en la línea de fusión.

### RESISTENCIA AL REVENIDO

Si el molde o matriz debe ser tratado térmicamente después de aplicar la soldadura (acero base en condición recocida), entonces las características de temple y revenido de metal de soldadura deberán ser similares a las del acero base, a fin de obtener la misma dureza en ambas (Fig. 4).

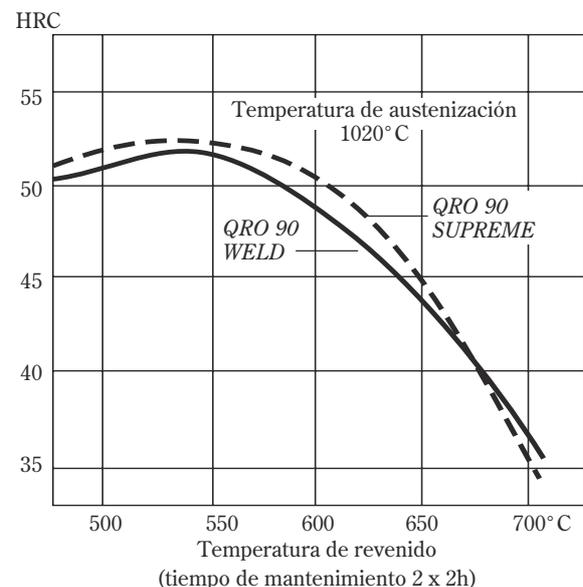


Fig. 4. Comparación de las curvas de revenido para QRO 90 SUPREME y metal de soldadura producido mediante soldadura MMA con electrodos de QRO 90 SUPREME.

### TENACIDAD

A pesar del hecho de que estamos tratando con lo que esencialmente sería una fusión, el metal soldado en el acero para utillajes puede ser sorprendentemente tenaz, como resultado de la relativamente fina microestructura derivada del alto nivel de solidificación. Aunque, en general, la tenacidad se verá mejorada con el consecuente tratamiento térmico. Por tanto grandes reparaciones de soldadura en un utillaje templado deberán siempre someterse a un revenido una vez aplicada la soldadura, aunque la dureza del metal de soldadura y la del acero base sean compatibles en la condición de soldadura.

En acero para aplicaciones de trabajo en frío, donde se requiere una alta dureza, es importante tener en cuenta utilizar un metal de relleno más blando en las capas iniciales y terminar con un electrodo más duro en la superficie de trabajo del utillaje. Este procedimiento creará una reparación más tenaz que si se hubiera utilizado el electrodo duro para todas las capas.

### RESISTENCIA AL DESGASTE

Al igual que ocurre con el acero para herramientas, la resistencia al desgaste de un metal soldado aumenta con su dureza y contenido en aleación. Los consumibles para soldadura de Uddeholm han sido diseñados para crear metales de soldadura con la misma resistencia al desgaste que el acero base compatible.

### RESISTENCIA A LA FATIGA TERMICA

La soldadura aplicada en moldes para trabajo en caliente, sufre normalmente de fatiga térmica de forma más rápida que el acero base, ello es debido a su pobre resistencia al calor, resistencia al revenido, o tenacidad (ductilidad). Aunque, si se utiliza un consumible que aporte un metal de soldadura con una resistencia al calor y dureza en caliente superior, entonces la resistencia a la fatiga térmica será igual o incluso mejor que la del acero base.

Los electrodos QRO 90 WELD y TIG WELD producen una soldadura que ofrece una resistencia a la fatiga térmica excelente (Fig. 5).

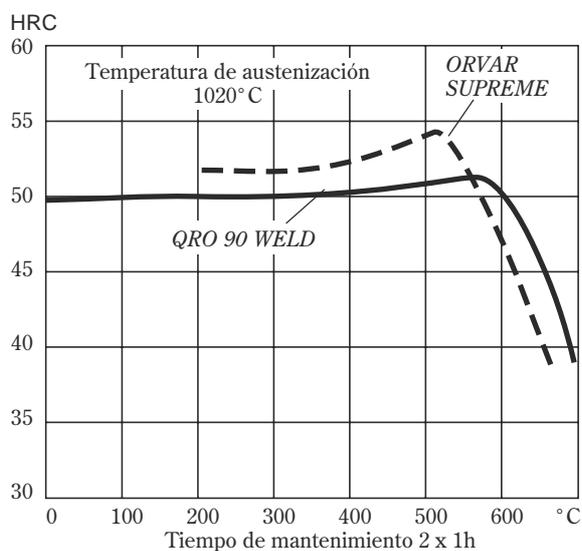


Fig. 5. QRO 90 WELD ofrece una resistencia al revenido superior a la de la calidad de acero base H13 (ORVAR SUPREME).

