

Сварка



WELDOX[®]
КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ

HARDOX[®]
ИЗНОСОСТОЙКАЯ СТАЛЬ



Сварка WELDOX® и HARDOX®

Исключительные характеристики конструкционной листовой стали WELDOX и износостойкой листовой стали HARDOX сочетаются с прекрасной свариваемостью. Для сварки этих сталей с любым другим типом свариваемой стали подходит любой традиционный метод сварки.

Эта брошюра описывает, как упростить, усовершенствовать и повысить эффективность процесса сварки. Она дает рекомендации относительно рабочих температур, подводимой теплоты, присадочных материалов, защитного газа, а также многого другого. Цель брошюры - предоставить информацию, позволяющую пользователю в полной мере использовать уникальные свойства материалов WELDOX и HARDOX.

Важные параметры процесса сварки

Очистите поверхности, подготавливаемые под сварку, удалив перед сваркой инородные вещества: влагу, остатки масла, и др. Кроме тщательной очистки, важными являются следующие параметры:

- Температура предварительного прогрева и перехода (между проходами)
- Подводимая теплота
- Присадочные материалы
- Защитный газ
- Последовательность сварки и размер зазора сварного стыка

Температура прогрева и перехода

Применение правильной температуры прогрева и перехода является важным с точки зрения недопущения водородного растрескивания. Наши рекомендации приведены в таблице на следующей странице.

Влияние легирующих элементов на выбор рабочей температуры

Уникальное сочетание легирующих элементов оптимизирует механические свойства WELDOX и HARDOX. Это сочетание определяет рабочую температуру стали во время сварки, и может использоваться для расчета значения углеродного эквивалента. Значение углеродного эквивалента обычно выражается как CEV или CET в соответствии

с уравнениями, приведенными ниже. Легирующие элементы указываются в акте проверки листа, и заданы в формулах в процентах по весу. Более высокое значение углеродного эквивалента обычно требует более высокой рабочей температуры. Типовые значения углеродных эквивалентов даны в наших спецификациях продуктов.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Mo+Cr+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} (\%)$$

$$CET = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr+Cu)}{20} + \frac{Ni}{40} (\%)$$

Водородное растрескивание

Благодаря низким значениям углеродного эквивалента, WELDOX и HARDOX лучше сопротивляются водородному растрескиванию по сравнению с другими высокопрочными сталями. При выполнении наших рекомендаций, риск водородного растрескивания может быть сведен к минимуму.

Два правила, позволяющие избежать водородного растрескивания:

- **Минимизировать содержание водорода в швах и вокруг них**
 - Применять правильную рабочую температуру
 - Пользоваться присадочными материалами с низким содержанием водорода
 - Примеси не должны находиться в зоне сварки
- **Минимизировать напряжения в сварном шве**
 - Не пользоваться присадочными материалами с прочностью большей, чем это необходимо
 - Последовательность сварки должна быть такой, чтобы свести к минимуму остаточные напряжения
 - Установить зазор сварного стыка максимум 3 мм

В этой брошюре даются общие рекомендации. Компания SSAB Oxelösund AB не несет ответственность за то, что описание может не соответствовать особенностям конкретного процесса. Поэтому пользователь отвечает за необходимую адаптацию параметров процесса к каждому конкретным условиям.

Температуры прогрева и перехода для WELDOX и HARDOX

Минимальная рабочая температура во время сварки приведена в иллюстрации ниже. Если не указано иное, эти значения относятся к сварке с нелегированными и низколегированными присадочными материалами.

- Когда свариваются листы разной толщины, но одинаковой марки стали, то требуемую температуру прогрева и перехода определяет лист с наибольшей толщиной.
- Когда свариваются листы разных марок стали, то температуру прогрева и перехода определяет лист, для которого требуется максимальная рабочая температура.

Примечание: Таблица приведена со следующими параметрами: толщина одного листа, сварка с подводимой теплотой 1,7 кДж/мм. Более подробную информацию о толщинах одного листа можно получить в разделе TechSupport #61 сайта www.ssabox.com.

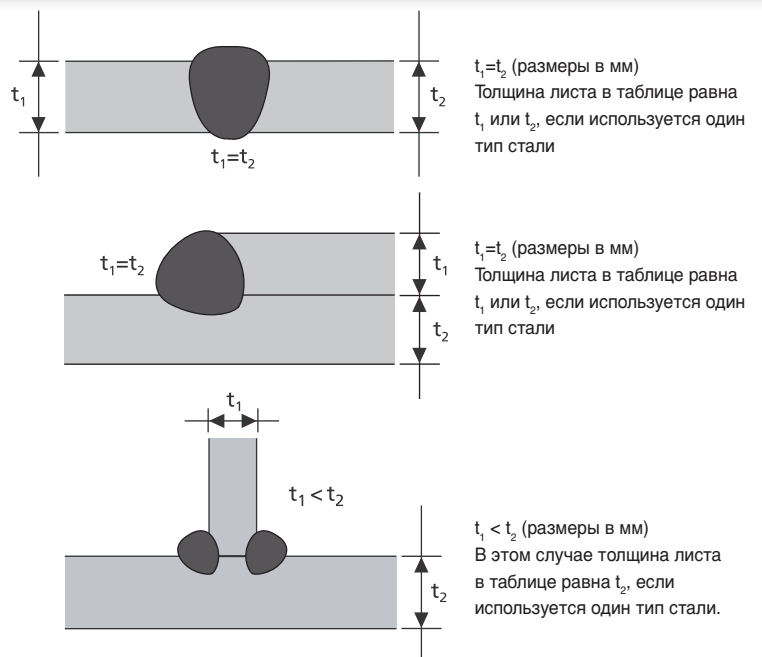
Минимальная рекомендуемая температура прогрева и перехода для толщины одного листа (мм)

