



# Plegado de la placa antidesgaste Hardox®

# Índice

preparación antes del plegado	4
Para considerar	5
Herramientas	5
Estado de las herramientas	7
Estabilidad de la máquina	7
Coronado	7
Fuerza de plegado	8
Retroceso	8
Recomendaciones para el plegado	9
Placa antidesgaste Hardox®, recomendaciones para el plegado	10
Placa antidesgaste Hardox®, recomendaciones para el plegado	10



# Plegado de la placa antidesgaste Hardox®

Este folleto contiene recomendaciones para el plegado de la chapa antidesgaste Hardox®. Se trata de una guía que contiene sugerencias generales para obtener los mejores resultados en el plegado.

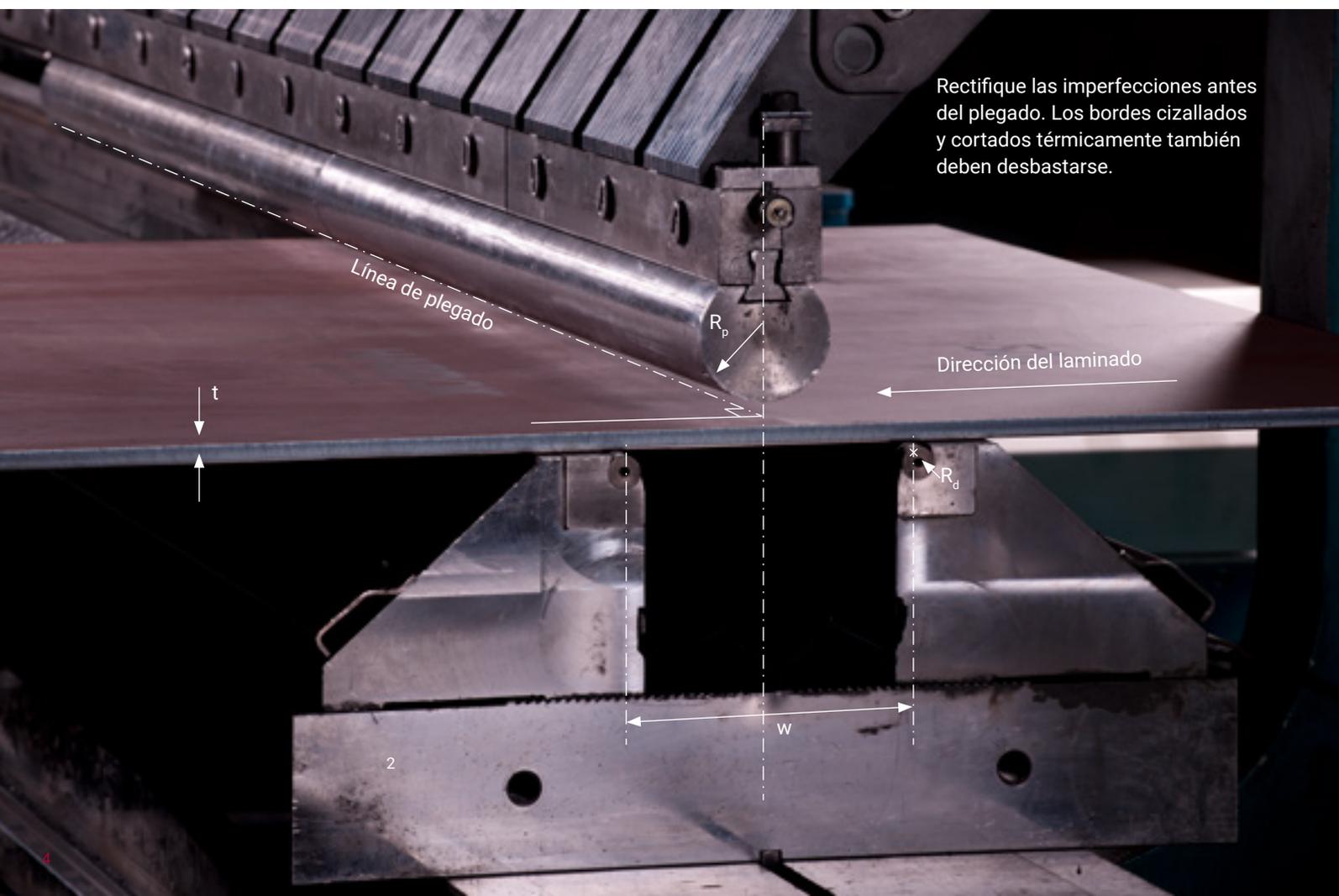
El plegado de chapas de acero de alta resistencia rara vez resulta difícil. Sin embargo, hay ciertos parámetros que deben tenerse en cuenta.

