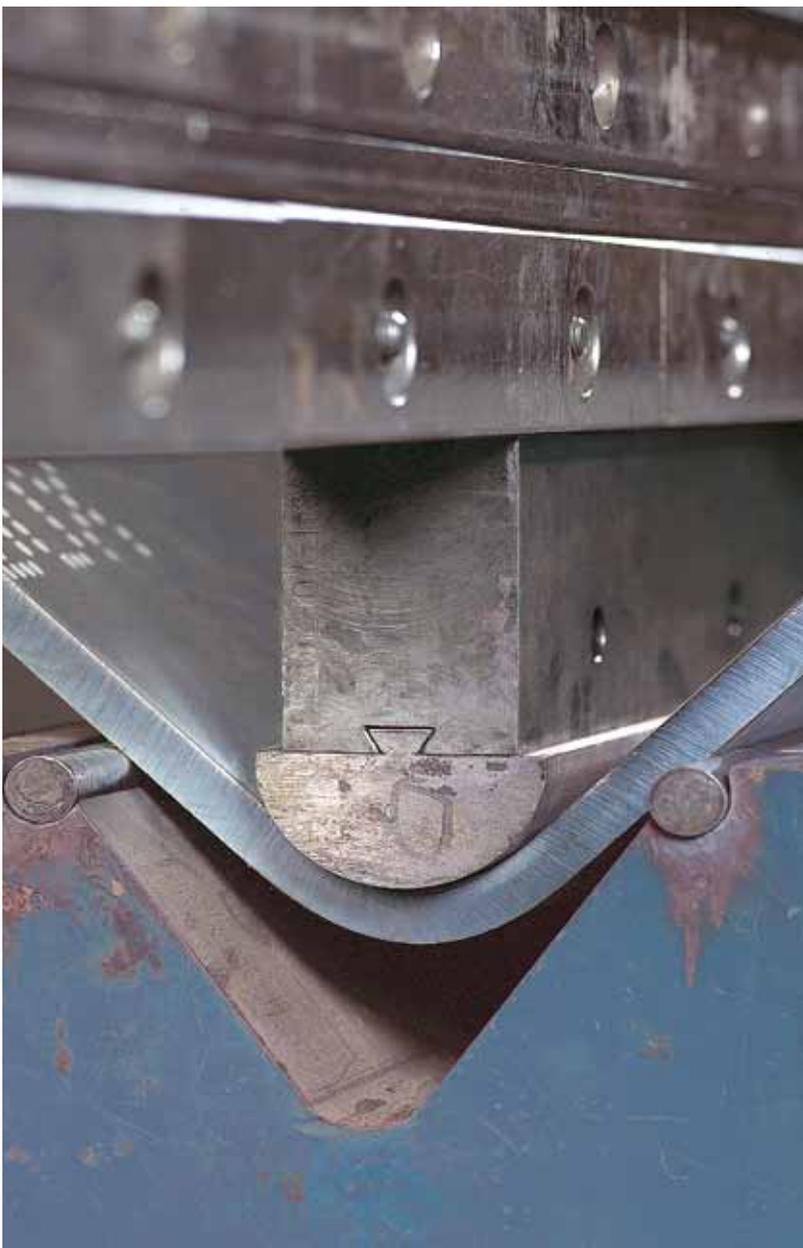


Dobra/Corte por cisalhamento



WELDOX[®]
AÇO ESTRUTURAL

HARDOX[®]
CHAPA ANTIDESGASTE

Esta publicação aborda o dobramento a frio, e também o corte da chapa antidesgaste Hardox® e da chapa de aço estrutural Weldox®. Nestes tipos de aços, combinamos elevada resistência com elevada pureza e mantemos apertadas tolerâncias de espessura, o que torna estes aços notavelmente adequados ao dobramento a frio.

Nossas recomendações para obter os melhores resultados com o dobramento a frio e com o corte por cisalhamento dos nossos aços antidesgaste e de alta resistência estão descritas abaixo.