STAVAX WELD/TIG WELD e IMPAX WELD/TIG WELD corresponden exactamente a su correspondiente calidad de acero para moldes y ofrecen unos resultados perfectos después de pulir o texturizar un molde soldado.

### PULIBILIDAD

Para moldes de plástico que requieran ser pulidos una vez aplicada la soldadura, es esencial que el metal de soldadura no difiera enormemente en composición o dureza con el acero base. Si ello fuera así, se apreciaría una línea después de realizar el pulido, lo cual crearía una marca de debilidad en la pieza plástica.

La soldadura en *IMPAX SUPREME* y *STAVAX ESR* realizadas con *IMPAX* o *STAVAX WELD* (o *TIG WELD*) no va a apreciarse después del fotograbado, siempre y cuando sea utilizado el procedimiento de soldadura correcto.

### APTITUD DE FOTOGABADO (TEXTURIZADO)

El metal de soldadura y el material base, deben ser también de composición similar en la superficie soldada de un molde de plástico que deba ser texturizado mediante fotograbado. Si no es así, la respuesta al grabado variará entre la zona soldada y el metal base y resultará en una marca de debilidad en el componente de plástico. Las soldaduras realizadas en *IMPAX SUPREME* y *STAVAX ESR* con *IMPAX* o *STAVAX WELD* (o *TIG WELD*) normalmente no pueden distinguirse después de realizar el fotograbado, teniendo en cuenta que se haya utilizado el proceso de soldadura adecuado.

## ¡ Cuidado con el hidrógeno!

La soldadura en acero para herramientas cuenta con alta dureza y es por tanto, especialmente susceptible a roturas frías derivadas por la entrada de hidrógeno durante la operación de soldadura. En muchos casos, el hidrógeno se genera como resultado del vapor de agua siendo absorbido por el recubrimiento higroscópico de los electrodos MMA (Fig. 6).

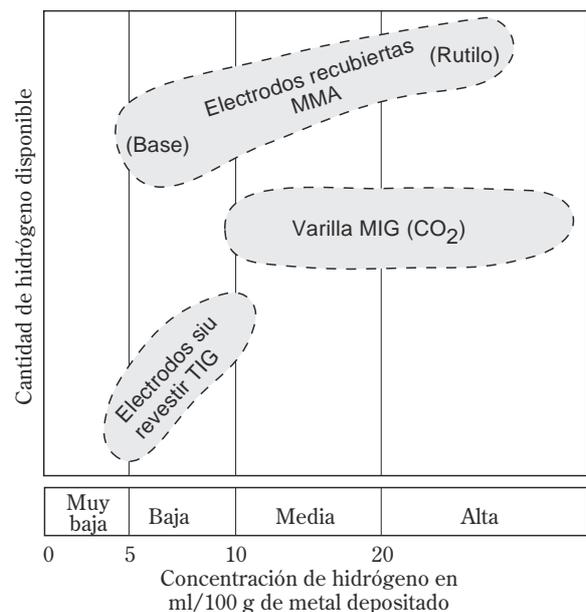


Fig. 6. Cantidades típicas de hidrógeno disponible y contenido de hidrógeno en el metal de soldadura, para diferentes procesos de soldadura y tipos de electrodo.

La susceptibilidad de una soldadura a las roturas por hidrógeno dependen de:

- La microestructura del metal de soldadura (las distintas microestructuras tienen distinta sensibilidad al hidrógeno)
- La dureza del acero (cuanto mayor es la dureza mayor es la susceptibilidad)
- Nivel de tensiones
- La cantidad de hidrógeno que puede difundirse aportado durante la operación de soldadura.

### MICROESTRUCTURA / DUREZA

Las microestructuras características que dan una alta dureza en las zonas afectadas por el calor y por el metal de soldadura, es decir, martensita y bainita, son particularmente sensibles a una fragilidad por causa del hidrógeno. Aunque esta susceptibilidad es tan solo de forma marginal, siendo aliviada mediante un revenido.

### NIVEL DE TENSIONES

Las tensiones en la soldadura son creadas por tres puntos importantes:

- Contracción durante la solidificación de la cavidad fundida.
- Diferencia de temperatura entre la soldadura, la zona afectada por el calor y el acero base.
- Transformación de tensiones cuando la soldadura y la zona afectada por el calor se temple durante el enfriamiento.

En general, el nivel de tensiones en la zona próxima a la soldadura alcanzará el límite elástico máximo, que para el acero templado para herramientas es realmente muy alto. Es muy difícil poder hacer alguna cosa para evitarlo, pero posiblemente puede mejorarse algo la situación mediante un diseño adecuado de la soldadura (situación de las capas y secuencia de pasadas). Aunque ninguna medida, para reducir las tensiones ayudará, si la soldadura está seriamente contaminada por hidrógeno.

