



К ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛА РАСПЛАВА ВАННЫ

В. В. ДМИТРИК, В. В. ШЕВЧЕНКО, кандидаты техн. наук (Укр. инж.-пед. акад., г. Харьков)

Предложен метод оценки количества тепла дуги, вводимого в основной металл и переносимого потоками жидкого металла из головной части ванны в хвостовую. Показано, что повысить эффективность использования тепла расплава ванны можно за счет дополнительного присадочного материала и подбора оптимальных параметров режима сварки.

Ключевые слова: дуговая сварка, тепло дуги, сварочная ванна, перегрев, расход тепла

Известно, что тепло дуги, введенное в основной металл, расходуется частично на дополнительный перегрев расплава ванны и металла ЗТВ [1–3]. Впервые при сварке тонкостенных конструкций смещение высоты проплавления кромок от области активного пятна дуги в сторону хвостовой части ванны выявлено А. И. Акуловым в его докторской диссертации. Изучению процессов, протекающих в расплаве ванны, посвящено много работ [4–6 и др.]. Количественная оценка степени перегрева расплава ванны проводилась нами при расчетах температурного режима [7–9]. С целью совершенствования структуры математических моделей тепловых задач, реализуемых численными методами, и оптимизации параметров режима сварки целесообразно определить количество тепла дуги, переносимое потоками жидкого металла из головной части ванны в хвостовую.

Поэтому актуально выявить дополнительный перегрев при сварке сталей, склонных к образованию закалочных структур, в том числе перлитных, которые широко используются в энергетике. Целесообразно также определить координаты перегретых участков, поскольку на них формируются структуры, не отвечающие требованиям нормативной документации. Установлено, что объем перегретых участков с аналогичными структурами в сварных соединениях может быть различным. Такие структуры наблюдаются и в локальных объемных участках. В структуре металла шва (бейнит + феррит, стали 08ХМФ) это могут быть укрупненные матричные зерна α -Fe, для которых характерна высокая степень фазовых напряжений. Дополнительный перегрев может также способствовать образованию «мягких» ферритных или «твердых» мартенситных прослоек на участке сплавления металла ЗТВ. Значит для формирования оптимальной исходной структуры следует, по возможности, не допускать перегретых участков.

При формировании швов также нежелательным является наличие перегретых участков [5], поскольку они увеличивают степень остаточных напряжений и деформаций.

Установлено [6, 7, 9], что при автоматической сварке на средних режимах ($I_{св} = 280...380$ А; $v_{св} =$

$= 20...25$ м/ч; $U_d = 28...32$ В; диаметр электродной проволоки равен 2 мм) основной поток жидкого металла из головной части ванны в хвостовую протекает по области расплава, примыкающей к поверхности кристаллизации (рис. 1). В соответствии с данной схемой потока в сварочную ванну вводили обессточенную дополнительную присадочную проволоку (ДПП) (рис. 2). Скорость ввода ДПП составляла 50...60 м/ч, а частота перемещений этой проволоки по области расплава, примыкающей к поверхности кристаллизации, равнялась 50...60 перемещений в 1 мин.

Допустим, что количество тепла, переносимое потоками жидкого металла из головной части ванны в хвостовую, соответствует количеству тепла, расходуемого на плавление ДПП. Будем рассматривать указанный процесс как квазиустановившийся, с постоянной скоростью ввода ДПП в расплав ванны. При этом принимаем допущение, что вводимая в ванну ДПП имеет вид полубесконечного стержня (рис. 2). Погрешность при отсутствии учета скрытой теплоты плавления не превышает 10 % количества

