



**Дуговая сварка
под флюсом**

Содержание

Общая информация.....	3	Сварочные материалы.....	14
Принципы дуговой сварки под флюсом...	4	Электродные проволоки.....	14
Основной принцип SAW-сварки.....	4	Флюсы для SAW-сварки	14
Правила сварки.....	4	Флюсы ЭСАБ и их характеристики	15
Параметры.....	5	А. Кислые и нейтральные.....	15
Установка параметров сварки.....	5	В. Основные.....	15
Напряжение на дуге.....	5	С. Высокоосновные.....	16
Сварочный ток.....	5	D. Специальные.....	16
Скорость сварки.....	5	Железный порошок.....	16
Диаметр проволоки.....	5	Подбор сварочных материалов.....	17
Вылет электрода.....	6	Дефекты сварки.....	19
Угол наклона электрода.....	6	Непровар корня шва.....	19
Формулы.....	7	Горячие и усадочные трещины.....	19
Таблицы переводов единиц измерения....	7	Поверхностные поры.....	19
Варианты дуговой сварки под флюсом....	8	Внутренние поры.....	20
Сварка одиночной проволокой.....	8	Шлаковые включения.....	20
Сварка расщепленной дугой.....	8	Подрезы.....	20
Двухдуговая сварка.....	8	Прочие дефекты.....	20
Позиционирование электродов, преимущества и недостатки.....	8	Действия оператора при обнаружении дефектов.....	21
Наплавка лентой.....	10	Таблицы с рекомендуемыми параметрами сварки.....	23
Сварка в узкую разделку.....	11	Режимы сварки стыковых швов без разделки.....	23
Сварка с холодной проволокой.....	11	Режимы сварки стыковых швов с V и X- образными разделками.....	24
Железный порошок.....	11	Режимы сварки угловых швов без разделки.....	25
Разделка кромок.....	12	Режимы сварки высоколегированных сталей.....	25
Сварка на подкладках.....	13	Практические рекомендации.....	27
Флюсовые подушки.....	13		
Остающиеся подкладки.....	13		
Керамические подкладки.....	13		

Общая информация



Дуговая сварка под флюсом (SAW-сварка) является процессом, при котором наплавленный металл образуется от комбинации двух сварочных материалов, флюса и проволоки, при котором проволока плавится в дуге, горячей под слоем флюса, образующим зону сварки. Данный процесс сварки используется при производстве различных изделий, но обычно это достаточно крупные объекты, такие как корабли, сосуды, работающие под давлением, морские нефте- и газодобывающие платформы, мосты, емкостные хранилища, трубы магистральных трубопроводов и т.п. Обычно сварка под флюсом выполняется в нижнем положении, как для угловых, так и для стыковых швов. Дуговая сварка под флюсом является наиболее высокопроизводительным процессом, для которого можно применять проволоки как из нелегированных или низколегированных сталей, так и из высоколегированных. Дуговая наплавка под флюсом ленточными электродами также является достаточно популярным процессом, используемым для наплавки коррозионностойких слоев на поверхности конструкционных углеродистых сталей.

Дуговая сварка под флюсом, как правило, применяется в цеховых условиях. Сварка вне цеховых условий сопряжена с рядом проблем, таких как насыщение флюса влагой. Однако вне цеха данный вид сварки тоже применяется, особенно на монтаже крупногабаритных изделий.

SAW-сварка наиболее рациональна когда соединение надо заварить за минимальное количество проходов и в шву предъявляются высокие требования, например по ударной вязкости.

Сварку изделия также можно выполнять с двух сторон, используя разделки кромок различных конфигураций, в зависимости от

толщины свариваемых деталей. Существуют марки сталей, которые надо сваривать за много проходов, чтобы гарантировать заданный уровень ударной вязкости сварного соединения или выдержать другие требования.

Сварка с большим количеством проходов ведет к удорожанию процесса, однако, если к конструкции предъявляются очень высокие требования по работоспособности, стоимость сварки уходит на второй план.

При SAW-сварке, также как и при других видах сварок, в шве могут образовываться дефекты, однако в целом, если параметры подобраны правильно, данный вид сварки менее склонен к образованию дефектов.

Принципы дуговой сварки под флюсом

Для дуговой сварки под флюсом необходимо иметь механизм подачи сварочной проволоки, источник питания, систему подачи флюса и контроллер, управляющий этим процессом. В качестве сварочных материалов используется голая сварочная проволока, подаваемая под слой флюса, которые совместно поступают в зону сварки через контактный наконечник и шланг подачи флюса. Электрический ток на проволоку передается через контактную трубку или контактные губки, изготавливаемые из меди. Флюс подается из большого бункера по шлангу через сопло, расположенное перед контактными губками по направлению сварки или через воронку. Электрическая дуга возбуждается при контакте проволоки с изделием. Необходимые ток и напряжение вырабатывает источник питания постоянного или переменного тока. Интенсивное выделение тепла в дуге плавит флюс и проволоку, подаваемую в зону сварки. Флюс, также как и проволока, переходят в жидкое состояние. Из-за разницы в их плотностях, расплавленный флюс всплывает над поверхностью расплавленного металла сварочной ванны и застывает. Флюса может, как легировать металл шва, так и вести себя нейтрально. Шлак, образующийся из флюса в процессе сварки, защищает расплавленный металл от кислорода атмосферы, а в последствие отделяется от поверхности наплавленного валика и уходит в отходы. При этом расходуется не весь высыпаемый в зону сварки флюс, а его нерасплавившиеся остатки возвращаются во флюсовый бункер по системе рециркуляции флюса.

Основной принцип SAW-сварки

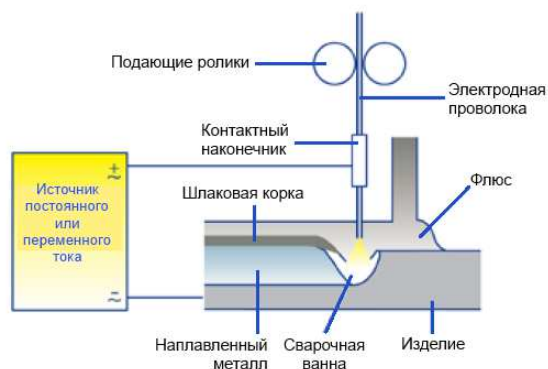
Шлак, образующийся при сварке, создает теплоизолирующий эффект и снижает тепловые потери дуги. Благодаря этому энергия вырабатываемая дугой может быть гораздо выше, чем при сварке открытой дугой. Коэффициент эффективного тепловложения выше и, как результат, достигается более высокая скорость сварки. При SAW-сварке этот коэффициент может достигать 60% в сравнении с 25%, характерными для сварки покрытым электродом или другими видами ручной сварки. Для SAW-сварки может использоваться как постоянный, так и переменный ток, но постоянный используется чаще.

Правила сварки

Сравнение сварок на постоянном токе со сваркой на переменном токе.

Для дуговой сварки под флюсом используется как постоянный, так и переменный ток, но на практике сварка на постоянном токе обратной полярности (на электроде «+») применяется чаще всего. Ниже даны сравнительные преимущества между сварками на постоянном токе и сваркой на переменном токе:

- На постоянном токе обратной полярности наименьший риск образования пор в наплавленном металле.
- На постоянном токе обратной полярности, глубина проплавления наибольшая. На практике это особенно актуально при сварке стыков без разделки кромок.
- На постоянном токе дуга более стабильна.
- На переменном токе дуга менее чувствительна к эффекту магнитного дутья.
- При сварке на постоянном токе прямой полярности (на электроде «-») глубина проплавления минимальна, а высота наплавленного валика наибольшая. Сварка на таком токе предпочтительнее при выполнении наплавочных работ и имеет наибольшую производительность наплавки.



Параметры

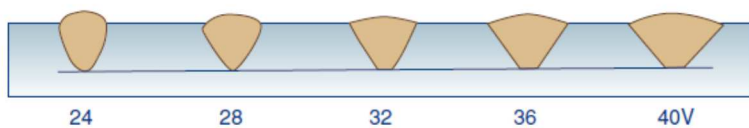
Установка параметров сварки

Устанавливаемые параметры сварки зависят от толщины и конфигурации разделки кромок свариваемого изделия. Они должны быть установлены таким образом, чтобы обеспечить необходимую глубину проплавления и получить наплавленный валик требуемой формы. Подбирать параметры надо достаточно тщательно с учетом диаметра применяемой проволоки, напряжения на дуге, тока и скорости сварки. Таблицы, приведенные в конце данного справочника, должны являться всего лишь руководствами к действию и требуют осмысления для каждой конкретной ситуации.

Напряжение на дуге

Напряжение на дуге является очень важным параметром для формы и ширины дуги, а в ряде случаев для глубины проплавления.

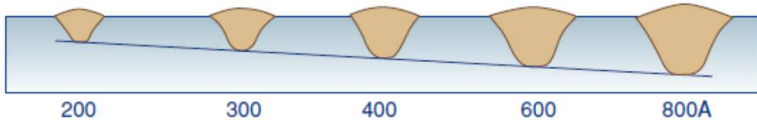
Слишком высокое напряжение при сварке стыкового шва в нижнем положении ведет к увеличению ширины шва. При сварке в X и V-образную разделку, а также при сварке углового шва это приведет к получению вогнутого валика с подрезами, которые усложнят отделяемость шлака. При слишком низком напряжении стыковой шов получается с высоким усилением и узкой зоной проплавления. При сварке в X и V-образную разделку, а также при сварке углового шва это приведет к получению выпуклого валика с возможными несплавлениями и очень затрудненным отделением шлака.



На рисунке показано как изменения напряжения на дуге при неизменном сварочном токе влияет на форму шва

Сварочный ток

Сварочный ток оказывает наибольшее влияние на глубину проплавления. Выбор величины сварочного тока основывается на толщине свариваемого изделия и форме разделки кромок. Величина тока не очень сильно влияет на ширину



Увеличение тока сварки ведет к увеличению глубины проплавления

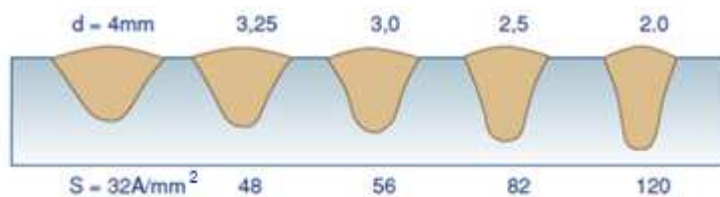
шва, но слишком высокий ток может привести к прожогу, а слишком низкий к непровару. Ток пропорционален скорости подачи сварочной проволоки, которая является параметром, определяющим производительность наплавки [кг/час]. При сварке на прямой полярности (на электроде «←»), производительность наплавки несколько возрастает, а глубина проплавления падает.

Скорость сварки

Скорость сварки также влияет на глубину проплавления. Если при неизменных значениях тока сварки и напряжения на дуге повысить скорость, то глубина проплавления уменьшится, а ширина наплавленного валика станет уже, и наоборот, если скорость сварки уменьшить. Однако, если при заданных токе и напряжении скорость уменьшить очень сильно, то в какой-то момент можно получить обратный эффект, когда глубина проплавления начнет уменьшаться из-за того, что тепловая энергия потеряет способность нормально распределяться в изделие и будет блокироваться толстой жидкой прослойкой сварочной ванны. Если скорость сварки претерпела настолько сильные изменения, то необходимо вести коррективы в установочные значения тока и напряжения.

