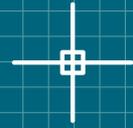
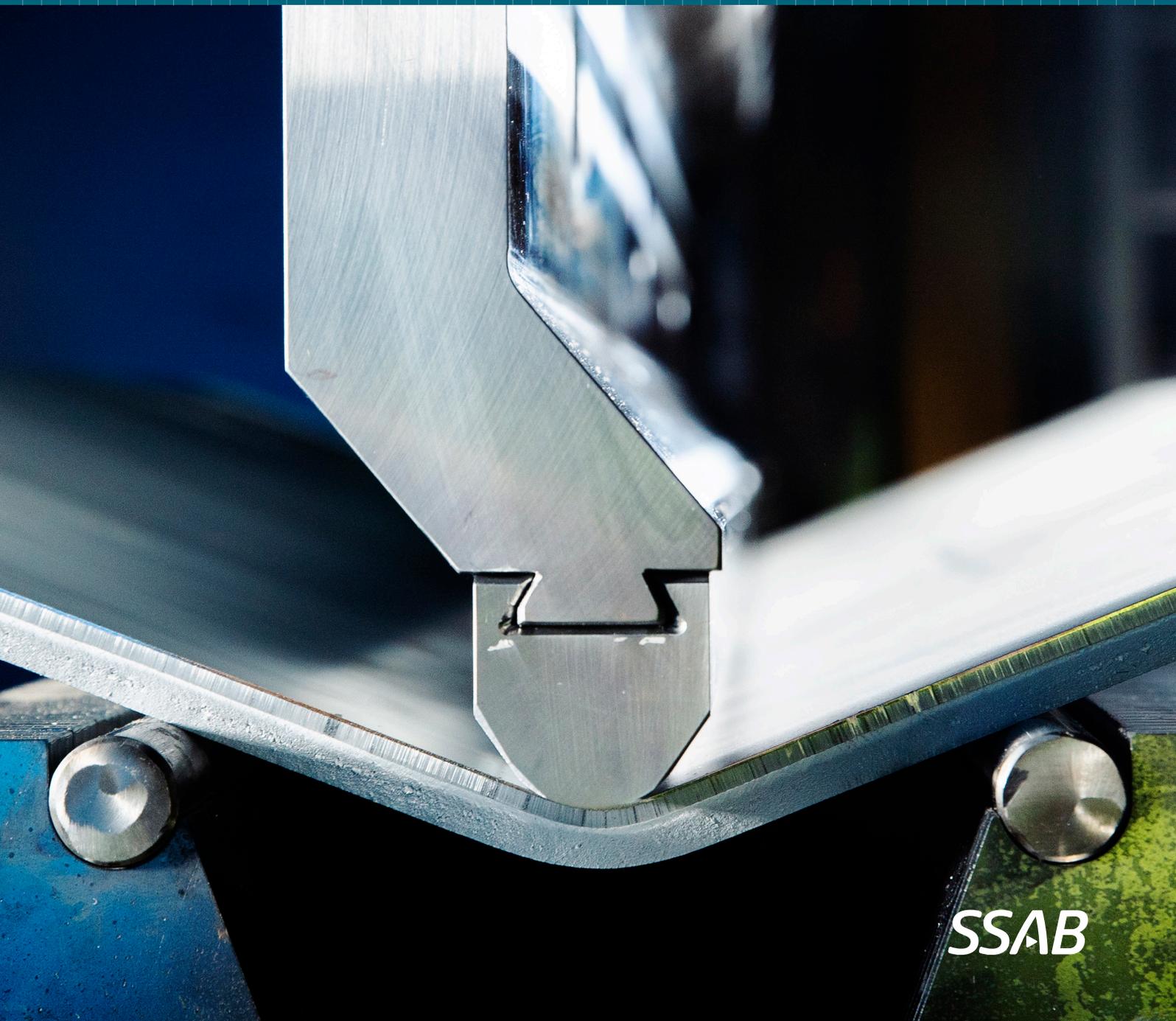