### CONTENIDO EN HIDROGENO DIFUSIBLE

En cuanto a la susceptibilidad de la soldadura a las roturas en frío se refiere, este es el factor más sencillo por el que se puede realizar alguna acción. Añadiendo una cierta cantidad de simples precauciones, la cantidad de hidrógeno introducida durante la soldadura puede verse reducida de forma apreciable.

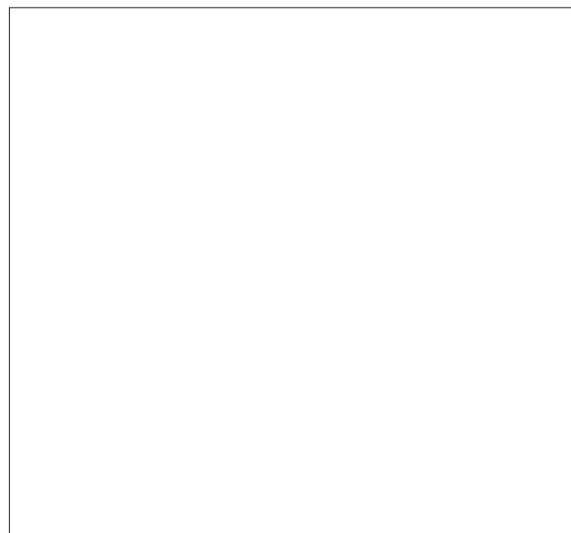
- Almacenar siempre los electrodos recubiertos en una cabina con calor, una vez el envoltorio de los electrodos ha sido abierto. (Mencionado anteriormente.)
- La contaminación sobre las superficies de la junta de los alrededores en la superficie del utillaje, por ejemplo, aceite, óxido o pintura, es una fuente de hidrógeno. Por tanto, las superficies de la junta y del utillaje adyacentes a la zona de soldadura deberán rectificarse hasta encontrar el metal limpio, inmediatamente antes de empezar a soldar.
- Si se realiza el precalentamiento con un soplete de propano, deberá recordarse que ello puede causar formación de humedad en las superficies del utillaje que no estén directamente impregnadas por la llama.

## Temperatura de trabajo elevada

La razón básica por la que se suelda el acero para utillajes a temperaturas elevadas, deriva de la alta templabilidad y por tanto de la sensibilidad a las roturas en la soldadura del acero para utillajes y de las zonas afectadas por el calor. La soldadura en un utillaje frío causará un rápido enfriamiento del metal soldado y de la zona afectada por el calor entre las distintas pasadas, con el resultado de la transformación en martensita frágil y riesgo de grietas. Las grietas formadas en la soldadura podrían propagarse a través de todo el utillaje si éste está frío. Por tanto, el molde o matriz debería mantenerse durante la operación de soldadura a 50–100°C sobre la temperatura  $M_s$  (temperatura de iniciación de martensita), para el acero en cuestión; hay que hacer constar, estrictamente hablando, que la temperatura crítica es la temperatura  $M_s$  del metal de soldadura, y ésta puede que no sea la misma que la del metal base.

En algunas ocasiones, puede ser que el acero base esté templado y haya sido revenido a una temperatura inferior que la temperatura  $M_s$ . En éste caso, el precalentar el utillaje para realizar la operación de soldadura causaría un descenso de dureza. Por ejemplo, la mayoría de los aceros para aplicaciones de trabajo en frío revenidos a baja temperatura deberán ser precalentados, hasta alcanzar una temperatura que exceda a la temperatura de revenido, que normalmente está alrededor de los 200°C. El descenso de dureza deberá aceptarse, a fin de realizar un precalentamiento adecuado y mitigar el riesgo de aparición de grietas durante la operación de soldadura.

Durante la soldadura múltiple de un utillaje precalentado de forma adecuada, la mayor parte de la soldadura permanecerá en forma austenítica



*Precalentamiento en una cámara aislada.*

durante toda la operación de soldadura y se transformará lentamente, a medida en que se vaya enfriando el utillaje. Ello asegura una dureza y microestructura uniforme durante toda la operación de soldadura, en comparación con la situación en la que cada pasada se transforma en martensita entre paso y paso (aparte del riesgo de grietas en el último momento).

Está claro, que la total operación de soldadura debe ser completada cuando el utillaje está caliente. Una soldadura parcial, dejando que el utillaje se vaya enfriando y luego precalentando más tarde, hasta concluir el trabajo, no es recomendable puesto que existe un riesgo considerable de rotura del utillaje.