Диаметр проволоки

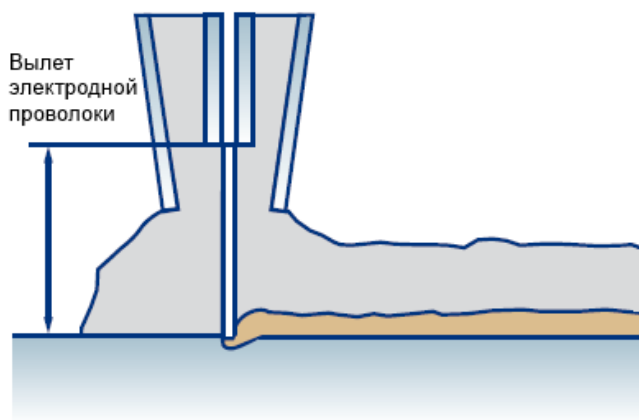
При заданном токе сварки изменение диаметра проволоки влечет за собой изменение плотности тока (количество Ампер на мм² сечения проволоки), из-за чего у электрода большего диаметра глубина проплавления уменьшается и снижается риск прожога при сварке корневого прохода. В то же время поджог дуги становится более проблематичным, а ее стабильность ухудшается, что повышает вероятность образования дефектов в корне шва при сварке в V-образную разделку.



Влияние диаметра проволоки на форму шва при неизменном значении сварочного тока

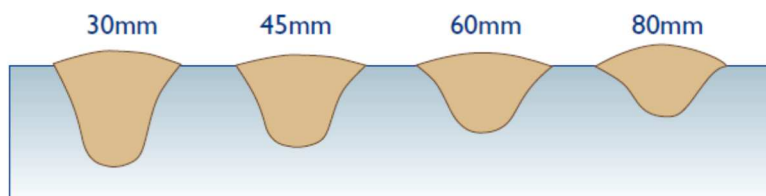
Вылет электрода

Вылетом электродной проволоки считается расстояние от контактного наконечника или контактных губок до изделия. Данное расстояние является очень важным параметром, т.к. оно влияет на степень разогрева конца электродной проволоки проходящим через нее током. Если вылет короткий, электрод разогревается слабо и глубина проплавления возрастает. Если вылет проволоки увеличивается, то возрастает и ее резистивное сопротивление, что приводит к более сильному разогреву электрода. Из-за этого глубина проплавления падает, а производительность наплавки возрастает.



Вылетом электрода считается расстояние от контактного наконечника до изделия

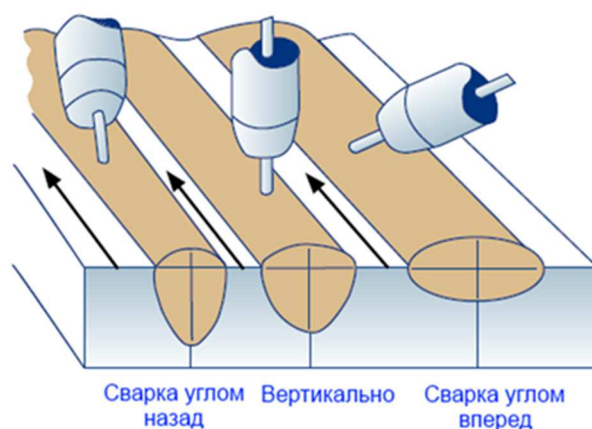
При сварке конструкционных нелегированных и низколегированных сталей, вылет электрода обычно устанавливают в диапазоне от 22 до 27 мм. Если проволочным электродом выполняется наплавка, то для некоторых марок проволок вылет электрода может быть увеличен до 40 мм, что в сочетании с прямой полярностью (DC-) производительность наплавки может быть увеличена, и в то же время доля участия основного металла в наплавленном слое снижена. Толщина слоя насыпаемого флюса должна быть подобрана под размер сварочной ванны.



При увеличении вылета электрода, глубина проплавления уменьшается

Угол наклона электрода

Угол между электродом и свариваемым изделием влияет на глубину проплавления сварного соединения.



Влияние угла наклона электрода на глубину проплавления

Чаще всего, при сварке одиночной проволокой или расщепленной дугой (twin-сварка) двух пластин встык в нижнем положении, угол между электродной проволокой к изделию устанавливают под углом 90°. При двухдуговой сварке под флюсом, вторую сварочную головку, работающую на переменном токе, обычно наклоняют в сторону первой головки, благодаря чему вторая проволока вводится хвостовую часть сварочной ванны.

Угол наклона электрода к изделию	Углом назад	Вертикально	Углом вперед
Глубина провара	Глубокая	Нормальная	Низкая
Наплавленный валик	Узкий (высокий)	Нормальный	Широкий (тонкий)
Склонность к подрезу	Повышенная	Нормальная	Низкая

Формулы

Погонная энергия (удельное тепловложение)

$$Q = \frac{I * U * 60}{V} * \eta$$

Q – погонная энергия [кДж/мм]
 I – ток сварки [А]
 U – напряжение на дуге [В]
 V – скорость сварки [мм/мин]
 η – коэффициент эффективности тепловложения
 (для SAW-сварки = 0,9)

Углерод-эквивалент

При $E_c > 0,4\%$ изделие перед сваркой необходимо подогреть

$$E_c = C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Коэффициент формы шва

$$F = \frac{B}{D}$$

F – коэффициент формы шва
 B – ширина шва
 D – высота/глубина шва

F желательно выдерживать в диапазоне 1,0...1,5, т.к. при данных значениях минимален риск образования горячих трещин

Производительность наплавки

Приблизительно производительность наплавки можно подсчитать по следующим формулам:

$H = \frac{I}{50 * d^{0,3}}$ – при сварке одиночной проволокой на постоянном токе обратной полярности

$H = \frac{I}{40 * d^{0,3}}$ – при сварке одиночной проволокой на переменном токе

H – производительность наплавки [кг/час]

I – сварочный ток [А]

d – диаметр электродной проволоки [мм]

Скорость подачи сварочной проволоки $V_{\text{пп}}$ [м/мин] при сварке на постоянном токе обратной полярности можно подсчитать более точно по следующей формуле:

$$V_{\text{пп}} = \left(\frac{I_{\text{св}} + 22}{44,7 * d_{\text{п}}^{1,79}} \right)^{1,41}$$

Таблица перевода скоростей сварки

Метры в час [м/час]	Сантиметры в минуту [см/мин]	Футы в час [ft/h]	Дюймы в минуту [jn/min]
10	17	33	7
20	33	66	13
30	50	98	20
40	67	131	26
50	83	164	33
60	100	197	39
70	116	230	46
80	133	262	52
90	150	295	59
100	167	328	65
120	200	394	79
140	233	459	92
160	267	525	105
180	300	590	118
200	333	656	131
220	367	722	144
240	400	787	157
260	433	853	170
280	467	918	183
300	500	984	197

Соотношения между единицами длин и скоростей

м/час x 1,66 = см/мин

м x 3,281 = ft (фут)

м x 39,37 = in (дюйм)

см/мин x 0,6 = м/час

ft x 0,305 = м

in x 25,4 = мм

Пересчет температур

Градус Цельсия °C = (°F – 32) * $\frac{5}{9}$

Градус Фаренгейта °F = °C * $\frac{9}{5}$ + 32

Индекс основности флюса

$$B = \frac{CaO+MgO+SrO+BaO+Li_2O+Na_2O+K_2O+CaF_2+1/2(FeO+MnO)}{SiO_2+1/2(Al_2O_3+TiO_2+ZrO_2)}$$

Варианты дуговой сварки под флюсом

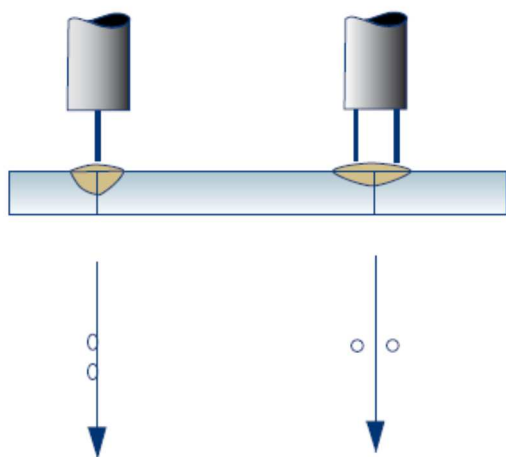
Сварка одиночной проволокой

В качестве электрода применяются проволоки диаметром от 1,2 до 6,0 мм, а токи сварки находятся в диапазоне от 120 А для малых диаметров до 1 500 А для больших.

Для получения более высокой производительности наплавки, вместо сварки одиночной проволокой применяют сварку расщепленной дугой или двухдуговую сварку. Причем для обоих этих методов SAW-сварки можно использовать как проволоки сплошного сечения, так и порошковые флюсонаполненные и металопорошковые.

Сварка расщепленной дугой

Взамен сварки одиночной проволокой диаметром 3 мм, механизм подающий проволоку переоборудуется под две проволоки диаметром по 2,4 мм каждая (твин-процесс). Расстояние между проволоками в контактном наконечнике или контактных губках составляет 8 мм, которые можно располагать как вдоль, так и поперек линии стыка. Преимуществами являются более высокая производительность и большая доля участия присадочного материала в металле шва. Питания дуги осуществляется от одного источника, а сварочный ток протекает по обеим проволокам. На электрод подается положительный потенциал. Подобное переоборудование достаточно просто и экономически жизнеспособно.



Двухдуговая сварка

С точки зрения производительности, еще более эффективным является метод двухдуговой сварки под флюсом (тандем-процесс).

В данной схеме задействованы две независимых сварочных системы объединенных в один блок. Данное устройство должно содержать в себе:

1. Два независимых источника питания дуги, один постоянного тока, второй переменного.
2. Два независимых блока управления
3. Два независимых механизма подачи сварочной проволоки

По первому электроду протекает постоянный ток, а по второму переменный. Задняя головка наклонена в сторону головной, благодаря этому ее проволока поступает в хвостовую часть сварочной ванны. Система «тандем» также может быть оснащена под конфигурацию твин. При такой конфигурации в зону сварки подаются 4-е проволоки. Производительность такой системы может достигать 30 кг/час. При сварке стыкового соединения применяются проволоки 2x2.0, 2x2.4 и 2x3.0 мм. Расстояние между твин-проволоками составляет 8 мм. Использование сварки на постоянном токе более предпочтительно из-за лучшей стабильности дуги.

Прямая полярность (DC-), как известно, применяется при наплавке. Глубина проплавления меньше, производительность выше.

Позиционирование

электродов, преимущества и недостатки

- При сварке расщепленной дугой положение электродных проволок относительно линии стыка можно изменять от перпендикулярного до параллельного. Это осуществляется за счет поворота контактной трубки в диапазоне от нуля до 90°.
- При повороте проволок параллельно стыку глубина проплавления увеличивается, а риск образования подрезов и пор снижается. Связано это с тем, что длина ванны получается наибольшей, а потому времени на удаление газов из ванны в этом случае больше.
- При перпендикулярном расположении проволок относительно стыка глубина проплавления наименьшая. Однако, такое расположение электродов позволяет заполнять разделки с большим углом раскрытия, накладывая валики по той же линии, что и корневой проход. Корневой проход лучше выполнять при параллельном расположении проволок относительно стыка, а заполняющие и облицовочный при перпендикулярном.
- Проволоки также можно располагать по диагонали к линии стыка, что применяется для разделок с меньшим углом раскрытия.

Сравнение сварок одиночной проволокой и расщепленной дугой

Вид электрода	Диаметр [мм]	Сечение электрода [мм ²]	Максимально допустимый ток [А]	Производительность наплавки [кг/час]
Одиночная проволока	3,0	7,06	650	8,0
	4,0	12,56	850	11,5
	5,0	19,62	1100	14,5
Расщепленная дуга	2 x 2,0	6,28	1000	14,0
	2 x 2,5	9,81	1200	17,0

Многодуговая сварка

Когда электроды подключены к разным источникам питания, а сварочные головки связаны в общий блок, такая сварка называется многодуговой. Для такой сварки применяют электроды большого диаметра (3-5 мм). Данный метод, используемый для сварки толстого листового металла, основной задачей является заполнение сечения разделки.

Недостатком данного метода можно считать очень большие размеры сварочной ванны и, соответственно, медленное затвердевание шлаковой корки.