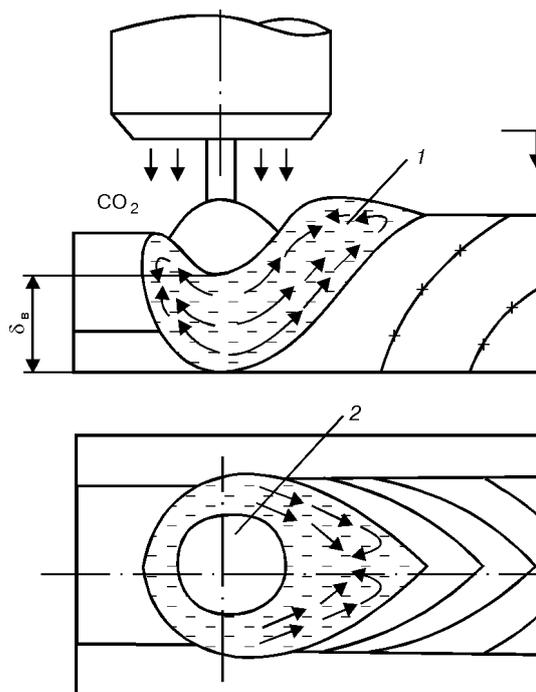


Рис. 1. Схема движения потока жидкого металла из головной части ванны в хвостовую: 1 – расплав ванны; 2 – область активного пятна дуги (δ_b – глубина расплава ванны)

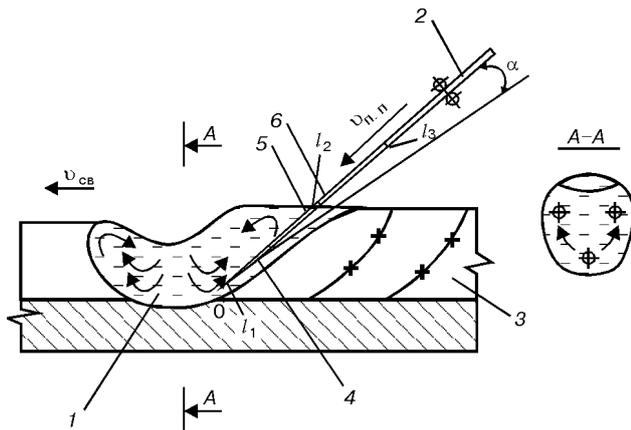


Рис. 2. Схема подачи в хвостовую часть ванны ДПП в соответствии с полученной схемой на рис. 1: 1 — расплав ванны; 2 — ДПП; 3 — металл шва; 4 — участок плавления ДПП длиной $0-l_1$; 5 — участок плавления ДПП длиной l_1-l_2 , находящийся в расплаве ванны; 6 — участок плавления ДПП длиной l_2-l_3 , претерпевающий подогрев теплом ванны; $v_{н.п}$ — скорость подачи ДПП в вершине образующегося конуса при ее плавлении

тва тепла, расходуемого на плавление ДПП на участке 1 (рис. 2). Учет скрытой теплоты плавления можно производить путем ввода поправочных коэффициентов k , определяемых экспериментально: на участке 1 $k_1 = 1,1$; на участке 2 $k_2 = 1,07$. Количество тепла расплава ванны, расходуемое на плавление ДПП (рис. 2), с учетом известных положений [10] и усредненных значений $c_i(T)$, $\gamma_i(T)$ ($i = 1, 2, 3$), данные о которых брали из [3], запишем

$$Q = k_1 S_{lcp} c_1 \gamma_1 \frac{T_0 - T_1}{2} l_1 + k_2 S_0 c_2 \gamma_2 \frac{T_1 - T_2}{2} l_2 + S_0 c_3 \gamma_3 \frac{T_2 - T_3}{2} l_3, \quad (1)$$

где S_0 — сечение ДПП на участке от l_1 до $+\infty$, мм²; $0-l_1$ — длина участка плавления ДПП, мм; l_1-l_2 — длина участка ДПП, находящейся в ванне, мм; l_2-l_3 — длина участка ДПП, на котором осуществляется ее подогрев со стороны расплава ванны, мм; γ — плотность на i -м участке ДПП, кг/м³; c — теплоемкость (массовая) на i -м участке ДПП Дж/(кг·°C); α — угол (рис. 2), определяемый экспериментально; $T_0 = (1770 \pm 50)$ °C — усредненная температура на участке плавления ДПП; $T_1 = 1770$ °C — $(1770 - 1500)$ °C/2 = (1650 ± 50) °C — среднее значение температуры на участке контакта l_1-l_2 ДПП, вводимой в ванну с расплавом; $T_2 = 1500$ °C — температура на поверхности расп-

