

Manual de dobra do Strenx®

Recomendações de especialistas para obter os
melhores resultados na oficina.



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.

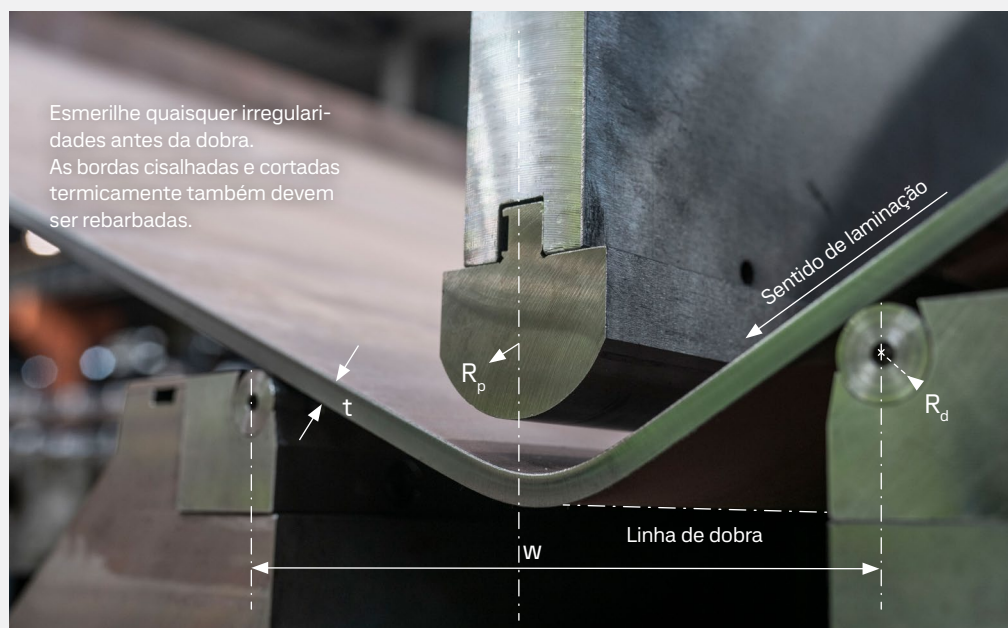
Dobrar aço de alta resistência costuma ser simples, mas ainda é preciso considerar determinados parâmetros. Um material de alta pureza e com poucas inclusões é fundamental para obter um bom resultado de dobra. Os modernos processos da SSAB permitem alcançar elevados padrões de qualidade superficial, 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 esmerilhamento cuidadoso. As marcas de esmerilhamento devem, de preferência, ficar perpendiculares à linha de dobra.
- As bordas cortadas termicamente ou cisalhadas devem ser rebarbadas e arredondadas com uma esmerilhadeira.
- Verifique o estado das ferramentas e certifique-se de que não estejam desgastadas além das tolerâncias permitidas e de que suas superfícies estejam lisas.
- 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 sua configuração estão de acordo com as recomendações fornecidas neste manual.

FIGURA 1

Dobra transversal ao sentido de laminação.



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.

Verifique o estado de suas ferramentas. Para evitar o desgaste excessivo da ferramenta, esta deve ser mais dura que a peça. Verifique se as ferramentas e sua configuração estão de acordo com as recomendações fornecidas neste manual.