	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
WELDOX 700	75°C	75°C	75°C	75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 900*	75°C	75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 960*	75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 1030*	75°C	75°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
WELDOX 1100*	75°C	75°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C
WELDOX 1300*	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C
HARDOX HiTuf						100°C	100°C	125°C	125°C	125°C	125°C	125°C
HARDOX 400				75°C	75°C	100°C	175°C	175°C	175°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 450				125°C	125°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C	150°C
HARDOX 500				175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 550				175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 600				175°C	175°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
HARDOX 600 <small>Присадочные материалы из нержавеющей стали</small>				100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C	100°C

Температура в помещении (около 20°C)
 За пределами размерного ряда
 Только присадочные материалы из нержавеющей стали. Рабочая температура не менее 100°C

Максимальная рекомендуемая температура перехода

WELDOX 700**	300°C
WELDOX 900**	300°C
WELDOX 960**	300°C
WELDOX 1030	200°C
WELDOX 1100	200°C
WELDOX 1300	200°C
HARDOX HiTuf**	300°C
HARDOX 400	225°C
HARDOX 450	225°C
HARDOX 500	225°C
HARDOX 550	225°C
HARDOX 600	225°C



* Присадочные материалы определяют рабочую температуру, если их значение углеродного эквивалента выше значения углеродного эквивалента листа.

** В некоторых случаях для WELDOX 700-960 и HARDOX HiTuf могут использоваться температуры перехода приблизительно до 400°C. В таких случаях пользуйтесь программой WeldCalc.

Если влажность окружающей среды высокая или температура ниже $+5^{\circ}\text{C}$, то минимальные рекомендуемые температуры, приведенные на предыдущей странице, следует увеличить на 25°C . Это правило также применяется к плотно заделанным сварным швам, и если подводимая теплота равна $1,0 \text{ кДж/мм}$.

Минимальные рекомендуемые температуры прогрева и перехода, показанные в иллюстрации на предыдущей странице, не изменяются при подводимой

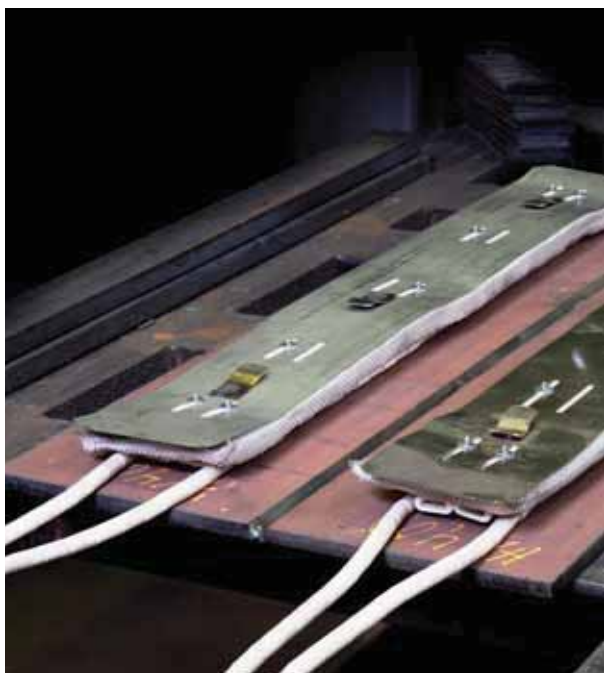
теплоте выше $1,7 \text{ кДж/мм}$. Данные основаны на предположении, что сварной шов можно охладить на воздухе.

Эти рекомендации также относятся к прихваточным сварным швам и первым проходам в корне шва. Каждый прихваточный шов должен иметь длину не менее 50 мм . Расстояние между прихваточными швами может изменяться в соответствии с требованиями.

