

# Achaflanado en frío y curvado en frío de productos planos de acero

**DIN**  
**6935**

Kaltabkamten und Kaltbiegen von Flacherzeugnissen aus Stahl

Cold forming and cold bending of flat rolled steel

En esta norma se ha conservado para la unidad de fuerza el signo "kg".

## 1. Generalidades

Medidas en mm

Esta norma sirve para piezas achaflanadas y curvadas de productos planos de acero para aplicación en la construcción de acero y construcción de maquinaria en general.

Normas para productos planos de acero véase página 4.

Para achaflanar acero plano laminado, como chapas, bandas, aceros planos anchos, etc., se ha de considerar la dirección de laminación para mejor aptitud de la achaflanadura, o sea se ha de achaflanar posiblemente transversal a la dirección de laminación.

La aptitud de achaflanado del acero laminado se ha de acordar en el pedido con el suministrador. Para garantizar la aptitud de achaflanado han de ser la superficie de laminación irreprochable y las aristas de corte de tijera de aristas rectas. Aristas de corte de tijera, que muestran una curvatura en el lado exterior han de ser para acero plano laminado además desbarbadas, para evitar grietas en las aristas de corte.

## 2. Radio de curvatura



$r$  Radio de curvatura  
 $\alpha$  Ángulo de curvatura  
 $\beta$  Ángulo de abertura

El ángulo de curvatura  $\alpha$  puede ser entre  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .  
El espesor  $s$  resulta en el redondeado hasta 20 % inferior

Para alcanzar redondeados unificados en barras de achaflanado se recomienda elegir para el achaflanado y curvado sólo radios de curvatura de la serie siguiente. Se preferirán los valores impresos en negrita.

$r$	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	28	32	36	40	45	50	63	80	100
-----	---	-----	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Estos radios de curvatura corresponden al redondeado según DIN 250.

La tabla 1 indica los radios de curvatura mínimos admisibles que pueden elegirse para espesores de chapa y materiales determinados para las máquinas de achaflanar aplicables. Los valores indicados sirven para ángulo de curvatura  $\alpha \leq 120^\circ$ . Para ángulo de curvatura  $\alpha > 120^\circ$  se pondrá el valor de la tabla inmediato superior, p.e. sería  $r = 12$  mm para espesor de chapa  $\leq 6$  mm y para material Q St 42-2.

Tabla 1. Radio de curvatura  $r$  mínimo admisible

Calidades de acero con una resistencia a la tracción mínima $kg/mm^2$	para achaflanar transversal o longitudinalmente a la dirección de laminación	Radio de curvatura $r$ mínimo admisible para espesores $s$																															
		1	más de 1 hasta 1,5	más de 1,5 hasta 2,5	más de 2,5 hasta 3	más de 3 hasta 4	más de 4 hasta 5	más de 5 hasta 6	más de 6 hasta 7	más de 7 hasta 8	más de 8 hasta 10	más de 10 hasta 12	más de 12 hasta 14	más de 14 hasta 16	más de 16 hasta 18	más de 18 hasta 20																	
		hasta 40	transversal	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40	45	longitudinal	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32
más de 40 a 50	transversal	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	50	longitudinal	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50
	transversal	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50	50	longitudinal	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63

La tabla 2 indica las diferencias admisibles para radios de curvatura mínimos, con los que hay que calcular para los diferentes espesores de pared y material.

Tabla 2. Diferencias admisibles para radios de curvatura  $r$  mínimos

Calidades de acero con una resistencia a la tracción garantizada $kg/mm^2$	Diferencias admisibles para radios de curvatura $r$ mínimos espesores $s$		
	hasta 3	más de 3 a 8	más de 8 a 20
hasta 40	+0,5	+1	+1,5
más de 40 a 50	+0,8	+1,5	+2
más de 50 a 65	+1	+2	+3

continúa

### 3. Lista de clave del material

La tabla 3 da una síntesis de los materiales para los que se garantiza la aptitud para achaflanar en frío, embridar en frío y rebordear en frío, considerando los radios de curvatura mínimos admisibles fijados en tabla 1 (véase también DIN 17100, edición de septiembre de 1966, párrafo 7.4.1).