**STRENX**<sup>®</sup>  
PERFORMANCE STEEL



# PLEGADO DE STRENX<sup>®</sup>



**SSAB**

# PLEGADO DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA

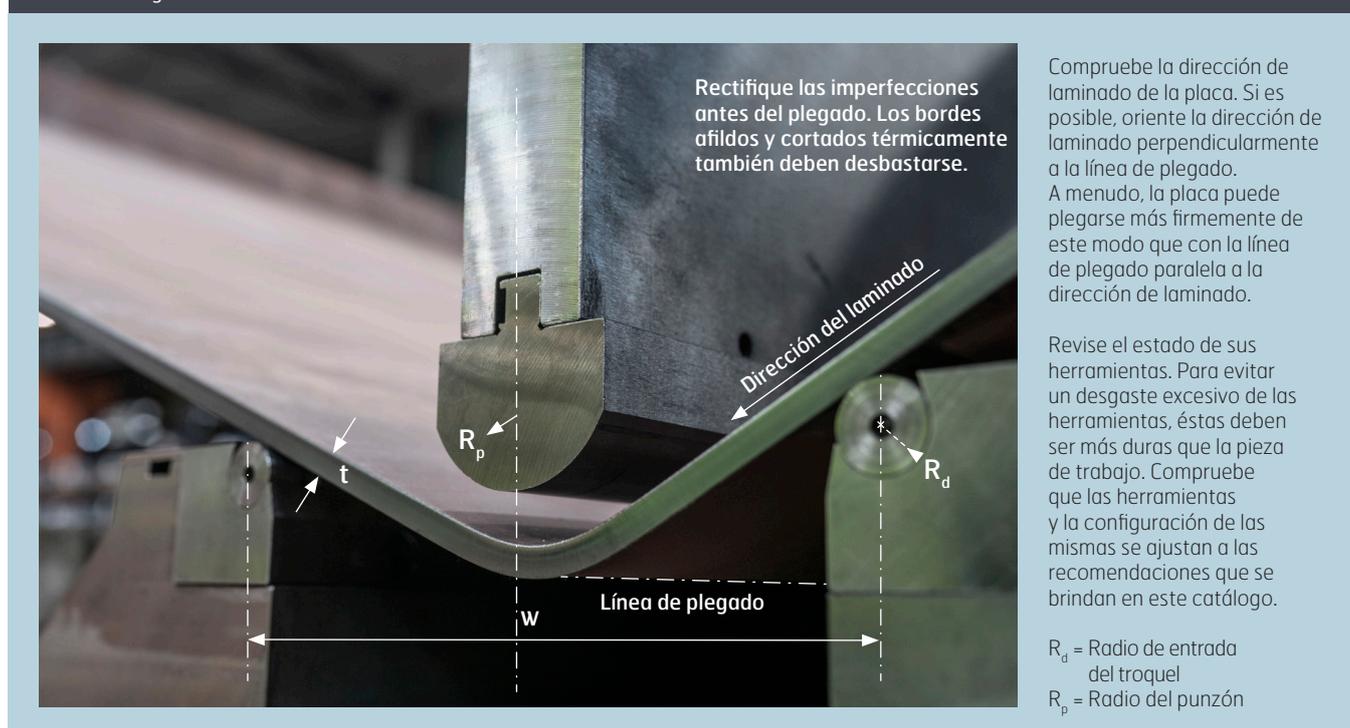
Esta guía proporciona una serie de garantías y recomendaciones para el plegado o doblez del acero de alto rendimiento Strenx® que le ayudarán a obtener los mejores resultados de plegado.

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 y esmerilados térmicamente deben desbarbarse y redondearse con una pulidora.
- Revise el estado de sus herramientas.
- Para evitar un desgaste excesivo de la herramienta, ésta debe ser más dura que la pieza de trabajo.
- Compruebe que las herramientas y la configuración de las mismas se ajustan a las recomendaciones que se dan en este catálogo.

FIGURA 1 Plegado transversal a la dirección de laminado



## TENGA EN CUENTA:

- Siempre exteame 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 el recurvado para corregir el ángulo del perfil. La exposición de un material a procesos de conformado anteriores reduce en gran medida su maleabilidad.
- La fuerza de flexión, el retorno elástico y, en general, el radio mínimo de punzón recomendado aumentan con la resistencia del acero.
- En muchos productos de placas Strenx®, la placa de identificación está estampada perpendicularmente a la dirección de laminado. Evite colocar la línea de plegado sobre el sello de estampado por el riesgo de que se agriete.
- 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.
- Un índice de deformación elevado puede provocar un aumento de la temperatura local en el doblado. Esto podría tener un impacto negativo en la capacidad de flexión, especialmente para espesores superiores a 20 mm. Si es posible, reduzca la velocidad del punzón para disminuir la diferencia de temperatura dentro de la pieza.