Твин



2 электрода –
1 сварочная
головка

Тандем



2 электрода –
2 сварочных
головки

Трех-
дуговая



3 электрода –
3 сварочных
головки

Скорость сварки м/мин

	1 электрод	2 электрода	3 электрода
	0,25	0,5	0,9
 = 4,5	0,7	1,2	1,6

Род тока и полярность

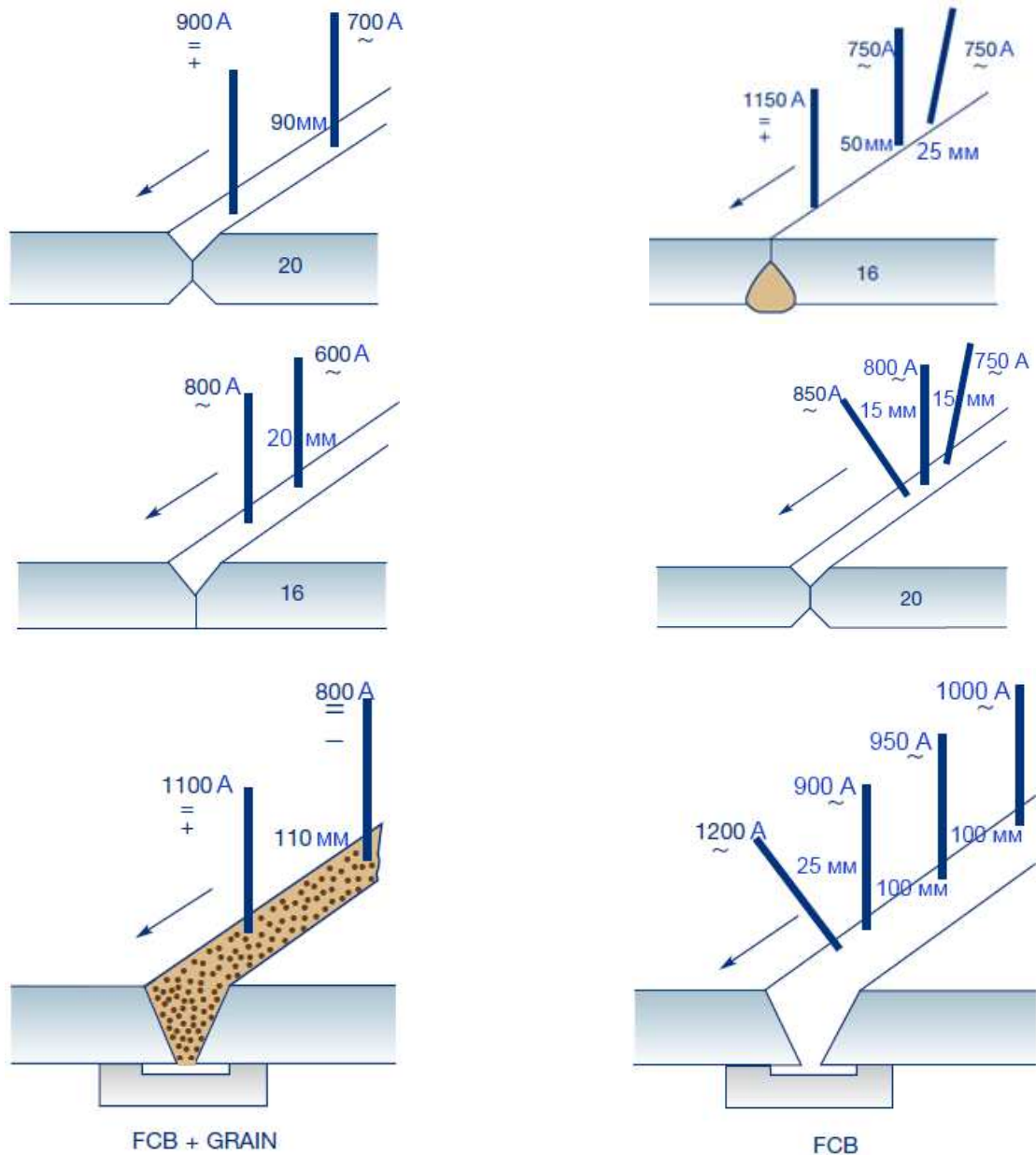
Расщепленная дуга	+	- (наплавка)	
Тандем	+ ~	+ -	~ ~ (сдвиг фаз)
Трехдуговая сварка	~ ~ ~	+ ~ ~	- + ~

Наплавка лентой

Оборудование, применяемое для дуговой сварки под флюсом различными видами проволок, может также быть приспособлено для наплавки лентами. Вместо проволоки в качестве электрода используется лента и требуется специальный флюс.

Для наплавки обычно применяются ленты шириной 30, 60 и 90 мм толщиной 0,5 мм. Ленточная наплавка процесс достаточно медленный. Лента подается достаточно медленно, поэтому подающий механизм должен иметь мотор и редуктор с соответствующим передаточным отношением, обеспечивающие необходимую

медленную скорость подачи. Преимуществом ленточной наплавки является достаточно низкая доля участия основного металла в составе наплавленного металла. Обычно сварочные токи находятся в диапазон от 600 до 1500 А. Чаще всего, ленточная наплавка применяется для наплавки на поверхности толстостенных сосудов плакирующих слоев из коррозионностойких сплавов. Это позволяет изготавливать сосуды, работающие в коррозионных средах из конструкционных сталей, что значительно снижает их стоимость.



FCB – флюсо-медная подкладка
Grain – железный порошок

Примеры расположения электродов при многодуговой сварки и сварочные токи

Сварка в узкую разделку

Метод сварки под флюсом в узкую разделку (NGW - Narrow Gap Welding) разработки ЭСАБ предназначен для изготовления сосудов работающих под давлением с толщиной стенки до 350 мм. Ширина разделки в ее верхней части составляет примерно 18 мм, а угол раскрытия кромки не превышает 3°. Если для подобных толщин использовать традиционные формы разделки, то заполнение таких разделок будет занимать очень длительное время. Затраты на сварочные материалы, рабочую силу и электроэнергию будут огромными. По данным показателям сварка в узкую разделку имеет неоспоримые преимущества. Данный метод значительно упрощает и удешевляет сварку толстостенных сосудов.

После сварки корневого прохода, сварка в узкую разделку выполняется с раскладкой наплавляемых валиков на левую и правую стенку разделки после каждого оборота сосуда. NGW может выполняться как для кольцевого, так и для продольного стыка. Т.к. наплавка валиков осуществляется с раскладкой то на левую, то на правую стенку, проблем с отделением шлака не возникает, т.к. он отделяется сам. Использование для сварки высокоосновных флюсов позволяет получать шов с высокой вязкостью. В итоге NGW дает следующие преимущества:

- Уменьшение времени сварки
- Меньше расход сварочных материалов
- Ниже остаточные напряжения в сварном соединении
- Более узкая зона термического влияния
- Меньше удельное тепловложение
- Высокое качество шва
- Хорошие экономические показатели

Производительность наплавки для различных методов дуговой сварки под флюсом

Сварка с холодной проволокой

Токонесущая сварочная головка может быть доукомплектована системой подачи холодной проволоки. Идея заключается в подаче в сварочную ванну проволоки, по которой не протекает сварочный ток, что позволяет несколько увеличить производительность наплавки. Холодная проволока подается в ванну таким же образом, как и проволока, по которой сварочный ток протекает. В некоторых приводах системы подачи проволоки используются редукторы с двумя выходными валами. От одного из них подается горячая проволока, от второго холодная. Наиболее правильным соотношением диаметров этих проволок считается вариант, когда диаметр холодной проволоки по размерному ряду на 1 или два шага меньше чем горячей.

Железный порошок

Другим путем повышения производительности является добавление железного порошка. Из специального дозатора железный порошок подается в сварочную ванну. При сварке на постоянном токе, под воздействием магнитного поля, образуемого сварочной проволокой, порошок притягивается к ней и поступает в сварочную ванну.

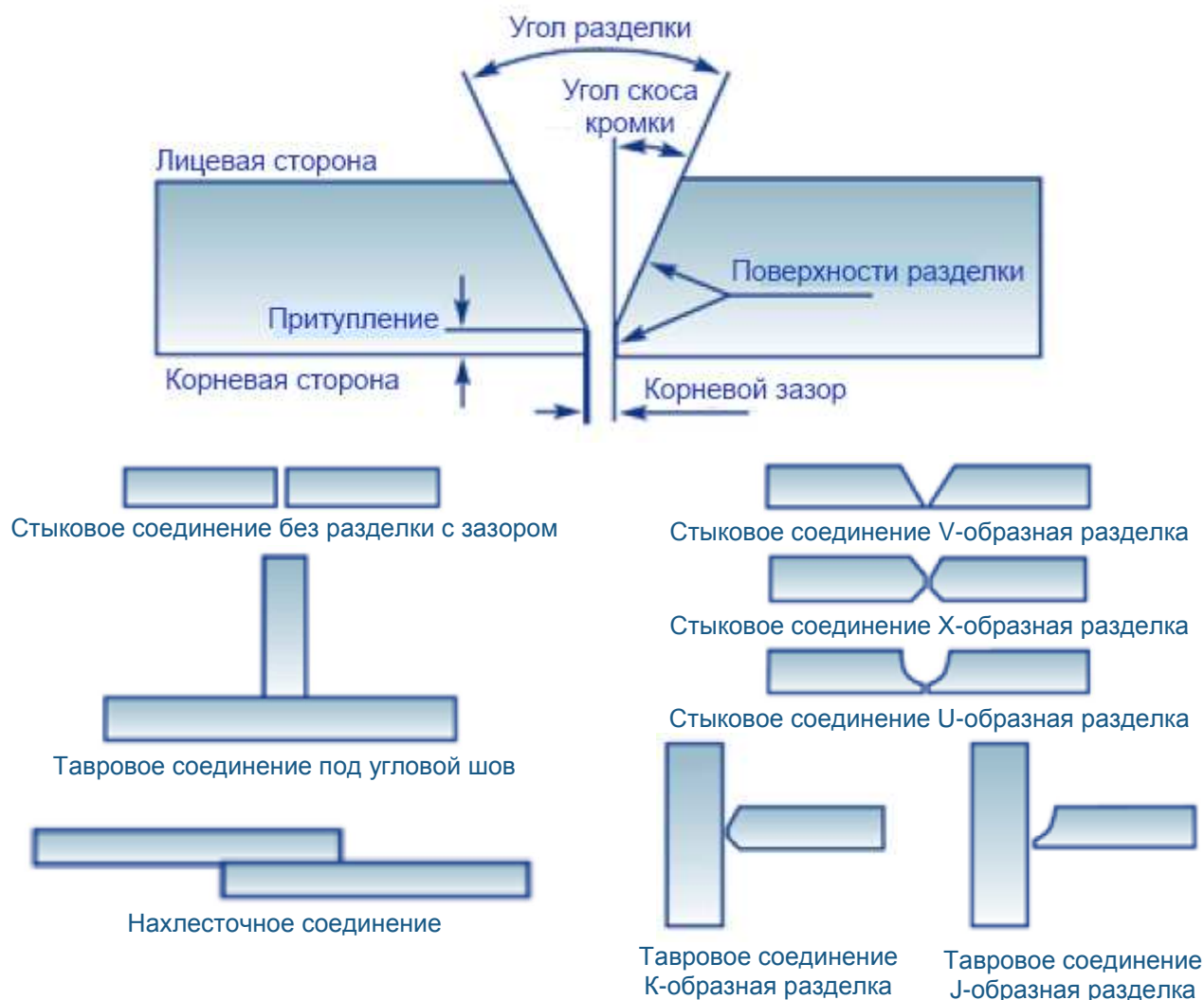


Разделка кромок

Точное соблюдение параметров разделки кромок под сварку позволяет в наиболее полно получить тот экономический эффект, который может обеспечить нам автоматическая сварка. Кромки заготовок должны быть обработаны механической или термической резкой на такую глубину, чтобы обеспечить оптимальную глубину проплавления. Величина притупления корня при V или X-образной разделке должна позволять получать корневой шов с требуемой геометрией, но при этом избежать прожога. Свариваемые кромки должны быть абсолютно чистыми – другими словами на них не должно быть конденсата влаги, следов жира, смазки, краски, окалины или других загрязнений, способных спровоцировать образование пор или трещин. Если для резки или разделки кромок использовалась плазма, эти кромки необходимо зачистит абразивом.

