



A detailed close-up photograph of a metal corner joint. The joint is formed by two thick metal plates meeting at a 90-degree angle, with a weld visible along the seam. The metal has a dark, industrial appearance with some surface texture and slight discoloration. The background is a blurred view of a larger metal structure with several circular holes.

**HARDOX®**  
**WELDOX®**

**Гибка / резка**

**SSAB**  
OXELÖSUND

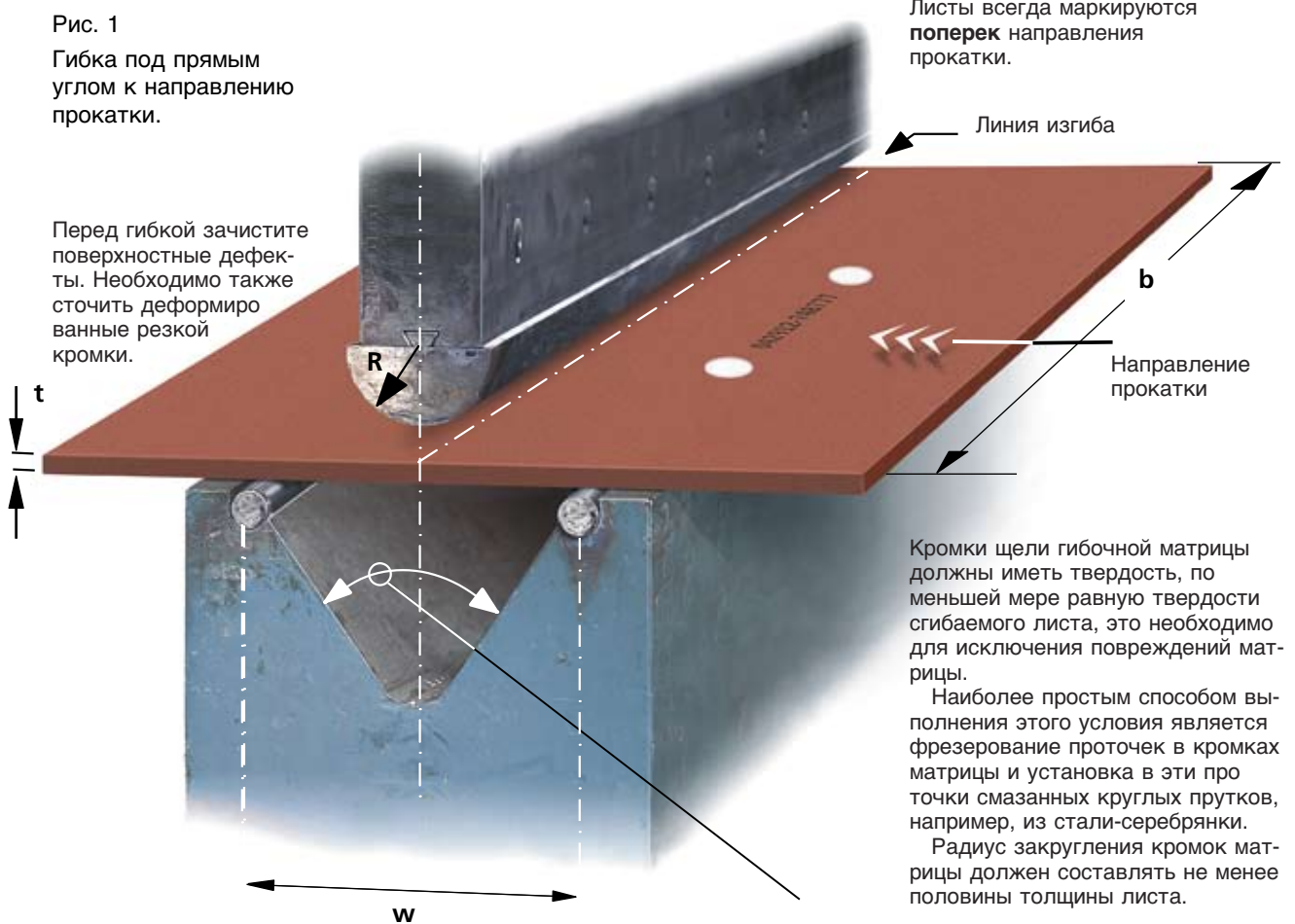
Данная брошюра посвящена свободной гибке и резке износостойких сталей **HARDOX®** и конструкционных сталей **WELDOX®**. Стали этих марок отличаются высокой прочностью в сочетании с высокой чистотой, кроме того мы изготавливаем листы из стали этих марок с малыми допусками на толщину. Благодаря этому листовая сталь этих марок прекрасно подходит для холодной гибки.

