

Plegado de Strenx[®]

Recomendaciones de expertos para lograr
los mejores resultados del taller.





Plegado de acero de alta resistencia

Esta guía proporciona una serie de garantías y recomendaciones para el plegado del acero de alto rendimiento Strenx® que le ayudarán a obtener los mejores resultados de plegado.

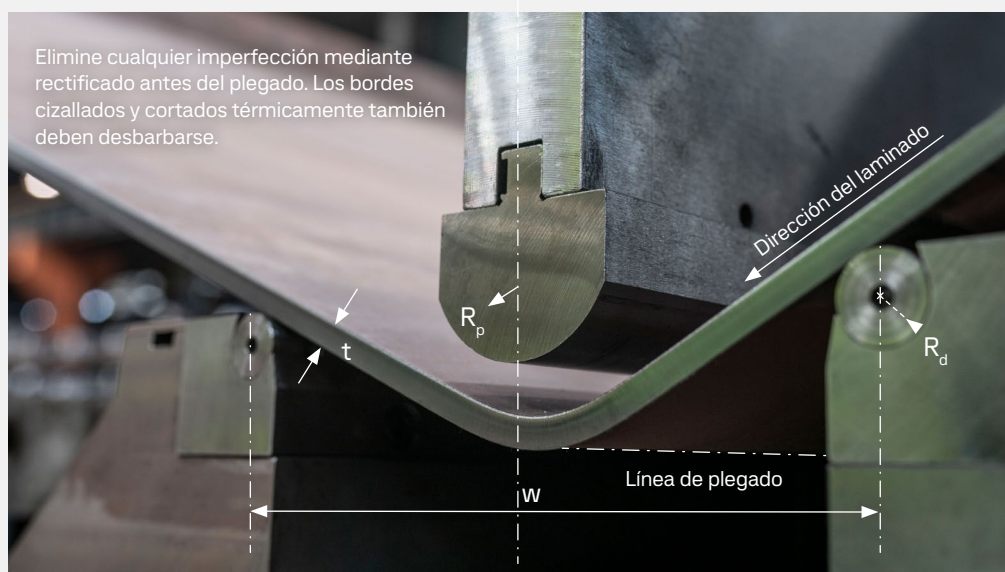
Por lo general, el plegado del acero de alta resistencia es sencillo, pero hay que tener en cuenta ciertos parámetros. Un material de acero de gran pureza con pocas inclusiones es fundamental para lograr un buen resultado de plegado. El moderno procesamiento de SSAB permite alcanzar altos niveles de calidad superficial, tolerancias y propiedades mecánicas.

Preparación antes del plegado

- Compruebe la dirección de laminado de la placa. Si es posible, oriente la dirección de laminado perpendicularmente a la línea de plegado. A menudo, la placa puede plegarse más firmemente de este modo que con la línea de plegado paralela a la dirección de laminado. Véase la Figura 1.
- Compruebe la calidad de la superficie de la placa. Los daños superficiales pueden reducir la capacidad de plegado, ya que podrían provocar fracturas. En el caso de placas pesadas, los defectos de la placa, como arañazos y óxido, pueden eliminarse a menudo con un esmerilado cuidadoso. Las líneas de esmerilado deberían colocarse preferiblemente en sentido perpendicular a la línea de plegado.
- Los bordes cortados térmicamente y los bordes cizallados deben desbarbarse y redondearse con una amoladora.
- Compruebe el estado de las herramientas y asegúrese de que no estén desgastadas más allá de las tolerancias permitidas y de que sus superficies sean lisas.
- Para evitar un desgaste excesivo de la herramienta, ésta debe ser más dura que la pieza de trabajo.
- Compruebe que las herramientas y su configuración se ajusten a las recomendaciones de este folleto.

FIGURA 1

Plegado transversal a la dirección de laminado.



Compruebe la dirección de laminado de la placa. Si es posible, oriente la dirección de laminado perpendicularmente a la línea de plegado. A menudo, la placa puede plegarse más firmemente de este modo que con la línea de plegado paralela a la dirección de laminado.