Ширина (усредненная) участков металла ЗТВ образцов* толщиной 60 мм, сваренных на штатных и предлагаемых режимах

Режим автоматической сварки	Участок ЗТВ, мм			
	сплавления	перегрева	нормализации	неполной перекристаллизации
Предлагаемый	0,1...0,2	0,6...0,7	2,0...3,0	1,2...1,4
Штатный	0,2...0,3	0,7...0,8	2,5...3,5	1,4...1,7

* Образцы выполнены из стали 15X1M1; электродная проволока Св-08ХМФ; отпуск при 730 °C, 3 ч.

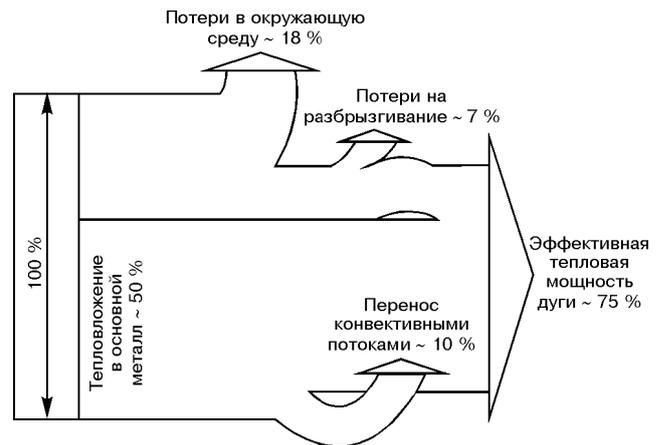


Рис. 3. Диаграмма теплового баланса процесса автоматической сварки в углекислом газе

лава ванны; $T_3 = 20$ °C — температура окружающей среды; S_{lcp} — усредненная площадь поперечного сечения конусообразного участка плавления ДПП, мм²

$$S_{lcp} = \pi r_{lcp}^2 = \frac{\pi l \operatorname{tg}^2 \alpha}{4},$$

r_{lcp} — усредненный радиус основы конуса участка плавления ДПП, мм.

Определено, что расход тепла на плавление и нагрев ДПП при сварке с использованием приведенного режима составляет 7... 10 % от количества тепла дуги, введенного в основную металл. Можно считать, что близкое по количественной характеристике тепло переносится потоками жидкого металла из головной части сварочной ванны в хвостовую.

Известно, что использование дополнительного присадочного материала при механизированной сварке позволяет уменьшить перегрев расплава ванны и металла ЗТВ. Применение указанных процессов сварки может быть перспективным [11], в том числе, по мнению В. Н. Земзина [12], для сварки перлитных сталей.

Уменьшение перегрева также можно достичь при сварке на режиме, значения параметров которого основываются на результатах моделирования процессов теплообмена и кристаллизации в области расплава ванны, металла шва и ЗТВ [13]. Подтверждением этому являются полученные экспериментально размеры участков металла ЗТВ сварных соединений, выполненных автоматической сваркой в углекислом газе на штатных и предлагаемых (основанных на результатах моделирования) режимах (таблица).

При сварке на предлагаемом режиме проплавление кромок основного металла, а также металла предыдущих слоев было достаточным. При этом дефекты типа несплавлений по стенкам зазора и несплавлений между валиками отсутствовали.

У отдельных сварных соединений из низколегированных перлитных Cr-Mo-V сталей отмечалось наличие участков нормализации больших размеров, чем участок перегрева. На наш взгляд, процесс формирования структур этих участков тре-



бует отдельного изучения, причем с учетом особенностей распределения тепла.

Реализация предлагаемого метода расчетно-экспериментального определения количества тепла, переносимого потоками жидкого металла из головной части ванны в хвостовую, позволила внести уточнения в известную диаграмму теплового баланса процесса сварки (рис. 3).

