

Recomendaciones de soldadura y corte para Toolox[®]





Recomendaciones de soldadura y corte para Toolox®

LOS ACEROS TOOLOX® SE HAN DISEÑADO PARA FAVORECER LAS CARACTERÍSTICAS DE SOLDABILIDAD Y CORTE.

Las siguientes recomendaciones de soldadura y corte se han desarrollado para respaldar todo el potencial de las estructuras soldadas de Toolox®. Al igual que con todos los tipos de acero para ingeniería y herramientas, el nivel de requisitos aumenta con el incremento de dureza del acero. Esto significa que, por ejemplo, Toolox® 44 es completamente soldable, pero es necesario seguir nuestras recomendaciones al pie de la letra.

Cualquier método convencional de soldadura y corte puede utilizarse en estos aceros y pueden soldarse a otros tipos de aceros soldables.

Toolox® está disponible en forma de chapas y barras redondas. Todos los tipos de productos de estos aceros se abordan en este contexto. Se hacen referencias a nuestros documentos de TechSupport y WeldCalc™, que proporcionan más información sobre un tema en concreto. Cada TechSupport proporciona más información sobre una temática determinada, como consumibles adecuados para soldar Toolox®.

El software WeldCalc permite a los usuarios optimizar aún más el rendimiento de soldadura en una situación de soldadura concreta.

TechSupports puede obtenerse en www.ssab.com/download.

Para obtener una licencia de usuario de WeldCalc es necesario registrarse en la misma página web. Tanto TechSupport como WeldCalc son gratuitos.



Recomendaciones de soldadura

PREPARACIÓN DE LA JUNTA

Las preparaciones de la junta pueden llevarse a cabo con métodos tradicionales como el corte térmico, el mecanizado y los pivotes de rectificadas. Si se aplica el corte térmico, debe haber presente una fina capa de óxido o nitruro con un grosor máx. de aprox. 0,2 mm. La capa debe eliminarse antes de realizar la soldadura, generalmente mediante rectificación. Las recomendaciones para el corte térmico se especifican en un apartado diferente.

Además, es posible llevar a cabo el cizallado y el punzonado para grosores de chapa de aprox. hasta 10 mm.

Antes de cada pasada de soldadura, es esencial que la zona de preparación de la junta esté libre de contaminantes como humedad, grasa, óxido y aceite.

SELECCIÓN DE LOS CONSUMIBLES DE SOLDADURA

Los tipos de consumibles inoxidables, sin alear o de baja aleación resultan adecuados. Para estructuras soldadas sometidas a presiones de carga moderadas, por lo general los tipos inoxidables proporcionan las mejores propiedades y normalmente es preferible utilizarlos en estos casos. Este es sobre todo el caso para la soldadura de Toolox® 44.

Los consumibles de baja aleación son la mejor opción para estructuras cuyas juntas se ven expuestas a mayor presión de carga.

Los aspectos que resultan esenciales a la hora de seleccionar consumibles pueden consultarse más abajo. Además, TechSupport n.º 60 aborda diversos ejemplos de diferentes nombres de marcas de consumibles, y proporciona más información detallada sobre la selección de los mismos.

Consumibles de acero inoxidable

Todos los aceros Toolox® pueden soldarse con consumibles de acero inoxidable austenítico del tipo AWS 307 o AWS 309. Estas designaciones de clasificación son válidas para consumibles de todos los métodos de soldadura convencionales.

Tras la soldadura, se obtiene una resistencia aún mayor frente a grietas por hidrógeno en la junta, en comparación con consumibles sin alear o de baja aleación. La microestructura de todo el metal de soldadura da como resultado una alta tenacidad cuyo límite de elasticidad está en torno a 500 MPa. Debido a la alta resistencia a las grietas por hidrógeno, no se aplica ninguna restricción a su contenido de hidrógeno.

Otros beneficios importantes de la soldadura con este tipo de consumibles son:

- Las temperaturas de precalentamiento/entre pasadas, lo que conlleva una temperatura por encima de +20 °C en la junta, así como en el aire circundante, pueden evitarse en todos los productos de Toolox® 33. Toolox® 44 debe soldarse con precalentamiento conforme a la tabla situada más abajo.
- Las operaciones de soldadura pueden realizarse para la soldadura a otros tipos de acero, tanto de baja aleación como sin alear, como por ejemplo:
 - Aceros inoxidables
 - Aceros al manganeso (acero Hadfield)

En este caso, aplique condiciones de soldadura que resulten adecuadas tanto para la calidad Toolox® como para el otro tipo de acero que deba soldarse.

La primera preferencia son los consumibles conforme al tipo AWS 307. La principal diferencia entre ellos es que la resistencia frente al agrietamiento por calor es algo superior al utilizar consumibles del tipo AWS 307 en comparación con el tipo AWS 309.