Ошибки в геометрических размерах разделки могут привести к образованию дефектов сварного шва и значительно усложняют процесс автоматической сварки. Результатом таких неточностей может оказаться прожег корневого шва или его непровар, т.е. образование дефекта в корне шва.

Дуговая сварка под флюсом предъявляет гораздо более жесткие требования к точности разделки кромок под сварку в сравнении с ручной дуговой сваркой покрытым электродом. Если не были выдержаны оптимальные параметры разделки, дуговая сварка под флюсом не даст ни каких преимуществ от ее применения.



Сварка на подкладках

Преимущества подкладок для корня шва заключается в том, что они позволяют гарантировать необходимую глубину проплавления и формировать необходимую геометрию обратного валика корневого шва.

Флюсовые подушки

Основное назначение флюсовых подушек заключается в поддержке корня шва при сварке по зазору. Наиболее часто они применяются в установках для сварки неподвижных продольных швов. В качестве подушки может также использоваться керамика или стекловолокно, укладываемые на медную подкладку.

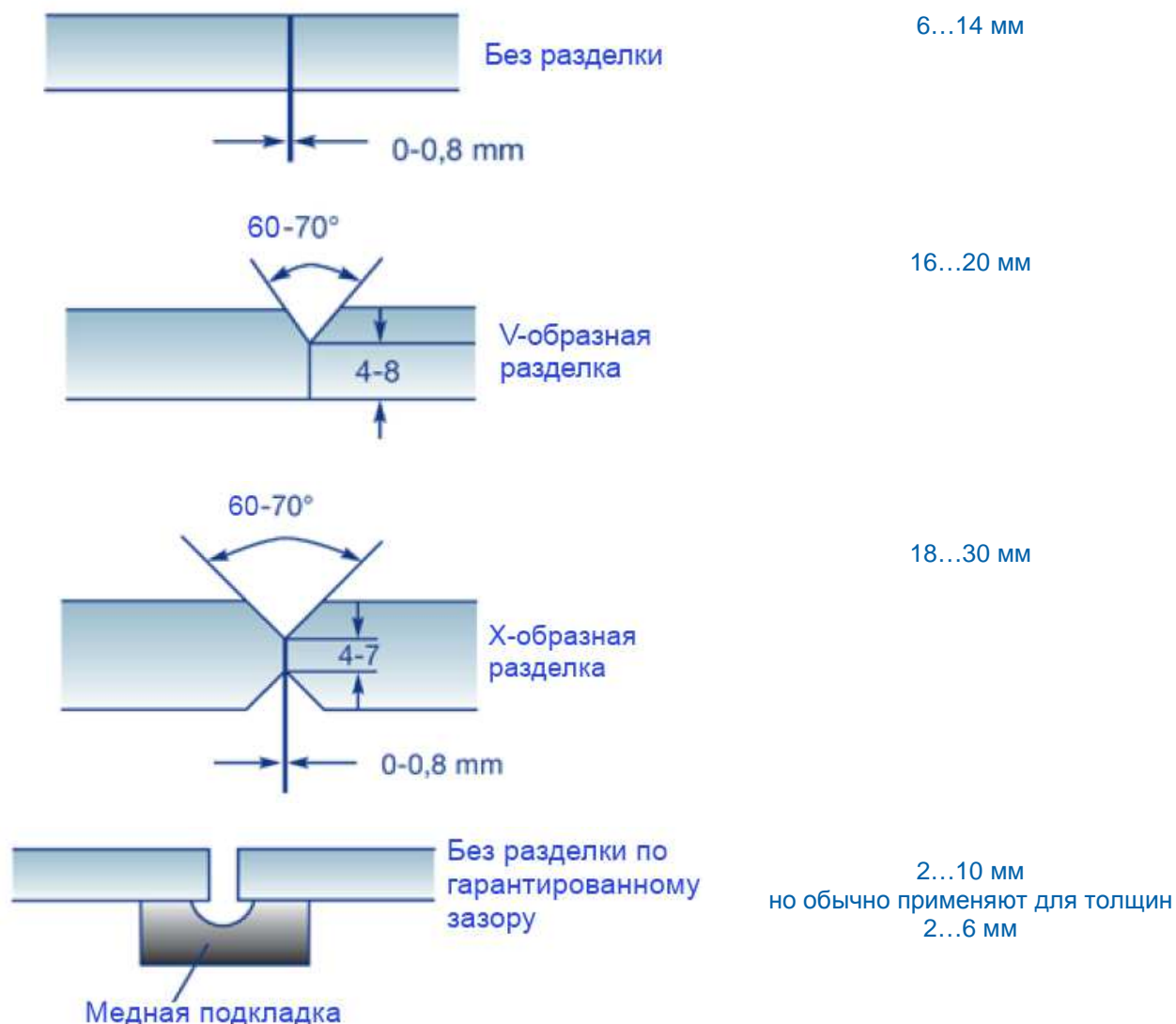
Остающиеся подкладки

В качестве остающиеся подкладки обычно используют полосу или профиль из той же марки стали, что и свариваемые заготовки, которые прихватываются под стыком, а после сварки не удаляются и остаются частью конструкции.

Керамические подкладки

Наиболее просты в применении керамические подкладки, которые обычно используют для сварки изделий, которые невозможно перекантовать, такие как корабельные палубы, смонтированные конструкции и т.п. Керамические подкладки позволяют сваривать изделие без последующей воздушно-дуговой строжки корня шва и его подварки.

Свариваемые толщины



Сварочные материалы

Сварочные материалы для дуговой сварки под флюсом состоят из двух компонентов – флюса и электрода. Позже, для повышения наплавки, начали добавлять третий компонент – металлический порошок.

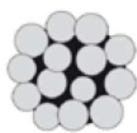
Электродные проволоки

На большинство проволок из углеродистых сталей наносят медное покрытие толщиной в несколько микрон. Это покрытие выполняет несколько функций. Оно обеспечивает оптимальный электрический контакт между сварочной головкой и электродом и немного защищает проволоку от ржавления. Однако надо помнить, что омеднение не в полной мере защищает проволоку от ржавчины, поэтому необходимо соблюдать требования по условиям ее хранения, которые регламентированы ее производителем.

В качестве электродов используются несколько разновидностей присадочных материалов, таких как проволоки сплошного сечения, порошковые проволоки и ленты. Проволоки можно использовать как для сварки, так и для наплавки, а ленты только для наплавки. Порошковые проволоки позволяют наиболее оптимально подобрать сочетание легирующих элементов, которое необходимо для решения той или иной конкретной задачи.

Флюс

Агломерированный в гранулы порошок



Размер гранулы 0,2-1,6 мм
Плавиковый шпат (CaF_2), кварц (SiO_2), известь (CaO), боксит (Al_2O_3), каолин ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$) + легирующие компоненты
Связующее на основе натриевого жидкого стекла (Na_2SiO_3)

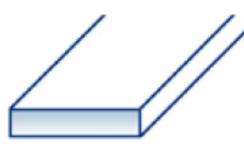
Электроды – поперечное сечение

Проволока
сплошного сечения



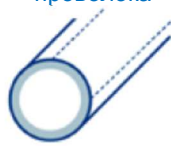
Ø 2-6 мм

Лента



30 (60, 90) x 0,5 мм

Порошковая
проволока



Ø 3-5 мм

Флюсы для SAW-сварки

Для сварки различных марок сталей требуются различные комбинации проволоки и флюса. Поэтому на сегодняшний день разработано достаточно большое количество различных марок флюсов. Одни из них ориентированы на получение максимально высоких механических свойств наплавленного металла, у других эти характеристики не являются приоритетными. Как упоминалось ранее, флюсы могут обладать как легирующими, так и нейтральными свойствами, а также защищают расплавленный металл от контакта с кислородом и другими газами атмосферы воздуха. Также для разных типов сталей производители сварочных материалов предлагают различные флюсы.

Выбор комбинации флюса и проволоки зависит от свойств сварного шва, которые необходимо обеспечить при сварке той или иной стали. Эти свойства обеспечиваются за счет легирующих элементов, которые вводятся в наплавленный металл тремя различными способами – через флюс, через проволоку и одновременно через проволоку и флюс.

По способу производства флюсы подразделяются на плавные, спеченные (пемзовидные) и агломерированные (керамические). Плавные флюсы являются гомогенными. Их компоненты расплавляются до общей стекловидной массы, которая после застывания крошится, размалывается, а затем просеивается для получения порошкообразной массы требуемого гран состава.

Технология производства агломерированных флюсов отличается от производства плавных. Порошкообразные компоненты этих флюсов замешиваются на калиевом или натриевом жидком стекле, скатываются в гранулы, а затем сушатся во вращающейся трубчатой печи при температуре 800-900°C. После сушки, гранулы просеивают для получения порошкообразной массы требуемого гран состава.

Плавные флюсы негигроскопичны с точки зрения поглощения влаги из атмосферы воздуха, а потому более пригодны для сварки на открытом пространстве при повышенной влажности воздуха. Агломерированные флюсы гигроскопичны, а потому впитывают влагу. С течением времени эти флюсы накапливают в себе влагу, которую можно удалить в специальных сушильных шкафах. Поэтому перед применением агломерированные флюсы в обязательном порядке необходимо подвергать сушке.

Тип флюса	Преимущества	Недостатки
Плавленные	Негигроскопичны	Легирование через флюс такими элементами как Ni или Cr невозможно
	Высокая прочность гранул	Высокая насыпная плотность (примерно 1,6 кг/л)
Спеченные	Не очень высокая гигроскопичность	Обычно через флюс легирование невозможно
	Относительно невысокая насыпная плотность (примерно 1,3 кг/л)	Относительно невысокая прочность гранул
Агломерированные	Легирование через флюс такими элементами как Ni или Cr возможно	Гигроскопичны
	Невысокая насыпная плотность (примерно 1,0 кг/л)	Относительно невысокая прочность гранул

Флюсы ЭСАВ и их характеристики

По совокупности химических веществ, входящих в состав флюса, их можно подразделить на следующие группы:

- Кислые и нейтральные флюсы (с индексом основности $B < 1,2$)
- Основные флюсы ($B = 1,2 \dots 2,0$)
- Высокоосновные флюсы ($B \geq 2,0$)
- Специальные флюсы

Специальные флюсы тоже имеют свой индекс основности, но он, как показатель, для них не так важен. Эти флюсы подразделяют по назначению. Например, для сварки высоколегированных сталей или для упрочняющей наплавки.

А. Кислые и нейтральные

Некоторые флюсы из этой группы с точки зрения металлургии являются нейтральными, а некоторые легирующими. Другими словами, нейтральные флюсы не добавляют в наплавленный металл каких либо легирующих элементов, в то время как из легирующих флюсов в металл шва могут переходить такие элементы как Mn, Cr, Si, Mo и т.д.

В качестве примера данной группы флюсов, из продуктовой линейки ESAB можно привести флюсы ОК Flux 10.80 и ОК Flux 10.81, которые относятся к типу легирующих металл шва кремнием и марганцем.

ОК Flux 10.80 является агломерированным кальциево-силикатным нейтральным по индексу основности флюсом, разработанным специально для сварки на высоких токах и низких скоростях сварки. По металлургическому поведению он является сильно легирующим и его можно применять для сварки стыковых соединений при толщине заготовок до 20 мм. Индекс основности данного флюса $B = 1,1$

ОК Flux 10.81 является агломерированным алюмоанатно-рутиловым кислым сильно легирующим флюсом, из которого в металл шва переходят Si и Mn. Он предназначен для сварки на высоких скоростях и умеренных токах стыков толщиной до 25 мм и угловых соединений, когда к изделию предъявляют жесткие требования по плавному переходу от шва к основному металлу. Индекс основности данного флюса $B = 0,6$.

