

**HARDOX®**  
WEAR PLATE

# MANUAL DE DOBRA HARDOX®



**SSAB**

## ÍNDICE

Preparação antes da dobra	4
A ser considerado	5
Ferramentas	5
Condição das ferramentas	7
Estabilidade da máquina	7
Abaulamento	7
Força de dobra	8
Recuperação elástica	8
Recomendações de dobra	9
Chapa antidesgaste Hardox®, recomendações de dobra	10
Tira antidesgaste Hardox®, recomendações de dobra	11

# COMO DOBRAR O HARDOX®

Este manual contém recomendações para a dobra da chapa antidesgaste Hardox®. Foi concebido para fornecer orientações e sugestões gerais sobre como obter os melhores resultados ao realizar o processo de dobra.

Dobrar um aço de alta resistência não é uma tarefa difícil, porém é preciso considerar certos parâmetros.

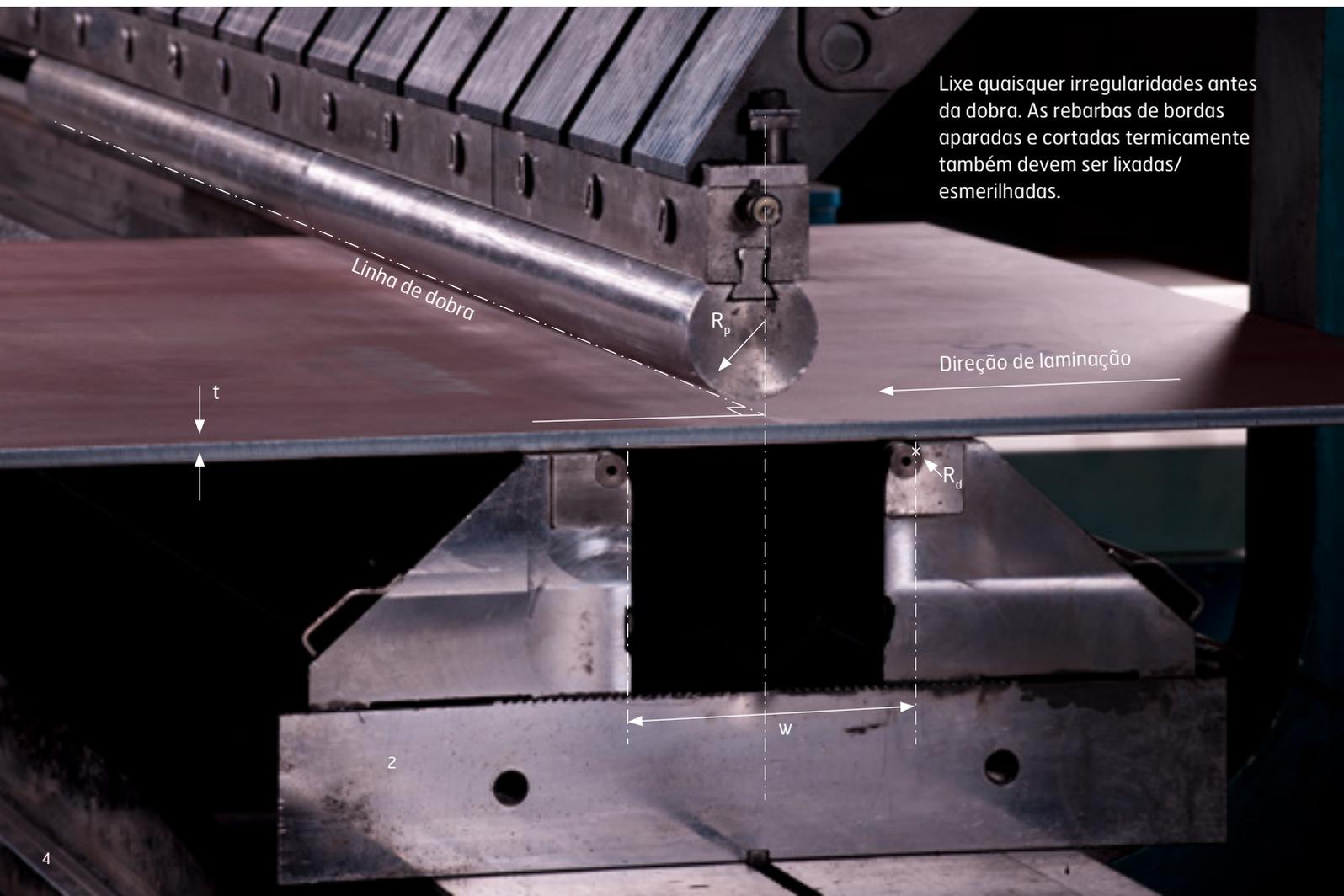
Um aço de alta pureza e com poucas inclusões é fundamental para obter um bom resultado de dobra, propriedades encontradas nos aços Hardox®. Os processos modernos da SSAB garantem altos padrões de qualidade superficial, tolerâncias e propriedades mecânicas.