## HERRAMIENTAS

### Ancho del troquel

El retorno elástico incrementa al aumentar la anchura del troquel, mientras que la fuerza de flexión se reduce. Asegúrese de que el ángulo de abertura del troquel permite un exceso de plegado, sin que la herramienta llegue al fondo, para compensar el retorno elástico. Un aumento de la anchura de abertura de troquel puede, en muchos casos, reducir el nivel de tensión en el plegado. Asimismo, asegúrese de que en el troquel queda espacio suficiente para el punzón seleccionado y la pieza durante el proceso de curvado para que el troquel no se deforme. Las anchuras mínimas de abertura de troquel recomendadas se indican en las Tablas 2 y 3.

El radio de borde del troquel debe ser al menos la mitad del espesor de la chapa. 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 de punzón adecuado, junto con la anchura del troquel, es el parámetro más importante a la hora de plegar el material Strenx®. Al llevar a cabo el plegado del Strenx®, el radio interior final suele ser un poco menor que el radio del punzón. Véase la Figura 3. Cuando la fricción entre la chapa y las herramientas es baja, este fenómeno se hace más evidente.

Para el acero con un límite elástico superior a unos 600 MPa, debe utilizarse un radio de punzonado mayor que el radio interior que se desee mantener. Las tablas 2 y 3 de la página 7 muestran el radio mínimo recomendado del punzón cuando se pliega a 90°, y el radio interior final que se puede conseguir.

FIGURA 2 La diferencia entre el plegado por aire y el plegado inferior

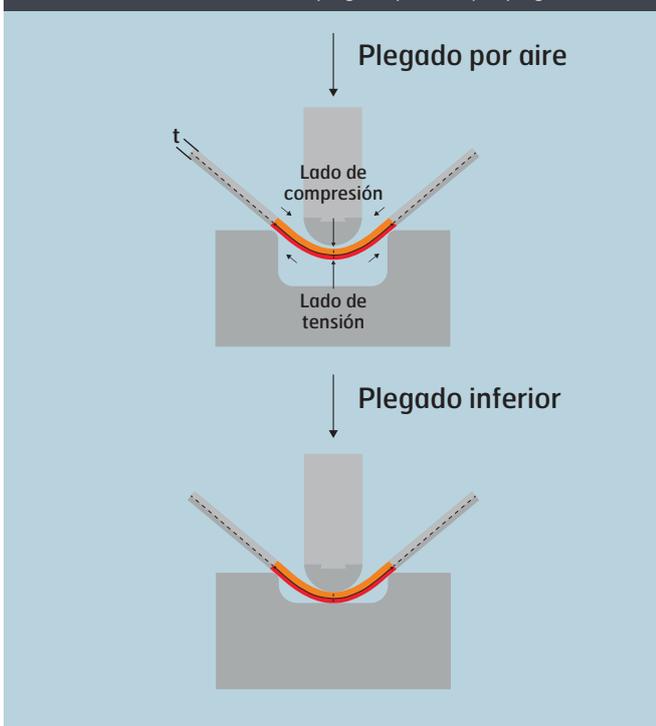
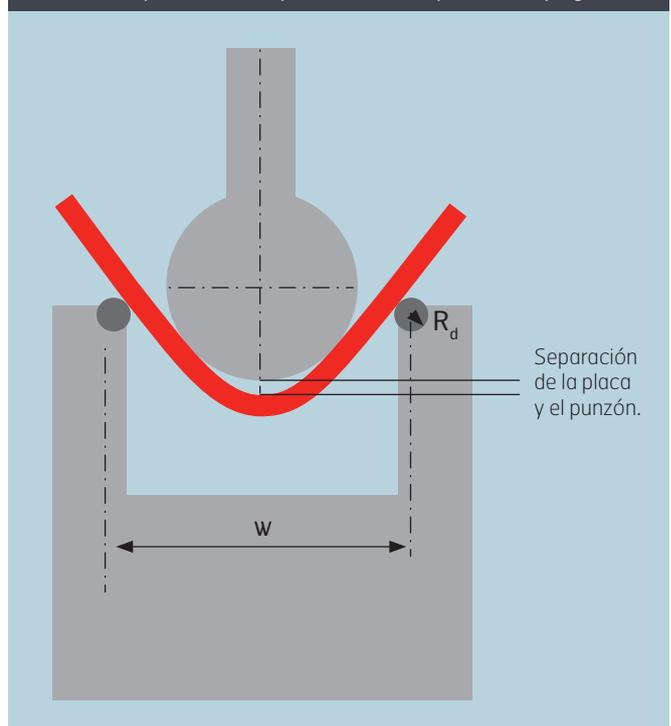