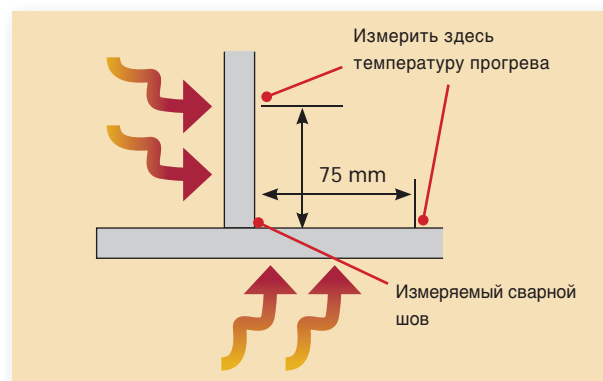
Достижение и измерение повышенной рабочей температуры

Требуемую температуру прогрева и перехода можно достичь несколькими способами. Использование матрасов с электрообогревом вокруг сварных швов часто является наилучшим способом, поскольку

они обеспечивают равномерный нагрев зоны. Температуру нужно контролировать с помощью, например, контактного термометра.



Использование элементов подогревателя



Измерить температуру наиболее толстого листа сварного шва. Если лист имеет толщину 25 мм , измерьте температуру через 2 минуты после нагрева. Если лист имеет толщину $12,5 \text{ мм}$, измерьте толщину через 1 минуту, и т.д. Температуру перехода можно измерить в металле шва, или в расположенном непосредственно рядом основном металле.

Подводимая теплота

Сварка с рекомендуемой подводимой теплотой обеспечивает хорошие механические свойства в зоне термического влияния (HAZ).

Теплота, получаемая в процессе сварки, влияет на механические свойства сварного шва. Это учитывается в подводимой теплоте (Q), которая может быть рассчитана по следующей формуле.

Различные методы сварки имеют разный тепловой кпд (k). Приблизительные значения теплового кпд приведены ниже.

$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000}$$

Q = Подводимая теплота [кДж/мм]

U = Напряжение [V]

I = Ток [A]

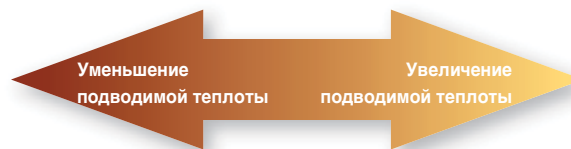
v = Скорость сварки [мм/мин]

k = Тепловой кпд метода сварки

Тепловой кпд метода сварки	k
MMA	0,8
MAG, все типы	0,8
SAW	1,0
TIG	0,6

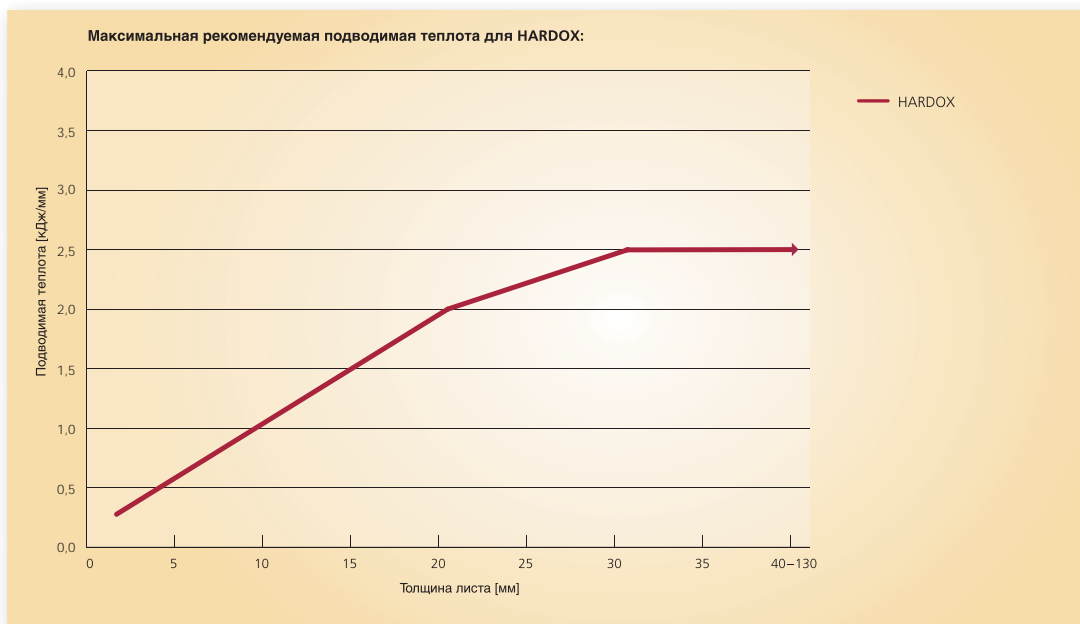
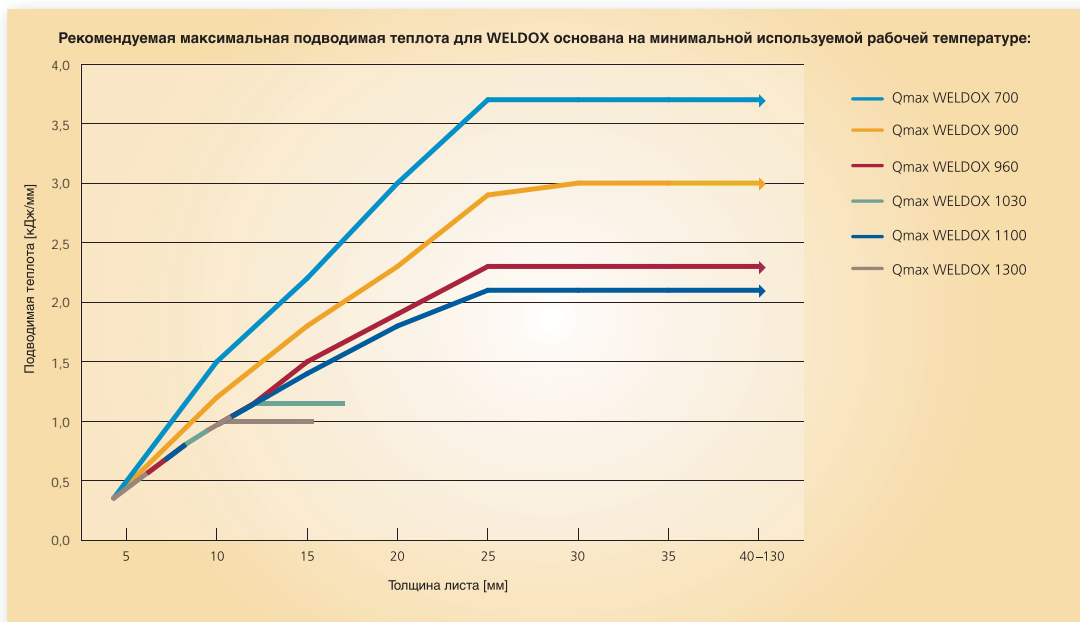
Влияние на сварной шов