Ниже приведены наши рекомендации по получению наилучших результатов при гибке и резке износостойких и высокопрочных сталей.

## Гибка

Хотя в этом разделе описана только свободная гибка, можно также использовать и гибку в вальцах. Результат гибки зависит от ряда факторов, которые мы разделили здесь на три категории: лист, инструменты и методика. Эти факторы описаны на стр. 3 и 4, где также приведены два примера определения изгибающего усилия.

Типичные физические свойства материалов приведены в табл. 4 на последней странице.



Угол щели матрицы должен обеспечивать возможность суживания листа. Например, если лист **HARDOX 500** сгибается под углом 90°, угол раствора щели матрицы не должен превышать 70° (см. табл. 1).



## Результаты гибки зависят от листа, инструментов и используемой методики:

### ЛИСТ

#### – Толщина стального листа

Следует иметь в виду, что изгибающее усилие и спружинивание листа возрастают с толщиной листа (типичные значения прочности на растяжение приведены в табл. 4).

Таким образом, чем прочнее и тверже лист, тем:

- больше необходимое изгибающее усилие,
- больше спружинивание,
- больше требуемый радиус пуансона,
- больше требуемая ширина щели матрицы.

#### – Поверхность листа

Наши рекомендации относятся к толстым листам, подвергнутым дробеструйной обработке, с антикоррозийным покрытием. Необработанные листы можно изгибать по несколько меньшему радиусу. Поверхностные повреждения и ржавчина на стороне листа, на которую при гибке действуют напряжения растяжения, могут в значительной степени ухудшить гибкость листа. В критических случаях такие дефекты можно зачистить.

Табл. 1

Минимальный рекомендуемый радиус пуансона (**R**) и ширина щели матрицы (**W**) для листов толщиной (**t**) при гибке листа под углом 90° по направлению прокатки и по направлению, перпендикулярному направлению прокатки, а также соответствующие значения угла спружинивания.

|                              | Толщина<br>[мм]               | Поперек<br>R/t    | Вдоль<br>R/t      | Поперек<br>W/t       | Вдоль<br>W/t         | Спружинивание<br>[°] |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>S355 согласно EN10025</b> |                               | 2,5               | 3,0               | 7,5                  | 8,5                  | 3-5                  |
| <b>WELDOX 700</b>            | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 1,5<br>2,0<br>3,0 | 2,0<br>3,0<br>4,0 | 7,0<br>7,0<br>8,5    | 8,5<br>8,5<br>10,0   | 6-10                 |
| <b>WELDOX 900/960</b>        | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 2,5<br>3,0<br>4,0 | 3,0<br>4,0<br>5,0 | 8,5<br>8,5<br>10,0   | 10,0<br>10,0<br>12,0 | 8-12                 |
| <b>WELDOX 1030</b>           | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 3,0<br>3,5<br>4,5 | 3,5<br>4,5<br>5,5 | 9,0<br>9,0<br>11,0   | 10,0<br>11,0<br>13,0 | 10-32                |
| <b>WELDOX 1100 *</b>         | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 3,5<br>4,0<br>5,0 | 4,0<br>5,0<br>6,0 | 10,0<br>10,0<br>12,0 | 10,0<br>12,0<br>14,0 | 11-18                |
| <b>WELDOX 1300*</b>          | t < 6<br>6 ≤ t < 10           | 3,5<br>4,0        | 4,0<br>5,0        | 10,0<br>12,0         | 12,0<br>14,0         | 12-45                |
| <b>HARDOX 400</b>            | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 2,5<br>3,0<br>4,5 | 3,0<br>4,0<br>5,0 | 8,5<br>10,0<br>12,0  | 10,0<br>10,0<br>12,0 | 9-13                 |
| <b>HARDOX 450*</b>           | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 3,5<br>4,0<br>5,0 | 4,0<br>5,0<br>6,0 | 10,0<br>10,0<br>12,0 | 10,0<br>12,0<br>14,0 | 11-18                |
| <b>HARDOX 500 *</b>          | t < 8<br>8 ≤ t < 20<br>t ≥ 20 | 4,0<br>5,0<br>7,0 | 5,0<br>6,0<br>8,0 | 10,0<br>12,0<br>16,0 | 12,0<br>14,0<br>18,0 | 12-20                |

\*) При гибке HARDOX 450, HARDOX 500 и WELDOX 1100 необходимо соблюдать особую осторожность в связи с высокой прочностью листов и большим потребным изгибающим усилием. В случае растрескивания листа могут разлететься осколки. В связи с этим во время гибки оператор и другой персонал не должен находиться спереди от станка, они должны стоять только сбоку.