R_d = Raio de entrada da matriz

R_p = Raio do punção

W = Largura da matriz

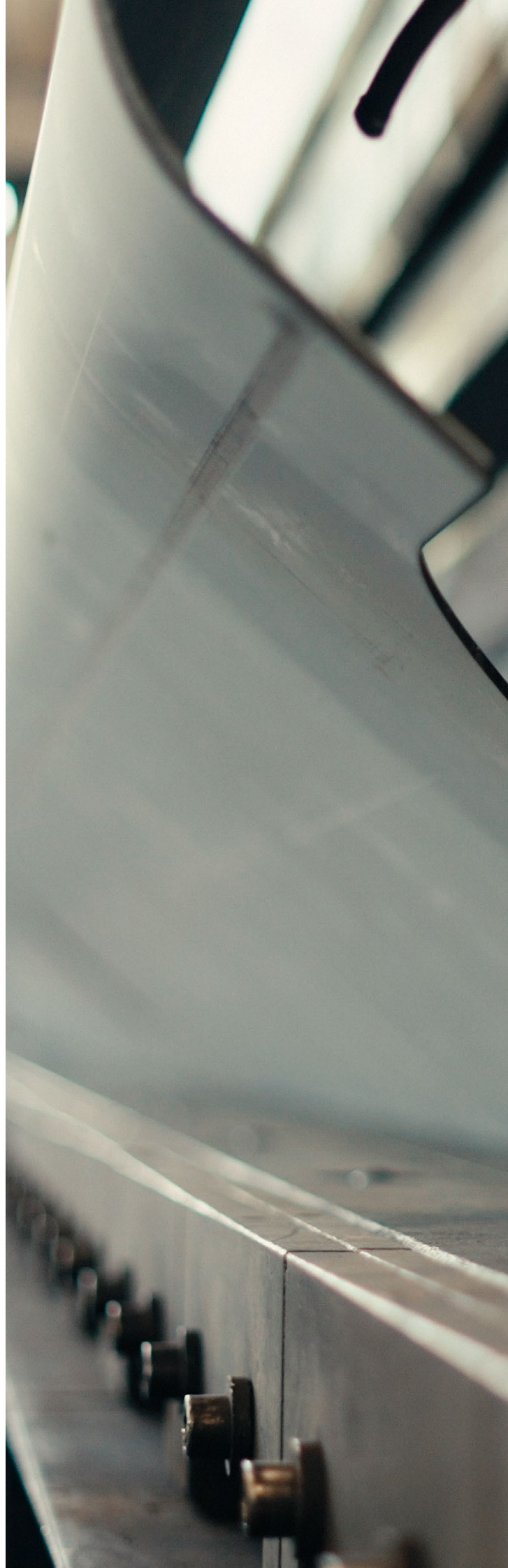
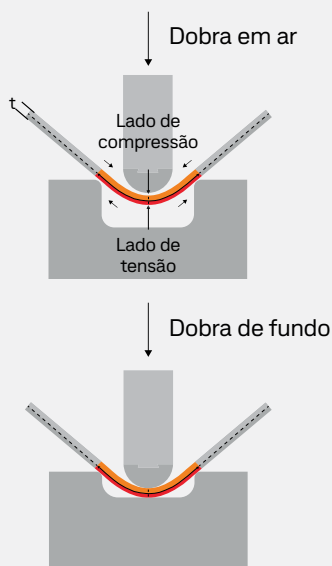
t = Espessura

Pontos a considerar

- 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 e a peça não atingem 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 interno mínimo garantido aumentam com a resistência do aço.
- Em muitos produtos de chapa Strenx®, a identificação da chapa é estampada perpendicularmente ao sentido de laminação. Evite posicionar a linha de dobra sobre a marcação devido ao risco de trincas.
- A limpeza excessiva por jateamento pode afetar negativamente a capacidade de dobra. As recomendações para os produtos de chapa Strenx® baseiam-se em testes realizados em superfícies jateadas 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.

FIGURA 2

Diferença entre dobra em ar e dobra de fundo.



Ferramentas

Largura da matriz

A recuperação elástica aumenta com a largura da matriz, enquanto a força de dobra diminui. Certifique-se de que o ângulo de abertura e a profundidade da matriz permitam a sobredobra sem que o punção e a peça atinjam o fundo da matriz, 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 para o punção escolhido e a peça durante a dobra, sem deformar a 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, consequentemente, reduzir o risco de marcas na mesma.

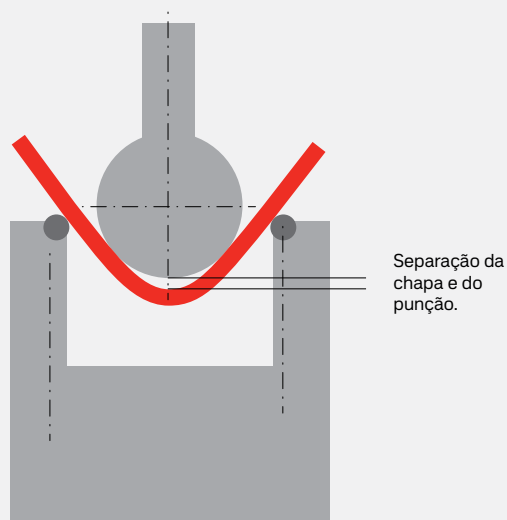
Punção

O raio adequado do punção, juntamente com a largura da matriz, é o parâmetro mais importante 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 pouco atrito entre a chapa e as ferramentas, o fenômeno torna-se mais evidente.