# PREPARAÇÃO ANTES DA DOBRA

- Sempre verifique o sentido de laminação da chapa. Se possível, oriente o sentido de laminação perpendicularmente à linha de dobra. Frequentemente, a chapa pode ser dobrada em um ângulo mais agudo desta forma do que com a linha de dobra paralela ao sentido de laminação. Veja a Figura 1.
- Verifique a qualidade da superfície da chapa. Danos na superfície podem reduzir a capacidade de dobra, pois podem resultar em trincas e fraturas. No caso de chapas grossas, defeitos como arranhões e ferrugem muitas vezes podem ser removidos com um polimento cuidadoso. De preferência, lixe quaisquer arranhões perpendiculares à linha de dobra.
- As bordas cortadas termicamente e aparadas têm rebarbas, que devem ser lixadas e em seguida arredondadas com uma esmerilhadeira.
- Verifique o estado das ferramentas.
- Para evitar o desgaste excessivo da ferramenta, a mesma deve ser mais dura que a peça a ser dobrada.
- Verifique se as ferramentas e a configuração delas estão de acordo com as recomendações neste catálogo.

**FIGURA 1** Dobra transversal ao sentido de laminação.

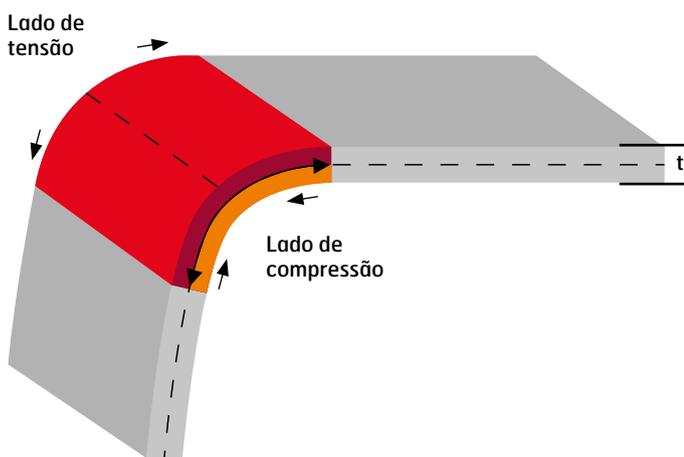
As bordas da abertura da matriz devem ser tão duras quanto ou mais do que a chapa sendo dobrada, a fim de evitar danos excessivos à matriz. Uma forma simples de fazer isso é usinar canais nas bordas da matriz e colocar neles, por exemplo, hastes arredondadas e lubrificadas feitas de aço endurecido. O raio das bordas da matriz deve ser de, no mínimo, metade da espessura da chapa.