Представляется возможным с учетом расчетных данных разрабатывать способы сварки, позволяющие уменьшить перегрев расплава ванны и участков ЗТВ, что может способствовать получению сварных соединений с оптимальной исходной структурой, в том числе из перлитных сталей.

1. *Технология* электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1974. — 767 с.
2. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. *Технология и оборудование* сварки плавлением. — М.: Машиностроение, 1977. — 431 с.
3. *Физические свойства* сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справочник / Под ред. Б. Е. Неймарка. — Л.: Энергия, 1967. — 238 с.
4. А. с. № 1727972, СССР, МКИ² В23К 31/12. Способ измерения силового воздействия дуги на сварочную ванну при сварке плавящимся электродом / Н. М. Воропай,

А. Н. Корниенко, Н. И. Костенюк и др. — Оpubл. 23.04.92; Бюл. № 15.

5. *Влияние* гидродинамических явлений в сварочной ванне на формирование стыковых швов при сварке плавящимся электродом / А. И. Акулов, Г. Г. Чернышов, Ю. В. Доронин и др. // Изв. вузов. Машиностроение. — 1978. — № 6. — С. 135–139.
6. А. с. № 1176524, СССР, МКИ² В23К 31/12. Способ определения направления движения потоков жидкого металла из головной в хвостовую часть сварочной ванны / А. И. Акулов, В. В. Дмитрик, В. А. Бабушкина. — Оpubл. 23.11.92; Бюл. № 43.
7. Дмитрик В. В. Метод определения температурного режима в расплаве сварочной ванны // Свароч. пр-во. — 1998. — № 8. — С. 19–21.
8. Дмитрик В. В. Разработка метода определения температурного режима расплава ванны // Изв. вузов. Машиностроение. — 1999. — № 1. — С. 76–80.
9. Дмитрик В. В. К оценке тепла дуги, введенного в основной металл // Там же. — 1990. — № 4. — С. 119–122.
10. *Теория* сварочных процессов / Под ред. В. В. Фролова. — М.: Высш. шк. — 1988. — 558 с.
11. Касаткин Б. С., Волков В. Г. Применение рубленой проволоки в качестве присадочного материала при автоматической сварке высокопрочных сталей // Автомат. сварка. — 1977. — № 7. — С. 41–45.
12. Землин В. Н. *Жаропрочность* сварных соединений. — Л.: Машиностроение, 1972. — 269 с.
13. Дмитрик В. В. Стабилизация режимов автоматической сварки перлитных сталей // Свароч. пр-во. — 1999. — № 5. — С. 11–14.

The method for estimation of the amount of the arc heat introduced into the base metal and transferred with the liquid metal flows from the leading to tailing portion of the weld pool is suggested. It is shown that the efficiency of utilization of the molten pool heat can be increased through using an extra filler metal and selecting the optimal parameters of welding.

Поступила в редакцию 10.03.2000,
в окончательном варианте 02.10.2000

г. Киев **СВАРКА И СМЕЖНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ** 22–25 мая 2001 г.
1-я Всеукраинская научно-техническая конференция
молодых ученых и специалистов

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Министерство образования и науки Украины, Национальная академия наук Украины, Институт электросварки им. Е. О. Патона, Украинский учебно-научный комплекс «Сварка», Городской благотворительный фонд «Содружество сварщиков»

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

Прогрессивные технологии сварки и соединения материалов; прочность, надежность и долговечность сварных конструкций; технологии наплавки, нанесения покрытий и обработки поверхности; процессы специальной электрометаллургии; новые конструкционные и функциональные материалы; техническая диагностика и неразрушающий контроль; автоматизация процессов сварки и родственных технологий; фундаментальные исследования физико-химических процессов (термодинамика, кинетика, микроструктура, фазовые превращения, электронная структура, свойства).

По вопросу участия в конференции следует обращаться в оргкомитет:
тел.: (044) 261 57 68, факс: (044) 227 89 83, Панько Михаил Тарасович
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украина

