

КЛАССИФИКАЦИЯ ФЛЮСОВ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ ПО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ*

В. С. СИДОРУК, В. И. ГАЛИНИЧ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена усовершенствованная классификация сварочных флюсов по металлургическим и технологическим свойствам, роду применяемого сварочного тока и другим признакам. Описана развернутая система кодификации флюсов с учетом различных показателей.

Ключевые слова: классификация флюсов, металлургические свойства, полярность сварочного тока, технологические свойства, графическая система

Разнообразие национальных стандартов на сварочные материалы привело к необходимости создания унифицированных международных стандартов в рамках Международного института сварки (IIW), а позже — Международной организации по стандартизации (ISO). Ниже рассматриваются предложения авторов о совершенствовании классификации флюсов для дуговой сварки по металлургическим и технологическим свойствам.

Классификация флюсов по металлургическим свойствам. В документе [1] учитываются металлургические свойства каждого из упомянутых в ней классов флюсов с точки зрения перехода легирующих элементов из флюса в наплавленный металл. С учетом рекомендованной стандартом ISO 14171 комбинации флюс-проволока переход легирующих элементов оценивается по различию между химическими составами наплавленного металла и электрода (проволоки). Все флюсы независимо от состава подразделяются на девять классов. Классы № 1–4 представляют собой группу флюсов, при сварке и наплавке под которыми происходит выгорание легирующих элементов от 0,7 (№ 1) до 0,1...0,3 (№ 4) мас. %. Флюсы класса № 5 относятся к нейтральным, не обеспечивающим прирост легирующего элемента $\pm(0...0,1)$ мас. %, классы № 6–9 дают прирост легирующего элемента в наплавленном металле от 0,1...0,3 (№ 6) до более 0,7 (№ 9) мас. %.

Окислительные или легирующие способности флюсов оценивают для каждого класса отдельно. Для флюсов класса № 1 рассматривается переход только кремния и марганца (в приведенной последовательности), № 2 — переход элементов, отличных от кремния и марганца, например, хрома, № 3 — только переход легирующих элементов из флюса, например, углерода, хрома. Стандарт предусматривает возможность альтернативной оценки металлургических свойств флюса, которая приводится в сопроводительных документах на

партию флюса. Сообщается порядок изготовления образцов для экспериментального определения перехода элементов в металл шва, а также технология наплавки опытных валиков. Стандарт IIW-A-8-74 предусматривает другую методику оценки металлургических свойств флюса — по их основности BI (Basility Index) [2]. Например, кальциево-силикатный флюс CS, имеющий $BI < 0,45$, определяется как очень кислый, фтористо-основный FB ($BI > 2,5$) — как основной. Флюс считается нейтральным, если $1 < BI < 1,5$. С повышением основности уменьшается его окислительная способность, однако, как правило, ухудшается формирование шва. Возможно создание флюсов преимущественно на базе CaO, MnO и CaF₂ (системы FB), основность которых составляет больше 4.

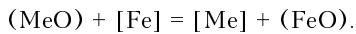
Заметим, что имеются флюсы, практически не содержащие оксидов (галогенидные системы), для которых $BI \rightarrow \infty$. Это принципиально неокислительные флюсы, нейтральные по отношению к кислороду.

Кроме того, в упомянутом стандарте оценивается легирующая способность флюса, в соответствии с которой различаются флюсы нейтральные (в смысле легирования) и активные. Нейтральные не содержат активных легирующих добавок в отличие от активных, в состав которых входят порошки соответствующих металлов и сплавов (ферросилиций, ферромарганец, силикомарганец и т. д.). В этом же стандарте термин «нейтральный флюс» подразумевает еще и другой смысл, учитывающий переход кремния и марганца в наплавленный металл при использовании флюсов, не содержащих активных легирующих добавок. Для таких первично нейтральных флюсов дополнительно введен показатель нейтральности $N = 100([\Delta Si] + [\Delta Mn])$ [2].

Нейтральным считается флюс, у которого $N \rightarrow 0$. Этот показатель, как можно видеть, сродни классу № 5 стандарта [1], отражающему характер перехода легирующих элементов в металл шва.