Revise el estado de sus herramientas. Para evitar un desgaste excesivo de las herramientas, éstas deben ser más duras que la pieza de trabajo. Compruebe que las herramientas y su configuración se ajusten a las recomendaciones de este folleto.

R_d = Radio de entrada del troquel

R_p = Radio del punzón

W = Ancho del troquel

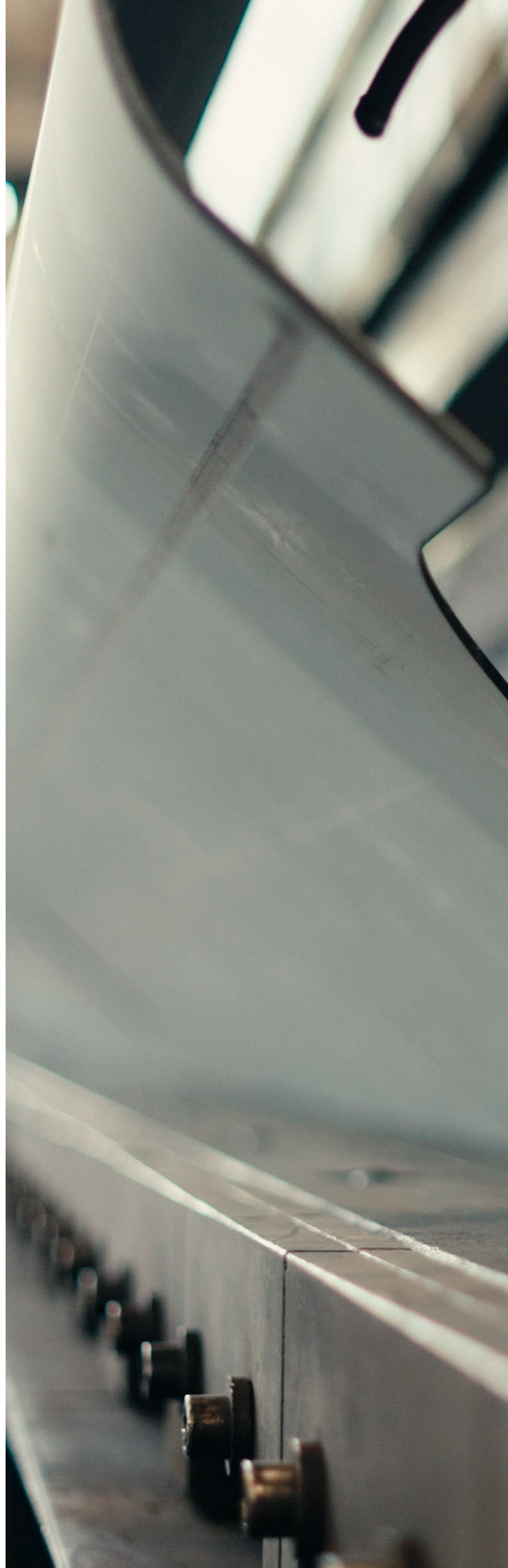
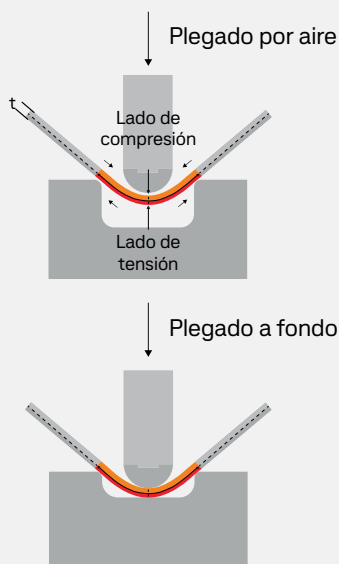
t = Espesor

