

УДК 621.791.753.042.5

Гулаков С.В.¹, Ярыза–Стеценко А.В.², Псарёва И.С.³

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ПЛАВЛЕНИЯ ФЛЮСА ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

На основе анализа энергетических характеристик сварочных дуг, горящих под различными флюсами, предложен новый подход к механизму их плавления.

Роль флюса при электродуговой сварке и наплавке многогранна. Слой шлака защищает реакционную зону от атмосферного воздействия, оказывает влияние на геометрию, химический состав, структуру и свойства шва, определяет энергетические характеристики дуги, как источника теплоты, стабильность ее горения и др. [1, 2]. Особенно важно оценивать и управлять характером плавления легирующих керамических флюсов, от условий взаимодействия которых с жидким металлом зависит степень легирования наплавленного металла [3, 4].

Из литературных данных известно [5, 6], что основной вклад в плавление флюса при дуговой сварке вносит энергия излучения столба дуги, при этом с ростом ее длины при повышении напряжения увеличивается объем расплавленного флюса [4]. В указанной модели дуга рассматривается как совокупность двух источников нагрева – точечного или, точнее, источника, распределенного по площади круга, равного площади анодного или катодного пятна, и линейного (цилиндрического), распределенного по поверхности столба дуги [7].

Под действием первого источника происходит нагрев и плавление электрода и основного металла. Приблизительно можно считать, что мощность, выделившаяся на электроде, идет на плавление, перегрев и испарение металла электрода. Под действием второго источника происходит плавление флюса. При этом флюс плавится за счет излучения столба дуги на оболочку газового пузыря, охватывающего дугу [5].

Однако, практика показывает, что на характер плавления флюса влияют и другие факторы, не зависящие от длины и мощности излучения дуги. Так при сварке листов встык на флюсовой подушке количество расплавленного флюса с обратной стороны шва значительно и может быть соизмеримо с объемом шлака, расплавленного с лицевой стороны.

Поскольку роль столба дуги в плавлении флюса с обратной стороны листов ограничена [8], то, вероятно, имеются иные механизмы его плавления.

Целью работы является исследование условий плавления флюса и получения более полной информации о процессах, происходящих в зоне горения дуги.

Существующая теория плавления флюса [5], основанная на предположении о вкладе в этот процесс излучения столба дуги, базируется на том факте, что при высоких температурах (до 6000 °С) излучение преобладает над остальными способами теплопередачи. При этом считается, что вокруг дуги образуется и постоянно сохраняется сферическая оболочка из жидкого шлака, обеспечивающая надёжную защиту реакционной зоны. Однако имеются факты, говорящие о несоответствии этой теории реальным процессам плавления флюса. В частности, отсутствует связь между температурой столба дуги и относительной массой расплавленного шлака, в то время как, известно, что теплоотдача излучением пропорциональна четвертой степени температуры излучения. В работе [4] опубликованы данные о том, что увеличение сварочного тока с 300 до 800 А (при этом температура столба дуги повышается на 750 °С) приводит не к возрастанию, а к значительному уменьшению относительной массы шлака. Рост напряжения дуги, практически не влияющий на ее температуру, вызывает существенное приращение эффективности плавления флюса.

¹ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

²ПГТУ, аспирант

³ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

Следует отметить, что многие факторы, которые отмечены в известной гипотезе о теории плавлении флюса (такие как заглубление дуги в основной металл, ее пространственное положение и др.), подтверждались рентгеновской съемкой [9], где длина дуги составляла порядка 8 – 10 мм. При этом следует отметить, что указанные эксперименты проводились в конце 40-х годов прошлого века на флюсах АН-1, АН-2, АН-3, АШ и др., у которых падение напряжения в приэлектродных областях было низким. В связи с этим и длины дуг были большие. Для современных флюсов падение напряжения в приэлектродных областях составляет 22 – 25 В [10] (см. табл. 1), поэтому сварка ведется на более коротких дугах.

Таблица 1 – Энергетические параметры сварочной дуги

Материал анода и катода	Флюс	E_d , В/мм	$U_K + U_A$, В
Сталь низкоуглеродистая	АН-3	3,5 – 3,8	9 – 10
	АН-348	3,8 – 4,2	20 – 22
	ОСЦ-45	4,1 – 4,3	23 – 25

В настоящее время в связи с появлением новой информации в этой области сформировались иные мнения о схеме плавления флюса при дуговой сварке [11].

В работе [12] высказано предположение о постоянной «прокачке» флюса через столб дуги при ее перемещении со скоростью сварки. Шлаковая защита при этом формируется за кратером дуги, а головная часть сварочной ванны жидким шлаком не защищена. Такой подход к этому процессу не отражает в полной мере влияние всех факторов, определяющих условия и природу плавления флюса [13, 14].