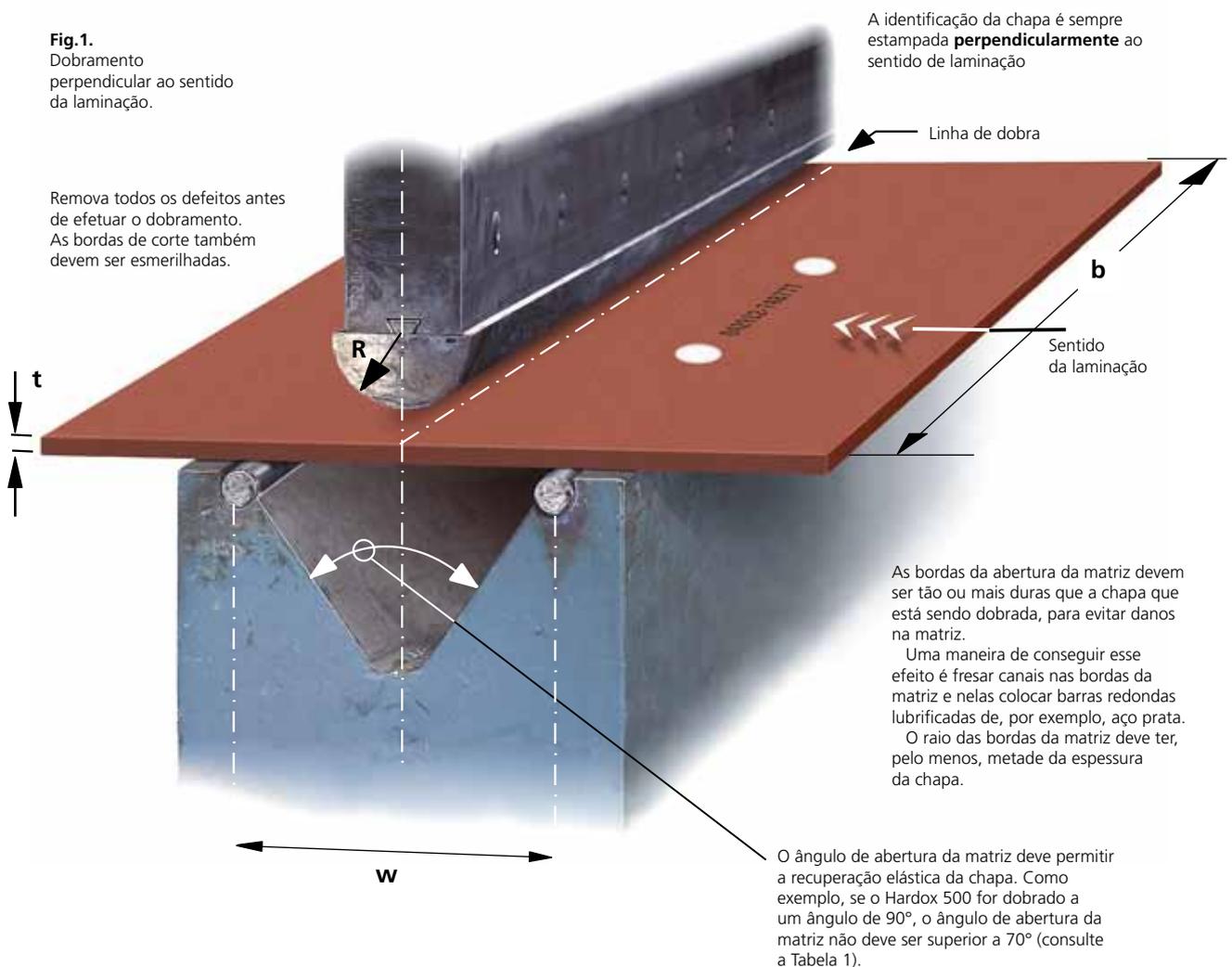
Dobramento

Esta seção fala sobre o dobramento a frio em prensa, embora o dobramento em calandra, obviamente, também pode ser utilizado. Os resultados do dobramento dependem de uma série de fatores que agrupamos aqui em três partes: a chapa, as ferramentas e o procedimento. Estes fatores são abordados nas páginas 3 e 4, nas quais também são apresentados alguns exemplos.