- Улучшение вязкости
- Повышение прочности
- Снижение деформации
- Уменьшение остаточных напряжений
- Уменьшение зоны теплового воздействия



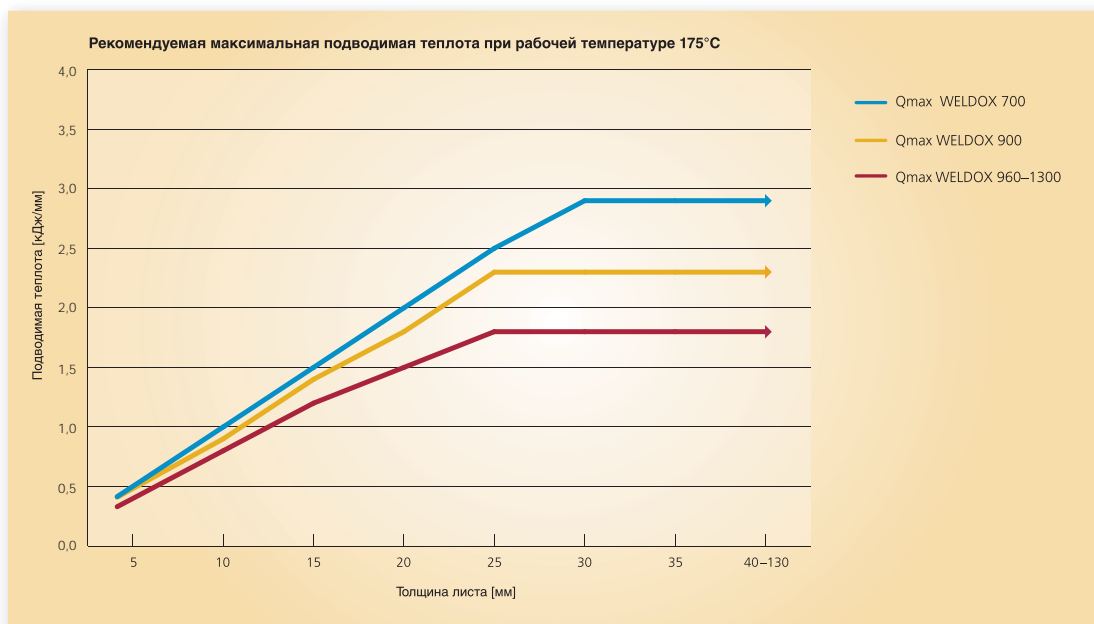
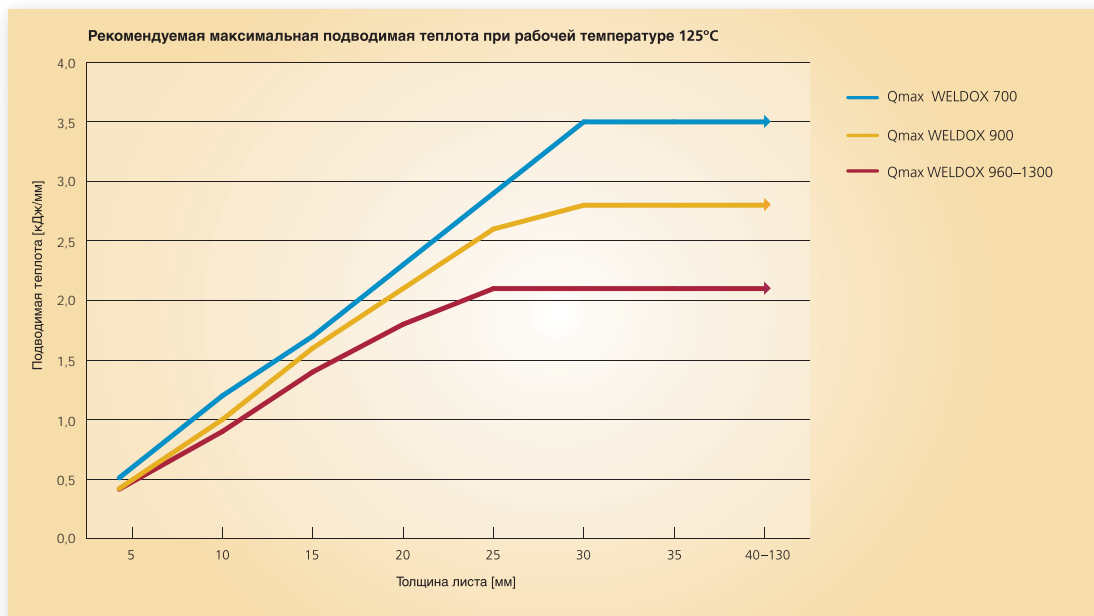
- Повышение производительности при традиционных методах сварки

