



**STRENX, HARDOX И DOCOL
– ГИБКА ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ**

SSAB

Эта брошюра посвящена гибке высокопрочной стали марок Strenx, Hardox и Docol. Информация приведена в качестве руководства и содержит общие рекомендации по достижению оптимальных результатов в процессе гибки.

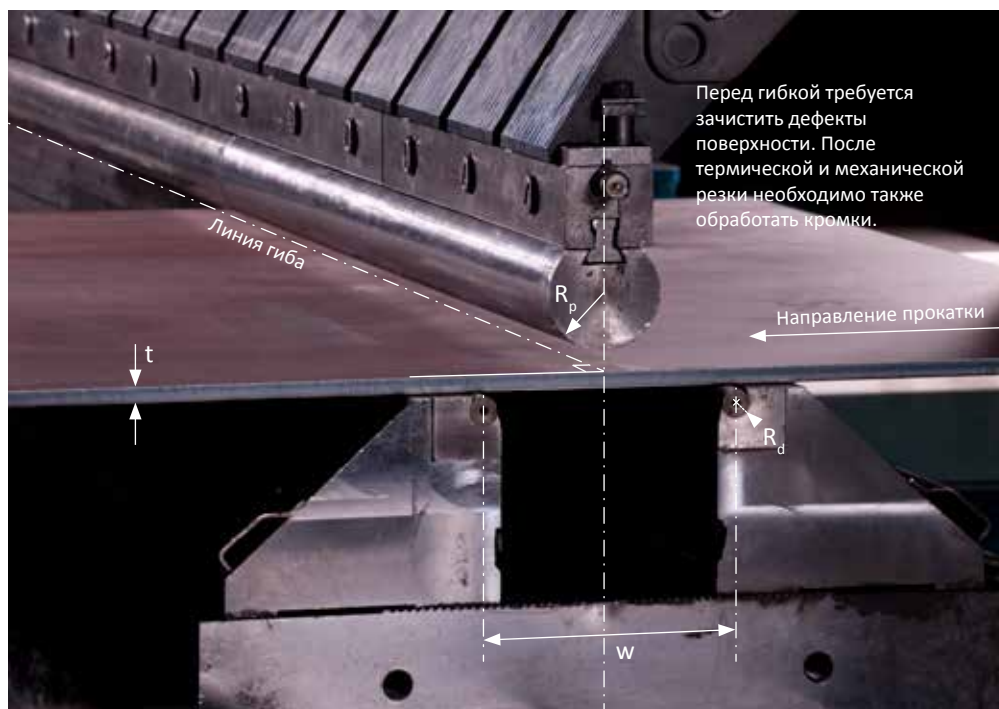
В процессе гибки тонко- и толстолистовой высокопрочной стали редко возникают сложности, тем не менее, необходимо учесть некоторые аспекты, о которых речь идёт в данной брошюре.

Для обеспечения хороших результатов гибки чрезвычайно важно использовать материал с высоким уровнем чистоты и минимальным количеством включений. Современные методы производства, используемые компанией SSAB, обеспечивают высокое качество поверхности, а также соответствие строгим стандартам допусков и механических характеристик.

ПОДГОТОВКА ПЕРЕД ГИБКОЙ

- Проверить направление прокатки. По возможности, направлениегиба должно быть перпендикулярным направлению прокатки. В этом случае можно использовать меньший радиус, чем при гибке параллельно направлению прокатки, см. рисунок 1.
- Проверить качество поверхности листа. Повреждения поверхности способны ухудшить гибочные свойства материала, поскольку они могут стать причиной трещин. Такие дефекты, как царапины и ржавчина, находящиеся на местегиба, необходимо зачистить. Рекомендуется, чтобы возникшие в результате зачистки царапины располагались перпендикулярно направлениюгиба.
- Заусенцы, наплывы, подрезы и другие дефекты кромок должны быть зачищены.
- Следует проверять состояние поверхности пуансона и краёв матрицы.
- Чтобы не допустить чрезмерного износа, инструмент должен быть твёрже, чем заготовка.
- Выбор радиуса пуансона и ширины матрицы должен производиться в соответствии с приведёнными здесь рекомендациями.

Рисунок 1 Гибка перпендикулярно направлению прокатки.