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 chapa. Si es posible, oriente la dirección de laminado perpendicularmente a la línea de plegado. A menudo, la chapa puede plegarse más estrechamente de este modo que con la línea de plegado paralela a la dirección de laminado. Consulte la figura 1.
- Compruebe la calidad de la superficie de la chapa. Los daños superficiales pueden reducir la capacidad de plegado, ya que podrían provocar fracturas. En el caso de chapas pesadas, los defectos de la chapa, como arañazos y óxido, pueden eliminarse a menudo con un esmerilado cuidadoso. Es preferible rectificar los arañazos perpendicularmente a la línea de doblado.
- Los bordes cortados y cizallados térmicamente deben desbastarse y redondearse con una amoladora.
- Compruebe el estado de las 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 ajustan a las recomendaciones dadas en este folleto.
- Los bordes de la abertura del troquel deben ser al menos igual de duros, o más, que la chapa que se va a curvar para evitar daños excesivos en el troquel. Una forma sencilla de conseguirlo es fresar ranuras en los bordes del troquel e introducir en ellas varillas redondas lubricadas de, por ejemplo, acero templado. El radio de borde del troquel debe ser al menos la mitad del grosor de la chapa.

Figura 1 Doblado transversal a la dirección de laminado.



## Atención

- Tome siempre precauciones de seguridad y siga las normas de seguridad locales. Solo personas cualificadas pueden estar junto a la máquina o en sus proximidades. Cuando se esté plegando acero de alta resistencia, nadie debe situarse delante de la prensa plegadora.
- Compruebe que el punzón y la pieza no tocan fondo en el troquel.
- Tenga en cuenta el retroceso. Evite el replegado 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 plegado, el retroceso y, en general, el radio mínimo de troquelado recomendado aumentan con la resistencia del acero.
- En muchos productos de chapa Hardox®, la identidad de la chapa se estampa perpendicularmente a la dirección de laminado. Evite colocar la línea de plegado sobre el sello estampado debido al riesgo de agrietamiento.
- Una limpieza a chorro excesiva puede tener un efecto negativo sobre la capacidad de plegado. Las recomendaciones para los productos de chapa Hardox® se basan en ensayos con superficies granalladas y pintadas.
- Una velocidad de deformación elevada puede provocar un aumento local de la temperatura en la curva. Esto podría tener un impacto adverso en la capacidad de plegado, 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

### Anchura del troquel

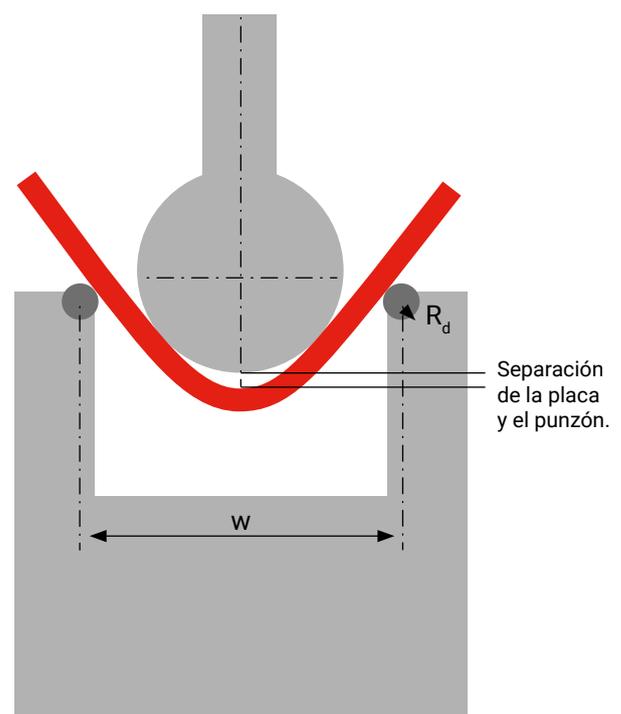
El retorno aumenta al aumentar la anchura del troquel, mientras que la fuerza de punzonado se reduce. Asegúrese de que el ángulo de abertura del troquel permite un exceso de plegado, sin que la herramienta llegue al fondo, para compensar el retorno. Un aumento de la anchura de abertura de troquel pueden, en muchos casos, reducir el nivel de tensión en la curva del plegado. Asimismo, asegúrese de que en el troquel queda espacio suficiente para el punzón seleccionado y la pieza durante el proceso de plegado 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 de la matriz, es el parámetro más importante. Al plegar un acero de alta resistencia, el radio interior final a menudo es más pequeño que el radio del punzón, consulte la figura 2. Cuando la fricción entre la chapa y las herramientas es baja, este fenómeno se hace más evidente.