Para aços com limite de escoamento superior a aproximadamente 600 MPa, deve-se utilizar um raio de punção maior que o raio interno final desejado. As Tabelas 2 e 3 da página 11 apresentam o raio inicial recomendado do punção para a dobra a 90°, juntamente com o raio interno mínimo garantido. Use o raio inicial recomendado do punção para verificar o raio interno que pode ser obtido com suas ferramentas específicas.

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 coeficiente de atrito 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.

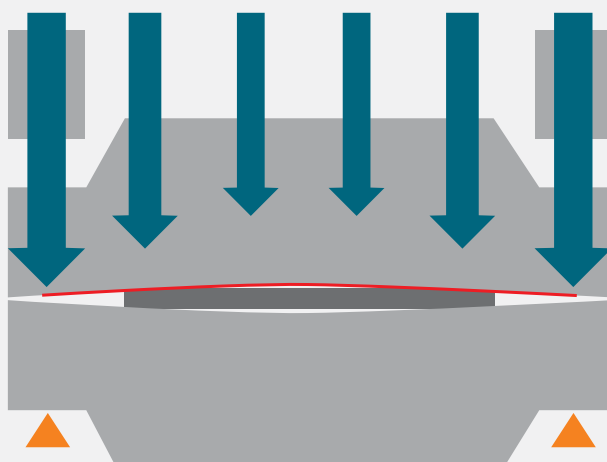
Utilize uma máquina estável e fixação firme das ferramentas. A lubrificação da borda da matriz ou o uso de um raio rotativo da borda da matriz pode ser útil, o que evita o fenômeno stick-slip e também diminui a força de dobra.

Abaulamento

O abaulamento compensa a deflexão elástica da máquina de dobra sob carga. Veja a Figura 4. As partes centrais do punção e da matriz são as que mais sofrem deflexão. Com o abaulamento, a deflexão (C) pode ser compensada, sendo possível alcançar o mesmo ângulo de dobra ao longo de todo o comprimento da peça. 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 por etapas de perfis longos.

FIGURA 4
Abaulamento



A viga superior da prensa dobradeira sofre deflexão durante a dobra.



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





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	1020
Strenx® 960 E/F	1060
Strenx® 1100 E/F	1420
Strenx® 1300 E/F	1520
Strenx® 600MC D/E	730
Strenx® 650MC D/E	800

Grau	Resistência à tração típica (MPa)
Strenx® 700MC D/E	850
Strenx® 700MC Plus	820
Strenx® 700 CR	1090
Strenx® 900MC	1070
Strenx® 900 Plus	1040
Strenx® 960MC	1110
Strenx® 960 Plus	1090
Strenx® 960 CR	1200
Strenx® 1100MC	1320
Strenx® 1100 CR	1400
Strenx® 700 HR W	870
Strenx® 700 CR W	1090
Strenx® 960 HR W	1150

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 a variação do braço de alavanca

durante a dobra. Considera-se que o pico de carga seja alcançado com um ângulo de abertura da dobra de 120° e atrito normal, sem lubrificação. Testes preliminares são sempre recomendados.

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

P = Força de dobra, toneladas métricas
(1 tonelada métrica equivale a 9,8 kN)

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



SSAB BendCalc

Para obter as configurações corretas de dobra do Strenx®, consulte o BendCalc da SSAB, o primeiro software que prevê a recuperação elástica e a profundidade do punção. Ele é gratuito e está disponível em ssab.com.

Com base nas características do aço, na simetria da matriz e da ferramenta, no formato final da dobra e nas condições de atrito, o aplicativo BendCalc fornece os resultados em segundos:

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

Você pode salvar os resultados e compartilhar o relatório em 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 seção transversal da dobra. O nível de deformação plástica e a distribuição dessas tensões controlarão a tendência de recuperação elástica. A recuperação elástica é um fenômeno totalmente elástico.

Para compensar a recuperação elástica, a matriz deve ter um formato que permita a sobredobra 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. Por esse motivo, recomenda-se realizar testes. Em chapas ou tiras mais finas ($t < 10$ mm), é possível estimar a recuperação elástica do material dividindo a resistência à tração (MPa) por 100. Como condição prévia, a largura de abertura da matriz deve atender ao valor mínimo recomendado.