Наши рекомендации для конструкционной стали WELDOX основаны на типовых значениях вязкости в зоне теплового воздействия минимум при 27 Дж и -40°C. Требуемые значения вязкости в сварных швах износостойкой стали HARDOX часто ниже. Поэтому рекомендуемые значения для HARDOX должны считаться приблизительными.



Сварка при повышенных температурах

Высокая рабочая температура, которая может достигаться, например, в случае многопроходных сварных швов, влияет на рекомендуемую подводимую теплоту. На рисунке ниже приведены значения рекомендуемой подводимой теплоты для рабочих температур 125°C и 175°C.



Компьютерная программа WeldCalc может использоваться для рабочих температур свыше 175°C. Программа WeldCalc разработана компанией SSAB Oxelösund ведущими в мире экспертами в области сварки толстолистовой стали. Программу можно заказать бесплатно на сайте www.ssabox.com.

Присадочные материалы

Для WELDOX и HARDOX могут использоваться нелегированные, низколегированные присадочные материалы и материалы из нержавеющей стали.

Прочность нелегированных и низколегированных присадочных материалов

Прочность присадочных материалов можно выбрать в соответствии с рисунком, приведенным на следующей странице. Применение материалов низкой прочности часто дает ряд преимуществ, таких как повышенная вязкость сварного шва, более высокая устойчивость к водородному растрескиванию и пониженные остаточные напряжения в сварном шве. Для многопроходных сварных швов WELDOX 700 – 1300, особенно хорошо выполнять сварку с присадочными материалами различной прочности. Прихваточные швы и первые проходы следует варить с помощью присадочных металлов малой прочности.

Значение углеродного эквивалента для присадочных материалов с пределом текучести >700 МПа может быть выше значения углеродного эквивалента для листов. Если рекомендуемые температуры прогрева материалов шва и присадочных материалов различны, то следует применять максимальные значения. HARDOX следует варить с присадочными материалами малой прочности, как показано на рисунке, приведенном на следующей странице.