As propriedades físicas típicas dos materiais são indicadas na Tabela 4 na última página.

Fig. 1.
Dobramento perpendicular ao sentido da laminação.

Remova todos os defeitos antes de efetuar o dobramento. As bordas de corte também devem ser esmerilhadas.



Os resultados de uma operação de dobramento são afetados pela chapa, pelas ferramentas e pelos procedimentos utilizados:

A CHAPA

– Tipo de aço

Observar que a força de dobramento e a recuperação elástica aumentam com a resistência da chapa. (Para obter os valores típicos de resistência à tração consulte a Tabela 4).

Assim, quanto mais resistente e dura for a chapa,

- mais elevada terá de ser a força de dobramento;
- maior será a recuperação elástica ;
- maior terá de ser o raio do punção;
- maior terá de ser a abertura da matriz;

– Superfície da chapa

As nossas recomendações podem ser aplicadas em chapas jateadas com granalha e com pintura anticorrosiva. A existência de danos à superfície e de ferrugem na parte lateral da chapa, que se encontra sob tensão durante o dobramento, poderá reduzir a respectiva capacidade de dobramento. Em casos críticos, tais defeitos devem ser removidos por esmerilhamento.

– Bordas da chapa

As bordas cortadas ou cisalhadas devem ter as rebarbas removidas e arredondadas com um esmeril.

– Espessura da chapa (t)

Regra geral: uma chapa mais fina pode ser dobrada com raios menores. Consulte a Tabela 1.

– Sentido de laminação da chapa

A chapa pode ser dobrada com um raio menor perpendicularmente ao sentido de laminação. Consulte a Figura 1 e a Tabela 1.

– Comprimento da dobra (b)

Se o comprimento da dobra (consulte a Figura 1) for menor que 10 vezes a espessura da chapa, a chapa pode, muitas vezes, ser dobrada com raios menores que os indicados na Tabela 1.

AS FERRAMENTAS

– Raio do punção (R)

O raio correto do punção é o fator mais importante no dobramento do Hardox e do Weldox. (Consulte a Figura 1.)

No caso dos aços menos resistentes, recomenda-se que o raio do punção seja igual ou pouco menor do que o raio de dobramento necessário.

No caso dos aços mais resistentes, recomenda-se que o raio do punção seja igual ou um pouco maior que o raio de dobramento necessário.

A Tabela 1 indica o raio mínimo de punção recomendado para evitar o aparecimento de trinca quando a chapa é dobrada a 90°.

Tabela 1.

O raio de punção (R) mínimo recomendado e a largura de abertura da matriz (W) para a espessura de chapa (t) quando a chapa é dobrada a 90° no sentido da laminação e perpendicularmente ao sentido de laminação e também a recuperação elástica correspondente.

cont. ▷

	Espessura [mm]	Transversal a laminação R/t	No sentido da laminação R/t	Transversal a laminação W/t	No sentido da laminação W/t	Efeito Mola [°]
S 355 acc to EN 10025		2,5	3,0	7,5	8,5	3-5
Weldox 700	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	1,5 2,0 3,0	2,0 3,0 4,0	7,0 7,0 8,5	8,5 8,5 10,0	6-10
Weldox 900/960	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	2,5 3,0 4,0	3,0 4,0 5,0	8,5 8,5 10,0	10,0 10,0 12,0	8-12
Weldox 1030	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	3,0 3,5 4,5	3,5 4,5 5,5	9,0 9,0 11,0	10,0 11,0 13,0	10-32
Weldox 1100	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	3,5 4,0 5,0	4,0 5,0 6,0	10,0 10,0 12,0	10,0 12,0 14,0	11-18
Weldox 1300	t < 6 6 < t < 10	3,5 4,0	4,0 5,0	10,0 12,0	12,0 14,0	12-45
Hardox 400	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	2,5 3,0 4,5	3,0 4,0 5,0	8,5 10,0 12,0	10,0 10,0 12,0	9-13
Hardox 450	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	3,5 4,0 5,0	4,0 5,0 6,0	10,0 10,0 12,0	10,0 12,0 14,0	11-18
Hardox 500	t < 8 8 ≥ t < 20 t ≥ 20	4,0 5,0 7,0	5,0 6,0 8,0	10,0 12,0 16,0	12,0 14,0 18,0	12-20