В отличие от высокоосновных флюсов, получение наплавленного металла высокой чистоты с высокими пластическими характеристиками, для этих флюсов не является приоритетной задачей.

В. Основные

Для флюсов с индексом основности от 1.2 до 2,0 обычно характерны следующие показатели:

- Отличные сварочно-технологические характеристики
- Отличные механические характеристики (обеспечивают высокие значения ударной вязкости при температурах до -20°C и ниже)
- По металлургическому поведению могут быть как нейтральными, так и легирующими
- Соответствующие марки этих флюсов могут применяться в сочетании с проволоками из низколегированных сталей

В качестве примера данной группы флюсов, из продуктовой линейки ESAB можно привести флюсы OK Flux 10.70 и OK Flux 10.71.

OK Flux 10.70 – агломерированный легирующий флюс алюминатно-основного типа с индексом основности около 1,4. Разработан для стыковых соединений толщиной до 25 мм с высокой долей участия основного металла в шве, а также угловых швов. Варит как на постоянном, так и на переменном токе как однодуговой, так и многодуговой сваркой. Он также характеризуется хорошей отделяемостью шлака и невысокой чувствительностью к загрязненным кромкам, отличным формированием наплавленного валика и высокой сопротивляемостью к образованию пор. Благодаря своим более высоким характеристикам, данный флюс был разработан как замена OK Flux 10.80.

OK Flux 10.71 – агломерированный флюс алюминатно-основного типа с индексом основности около 1,5. По своей сути он является самостоятельным ответвлением от OK Flux 10.70, характеризуется значительно меньшей степенью легирования, что позволяет применять его в комбинации с низколегированными проволоками.

По своим основным сварочно-технологическим характеристикам он аналогичен OK Flux 10.70, однако из-за отличий в металлургическом поведении он больше подходит для многопроходной сварки толстостенных изделий из мелкозернистых высококачественных сталей.

C. Высокоосновные

Данная группа флюсов имеет индекс основности от 2,0 до 3,5 и характеризуется следующими показателями:

- Относительно невысокими сварочно-технологическими характеристиками (как правило, сварка возможна только на постоянном токе DC+)
- Великолепными механическими характеристиками (применяются для сварки сосудов для сжиженных нефтяных газов и обеспечивают высокие значения ударной вязкости при температурах до -55°C и ниже)
- По металлургическому поведению являются нейтральными, а потому сочетаются со многими марками легированных проволок

Из этой группы можно представить флюсы OK Flux 10.61 и OK Flux 10.62.

OK Flux 10.61 – агломерированный флюс фторидно-основного типа с индексом основности около 2,6. Через флюс происходит очень незначительное легирование или выгорание легирующих элементов.

OK Flux 10.62 обладает более высоким индексом

основности (~3,2) и обладает более высокими сварочно-технологическими характеристиками. Данный флюс можно использовать для сварки, как на постоянном, так и на переменном токе, что позволяет применять его для тандемной сварки. Сочетание таких характеристик, как отделяемость шлаковой корки, гладкость наплавленного валика, чувствительность к образованию пор и загрязненным кромкам, для данного типа флюсов являются наиболее оптимальными.

D. Специальные

Как было сказано выше, эти флюсы подразделяют в первую очередь по назначению. В качестве примера, ниже приведены три флюса из продуктовой линейки компании ESAB.

OK Flux 10.92 – агломерированный хром-компенсирующий (из флюса в наплавленный металл переходит примерно такое же количество Cr, которое выгорает из проволоки в процессе сварки) нейтральный флюс кальциево-силикатного типа с индексом основности около 1,0. Применяется для сварки проволоками на основе высоколегированных хромо-никелевых сталей 300-й группы. Сварочно-технологические характеристики данного флюса позволяют также выполнять наплавку лентами, такими как OK Band 308L, 316L или 347.

OK Flux 10.96 – легирующий флюс, предназначенный для износостойкой наплавки поверхностей. В сочетании с нелегированной проволокой OK Autrod 12.10 обеспечивает наплавку слоя с твердостью около 36 HRC.

Флюс OK Flux 10.16 предназначен для сварки и ленточной наплавки электродами на основе никелевых сплавов типа Inconel. Данный флюс также применим для сварки дуплексных сталей.

Железный порошок

Для повышения производительности, при сварке заполняющих слоев толщин более 20 мм, используются железный порошок (крупка) или холодная проволока. При использовании железного порошка, при том же удельном тепловложении, ЗТВ получается менее глубокая, чем при традиционной SAW-сварке, что положительно влияет на прочность сварной конструкции. С увеличением количества железного порошка тепловложение в изделие снижается. При этом производительность можно поднять почти на 50%. Это значит, что затраты на рабочую силу снижаются, а цикл изготовления изделия укорачивается.

Чтобы предотвратить просыпание железного порошка сквозь зазор стыка, однопроходную сварку выполняют на подкладке либо после выполнения корневого прохода.

Железный порошок обычно подается из специального бункера через смонтированный на нем дозатор. Дозатор через трубку подает необходимое количество порошка на проволоку. При сварке на постоянном токе вокруг проволоки образуется магнитное поле, которое притягивает железный порошок к ней, и подается в свариваемый стык вместе с проволокой.

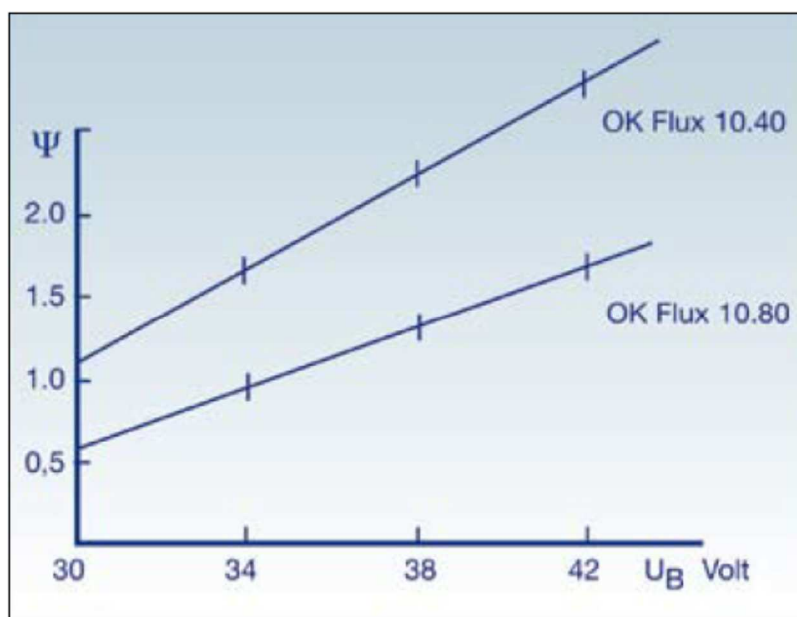
Железный порошок, это, как правило, Mn-легированная (около 1,8%) низколегированная сталь, хотя встречаются и порошки на основе низколегированной стали легированной Ni.

OK Grain 21.85 – это низколегированный порошок с размером гранул 0,5-0,7 мм. Добавление этого порошка может упростить сварку листов большой толщины или в ситуации, когда при сварке в лодочку надо наплавить шов с большим катетом, за счет уменьшения количества необходимых проходов. Глубина проплавления уменьшается, однако, при этом снижается вероятность прожогов, если детали собраны с зазором или величина притупления кромок недостаточна. В некоторых ситуациях уменьшение глубины проплавления, и, как следствие, уменьшение доли участия основного металла является желательным.

Подбор сварочных материалов

В идеале, при выборе сварочных материалов, желательно чтобы химический состав наплавленного металла был идентичен составу основного металла. Однако стоит отметить, что это далеко не всегда возможно. Поэтому состав наплавленного металла стараются сбалансировать так, чтобы он подходил для сварки максимально широкой линейки марок сталей в пределах одной группы. Но при этом все равно надо руководствоваться принципом, в соответствии с которым механические свойства шва не должны быть ниже механических свойств основного металла. С годами была наработана определенная линейка сварочных материалов, которая максимально бы удовлетворяла запросам потребителей сварочных материалов при сохранении их разумно достаточного разнообразия. Не смотря на это, перед тем как начать использовать тот или иной сварочный материал, потребителю рекомендуют выполнять сварку тестовых образцов, по результатам испытаний которых можно окончательно делать вывод о пригодности выбранных сварочных материалов для решения конкретной задачи.

Автоматическая сварка не дает гарантии получения бездефектного сварного соединения. При этом характер этих дефектов мало отличается от получаемых при ручных способах сварки.



Ψ – отношение веса израсходованного флюса к весу расплавленной электродной проволоки

Ниже в таблице представлены наиболее ходовые марки флюсов и проволок, выпускаемых компанией ЭСАБ, их комбинации, а также возможные области их применения.

Области применения различных типов флюсов и проволок		
Флюс	Проволока/лента	Основные области применения
OK Flux 10.70	OK Autrod 12.10 OK Autrod 12.20	Судостроение, конструкции гражданского строительства, сосуды, работающие под давлением и т.п. из конструкционных низкоуглеродистых и Mn-Si низколегированных сталей с пределом прочности до 500 МПа
OK Flux 10.71		
OK Flux 10.80		
OK Flux 10.81	OK Autrod 12.22 OK Autrod 12.24 OK Autrod 13.27	Ответственные конструкции энергетического и транспортного машиностроения, сосуды, работающие под давлением, мостовые конструкции и т.п. из низколегированных сталей нормальной и повышенной прочности
OK Flux 10.62		
OK Flux 10.71		
OK Flux 10.72		
OK Flux 10.92 OK Flux 10.93	OK Autrod 308L	Конструкции из коррозионностойких высоколегированных сталей типа 03X18H9, 12X18H10T и им аналогичных
	OK Autrod 316L	Конструкции из кислотостойких высоколегированных сталей типа 02X17H11M2, 10X17H13M3T и им аналогичных
OK Flux 10.05	OK Band 347	Наплавка коррозионностойких плакирующих слоев
OK Flux 10.96	OK Autrod 12.10	Упрочняющая наплавка (твердость 30-35 HRC)
	OK Autrod 12.40	Упрочняющая наплавка (твердость около 46 HRC)
OK Flux 10.71	OK Tubrodur 35 S M	Упрочняющая наплавка (твердость 30-40 HRC)
	OK Tubrodur 40 S M	Упрочняющая наплавка (твердость 35-45 HRC)
	OK Tubrodur 58 S M	Упрочняющая наплавка (твердость 52-58 HRC)
OK Flux 10.33	OK Tubrodur 12Cr S	Коррозионностойкая упрочняющая наплавка типа Cr 13%, Ni 4%, Mo 1% (твердость 35-45 HRC)
OK Flux 10.16	OK Autrod NiCrMo-3	Сварка коррозионностойких никелевых и железно-никелевых сплавов
OK Flux 10.69		Для флюсовых подушек

Показатели для различных марок флюсов для сварки конструкционных н/у и н/л сталей						
Характеристика	OK Flux 10.88	OK Flux 10.80	OK Flux 10.81	OK Flux 10.70/10.71	OK Flux 10.61	OK Flux 10.62
Сварка по ржавчине и окалине	XXX	XX(X)	XX(X)	XX	X	X
Сварка на переменном токе	XX	XX	XX	XX		XX
Сварка на высоких токах	XX	XXX	XX	XX	X	X
Разрывная длина дуги	XX(X)	XX	XXX	XX	X	X
Смачиваемость кромок	XX	XX	XXX	XX	XX	XX
Отделяемость шлака	XX	XXX	XXX	XX	XX	XX
Скорость сварки	XX	XX	XXX	XX	X	X
Чешуйчатость шва	XXX	XXX	XXX	XX	X	XXX
Многопроходная сварка	X	X	X	XX	XXX	XXX
Механические свойства шва	X	X	X	XX(X)	XXX	XXX

X – удовлетворительная
 XX – хорошая
 XXX – отличная

Дефекты сварки

Автоматизация процесса сварки не исключает возможности образования сварочных дефектов. Причем эти дефекты сходны с теми, которые встречаются при ручных способах сварки. Поверхностные дефекты обнаруживаются достаточно легко, а такие, как шлаковые включения, несплавления или внутренние поры, могут быть выявлены только радиографическим или ультразвуковым контролем сварного соединения. Строгое соблюдение отработанных технологических параметров сборки и сварки является основным условием получения бездефектного сварного соединения. К основным сварочным дефектам относятся:

- Непровар корня шва
- Горячие трещины
- Усадочные трещины
- Поверхностные поры
- Внутренние поры
- Шлаковые включения
- Подрезы
- Несплавления

Непровар корня шва

Непровар корня шва характеризуется неполным проплавлением поперечного сечения сварного стыка. На рентгеновском снимке он выглядит как прямая линия. При автоматической сварке под флюсом глубина проплавления является очень важным фактором, и если она недостаточна, то образуется корневой дефект, называемый непроваром.