Во избежание повреждения гибочной матрицы твёрдость её кромок ни в коем случае не должна быть меньше твёрдости листа.

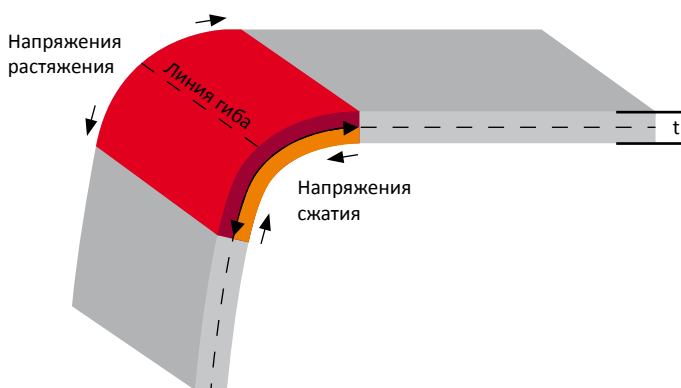
Добиться этого проще всего, вставив промасленные стержни из закалённой стали в пазы, вырезанные в кромках гибочной матрицы.

Радиус кромки гибочной матрицы должен достигать, как минимум, половины толщины листа.

ВАЖНЫЕ АСПЕКТЫ

- Необходимо учитывать правила техники безопасности и следовать местным предписаниям по обеспечению безопасности. Возле оборудования может находиться только квалифицированный персонал. Во время гибки высокопрочной стали никого не должно быть перед листогибом.
- Следует убедиться, что пуансон вместе с заготовкой не достигают конечного положения в гибочной матрице.
- Требуется учесть пружинение. Следует избегать повторной гибки с целью корректировки угла профиля. Предшествующая формовка значительно ухудшает гибочные свойства материала.
- Вместе с прочностью стали увеличиваются усилиегиба, пружинение и минимальный рекомендуемый радиусгиба.
- Во многих случаях на продукцию из стали Strenx и Hardox наносится клеймо перпендикулярно направлению прокатки. Клеймо не должно располагаться на линиигиба, поскольку это может привести к образованию трещин.
- Чрезмерная дробеструйная очистка поверхности может ухудшить гибочные свойства материала. Рекомендации для толстолистовой стали Strenx и Hardox основаны на испытаниях, проведенных с использованием подвергнутых дробеструйной очистке и окрашенных образцов. Рекомендации для рулонного поката Strenx и изделий Docol основаны на испытаниях образцов, не подвергнутых дробеструйной очистке.
- Большая пластическая деформация может вызвать локальное повышение температуры в областигиба. Это может негативно влиять на гибочные свойства, особенно

Рисунок 2 Гибка.



при использовании материала толщиной более 20 мм. По возможности следует уменьшить скорость подачи пуансона, чтобы уменьшить нагрев детали.

ОСНАСТКА

ШИРИНА ГИБОЧНОЙ МАТРИЦЫ

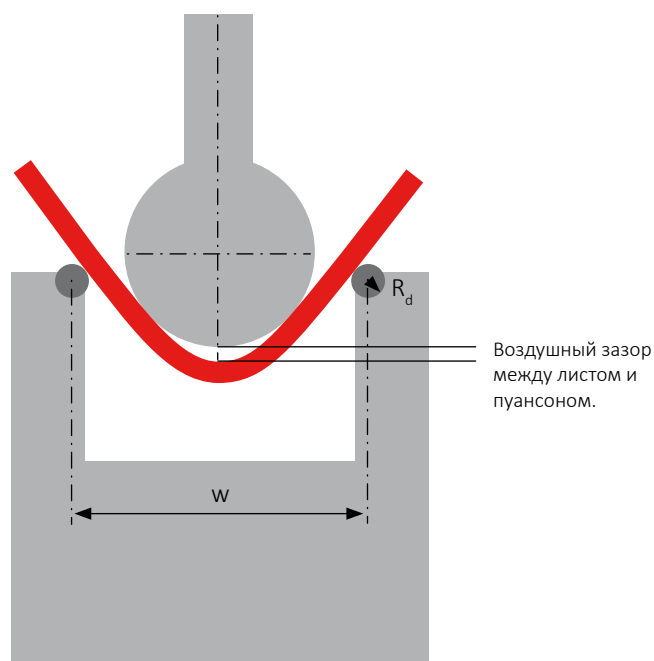
С увеличением ширины гибочной матрицы повышается пружинение, и уменьшается усилие гибочного пресса. Следует убедиться, что угол раскрытия гибочной матрицы допускает перегиб для компенсации пружинения без достижения конечного положения. Во многих случаях с увеличением ширины матрицы уменьшается напряжение в областигиба. Также необходимо убедиться в наличии достаточного места для пуансона и заготовки в матрице, чтобы не допустить её деформации. Значения минимальной рекомендуемой ширины матрицы приведены в таблицах 2 и 3.