É preciso ter cuidado durante todo o processo de dobramento devido à alta resistência da chapa e à elevada força de dobramento necessária. Se ocorrerem trincas na chapa, os fragmentos do material poderão ser lançados. Durante o dobramento, o operador e outras pessoas não devem ficar à frente da máquina. Todos devem permanecer ao lado do equipamento.

AS FERRAMENTAS (cont.)

– Largura de abertura da matriz (W)

A Tabela 1 especifica a abertura mínima recomendada da matriz para minimizar o efeito mola. Se a largura for aumentada, a força de dobramento e as marcas de impressão, sem dúvida, serão reduzidas, mas à custa do aumento do efeito mola

Observe que o ângulo de abertura deve ser pequeno o suficiente para permitir um certo excesso de dobramento. (Consulte a Figura 1 e a Tabela 1). Na calandragem, o efeito mola será muito maior do que os valores indicados na tabela.

PROCEDIMENTOS DE DOBRAMENTO

– Atrito

As bordas da matriz devem estar limpas e sem danos. A força de dobramento necessária e o risco de trincas podem ser reduzidos por meio do uso de barras redondas livres para girar as bordas da matriz, ou por meio da lubrificação das bordas da matriz.

– Ângulo de dobramento

As recomendações da Tabela 1 referem-se ao dobramento com um ângulo de 90°.

Note que o ângulo de dobramento tem um efeito menor na força de dobramento necessária e na recuperação elástica do que a largura de abertura da matriz e o tipo de aço.

O efeito mola pode ser compensado por excesso no dobramento pelo mesmo número de graus.

– Força de dobramento (P)

A força de dobramento necessária pode ser calculada utilizando a fórmula abaixo. A força é obtida em toneladas (1 tonelada corresponde a 10 kN), com uma precisão de cerca de 20%, desde que todas as dimensões utilizadas estejam em mm. Para obter informações sobre os símbolos utilizados, consulte a Figura 1. A resistência à tração R_m da chapa pode ser obtida a partir da Tabela 4.

$$P = \frac{1,6 \times b \times t^2 \times R_m}{10000 \times W}$$

Se o raio do punção utilizado para a dobra for muito maior que o especificado na Tabela 1, a força necessária poderá ser superior ao valor obtido através da fórmula. A não ser que a largura de abertura da matriz seja aumentada proporcionalmente.

Exemplo 1:

Uma determinada prensa é capaz de dobrar apenas a chapa de aço EN10025 – S355 com 20mm de espessura, numa matriz de 150 mm de abertura.

Se for utilizada a mesma matriz e o comprimento de dobra for o mesmo, qual será a espessura da chapa Hardox 400 que a máquina conseguirá dobrar?

As forças de dobramento devem ser as mesmas. Apenas a espessura da chapa (t) e a resistência à tração (R_m) serão diferentes. Substituindo os valores na fórmula acima, de forma simplificada:

$$20^2 \times 550 = t^2 \times 1250$$

A espessura (t) da chapa Hardox será de 13,3 mm.

A relação W/t da chapa Hardox 400 será de 150/13,3 = 11,3 que, de acordo com a Tabela 1, é satisfatória.

Exemplo 2:

Uma cantoneira com 2.000 mm de comprimento deve ser produzida pelo dobramento da chapa. A escolha está entre utilizar:

a) chapa de espessura de EN10025 – S355, com 10 mm de espessura e resistência à tração típica de 550 Mpa; ou

b) chapa de Wieldox 700, com 7 mm de espessura e resistência à tração típica de 860 MPa.