Los inconvenientes que implica el consumible de acero inoxidable mencionado son los siguientes:

- No es posible realizar el corte por gas en las juntas soldadas. No obstante, tanto el corte por plasma como el corte por láser son factibles en este caso. Si el corte por gas se solicita en este escenario, aplique consumibles sin alear o de baja aleación. El metal de soldadura que se produce mediante los consumibles mencionados anteriormente puede cortarse con todos los métodos de corte térmico.
- Los consumibles son más caros en comparación con las versiones sin alear o de baja aleación.

Consumibles sin alear y de baja aleación

Los consumibles sin alear y de baja aleación deben cumplir los criterios de resistencia especificados, y su contenido de hidrógeno debe ser lo suficientemente bajo.

Los consumibles adecuados están disponibles en una amplia gama de resistencias. En la mayoría de los tipos de aplicación, esto implica tipos con límites de elasticidad en todo el metal de soldadura de hasta aprox. 930 MPa.

A menudo resulta beneficioso aplicar un consumible de baja resistencia con límites de elasticidad de aprox. 500 MPa. Los motivos son los siguientes:

- La resistencia frente a las grietas de hidrógeno en las juntas aumenta aún más
- Una mayor tenacidad en el metal de soldadura a menudo se basa en un consumible con resistencia reducida

Los consumibles de baja aleación con límites de elasticidad de hasta aprox. 930 MPa son factibles y pueden aplicarse para soldar Toolox®. Estos consumibles pueden alcanzar una tenacidad beneficiosa en el metal de soldadura que puede cumplir la tenacidad requerida por las calidades Toolox®.

Para la mayor resistencia posible en el metal de soldadura, es posible soldar Toolox® con consumibles especialmente diseñados para la soldadura de aceros para ingeniería y herramientas. Estos consumibles pueden alcanzar una dureza muy alta en el metal de soldadura. No obstante, por lo general no se hace hincapié en la tenacidad beneficiosa del metal de soldadura para estos productos. Póngase en contacto con SSAB para obtener más información sobre la selección de este tipo de consumibles.

Para todos los tipos de consumibles sin alear y de baja aleación, los criterios de hidrógeno deben ajustarse a un máximo de 5 ml de hidrógeno por 100 g de metal de soldadura para evitar las grietas por hidrógeno en la junta. Hay consumibles para todos los métodos de soldadura que pueden cumplir este requisito.

Todos los electrodos sólidos de soldadura, MAG, TIG y de plasma pueden cumplir los criterios del hidrógeno.

Los consumibles que utilizan un fundente o un revestimiento cuentan con una fuente adicional para la recogida de humedad. En la tabla situada más abajo se mencionan las categorías de consumibles que pueden alcanzar niveles de hidrógeno suficientemente bajos. Esta información sirve como guía general para seleccionar consumibles. La información sobre el potencial de hidrógeno para un consumible específico puede ser proporcionada por su fabricante.

Consumibles con el potencial de alcanzar un contenido de hidrógeno suficientemente bajo para soldar las calidades Toolox®.

Consumibles sin alear y de baja aleación	Tipo de consumibles
Electrodos sólidos (soldadura MAG y TIG)	Todos los tipos
Alambres revestidos fundentes (MAG)	Variantes básicas y de rutilo
Alambres revestidos metálicos (MAG)	Algunos tipos. Consultar la hoja de datos para los consumibles
Consumibles para soldadura por arco de electrodos revestidos (MMA)	Variantes básicas
Consumibles para soldadura por arco sumergido (SAW)	Combinaciones de electrodo básico de fundente/sólido

Consumibles para soldadura, clase EN

	MMA	SAW (solid wire/- flux combinations)	MAG (solid wire)	MAG (all types of tubular cored wires)	TIG
900	EN ISO 18275 (-A) E 89X	EN ISO 26304 (-A) S 89X	EN ISO 16834 (-A) G 89X	EN ISO 18276 (-A) T 89X	EN ISO 16834 (-A) W 89X
800	EN ISO 18275 (-A) E 79X	EN ISO 26304 (-A) S 79X	EN ISO 16834 (-A) G 79X	EN ISO 18276 (-A) T 79X	EN ISO 16834 (-A) W 79X
700	EN ISO 18275 (-A) E 69X	EN ISO 26304 (-A) S 69X	EN ISO 16834 (-A) G 69X	EN ISO 18276 (-A) T 69X	EN ISO 16834 (-A) W 69X
600	EN ISO 18275 (-A) E 62X	EN ISO 26304 (-A) S 62X	EN ISO 16834 (-A) G 62X	EN ISO 18276 (-A) T 62X	EN ISO 16834 (-A) W 62X
500	EN ISO 18275 (-A) E 55X	EN ISO 26304 (-A) S 55 X	EN ISO 16834 (-A) G 55 X	EN ISO 18276 (-A) T 55X	EN ISO 16834 (-A) W 55X
	EN ISO 2560 E 50X	EN ISO 14171 (-A) S 50X	EN ISO 14341 (-A) G 50X	EN ISO 17632 (-A) T 50X	EN ISO 636 (-A) W 50X
400	EN ISO 2560 E 46X	EN ISO 14171 (-A) S 46X	EN ISO 14341 (-A) G 46X	EN ISO 17632 (-A) T 46X	EN ISO 636 (-A) W 46X
	EN ISO 2560 E 42X	EN ISO 14171 (-A) S 42X	EN ISO 14341 (-A) G 42X	EN ISO 17632 (-A) T 42X	EN ISO 636 (-A) W 42X