Tenga en cuenta

- Siempre extreme las precauciones y siga las normas de seguridad locales. Sólo personas cualificadas pueden estar junto o cerca de la máquina. Cuando se esté plegando acero de alta resistencia, nadie debe situarse delante de la prensa plegadora.
- Compruebe que el punzón junto con la pieza no tocan fondo en el troquel. Véase la Figura 2.
- Tenga en cuenta el retorno elástico. Evite volver a plegar la pieza para corregir el ángulo del perfil. La exposición del material a procesos de conformado anteriores reduce considerablemente su capacidad de plegado.
- La fuerza de plegado, el retorno elástico y, en general, el radio interior mínimo garantizado aumentan con la resistencia del acero.
- En muchos productos de placa Strenx®, la identificación de la placa está estampada perpendicularmente a la dirección de laminado. Evite situar la línea de plegado sobre el marcado debido al riesgo de agrietamiento.
- Una limpieza a chorro excesiva puede tener un efecto negativo en la plegabilidad. Las recomendaciones para los productos de placa Strenx® se basan en pruebas con superficies pintadas y limpiadas a chorro.
- Una velocidad de deformación elevada puede provocar un aumento local de la temperatura en la zona de plegado. Esto puede afectar negativamente a la capacidad de plegado, especialmente en espesores superiores a 20 mm. Si es posible, reduzca la velocidad del punzón para disminuir la diferencia de temperatura en la pieza.

FIGURA 2

La diferencia entre el plegado por aire y el plegado a fondo.



Herramientas

Ancho del troquel

El retorno elástico aumenta con la anchura del troquel, mientras que la fuerza de plegado disminuye. Asegúrese de que el ángulo de abertura y la profundidad del troquel permitan el sobreplegado sin que el punzón y la pieza lleguen al fondo del troquel, para compensar el retorno elástico. En muchos casos, una mayor anchura de abertura del troquel puede reducir el nivel de deformación en la zona de plegado. Asegúrese también de que haya suficiente espacio en el troquel para el punzón seleccionado y la pieza durante el plegado, sin deformar el troquel. Las anchuras mínimas recomendadas de abertura del troquel se indican en las Tablas 2 y 3.

El radio de borde del troquel debe ser al menos la mitad del espesor de la placa. Alternativamente, la anchura del troquel debería aumentarse para minimizar la presión en el radio de los bordes del troquel para poder reducir el riesgo de que queden marcas.

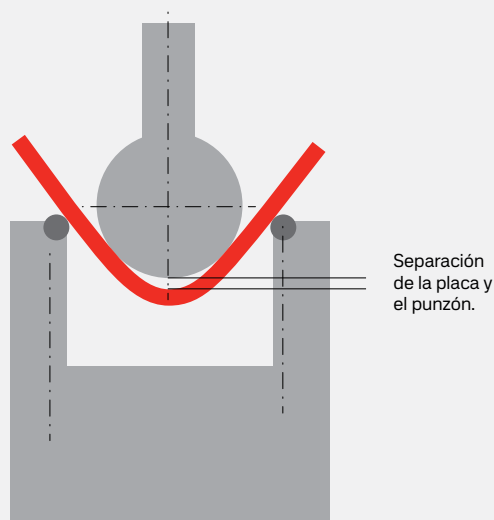
Punzón

El radio del punzón adecuado, junto con la anchura del troquel, son los parámetros más importantes al plegar Strenx®. El radio interior final suele ser ligeramente menor que el radio del punzón. Véase la Figura 3. Este fenómeno es más evidente cuando existe poca fricción entre la placa y las herramientas.

Para un acero con un límite elástico superior a aproximadamente 600 MPa, debe utilizarse un radio de punzón mayor que el radio interior final deseado. Las Tablas 2 y 3 de la página 11 muestran el radio inicial de punzón recomendado para el plegado a 90°, junto con el radio interior mínimo garantizado. Utilice el radio inicial de punzón recomendado para comprobar qué radio interior puede alcanzarse con sus herramientas específicas.

FIGURA 3

Separación de la placa durante el plegado.



Estado de las herramientas

Debido al aumento de la presión de contacto entre la placa y las herramientas al plegar acero de alta resistencia, el desgaste de las herramientas aumenta un poco. Compruebe regularmente que el radio del punzón y el radio del borde del troquel sean constantes. En el caso del material plegado que se ha agrietado durante la fabricación de un componente o pieza, la grieta se ha propagado en muchos casos por el lado de compresión del plegado. Esto puede atribuirse a menudo a un mal estado del punzón. Los bordes del troquel deben permanecer limpios y sin daños.