Figura 2 Distancia a la chapa durante el proceso de plegado.





## Estado de las herramientas

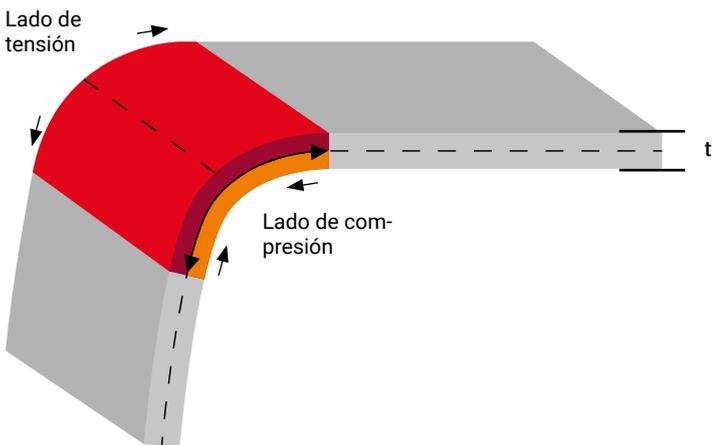
Debido al aumento de la presión de contacto entre la chapa y las herramientas al doblar acero antidesgaste Hardox® de alta resistencia, el desgaste de las herramientas aumenta un poco. Compruebe regularmente que el radio del punzón y el radio del borde del troquel son constantes. En el caso de los plegados que se agrietan en una pieza, en muchos casos la grieta se propaga desde el lado de compresión del plegado (figura 3). 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

La fuerza de punzonado necesaria suele ser elevada cuando se curva acero de alta resistencia. El coeficiente de fricción estático 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 y 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 la utilización de un radio de borde de troquel giratorio pueden ser útiles, ya que evitan el «stick-slip» (adhesión y deslizamiento) y también reducen la fuerza de punzonado.

Figure 3 Plegado.