Mientras que es factible precalentar los utillajes en un horno, existe la posibilidad de que la temperatura sea desigual (creando tensiones), y de que ésta descienda excesivamente antes de completar la operación de soldadura (especialmente si el utillaje es pequeño).

El mejor método de precalentar y mantener el utillaje a la temperatura requerida durante la soldadura, es utilizar una cámara aislada con elementos eléctricos en las paredes (mencionado anteriormente).

La figura 7 nos muestra las diferencias en distribución de durezas, en soldaduras realizadas en utillajes precalentados en un horno y en cámara aislada. Queda claro que el utillaje precalentado en un horno muestra una dispersión considerablemente mayor en dureza que en el utillaje precalentado en una cámara aislada.

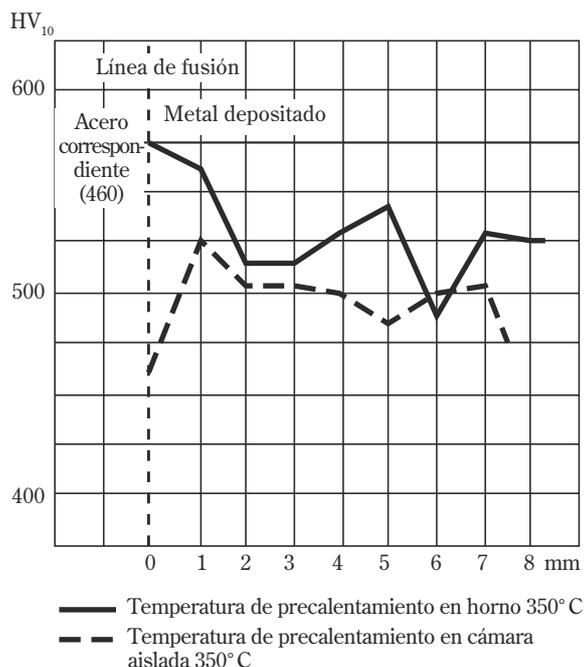


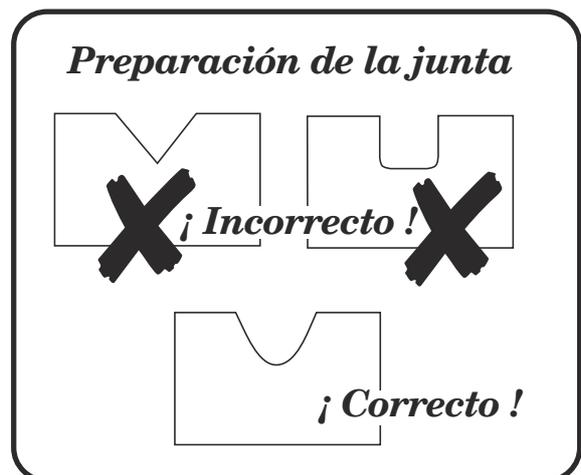
Fig. 7. Distribución de dureza a través de la soldadura utilizando QRO 90 WELD, donde el precalentamiento se ha realizado en un horno y en una cámara aislada.

## Procedimiento de soldadura

Incluso con el mejor de los equipos y con los consumibles más apropiados, los aceros para utillajes no pueden soldarse de forma satisfactoria a menos que se realice una preparación de la junta con sumo cuidado, y se aplique el tratamiento térmico adecuado después de realizar la soldadura.

### PREPARACION DE LA JUNTA

La importancia de una preparación de la junta de forma cuidadosa no debe ser puesta en relieve. Las grietas deben eliminarse mediante rectificado a fin de que la junta se incline en un ángulo de al menos 30° C hacia la vertical. El espesor del fondo de la junta debe ser de un mínimo de 1 mm mayor que el diámetro máximo del electrodo que se va a utilizar.



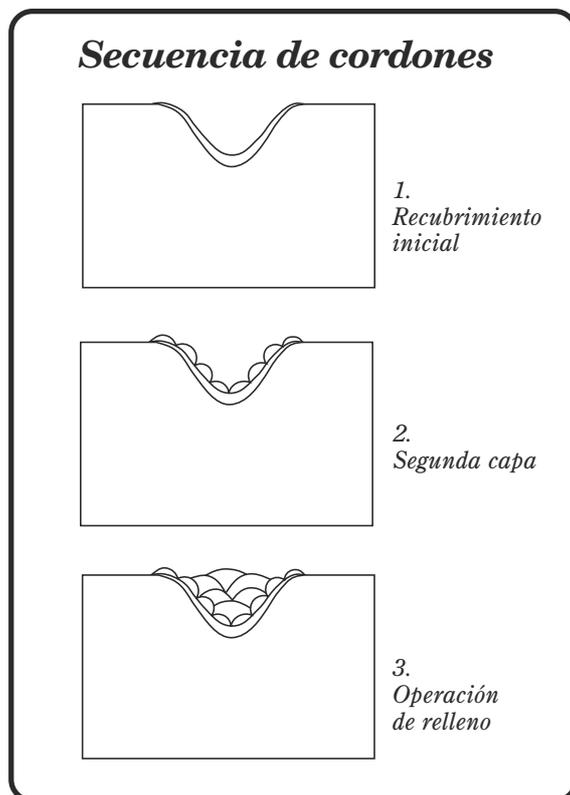
La erosión o los daños por fatiga térmica en aceros para trabajo en caliente deberán eliminarse hasta alcanzar el acero limpio.