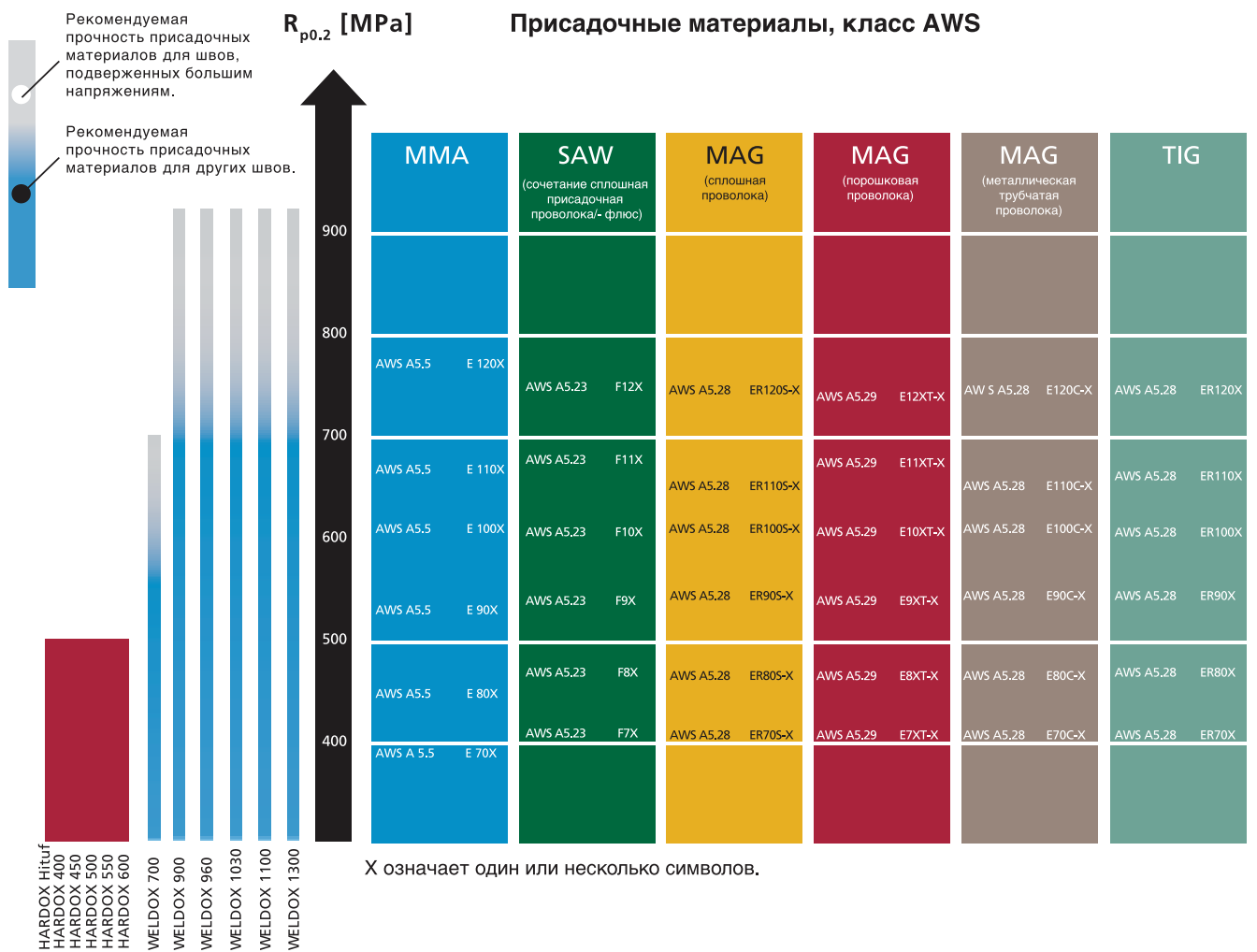
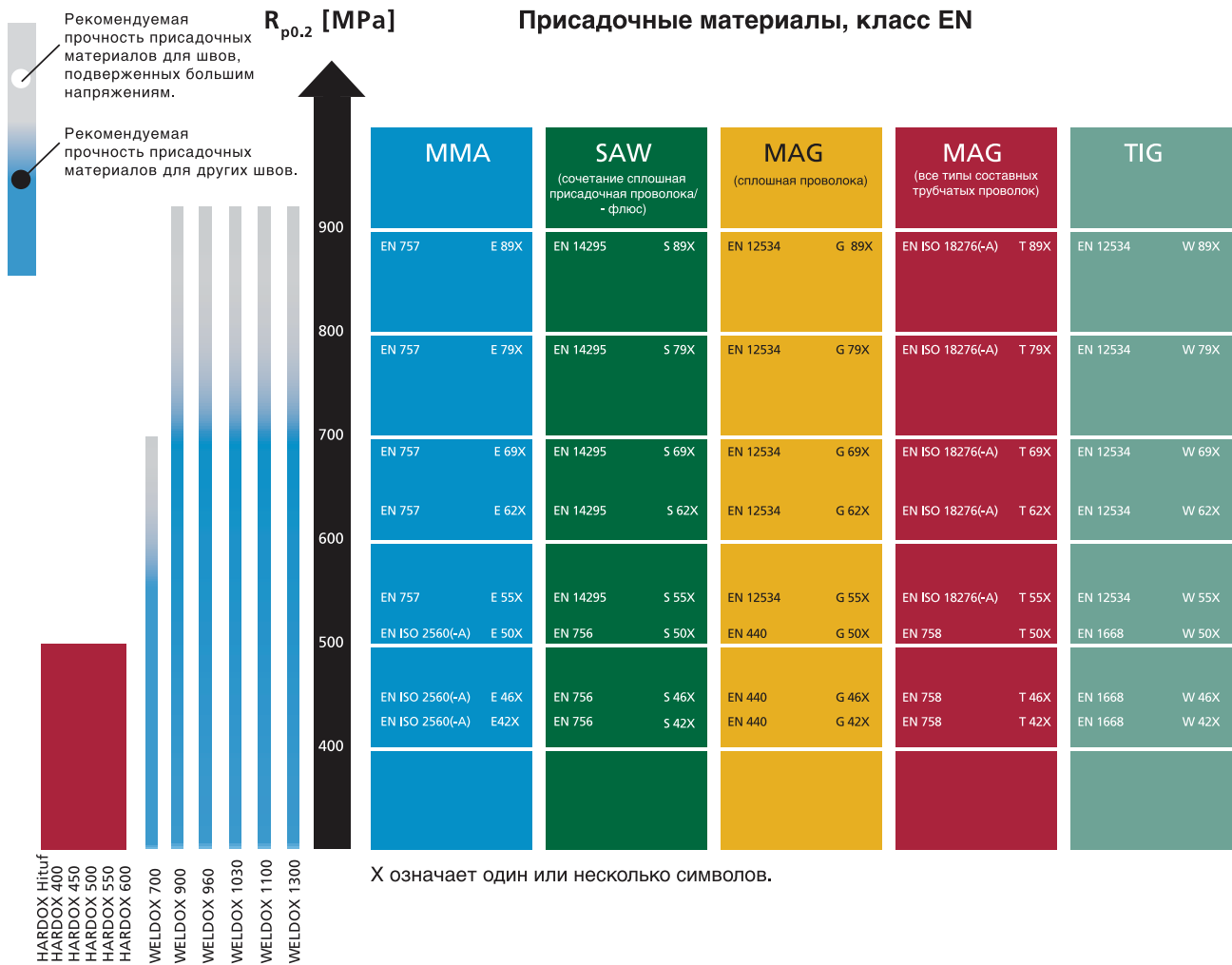