Известно, что флюсы, содержащие значительное количество оксидов легирующих элементов, легируют металл по реакции восстановления [3] (дана обобщенная реакция как суммарный процесс диссоциации оксидов и описания металла):

* В продолжение опубликованного материала в № 5, 2002 г. журнала «Автоматическая сварка».



Возможно легирование по реакции восстановления даже таким активным элементом, как титан [4], а также хромом, вольфрамом, ванадием [5].

Для того чтобы указанная реакция протекала слева направо, помимо достаточного количества (MeO) во флюсе, необходимо, чтобы были соблюдены еще два условия: в электродной проволоке содержание [Me] должно быть существенно ниже равновесного, а сварочный флюс не должен содержать (FeO) в сколь-нибудь заметных количествах. Таким образом, легирующие способности нейтрального флюса можно определить, если рассматривать его состав в сочетании с составом электродной проволоки. Правомерно рекомендовать флюс в паре с электродной проволокой.

Заметим, что легирование шва за счет восстановления элемента из оксида флюса нельзя считать перспективным. Дело в том, что, согласно закону распределения, (MeO) частично растворяется в металле шва [MeO]. Это растворение усиливается с повышением температуры. При быстром охлаждении обобщенная реакция (1) в металлической ванне не успевает завершиться, и MeO в виде оксидных включений остается в металле шва. По той же причине FeO также частично остается в металле, растворяясь в нем и ухудшая его качество.

Очевидно, что в существующих версиях стандартов ИВ и ISO на сварочные флюсы нет четкого различия между понятиями активные и нейтральные флюсы. Кроме того, не дается полного представления обо всем комплексе металлургических свойств флюсов. По существу, речь идет пока только о реакции кислорода: флюс может быть либо окислительным ($VI < 1$), либо слабо окислительным, нейтральным ($1 < VI < 1,5$), либо неокислительным ($VI > 1,5$).

Для объективной оценки металлургических свойств флюса необходимо учитывать реакции и других элементов — «участников» металлургического процесса (серы, фосфора, азота и водорода). К сожалению, в упомянутых стандартах ИВ и ISO этого нет. Исключение составляет водород.

Таким образом, наиболее объективными показателями свойств флюса применительно к реакции с кислородом, а также к его легирующим способностям являются его основность VI и наличие в нем легирующих элементов в активной форме.

Это, по нашему мнению, позволяет классифицировать флюсы по признаку основности следующим образом:

$VI < 0,45$ — флюс очень кислый (окислительный);

$0,45 < VI < 1$ — флюс кислый;

$1 < VI < 1,5$ — флюс нейтральный;

$1,5 < VI < 2,5$ — флюс полусосновный;

$VI > 2,5$ — флюс основный.

По признаку содержания легирующих элементов в активной форме флюсы классифицируют как содержащие легирующие элементы в активной форме (А), так и без них (НА).

В отношении содержания диффузионного водорода в наплавленном металле можно отметить, что в целом документ [1] учитывает его роль. Дискуссионным является стремление стандартизировать температурно-временные условия сушки прокаливанием в технологическом процессе производства флюсов с учетом состава исходных компонентов, способа производства и конечного состава флюса. Видимо, их целесообразно не стандартизировать, а оговаривать в технических условиях производства конкретных марок флюсов.

По нашему мнению, флюсы можно разделить на пять групп в зависимости от содержания водорода в наплавленном металле:

$H < 3 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ — ультранизкое;

$H < 5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ — низкое;

$5 < H < 10 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ — среднее;

$10 < H < 14 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ — повышенное;

$H > 14 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ — высокое.

Классификацию флюсов по содержанию в металле шва азота (символ N), по характеру перехода в металл шва серы (символ SI), фосфора в металл шва (PI) еще предстоит разработать.

Классификация флюсов по роду сварочного тока. Можно согласиться с авторами документа [1] классифицировать флюсы в соответствии с упомянутым признаком как пригодные только для сварки постоянным током (категория DC), а также для сварки переменным и в то же время постоянным током (категория AC).