Limite elastico de consumibles aconsejados por cargas elevadas

Limite elastico de consumibles aconsejados por cargas menos elevadas

Consumibles para soldadura, clase AWS

	MMA	SAW (solid wire/- flux combinations)	MAG (solid wire)	MAG (flux cored wires)	MAG (metal cored wires)	TIG
900						
800	AWS A5.5 E120X	AWS A5.23 F12X	AWS A5.28 ER120S-X	AWS A5.29 E12XT-X	AWS A5.28 E120C-X	AWS A5.28 ER120X
700	AWS A5.5 E110X	AWS A5.23 F11X	AWS A5.28 ER110S-X	AWS A5.29 E11XT-X	AWS A5.28 E110C-X	AWS A5.28 ER110X
600	AWS A5.5 E100X	AWS A5.23 F10X	AWS A5.28 ER100S-X	AWS A5.29 E10XT-X	AWS A5.28 E100C-X	AWS A5.28 ER100X
500	AWS A5.5 E90X	AWS A5.23 F9X	AWS A5.28 ER90S-X	AWS A5.29 E9XT-X	AWS A5.28 E90C-X	AWS A5.28 ER90X
	AWS A5.5 E80X	AWS A5.23 F8X	AWS A5.28 ER80S-X	AWS A5.29 E8XT-X	AWS A5.28 E80C-X	AWS A5.28 ER80X
400	AWS A5.5 E70X	AWS A5.23 F7X	AWS A5.28 ER70S-X	AWS A5.29 E7XT-X	AWS A5.28 E70C-X	AWS A5.28 ER70X

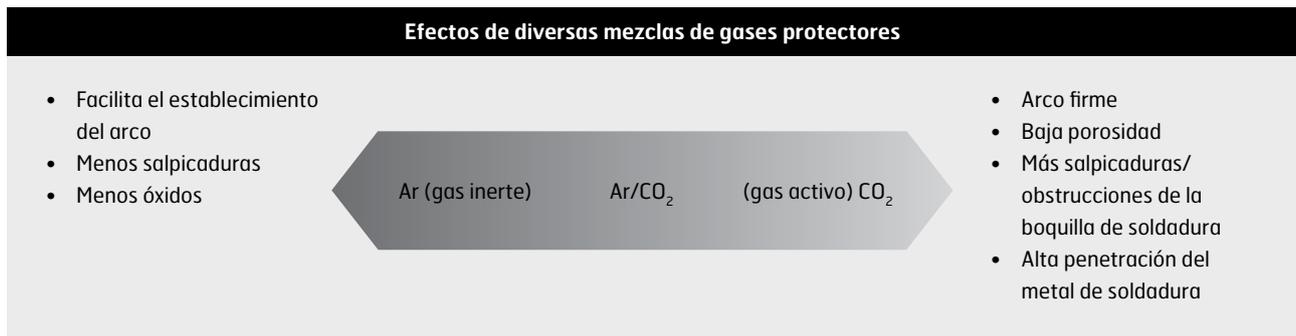
Limite elastico de consumibles aconsejados por cargas elevadas

Limite elastico de consumibles aconsejados por cargas menos elevadas

GAS DE PROTECCIÓN PARA SOLDADURA

Para métodos de soldadura que aplica gas de protección para soldadura, la selección y mezcla de gases depende de la situación de soldadura. Las mezclas de argón (Ar) y dióxido de carbono (CO₂) son las más utilizadas.

En todos los métodos de soldadura basados en gas de protección para soldadura, el caudal del gas protector depende de las condiciones de soldadura. Un flujo de gas demasiado bajo puede ocasionar una protección de gas insuficiente en la fundición. Un flujo de gas excesivo puede resultar turbulento, deteriorando la protección de gas. Como norma general, el caudal del gas de protección para soldadura medido en l/min debe ser igual al diámetro interior de la boquilla medido en mm.



Ejemplos de mezclas de gases protectores

Método de soldadura	Tipo de arco	Posición	Gas de protección para soldadura
Electrodo sólido MAG	Soldadura por cortocircuito	Todas las posiciones	18-25% CO ₂ rest. Ar
Electrodo relleno de fundente MAG	Soldadura por cortocircuito	Todas las posiciones	18-25% CO ₂ rest. Ar
Electrodo sólido MAG	Soldadura por spray	Horizontal (PA, PB, PC)	15-20% CO ₂ rest. Ar
MAG, FCAW	Soldadura por spray	Todas las posiciones	15-20% CO ₂ rest. Ar
MAG, MCAW	Soldadura por spray	Horizontal (PA, PB, PC)	15-20% CO ₂ rest. Ar
MAG robotizada y automatizada	Soldadura por spray	Horizontal (PA, PB, PC)	8-18% CO ₂ rest. Ar
Soldadura TIG	Soldadura por spray	Todas las posiciones	100% Ar

APORTE TÉRMICO

El aporte térmico de un proceso de soldadura describe la energía aplicada/longitud de la junta. El nivel del aporte térmico afecta a las propiedades mecánicas de la junta. El aporte térmico depende del método de soldadura aplicado, así como de los niveles de corriente, voltaje y la velocidad de desplazamiento del proceso de soldadura.