## A SER CONSIDERADO

- Sempre tome precauções de segurança e siga os regulamentos de segurança locais. Somente pessoas qualificadas podem ficar ao lado ou próximas do equipamento. Ao dobrar aço de alta resistência, não deve haver ninguém na frente da dobradeira.
- Certifique-se de que o punção juntamente com a peça não encoste no fundo da matriz.
- Considere a recuperação elástica. Evite dobrar novamente para corrigir o ângulo do perfil. A exposição de um material a processos de conformação anteriores reduz bastante a sua capacidade de dobra.
- A força de dobra, a recuperação elástica e, em geral, o raio mínimo recomendado do punção aumentam de acordo com a resistência do aço.
- Em diversos produtos de chapas Hardox®, a identificação da chapa é estampada perpendicularmente ao sentido de laminação. Evite colocar a linha de dobra sobre a marcação estampada pois existe o risco de trinca.
- A limpeza excessiva por jateamento pode ter um efeito negativo na capacidade de dobra. As recomendações para os produtos em chapa Hardox® são baseadas em testes com superfícies limpas por jateamento e pintadas.
- A alta taxa de deformação pode causar um aumento de temperatura local na dobra. Isso pode ter um impacto negativo na capacidade de dobra, especialmente no caso de espessuras acima de 20 mm (0,787”).
- Se possível, reduza a velocidade do punção, para diminuir a diferença de temperatura na peça.

FIGURA 2 Dobra.



## FERRAMENTAS

### LARGURA DA MATRIZ

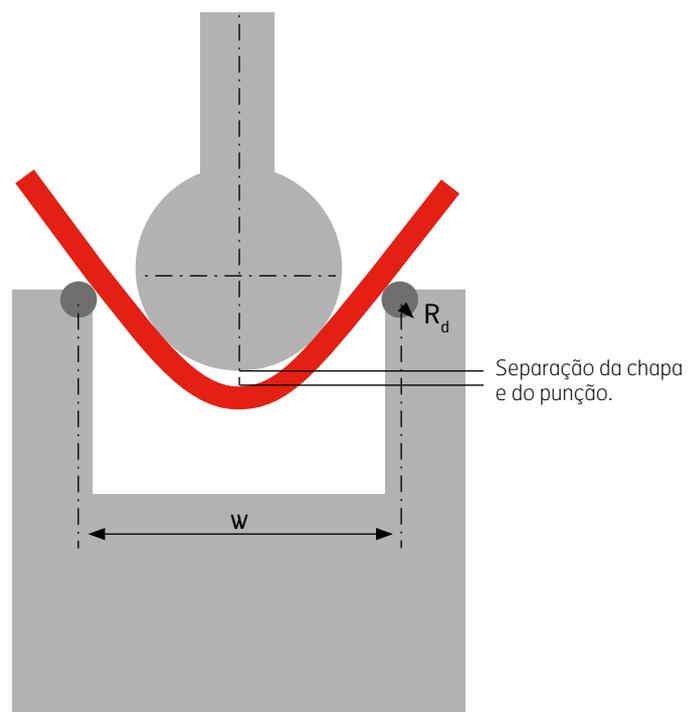
A recuperação elástica aumenta conforme aumenta a largura da matriz, enquanto a força do punção é reduzida. Certifique-se de que o ângulo de abertura da matriz permita a dobra excessiva, sem encostar no fundo, para compensar a recuperação elástica. Uma maior largura de abertura da matriz pode, em muitos casos, diminuir o nível de deformação na dobra. Além disso, certifique-se de que haja espaço suficiente na matriz durante a dobra para o punção escolhido junto com a peça, sem que haja deformação da matriz. As larguras mínimas recomendadas de abertura da matriz são mostradas nas tabelas 2 e 3.

O raio das bordas da matriz deve ser de no mínimo metade da espessura da chapa. Alternativamente, pode-se aumentar a largura da matriz a fim de minimizar a pressão no raio das bordas da matriz e, conseqüentemente, reduzir o risco de marcas na mesma.