Если при двухсторонней сварке корневые проходы не перекрывают друг друга образуя непровар, то причинами этого могут являться либо излишне большое притупление корня шва, либо недостаточный угол раскрытия разделки. Другими причинами возникновения непроваров могут являться низкий сварочный ток, высокая скорость сварки или смещение дуги в сторону от линии стыка.

Изменение величины сварочного тока оказывает наибольшее влияние на глубину проплавления сварного шва.

Горячие и усадочные трещины

Обычно горячие трещины образуются по центру шва и распространяются в прямолинейном направлении вдоль линии движения сварочной головки. Горячие трещины могут образовываться как в стыковых, так и угловых швах.

Горячие трещины образуются при температуре около 1200°C, и являются следствием образования ликваций в процессе кристаллизации сварочной ванны. Ближе к центру шва концентрация углерода и серы повышается, а высокая температура приводит к значительному снижению прочностных свойств металла. В итоге, причиной образования горячих трещин при автоматической сварке является перемещение в результате термической усадки свариваемых кромок со скоростью, превышающей критическую, в сочетании с образованием легкоплавких сульфидов и карбидов. Усадочные трещины также являются следствием образования ликваций. Они могут образовываться при неоптимальной форме шва, когда отношение ширины шва к глубине проплавления меньше 1,0. Особенно опасны швы с «ножевым» проплавлением, внутри которых можно обнаружить усадочные трещины или раковины, выявляемые только рентгеном или УЗ-контролем.

Вероятность образования горячих трещин можно снизить, если заставить сварочную ванну кристаллизоваться от корня шва, чтобы первичные кристаллы начинали расти снизу вверх, другими словами, при сварке на охлаждаемой подкладке.

При сварке толстостенных изделий причиной образования горячих трещин при выполнении корневого прохода может являться слишком высокая скорость охлаждения зоны сварки. Для борьбы с этим явлением можно использовать предварительный подогрев.

Поверхностные поры

Причиной образования поверхностных пор могут являться посторонние включения во флюсе, ржавчина на электродной проволоке, следы смазки, краски или жира на свариваемых кромках и водород из влаги, которая была поглощена флюсом. Пористость образуют газы, которые не успевают покинуть сварочную ванну и остаются в шве в момент затвердевания расплавленного металла. Поры, покидающие сварочную ванну, но попавшие под уже затвердевший шлак, образуют так называемые поверхностные поры. Они скапливаются у центра наплавленного валика и образуют цепочку точечных дефектов на поверхности шва. С данными дефектами можно бороться за счет уменьшения скорости сварки, однако свариваемые кромки все равно должны быть

чистыми, а толстостенные свариваемые заготовки предварительно подогреты.

К другим поверхностным дефектам шва, вызываемым газами не успевшими покинуть кристаллизующийся металл до затвердевания шлаковой корки, относятся оспины (rockmark), вмятины и свищи.

Внутренние поры

Внутренние поры выявить визуальными методами контроля поверхности шва невозможно. Данные дефекты представляют собой газовые полости оставшиеся в закристаллизовавшемся металле шва. Существуют два основных механизма образования внутренних пор. При одном из них, причиной образования данных дефектов является недостаточное перекрытие между собой по линии стыка корневых проходов при двухсторонней сварке. При этом воздух, находящемуся в линии стыка, не хватает времени, чтобы всплыть, и он образует цепочку пор в зоне корня шва. Вторым источником газов могут являться остатки шлака от предыдущего прохода, которые недостаточно тщательно были удалены перед наплавкой очередного валика.

Шлаковые включения

Шлаковые включения являются достаточно типичными дефектами для дуговой сварки под флюсом, однако, при односторонней сварке вероятность их образования крайне мала. В основном данные дефекты характерны для многосторонней сварки, когда остатки шлака от предыдущего прохода остаются в сварном шве. Поэтому контроль качества удаления шлака является весьма важной составляющей получения качественного шва.

Подрезы

Образование подрезов обусловлено излишне высоким напряжением на дуге по отношению к выбранной скорости подачи проволоки. Подрез представляет собой небольшую канавку, располагающуюся по линии сплавления сварочного валика. Данный дефект устраняется уменьшением напряжения на дуге до оптимального значения, либо за счет снижения скорости сварки.

Прочие дефекты

Если величина сварочного тока превышает значения, рекомендуемые для данного диаметра проволоки, дуга начинает прорываться сквозь шлаковую корку, и как результат, поверхность наплавленного валика формируется неровной, с грубой чешуйчатостью.

Сварочный ток является функцией скорости подачи проволоки. Высокий ток означает, что скорость подачи проволоки является высокой. Исходя из выбранного диаметра проволоки, также устанавливается и требуемое напряжение на дуге. Если для выбранного сварочного тока напряжение на дуге окажется недостаточным, то результатом такого соотношения будет нестабильная дуга.

Действия оператора при обнаружении дефектов

Подрезы:

- Понизить напряжение на дуге
- Понизить скорость сварки
- Выбрать проволоку большего диаметра

Трещины в угловом шве:

- Понизить напряжение на дуге
- Понизить скорость сварки
- Выбрать проволоку большего диаметра
- Использовать предварительный подогрев
- Поменять марку электродной проволоки, а может быть и флюса

Трещины в стыковом шве:

- Понизить скорость сварки
- Проверить жесткость фиксации и величину зазора свариваемых кромок
- Убедиться, что медь не попадала в сварной шов из-за пригорания к медной подкладке

Непровары:

- Повысить ток сварки
- Использовать сварку на постоянном токе обратной полярности (DC+)
- Проверить вылет электрода
- Увеличить угол раскрытия кромок разделки

Поперечные трещины в шве при многопроходной сварке:

- Увеличить межпроходную температуру
- Снизить скорость сварки
- Снизить напряжение на дуге
- Одновременно снизить ток сварки и напряжение на дуге
- Поменять сварочные материалы

Трещины в корневом шве:

- Одновременно снизить ток сварки и напряжение на дуге
- Для данной величины притупления разделки кромок диаметр проволоки слишком мал.
- Использовать предварительный подогрев
- Убедитесь, что глубина и ширина канавки применяемой корневой подкладки не слишком велики для выбранной конструкции стыка

Затруднено отделение шлака при сварке стыкового шва в разделку или без нее:

- Поменять электродную проволоку
- При сварке без разделки повысить напряжение на дуге
- Снизить скорость сварки
- Удалить окалину от прокатки, следы коррозии и загрязнения
- Проверить правильность геометрии разделки кромок

Шлак застревает в глубоких или узких швах:

- Снизить напряжение на дуге
- Одновременно снизить ток сварки и напряжение на дуге
- Уменьшить толщину насыпаемого слоя флюса

Поры в корне шва:

- Поменять электродную проволоку, отказаться от сварки расщепленной дугой
- Снизить ток сварки
- Использовать сварку на постоянном токе обратной полярности (DC+)
- Установить газопламенную горелку перед сварочной головкой
- Более тщательно зачищать кромки перед сваркой
- Понизить скорость сварки

Поры от органических загрязнителей:

- Поменять электродную проволоку
- Использовать сварку на постоянном токе обратной полярности (DC+)
- Снизить скорость сварки
- Тщательно удалить все следы консистентных смазок и краски с кромок перед сваркой

Поры вызванные магнитным дутьем дуги:

- Одновременно снизить напряжение на дуге и скорость сварки
- Одновременно снизить ток сварки и напряжение на дуге
- Убедитесь в правильности выбора точки подключения кабеля массы
- Использовать сварку на переменном токе (AC)

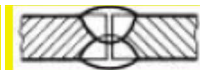
Поиск механических и электрических неисправностей сварочного оборудования		
Симптом	Причина	Способ устранения
В широком диапазоне прыгают показания амперметра и вольтметра	Контактные губки изношены, что приводит к плохому контакту с электродом	Заменить контактные губки
	На контактные поверхности губок налип нагар или от времени они окислились, что приводит к плохому контакту с электродом	Зачистить контактную поверхность губок или заменить их на новые.
	Слабо зажата проволока в подающих роликах, что приводит к нестабильности ее подачи	Отрегулировать усилие зажима
	Обрыв референтного кабеля	Заменить/восстановить референтный кабель
Биение проволоки в процессе сварки и аномально быстрый износ контактных губок	Прослабла пружина винта поджима контактных губок. Это приводит к плохому контакту проволоки с губками и образованию искрения между ними	Заменить пружину или целиком механизм поджима контактных губок
	Применяемые контактные губки не соответствуют диаметру применяемой проволоки	Заменить контактные губки на соответствующие
В процессе сварки происходят обрывы дуги	Слабо зажата проволока в подающих роликах, что приводит к остановкам в ее подаче	Отрегулировать усилие зажима
	Проволока слишком сильно зажималась в подающих роликах, что привело к износу канавки подающего ролика	Заменить подающий ролик и установить требуемое усилие зажима проволоки
Сечение шва несимметрично, проплавление уходит в сторону	Неправильно отрегулированы правящие ролики	Отрегулировать правящие ролики так, чтобы проволока выходила строго вдоль оси контактных губок
В процессе сварки установленные параметры начинают уплывать от заданных, после чего начинают прыгать показания амперметра и вольтметра	Окислились клеммы сварочных кабелей, из-за чего рядом с клеммами наблюдается разрушение изоляции кабеля	Заменить клеммы, зачистив жилы кабеля
	Недостаточно, для выбранных сварочных токов, сечение сварочного кабеля, из-за чего он греется	Проложить параллельно второй кабель
Поджиг дуги нестабилен. Проволока упирается в изделие, после чего пригорает к нему	Плохой контакт между зажимом массы и изделием	Зажим массы рекомендуется крепить непосредственно на изделие. Место установки зажима зачистить до металлического блеска
	Окислились клеммы сварочных кабелей	Заменить клеммы, зачистив жилы кабеля
	На торец электрода прилипли остатки шлака	Перед началом сварки откусить конец проволоки или зачистить ее торец

Таблицы с рекомендуемыми параметрами сварки

Режимы сварки стыковых швов без разделки

Ниже приведены ориентировочные режимы SAW-сварки конструкционных Si-Mn легированных сталей на постоянном токе обратной полярности с использованием керамических алюминатно-основных, алюминатно-рутиловых или кальциево-силикатных флюсов типа OK Flux 10.70, OK Flux 10.71, OK Flux 10.80, OK Flux 10.81 и т.п. При сварке на переменном токе или при использовании плавленных флюсов, напряжение на дуге рекомендуется устанавливать на два вольта выше.