Durante la soldadura se perderá energía en el arco. El factor de eficiencia térmica (k) expresa la proporción de aporte térmico transmitida a la junta. Los diversos métodos de soldadura tienen diferentes eficiencias térmicas conforme a los datos que figuran más abajo. Más abajo se proporcionan valores aproximados de k y cómo se calcula el aporte de calor.

Si tiene requisitos especiales relacionadas con ciertas propiedades mecánicas de las juntas de Toolox®, póngase en contacto con SSAB para obtener asistencia sobre la selección del aporte térmico.

El aporte térmico se calcula según la siguiente fórmula

Most welding procedures are carried out with DC welding. For DC and AC welding, the heat input is calculated according to the following formula.

$$Q = \frac{k \cdot U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000} \quad [\text{kJ/mm}]$$

The heat input for pulsed arc welding can be determined by either of the two following formulas:

$$Q = \frac{k \cdot IE}{L \cdot 1000} \quad [\text{kJ/mm}]$$

$$Q = \frac{k \cdot IP \cdot 60}{v \cdot 1000} \quad [\text{kJ/mm}]$$

Q = Aporte térmico [kJ/mm]

k = Eficiencia térmica [adimensional]

U = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

v = Velocidad de soldadura [mm/min]

L = Length of a weld run [mm]

IE = Instantaneous energy [J]

IP = Instantaneous power [W]

Método de soldadura	Eficiencia térmica k [adimensional]
MAG/GMAW	0.8
MMA/SMAW	0.8
SAW	1.0
TIG/GTAW	0.6

Efectos generales del aporte térmico en una junta soldada

- Mayor tenacidad
- Mayor resistencia
- Menos deformación
- Menos tensiones residuales
- Zona afectada por el calor más estrecha

Menor aporte de calor

Mayor aporte de calor

- Mayor productividad para métodos convencionales de soldadura



Prevención de grietas por hidrógeno

Durante la soldadura, las grietas por hidrógeno pueden formarse en diferentes tipos de aceros, pero se acentúa su importancia para todos los tipos de aceros de alta resistencia, incluyendo Toolox®. El riesgo para este tipo de grieta se minimiza con las siguientes recomendaciones de este folleto.

Desde el punto de vista del acero, la resistencia se relaciona con la composición química del mismo. En general, cuanto menor es el nivel de las aleaciones, mayor es la resistencia a las grietas por hidrógeno. Por lo general, se añaden mayores niveles de aleaciones para obtener:

- Incremento de la dureza y la resistencia del acero
- Propiedades mecánicas uniformes en todo la densidad de la chapa

La influencia del contenido de la aleación puede expresarse mediante el equivalente de carbono para el acero. El equivalente de carbono se expresa normalmente como CEV o CET de acuerdo con las siguientes ecuaciones. Cuanto menor sea el equivalente de carbono, mayor será la resistencia a las grietas por hidrógeno en el acero.

Los niveles típicos y máximos para equivalentes de carbono figuran en nuestra hoja de datos de producto para cada calidad Toolox® y también dependen del espesor/diámetro de la chapa de la calidad de acero. Sin embargo, no hay necesidad de calcular el equivalente de carbono para seguir nuestras recomendaciones de soldadura que le proporcionamos en este folleto.

En las siguientes tablas, los equivalentes de carbono para las calidades Toolox® se comparan con algunos productos de uso común para componentes de herramientas y mecanizados.

Los aceros Toolox® tienen por lo general valores equivalentes de carbono considerablemente menores en comparación con otros aceros para herramientas e ingeniería con niveles comparables de dureza. Como consecuencia, la soldabilidad general de Toolox® es considerablemente mayor en comparación con otros aceros para herramientas/máquinas.



Equivalentes de carbono para Toolox® 33 en comparación con otros aceros para herramientas/máquinas con niveles de dureza similares

Acero	CET [%], valores típicos	CEV [%], valores típicos
Toolox® 33	0,38–0,42	0,63–0,71
AISI: 4140 / EN: 42CrMo4	1,13	1,27
AISI: 4340 / EN: 34CrNiMo6	0,58	0,85
AISI: 1045 / EN: C45	0,52	0,57

Equivalentes de carbono para Toolox® 44 en relación con otros aceros para herramientas/máquinas con niveles de dureza similares

Acero	CET [%], valores típicos	CEV [%], valores típicos
Toolox® 44	0,57	0,96
AISI: H13 / EN: 1,2344	0,83	1,98

$$CET = C + \frac{(Mn+Mo)}{10} + \frac{(Cr+Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [\%]$$