### PUNÇÃO

Os parâmetros mais importantes são o raio adequado do punção e a largura da matriz. Ao dobrar aços de alta resistência, o raio interno final muitas vezes fica um pouco menor que o raio do punção, como mostra a Figura 3. Quando há baixo atrito entre a chapa e as ferramentas, o fenômeno fica mais óbvio.

FIGURA 3 Separação da chapa durante a dobra.





## CONDIÇÃO DAS FERRAMENTAS

Devido ao aumento da pressão de contato entre a chapa e as ferramentas ao dobrar o aço antidesgaste de alta resistência Hardox®, o desgaste das ferramentas aumenta um pouco. Verifique regularmente se o raio do punção e da borda da matriz são constantes. No caso de dobras que apresentam trincas em uma peça, a trinca, em muitos casos, propagou-se a partir do lado de compressão da dobra, conforme mostra a Figura 2. Isso pode ser muitas vezes atribuído a um punção em más condições. As bordas da matriz devem permanecer limpas e sem quaisquer danos.

## ESTABILIDADE DA MÁQUINA

A força necessária de dobra costuma ser alta ao dobrar aços de alta resistência. O coeficiente de atrito estático é normalmente maior que o cinético. Isto pode fazer com que a chapa trave em uma das bordas da matriz e, ao mesmo tempo, deslize sobre a outra. Sendo assim, a peça de trabalho escorrega de maneira descontínua para dentro da matriz durante o processo de dobra. Este fenômeno, denominado stick-slip (aderência-deslizamento), pode resultar em deformações maiores ao longo da dobra. Use uma máquina estável e prenda a ferramenta com firmeza. A lubrificação da borda da matriz ou o uso de um raio rotativo da borda da matriz pode ser útil, evitando o fenômeno stick-slip e também diminuindo a força de dobra.

## ABAULAMENTO

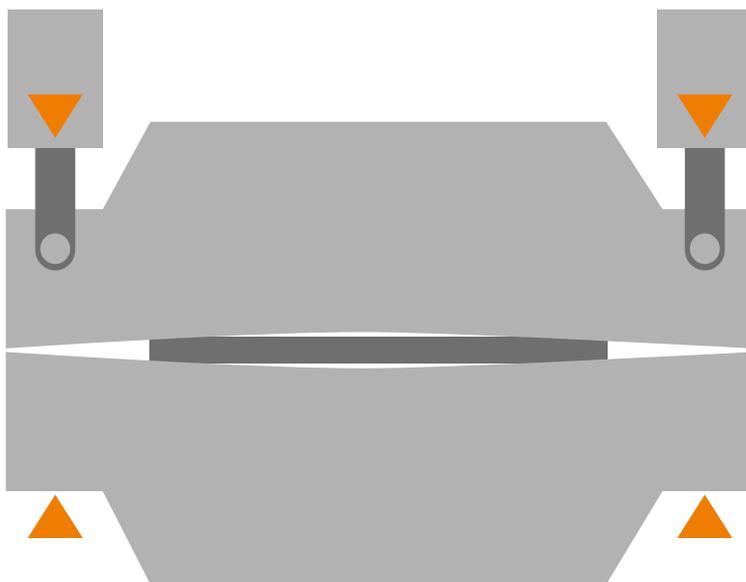
O abaulamento compensa a deflexão elástica da máquina de dobra sob carga, conforme mostra a Figura 4. A parte central do punção e da matriz é a que mais apresenta deflexão. Com o abaulamento, a deflexão (C) pode ser compensada, sendo possível alcançar o mesmo ângulo de dobra ao longo de todo o comprimento do corte. Se o perfil de dobra se tornar curvado ao longo da linha de dobra (B), isso não poderá ser compensado pelo abaulamento.

Após a descarga, surgem tensões compressivas do lado esticado, ao mesmo tempo que surgem tensões de tração no lado comprimido, conforme mostra a Figura 2.