Tabla 3 Lista clave de material (ampliación posterior prevista)

Clase del acero	Calidad del acero con una resistencia a la tracción mínima		
	hasta 40 kg/mm <sup>2</sup>	más de 40 a 50 kg/mm <sup>2</sup>	más de 50 a 65 kg/mm <sup>2</sup>
acero de construcción en general según DIN 17100	Q St 34-2 Q St 37-2, Q St 37-3	Q St 42-2, Q St 42-3 Q St 46-2	Q St 52-3

### 4. Longitud de lados mínima

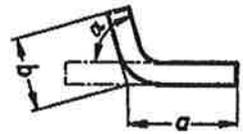
Para achaflanar a máquina perfiles de chapa sirve para la longitud de lado  $b$  como medida aproximada  $4 \cdot r$ .



### 5. Diferencias admisibles para posiciones de ángulo en perfiles achaflanados

Tabla 4 Diferencias admisibles de las posiciones de ángulo

Longitud de lados $a$ y $b$ (la long. de lado más corta sirve como medida nominal)	hasta 30	más de 30 a 50	más de 50 a 80	más de 80 a 120	más de 120
	Diferencias admisibles del ángulo de curvatura, $\alpha$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ 45'$	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 1^\circ 15'$



Los valores sirven hasta  $r : s = 4$ . Para una relación mayor  $r : s$  se ha de calcular con una diferencia mayor a causa de la retroelasticidad.

### 6. Cálculo de las longitudes extendidas

Longitud extendida  $= a + b + v$ . Según el valor del ángulo de curvatura es  $v$  diferente y no representa un valor de compensación, que puede ser para el ángulo de abertura  $\beta$  desde  $0^\circ$  hasta  $65^\circ$  (valor exacto  $65^\circ 24' 30''$ ) negativo o positivo y para ángulo de abertura de más de  $65^\circ$  sólo negativo.

Las longitudes extendidas se redondearán a milímetros enteros.

Angulo de abertura  $\beta$   $0^\circ$  hasta  $90^\circ$ :

$$\text{Valor de compensación } v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s)$$

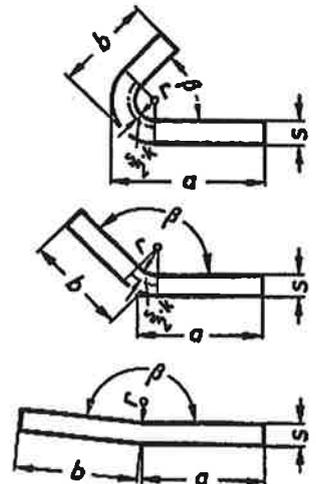
Angulo de abertura  $\beta > 90^\circ$  hasta  $165^\circ$ :

$$\text{Valor de compensación } v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2}$$

Angulo de abertura  $\beta > 165^\circ$  hasta  $180^\circ$ :

$$\text{Valor de compensación } v = 0$$

Los valores para  $v$  pueden despreciarse aquí, ya que son suficientes para la práctica.



Factor de corrección  $k$  para determinar las longitudes de corte de piezas curvadas

El factor de corrección  $k$  indica la desviación de la posición de la fibra neutral de  $\frac{s}{2}$ , y se calcula por