Em ambos os casos, deverá ser utilizada uma matriz existente com uma largura de abertura de 100 mm. Que força de prensagem será necessária para cada tipo de aço?

Para o EN10025 – S355:

$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 10 \times 10 \times 550}{10000 \times 100} = 176 \text{ tonnes}$$

Para o Wieldox 700:

$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 7 \times 7 \times 860}{10000 \times 100} = 135 \text{ tonnes}$$

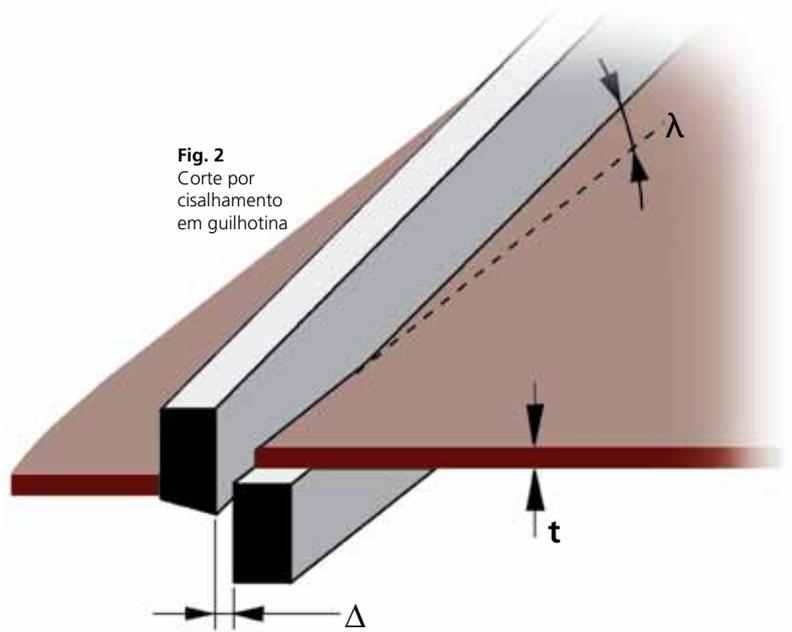
Uma vez que a espessura da chapa tem mais influência do que resistência, a força necessária para o dobramento da chapa Wieldox será inferior neste caso em particular.

	Espessura da chapa, mm			
	10	20	30	60
S 355 – EN 10025	10	20	30	60
Wieldox 700	8	16	24	48
Wieldox 900 / 960	7	14	21	42
Hardox 400	6	13	19	38
Força de dobramento por metro [toneladas]	120	240	330	660
... com uma largura de abertura da matriz (W) [mm]	75	150	240	480

Tabela 2

São indicadas na tabela as espessuras de chapa que requerem a mesma força de dobramento por metro de comprimento de dobra, com as larguras de abertura da matriz (W).

Fig. 2
Corte por cisalhamento em guilhotina



Corte por cisalhamento em guilhotina

Aços de alta resistência também podem ser cortados por cisalhamento. Como regra geral, quanto maior for a resistência à tração, maior será a força de corte necessária. O desgaste da ferramenta também aumenta com o aumento da resistência à tração, não sendo aconselhável o corte por cisalhamento do Weldom 1100, Hardox 450 e outros aços de resistência mais elevada.

Resultados satisfatórios no corte por cisalhamento de chapas de alta resistência pressupõem a utilização de boas ferramentas e o ajuste correto dos parâmetros de corte. Note que nossas sugestões para ajustes são apenas recomendações gerais. Na prática, a seleção é ditada pela estabilidade da máquina e pelo estado das lâminas de corte.

Lâminas

As lâminas devem ser duras e afiadas, com bordas ligeiramente arredondadas.

Folga Δ

Este é o parâmetro mais importante para atingir bons resultados. A folga entre as lâminas móvel e estacionária deve ser aumentada conforme a resistência à tração seja elevada (ver Tabela 3). Uma folga incorreta resultará em superfícies cortadas deficientes e poderá provocar trincas quando a chapa for, subsequentemente, soldada ou dobrada.