Дискуссионно утверждение о том, что для испытания флюсов категории AC необходимо использовать источники тока с напряжением холостого хода $U_{x.x} \leq 70 \text{ В}$. Во-первых, при сварке под флюсом категории DC на постоянном токе также не следует использовать источники тока с $U_{x.x} > 70 \text{ В}$. Во-вторых, при изучении (испытании) любого технологического свойства флюса (устойчивость возбуждения, стабильность горения, качество формирования наплавленного валика и т. д.) необходимо всегда оговаривать применяемый тип сварочной головки — с саморегулированием дуги (состоять подачи проволоки постоянна) или с автоматическим регулированием дуги (по току, по напряжению, с воздействием на скорость подачи проволоки или на напряжение на источнике питания, или на импеданс сварочной цепи и т. д.). В большинстве случаев при сварке под флюсом используют головки с саморегулированием и источники питания с жесткой или пологопадающей вольт-амперной характеристикой. Здесь $U_{x.x}$ не может намного превышать напряжение на дуге, которое при сварке на малых токах (100...200 А) имеет значение 28...30 В. Кроме того, меньшему значению сварочного тока должно соответствовать меньшее напряжение на дуге, и наоборот. Поэтому источники питания, предназначенные для сварки на больших токах (1000 А и более) и имеющие $U_{x.x} = 70 \text{ В}$, могут оказаться непригодными для сварки на малых токах. По-видимому, предельное значение напряжения 70 В назначено из соображений электробезопасности и в стандарте на флюс вред ли уместно.

Что касается способности флюса выдерживать большой ток, можно согласиться с составителями стандарта [1], что упомянутые характеристики не относятся к признакам, по которым следует стандартизировать флюс. Вместе с тем представляется, что диапазон диаметров электродных проволок, предназначенных для сварки под флюсом, сильно сдвинут в сторону малых диаметров. Нам неизвестна технология сварки под флюсом с применением электродной проволоки диаметром менее 0,1 мм. Вместе с тем диаметр 4 мм не может быть предельно большим. На практике широко используют проволоку диаметром 5 мм. Были успешные попытки выполнять сварку под флюсом проволокой диаметром 8 мм [6]. Исходя из нашего опыта, можно рекомендовать диапазон диаметров проволоки для сварки (наплавки) под флюсом от 1,6 до 8,0 мм.

Классификация флюсов по технологическим свойствам. Обе версии стандартов (IIW и ISO) классифицируют типы флюсов (MS, CS и др.) по химическому составу. Для каждого типа флюса дается классификация по технологическим свойствам, но в описательной форме. Однако любые свойства, качество, показатели воспринимаются действительно таковыми, если они имеют численное выражение. Что касается технологических свойств флюсов, предлагаем их стандартизовать и определить для каждого из них шкалу численных значений. По нашим представлениям и с учетом рассмотренных выше стандартов IIW и ISO, к технологическим свойствам сварочных флюсов можно отнести:

- стойкость против образования горячих трещин в шве (1);
- стойкость против образования пор (2);
- стойкость против образования холодных трещин в шве (3);
- качество формирования валика шва (4);
- глубину проплавления (5);
- возможность сварки на большой скорости (6);
- возможность сварки горизонтальных швов на наклонной и вертикальной поверхностях (7);
- отделимость шлаковой корки (8);
- гигроскопичность (подается в обратном значении как антигигроскопичность, т. е. с увеличением показателя гигроскопичность уменьшается) (9);
- механическая стойкость зерен при пересыпании флюса (10);
- гигиенические показатели (11).

Для приведения многочисленных оценок технологических свойств флюсов (их количество может возрастать) к общему знаменателю, удобно эти свойства выражать в пятибалльной системе:

балл 5, обозначение «+++» (отлично) — качество, которое может быть принято как эталонное (идеальное);

балл 4, обозначение «+» (хорошо) — приемлемый в инженерном и эстетическом отношении уровень качества;

балл 3, обозначение «0» (удовлетворительно) — допустимый в инженерном отношении уровень качества;

балл 2, обозначение «-» (плохо) — неприемлемое качество, уровень которого еще может быть поднят последующим ремонтом;