В этой связи исследование закономерностей плавления флюса при электродуговой сварке (наплавке) является актуальной задачей.

Проанализируем условия выделения энергии в дуге и возможности ее влияния на характер плавления флюса.

Тепловой баланс дуговой сварки под слоем флюса, представленный в работе [5], показывает, что с увеличением напряжения с 36 до 42 В при одновременном снижении тока дуги более, чем в два раза (с 1000 до 450 А) количество энергии (энергии излучения столба дуги), идущей на плавление флюса, увеличивается с 18 % до 52 %, то есть на 34 %.

Рассмотрим характер распределения мощности в дуге. Падение напряжения на дуге происходит на трех составляющих элементах дуги – аноде, катоде и столбе дуги.

$$U_d = U_A + U_K + U_{ст} = U_A + U_K + E_d L_d \quad (1)$$

где $U_A + U_K$ – приэлектродные падения напряжения, В;

$U_{ст}$ – падение напряжения на столбе дуги, В;

E_d – градиент напряжения на столбе дуги, В/мм;

L_d – длина дуги, мм.

Зная градиент падения напряжения по длине столба дуги (E_d) и падение напряжения на нем ($U_{ст}$), можно определить длину дуги. Расчет для напряжения на дуге $U_d = 30$ В и указанных марок флюса показывает (рис. 1), что для флюса АН-3 длина дуги составляет 5 – 5,5 мм, для флюсов ОСЦ-45 и АН-348 – соответственно 1,5 – 2 мм. С ростом напряжения до 40 – 42 В дуга удлиняется соответственно до 8 – 8,5 и 3,5 – 4 мм. То есть дуга, горящая под флюсами АН-348 и ОСЦ-45 в 2 – 4 раза короче дуги, горящей под флюсом АН-3.

Поэтому говорить (при горении дуги под флюсами АН-348 и ОСЦ-45) о вероятности их плавления излучением столба дуги и заглублении в сварочную ванну столба или его части, когда длина дуги составляет всего лишь 1,5 – 2 мм при диаметре электрода 4 – 5 мм вряд ли корректно.

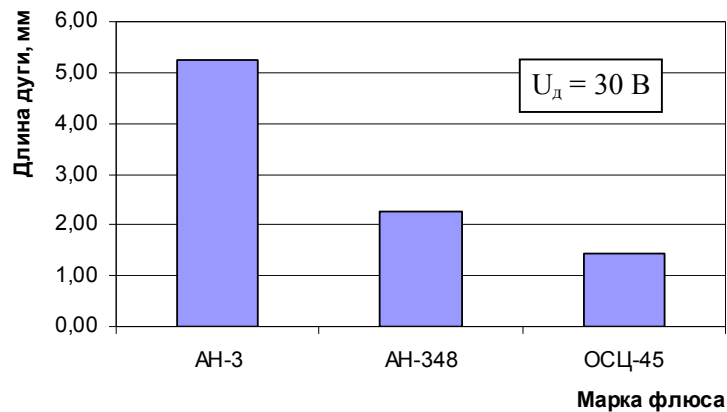


Рис. 1 – Расчетная длина дуги, горящей под различными флюсами

Используя данные, приведенные в таблице 1 и выражение (1), можно рассчитать мощность, выделяемую в приэлектродных областях и столбе дуги (рис. 2), из которых видно, что дуга, горящая под флюсом АН-348 или ОСЦ-45 имеет протяженность (длину) в 2 – 4 раза меньшую, чем дуга, горящая под флюсом АН-3, а выделение мощности в приэлектродных областях и столбе дуги для флюсов АН-3 и АН-348 (а особенно для флюса ОСЦ-45) носит противоположный характер. Так для флюса АН-3 в дуговом промежутке выделяется 67 % мощности, а мощность, выделяемая в приэлектродных областях, составляет всего лишь 33 % и обратная ситуация имеет место для флюсов АН-348 и ОСЦ-45, где на столб дуги приходится всего лишь 30 % и 20 % соответственно.

