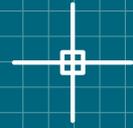
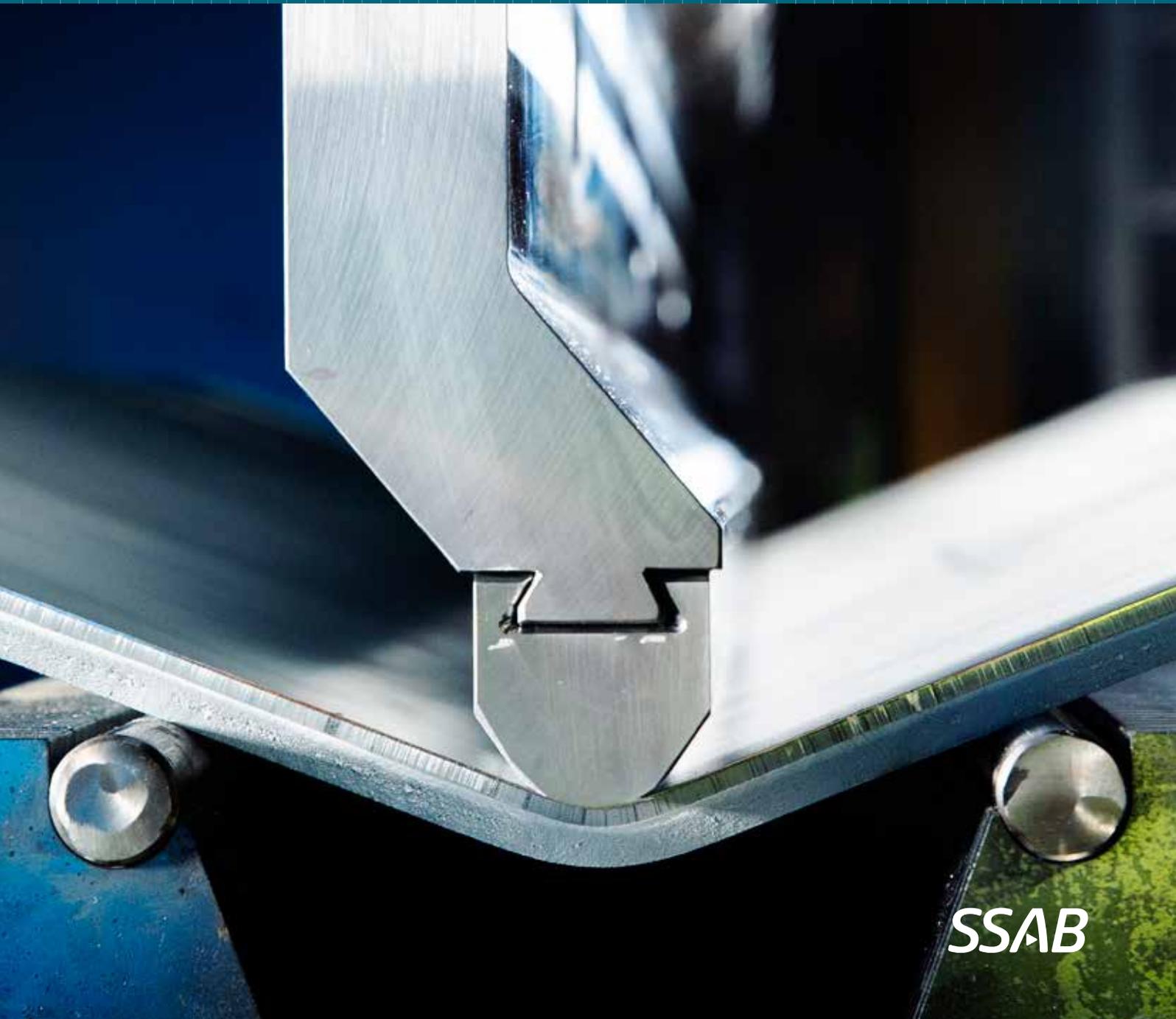


STRENX[®]
PERFORMANCE STEEL



MANUAL DE DOBRA DO STRENX[®]