FIGURA 3 Separación de la placa durante el proceso de plegado.



### 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 de la curva. 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 dobla 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 de la flexión 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 tensiones más elevadas en el 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 flexión.

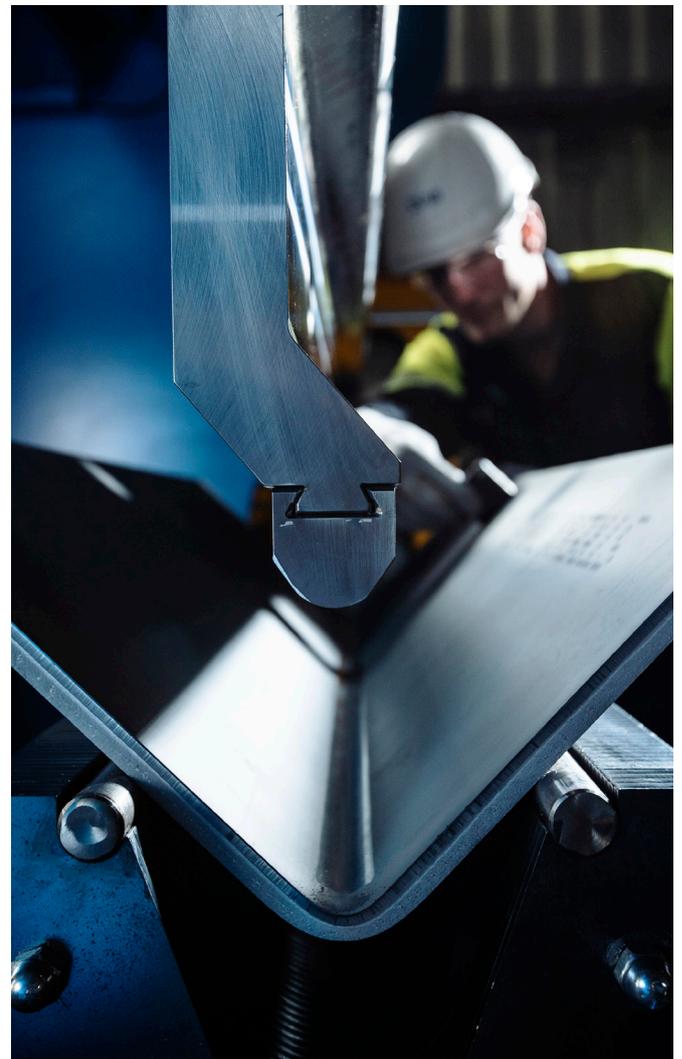
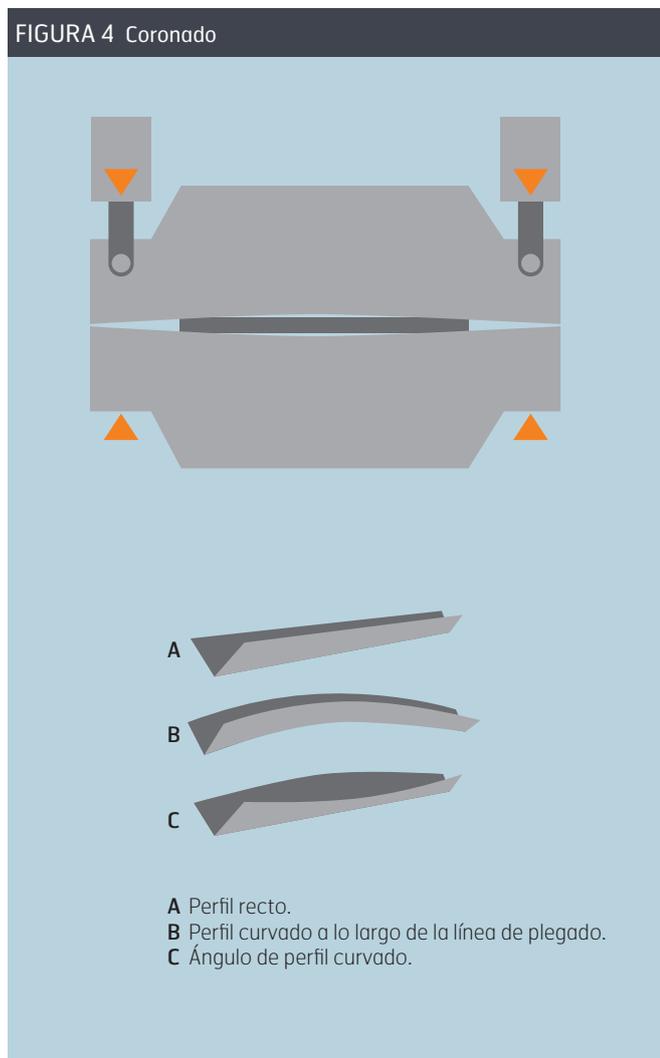
### Coronado