Двухсторонняя сварка стыка без разделки (типа С7 по ГОСТ 8713-79)					
Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
6	3 или 4	1	30-32	350-400	50-70
		2	31-33	400-450	50-70
8	3 или 4	1	30-32	450-500	60-70
		2	30-33	500-550	50-60
10	4	1	30-32	450-500	60-70
		2	31-33	550-600	55-60
12	4 или 5	1	32-35	600-650	55-60
		2	33-35	700-750	60-65
14	4 или 5	1	33-35	650-700	50-60
		2	33-35	750-800	40-50



Типичные механические свойства наплавленного металла в состоянии после сварки				
OK Flux 10.71/ OK Autrod XX.XX	Предел текучести [МПа]	Предел прочности [МПа]	Ударная вязкость на V-образном надрезе Шарпи	
			T [°C]	KV [Дж]
12.10	360	465	-40	65
12.20	410	510	-40	55
12.22	425	520	-46	40
12.24	500	580	-29	40
12.32	480	580	-46	40

Категории одобрения морских регистров						
OK Flux 10.71/ OK Autrod XX.XX	ABS	BV	DnV	GL	LR	RS
12.10	3M	3M	III M	3M	3M	3M
12.20	3YM	3YM	III YM	3YM	3YM	3YM
12.22	4Y400M	4Y40M	IVY40M	4Y40M	4Y40M	4Y40M
12.24	3YTM	3YTM	III YTM	3YTM	3YTM	3YTM

В следующей таблице приведены режимы SAW-сварки низколегированных сталей с использованием керамическими фторидно-основными флюсами типа OK Flux 10.61, OK Flux 10.62

Двухсторонняя сварка стыка без разделки по зазору на флюсовой подушке (типа С29 по ГОСТ 8713-79)					
Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
6	3	1	28,5-29,5	300-350	60-65
		2	30-31	375-425	60-65
8	3	1	30-31	435-465	60-65
		2	31-32	485-515	60-65
10	4	1	30-31	485-515	60-65
		2	30-32	575-600	60-65
12	4	1	30-32	585-615	58-62
		2	30-32	585-615	58-62



Типичные механические свойства наплавленного металла

OK Flux 10.62/ OK Autrod XX.XX	Состояние	Предел текучести [МПа]	Предел прочности [МПа]	Ударная вязкость на V-образном надрезе Шарпи	
				T [°C]	KV [Дж]
12.22	после сварки	410	500	-62	35
12.24	после сварки	500	580	-51	45
12.32	после сварки	475	560	-62	70
12.34	после сварки	540	620	-51	45
12.40	после сварки	530	620	-51	40
12.44	после сварки	600	700	-62	50
13.10 SC	после ТО 690°C/1 час	500	610	-29	80
13.20 SC	после ТО 690°C/1 час	525	625	-29	80
13.21	после сварки	470	560	-62	60
13.24	после сварки	530	620	-73	50
13.27	после сварки	460	570	-73	50
13.40	после сварки	610	690	-62	50
13.43	после сварки	700	800	-62	50
13.49	после сварки	500	600	-101	40

Режимы сварки стыковых швов с V и X-образными разделками

В следующих таблицах приведены ориентировочные режимы SAW-сварки в разделку конструкционных Si-Mn легированных сталей на постоянном токе обратной полярности с использованием керамических алюминатно-основных, алюминатно-рутиловых или кальциево-силикатных флюсов типа OK Flux 10.70, OK Flux 10.71, OK Flux 10.80, OK Flux 10.81 и т.п.

Двухсторонняя сварка стыка в V-образную разделку с углом раскрытия кромок 60°, притупление 8 мм (типа С21 по ГОСТ 8713-79)



Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
16	5 или 6	1	32-34	700-750	40-45
		2	33-36	650-750	40-45
18	5 или 6	1	32-34	800-850	37-40
		2	34-36	825-860	44-47
20	5 или 6	1	32-34	910-940	28-31
		2	34-36	825-860	42-46

Двухсторонняя сварка стыка в X-образную разделку с углом раскрытия кромок 70°, притупление 6-8 мм (типа С25 по ГОСТ 8713-79)



Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
18	5 или 6	1	32-34	700-750	60-65
		2	34-36	800-850	60-65
20	5 или 6	1	34-36	750-800	60-65
		2	34-36	800-850	60-65
25	5 или 6	1	34-36	750-850	60-65
		2	34-36	900-950	60-65
30*	5 или 6	1 и 3	32-36	880-920	58-62
		2 и 4	34-36	980-1020	58-62

*При сварке толщины 30 мм, чтобы не провалить значения ударной вязкости, с каждой из сторон выполняется по два прохода

Режимы сварки угловых швов без разделки

В следующих таблицах приведены ориентировочные режимы SAW-сварки угловых швов типа T1 по ГОСТ 8713-79 конструкционных нелегированных и низколегированных сталей с использованием керамических алюминатно-основных или алюминатно-рутиловых флюсов типа OK Flux 10.71, OK Flux 10.81 и т.п.

Сварка одиночной проволокой в угол					
Толщина стенки [мм]	Диаметр электрода [мм]	Толщина шва a* [мм]	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
6	3	3	26-28	430-470	73-77
8	4	4	28-30	560-590	68-72
10	4	5	28-30	630-670	58-62

Сварка одиночной проволокой в лодочку					
Толщина стенки [мм]	Диаметр электрода [мм]	Толщина шва a* [мм]	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
8	4 или 5	4	26-28	430-470	80-85
12	5	6	32-34	830-870	58-72
15	5 или 6	7	33-35	850-875	42-45

Сварка расщепленной дугой (twin) в угол					
Толщина стенки [мм]	Диаметр электрода [мм]	Толщина шва a* [мм]	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
-	2 x 2,5	4	26-28	780-820	108-112
-	2 x 2,5	5	26-28	780-820	73-77

Двухдуговая сварка в угол (+,~)					
Толщина стенки [мм]	Диаметр электрода [мм]	Толщина шва a* [мм]	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
-	4	4	+ 28,5-29,5	530-570	123-127
			~ 33-35	600-660	
-	4	5	+ 28,5-29,5	530-570	118-122
			~ 33-35	600-660	

* Катет шва $K = a\sqrt{2}$

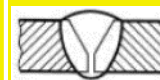
Режимы сварки высоколегированных сталей

В следующих таблицах приведены ориентировочные режимы SAW-сварки стыковых швов высоколегированных коррозионостойких сталей типа Cr 18%-Ni 10% сварочной проволокой OK Autrod 308L с использованием керамических флюсов типа OK Flux 10.92 или OK Flux 10.93

Двухсторонняя сварка стыка без разделки (типа С7 по ГОСТ 8713-79)					
Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
6	3	1	30-32	330-370	60-70
		2	31-33	400-450	60-70
8	4	1	32-33	400-450	60-70
		2	33-35	530-570	58-62

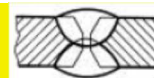


Односторонняя сварка в V-образную разделку (типа С18 по ГОСТ 8713-79) с предварительной ручной подваркой корня шва. Угол раскрытия кромок 60°, зазор в корне 0-2 мм, притупление 2 мм



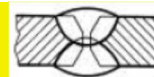
Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
10	3 или 4	1	28-30	400-500	45-65
		2	32-33	450-550	40-60
12	3 или 4	1	28-30	400-500	45-65
		2-3	32-34	450-550	40-60
20	4	1	28-30	400-500	45-65
		2	31-33	450-550	45-65
		3-5	32-34	500-600	40-60

Двухсторонняя сварка в X-образную разделку с углом раскрытия кромок 70°, притупление 4-5 мм (типа С25 по ГОСТ 8713-79)



Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
12	4	1	32-34	450-550	57-62
		2	32-34	550-650	57-62
14	4	1	32-34	500-600	47-52
		2	32-34	550-650	47-52

Двухсторонняя сварка в X-образную разделку (типа С25 по ГОСТ 8713-79) с предварительной ручной подваркой корня шва. Угол раскрытия кромок 60°, зазор в корне 0-2 мм, притупление 2 мм



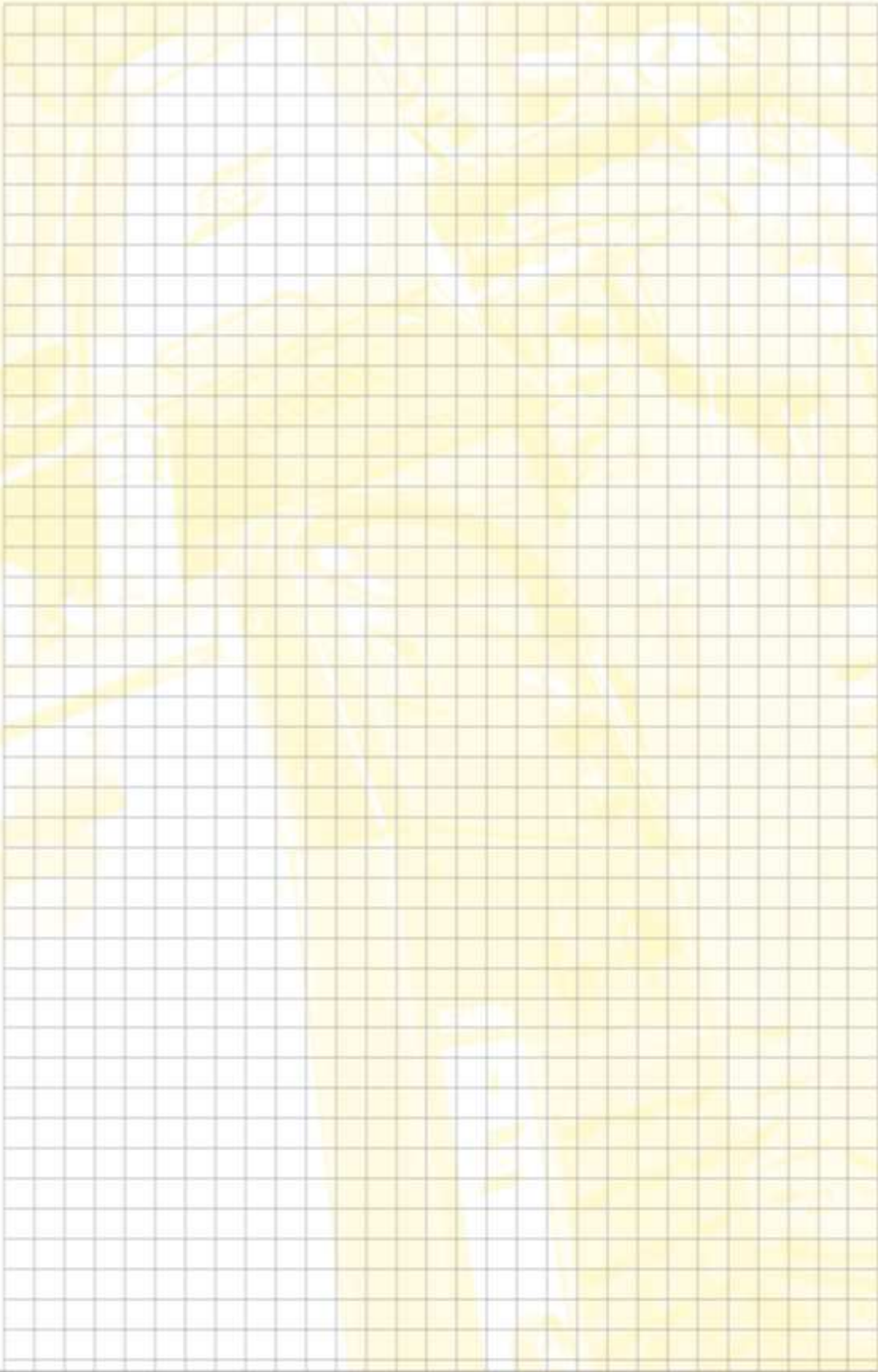
Толщина кромок [мм]	Диаметр электрода [мм]	№ прохода	Напряжение на дуге [В]	Сварочный ток [А]	Скорость сварки [см/мин]
25	4	1	28-30	550-600	57-62
		2	30-32	550-600	47-52
		3-4	32-34	550-600	47-52
		5	28-30	550-600	47-52
		6	30-32	550-600	47-52
		7-8	32-34	550-600	47-52