Las superficies del utillaje, alrededor de la zona a soldar y la superficie de la misma junta deberán ser todas rectificadas, hasta llegar al metal limpio. Antes de comenzar la soldadura, las áreas rectificadas deberán comprobarse a fondo para asegurar que todos los defectos han sido eliminados. El utillaje debe soldarse inmediatamente que la preparación de la junta esté lista, puesto que de lo contrario existe el riesgo de contaminación de las superficies de la junta con polvo, suciedad o humedad.

### CREACION DE LA SOLDADURA

Primeramente, las superficies de la junta se cubren al crear un numero apropiado de cordones. Esta capa inicial deberá realizarse con un electrodo MMA de pequeño diámetro (máxima 3,25 mm) o mediante soldadura TIG (corriente máxima 120 A).

La segunda capa debe realizarse con el mismo diámetro de electrodo y la misma intensidad de corriente que en la primera capa, a fin de que la zona afectada por el calor no sea demasiado amplia. La idea aquí es que cualquier microestructura dura y frágil, que se pueda formar en la zona afectada por el calor en el material base de la primera capa, será revenida por el calor de la segunda capa y la posibilidad de aparición de grietas se verá por tanto reducida. El resto del cuerpo de la junta puede ser soldado con una corriente más alta y con electrodos de mayor diámetro.



Los cordones finales deberían realizarse bastante por encima de la superficie del utillaje. Incluso pequeñas soldaduras deberían comprender un mínimo de dos cordones. Rectificar luego las últimas pasadas.

Durante la operación de soldadura, el arco deberá ser corto y las capas depositadas en distintas etapas. El electrodo debe estar en un ángulo de 90° hacia los lados de la junta a fin de minimizar la señal de la unión. Además, el electrodo debería sostenerse en un ángulo de 75–80° C en la dirección del movimiento hacia adelante.

El arco debe formarse en la junta y no sobre la superficie de cualquier utillaje que no deba ser soldado. El punto donde se ha formado el arco es probablemente un punto de iniciación de grietas. A fin de evitar poros, el punto inicial de formación del arco deberá estar completamente fundido al iniciar la soldadura. Si se inicia de nuevo, con un electrodo MMA utilizado parcialmente, la punta deberá limpiarse de escoria; ello ayuda a la formación del arco al mismo tiempo que la potencial fuente de porosidades es eliminada.

Al reconstruir cantos o esquinas, puede ahorrarse tiempo y consumibles utilizando un trozo de chapa de cobre o grafito como soporte para el metal de soldar (Fig. 8). Utilizando éste tipo de soporte significa también que la zona fundida está más caliente, lo cual reduce el riesgo de formación de poros (es necesario utilizar corrientes bajas al reconstruir cantos agudos o esquinas).

Si se utiliza un soporte de cobre o grafito, deberá permitirse un extra de 1,5 mm entre el soporte y la superficie de la soldadura requerida, puesto que la escoria toma una cierta cantidad de espacio (soldadura MMA).

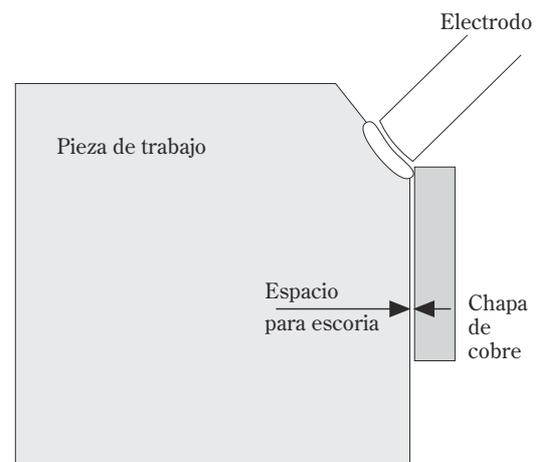


Fig. 8. Chapa de cobre como soporte de la soldadura al reconstruir esquinas.