SSAB

DOBRA DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA

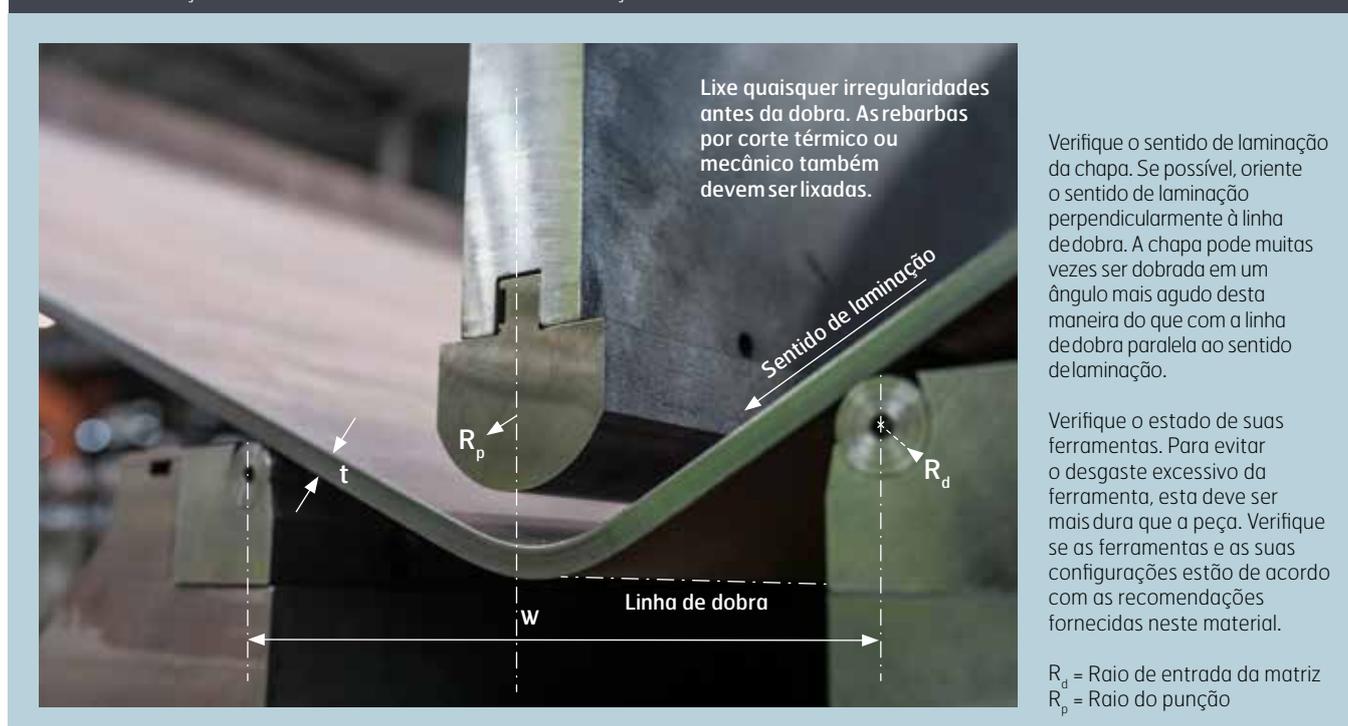
Este guia fornece garantias e recomendações para dobrar o aço de alto desempenho Strenx®, para que você consiga obter os melhores resultados de dobra.

Dobrar um aço de alta resistência não é uma tarefa difícil, porém é preciso considerar certos parâmetros. Um material de alta pureza e com poucas inclusões é fundamental para obter um bom resultado de dobra, propriedades encontradas nos aços Strenx®. Os processos modernos da SSAB garantem altos padrões de qualidade superficial, tolerâncias e propriedades mecânicas.