#### – Кромки листа

Кромки листа после резки должны быть зачищены от заусенцев и скруглены зашлифовкой.

#### – Толщина листа (t)

Как правило, чем тоньше лист, тем меньше возможный радиус изгиба (см. табл. 1).

#### – Направление прокатки листа

Лист можно согнуть под меньшим радиусом под прямым углом к направлению прокатки чем по направлению прокатки, см. рис. 1 и табл. 1.

#### – Длина сгиба (b)

Если длина сгиба меньше 10-кратной толщины листа (рис. 1), лист часто можно согнуть по меньшему радиусу чем радиусы, указанные в табл. 1.

### ИНСТРУМЕНТЫ

#### – Радиус пуансона (R)

При гибке листов из стали HARDOX и WELDOX самое важное – использование правильного радиуса пуансона (рис. 1).

В случае более мягких сталей – до WELDOX 500 включительно – рекомендуется использовать пуансоны с радиусом, равным указанному или несколько меньшим чем требуемый.

В случае более твердых сталей рекомендуется использовать пуансоны с радиусом, равным указанному или несколько большим чем требуемый.

В табл. 1 приведены минимальные рекомендуемые радиусы пуансона, которые позволят избежать растрескивания при сгибании листа под 90°.

## ИНСТРУМЕНТЫ ( продолжение)

### – Ширина щели матрицы (W)

В табл. 1 приведены минимальные рекомендуемые значения ширины щели матрицы, которые обеспечат сведения к минимуму спружинивания листа. Увеличение ширины приведет, видимо, к уменьшению требуемого изгибающего усилия и следов от контакта со штампом, однако при этом возрастет спружинивание.

Необходимо иметь в виду, что угол щели должен быть настолько мал, чтобы он допускал достаточный перегиб (рис. 1 и табл. 1). При гибке в вальцах величина спружинивания будет много больше чем значения, указанные в таблице.

## МЕТОДИКА ГИБКИ

### – Трение

Кромки матрицы должны быть чистыми и не иметь повреждений. Требуемое изгибающее усилие и опасность растрескивания можно снизить путем использования круглых стержней, свободно вращающихся в проточках кромок, и/или путем смазывания кромок матрицы.

### – Угол сгиба

Рекомендованные величины, приведенные в табл. 1, относятся к гибке под углом 90° если угол сгиба меньше, можно использовать пуансон с меньшим чем указанный в табл. 1 радиусом.

Следует иметь в виду, что угол сгиба имеет меньшее влияние на требуемое усилие и спружинивание чем ширина щели матрицы и марка стали.

Спружинивание может быть скомпенсировано перегибом на соответствующий угол.

### – Изгибающее усилие (P)

Требуемое изгибающее усилие можно подсчитать с помощью приведенной ниже формулы. Все размеры должны быть выражены в мм, а результат выражается в тоннах (1 т соответствует 10 кН) с точностью  $\pm 20\%$ . Используемые в формуле обозначения указаны на рис. 1. Прочность листа на растяжение  $R_m$  можно узнать по таблице 4.

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

Если радиус гибочного пуансона значительно больше радиуса, указанного в табл. 1, требуемое усилие может оказаться больше значения, полученного по этой формуле. Для компенсации такого увеличения усилия следует соответственно увеличить ширину щели матрицы.

|                                  | Толщина листа (мм) |     |     |     |
|----------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|
|                                  | 10                 | 20  | 30  | 60  |
| S 355                            |                    |     |     |     |
| WELDOX 700                       | 8                  | 16  | 24  | 48  |
| WELDOX 900 / 960                 | 7                  | 14  | 21  | 42  |
| HARDOX 400                       | 6                  | 13  | 19  | 38  |
|                                  |                    |     |     |     |
| Изгибающее усилие на 1 м (т)     | 120                | 240 | 330 | 660 |
| при ширине щели матрицы (W) (мм) | 75                 | 150 | 240 | 480 |

### Пример 1:

Имеющийся пресс пригоден для гибки стальных листов **EN 10025-S355** толщиной не более 20 мм в матрице с шириной щели 150 мм.

Какова будет максимальная толщина листа **HARDOX 400**, который можно будет согнуть в этом прессе, при той же длине сгиба?