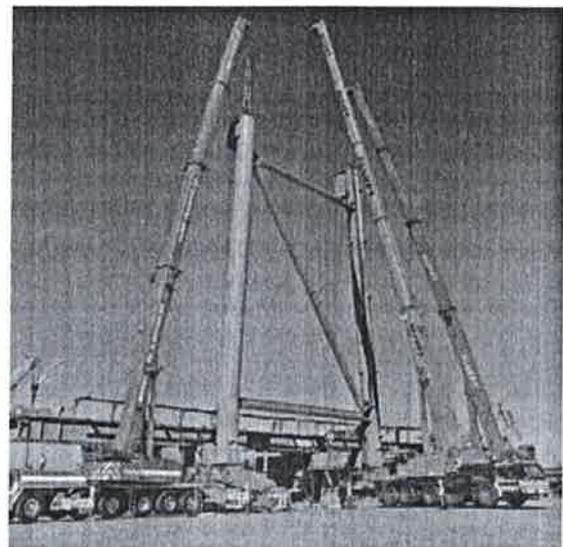
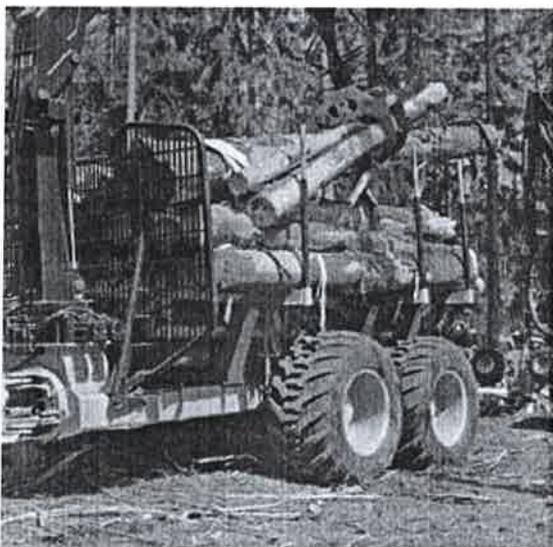
$$k = 0,65 + \frac{1}{2} \lg \frac{r}{s}$$

o puede tomarse de la representación gráfica siguiente que corresponde a la fórmula.

## Acero de Oxelösund y acero estructural normalizado en grupos comparativos

SSAB Oxelösund	Limite de elasticidad [MPa] <sup>1)</sup>	Clase de resiliencia Charpy-V, [°C]	EN 10025 - 6 issue 2004 (EN 10 137 - 2 1995)	ASTM Clase de resiliencia ASTM A6
WELDOX 700 D WELDOX 700 E WELDOX 700 F	700	-20 -40 -60	S 690 Q S 690 QL S 690 QL1	A 514
WELDOX 900 D WELDOX 900 E WELDOX 900 F	900	-20 -40 -60	S 890 Q S 890 QL S 890 QL1	
WELDOX 960 D WELDOX 960 E	960	-20 -40	S 960 Q S 960 QL	
WELDOX 1030 E	1030	-40		
WELDOX 1100 E WELDOX 1100 F	1100	-40 -60		
WELDOX 1300 E WELDOX 1300 F	1300	-40 -60		

<sup>1)</sup> 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>



El resultado de plegado depende de la chapa, de la herramienta de plegado y de la ejecución del plegado:

#### LA CHAPA

##### - Tipo de acero

Debe observarse que la fuerza de plegado y el retorno elástico aumentan con la resistencia de la chapa (ver valores típicos de carga de rotura en la tabla 4).

O sea, cuanto más resistente (dura) es la chapa mayor será ...

- la fuerza de plegado exigida
- el retorno elástico
- el radio de punzón a utilizar
- la abertura de la matriz

##### - La superficie de la chapa

Nuestras recomendaciones se aplican a chapas granalladas y pintadas con pintura anticorrosiva. Si en cambio la chapa presenta superficie limpia de laminación podrá efectuarse un plegado un poco más severo. La presencia de daños superficiales y herrumbre en la chapa disminuye notablemente la plegabilidad. En casos críticos se deberán eliminar esos defectos por amolado.

##### - Los bordes de la chapa

Bordes oxicrotados o cizallados deben suavizarse por medio de amolado.

##### - El espesor de la chapa (t)

En general, una chapa delgada permite radio de plegado menor que una chapa de mayor espesor. Ver tabla 1.