Ângulo de inclinação λ

Quanto maior for o ângulo de inclinação, menor será a força de corte, embora seja maior o risco de deslizamento da chapa para os lados ou de deformação (torção) da peça já cortada. Como regra geral, o ângulo de inclinação deve ser aumentado no corte da chapa de alta resistência. Ver Fig. 2 e a Tabela 3 abaixo.

Força de corte P

Para um determinado ângulo de inclinação, a força de corte aumenta linearmente com o aumento da resistência da chapa. Ver Fig. 3 e a Tabela 4.

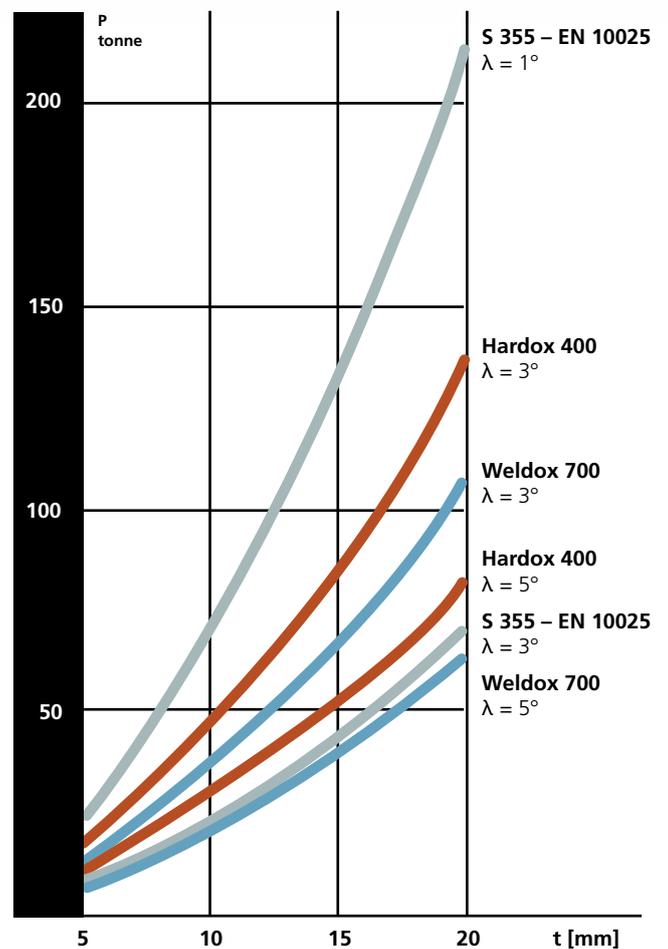


Fig. 3.
A força de corte como função da espessura e do ângulo de inclinação λ entre as lâminas.

Tabela 3.
Ajustes de folga e ângulo de inclinação para diferentes tipos de chapa

	Folga, Δ no % de t	Ângulo de inclinação, λ [°]
S 355 - EN 10025	8-10	1-5
Weldom 700	12-15	3-5
Weldom 900	14-16	3-5
Weldom 960	14-16	3-5
Hardox 400	16-18	3-5

Tabela 4.
Propriedades físicas típicas

	Resistência à tração R_m [MPa]	Alongamento A_5 [%]	Dureza [HBW]
S 355 acc to EN10025	550	28	~ 180
Weldox 700	860	17	~ 270
Weldox 900	1030	15	~ 330
Weldox 960	1070	15	~ 340
Weldox 1030	1340	11	~ 430
Weldox 1100	1440	11	~ 460
Weldox 1300	1540	10	~ 490
Hardox 400	1250	10	~ 400
Hardox 450	1440	9	~ 450
Hardox 500	1550	8	~ 500

Para obter mais informações, contate o nosso departamento de Assistência Técnica ao cliente.

O folheto Dobra/corte por cisalhamento faz parte de uma série de publicações destinadas a fornecer conselhos e orientações sobre a utilização das chapas Hardox e Weldox. Os folhetos Soldagem e Usinagem estão também incluídos nessa série e podem ser solicitados com o nosso departamento de Comunicação.