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad [\%]$$

Dos reglas para evitar las grietas de hidrógeno

- 1) Minimizar el contenido de hidrógeno en la junta y alrededor de ella:
 - Cuando sea necesario, aplicar la temperatura correcta de precalentamiento y entre pasadas a la junta
 - Utilizar consumibles de soldadura con un contenido de hidrógeno suficientemente bajo conforme a las recomendaciones de SSAB
 - Mantener la zona de soldadura libre de impurezas
- 2) Mantener los niveles de tensión en la junta y alrededor de ella a niveles suficientemente bajos:
 - Preparar la junta con una pequeña anchura de separación mínima
 - Disponer las secuencias de soldadura de forma que se minimicen las tensiones residuales
 - No utilizar consumibles de resistencias mayores a las necesarias

Recomendaciones de precalentamiento

El precalentamiento es necesario en muchos casos para minimizar el riesgo de las grietas por hidrógeno. El precalentamiento facilita que el hidrógeno salga con mayor rapidez de la junta. Es esencial que se respeten las temperaturas de precalentamiento solicitadas y que el procedimiento se lleve a cabo de forma adecuada. Es esencial que el precalentamiento, cuando sea necesario, se aplique a las soldaduras por puntos. Cada soldadura por puntos debería tener al menos 50 mm de largo. Póngase en contacto con SSAB para obtener más información en caso de que se requieran soldaduras por puntos con menos de 50 mm de longitud.

La necesidad de precalentamiento difiere entre la soldadura con consumibles sin alear o de baja aleación y los consumibles de acero inoxidable.

- Cuando una junta está formada por diferentes espesores de chapa/diámetros de barra de la misma calidad Toolox®, el espesor/diámetro más grueso de la chapa determina la temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas.
- Cuando una calidad Toolox® se suelda a una calidad de acero diferente, la chapa/barra que requiera la temperatura mínima de precalentamiento más alta determina la temperatura mínima de precalentamiento y entre pasadas.
- Si el precalentamiento no figura en la tabla situada más abajo, no es necesario aplicar precalentamiento para aportaciones térmicas en el intervalo de 1,0–1,6 kJ/mm.

La temperatura mínima de precalentamiento para la soldadura de todos los tipos de consumibles recomendados aumenta 25°C en comparación con el diagrama anterior en cada una de las siguientes situaciones.

- Para aportes técnicos en el intervalo de 1,0–1,6 kJ/mm: Si las temperaturas mínimas de precalentamiento por encima de la temperatura ambiente figuran en la tabla situada más abajo.
- Para juntas con niveles de sujeción muy altos.

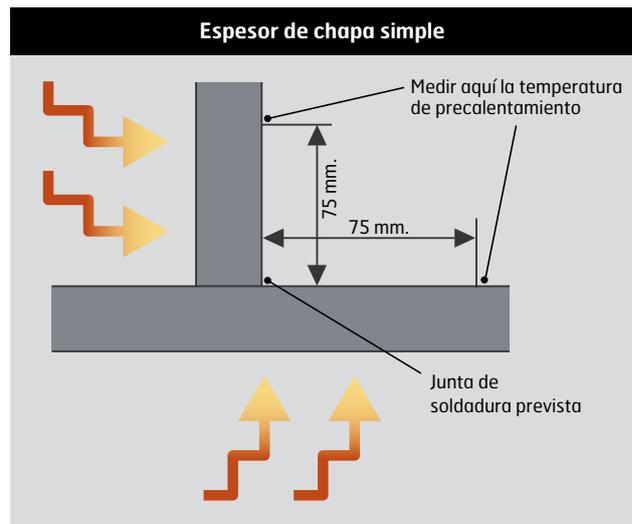
La temperatura de precalentamiento y entre pasadas necesaria se puede lograr de diferentes maneras. La colocación de hornos de calentamiento o elementos de precalentamiento eléctrico alrededor de la junta preparada es normalmente el mejor sistema, ya que proporcionan un calentamiento uniforme de la misma zona. Se debe controlar la temperatura, por ejemplo con un pirómetro o un termómetro de contacto.

- Para temperaturas por debajo de +5°C en el aire circundante y/o en las chapas/barras.
- Cuando la soldadura se ejecuta en un clima muy húmedo.

Póngase en contacto con SSAB para más información si hay presentes más de una de las condiciones expuestas anteriormente.

Las temperaturas mínimas de precalentamiento para la soldadura con aportes térmicos < 1,0 kJ/mm puede, por ejemplo, calcularse con el software WeldCalc, desarrollado por SSAB, o adoptando un estándar relevante para esta medida.