Para realizar la reparación o ajustes de un utillaje costoso, por ejemplo en un molde de plástico con una cavidad pulida o texturizado, es esencial que exista un buen contacto entre el cable de retorno y el utillaje. Un pobre contacto da problemas con el arco secundario y la costosa superficie puede verse dañada por los puntos de formación del arco. Este tipo de utillajes deberían situarse sobre una placa de cobre la cual proporciona el mejor contacto posible. La chapa de cobre deberá ser precalentada al mismo tiempo que el utillaje.

La o las soldaduras una vez completadas deberán limpiarse cuidadosamente y examinarse antes de permitir que el utillaje se enfríe. Cualquier tipo

de defecto, como el punto en que se ha formado el arco o la indentación, deberán solucionarse inmediatamente.

Una vez se ha enfriado el utillaje, la superficie de la soldadura puede ser rectificada hasta alcanzar el nivel de los alrededores del utillaje antes de pasar a otro proceso.

Moldes que requieran que la zona soldada sea pulida o fotograbada, deberán tener los cordones finales de soldadura realizados con soldadura TIG, ya que tiene menor posibilidad de poros o inclusiones en el metal depositado.

---

#### TRATAMIENTO TÉRMICO DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA

---

Dependiendo de la condición inicial del utillaje, los siguientes tratamientos térmicos pueden ser realizados después de aplicar la soldadura.

- Revenido
- Recocido blando, luego temple + revenido como de costumbre
- Liberación de tensiones (estabilizado).

#### Revenido

Los utillajes templados reparados mediante soldadura deberían, si es posible ser revenidos después de soldar.

El revenido mejora la tenacidad del metal de soldadura, y es particularmente importante cuando la zona soldada está sujeta a grandes tensiones durante el trabajo, (por ejemplo en utillajes para aplicaciones de trabajo en frío y trabajo en caliente).

La temperatura de revenido debería seleccionarse para que la dureza del metal de soldadura y el acero base sean compatibles. Una excepción de ésta regla aparece cuando el metal de soldadura exhibe de forma apreciable, una mejorada resistencia al revenido sobre el material base (por ejemplo *ORVAR SUPREME* soldado con QRO 90 WELD); en éste caso, la soldadura debe ser revenida a la temperatura más alta posible en concomitancia con el acero base que retiene su dureza (normalmente 20° C por debajo de la temperatura anterior de revenido).

Los folletos informativos de productos de Uddeholm para soldadura y aceros para herramientas, ofrecen las curvas de revenido, mediante las cuales las condiciones de revenido para utillajes soldados pueden ser verificadas.

Pequeñas reparaciones no necesitan ser revenidas después de aplicar la soldadura; aunque de todas formas, debería realizarse siempre que sea posible.

#### Recocido blando

Los utillajes soldados para acoplar unos cambios de diseño concretos, o por causa de errores de mecanizado durante la fabricación del utillaje, y que se encuentran en condición de recocido blando, necesitarán ser tratados térmicamente después de aplicar la soldadura. Puesto que el metal de soldadura se habrá templado durante el enfriamiento de la soldadura siguiente, es muy deseable recocer la soldadura antes de templar y revenir el utillaje. El ciclo de recocido blando utilizado es el recomendado para el acero base. La zona soldada puede ser entonces mecanizada y el utillaje puede acabarse y tratarse térmicamente en la forma habitual. Aunque, el utillaje pueda acabarse simplemente rectificando la soldadura, se recomienda realizar el recocido blando a fin de mitigar el riesgo de grietas durante el tratamiento térmico.

#### Liberación de tensiones (estabilizado)

En algunas ocasiones, el estabilizado se lleva a cabo después de realizar la soldadura a fin de eliminar las tensiones residuales. Para reparaciones grandes de soldadura, o en las que ha habido grandes tensiones, ello es una precaución importante. Si la soldadura tiene que ser revenida o debe realizarse un recocido blando, entonces no se requiere normalmente aplicar un estabilizado. De todas formas, el acero pretemplado, como por ejemplo *IMPAX SUPREME* soldado con *IMPAX WELD* o *IMPAX TIG WELD*, deberá someterse a un estabilizado después de realizar la soldadura puesto que no se aplica normalmente ningún tratamiento térmico.

La temperatura de estabilizado debe seleccionarse de modo que ni el acero base ni el área soldada queden demasiado blandos durante el proceso. Si *IMPAX SUPREME* debe mecanizarse posteriormente a la soldadura, es absolutamente esencial que el molde esté estabilizado a fin de conseguir la estabilidad dimensional adecuada.

Las reparaciones o ajustes pequeños normalmente no requerirá ningún tipo de estabilizado.