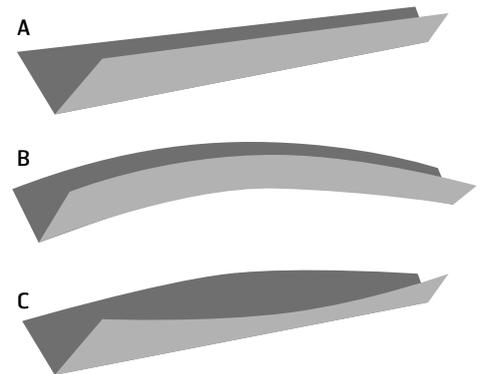
A distribuição das tensões ao longo da espessura da chapa causa tensões longitudinais. São essas tensões que tendem a curvar o perfil. A magnitude da curvatura depende principalmente da altura do flange e da rigidez do perfil.

Outras considerações devem ser feitas ao ajustar o abaulamento durante a dobra gradual de perfis longos.

FIGURA 4 Abaulamento.



- A Perfil reto.
- B Perfil curvo ao longo da linha de dobra.
- C Ângulo do perfil curvo.



## FORÇA DE DOBRA

Para fazer uma estimativa da força necessária durante a dobra, considere não apenas o comprimento da dobra, a espessura da chapa, a largura da matriz e a resistência à tração, como também à mudança do braço de momento durante a conformação. O pico de carga é alcançado em um ângulo de 120° de abertura da dobra, com atrito normal (sem lubrificação). Testes preliminares são sempre recomendados.

$$P = \frac{b \cdot t^2 \cdot R_m}{(W - R_d - R_p) \cdot 9800}$$

P = Força de dobra, em toneladas (métricas)

t = Espessura da chapa, em mm

W = Largura da matriz, em mm (figura 1)

b = Comprimento da dobra, em mm

R<sub>m</sub> = Resistência à tração, MPa (tabela 1)

R<sub>d</sub> = Raio de entrada da matriz, em mm

R<sub>p</sub> = Raio do punção, em mm

A SSAB Bending Formula® é verificada em testes para dobras de 90°, veja a Figura 5.

## RECUPERAÇÃO ELÁSTICA

A recuperação elástica aumenta de acordo com a resistência do aço e a relação entre a largura da matriz e a espessura da chapa (W/t). O limite de escoamento do material é o fator que mais influencia. Durante a dobra, uma distribuição variável de tensões residuais é alcançada através da seção transversal da dobra. O nível de deformação plástica e a distribuição dessas tensões controlarão a tendência de recuperação elástica. Toda recuperação elástica é totalmente elástica. Para compensar a recuperação elástica, a matriz deve ser moldada de forma a permitir uma dobra excessiva, sem cunhar o material. É muito difícil prever com precisão a recuperação elástica de um material durante a dobra, pois isso depende em grande parte da configuração exclusiva de cada ferramenta. É por isso que recomendam-se testes práticos. No caso de chapas mais finas ou tiras (t < 10 mm (0,394")), é possível calcular a recuperação elástica do material, em graus, dividindo a resistência à tração (MPa) por 100. Uma pré-condição é que a largura da matriz seja aproximadamente 10–12 x a espessura da chapa.

Grau Hardox®	Resistência à tração típica (MPa)
Hardox® 400	1250
Hardox® 450	1400
Hardox® 500	1650
Hardox® 500 Tuf	1600
Hardox® HiTemp	1250
Hardox® HiAce	1400

TABELA 1 Valores típicos da resistência à tração para calcular a força de dobra.

Considere usar o aplicativo BendCalc da SSAB para obter as configurações corretas de dobra para o aço antidesgaste Hardox®. O primeiro software que prevê a recuperação elástica e a profundidade do punção!

Com base nas características do aço, na simetria da matriz e da ferramenta, no formato final da dobra e nas condições de atrito, ele fornece a você o resultado em questão de segundos:

- Força máxima de dobra
- Recuperação elástica
- Profundidade do punção
- Ângulo de abertura durante percurso máximo
- Altura mínima do flange

Você pode salvar os resultados e compartilhar o relatório como um arquivo PDF.