Изгибающее усилие останется тем же самым, отличаться будут только толщина листа ( $t$ ) и прочность на растяжение ( $R_m$ ). После подстановки значений в формулу и упрощения получим:

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

Толщина листа **HARDOX** составит 13,3 мм.

При этом соотношение  $W/t$  листа **HARDOX 400** составит  $150/13,3 = 11,3$ , что, согласно табл. 1, является удовлетворительным значением.

### Пример 2:

Для изготовления 2000-мм кронштейна необходимо согнуть стальной лист.

Возможны два следующих варианта:

а) Использование 10-мм листа стали **EN 10025-S355** с типичным значением прочности на растяжение 550 Н/мм<sup>2</sup>.

б) Использование 7-мм листа стали **WELDOX 700** с типичным значением прочности на растяжение 860 Н/мм<sup>2</sup>

В обоих случаях используется штамп, щель матрицы которого имеет ширину 100 мм. Каково необходимое усилие в первом и втором случаях?

В случае **EN 10025-S355**:

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

В случае **WELDOX 700**:

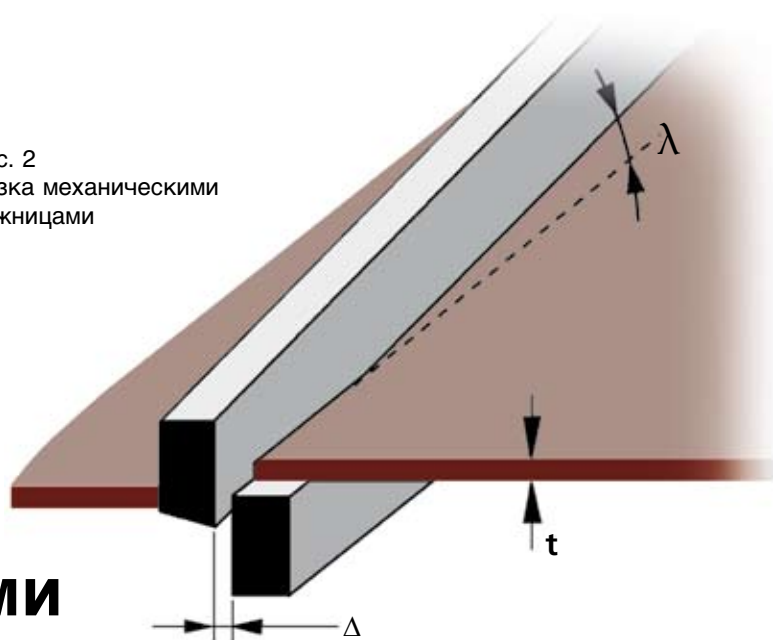
$$P = \frac{1,6 \times 2000 \times 7 \times 7 \times 860}{10000 \times 100} = 135 \text{ т}$$

Т.к. толщина листа имеет большее влияние чем прочность, необходимое усилие для гибки листа **WELDOX 700** в этом случае меньше.

Табл. 2

Толщины листов, при которых требуется одно и то же изгибающее усилие на единицу длины сгиба, при различных значениях ширины щели матрицы W.

Рис. 2  
Резка механическими  
ножницами



## Резка механиче- скими ножницами

Высокопрочные стали можно резать ножницами.

Чем больше прочность на растяжение (предел прочности на разрыв), тем больше необходимое усилие резки. С увеличением прочности на растяжение увеличивается также износ инструментов, в связи с этим резка WELDOX 1100, HARDOX 450 и еще более высокопрочных сталей не рекомендуется.

Для обеспечения удовлетворительных результатов при резке ножницами листов из высокопрочной стали необходимо использовать хорошие инструменты и правильные установки параметров резания. Следует иметь в виду, что наши рекомендации по установкам являются лишь общими рекомендациями. В конкретных случаях выбор диктуется устойчивостью станка и состоянием лезвий.

### Лезвия

Лезвия должны быть твердыми и острыми, со слегка скругленными кромками.

### Зазор, $\Delta$

Зазор является наиболее важным параметром для достижения хороших результатов. Чем больше прочность на растяжение (табл. 3), тем больше должен быть зазор между неподвижным и движущимся лезвиями. Неправильный зазор приведет к образованию дефектов на поверхностях разреза, что может привести к растрескиванию при последующей сварке или гибке листа.

### Передний угол ножниц, $\lambda$

Чем больше передний угол тем меньше требуемое режущее усилие, однако с увеличением переднего угла возрастает вероятность проскальзывания листа вбок и деформации (скручивания) отрезаемого куска листа. Обычно, при резке высокопрочных листов передний угол следует увеличить (рис. 2 и табл. 3 ниже).