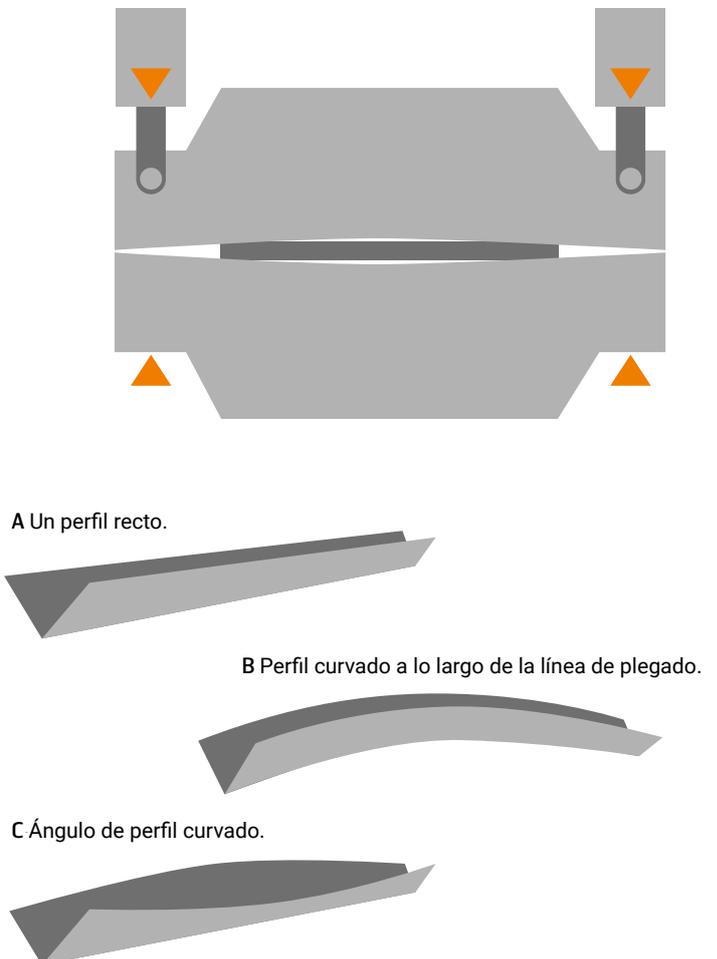
## Coronado

El coronado compensa la deflexión elástica de la máquina plegadora bajo carga, 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 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, figura 3. 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 a la longitud de plegado, el espesor de la chapa, la anchura del troquel y la tensión de rotura, también debe estar atento al cambio de la palanca de par durante el plegado. Se supone que la carga máxima se alcanza a un ángulo de apertura de curvado de 120° con fricción normal (sin lubricación). Se recomienda realizar siempre ensayos de prueba.

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

- P = Fuerza de plegado, toneladas (métricas)  
t = Espesor de la chapa, mm  
W = Anchura 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

SSAB Bending Formula® se comprueba en ensayos para plegados de 90°.

## Retroceso

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 plegarse, se produce una distribución variable de las tensiones residuales en la sección transversal de la curva o pliegue. 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 acuña 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. En el caso de chapas finas (t < 10 mm), se puede estimar el retorno elástico del material, en grados, dividiendo la resistencia a la tracción (MPa) entre 100. Una condición previa es que la anchura de la matriz sea aproximadamente 10-12 x el grosor de la chapa.

Grado de Hardox®	Resistencia a la tracción típica (MPa)
Hardox® 400	1250
Hardox® 450	1400
Hardox® 500	1650
Hardox® 500 Tuf	1600
Hardox® HiTemp	1250
Hardox® HiAce	1400

Tabla 1 Valores típicos de resistencia a la tracción para calcular la fuerza de plegado.

Tenga en cuenta la aplicación SSAB BendCalc para obtener los ajustes de plegado correctos para el acero antidesgaste Hardox®. ¡El primer software que predice el retorno y la profundidad de punzonado!

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 plegado
- Retroceso
- 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.

### Parámetros que afectan al retorno

- Límite elástico del material - un límite elástico más alto provoca un mayor retorno.
- Radio del punzón - un mayor radio del punzón provocará un mayor retorno elástico.
- Anchura del troquel - una mayor anchura del troquel provoca un mayor retorno elástico.
- El endurecimiento por deformación del material.

# Recomendaciones para el plegado

Los ensayos de plegado y su evaluación varían en cierta medida. Para los productos de chapa Hardox®, la relación mínima recomendada entre el radio de punzonado y el espesor de la chapa/hoja ( $R/t$ ) se muestra en la tabla 2, y las recomendaciones correspondientes para las chapas se presentan en la tabla 3. Estas recomendaciones de plegado se basan en ensayos de plegado de un paso a 90° después de la descarga. El ancho de la abertura de los troqueles es una guía y puede variar un poco sin afectar los resultados del plegado.

Para obtener más información técnica, póngase en contacto con el servicio técnico o visite [www.ssab.com](http://www.ssab.com). Hardox® se suministra con garantía de plegado conforme a las garantías de Hardox®.

También puede ponerse en contacto con su representante local de SSAB.



## Chapa antidesgaste Hardox®, recomendaciones de plegado

Tabla 2 Las recomendaciones de plegado para la placa antidesgaste Hardox® se basan en troqueles con rodillos y fricción normal (sin lubricación). R/t representa el radio del punzón (R) dividido por el espesor de la chapa (t).