Estabilidad de la máquina

Cuando se pliega acero de alta resistencia, las fuerzas suelen ser elevadas. La fuerza del punzón actúa sobre la superficie del acero y la fricción entre el acero y las herramientas afectará al resultado del plegado y a la fuerza necesaria.

El coeficiente de fricción estática suele ser mayor que el cinético. Esto puede hacer que la chapa se bloquee sobre el borde de un radio del troquel y, al mismo tiempo, se deslice sobre el otro. De este modo, la pieza se desplaza hacia abajo en el troquel de forma discontinua durante el proceso de plegado. Este fenómeno, denominado "stick-slip" (adhesión-deslizamiento), puede provocar mayores deformaciones en la zona de plegado.

Utilice una máquina estable y una sujeción firme de la herramienta. La lubricación del borde del troquel o el uso de un radio de borde de troquel giratorio pueden ser útiles, ya que evitan el fenómeno de stick-slip (adhesión-deslizamiento) y también reducen la fuerza de plegado.

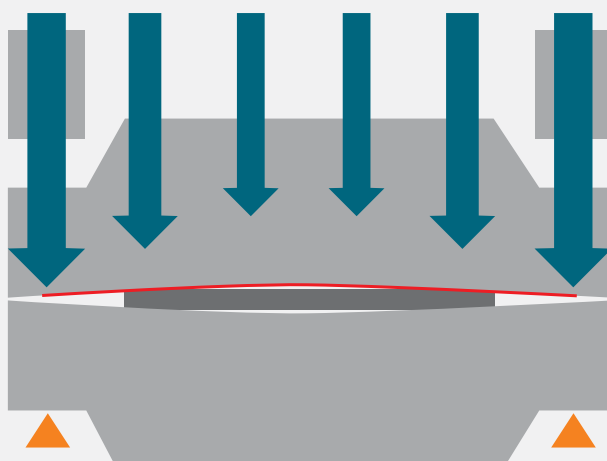
Coronado (Compensación de flecha)

El coronado compensa la deflexión elástica de la máquina de plegado bajo carga. Véase la Figura 4. Las zonas centrales del punzón y del troquel son las que más se deforman. Mediante el coronado, se puede compensar la deflexión (C), con lo que se consigue el mismo ángulo de plegado en toda la longitud de la chapa. Si el perfil de plegado se curva a lo largo de la línea de plegado (B), esto no se puede compensar mediante el coronado.

Tras la descarga, surgen tensiones de compresión en el lado estirado, al mismo tiempo que aparecen tensiones de tracción en el lado comprimido. Véase la Figura 2. La distribución de las tensiones sobre el espesor de la chapa provoca tensiones longitudinales. Son esas tensiones las que tienden a curvar el perfil. La magnitud de la curvatura depende principalmente de la altura del ala y de la rigidez del perfil.

Deben tenerse en cuenta consideraciones adicionales al ajustar el coronado para el plegado por etapas de perfiles largos.

FIGURA 4
Compensación de flecha



La viga superior de la prensa plegadora se flexiona durante el plegado.



A Perfil recto.

B Perfil curvado a lo largo de la línea de plegado.

C Ángulo del perfil curvado.





TABLA 1

Valores típicos de resistencia a la tracción para calcular la fuerza de plegado.

Calidad	Resistencia a la tracción típica (MPa)
Strenx® 100	840
Strenx® 100 XF	800
Strenx® 110 XF	850
Strenx® 700 E/F	850
Strenx® P700	850
Strenx® 700 OME	850
Strenx® 900 E/F	1020
Strenx® 960 E/F	1060
Strenx® 1100 E/F	1420
Strenx® 1300 E/F	1520
Strenx® 600MC D/E	730
Strenx® 650MC D/E	800