##### - El sentido de laminación de la chapa

En la dirección perpendicular a la de laminación, la chapa admite un plegado más severo que en la dirección paralela a la de laminación. Ver figura 1 y tabla 1.

##### - La longitud de plegado (b)

Si la longitud de plegado es menor que 10 veces el espesor, la chapa admitirá, a veces, condiciones de plegado más severas que las indicadas en la tabla 1.

#### LA HERRAMIENTA DE PLEGADO

##### - Radio de punzón (R)

La elección del radio de punzón adecuado es lo más importante en el plegado de HARDOX y WELDOX, ver figura 1.

Para los aceros más blandos del grupo - hasta el WELDOX 500 - se recomienda usar un radio de punzón igual o ligeramente menor que el radio de plegado que se desea obtener.

Para los demás aceros considerados, más resistentes (duros), se recomienda usar un radio de punzón igual o ligeramente mayor que el radio de plegado que se desea obtener.

La tabla 1 indica los radios mínimos de punzón para evitar agrietamiento en caso de plegado a 90°.

cont. ▷

Tabla 1.

Valores mínimos recomendados para radio de punzón (R) y abertura de matriz (W) en relación con el espesor de chapa (t) para plegado a 90°, ya sea en la dirección paralela que perpendicular a la de laminación. La tabla indica también el valor indicativo de retorno elástico.

	Espesor [mm]	Transversal R/t	Paralelo R/t	Transversal W/t	Paralelo W/t	Retorno elástico [°]
S355 según EN10025		2,5	3,0	7,5	8,5	3-5
EUROX 355		1,0	1,5	6,0	7,5	3-5
WELDOX 420/500		1,0	1,5	6,0	7,5	3-6
WELDOX 700	t < 8	1,5	2,0	7,0	8,5	6-10
	8 ≤ t < 20	2,0	3,0	7,0	8,5	
	t ≥ 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
WELDOX 900/960	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	8-12
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	8,5	10,0	
	t ≥ 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
WELDOX 1100 *	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11-18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
HARDOX 400	t < 8	2,5	3,0	8,5	10,0	9-13
	8 ≤ t < 20	3,0	4,0	10,0	10,0	
	t ≥ 20	4,5	5,0	12,0	12,0	
HARDOX 450 *	t < 8	3,5	4,0	10,0	10,0	11-18
	8 ≤ t < 20	4,0	5,0	10,0	12,0	
	t ≥ 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
HARDOX 500 *	t < 8	4,0	5,0	10,0	12,0	12-20
	8 ≤ t < 20	5,0	6,0	12,0	14,0	
	t ≥ 20	7,0	8,0	16,0	18,0	

\*) En caso de plegado de HARDOX 450, HARDOX 500 y WELDOX 1100 se debe tener especial precaución debido a la alta resistencia de la chapa y a la elevada fuerza de plegado exigida. De producirse fisuras en la chapa, existe el riesgo de que fragmentos de material sean despedidos en la dirección de la línea de plegado. Por lo tanto, durante el trabajo de plegado, el operador y demás personal deberán colocarse al costado de la plegadora - y no delante de la misma.