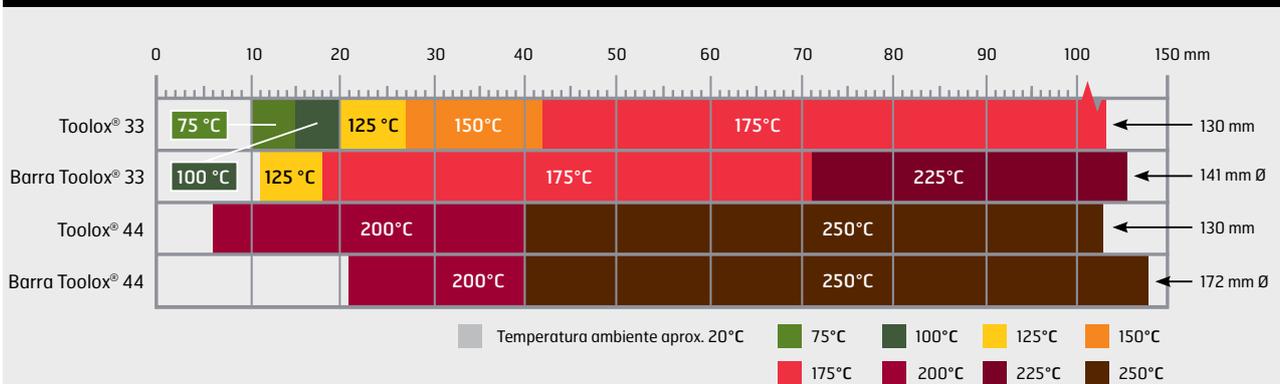
La temperatura máxima de precalentamiento debe ser de +580°C para todos los tipos de rendimiento de soldadura y se aplica a todos los productos de Toolox®. Se especifica para obtener propiedades mecánicas beneficiosas en la junta.



Medir la temperatura de la placa más gruesa de la junta. Espere un mínimo de 2 min/25 mm de espesor antes de medir la temperatura de precalentamiento. La temperatura mínima de precalentamiento debe obtenerse en una zona de 75+75 mm alrededor de la junta de soldadura prevista.

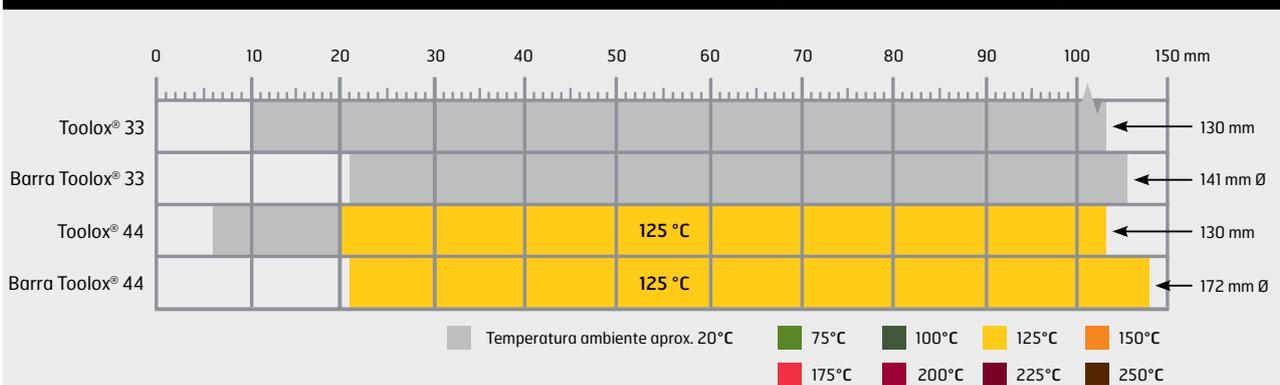


Consumibles de sin alear o de baja aleación – Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas [°C]



*Las tablas son aplicables al espesor de una sola chapa cuando se suelda con una aportación de calor de 1,7 kJ/mm o más. Póngase en contacto con SSAB para obtener más información sobre espesores de chapa que no estén representados en los diagramas. Si nada se menciona, se aplican los consumibles sin alear y de baja aleación.

Consumibles de acero inoxidable – Temperaturas mínimas de precalentamiento y entre pasadas [°C]



*Las tablas son aplicables al espesor de una sola chapa cuando se suelda con una aportación de calor de 1,7 kJ/mm o más. Póngase en contacto con SSAB para obtener más información sobre los espesores de chapa que no están representados en los diagramas. Si no se menciona nada más, se aplican los consumibles sin alear y de baja aleación.

SOLDADURA EN CHAPAS CON PINTURA ANTICORROSION

Las calidades Toolox® se pueden entregar con una imprimación que contrarresta la corrosión. Se puede soldar directamente sobre la imprimación gracias su contenido bajo de cinc. La imprimación se puede eliminar fácilmente mediante cepillado o amolado en la zona de alrededor de la junta. La eliminación de la imprimación antes de la soldadura puede minimizar la porosidad y facilitar la soldadura en posiciones diferentes a la posición horizontal. Si la imprimación permanece durante la preparación de la soldadura, la porosidad aumenta ligeramente. El proceso MAG, con tipos básicos de alambres tubulares de fundente, y el proceso de soldadura MMA proporcionan el menor nivel de porosidad. Al igual que en todas las operaciones de soldadura, se debe asegurar una buena ventilación con el objetivo de evitar efectos perjudiciales para el soldador así como para su entorno. Podrá encontrar más información al respecto en TechSupport no 25.

AGRUPAMIENTOS DE MATERIAL CONFORME A LA NORMA EUROPEA EN 15608

A la hora de realizar cualificaciones de procesos de soldadura, los agrupamientos del acero de todas las calidades Toolox®, incluyendo todo el intervalo de espesor de chapa, pertenece al grupo 3.2.