Радиус кромки гибочной матрицы должен достигать, как минимум, половинной толщины листа. Иначе требуется увеличить ширину матрицы, чтобы уменьшить давление на кромки и сократить риск образования царапин.

ПУАНСОН

Наряду с шириной матрицы ключевым параметром является радиус пуансона. Внутренний радиус формованной заготовки из высокопрочной стали оказывается немного меньше радиуса пуансона, см. рисунок 3. Этот феномен особенно хорошо заметен при низком трении между инструментом и листовой сталью.

Рисунок 3 Воздушный зазор в процессе гибки.



Для стали с пределом текучести более приблизительно 500 МПа рекомендуется использовать пуансон того же размера или немного превосходящий радиусгиба. В таблицах 2 и 3 на странице 7 представлен минимальный рекомендуемый радиус пуансона для 90-градусногогиба.

СОСТОЯНИЕ ИНСТРУМЕНТА

По причине высокого контактного давления износ инструмента в процессегибки высокопрочной листовой стали немного увеличивается. Следует периодически проверять, не изменился ли радиус пуансона и кромки гибочной матрицы. При появлении трещины в формованных заготовках во время сборки дефект чаще всего возникает на внутренней сторонегиба, см. рисунок 2. Распространённой причиной являются механические повреждения пуансона. Кромки гибочной матрицы должны оставаться чистыми и без повреждений.

СТАБИЛЬНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

Длягибки высокопрочной стали обычно требуется большое усилие. Как правило, коэффициент статического трения выше, чем кинетического. Это может привести к зависанию листа на одной кромке матрицы и его перемещению на другой. В результате заготовка опускается в матрицу

рывками. Феномен прерывистого перемещения может привести к возникновению высоких напряжений в областигиба. Необходимо использовать исправное оборудование с надёжно закреплённым инструментом. Избежать рывков можно путём смазки либо использования вращающихся вкладышей на кромках гибочной матрицы. Это уменьшает также усилиегиба.

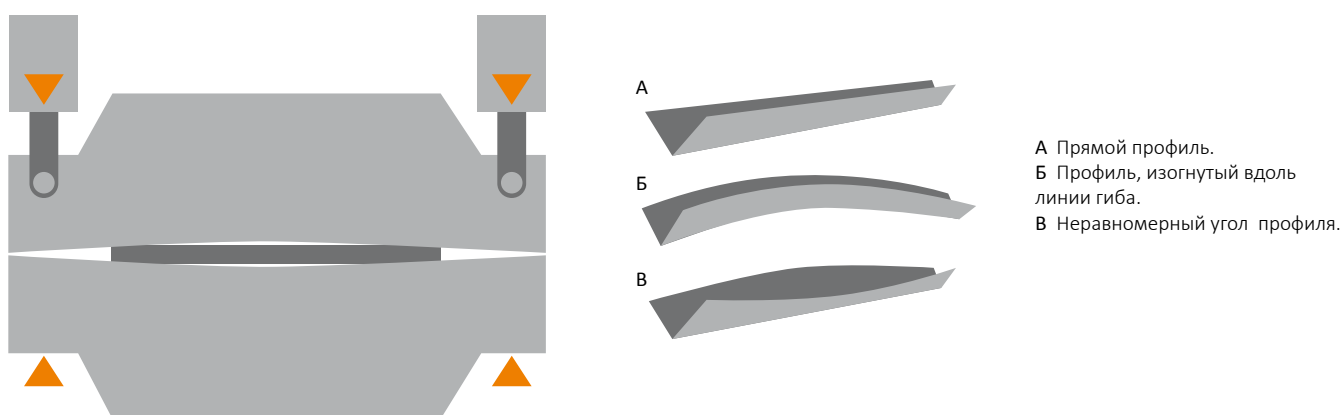
БОМБИРОВАНИЕ

Бомбирование компенсирует упругий прогиб матрицы во времягиба, см. рисунок 4. Наибольший прогиб наблюдается в центральной части пуансона и матрицы. За счёт бомбирования можно компенсировать прогиб краёв детали (В) и получить одинаковый уголгиба по всей длине заготовки. Однако деформацию самой линиигиба (Б) нельзя компенсировать за счёт бомбирования.