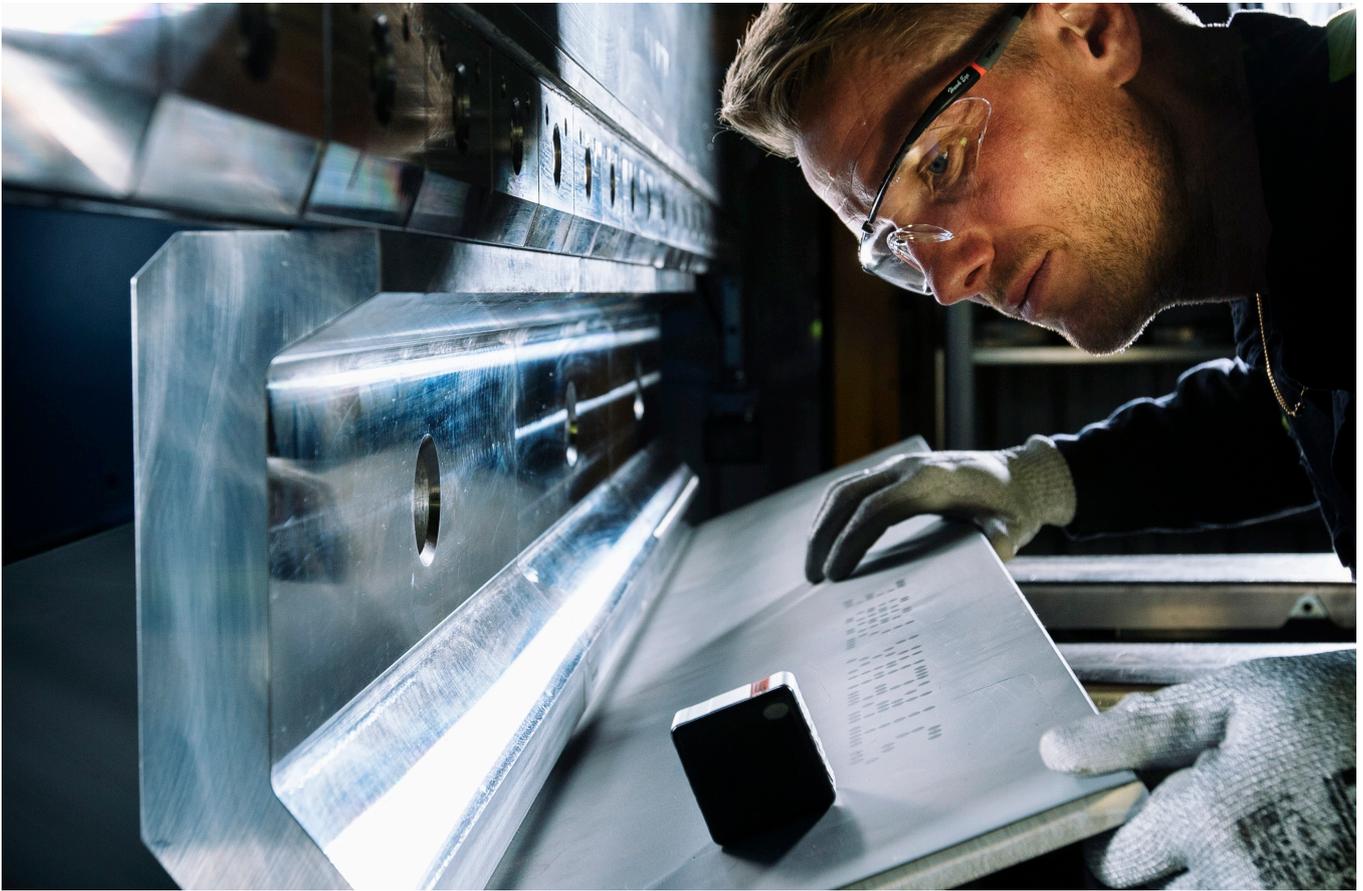
El coronado compensa la deflexión elástica de la máquina de plegado bajo carga. Véase la Figura 4. La parte central del punzón y el troquel es lo que más se deforma. Mediante el coronado, se puede compensar la deflexión (C), con lo que se consigue el mismo ángulo de curvatura en toda la longitud de la chapa. Si el perfil de plegado se curva a lo largo de la línea de doblez (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 perfil y de la rigidez del mismo.