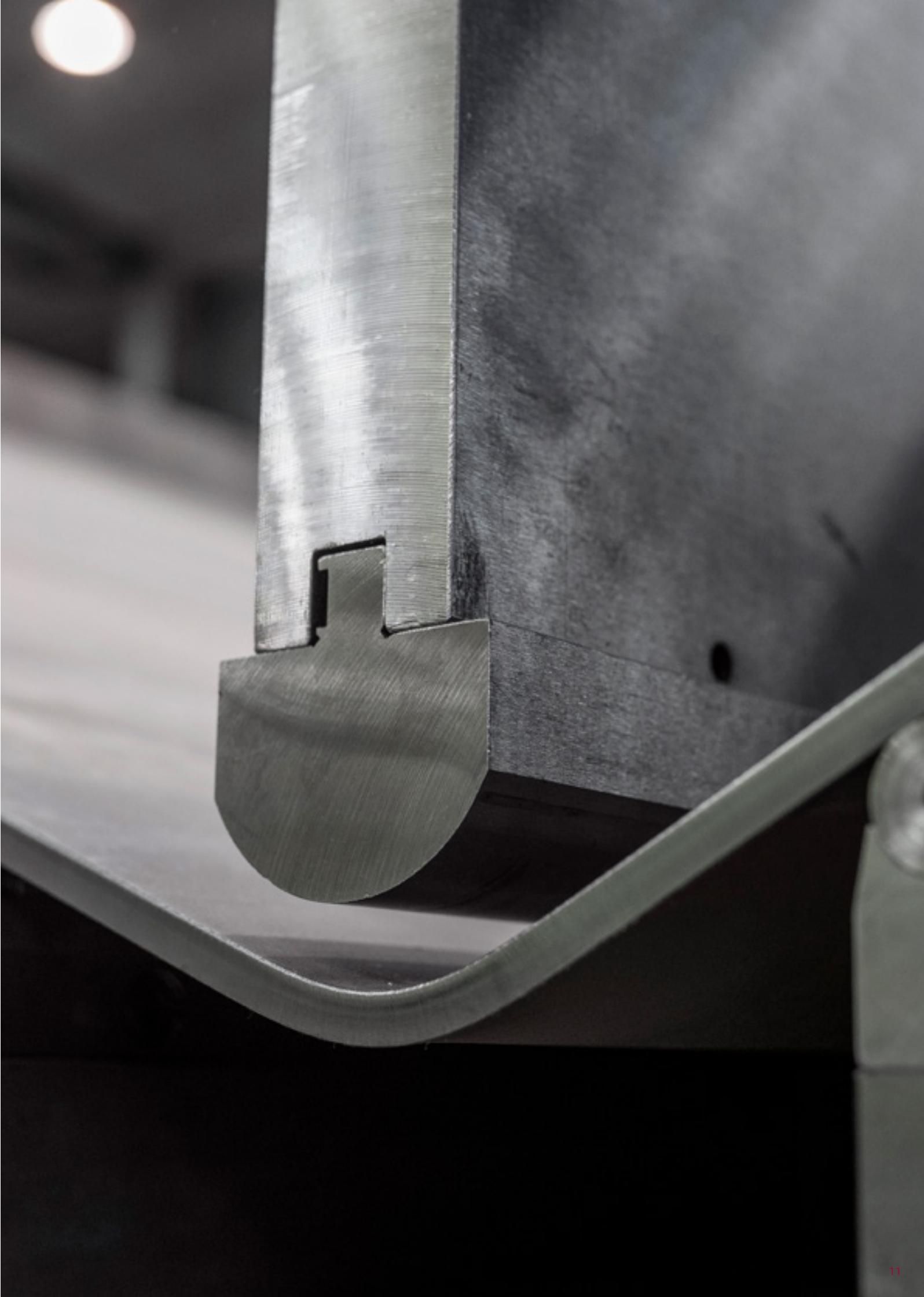
Grado de Hardox®	Rango de espesores en mm	Transversal a la dirección de laminación Rp/t mínimo	A lo largo de la dirección de laminación Rp/t mínimo	Anchura de la abertura del troquel (W) mínimo W/t
Hardox® 400	t < 8mm	2,5	3,0	12
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	14
	20 ≤ t < 50	4,0	5,0	16
Hardox® 450	t < 8mm	3,0	3,5	12
	8 ≤ t < 20	3,5	4,5	14
	t ≥ 20	4,5	5,0	16
Hardox® 500	t < 8mm	3,5	4,5	12
	8 ≤ t < 15	4,0	4,5	14
	15 ≤ t < 20	4,5	5,0	14
	t ≥ 20	5,5	6,0	16
Hardox® 500 Tuf	t < 8	3,0	3,5	12
	8 ≤ t < 20	3,5	4,5	14
	t ≥ 20	4,5	5,0	16
Hardox® 550	8 ≤ t < 65	Póngase en contacto con el Servicio Técnico de SSAB		
Hardox® 600	6 ≤ t < 65	Póngase en contacto con el Servicio Técnico de SSAB		
Hardox® HiTemp	t < 8	3,0	3,5	12
	8 ≤ t < 20	3,5	4,5	14
	t ≥ 20	4,5	5,0	16
Hardox® HiAce	t < 8	3,0	3,5	12
	8 ≤ t < 20	3,5	4,5	14
	t ≥ 20	4,5	5,0	16