- присадочные материалы более высокой прочности
- присадочные материалы более низкой прочности

Содержание водорода в нелегированных и низколегированных присадочных металлах

Содержание водорода должно быть меньше или равно 5 мл водорода на 100 г металла шва при сварке с нелегированными и низколегированными присадочными металлами. Сплошные присадочные металлы, используемые при сварке MAG и TIG, могут образовывать низколегированное содержание в металле шва. Наилучшее содержание водорода в присадочных металлах другого типа можно обеспечить, выбрав соответствующего изготовителя.

Примеры присадочных металлов приведены на сайте www.ssabox.com в разделе TechSupport #60. Если присадочный металл хранится в соответствии с рекомендациями изготовителя, то содержание азота будет поддерживаться на нужном уровне. Это относится, прежде всего, к присадочным металлам с покрытием, а также к флюсу.



Присадочные материалы из нержавеющей стали

Присадочные материалы из аустенитной нержавеющей стали могут использоваться для всех наших продуктов. Поправка для рабочих температур в этом случае равна +20°C, исключая HARDOX 600, как показано в иллюстрации. Мы рекомендуем, чтобы главный приоритет был дан присадочному металлу в соответствии с AWS 307, затем - в соответствии с AWS 309. Металл типа AWS 307 может сопротивляться горячему растрескиванию лучше, чем типа AWS

309. Следует отметить, что изготовители редко указывают содержание водорода в присадочных металлах из нержавеющей стали, поскольку водород не влияет существенно на характеристики так, как на характеристики нелегированных и низколегированных присадочных металлов. Рекомендации для различных присадочных металлов из нержавеющей стали даны на сайте www.ssabox.com в разделе TechSupport #60.



X означает один или несколько символов.



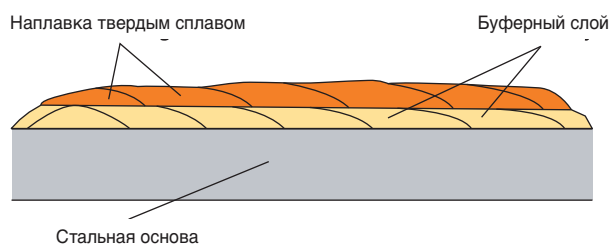
X означает один или несколько символов.

Наплавка твердым сплавом

Наплавка твердым сплавом специальными присадочными металлами повышает износостойкость сварных швов. Следует выполнять как инструкции по использованию присадочного металла, так и обычные рекомендации для WELDOX и HARDOX.

Целесообразно выполнять сварку буферного слоя с очень высокой вязкостью между сварным швом или листом, и наплавкой твердым сплавом. Выбор присадочного металла для буферного слоя должен производиться в соответствии с рекомендациями для

сварки сталей WELDOX и HARDOX. В этих случаях предпочтительно использовать присадочные металлы из нержавеющей стали в соответствии с AWS 307 и AWS 309.

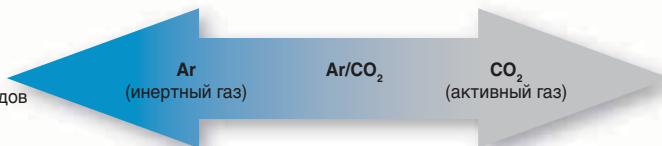


Защитный газ

Большинство методов сварки в качестве защитного газа используют Ar/CO_2 . Выбор пропорции смеси зависит от характера сварки.

Влияние различных смесей защитного газа

- Упрощает зажигание дуги
- Уменьшает брызги
- Небольшое количество оксидов



- Устойчивая дуга
- Малая пористость
- Брызги металла/забивка сварочного сопла
- Глубокий провар металла шва

Рекомендации для различных типов защитного газа для конкретных условий приведены в таблице. Как правило, смесь 15–25% CO_2 защитного газа может использоваться для всех типов сварки MAG.