После снятия усилиягиба на внешней стороне возникают напряжения сжатия, в то же время напряжения растяжения появляются на внутренней стороне, см. рисунок 2. Распределение напряжения по толщине листа вызывает продольное напряжение. Именно эти напряжения вызывают деформацию линиигиба. Насколько деталь изогнута зависит, прежде всего, от высоты полки и жёсткости профиля.

Следует предусмотреть соответствующие меры для бомбирования при поэтапнойгибке длинных профилей.

Рисунок 4 Бомбирование.



УСИЛИЕ ГИБА

Чтобы предварительно рассчитать необходимое усилие гiba, следует обращать внимание не только на длину гiba, толщину листа, ширину матрицы и предел прочности, но и на изменение усилия во время гибки. Предполагается, что пиковая нагрузка в условиях нормального трения (без смазки) достигается, когда угол гибки составляет 120°. Рекомендуется проводить пробные испытания.

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

P – усилие гiba, метрич. т
 t – толщина листа, мм
 W – ширина матрицы, мм (рисунок 1)
 b – длина гiba, мм
 R_m – предел прочности, МПа (таблица 1)
 R_d – радиус кромок матрицы, мм
 R_p = радиус пуансона, мм

SSAB Bending Formula[®] – испытанная формула 90°-ной гибки, см. рисунок 5.

Таблица 1 Типичные значения предела прочности для расчёта гибочного усилия.

СТАЛЬ	ТИПИЧНЫЙ ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ (МПа)
S355	550
Strenx 600 MC	760
Strenx 650 MC	800
Strenx 700, 700 MC, 700 PLUS	860, 850, 840
Strenx 900, 900 MC, 900 PLUS	1010, 1150, 1060
Strenx 960, 960 MC, 960 PLUS	1060, 1200, 1120
Strenx 1100, 1100 MC	1440, 1320
Strenx 1300	1530
Docol 600 DP/DL	660
Docol 800 DP/DL	860
Docol 1000 DP	1090
Docol 1200 M	1300
Docol 1300 M	1400
Docol 1400 M	1510
Docol 1500 M	1600
Hardox 400	1250
Hardox 450	1400
Hardox 500	1650

ПРИМЕР 1

Листогиб способен выполнять гибку материала толщиной до 20 мм. Стальной лист EN10025–S355 помещён в матрицу с шириной 200 мм и радиусом кромок 15 мм. Радиус пуансона – 40 мм.

Если матрица, пуансон и длина гiba одинаковые, какой толщины листовую сталь Hardox 400 может согнуть листогиб?

Процесс гибки одинаковый, различаются только толщина (t) и предел прочности (R_m). Подставляем значения и считаем приведённую выше формулу: 20² × 550 = t² × 1250

Толщина (t) листовой стали Hardox составит 13,3 мм. Соотношение R/t: 40/13,3 = 3,0. В соответствии с таблицей 2, можно выполнить гибку стали Hardox 400 перпендикулярно направлению прокатки пуансоном данного радиуса. Соотношение W/t для стали Hardox 400: 200/13,3 = 15,0, что согласно таблице 2, является удовлетворительным.

ПРИМЕР 2

Требуется посредством гибки толстолистовой стали изготовить кронштейн длиной 2000 мм. Имеется выбор:

а) листовая сталь EN10025–S355 толщиной 10 мм со стандартным пределом прочности 550 МПа,

или

б) листовая сталь Strenx 700 толщиной 7 мм со стандартным пределом прочности 860 МПа.