Deben tenerse en cuenta consideraciones adicionales a la hora de fijar el coronado en la curvatura escalonada de perfiles largos.

FIGURA 4 Coronado





## 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 chapa, la anchura del troquel y la resistencia a la tracción, sino también la variación de la palanca de par 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 ensayos de prueba.

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

P = Fuerza de plegado, toneladas métricas  
 t = Espesor de la chapa, mm  
 W = Ancho del troquel, mm (Figura 1)  
 b = Longitud de plegado, mm  
 R<sub>m</sub> = Resistencia a la tracción, MPa (Tabla 1)  
 R<sub>d</sub> = Radio de entrada del troquel, mm  
 R<sub>p</sub> = Radio del punzón, mm

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	1 020
Strenx® 960 E/F	1 060
Strenx® 1100 E/F	1 420
Strenx® 1300 E/F	1 520
Strenx® 600MC D/E	730
Strenx® 650MC D/E	800
Strenx® 700MC D/E	850
Strenx® 700MC Plus	820
Strenx® 700 CR	1 090
Strenx® 900MC	1 070
Strenx® 900 Plus	1 040
Strenx® 960MC	1 110
Strenx® 960 Plus	1 090
Strenx® 960 CR	1 200
Strenx® 1100MC	1 320
Strenx® 1100 CR	1 400
Strenx® 700 HR W	870
Strenx® 700 CR W	1 090
Strenx® 960 HR W	1 150

SSAB



### SSAB BendCalc

Consulte la aplicación BendCalc de SSAB, la primera aplicación que predice la recuperación elástica y la profundidad del punzón, para obtener los ajustes de plegado correctos para Strenx®.

Basándose en las características del acero, la simetría del troquel y la herramienta, la forma final del plegado y las condiciones de fricción, le ofrece el resultado en cuestión de segundos:

- Fuerza máxima de flexión
- Recuperación o retorno elástico
- Profundidad del punzón
- Ángulo de apertura durante la carrera máxima
- Altura mínima de la brida

Puede guardar los resultados y compartir el reporte 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.

Al doblarse, 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. El retorno es totalmente elástico.

Para compensar el retorno elástico, el troquel debe tener una forma que permita la sobreflexión sin acuñar el material.

Es muy difícil predecir con exactitud el retorno elástico de un material al doblarlo, ya que depende en gran medida de la configuración de cada herramienta. Por eso se recomienda hacer pruebas. Para placas o chapas más delgadas ( $t < 10$  mm), puede estimar el retorno elástico del material dividiendo la resistencia a la tracción (MPa) entre 100.