SOLDAR TOOLOX® A OTROS TIPOS DE ACERO

Cuando se suelda una calidad Toolox® a otros tipos de acero, deben aplicarse condiciones de soldadura que resulten adecuadas para todos los aceros incluidos en la junta.

POST WELD HEAT TREATMENTS (PWHT)

Un proceso de soldadura introduce tensiones residuales en el material. Se puede ejecutar un PWHT si hará falta bajar el nivel de estas tensiones. Podrá por ejemplo ser beneficioso si después la soldadura se hará un mecanizado muy exigente. Normalmente, las propiedades de una estructura soldada de Toolox®, no contiene muchas tensiones y un PWHT no es necesario. Si es decidido hacer un PWHT es aconsejable utilizar los parámetros en la tabla debajo.

Acero	Temperatura de retención [°C]	Frecuencia de calentamiento y refrigeración [°C/h]	Tiempo de espera [min/mm*]	Tiempo adecuado a la temperatura de retención [h]
Toolox® 33	550–590	100	2	1–6
Toolox® 44	540–580	100	2	1–6

*Espesor de chapa única o mín/mm del diámetro

Se puede retirar la imprimación para obtener los resultados óptimos.





Recomendaciones para el corte térmico

El bajo nivel de aleaciones para las calidades Toolox® contribuye a sus propiedades favorables en cuanto a corte térmico, como por ejemplo su alta resistencia a grietas por hidrógeno ocasionadas por el corte. A este respecto, la influencia de las aleaciones en el acero es similar entre la tecnología de corte y de soldadura. Como resultado, los beneficiosos valores equivalentes de carbono de Toolox® proporcionan un aumento de la resistencia a las grietas por hidrógeno durante el corte térmico. La definición de equivalentes de carbono se describe en las recomendaciones de soldadura en el apartado: Prevención de grietas de hidrógeno.

La alta tenacidad inherente de las calidades Toolox® reduce aún más el riesgo de defectos ocasionados durante el corte térmico. En el trabajo industrial, esto permite fabricar formas no cuadrangulares de una forma mucho más productiva que el mecanizado, generalmente exhaustivo, de otros tipos de acero para herramientas y máquinas.

Pueden utilizarse todos los métodos de corte térmico en todos los productos de Toolox®. El corte térmico puede realizarse con el mismo procedimiento y los mismos parámetros que en el corte de aceros al carbono, exceptuando lo siguiente:

- Para el corte por gas y por plasma, deben tomarse medidas para evitar grietas por hidrógeno en el borde de corte y alrededor de él. El corte por plasma solo puede llevarse a cabo con oxígeno como gas de plasma para optimizar la calidad del borde de corte. Si se aplica un gas secundario, hay menos restricciones en la química del gas seleccionada. Tanto el aire como el oxígeno puro son adecuados, además de ser los tipos más comunes.
- Se recomienda el postcalentamiento de la zona de corte para obtener una capacidad de mecanización optimizada. Además, el postcalentamiento incrementa la resistencia frente a grietas por hidrógeno en el borde de corte. El portcalentamiento es preferible para el corte por gas pero generalmente no es necesario para el corte por plasma o por láser.

Los principales motivos de la formación de grietas por hidrógeno provocadas por corte térmico son los mismos que los ocasionados por la soldadura. Esto significa que deben darse las siguientes tres condiciones al mismo tiempo para que se formen las grietas por hidrógeno.

- Una microestructura frágil en la zona afectada por el calor (HAZ) del espécimen que deba cortarse.
- Tensiones residuales demasiado altas en el borde de corte y alrededor de él.

- Presencia de hidrógeno en el acero. Este problema aparece fundamentalmente debido a la química del acero. No obstante, el contenido de hidrógeno de la zona afectada por el calor (HAZ, por sus siglas en inglés) puede reducirse con diferentes medidas.

Se recomiendan las siguientes medidas para evitar las grietas por hidrógeno y/o para optimizar la capacidad de mecanización de una estructura sometida al corte por oxicorte y por plasma. Las medidas figuran en el orden consecutivo en el que deben llevarse a cabo.

- 1. Pre calentamiento en el borde de corte y alrededor de él,** realizado para obtener un aumento de la resistencia frente a grietas por hidrógeno, dado que facilita la migración del hidrógeno desde la zona afectada por el calor hasta las partes circundantes del metal de base.
- 2. Ejecución del corte térmico.**
- 3. Postcalentamiento en el borde de corte y alrededor de él.**
- 4. Refrigeración en aire hacia temperatura ambiente de las piezas.**
- 5. Evaluación del procedimiento de corte realizado.**

Las medidas no 1, 3 y 4 ayudan a incrementar la resistencia frente a grietas por hidrógeno. El motivo es que todas estas medidas fomentan la migración del hidrógeno fuera de la zona afectada por el calor (HAZ, por sus siglas en inglés) hacia el metal de base circundante.

