

**TOOLOX<sup>®</sup>**  
ENGINEERING & TOOL STEEL

# **DOBRA DO TOOLOX<sup>®</sup>**



**SSAB**

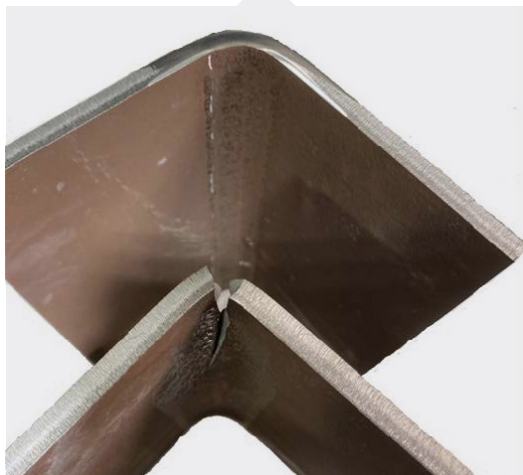
Este material contém recomendações para a dobra do Toolox®. Foi concebido para fornecer orientações e sugestões gerais sobre como obter os melhores resultados ao realizar a sua dobra.

Realizar a dobra de aços de alta resistência não é uma tarefa difícil. No entanto, é preciso considerar certos parâmetros. Um aço de alta pureza e com poucas inclusões é fundamental para obter um bom resultado de dobra. Os processos modernos da SSAB garantem altos padrões de qualidade superficial, tolerâncias e propriedades mecânicas.

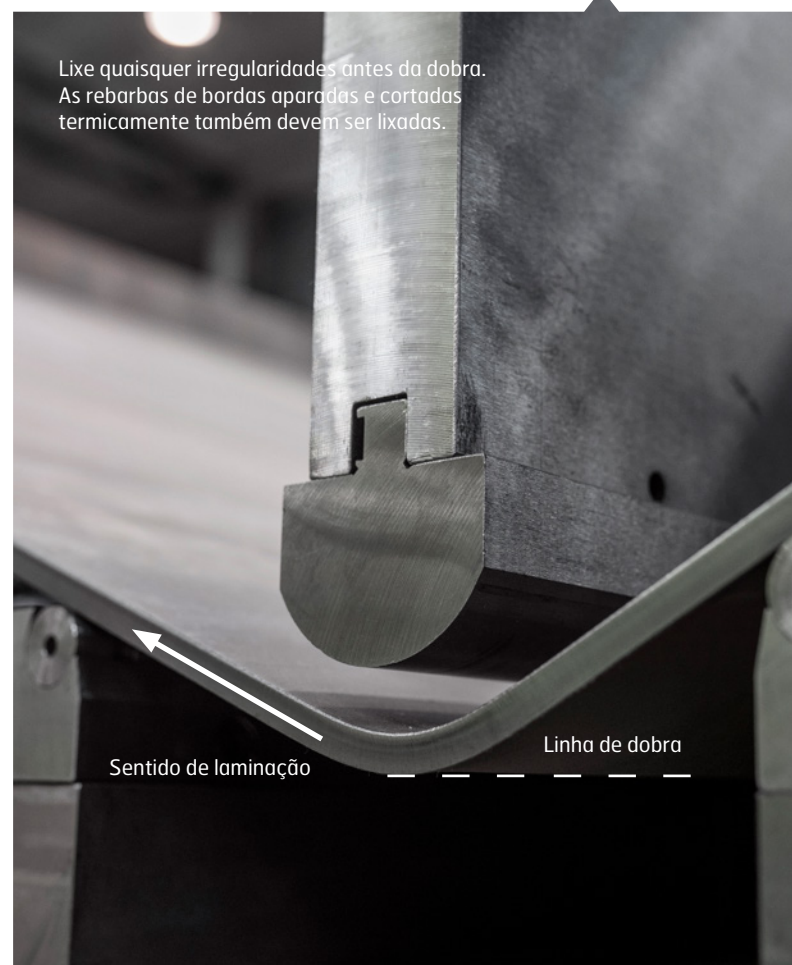
## PREPARAÇÃO

- 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 fechado desta forma do que com a linha de dobra paralela ao sentido de laminação.
- Verifique a qualidade superficial da chapa. Danos na superfície podem reduzir a capacidade de dobra, pois podem resultar em fraturas. Defeitos na chapa, como arranhões e ferrugem, muitas vezes podem ser removidos com um lixamento ou 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 um esmeril. Isto é especialmente importante ao dobrar o Toolox® 44, que é sensível a quaisquer irregularidades. Veja a Figura 1
- Verifique a condição 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 suas configurações estão de acordo com as recomendações.