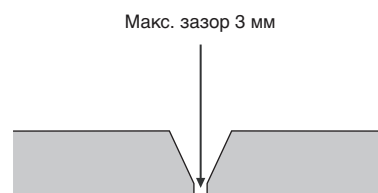
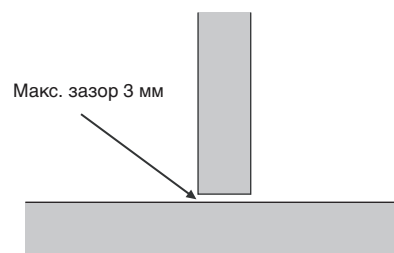
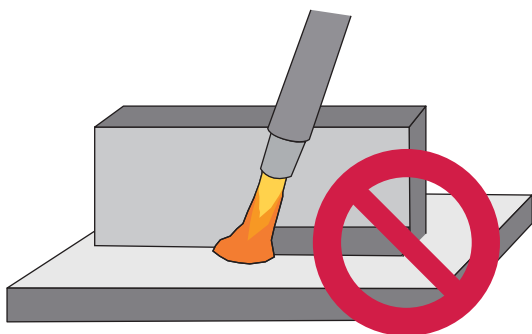
Метод сварки	Тип дуги	Защитный газ (% по весу)
MAG, сплошная проволока MAG, металлическая трубчатая проволока	Короткая дуга	$Ar + 15\text{--}25\% CO_2$
MAG, сплошная проволока MAG, металлическая трубчатая проволока	Разбрызгивающая дуга	$Ar + 8\text{--}25\% CO_2$
MAG, порошковая проволока	Короткая дуга	$Ar + 15\%\text{--}25\% CO_2$ или чистый CO_2
MAG, порошковая проволока	Разбрызгивающая дуга	$Ar + 8\%\text{--}25\% CO_2$
MAG, все типы	Все типы дуги	$Ar + 15\text{--}25\% CO_2$
TIG		Чистый Ar

Во всех методах сварки, основанных на защитном газе, расход защитного газа зависит от условий сварки. Общей рекомендацией является то, чтобы расход защитного газа в л/мин соответствовал внутреннему диаметру сопла в мм.

Последовательность сварки и размер зазора стыка

Чтобы не допустить водородное растрескивание в сварном шве:

- Начальная и конечная последовательность не должны располагаться в углу. Если возможно, начальная и конечная процедуры должны выполняться на расстоянии не менее 5 – 10 см от угла.
- Зазор сварного стыка должен быть максимум 3 мм.



Сварка на грунтовке WELDOX® и HARDOX®



Для обеспечения наилучших результатов грунтовку можно удалить.

Сварка может выполняться непосредственно на прекрасной грунтовке WELDOX и HARDOX, благодаря низкому содержанию цинка в ней.

Грунтовка может быть легко обработана щеткой в зоне около сварного шва. Основным преимуществом снятия грунтовки перед сваркой является то, что пористость металла шва может быть минимизирована, и что может быть облегчена сварка не в горизонтальном положении.

Если грунтовка оставлена для подготовки под сварку, пористость металла шва слегка увеличится. Процесс сварки MAG с трубчатым порошковым электродом и процесс сварки MMA обеспечивают меньшую пористость, когда сварка выполняется непосредственно на грунтовке.

Во время всех сварочных работ необходимо поддерживать хорошую вентиляцию. В этом случае грунтовка не будет оказывать отрицательное влияние на сварщика и окружающую среду.

Более подробную информацию можно получить в разделе TechSupport #25 сайта www.ssabox.com.

Термическая обработка после сварки

Для снятия напряжений, HARDOX HiTuf и WELDOX 700-960 могут быть отпущены, хотя это редко становится необходимым. Другие стали не следует отпускать для снятия напряжений, поскольку это может ухудшить их механические свойства.

Более подробную информацию см. в Руководстве по сварке компании SSAB Oxel sund. Его можно заказать на сайте www.ssabox.com.

Компания SSAB Oxelösund - дочерняя компания Шведской сталелитейной группы SSAB Swedish Steel Group. Она является ведущим в мире производителем толстолистовой стали, улучшенной закалкой и отпуском, и представлена на рынке под хорошо известными торговыми марками HARDOX® (износостойкая листовая сталь), WELDOX® (конструкционная листовая сталь), ARMOX® (защитная листовая сталь) и TOOLOX® (предварительно упрочненная инструментальная сталь и сталь для машинного оборудования). Для этих марок сталей характерно сочетание высокой прочности и вязкости, благодаря чистому составу стали и уникальному технологическому процессу.

Компания SSAB Oxelösund ориентируется исключительно на разработку сталей, улучшенных закалкой и отпуском. Компания уверенно присутствует более чем в 45 странах мира. Мы обеспечиваем заказчиков высококачественной сталью, а также коммерческой и технической поддержкой.

Для получения более подробной информации обращайтесь к нам или посетите сайт www.hardox.ru

SSAB Oxelösund
SE-613 80 Oxel sund
Швеция

телефон: +46 155-25 40 00
факс: +46 155-25 40 73
Электронная почта: info@ssabox.com

www.ssabox.com
www.hardox.com
www.weldox.com