Calidad	Resistencia a la tracción típica (MPa)
Strenx® 700MC D/E	850
Strenx® 700MC Plus	820
Strenx® 700 CR	1090
Strenx® 900MC	1070
Strenx® 900 Plus	1040
Strenx® 960MC	1110
Strenx® 960 Plus	1090
Strenx® 960 CR	1200
Strenx® 1100MC	1320
Strenx® 1100 CR	1400
Strenx® 700 HR W	870
Strenx® 700 CR W	1090
Strenx® 960 HR W	1150

Fuerza de plegado

Para realizar una estimación de la fuerza necesaria durante el plegado, debe considerar no solo la longitud de plegado, el espesor de la placa, la anchura del troquel y la resistencia a la tracción, sino también la variación del brazo de palanca

durante el plegado. Se asume que la carga máxima se alcanza a un ángulo de apertura de plegado de 120° con fricción normal (sin lubricación). Se recomienda realizar siempre pruebas.

$$P = \frac{b \times t^2 \times R_m}{(W - R_d - R_p) \times 9\,800}$$

P = Fuerza de plegado (en toneladas métricas)
(1 tonelada métrica equivale a 9,8 kN).

t = Espesor de la placa, mm

W = Ancho del troquel, mm (Figura 1)

b = Longitud de plegado, mm

R_m = Resistencia a la tracción, MPa (Tabla 1)

R_d = Radio de entrada del troquel, mm

R_p = Radio del punzón, mm



SSAB BendCalc

Para obtener los ajustes de plegado correctos para Strenx®, consulte BendCalc de SSAB, el primer software que predice el retorno elástico y la profundidad del punzón. Es gratuito y está disponible en ssab.com.

A partir de las características del acero, la simetría del troquel y de la herramienta, la forma final del plegado y las condiciones de fricción, la aplicación BendCalc le proporciona los resultados en cuestión de segundos:

- Fuerza máxima de plegado
- Retorno elástico
- Profundidad del punzón
- Ángulo de apertura durante la carrera máxima
- Altura mínima de la brida

Puede guardar los resultados y compartir el informe en formato PDF.

Retorno elástico

El retorno elástico aumenta con la resistencia del acero y la relación entre la anchura del troquel y el espesor de la chapa (W/t). El límite elástico del material es el que más influye.

Durante el plegado, se produce una distribución variable de las tensiones residuales en la sección transversal del plegado. El nivel de deformación plástica y la distribución de estas tensiones controlarán la tendencia al retorno elástico. El retorno es totalmente elástico. Para compensar el retorno elástico, el troquel debe tener una forma que permita el sobreplegado sin acuñar el material.

Es muy difícil predecir con precisión el retorno elástico de un material durante el plegado, ya que depende en gran medida de la configuración específica de las herramientas. Por este motivo, se recomienda realizar pruebas. En placas o chapas más delgadas ($t < 10$ mm), el retorno elástico del material puede estimarse dividiendo la resistencia a la tracción (MPa) entre 100. Como condición previa, la abertura del troquel debe tener, como mínimo, la anchura recomendada.

Parámetros que afectan el retorno elástico:

- Límite elástico del material: un mayor límite elástico provoca un mayor retorno elástico.
- Radio del punzón: un radio mayor del punzón provocará un mayor retorno elástico.
- Ancho del troquel: un mayor ancho del troquel provoca un mayor retorno elástico.
- El endurecimiento por deformación del material.