PREPARATIVOS ANTES DA DOBRA

- Sempre verifique o sentido de laminação da chapa. Se possível, oriente o sentido de laminação perpendicularmente à linha de dobra. A chapa pode muitas vezes ser dobrada em um ângulo mais agudo desta maneira 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 piorar a capacidade de dobra, pois podem causar trincas e fraturas. No caso de chapas grossas, defeitos como arranhões e ferrugem muitas vezes podem ser removidos com um polimento (retífica) cuidadoso. De preferência, lixe quaisquer arranhões perpendiculares à linha de dobra.
- As bordas cortadas termicamente ou mecanicamente devem ser rebarbadas e arredondadas com um esmeril ou lixadeira.
- Verifique o estado de suas ferramentas.
- Para evitar um desgaste excessivo das ferramentas de dobra, o ferramental deve ser mais duro do que a peça de trabalho.
- Verifique se as ferramentas e as suas configurações estão de acordo com as recomendações fornecidas neste material.

FIGURA 1 Realização de dobra transversal ao sentido de laminação



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. Quando o aço de alta resistência está sendo dobrado, não deve haver ninguém na frente da prensa dobradora.
- Verifique se o punção, junto com a peça, não atinge o fundo da matriz. Veja a Figura 2.
- 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 muitos produtos Strenx®, a identificação das chapas 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 Strenx® em chapas são baseadas em testes realizados em superfícies limpas por jateamento e pintadas.
- A alta taxa de deformação pode causar um aumento de temperatura local na dobra. Isso pode afetar negativamente a capacidade de dobra, especialmente no caso de espessuras maiores que 20 mm. Se possível, reduza a velocidade do punção, para diminuir a diferença de temperatura na peça.

FERRAMENTAS

Largura da matriz

A recuperação elástica aumenta conforme aumentamos a largura da matriz, ao passo que a força de dobra é reduzida. Certifique-se de que o ângulo de abertura da matriz permita a sobre-dobra, sem tocar o fundo, para compensar a recuperação elástica. Um aumento na largura de abertura da matriz pode, em muitos casos, reduzir 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 Tabelas 2 e 3 mostram as larguras de abertura da matriz mínimas recomendadas.

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

O raio adequado do punção, juntamente com a largura da matriz, são os parâmetros mais importantes ao dobrar o Strenx®. Ao dobrar o Strenx®, o raio interno final geralmente fica um pouco menor que o raio do punção. Veja a Figura 3. Quando há baixo atrito entre a chapa e as ferramentas, o fenômeno fica mais óbvio.

No caso de aços com um limite de escoamento superior a 600 MPa, o raio do punção deve ser maior que o raio interno restante desejado. As Tabelas 2 e 3 na página 7 mostram o raio mínimo recomendado do punção ao dobrar a 90° e o raio interno final que pode ser alcançado.

FIGURA 2 Diferença entre dobra em ar e dobra de fundo

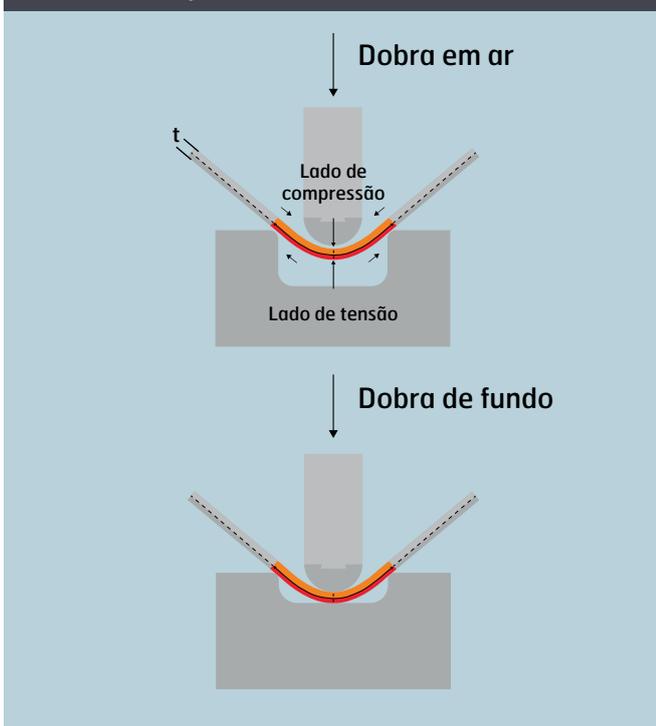
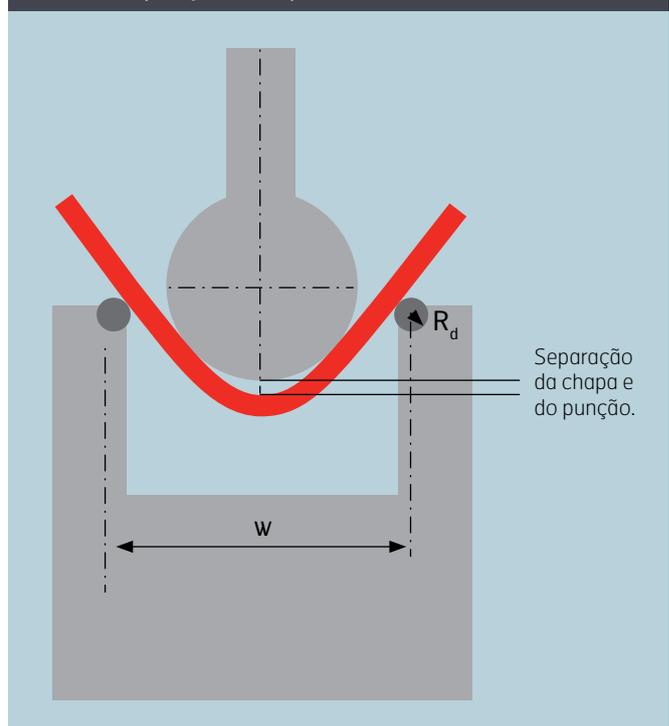