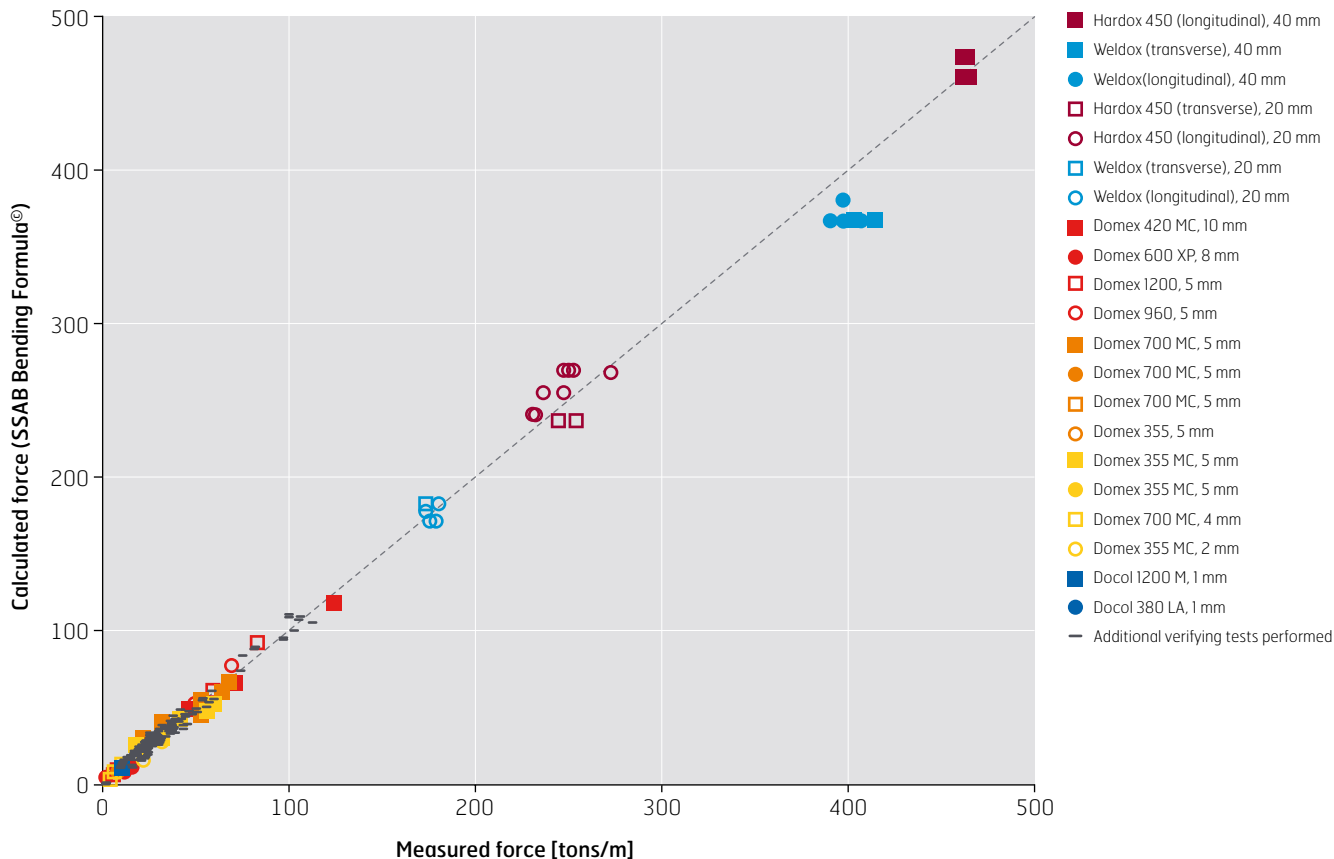
В обоих случаях предполагается использовать имеющуюся гибочную матрицу с шириной 100 мм и радиусом кромок 10 мм. Радиус пуансона в каждом случае – 14 мм. Какое усилие потребуется для гибки данных марок стали?

$$\text{Для S355 } P = \frac{2000 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 550}{(100 - 10 - 14) \cdot 9800} = 148 \text{ т}$$

$$\text{Для Strenx 700 } P = \frac{2000 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 860}{(100 - 10 - 14) \cdot 9800} = 113 \text{ т}$$

Поскольку толщина листа имеет большее значение, чем прочность, усилие, необходимое для гибки стали Strenx, в данном случае будет ниже.

Рисунок 5 Усилиегиба.



SSAB Bending Formula© – гибочная формула, подтверждённая испытаниями по гибке листовой стали различных марок и толщины на 90°. Настройки оснастки в соответствии с рекомендациями SSAB.