Garantías y recomendaciones de plegado

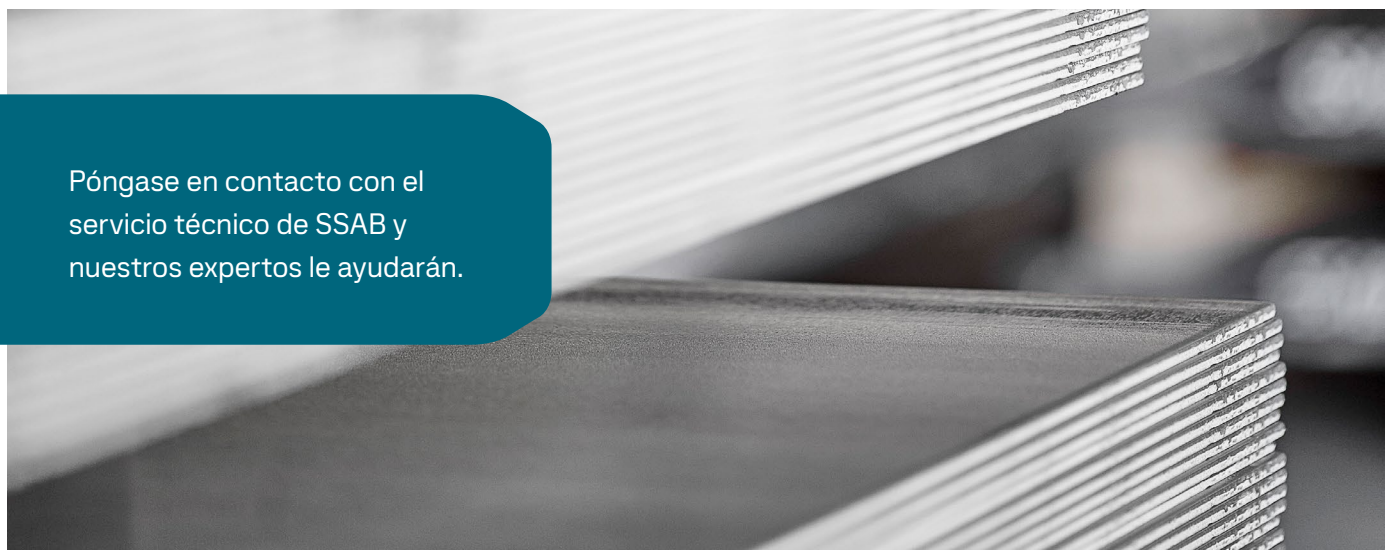
Dado que los productos de SSAB se desarrollan y especializan para distintos tipos de uso, los ensayos de plegado y su evaluación varían ligeramente.

El radio interior mínimo garantizado se indica en las Tablas 2 y 3. También se incluyen valores para el radio inicial de punzón recomendado, que sirve como punto de partida para determinar el radio interior alcanzable con las herramientas y la configuración específicas.

Estas garantías y recomendaciones de plegado se basan en ensayos de plegado en un solo paso a 90° después de la descarga. Las anchuras de abertura de los troqueles son valores orientativos y pueden variar ligeramente.

Para obtener información sobre otros materiales y más datos técnicos, póngase en contacto con el servicio técnico o visite www.ssab.com.

Strenx® se suministra con las prestaciones de plegado que ofrece la garantía Strenx®. Para más información, póngase en contacto con su representante local de SSAB.



Póngase en contacto con el servicio técnico de SSAB y nuestros expertos le ayudarán.

TABLA 2. PLACA STRENX®: GARANTÍAS Y RECOMENDACIONES DE PLEGADO

Las garantías y recomendaciones de plegado para la placa Strenx® se basan en troqueles con rodillos y fricción normal (sin lubricación).
R/t representa el radio (R) dividido por el espesor de la placa (t).

Grado/Producto	Espesor nominal (t) (mm)	Radio interior final mínimo garantizado en la placa		Radio inicial de punzón recomendado		Anchura de abertura del troquel recomendada W/t mínimo
		R _i /t transversal a la dirección de laminado	R _i /t longitudinal a la dirección de laminado	R _p /t transversal a la dirección de laminado	R _p /t longitudinal a la dirección de laminado	
Strenx® 700 E/F	t < 8	1,5	1,8	2,0	2,5	10
Strenx® 100	8 ≤ t < 15	1,5	1,8	2,0	2,5	10
Strenx® P700	15 ≤ t < 20	1,7	2,1	2,0	2,5	12
Strenx® 700 OME	t ≥ 20	2,0	2,2	2,6	2,8	12
Strenx® 900 E/F Strenx® 960 E/F	t < 8	2,3	2,5	2,8	3,0	12
	8 ≤ t < 15	2,3	2,6	2,8	3,2	14
	15 ≤ t < 20	2,4	2,7	2,8	3,2	14
	t ≥ 20	2,8	3,4	3,0	3,5	16
Strenx® 1100 E/F	t < 8	2,8	3,3	3,2	3,6	12
	8 ≤ t < 15	3,4	3,6	3,8	4,0	14
	15 ≤ t < 20	3,4	3,6	3,8	4,0	14
	t ≥ 20	3,7	4,0	4,2	4,5	16
Strenx® 1300 E/F	t < 8	3,1	3,8	3,5	4,0	14
	8 ≤ t ≤ 15	3,6	4,3	4,0	4,5	14