FIGURA 3 Separação da chapa durante a dobra



Condição das ferramentas

Devido ao aumento da pressão de contato entre a chapa e as ferramentas ao dobrar um aço de alta resistência, o desgaste das ferramentas aumenta um pouco. Verifique regularmente se o raio do punção e da borda da matriz são constantes. No caso de materiais dobrados que trincaram durante a fabricação de um componente ou peça, em muitos casos a trinca se propaga a partir do lado de compressão da dobra. 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

As forças são frequentemente elevadas ao dobrar aços de alta resistência. A força do punção atua na superfície do aço e o atrito entre o aço e as ferramentas afetará o resultado da dobra e a força necessária.

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. Utilize uma máquina estável e fixação firme das ferramentas. A lubrificação da borda da matriz ou o uso de um raio rotativo da borda da matriz pode ser útil, o que evita o fenômeno stick-slip e também diminui a força de dobra.

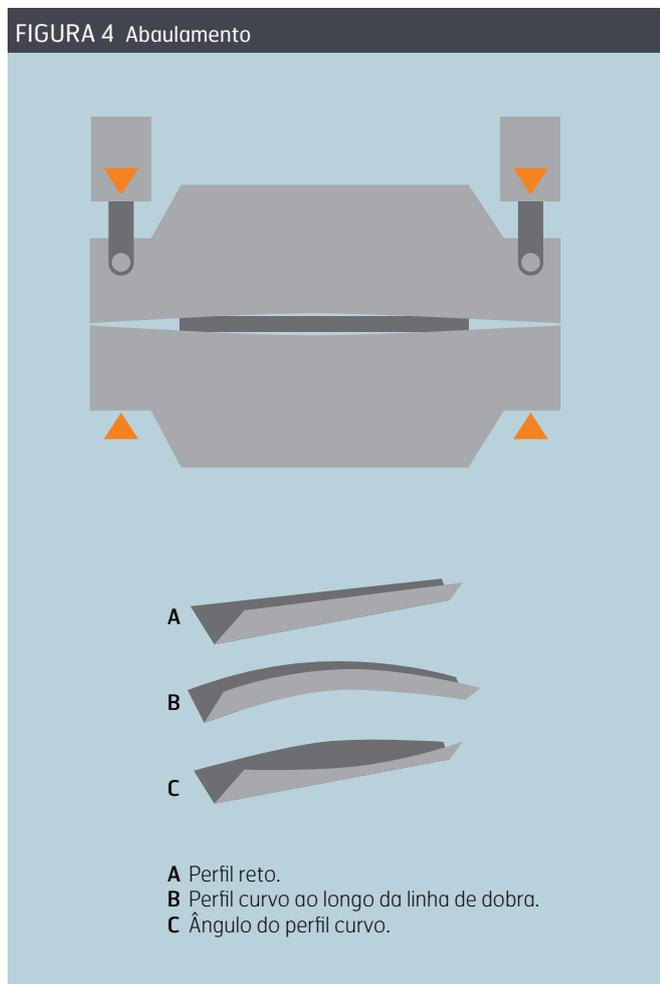
Abaulamento

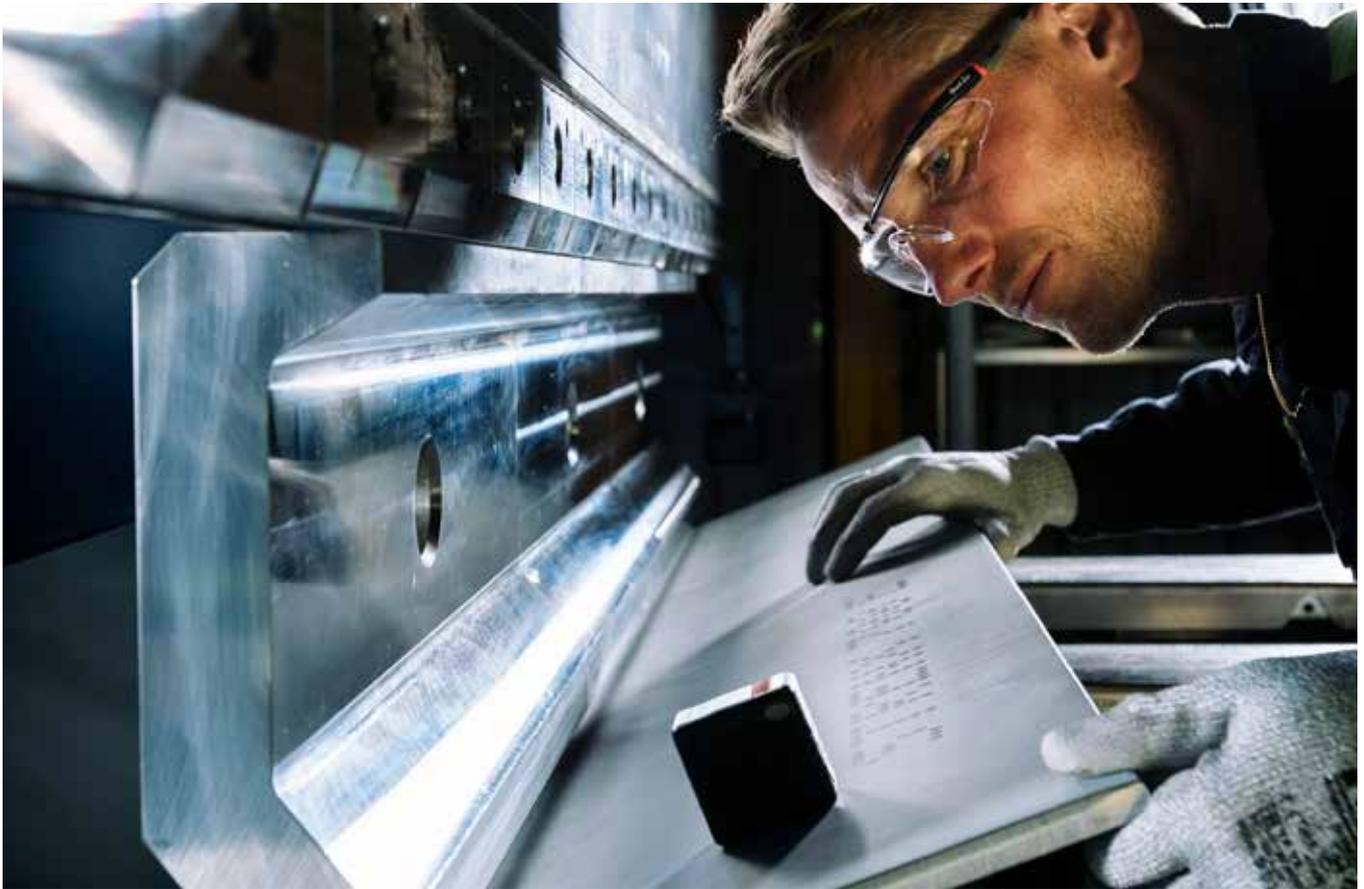
O abaulamento compensa a deflexão elástica da máquina de dobra sob carga. Veja a Figura 4. A parte central do punção e da matriz é a que mais apresenta deflexão. Com o abaulamento, a deflexão (C) pode ser compensada, sendo possível alcançar o mesmo ângulo de dobra ao longo de todo o comprimento do corte. 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 de compressão no lado distendido, ao mesmo tempo que surgem tensões de tração no lado comprimido. Veja 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