## Hoja Hardox® wear, recomendaciones de plegado

Tabla 3 Las recomendaciones de plegado para la hoja antidesgaste Hardox® se basan en matrices con rodillos y fricción normal (sin lubricación). R/t representa el radio del punzón (R) dividido por el espesor de la chapa (t).

Grado de Hardox®	Rango de espesores en mm	Transversal a la dirección de laminación Rp/t mínimo	A lo largo de la dirección de laminación Rp/t mínimo	Anchura de la abertura del troquel (W) mínimo W/t
Hardox® 400	2 ≤ t < 4	3,0	4,0	12
	4 ≤ t ≤ 8	3,0	3,5	12
Hardox® 450	2 ≤ t < 4	3,0	4,0	12
	4 ≤ t ≤ 8	3,0	3,5	12
Hardox® 450 CR	0.8 ≤ t ≤ 2.1	4,0	4,0	12
Hardox® 500 Tuf	3 ≤ t < 4	3,0	4,0	12
	4 ≤ t ≤ 6.4	3,0	3,5	12
Hardox® 500	2 ≤ t ≤ 7	3,5	4,0	12
Hardox® 600	3 ≤ t ≤ 6	Póngase en contacto con el Servicio Técnico de SSAB		

<sup>1</sup> El resultado final y la separación de la chapa del punzón se ven afectados por múltiples factores diferentes: anchura inferior de la herramienta, condiciones de lubricación/fricción, ángulo de plegado, etc.



SSAB es una empresa nórdica siderúrgica con sede también en Estados Unidos que construye un mundo más fuerte, ligero y sostenible a través de productos y servicios de acero de valor añadido. SSAB ha desarrollado el acero SSAB Fossil-free™ con la colaboración de nuestros socios y planeamos reinventar la cadena de valor desde la mina hasta el cliente final, eliminando sustancialmente las emisiones de dióxido de carbono de nuestras propias operaciones. SSAB Zero™, un acero en su mayor parte libre de emisiones de carbono y basado en acero reciclado, refuerza aún más la posición de liderazgo de SSAB y nuestra oferta completa y sostenible independiente de la materia prima. SSAB cuenta con trabajadores en más de 50 países e instalaciones de producción en Suecia, Finlandia y Estados Unidos. SSAB cotiza en bolsa en el mercado Nasdaq de Estocolmo y de manera secundaria en el mercado Nasdaq de Helsinki. Explora nuestra web y síguenos en redes sociales. [www.ssab.com](http://www.ssab.com), Facebook, Instagram, LinkedIn, X y YouTube.

Explorar el mundo de la chapa antidesgaste Hardox®



SSAB  
SE-613 80 Oxelösund  
Sweden

T +46 155 25 40 00  
F +46 155 25 40 73  
[contact@ssab.com](mailto:contact@ssab.com)

[hardox.lat](http://hardox.lat)  
[hardox.es](http://hardox.es)

Hardox® es una marca registrada del grupo empresarial SSAB. Todos los derechos reservados. La información que se proporciona en este folleto es tan solo de carácter informativo. SSAB AB declina toda responsabilidad por la eficacia o idoneidad para una aplicación específica. Es responsabilidad del usuario determinar de forma independiente la idoneidad de todos los productos y/o aplicaciones, así como de probar y verificar los mismos. La información proporcionada por SSAB AB en este documento se proporciona 'tal cual, dónde está' y con todos los errores, y el usuario se responsabilizará de todos los riesgos asociados con dicha información.

Copyright © 2025 SSAB AB. Todos los derechos reservados.

# SSAB