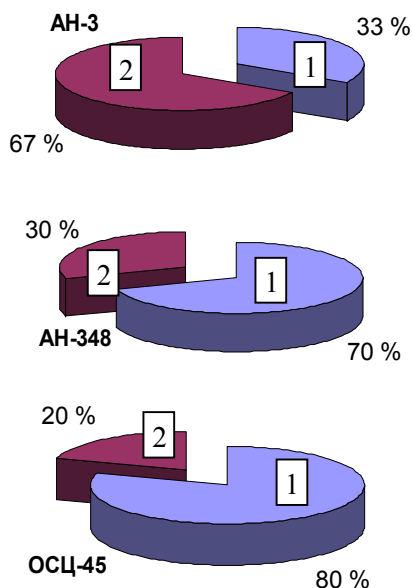


Рис. 2 – Распределение мощности в дуге ($U_d = 30 \text{ В}$):
 1 – мощность, выделяемая в приэлектродных областях (аноде и катоде);
 2 – мощность, выделяемая в столбе дуги.

При этом из работы [15] известно, что для флюсов АН-3 и АН-348 при одинаковых энергетических параметрах процесса сварки характер их плавления одинаков – количество расплавленного флюса (исследованных типов) не зависит от его марки, т.е. изменение энергии столба дуги более чем в два раза не влияет на характер плавления флюса.

Для оценки уровня изменения мощности, выделяемой в столбе дуги при регулировании напряжения на ней, были проведены расчеты и построен график, описывающий эту

зависимость (рис. 3) и график, показывающий расчетное приращение энергии в столбе дуги (ΔE) при увеличении напряжения на ней с 36 до 42 В (рис. 4). Указанный диапазон изменения напряжения был выбран с учетом параметров режима, приведенных в работе [6] при построении диаграмм теплового баланса.

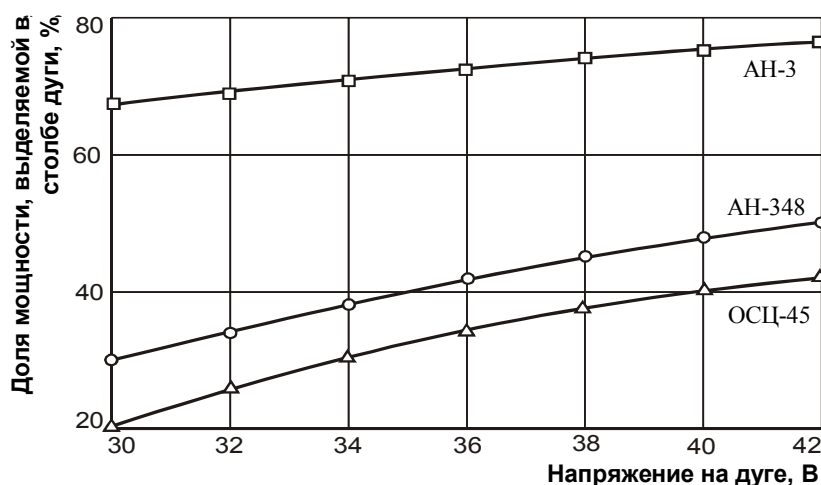


Рис. 3 – Доля мощности, выделяемой в столбе дуги в зависимости от напряжения

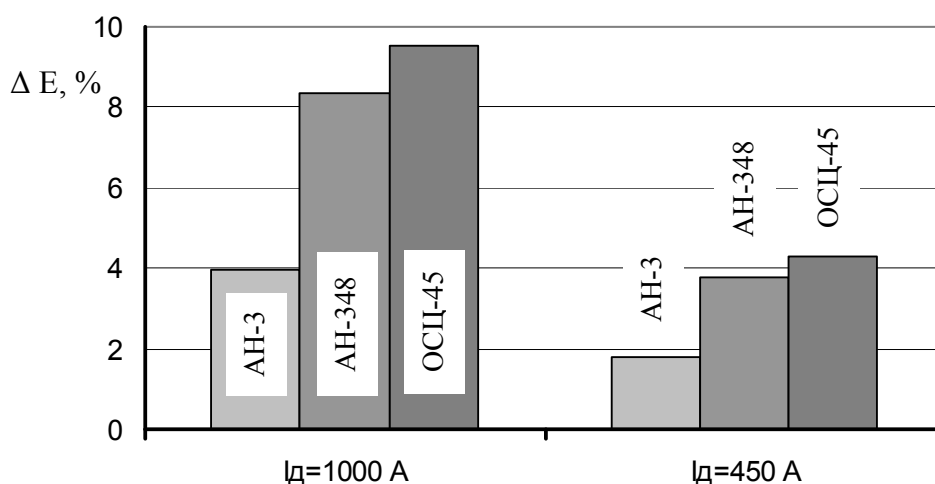


Рис. 4 – Расчетное приращение энергии в столбе дуги (ΔE) при увеличении напряжения на ней с 36 до 42 В

Из графиков (рис. 3 и 4) видно, что приращение мощности, выделяемой в столбе дуги, для флюсов АН-3, АН-348, ОСЦ-45 при увеличении напряжения с 36 до 42 В составляет около 4; 8 и 10 % соответственно. Но если обратить внимание на диаграмму теплового баланса [5], в которой приведен факт увеличения напряжения с 36 до 42 В при одновременном снижении тока практически в два раза, то и количество приращения энергии в столбе дуги для этих же флюсов составит 2; 4; 5 %. В то время как на диаграммах теплового баланса приращение энергии идущей на плавление флюса изменяется на 34 %.