Propiedades mecánicas							
Calidad	Límite elástico $R_{eL}$ (N/mm <sup>2</sup> ) mín.	Carga de rotura $R_m$ (N/mm <sup>2</sup> ) mín.	Alargamiento mín. (%)		Radio de plegado mín. $t \leq 3$ mm	Radio de plegado mín. $3 < t \leq 6$ mm	Radio de plegado mín. $t > 6$ mm
			$A_{10}$ $t < 3$	$A_5$ $t \geq 3$			
Domex 240 YP	240	360-460	28**)	28	0,3 x t	0,5 x t	0,7 x t
Domex 315 MC	315	390-510	20	24	0.2 x t	0.3 x t	0.4 x t
Domex 355 MC	355	430-550	19	23	0.2 x t	0.3 x t	0.5 x t
Domex 420 MC	420	480-620	16	20	0.4 x t	0.5 x t	0.8 x t
Domex 460 MC	460	520-670	15	19	0.5 x t	0.7 x t	0.9 x t
Domex 500 MC	500	550-700	14	18	0.6 x t	0.8 x t	1.0 x t
Domex 550 MC	550	600-760	14	17	0.6 x t	1.0 x t	1.2 x t
Domex 600 MC	600	650-820	13	16	0.7 x t	1.1 x t	1.4 x t
Domex 650 MC	650*)	700-880	12	14	0.8 x t	1.2 x t	1.5 x t
Domex 700 MC	700*)	750-950	10	12	0.8 x t	1.2 x t	1.6 x t

La garantía de plegado es para un doblado a 90°.

\*) Para espesores > 8 mm, el límite elástico mínimo puede llegar a ser 20 N/mm<sup>2</sup> menor del indicado.

\*\*\*) Para  $A_5$  (no  $A_{10}$ ).

Resiliencia			
Sufijo de denominación	Temperatura de ensayo	Nivel de energía	Calidades
B	Sin ensayo		Domex 315 MC B- Domex 650 MC B
D	-20°	40 J	Domex 315 MC D- Domex 700 MC D
E	-40°	27 J	Domex 315 MC E- Domex 700 MC E

Se garantiza el nivel de resiliencia D hasta 12 mm y el nivel E hasta 10 mm de espesor.

El ensayo Charpy V se lleva a cabo en la dirección de laminación según EN 10045-1 para espesores de 6 mm y superiores.

Calidad	Composición química								
	C (%) max	Si (%) max	Mn (%) max	P (%) max	S (%) max	Al (%) min	Nb (%) max	V (%) max	Ti (%) max
Domex 240 YP									
Domex 315 MC	0.10	0.03	1.30	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 355 MC	0.10	0.03	1.50	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 420 MC	0.10	0.03	1.50	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 460 MC	0.10	0.10	1.50	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 500 MC	0.10	0.10	1.60	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 550 MC	0.12	0.10	1.80	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 600 MC	0.12	0.10	1.90	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 650 MC	0.12	0.10	2.00	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15
Domex 700 MC	0.12	0.10	2.10	0.025	0.010	0.015	0.09	0.20	0.15