Tratamiento térmico de un molde de fundición inyectada después de realizar la operación de soldadura

Las tablas siguientes ofrecen detalles sobre reparación o ajustes mediante soldadura de utillajes realizados con calidades de acero de Uddeholm para trabajo en caliente, moldes de plástico o en aplicaciones de trabajo en frío.

## REPARACION DE ACERO PARA TRABAJO EN CALIENTE MEDIANTE SOLDADURA

Acero de Uddeholm	Condición	Método de soldadura	Consumibles	Temp. de precalentamiento	Dureza soldadura	Tratamiento térmico	Notas
VIDAR SUPREME	Recocido blando	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	Tratamiento térmico. Consultar fichas técnicas para acero adecuado
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Recocido blando	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	
QRO 90 SUPREME	Recocido blando	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	
ALVAR 14	Pretemplado	MMA*	UTP 73G4 ESAB OK 83.28	225–275°C	340–390 HB 340–390 HB	Ninguno	Estabilizado grandes reparaciones
VIDAR SUPREME	Templado	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	10–20°C por debajo temperatura original revenido
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Templado	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	
QRO 90 SUPREME	Templado	MMA*	QRO 90 WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	

\* Soldadura por arco con electrodo protegido (MMA).

Acero de Uddeholm	Condición	Método de soldadura	Consumibles	Temp. de precalentamiento	Dureza soldadura	Tratamiento térmico	Notas
VIDAR SUPREME	Recocido blando	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	Temperatura térmico. Consultar fichas técnicas para acero adecuado
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Recocido blando	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	
QRO 90 SUPREME	Recocido blando	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Recocido blando	
ALVAR 14	Pretemplado	TIG	UTPA 73G4 ESAB OK Tigrod 13.22	225–275°C	340–390 HB 340–390 HB	Ninguno	Estabilizado grandes reparaciones
VIDAR SUPREME	Templado	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	10–20°C por debajo temperatura original revenido
ORVAR SUPREME/ ORVAR 2 Microdized	Templado	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	
QRO 90 SUPREME	Templado	TIG	QRO 90 TIG-WELD	Min. 325°C	48–51 HRC	Revenido	

## REPARACION DE ACERO PARA MOLDES DE PLASTICO MEDIANTE SOLDADURA

Acero de Uddeholm	Condición	Metodo de soldadura	Consumibles	Temp. de recalentamiento	Dureza soldadura	Tratamiento térmico	Notas
STAVAX ESR	Recocido blando	MMA* (SMAW)	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Recocido blando	Tratamiento T°. Consultar folleto del acero corresp.
STAVAX ESR	Templado	MMA* (SMAW)	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Revenido	Temperatura revenido 200–250°C
IMPAX SUPREME	Pretemplado	MMA* (SMAW)	IMPAX WELD	200–250°C	320–350 HB	Ninguno	Estabilizado en reparaciones importantes
GRANE	Templado	MMA* (SMAW)	UTP 73G2 UTP 67S	225–275°C	55–58 HRC	Revenido	Temperatura revenido 200–250°C
RAMAX S	Pretemplado	MMA* (SMAW)	STAVAX WELD	200–250°C	54–56 HRC	Revenido	Temperatura revenido 590–630°C
HOLDAX	Pretemplado	MMA* (SMAW)	IMPAX WELD	150–200°C	320–350 HB	Ninguno	Estabilizado en reparaciones importantes
ELMAX	Templado	MMA* (SMAW)	Inconel 625 tipo UTP 701	250–300°C	280 HB ca. 56 HRC (inicial y acabando las capas respectivamente)	Revenido a 200°C	Normalmente debería evitarse la soldadura de ELMAX, debido al riesgo de roturas
CALMAX	Recocido blando	MMA* (SMAW)	CALMAX/ CARMO WELD	200–250°C	59–62 HRC	Recocido blando	Consultar folleto de Uddeholm
CALMAX	Templado	MMA* (SMAW)	CALMAX/ CARMO WELD	180–250°C	59–62 HRC	Revenido	Contactar con la oficina de Uddeholm

\* Soldadura por arco con electrodo protegido (MMA o SMAW).