ПРУЖИНЕНИЕ

Пружинение увеличивается с прочностью стали и отношением ширины листа к толщине (W/t). Наибольшее влияние имеет предел текучести материала.

Во время гибки по сечению заготовки распределяются остаточные напряжения. Уровень пластической деформации и распределение этих напряжений определяют тенденцию материала к пружинению. Пружинение всегда имеет упругий характер.

Для компенсации пружинения матрица должна обеспечивать перегиб без добития.

Чрезвычайно сложно предсказать пружинение при гибке материала, поскольку оно в значительной степени зависит от настроек используемой оснастки. Поэтому рекомендуется провести предварительные испытания. Оценить в градусах степень пружинения листовой стали средней и малой толщины ($t < 10$ мм) можно, разделив на 100 предел прочности (МПа).

При этом ширина гибочной матрицы должна приблизительно в 10–12 раз превосходить толщину листа.

ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРУЖИНЕНИЕ

- Предел текучести материала – чем больше предел текучести, тем больше пружинение
- Радиус пуансона – при использовании пуансона большого радиуса пружинение будет больше
- Ширина матрицы – с увеличением ширины увеличивается пружинение
- Деформационное упрочнение материала

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГИБКЕ

Поскольку продукция SSAB разрабатывается и предназначается для различных областей применения, результаты расчётов и гибочных испытаний могут различаться.

Для листовой стали минимальное рекомендуемое отношение радиуса пуансона к толщине листа (R/t) приведено в таблице 3.

Для рулонного поката Strenx и изделий Docol минимальное рекомендуемое отношение внутреннего радиуса к толщине листа (R_i/t) приведено в таблице 2.

Эти рекомендации основаны на результатах одноэтапных гибочных испытаний, в ходе которых осуществлялась гибка образца на 90° с учётом пружинения. Ширина канала гибочной матрицы является ориентировочной и может в некоторой степени колебаться, не оказывая влияния на результаты гибки.

В таблицах 2 и 3 приведён неполный ассортимент продукции SSAB. За информацией о других материалах и технических данными следует обращаться в службу технической поддержки или посетить веб-сайт www.ssab.com.

Сталь Strenx и Hardox поставляется с гарантированными гибочными свойствами. За дополнительной информацией следует обращаться к местному представителю компании SSAB.

Таблица 2 Рекомендации по гибке рулонного поката Strenx и изделий Docol основаны на использовании матрицы с обычными кромками и нормальным трением (без смазки). Формула R_i/t применима для гибки в любом направлении. R_i/t – это частное от деления внутреннего радиуса (R_i) на толщину листа (t).

		ТОЛЩИНА (t) (мм)	ВДОЛЬ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОКАТКИ, МИН. R/t	ШИРИНА МАТРИЦЫ (W), МИН W/t
ГОРЯЧЕКАТАНЫЙ РУЛОН	Strenx 600 MC	$t \leq 3$	0,7	10
		$3 < t \leq 6$	1,1	10
		$t > 6$	1,4	10
	Strenx 650 MC	$t \leq 3$	0,8	10
		$3 < t \leq 6$	1,2	10
		$t > 6$	1,5	10
	Strenx 700 MC	$t \leq 3$	0,8	10
		$3 < t \leq 6$	1,2	10
		$t > 6$	1,6	10
	Strenx 700 MC PLUS	$3 \leq t \leq 10$	1,0	10
$t > 10$		1,5	10	
Strenx 900 MC	$3 \leq t \leq 8$	3,0	12	
	$t > 8$	3,5	12	
Strenx 900 PLUS	$3 \leq t \leq 6$	3,0	12	
Strenx 960 MC	$3 \leq t \leq 10$	3,5	12	
Strenx 960 PLUS	$3 \leq t \leq 6$	3,5	12	
Strenx 1100 MC	$3 \leq t \leq 8$	4,0	14	
ХОЛОДНОКАТАНЫЙ РУЛОН	Docol 600 DP/DL	$0,5 \leq t \leq 2,1$	0,5	10
	Docol 800 DP/DL	$0,5 \leq t \leq 2,1$	1,0	10
	Docol 1000 DP	$0,5 \leq t \leq 2,1$	2,0	10
	Docol 1200 M	$0,5 \leq t \leq 2,1$	3,5	12
	Docol 1300 M	$0,5 \leq t \leq 2,1$	3,5	14
	Docol 1400 M	$0,5 \leq t \leq 2,1$	4,0	14
	Docol 1500 M	$0,5 \leq t \leq 2,1$	4,0	14

Таблица 3 Рекомендации по гибке листовой стали Strenx и Hardox основаны на использовании матрицы с роликами и нормальным трением (без смазки). R/t — это частное от деления радиуса пуансона (R) на толщину листа (t).