La suma de Nb, V y Ti es máx. 0,22%, Mo máx. 0,50% y B máx. 0,005%

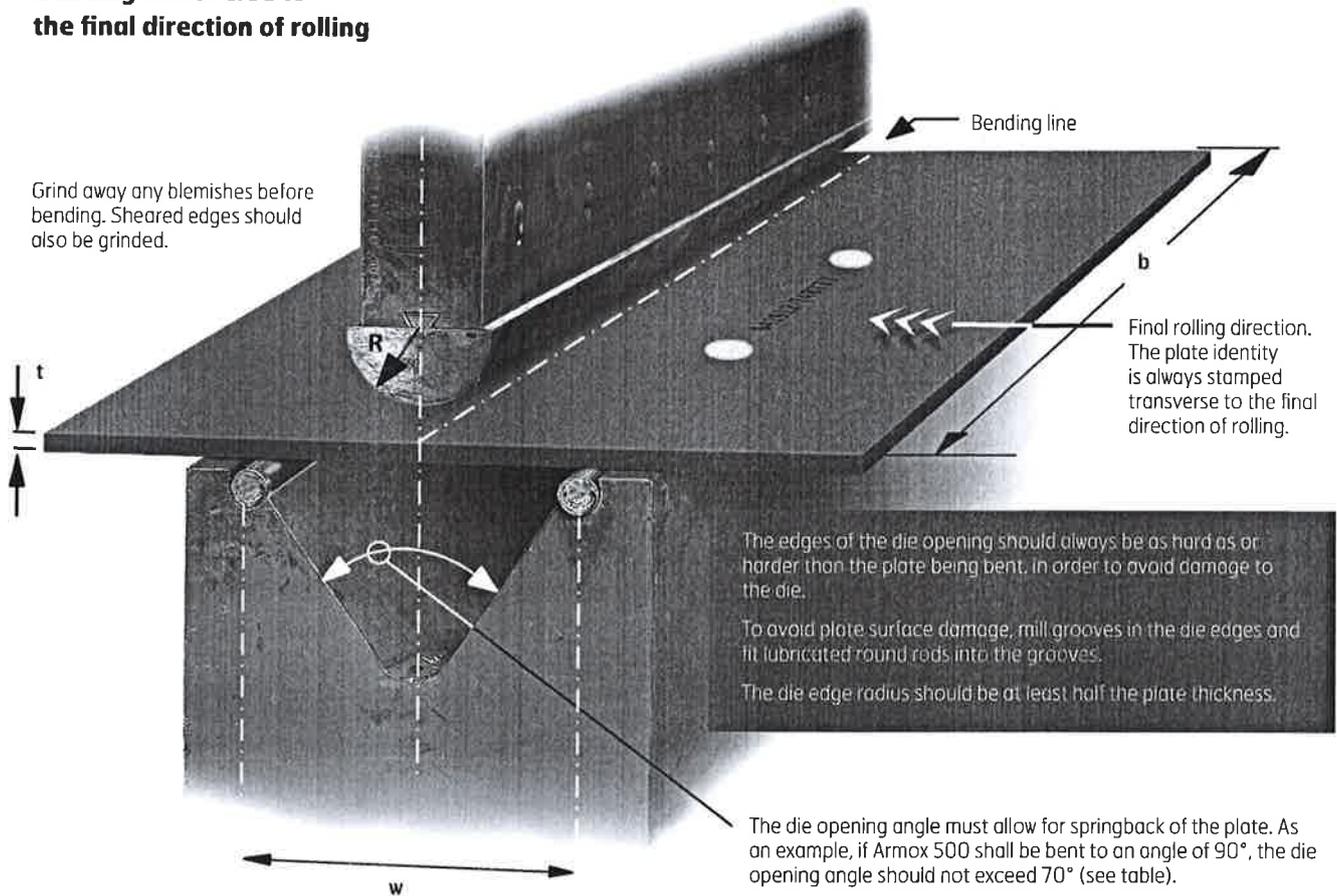
Si el material va a ser galvanizado en caliente, debe especificarse en el pedido si se aplicará una capa gruesa o fina de cinc. Para un recubrimiento grueso de cinc, Si máx. 0,30%.

# BENDING RECOMMENDATIONS

This section deals with free bending, although roll bending can obviously also be employed. The bending results are dependent on a number of factors which we have grouped under three headings: the plate, the tools and the procedure. These factors are discussed on page 11, where a couple of examples also are given.

## Bending transverse to the final direction of rolling

Grind away any blemishes before bending. Sheared edges should also be grinded.



Minimum recommended punch radius (R) and die opening width (W) for plate thickness (t) when the plate is bent to 90° parallel to the final rolling direction and transverse to the final direction of rolling – and also the corresponding springback.

	Thickness [mm]	Transverse R/t	Parallell R/t	Transverse W/t	Parallell W/t	Springback [°]
ArmoX 370T CL1 & CL2	t < 8	3.0	3.5	9	10.5	9-13
	8-15	4.0	5.0	10	11	
	> 15	5.0	6.0	12	13	
ArmoX 440	t < 8	4.0	5.0	10	10	11-18
	8-15	5.0	6.0	10	12	
	> 15	6.0	7.0	12	14	
ArmoX 500T	t < 8	5.0	5.0	10	12	12-20
	8-15	6.0	6.0	12	14	
	> 15	7.0	9.0	16	18	
ArmoX 600T & Advance	Contact SSAB					

Bridgite