TABLA 3. CHAPA STRENX®: GARANTÍAS Y RECOMENDACIONES DE PLEGADO

Las garantías y recomendaciones de plegado para la chapa Strenx® se basan en troqueles con rodillos y fricción normal (sin lubricación).
R/t representa el radio (R) dividido por el espesor de la chapa (t).

Grado/Producto	Espesor nominal (t) (mm)	Radio interior final mínimo garantizado en la chapa		Radio inicial de punzón recomendado		Anchura de abertura del troquel recomendada W/t mínimo
		R _i /t transversal a la dirección de laminado	R _i /t a lo largo de la dirección de laminado	R _p /t transversal a la dirección de laminado	R _p /t longitudinal a la dirección de laminado	
Strenx® 600MC D/E	t ≤ 3	0,7	0,7	0,7	0,7	10
	3 < t ≤ 6	1,1	1,1	1,1	1,1	10
	t > 6	1,4	1,4	1,4	1,4	10
Strenx® 650MC D/E Strenx® 100 XF	t ≤ 3	0,8	0,8	0,8	0,8	10
	3 < t ≤ 6	1,2	1,2	1,2	1,2	10
	t > 6	1,5	1,5	1,5	1,5	10
Strenx® 700MC D/E Strenx® 110 XF	t ≤ 3	0,8	0,8	1,0	1,0	10
	3 < t ≤ 6	1,2	1,2	1,4	1,4	10
	t > 6	1,6	1,6	1,7	1,7	10
Strenx® 700 HR W	3 ≤ t ≤ 6	1,2	1,2	1,4	1,4	10
	t > 6	1,6	1,6	1,7	1,7	10
Strenx® 700MC Plus	3 ≤ t ≤ 10	1,0	1,0	1,3	1,3	10
	t > 10	1,5	1,5	1,8	1,8	10
Strenx® 900MC	3 ≤ t ≤ 8	3,0	3,0	3,7	4,0	12
	t > 8	3,5	3,5	4,0	4,5	12
Strenx® 900 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3,0	3,0	4,0	4,0	12
Strenx® 960MC	3 ≤ t ≤ 10	3,5	3,5	4,0	4,0	12
Strenx® 960 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3,5	3,5	4,0	4,2	12
Strenx® 960 HR W	3 ≤ t ≤ 6,1	3,5	3,5	4,0	4,0	12
Strenx® 1100MC	3 ≤ t ≤ 8	4,0	4,0	4,7	5,0	14
Strenx® 700 CR Strenx® 700 CR W	0,7 ≤ t ≤ 2,1	2,0	2,0	2,5	2,5	10
Strenx® 960 CR	0,8 ≤ t ≤ 2,1	3,5	3,5	4,5	4,5	12
Strenx® 1100 CR	0,8 ≤ t ≤ 2,1	3,5	3,5	4,5	4,5	14

SSAB es una empresa siderúrgica con sede en los países nórdicos y Estados Unidos. SSAB ofrece productos y servicios de valor añadido desarrollados en estrecha colaboración con sus clientes para crear un mundo más fuerte, ligero y sostenible. SSAB cuenta con empleados en más de 50 países y dispone de instalaciones de producción en Suecia, Finlandia y Estados Unidos. SSAB cotiza en Nasdaq Stockholm y tiene una cotización secundaria en Nasdaq Helsinki.

SSAB

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

Dirección para visitas:
Klarabergsviadukten 70

Tel: +46 8 45 45 700
Email: contact@ssab.com

strenx.com

STRENX[®]
PERFORMANCE STEEL