Acero de Uddeholm	Condición	Metodo de soldadura	Consumibles	Temp. de precalentamiento	Dureza soldadura	Tratamiento térmico	Notas
STAVAX ESR	Recocido blando	TIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Recocido blando	Temperatura T°. Consultar folleto del acero corresp.
STAVAX ESR	Templado	TIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Revenido	Temperatura revenido 200–250°C
IMPAX SUPREME	Pretemplado	TIG	IMPAX TIG-WELD	200–250°C	320–350 HB	Ninguno	Estabilizado en reparaciones importantes
GRANE	Templado	TIG	UTPA 73G2 UTPA 67S	225–275°C	55–58 HRC	Revenido	Temperatura revenido 200–250°C
RAMAX S	Pretemplado	TIG	STAVAX TIG-WELD	200–250°C	54–56 HRC	Revenido	Temperatura revenido 590–630°C
HOLDAX	Pretemplado	TIG	IMPAX TIG-WELD	150–200°C	320–350 HB	Ninguno	Estabilizado en reparaciones importantes
ELMAX	Templado	TIG	UTPA 701	250–300°C	ca. 56 HRC	Revenido a 200°C	Normalmente debería evitarse la soldadura de ELMAX, debido al riesgo de roturas
CALMAX	Pretemplado	TIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	200–250°C	58–61 HRC	Recocido blando	Consultar folleto de Uddeholm
CALMAX	Templado	TIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	180–250°C	58–61 HRC	Revenido	Contactar con la oficina de Uddeholm

## REPARACION DE ACERO PARA APLICACIONES DE TRABAJO EN FRIO MEDIANTE SOLDADURA

Acero de Uddeholm	Condición	Metodo de soldadura	Consumibles	Temp. de precalentamiento	Dureza soldadura	Notas
ARNE	Templado	MMA*	AWS E312	200–250°C	300 HB	La capas iniciales deberán soldarse con metal de soldadura blando. Seleccionar consumibles para las capas finales que aporten la dureza necesaria. En <i>FERMO</i> y <i>CARMO</i> , pueden realizarse pequeñas reparaciones con el utillaje a temperatura ambiente.
FERMO	Pretemplado	MMA*	ESAB OK 84.52	200–250°C	53–54 HRC	
RIGOR	Templado	MMA*	UTP 67S	200–250°C	55–58 HRC	
VIKING	Templado	MMA*	Castolin 2	200–250°C	54–60 HRC	
VIKING	Templado	MMA*	Castolin N 102	200–250°C	54–60 HRC	
SVERKER 21	Templado	MMA*	Inconel 625 tipo	200–250°C	280 HB	
SVERKER 3	Templado	MMA*	UTP 67S Castolin 2 Castolin 6	200–250°C	55–58 HRC 56–60 HRC 59–61 HRC	
VANADIS 4	Templado	MMA*	Inconel 625 tipo Castolin 6	200–250°C	280 HB 59–61 HRC	
CARMO	Pretemplado	MMA*	CALMAX/ CARMO WELD	200–250°C	59–62 HRC	
CALMAX		MMA*	Consultar «Soldadura de moldes de Plástico»			

\* Soldadura por arco con electrodo protegido (MMA o SMAW)

**Nota:** Los consumibles con alto contenido en carbono generalmente no son recomendables para utilizar en soldadura MMA debido al riesgo de roturas.

Acero de Uddeholm	Condición	Metodo de soldadura	Consumibles	Temp. de precalentamiento	Dureza soldadura	Notas
ARNE	Templado	TIG	AWS ER 312	200–250°C	300 HB	La capas iniciales deberán soldarse con metal de soldadura blando. Seleccionar consumibles para las capas finales que aporten la dureza necesaria. En <i>FERMO</i> y <i>CARMO</i> , pueden realizarse pequeñas reparaciones con el utillaje a temperatura ambiente. No debería utilizarse UTPA696 y Castotig 5 para más de 4 capas (riesgo de grietas)
FERMO	Pretemplado	TIG	UTPA 67S	200–250°C	55–58 HRC	
RIGOR	Templado	TIG	UTPA 73G2	200–250°C	53–56 HRC	
VIKING	Templado	TIG	Castotig 5	200–250°C	60–64 HRC	
SVERKER 21	Templado	TIG	Inconel 625 tipo	200–250°C	280 HB	
SVERKER 3	Templado	TIG	UTPA 73G2 UTPA 67S UTPA 696 Castotig 5	200–250°C	53–56 HRC 55–58 HRC 60–64 HRC 60–64 HRC	
VANADIS 4	Templado	TIG	Inconel 625 tipo UTPA 73G2 UTPA 696 Castotig 5	200–250°C	280 HB 53–56 HRC 60–64 HRC 60–64 HRC	
CARMO	Pretemplado	TIG	CALMAX/ CARMO TIG-WELD	200–250°C	58–61 HRC	
CALMAX		TIG	Consultar «Soldadura de moldes de Plástico»			

## Información adicional

Información sobre el tratamiento térmico del utillaje una vez aplicada la soldadura, puede obtenerse en los catálogos de consumibles para soldadura y/o en los catálogos de cada acero en cuestión.