Представленные факты говорят о несоответствии известной теории плавления флюса излучением столба дуги и участия в этом процессе иных источников энергии – теплоты металла сварочной ванны, а также других механизмах взаимодействия дуги с флюсом.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при дальнейшем изучении особенностей плавления флюса при дуговой сварке (наплавке) с целью корректировки модели этого процесса.

Выводы

1. На основе анализа энергетических параметров сварочной дуги выявлено несоответствие характера изменения энергии излучения столба дуги и условий плавления флюса.
2. Показано, что увеличение напряжения на дуге с 36 В до 42 В при одновременном уменьшении тока в два раза дает приращение энергии (мощности), выделяемой в столбе дуги, на 2 – 4 % (для разных марок флюсов), в то время как из диаграмм теплового баланса для этих же режимов.
3. Результаты исследований показали, что в плавлении флюса, кроме радиационного теплообмена принимает участие и конвективный теплообмен.

Перечень ссылок

1. *Петров Г.Л.* Сварочные материалы / *Г.Л. Петров* – Л.: Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. *Потапов Н.Н.* Основы выбора флюсов при сварке сталей / *Н.Н. Потапов* – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
3. *Багрянский К.В.* Электродуговая сварка и наплавка под керамическим флюсом / *К.В. Багрянский* – К.: Техніка, 1976. – 184 с.
4. *Фрумин И.И.* О кинетике взаимодействия металла и шлака при сварке под флюсом / *И.И. Фрумин* // Автоматическая сварка. – 1957. – № 6. – С. 3 – 18.
5. *Кирдо И.В.* Тепловой баланс сварки под флюсом / *И.В. Кирдо* // Сборник трудов по автоматической сварке под флюсом. Киев: изд. АН УССР, 1948, т. 1. – С. 95 – 128.
6. *Фрумин И.И.* Технология механизированной наплавки / *И.И. Фрумин, Ю.А. Юзвенко, Е.И. Лейначук* – М.: Высшая школа, 1965. – 306 с.
7. *Макара А.М.* Процесс плавления основного металла при автосварке под флюсом / *А.М. Макара* // Сборник трудов по автоматической сварке под флюсом. – К.: АН УССР, 1948, Т.1. – С. 47 – 94.
8. *Макара А.М.* Автосварка под флюсом малоуглеродистой стали больших толщин / *А.М. Макара* // Сборник трудов по автоматической сварке под флюсом. – К.: АН УССР, 1948. – Т.1. – С. 129 – 153.
9. *Гребельник П.Г.* Рентгеноисследование процесса автоматической сварки под флюсом / *П.Г. Гребельник* // Автоматическая сварка. – 1950. – № 6 – С. 18 – 29.
10. *Лесков Г.И.* Электрическая сварочная дуга / *Г.И. Лесков*. – М.: Машиностроение. – 1970. – 336 с.
11. *Кузьменко В.Г.* Особенности плавления и отвердевания флюса при дуговой сварке / *В.Г. Кузьменко* // Сварочное производство. – 1999. – № 10. – С. 16 – 22.
12. *Кузьменко В.Г.* О сплошности шлаковой оболочки при сварке под флюсом / *В.Г. Кузьменко* // Автоматическая сварка. – 1998. – № 3. – С. 14 – 19.
13. *Бадьянов Б.Н.* О новой схеме процесса дуговой сварки под флюсом / *Б.Н. Бадьянов* // Сварочное производство. – 1999. – № 11. – С. 8 – 11.
14. *Гулаков С.В.* О схеме плавления флюса и основного металла при дуговой сварке / *С.В. Гулаков, А.В. Ярыза-Стеценко, И.С. Псарева* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Мариуполь, 2005. – Вип. 15. – С. 125 – 129.
15. *Лейначук Е.И.* Расход флюса при автосварке в зависимости от его марки и гранулометрического состава / *Е.И. Лейначук* // Автоматическая сварка. – 1950. – № 3 – С. 29 – 33.

Рецензент: В.В. Чигарев
д-р техн. наук, проф., ПДТУ

Статья поступила 20.02.2008