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, mas 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.

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

P = Força de dobra, toneladas métricas
 t = Espessura da chapa, em mm
 W = Largura da matriz, em mm (Figura 1)
 b = Comprimento da dobra, em mm
 R_m = Resistência à tração, MPa (Tabela 1)
 R_d = Raio de entrada da matriz, em mm
 R_p = Raio do punção, em mm

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

Grau	Resistência à tração 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 BendCalc

Consulte o aplicativo BendCalc da SSAB, o primeiro aplicativo que prevê a recuperação elástica e a profundidade do punção, para obter as configurações corretas de dobra para o aço Strenx®.

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.

RECUPERAÇÃO ELÁSTICA (EFEITO MOLA)

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 das tensões residuais é obtida na interseção 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 sobre-dobra, 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), é possível calcular a recuperação elástica do material, dividindo por 100 a resistência à tração (MPa).

Uma pré-condição é que a largura da matriz seja aproximadamente 10–12 x a espessura da chapa.

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.

GARANTIAS E RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

Como os produtos da SSAB são desenvolvidos e especializados para diferentes tipos de uso, os testes de dobra e a avaliação destes variam um pouco.

No caso de produtos em chapa, a relação mínima recomendada entre o raio do punção e a espessura da chapa/tira (R/t) é mostrada nas Tabelas 2 e 3, juntamente com as recomendações correspondentes para tiras.

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 apenas para fins de referência e podem variar um pouco.

Para mais informações sobre outros materiais e informações técnicas, entre em contato com o nosso suporte técnico ou visite www.ssab.com.

Strenx® é entregue com desempenho de dobra garantido, de acordo com a garantia Strenx. Para mais informações, entre em contato com o representante da SSAB de sua região.

Entre em contato com o suporte técnico da SSAB para que nossos especialistas possam ajudá-lo.



TABELA 2 CHAPA STRENX®, GARANTIAS E RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

As garantias e recomendações de dobra para a chapa Strenx® são baseadas em matrizes com rolos e com a presença de níveis normais de fricção (sem lubrificação). R/t é o raio (R) dividido pela espessura da tira (t).

Grau/Produto	Espessura nominal (t) (mm)	Raio interno final mínimo garantido na chapa		Raio mínimo do punção recomendado para uso		W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
		R _i /t transversal ao sentido de laminação	R _i /t ao longo do sentido de laminação	R _p /t transversal ao sentido de laminação	R _p /t ao longo do sentido de laminação	
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

TABELA 3 TIRA STRENX®, GARANTIAS E RECOMENDAÇÕES DE DOBRA

As garantias e recomendações de dobra para a tira Strenx® são baseadas em matrizes com rolos e com a presença de níveis normais de fricção (sem lubrificação). R/t é o raio (R) dividido pela espessura da tira (t).

Grau/Produto	Espessura nominal (t) (mm)	Raio interno final mínimo garantido na tira		Raio mínimo do punção recomendado para uso		W/t mínima, largura (W) de abertura da matriz
		R _i /t transversal ao sentido de laminação	R _i /t ao longo do sentido de laminação	R _p /t transversal ao sentido de laminação	R _p /t ao longo do sentido de laminação	
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	O AÇO ANTIDESGASTE	O AÇO ANTIDESGASTE	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

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 Nordic Exchange de Estocolmo, Suécia, e tem uma listagem secundária na Nasdaq OMX de Helsinque, Finlândia.

www.ssab.com

SSAB

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

Telefone: +55 11 3303 0800
Email: vendas@ssab.com

www.ssab.com.br