## PARÂMETROS QUE AFETAM A RECUPERAÇÃO ELÁSTICA:

- Limite de escoamento do material – um limite de escoamento mais alto causa uma maior recuperação elástica.
- Raio do punção – um maior raio do punção resultará em uma maior recuperação elástica.
- Largura da matriz – uma matriz mais larga resultará em uma maior recuperação elástica.
- O endurecimento por deformação do material.

# RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

Os testes de dobra e sua avaliação variam um pouco. No caso dos produtos em chapas Hardox®, a relação mínima recomendada entre o raio do punção e a espessura da chapa/tira (R/t) é mostrada na Tabela 2, e as recomendações correspondentes para tiras são apresentadas na Tabela 3. Estas recomendações de dobra são baseadas em testes de dobra de uma etapa a 90° após a descarga. As larguras de abertura da matriz são orientações e podem variar um pouco, sem afetar os resultados da dobra.

Para obter mais informações técnicas, entre em contato com o suporte técnico ou visite nosso site [www.ssab.com](http://www.ssab.com). O Hardox® é fornecido com um desempenho de dobra garantido, de acordo com as garantias Hardox®.

Você também pode entrar em contato com um representante SSAB de sua região.



## CHAPA ANTIDEGASTE HARDOX®, RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

**TABELA 2** As recomendações de dobra das chapas antidesgaste Hardox® são baseadas em matrizes com rolos e atrito normal (sem lubrificação). R/t significa o raio de punção (R) dividido pela espessura da tira (t).

Grau Hardox®	Faixa de espessuras, em mm	Rp/t mínimo, transversal ao sentido de laminação	Rp/t mínimo, ao longo do sentido de laminação	W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
Hardox® 400	t < 8	2,5	3,0	12
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	14
	20 ≤ t < 50	4,0	5,0	16
Hardox® 450	t < 8	3,0	3,5	12
	8 ≤ t < 20	3,5	4,5	14
	t ≥ 20	4,5	5,0	16
Hardox® 500	t < 8	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	Entre em contato com o Suporte Técnico da SSAB		
Hardox® 600	6 ≤ t < 65	Entre em contato com o Suporte Técnico da 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

Grau Hardox®	Faixa de espessuras, em polegadas	Rp/t mínimo, transversal ao sentido de laminação	Rp/t mínimo, ao longo do sentido de laminação	W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
Hardox® 400	t < 0,315"	2,5	3,0	12
	0,315" ≤ t < 0,787"	3,0	4,0	14
	0,787" ≤ t < 1,969"	4,0	5,0	16
Hardox® 450	t < 0,315"	3,0	3,5	12
	0,315" ≤ t < 0,787"	3,5	4,5	14
	t ≥ 0,787"	4,5	5,0	16
Hardox® 500	t < 0,315"	3,5	4,5	12
	0,315" ≤ t < 0,591"	4,0	4,5	14
	0,591" ≤ t < 0,787"	4,5	5,0	14
	t ≥ 0,787"	5,5	6,0	16
Hardox® 500 Tuf	t < 0,315"	3,0	3,5	12
	0,315" ≤ t < 0,787"	3,5	4,5	14
	t ≥ 0,787"	4,5	5,0	16
Hardox® 550	0,315" ≤ t < 2,560"	Entre em contato com o Suporte Técnico da SSAB		
Hardox® 600	0,236" ≤ t < 2,560"	Entre em contato com o Suporte Técnico da SSAB		
Hardox® HiTemp	t < 0,315"	3,0	3,5	12
	0,315" ≤ t < 0,787"	3,5	4,5	14
	t ≥ 0,787"	4,5	5,0	16
Hardox® HiAce	t < 0,315"	3,0	3,5	12
	0,315" ≤ t < 0,787"	3,5	4,5	14
	t ≥ 0,787"	4,5	5,0	16