		ТОЛЩИНА (t) (мм)	ПОПЕРЕК НАПРАВЛЕНИЯ ПРОКАТКИ, МИН. R/t	ВДОЛЬ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОКАТКИ, МИН. R/t	ШИРИНА ГИБОЧНОЙ МАТРИЦЫ (W), МИН W/t
ГОРЯЧЕКАТАНЫЙ ТОЛСТЫЙ ЛИСТ	Strenx 700	$t < 8$	1,5	2,0	10
		$8 \leq t < 15$	1,5	2,0	10
		$15 \leq t < 20$	2,0	2,5	12
		$t \geq 20$	2,0	2,5	12
	Strenx 900/960	$t < 8$	2,5	3,0	12
		$8 \leq t < 15$	2,5	3,0	14
		$15 \leq t < 20$	2,5	3,0	14
		$t \geq 20$	3,0	3,5	16
	Strenx 1100	$t < 8$	3,0	3,5	12
		$8 \leq t < 15$	3,0	3,5	14
		$15 \leq t < 20$	3,0	3,5	14
		$t \geq 20$	3,5	4,0	16
	Strenx 1300	$t < 8$	3,5	4,0	14
		$8 \leq t < 15$	4,0	4,5	14
	Hardox 400	$t < 8$	2,5	3,0	12
		$8 \leq t < 15$	3,0	4,0	14
$15 \leq t < 20$		3,0	4,0	14	
$20 \leq t < 50$		4,0	5,0	16	
Hardox 450	$t < 8$	3,0	3,5	12	
	$8 \leq t < 15$	3,5	4,5	14	
	$15 \leq t < 20$	3,5	4,5	14	
	$t \geq 20$	4,5	5,0	16	
Hardox 500	$t < 8$	3,5	4,5	14	
	$8 \leq t < 15$	4,0	4,5	14	
	$15 \leq t < 20$	4,5	5,0	16	
	$t \geq 20$	5,5	6,0	18	
ГОРЯЧЕКАТАНЫЙ РУЛОН	Hardox 400	$2 \leq t < 4$	3,0	4,0	12
		$4 \leq t \leq 8$	3,0	3,5	12
	Hardox 450	$2,5 \leq t < 4$	3,0	4,0	12
		$4 \leq t \leq 8$	3,0	3,5	12
	Hardox 500	$3 \leq t \leq 6,5$	3,5	4,0	14

Сталелитейная компания SSAB базируется в странах Северной Европы и в США. Компания SSAB поставляет на рынок продукцию с высокой добавленной стоимостью и оказывает услуги, разработанные в тесном сотрудничестве с потребителями, стремясь сделать наш мир более прочным, лёгким и экологически чистым. Компания SSAB располагает штатом сотрудников более чем в 50 странах мира. Её производственные объекты находятся в Швеции, Финляндии и США. Акции компании SSAB прошли листинг на фондовой бирже NASDAQ OMX Nordic Exchange в Стокгольме и включены во вторичный биржевой список на фондовой бирже NASDAQ OMX в Хельсинки. www.ssab.com.

SSAB

Санкт-Петербург
194021, Санкт-Петербург, Россия
ул. Шателена, 26, литер А
Телефон : +7 812 438 17 05
Факс: +7 812 346 69 49
info.ru@ssab.com

Михаил Сергеев

Региональный технический менеджер / TDM Russia & CIS
Т: +7 812 438 17 05 М: + 7 985 855 94 08
mikhail.sergeev@ssab.com

Роман Снегирев

Региональный технический менеджер / TDM Russia & CIS
М: + 7 913 910 82 36
roman.snegirev@ssab.com

www.ssab.ru

The logo for SSAB, consisting of the letters 'SSAB' in a bold, blue, sans-serif font.