### Режущее усилие, P

При неизменном переднем угле режущее усилие линейно возрастает с ростом прочности листа (рис. 3 и табл. 4).

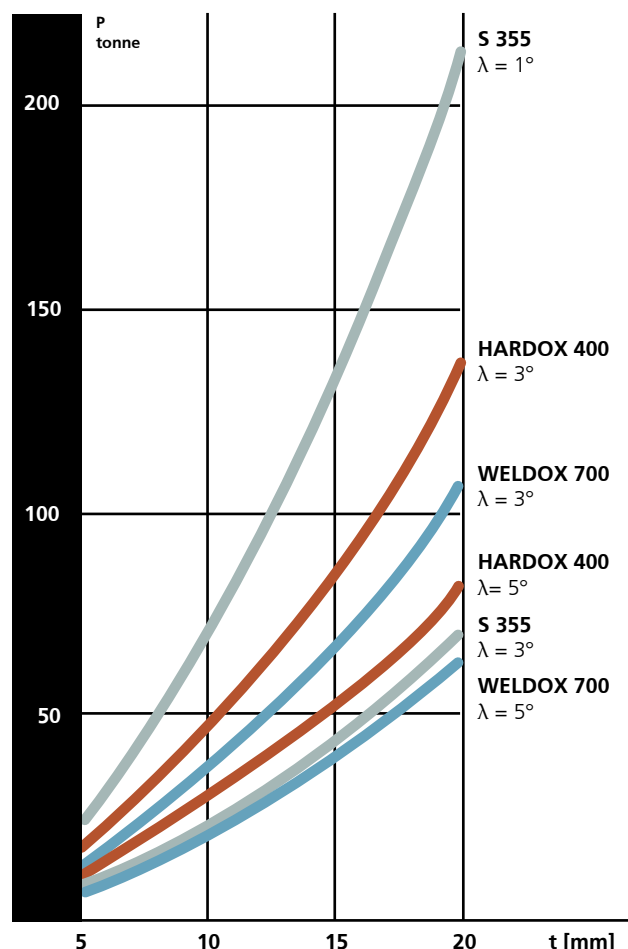


Рис. 3. Режущее усилие в зависимости от толщины и переднего угла  $\lambda$

|            | Зазор, $\Delta$<br>как % от t | Передний угол<br>ножниц, $\lambda$ [°] |
|------------|-------------------------------|--|
| S 355      | 8-10                          | 1-5                                    |
| WELDOX 700 | 12-15                         | 3-5                                    |
| WELDOX 900 | 14-16                         | 3-5                                    |
| WELDOX 960 | 14-16                         | 3-5                                    |
| HARDOX 400 | 16-18                         | 3-5                                    |

Табл. 3.  
Установки зазора и переднего  
угла для листов разной толщины.

Табл. 4.  
Типичные физические свойства

|                              | Прочность на растяжение $R_m$ [Н/мм <sup>2</sup> ] | Относительное удлинение (%) | Твердость [HBW] |
|------------------------------|--|-----------------------------|-----------------|
| <b>S355 согласно EN10025</b> | 550  | 28                          | ~ 180           |
| <b>WELDOX 700</b>            | 860  | 17                          | ~ 260           |
| <b>WELDOX 900</b>            | 1030   | 15                          | ~ 330           |
| <b>WELDOX 960</b>            | 1070   | 15                          | ~ 345           |
| <b>WELDOX 1030</b>           | 1340   | 11                          | ~ 430           |
| <b>WELDOX 1100</b>           | 1440   | 11                          | ~ 460           |
| <b>WELDOX 1300</b>           | 1540   | 10                          | ~ 490           |
| <b>HARDOX 400</b>            | 1250   | 10                          | ~ 400           |
| <b>HARDOX 450</b>            | 1440   | 9                           | ~ 450           |
| <b>HARDOX 500</b>            | 1550   | 8                           | ~ 500           |

Для получения дополнительной информации, пожалуйста, обращайтесь в Отдел технических консультаций.

Данная брошюра “Гибка/резка” входит в серию изданий с рекомендациями по использованию стальных листов HARDOX и WELDOX. К этой же серии относятся брошюры “Сварка” и “Механическая обработка”. Вы можете получить эти брошюры, обратившись в Информационно-маркетинговый отдел.



SSAB Oxelösund AB  
SE-613 80 Oxelösund  
Sweden

Телефон +46 155 25 40 00  
Факс +46 155 25 40 73  
[www.ssabox.com](http://www.ssabox.com)