Una condición previa es que la anchura del troquel sea aproximadamente 10-12 veces el grosor de la chapa.

### 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 diferentes tipos de uso, las pruebas de plegado y la evaluación de los mismos varían en cierta medida.

Para los productos de chapa, la relación mínima recomendada entre el radio del punzón y el espesor de la chapa/placa ( $R/t$ ) se indica en las tablas 2 y 3, junto con las recomendaciones correspondientes para las chapas.

Estas recomendaciones de plegado se basan en ensayos de plegado de un paso a  $90^\circ$  después de la descarga. El ancho de las aberturas de los troqueles es un valor de referencia y puede variar ligeramente.

Para obtener información sobre otros materiales y más datos técnicos, póngase en contacto con el servicio técnico o visite [www.ssab.com](http://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 STRENX® PLACA, GARANTÍAS DE PLEGADO Y RECOMENDACIONES**

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

Grado/Producto	Espesor nominal (t) (mm)	Radio interior final mínimo garantizado en la placa		Radio mínimo de punzón recomendado		Ancho de la abertura del troquel (W) mínimo W/t
		R <sub>i</sub> /t transversal a la dirección de laminado	R <sub>l</sub> /t a lo largo de la dirección de laminado	R <sub>p</sub> /t transversal a la dirección de laminado	R <sub>p</sub> /t a lo largo de la dirección de laminado	
Strenx® 700E/F	t < 8	1.3	1.8	1.5	2.0	10
Strenx® 100	8 ≤ t < 15	1.3	1.8	1.5	2.0	10
Strenx® P700	15 ≤ t < 20	1.7	2.1	2.0	2.5	12
Strenx® 700 OME	t ≥ 20	1.7	2.1	2.0	2.5	12
Strenx® 900E/F	t < 8	2.3	2.5	2.5	3.0	12
Strenx® 960E/F	8 ≤ t < 15	2.3	2.6	2.5	3.0	14
	15 ≤ t < 20	2.4	2.7	2.5	3.0	14
	t ≥ 20	2.8	3.4	3.0	3.5	16
Strenx® 1100E/F	t < 8	2.8	3.3	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 15	2.6	3.2	3.0	3.5	14
	15 ≤ t < 20	2.5	3.1	3.0	3.5	14
	t ≥ 20	3	3.5	3.5	4.0	16
Strenx® 1300E/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 STRENX® PLACA, GARANTÍAS Y RECOMENDACIONES DE DOBLEZ**

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

Grado/Producto	Espesor nominal (t) (mm)	Radio interior final mínimo garantizado en la placa		Radio mínimo de punzón recomendado		Ancho de la abertura del troquel (W) mínimo W/t
		R <sub>i</sub> /t transversal a la dirección de laminado	R <sub>l</sub> /t a lo largo de la dirección de laminado	R <sub>p</sub> /t transversal a la dirección de laminado	R <sub>p</sub> /t a lo largo de 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	t ≤ 3	0.8	0.8	0.8	0.8	10
Strenx® 650MC D/E	3 < t ≤ 6	1.2	1.2	1.2	1.2	10
Strenx® 100 XF	t > 6	1.5	1.5	1.5	1.5	10
Strenx® 700MC D/E	t ≤ 3	0.8	0.8	1	1	10
Strenx® 110 XF	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	3.0 ≤ t ≤ 6.1	2	2	2.2	2.2	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	3.0	3.25	12
	t > 8	3.5	3.5	3.5	3.75	12
Strenx® 900 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.0	3.0	4	4	12
Strenx® 960MC	3 ≤ t ≤ 10	3.5	3.5	3.6	4	12
Strenx® 960 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.5	3.5	4	4.2	12
Strenx® 960 HR W	3.0 ≤ t ≤ 6.1	3.5	3.5	4	4	12
Strenx® 1100MC	3 ≤ t ≤ 8	4.0	4.0	4.7	5	14
Strenx® 700 CR	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 nórdica siderúrgica con sede también 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 Nasdaq OMX Nordic Exchange de Estocolmo y tiene una cotización secundaria en el Nasdaq OMX de Helsinki.

[www.ssab.com](http://www.ssab.com)

**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](mailto:contact@ssab.com)

**strenx.com**

**SSAB**