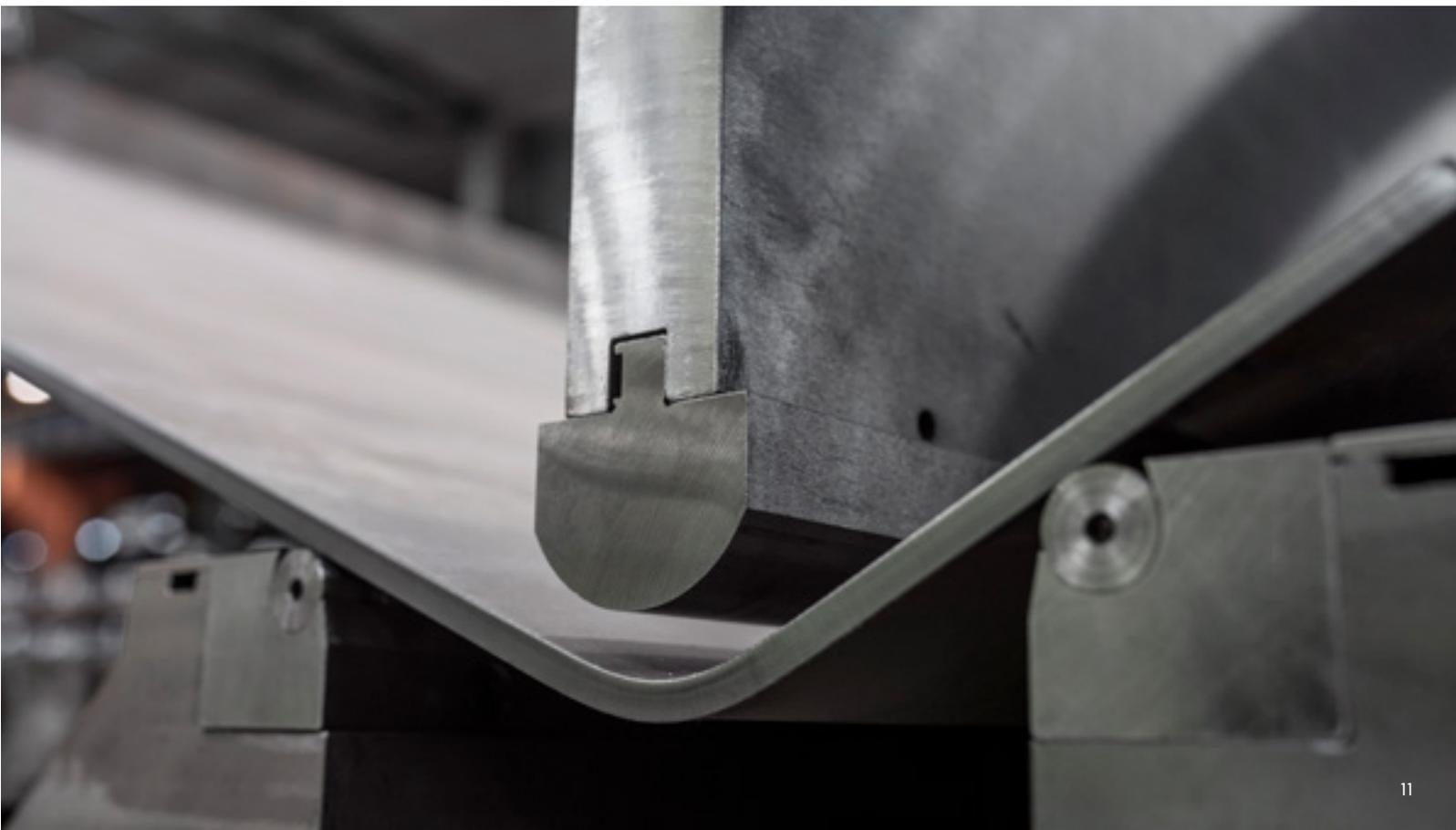
## TIRA ANTIDESGASTE HARDOX®, RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

**TABELA 3** As recomendações de dobra das tiras antidesgaste Hardox® são baseadas em matrizes com rolos e atrito normal (sem lubrificação). R/t significa o raio de punção (R) dividido pela espessura da tira (t).