El corte por láser debe llevarse a cabo sin precalentamiento, debido a que:

- No es necesario para evitar las grietas por hidrógeno.
- La calidad del borde de corte disminuirá.

A continuación se incluye información específica sobre el precalentamiento, el postcalentamiento y la evaluación del procedimiento de corte.

Precaentamiento

El precaentamiento en el borde de corte y alrededor de él solo se requiere para evitar las grietas por hidrógeno. Puede llevarse a cabo con diferentes técnicas. Los métodos más comunes conllevan el uso de una de las siguientes técnicas:

- Calentamiento en un horno
- Aplicando sopletes de precaentamiento
- Utilizando alfombrillas eléctricas

Las temperaturas mínimas y máximas de precaentamiento/entre pasadas figuran en la tabla situada más abajo.

El calentamiento en un horno es generalmente el mejor método, dado que permite el calentamiento uniforme de todo el componente. Cuando se utilizan sopletes de precaentamiento, es importante mantenerlos constantemente en movimiento para no exceder la temperatura máxima de precaentamiento del producto Toolox®.

El tiempo mínimo de retención se ajusta por el tiempo que se necesita para que el lado opuesto se caliente para alcanzar la temperatura mínima de precaentamiento. Un ejemplo de una buena práctica es calentar por la noche y comenzar la operación de corte a la mañana siguiente. Asegúrese de que las dos lados de la chapa no alcanzan una temperatura por encima de los valores para las temperaturas máximas de precaentamiento que figuran en la tabla anterior.

Postcaentamiento

Al igual que el precaentamiento, el postcaentamiento facilita aún más la mitigación de hidrógeno de la zona afectada por el calor (HAZ, por sus siglas en inglés). Por ello, el postcaentamiento debe realizarse tan pronto como sea posible tras la finalización del corte y con un intervalo máximo de 60 minutos entre el inicio del procedimiento de corte y el inicio de la operación de postcaentamiento. Es preferible realizar el postcaentamiento en un horno dado que de esa forma es más fácil controlar la temperatura del espécimen.

Las temperaturas altas son conformes a la tabla situada más abajo.

El tiempo a temperatura debe ser de 5 min/mm de espesor de la chapa o al menos 60 min. El tiempo a temperatura debe contarse desde el momento en que la parte central ha alcanzado la temperatura objetivo para el tratamiento térmico. Por lo general, un tiempo a temperatura de 2 horas es suficiente.

Evaluación del procedimiento de corte ejecutado

Calibre su procedimiento de tratamiento de postcaentamiento mediante el control de la dureza del material base y de la zona afectada por el calor. El material de base no debe mostrar deterioros en su dureza. La zona afectada por el calor debe tener la misma dureza, o prácticamente la misma, que el material base no afectado.

FRESADO DE BORDES RESULTANTES DEL CORTE POR GAS

Para reducir aún más el riesgo de las grietas por hidrógeno y para reducir las tensiones, los bordes producidos con el corte por gas pueden eliminarse mediante fresado. En ese caso, es necesario eliminar 10 mm desde el borde de corte para garantizar que no se alcanza el material que no se ha visto afectado. El fresado debe ejecutarse lo antes posible tras el corte térmico.

CORTE CON CHORRO DE AGUA ABRASIVO

El corte con chorro de agua abrasivo (AWJ), por sus siglas en inglés es un método alternativo frente al corte térmico. El corte con chorro de agua abrasivo (AWJ), por sus siglas en inglés puede llevarse a cabo con muy buenos resultados. Dado que el chorro de agua abrasivo (AWJ) no aplica calor durante el corte, el riesgo de que se produzcan grietas de hidrógeno es muy bajo. El corte con chorro de agua abrasivo (AWJ) de productos Toolox® puede llevarse a cabo con los mismos parámetros que el corte de aceros al carbono y no se necesita precaentamiento ni postcaentamiento.

	Precaentamiento		Postcaentamiento
Acero	Temperatura mín. de precaentamiento/entre pasadas [°C]	Temperatura máx. de precaentamiento/entre pasadas [°C]	Intervalo de temperatura para el tratamiento de postcaentamiento [°C]
Toolox® 33	150	580	560–580
Toolox® 44	225	580	560–580

SSAB es una empresa siderúrgica nórdica, que también cuenta con una sede en Estados Unidos. SSAB ofrece productos y servicios de valor añadido desarrollados en estrecha colaboración con sus clientes para crear un mundo más sólido, ligero y sostenible. SSAB proporciona empleo a personas en más de 50 países. SSAB cuenta con instalaciones de producción en Suecia, Finlandia y Estados Unidos. SSAB cotiza en el índice NASDAQ OMX Nordic de la bolsa de valores de Estocolmo y de manera secundaria en el índice NASDAQ OMX Helsinki de Finlandia.

 @tooloxofficial  @toolox  Toolox

SSAB
P.O. Box 70
SE-101 21 Estocolmo
SUECIA

Dirección de visita:
Klarabergsviadukten 70

Teléfono: +46 8 45 45 700
Correo electrónico: contact@ssab.com

toolox.com

SSAB