**FIGURA 1** Toolox® 44 cujas rebarbas foram lixadas e com rebarbas, dobrado com o mesmo punção.



**FIGURA 2** Dobra transversal ao sentido de laminação. As bordas da abertura da matriz sempre 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 da máquina. Quando estiver dobrando aços 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 o retorno elástico. 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.
- Quanto maior a resistência do aço, maior será a força necessária para dobra, o retorno elástico e, em geral, o raio mínimo do punção recomendado.
- Nas chapas Toolox®, a identidade 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 Toolox® 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.

# FERRAMENTAS

## LARGURA DA MATRIZ

O retorno elástico aumenta quanto maior for a largura da matriz, enquanto a força de dobra diminui. Certifique-se de que o ângulo de abertura da matriz permita a dobra excessiva, sem encostar no fundo, para compensar o retorno elástico. 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 na tabela 1. 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 a ferramenta, o fenômeno torna-se mais evidente.

## 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, ou travar-deslizar, 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.

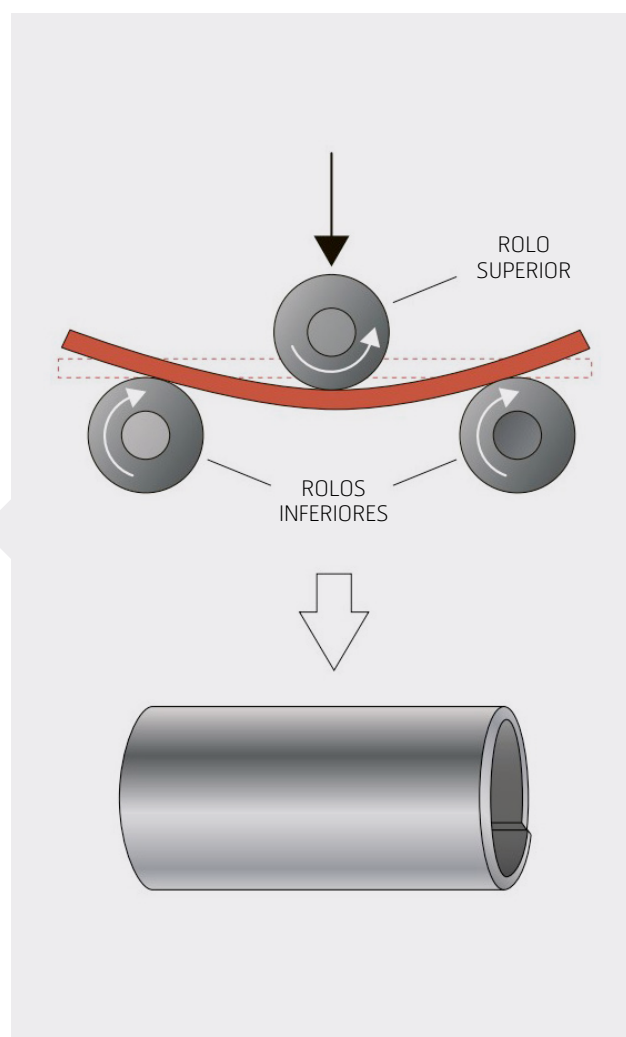
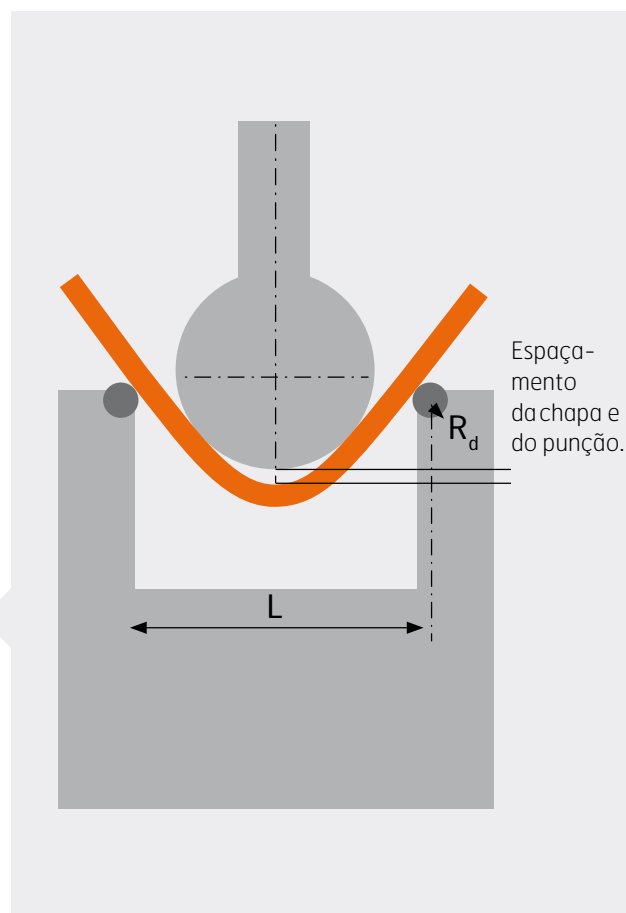
## CONDIÇÃO DAS FERRAMENTAS