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 sua avaliação variam um pouco.

O raio interno mínimo garantido é apresentado nas Tabelas 2 e 3. Também são fornecidos valores para o raio inicial recomendado do punção, que serve como ponto de partida para determinar o raio interno alcançável com as ferramentas e a configuração utilizadas.

Estas garantias e recomendações de dobra baseiam-se em testes de dobra em uma única etapa até 90°, após a descarga. As larguras de abertura da matriz são valores de referência e podem variar um pouco.

Para obter informações sobre outros materiais e mais dados técnicos, 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® baseiam-se em matrizes com rolos e atrito normal, sem lubrificação. R/t representa o raio (R) dividido pela espessura da chapa (t).

Grau/Produto	Espessura nominal (t) (mm)	Raio interno final mínimo garantido na chapa		Raio inicial recomendado do punção		Largura recomendada de abertura da matriz
		Ri/t transversal ao sentido de laminação	Ri/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® 700 E/F	t < 8	1.5	1.8	2.0	2.5	10
Strenx® 100	8 ≤ t < 15	1.5	1.8	2.0	2.5	10
Strenx® P700	15 ≤ t < 20	1.7	2.1	2.0	2.5	12
Strenx® 700 OME	t ≥ 20	2.0	2.2	2.6	2.8	12
Strenx® 900 E/F Strenx® 960 E/F	t < 8	2.3	2.5	2.8	3.0	12
	8 ≤ t < 15	2.3	2.6	2.8	3.2	14
	15 ≤ t < 20	2.4	2.7	2.8	3.2	14
	t ≥ 20	2.8	3.4	3.0	3.5	16
Strenx® 1100 E/F	t < 8	2.8	3.3	3.2	3.6	12
	8 ≤ t < 15	3.4	3.6	3.8	4.0	14
	15 ≤ t < 20	3.4	3.6	3.8	4.0	14
	t ≥ 20	3.7	4.0	4.2	4.5	16
Strenx® 1300 E/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® baseiam-se em matrizes com rolos e atrito normal, sem lubrificação. R/t representa o raio (R) dividido pela espessura da tira (t).

Grau/Produto	Espessura nominal (t) (mm)	Raio interno final mínimo garantido na tira		Raio inicial recomendado do punção		Largura recomendada de abertura da matriz
		Ri/t transversal ao sentido de laminação	Ri/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 Strenx® 100 XF	t ≤ 3	0.8	0.8	0.8	0.8	10
	3 < t ≤ 6	1.2	1.2	1.2	1.2	10
	t > 6	1.5	1.5	1.5	1.5	10
Strenx® 700MC D/E Strenx® 110 XF	t ≤ 3	0.8	0.8	1.0	1.0	10
	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 ≤ t ≤ 6	1.2	1.2	1.4	1.4	10
	t > 6	1.6	1.6	1.7	1.7	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	3.7	4.0	12
	t > 8	3.5	3.5	4.0	4.5	12
Strenx® 900 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.0	3.0	4.0	4.0	12
Strenx® 960MC	3 ≤ t ≤ 10	3.5	3.5	4.0	4.0	12
Strenx® 960 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.5	3.5	4.0	4.2	12
Strenx® 960 HR W	3 ≤ t ≤ 6.1	3.5	3.5	4.0	4.0	12
Strenx® 1100MC	3 ≤ t ≤ 8	4.0	4.0	4.7	5.0	14
Strenx® 700 CR Strenx® 700 CR W	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 sediada nos países nórdicos e nos Estados Unidos. A SSAB oferece produtos e serviços de valor agregado desenvolvidos em estreita cooperação com seus clientes para criar um mundo mais forte, leve e sustentável. A SSAB tem funcionários em mais de 50 países e unidades de produção na Suécia, Finlândia e Estados Unidos. A SSAB é listada na Nasdaq Stockholm e possui uma listagem secundária na Nasdaq Helsinki.

SSAB

P.O. Box 70
SE-101 21 Stockholm
SWEDEN

Visiting address:
Klarabergsviadukten 70

Telephone: +46 8 45 45 700
Email: contact@ssab.com

strenx.com

STRENX[®]
PERFORMANCE STEEL