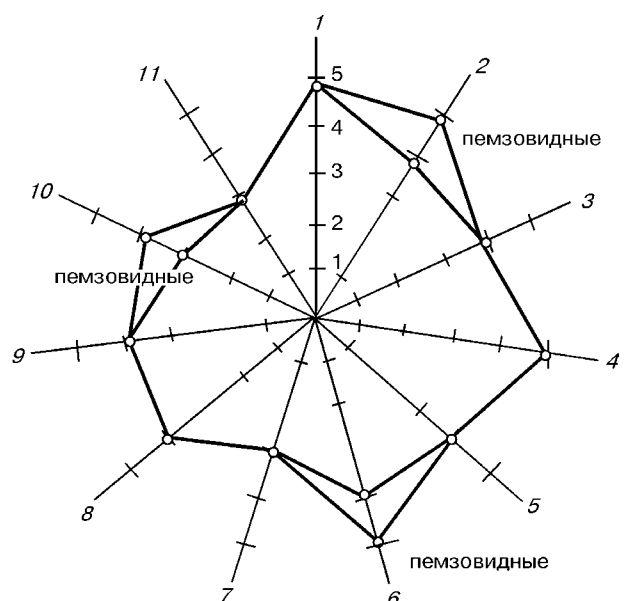
балл 1, обозначение «- -» (очень плохо) — качество, неприемлемое ни при каких условиях, т. е. неисправимый брак.

Технологические свойства (1), (2), (5), (6), (9), (11) можно выразить в физических величинах и затем преобразовать в баллы. Например, стойкость против образования пор может выражаться количеством пор на единицу длины шва (а также характером их расположения): отсутствие пор — балл 5; единичные поры в количестве n на погонную длину шва 1 м — балл 4; единичные поры, расположенные неравномерно, допустимые для конструкции данного типа (например, работающей при положительных температурах и статической нагрузке) — балл 3; цепочка или локальное скопление пор (шов поддается ремонту) — балл 2; сплошные скопления и/или цепочка пор — балл 1 и т. д.

Для свойств флюса, которые сегодня трудно выразить в физических величинах (например, отделимость шлаковой корки), можно ввести экспертную оценку (назовем крайние значения): балл 5 (отлично), если корка отделяется самопроизвольно; балл 1 (очень плохо), если корку невозможно отделить цельными кусками, не дробя в пыль ударным действием инструмента.

Разумеется, технологические свойства флюсов следует определять в их связке с рекомендованными электродными проволоками, на стандартных образцах и при стандартных технологических условиях сварки (пространственное положение, температура, параметры режима сварки и т. д.).

Нагляднее технологические свойства флюсов можно подать в многокоординатной (многолучевой) графической системе координат, где на каждой оси (луче) в 5-балльной шкале откладывается точка, соответствующая оценке того или иного



Многокоординатная система графического изображения технологических свойств флюса: 1-11 — оси системы координат, соответствующие технологическим свойствам флюсов; 1-5 — баллы оценки



свойства. На рисунке приведено графическое изображение технологических свойств флюсов системы MS (например, АН-348А (стекловидный) и АН-60 (пемзовидный)). График имеет два варианта: для флюсов с пемзовидными зёрнами (свойства различаются только по осям 2, 6, 10 и помечены словом «пемзовидный») и стекловидных (без пометок). Флюс системы MS характеризуется такими свойствами высшего уровня: стойкость против образования горячих трещин в шве (ось координат — «луч» 1); стойкость против образования пор («луч» 2 для пемзовидного); формирование шва (4); возможность сварки на большой скорости («луч» 6 для пемзовидного). Наихудшими для этого флюса являются показатели гигиенические и механическая стойкость при пересыпании флюса, а также возможность сварки горизонтальных швов на наклонной и вертикальной поверхностях. В целом это неплохой флюс, и если бы не низкие металлургические свойства (показатель основности $B1 < 1$), его можно было бы рекомендовать для сварки весьма широкого спектра сталей и сплавов. Низкоуглеродистые и низколегированные кремне-марганцовистые стали можно сваривать флюсом этого типа с пемзовидными зёрнами на весьма больших скоростях.