Devido ao aumento da pressão de contato entre a chapa e as ferramentas ao dobrar o Toolox®, o desgaste das ferramentas aumenta um pouco. Verifique regularmente se o raio do punção e da borda da matriz são constantes. As bordas da matriz devem permanecer limpas e sem quaisquer danos.

## CALANDRAGEM

A calandragem é um processo usado para dobrar chapas em cilindros, cones, curvas e outros formatos. A chapa é conformada entre rolos para que a curvatura seja obtida. Para conseguir uma deformação permanente, a chapa deve ser tensionada acima do limite de escoamento do material. Quanto maior o limite de escoamento, mais força é necessária para atingir uma deformação plástica e, simultaneamente, aumenta-se o retorno elástico. Quando a força é aumentada, o risco de deflexão do rolo superior também aumenta. Por isso, o diâmetro dele às vezes tem que ser diminuído para poder compensar a recuperação elástica. Ao mesmo tempo, deve ser suficientemente estável durante o esforço, sem sofrer deflexão. Os aços de alta resistência podem ser dobrados por calandra, se os requisitos da máquina estiverem corretos, ou seja, se for possível receber a força de dobra necessária sem causar a deflexão do rolo superior.

FIGURA 3 Espaçamento da chapa durante a dobra



# RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

Estas recomendações de dobra são baseadas em testes de dobra em uma etapa a 90° após a descarga. Rp é o raio do punção recomendado para uso, as larguras de abertura da matriz (L) são apenas orientações e podem variar um pouco, sem afetar os resultados da dobra.

**TABELA 1** As recomendações de dobra para o aço Toolox® baseiam-se em matrizes com rolos e fricção normal (sem lubrificação). Rp/t significa o raio do punção (Rp) dividido pela espessura da chapa (t).

Grade do Toolox®	Faixa de espessuras [mm]	Rp/t mínimo, transversal ao sentido de laminação	Rp/t mínimo, ao longo do sentido de laminação	W/t mínimo, largura de abertura da matriz (W)
Toolox® 33	6<t<20	2,5	2,5	12
Toolox® 44	6<t<20	3	3,5	12

## 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 de avaliação são sempre recomendados.

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

P = Força de dobra, em toneladas (métricas)

t = Espessura da chapa, em mm

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

b = Comprimento da dobra, em mm

R<sub>m</sub> = Resistência à tração, MPa (tabela 2)

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°.

A SSAB é uma empresa siderúrgica com sede na região Nórdica e 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 Nordic Exchange de Estocolmo, Suécia, e tem uma listagem secundária na NASDAQ OMX de Helsinque, Finlândia. [www.ssab.com](http://www.ssab.com).

Rod. BR 280 S/N Km 34  
Araquari/ SC

Tel.: +55 11 3303 0800  
[contactbrazil@ssab.com](mailto:contactbrazil@ssab.com)

[toolox.com](http://toolox.com)

**TABELA 2** Valores típicos da resistência à tração para calcular a força de dobra.

Grade do Toolox®	Resistência à tração típica [MPa]
Toolox® 33	980
Toolox® 44	1450

## RETORNO ELÁSTICO

O retorno elástico 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 das tensões residuais é obtida na interseção da dobra. O nível de deformação plástica e a distribuição dessas tensões controlarão a tendência de retorno elástico. Todo retorno elástico é totalmente elástico. Para compensar o retorno elástico, a matriz deve ser moldada de forma a permitir uma dobra excessiva, sem cunhar o material. É muito difícil prever com precisão o retorno elástico a 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 o retorno elástico 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.

## PARÂMETROS QUE AFETAM O RETORNO ELÁSTICO

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