Grau Hardox®	Faixa de espessuras, em mm	Rp/t mínimo, transversal ao sentido de laminação	Rp/t mínimo, ao longo do sentido de laminação	W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
Hardox® 400	$2 \leq t < 4$	3,0	4,0	12
	$4 \leq t \leq 8$	3,0	3,5	12
Hardox® 450	$2 \leq t < 4$	3,0	4,0	12
	$4 \leq t \leq 8$	3,0	3,5	12
Hardox® 450 CR	$0,8 \leq t \leq 2,1$	4,0	4,0	12
Hardox® 500 Tuf	$3 \leq t < 4$	3,0	4,0	12
	$4 \leq t \leq 6,4$	3,0	3,5	12
Hardox® 500	$2 \leq t \leq 7$	3,5	4,0	12
Hardox® 600	$3 \leq t \leq 6$	Entre em contato com o Suporte Técnico da SSAB		

Grau Hardox®	Faixa de espessuras, em polegadas	Rp/t mínimo, transversal ao sentido de laminação	Rp/t mínimo, ao longo do sentido de laminação	W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
Hardox® 400	$0,079" \leq t < 0,157"$	3,0	4,0	12
	$0,157" \leq t \leq 0,315"$	3,0	3,5	12
Hardox® 450	$0,079" \leq t < 0,157"$	3,0	4,0	12
	$0,157" \leq t \leq 0,315"$	3,0	3,5	12
Hardox® 450 CR	$0,031" \leq t \leq 0,083"$	4,0	4,0	12
Hardox® 500 Tuf	$0,118" \leq t < 0,157"$	3,0	4,0	12
	$0,157" \leq t \leq 0,252"$	3,0	3,5	12
Hardox® 500	$0,079" \leq t \leq 0,276"$	3,5	4,0	12
Hardox® 600	$0,118" \leq t \leq 0,236"$	Entre em contato com o Suporte Técnico da SSAB		

<sup>1</sup> O resultado final e a separação da chapa do punção são afetados por vários fatores diferentes: menor largura da ferramenta, condições de lubrificação/fricção, ângulo de dobra, etc.



A SSAB é uma empresa siderúrgica nórdica com sede nos Estados Unidos. Ela oferece produtos de valor agregado e serviços desenvolvidos em cooperação próxima com seus clientes para criar um mundo mais forte, leve e sustentável. A SSAB conta com funcionários em mais de 50 países. A SSAB possui unidades produtivas na Suécia, na Finlândia e nos EUA. A SSAB está listada na Nasdaq OMX de Estocolmo e possui uma listagem secundária na Nasdaq OMX de Helsinque. [www.ssab.com](http://www.ssab.com). Siga-nos também nas mídias sociais: Facebook, Instagram, LinkedIn, Twitter e YouTube.

Explore o mundo das chapas antidesgaste Hardox®



Hardox® é uma marca registrada do grupo de empresas SSAB. Todos os direitos reservados. As informações contidas neste documento são fornecidas apenas para fins gerais. A SSAB AB não aceita responsabilidade pela compatibilidade ou adequação de qualquer aplicação. É de responsabilidade do usuário determinar independentemente a adequação de todos os produtos e aplicativos, bem como testar e verificar os mesmos. As informações dadas pela SSAB AB neste documento são fornecidas "conforme se encontram, onde se encontram" e com todos os erros, e as todos os riscos associados a tais informações são do usuário.

Copyright © 2024 SSAB AB. Todos os direitos reservados.