В завершение приведем пример условного обозначения флюсов в соответствии с предложенной нами усовершенствованной системой классификации. Даются два варианта: полный (он же факультативный) и сокращенный (обязательный). В случае полного кодирования флюсов нумерация разрядов кода следующая:

- 1 — по способу применения;
- 2 — по способу изготовления;
- 3 — по химическому составу;
- 4 — по типу металлов и сплавов, для сварки и наплавки которых флюс применяется;
- 5 — по металлургическим свойствам:
 - 5.1 — по основности флюса;
 - 5.2 — по признаку содержания легирующих элементов в активной форме;
 - 5.3 — по содержанию диффузионного водорода в наплавленном металле;
 - 5.4–5.6 — по содержанию в металле шва соответственно азота, серы и фосфора;
- 6 — по роду сварочного тока;
- 7 — по технологическим свойствам. В разряде 7 (7.1–7.11) через дефис указаны баллы.

Взяв упомянутый выше флюс системы MS, например, АН-348А (стекловидный) [3]. Итак, первый вариант, семиразрядный: Welding flux ISO 14174 — 1.S; 2F; 3.MS; 4.F-St (n,1)-Cu; 5.1. B1 0,7; 5.2. NA; 5.3. H10; 5.4. N; 5.5. SI; 5.6. PI; 6. AC; 7.1-5; 7.2-4; 7.3-4; 7.4-5; 7.5-4; 7.6-4; 7.7-3; 7.8-4; 7.9-4; 7.10-4; 7.11-3.

Читается этот код следующим образом: сварочный флюс по стандарту ISO 14174 для сварки под флюсом (разряд кода 1), плавный (2), марганцево-силикатный (3), для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, а также меди (4); его металлургические свойства (разряд 5): кислый, индекс основности 0,7 (5.1), не содержит активных легирующих добавок (5.2), в

металле шва содержится диффузионного водорода не более $10 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ (5.3), содержание азота в металле шва еще предстоит установить (5.4), индексы десульфурации и перехода фосфора предстоит установить (5.5 и 5.6), пригоден для сварки переменным и постоянным током (6); его технологические свойства (раздел 7): отличная стойкость против образования горячих трещин в шве (1), хорошая стойкость против образования пор (2), то же — стойкость против образования холодных трещин в шве (3), отличное формирование шва (4), хорошее проплавление основного металла (5), хорошая возможность увеличивать скорость сварки (6), удовлетворительная возможность сваривать горизонтальные швы на наклонной и вертикальной поверхностях (7), хорошая отделимость шлаковой корки (8), хорошо хранится на воздухе (не очень гигроскопичный) — (9), хорошая механическая стойкость зерен при пересыпании флюса (10), посредственные гигиенические показатели (главным образом вследствие выделения фторидов и соединений марганца, а также аэрозолей при сварке) — (11).

Второй вариант условного обозначения флюса (сокращенный) обязательный: Welding flux ISO 14174 — S.F.MS.F-St(m,l)-Cu.B1 07.H.10.AC.

Выводы

1. Классификацию флюсов по металлургическим свойствам целесообразно расширить. Помимо учета основности флюса B1 и содержания водорода в наплавленном металле H, следует ввести символы, учитывающие в классификации содержание легирующих элементов во флюсе в активной форме (содержание их обозначаются символом A, не содержащее символом NA); содержание азота в металле шва (символ N, аналогично H — для водорода); рафинирующие свойства по отношению к сере — символ SI, аналогично B1 для кислорода; то же по отношению к фосфору PI.

2. Полезна классификация флюсов по следующим технологическим свойствам: способности предотвращать кристаллизационные трещины в шве; способности предотвращать поры в шве; обеспечивать стойкость против образования холодных трещин в шве; качественное формирование шва; глубине проплавления основного металла; возможности сварки на большой скорости; возможности сварки горизонтальных швов на наклонной и вертикальной плоскостях; отделимости шлаковой корки; гигроскопичности; механической стойкости при пересыпании; гигиеническим показателям.

3. Флюсы, которые одинаково хорошо удовлетворяют всем требованиям по металлургическим и технологическим свойствам, не существуют. Однако имеется возможность приблизиться к их оптимальным соотношениям, если осуществлять целенаправленные комбинации, например, флюс+газ, флюс+флюс, флюс+проволока (в том числе порошковая) и т. д.