Практические рекомендации

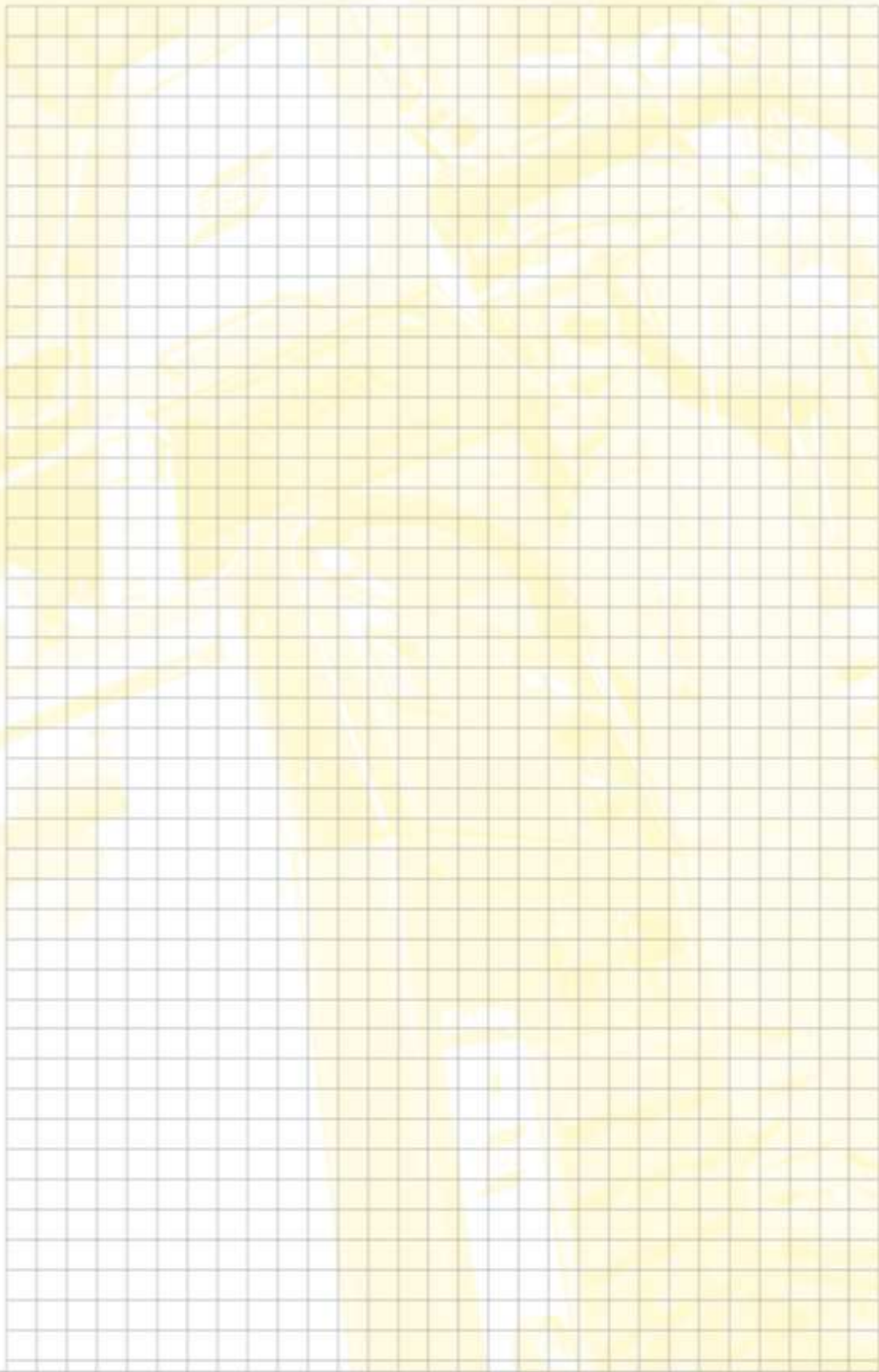
- Проверьте, соответствуют ли подающие ролики, контактные губки и контактные наконечники диаметру применяемой проволоки.
- Проверьте, достаточно ли ровно правильные ролики выпрямляют проволоку, т.к. это влияет на равномерность износа контактных губок или токового наконечника. Изношенная контактная группа приводит к нестабильности параметров сварки, колебания которых фиксируют контрольно-измерительные приборы. Изношенные канавки подающих роликов приводят к нестабильной скорости подачи проволоки.
- При сварке на постоянном токе на электрод следует подключать «+»
- Расстояние от контактного наконечника до изделия должно составлять 25-35 мм
- Для более стабильного поджига дуги, электродную проволоку рекомендуется перед сваркой обрезать под углом, а также следить за состоянием контактов в сварочных проводах.
- Зачистите изделие от окислов в месте крепления к нему обратного сварочного кабеля.
- Сварочные кабели необходимо уложить или подвесить так, чтобы механизм перемещения головки не испытывал серьезного сопротивления, протягивая их за собой.
- Давление воздуха в системе рециркуляции флюса не должно превышать рекомендуемых значений. Излишнее давление приводит к ускоренному истиранию гранул флюса.
- Контактные губки или наконечники – это расходные части, подлежащие своевременной замене.
- При сварке кольцевых швов небольшого диаметра, применяйте приспособления, удерживающие флюс от ссыпания. Это позволит обеспечить необходимую толщину насыпаемого слоя флюса и снизить его потери.
- Автоматическое оборудование для сварки под флюсом требует такого же ухода за собой, как и любое другое дорогостоящее оборудование.
- Для получения максимально хороших результатов сварки, ржавчину и окалину необходимо полностью удалить из зоны сварки



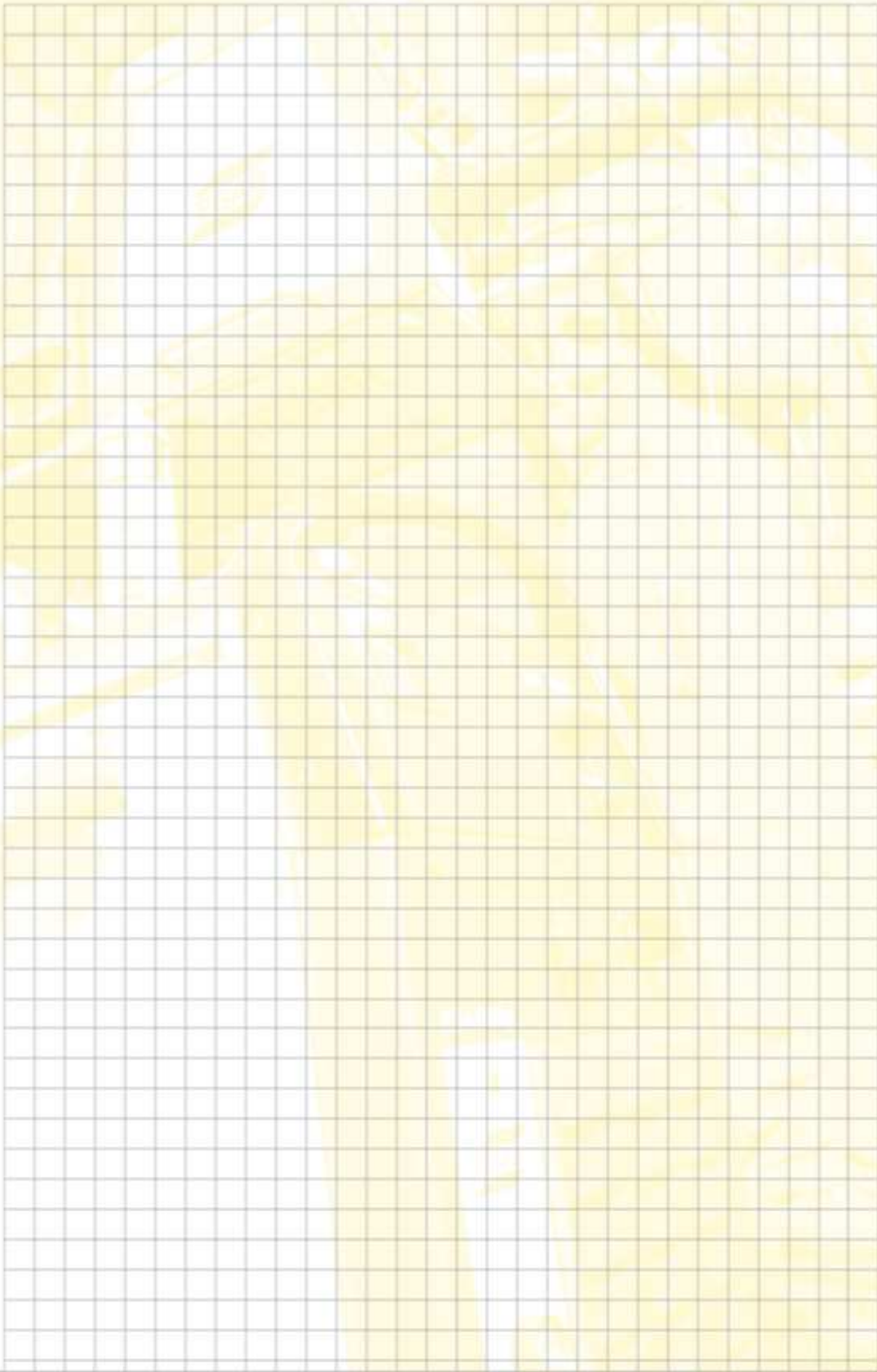
Notes



Notes



Notes

A large rectangular area filled with a fine grid of small squares, intended for taking notes. The grid is composed of thin black lines on a white background.

Содержание

- Общая информация
- Принципы дуговой сварки под флюсом
- Основной принцип SAW-сварки
- Правила сварки
- Параметры
- Установка параметров сварки
- Напряжение на дуге
- Сварочный ток
- Скорость сварки
- Диаметр проволоки
- Вылет электрода
- Угол наклона электрода
- Формулы
- Таблицы переводов единиц измерения
- Варианты дуговой сварки под флюсом
- Сварка одиночной проволокой
- Сварка расщепленной дугой
- Двухдуговая сварка
- Позиционирование электродов, преимущества и недостатки
- Наплавка лентой
- Сварка в узкую разделку
- Сварка с холодной проволокой
- Железный порошок
- Разделка кромок
- Сварка на подкладках
- Флюсовые подушки
- Остающиеся подкладки
- Керамические подкладки
- Сварочные материалы
- Электродные проволоки
- Флюсы для SAW-сварки
- Флюсы ЭСАБ и их характеристики
- А. Кислые и нейтральные
- В. Основные
- С. Высокоосновные
- D. Специальные
- Железный порошок
- Подбор сварочных материалов
- Дефекты сварки
- Непровар корня шва
- Горячие и усадочные трещины
- Поверхностные поры
- Внутренние поры
- Шлаковые включения
- Подрезы
- Прочие дефекты
- Действия оператора при обнаружении дефектов
- Таблицы с рекомендуемыми параметрами сварки
- Режимы сварки стыковых швов без разделки
- Режимы сварки стыковых швов с V и X-образными разделками
- Режимы сварки угловых швов без разделки
- Режимы сварки высоколегированных сталей
- Практические рекомендации

За дополнительной информацией обращайтесь в офисы ООО «ЭСАБ».

Москва т.+7 (495) 663 20 08, ф. 663 20 09,
Санкт-Петербург т. +7 (812) 644 01 41, ф. 644 01 42,
Екатеринбург т. +7(343) 286 38 91, ф. 382 07 96,
Казань т. +7(843) 291 75 37, 291 75 48, ф. 291 75 38,
Новосибирск т./ф. +7(383) 328 13 58, моб. +7 (913) 202 70 98
Орел т./ф. +7(4862) 55 89 44, моб. +7 (919) 209 52 15,
Ростов-на-Дону т./ф. +7 (8632) 95 03 85,
Хабаровск т./ф. +7 (4212) 75 91 25, моб. +7 (914) 172 91 30
Киев т. +38 (044) 583 55 67, ф. 583 51 66,
Алматы т. +7 (727) 352 86 60, ф. 352 86 61,
Минск т. +375 (17) 328 60 49, т./ф. 328 60 50
e-mail Полный список дистрибьюторов на www.esab.ru