4. Предложенный способ графического изображения технологических свойств флюсов не только уточняет и расширяет указанную информацию,

подавая ее в визуализированной оцифрованной форме, но и позволяет методом суперпозиции быстро находить области желательных их комбинаций с получением требуемых соотношений свойств.

5. Сварка под флюсом — развивающееся направление среди сварочных технологий. Можно прогнозировать расширение номенклатуры марок металлов и сплавов, свариваемых данным способом; расширение технологических возможностей сварки под флюсом, например, осуществляя сварку многопроходных швов в узкощелевую разделку кромок; повышение качества сварных соединений путем оптимального легирования и модифицирования металла шва; повышение экологической безопасности сварки под флюсом, в частности, уменьшения интенсивности выделения в атмосферу вредных веществ (газов, аэрозолей); исключение отходов флюсов в виде шлаковой корки (безотходное производство), обычно выбрасываемых в отвалы; повышение экономичности сварочного производства благодаря утилизации и регенерации сварочных шлаков и отходов сварочного производства. Можно прогнозировать появление новых марок флюсов, а также способов сварки, связанных с их использованием. Идеальным, с точки зрения качества сварного соединения, была бы такая пос-


тановка дела, когда флюсы изготовляли бы по индивидуальному заказу под заданную марку свариваемой стали (сплава), соответственно установленную марку проволоки и под планируемый объем сварки. Наиболее оптимальный состав флюса такой, при котором не происходят обменные реакции между расплавом флюса (шлаком) и расплавом металла.

6. Возможности улучшить металлургические свойства флюсов, как и их технологические показатели, далеко не исчерпаны. Работы в этом направлении имеют хорошую перспективу.

1. Draft International Standart ISO/DIS 14174, ISO/TC 44 So3.
2. Linnert G. E. Fundamentals // Welding Metallurgy. Carbon and alloy steels. — Florida: American Welding Society, 1994. — P. 64–72.
3. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 768 с.
4. Кошцев В. П., Польшин Г. В. Сварочные флюсы системы ФРИГ // Свароч. пр-во. — 1973. — № 7. — С. 49–50.
5. Окользев А. Г., Ильинский В. И., Флягин А. А. Флюсы для комплексного легирования металлов при наплавке и сварке // Достижения и перспективы развития сварочного производства: Материалы семинара. — М., 1988. — С. 136–139.
6. Патон Б. Е. Сварочные головки и питание их током. — Киев: Изд-во АН УССР, 1947. — 67 с.

Updated classification of welding fluxes by metallurgical and technological properties, kind of welding current and other features is offered. The comprehensive system of flux coding with allowance for different characteristics is described.

Поступила в редакцию 13.02.2002



Организаторы выставки:
Фирма  **СОКОЛЬНИКИ**

При поддержке Министерства промышленности, науки и технологий РФ, Департамента науки и промышленной политики Правительства Москвы, Правительства Московской области, Российского научно-технического сварочного общества, Московской межгосударственной ассоциации главных сварщиков, Института сварки России, журнал «Сварочное производство»

РОССВАРКА
17-20 СЕНТЯБРЯ, 2002
Россия, Москва, Культурно-выставочный центр «Сокольники»

Международная специализированная выставка
оборудования, технологий, материалов,
инструментов, средств контроля и защиты от
вредных производственных факторов для
металлов и пластмасс

<http://www.rossvarkaexpo.ru>

Информационные спонсоры:
 Издательство «Технология Машиностроения»
 Издательство «Машиностроение»

По вопросам участия обращайтесь:
Тел.: (095) 105-3416, тел./факс: (095) 268-9904,
e-mail: tkacheva@exposokol.ru

200 ЛЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГЕ, 160 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЯ СВАРКИ
Международный симпозиум "200 лет электрической дуге. Роль этого открытия в производственной деятельности человека" подведет итог двух столетий и подчеркнет достижения и открытия сварщиков.

Выставка "Россварка-2002" по решению Министерства промышленности, науки и технологий РФ и Российского научно-технического сварочного общества признана центральной национальной выставкой страны.