



О ТОЛЩИНЕ ПРОСЛОЙКИ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА ПОД ДУГОЙ ПРИ НАПЛАВКЕ ПОД ФЛЮСОМ

А. Д. РАЗМЫШЛЯЕВ, д-р техн. наук (Приазов. гос. техн. ун-т, г. Мариуполь, Украина)

Предложена методика определения толщины прослойки жидкого металла при дуговой наплавке. Изучены процессы оплавления (расплавления) сварочной дугой тугоплавких вставок из вольфрама и тантала, а также растворения их жидким металлом сварочной ванны. Показано, что удаление жидкого металла ванны при наплавке позволяет повысить достоверность данных о толщине прослойки жидкого металла под дугой.

Ключевые слова: дуговая наплавка, сварочная дуга, жидкий металл ванны, скрытая составляющая длины дуги, толщина прослойки жидкого металла под дугой

Эффективность дуговой сварки и наплавки, а также качество сварных швов и наплавленных валиков в значительной степени определяются процессами, протекающими в сварочной ванне, ее формой и размерами. Из многих факторов, влияющих на эти процессы, важными являются скрытая составляющая длины дуги $l_{д.с}$ и толщина прослойки жидкого металла под дугой $\delta_{ж}$. Они пока еще мало изучены, особенно для случаев дуговой сварки и наплавки под флюсом. В зоне плавления (в зоне основного металла под дугой) эти величины связаны соотношением

$$l_{д.с} \approx H_{пр} - \delta_{ж}, \quad (1)$$

где $H_{пр}$ — глубина проплавления основного металла.

Определение значения $l_{д.с}$ расчетным путем не представляется возможным из-за наличия твердой передней стенки кратера ванны и отсутствия достоверных данных о давлении дуги при сварке (наплавке) плавящимся электродом (особенно дугой под флюсом). Поэтому целесообразно определить значения $\delta_{ж}$ экспериментальным путем, а $l_{д.с}$ вычислить с помощью выражения (1).

В известных методиках для определения значения $\delta_{ж}$ [1–6] используют тугоплавкие вставки, температура плавления которых выше, чем у основного металла. Однако при этом не учитывалось возможное растворение этих вставок жидким металлом сварочной ванны, что могло привести к занижению экспериментальных данных. Основанием для такого предположения явились полученные нами ранее и опубликованные в работе [5] данные о зависимости значения $\delta_{ж}$ от толщины $\delta_{та}$ тугоплавкой вставки — пластины из тантала шириной 5 мм (рис. 1). При этом с уменьшением толщины вставки интенсивность растворения последней жидким металлом ванны возрастала. О растворении вставки свидетельствовали характерный заостренный вид ее верхушки и наличие вокруг нее растворенного материала вставки (рис. 2). При использовании известных методик для определения $\delta_{ж}$ с помощью тугоплавких вставок возможна по-

решность. Причем у разных исследователей [1–4] она различна, при этом данные о значениях $\delta_{ж}$ являются заниженными.

Однако можно также предположить (этот фактор не учитывался ни одним из исследователей), что при увеличении толщины (диаметра) вставок, последние не полностью оплавливались сварочной дугой, что могло привести к завышению значений $\delta_{ж}$. Таким образом, процессы расплавления (оплавления) вставок дугой, а также растворения их жидким металлом ванны, от которых зависит достоверность экспериментальных данных о значениях $\delta_{ж}$, пока не изучены.

Целью настоящей работы явилось совершенствование методики экспериментального определения толщины прослойки жидкого металла под дугой $\delta_{ж}$ при сварке и наплавке. Методика основана на использовании тугоплавких вставок и предусматривает введение соответствующей поправки на интенсивность растворения вставки жидким металлом сварочной ванны с учетом возможности расплавления дугой выступающих частей вставки над уровнем жидкого металла ванны.

Процессы расплавления (оплавления) вставок дугой и растворения их жидким металлом ванны исследовали экспериментально при наплавке на

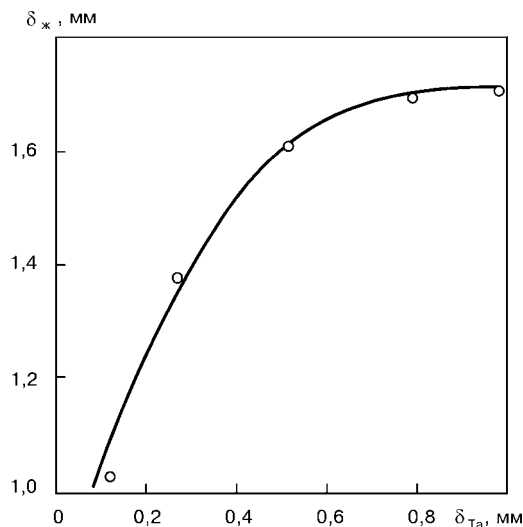


Рис. 1. Зависимость толщины прослойки жидкого металла под дугой $\delta_{ж}$ от толщины вставки (пластины из тантала) $\delta_{та}$ при наплавке проволокой Св-08 диаметром 5 мм на пластину из стали СтЗсп на режиме: $I_{н} = 760 \dots 810$ А; $U_{д} = 32 \dots 33$ В; $v_{н} = 10$ м/ч



Рис. 2. Макрошлиф наплавки с тугоплавкой вставкой

постоянном токе при обратной полярности. Как и в работах [1–4], для сварки (наплавки) низкоуглеродистых сталей использовали вставки из тантала и вольфрама.

При изучении процесса оплавления тугоплавких вставок дугой в стыке пластин толщиной 20 мм из стали СтЗсп вдоль оси предполагаемого движения дуги с шагом 50 мм размещали вставки из фольги шириной 5,00 мм, толщиной 0,25 и 0,50 мм, а также проволоку диаметром 0,50 мм и прутки диаметром 1,0; 1,5 и 2,0 мм из тантала и вольфрама. Вставки выступали на 4 мм над поверхностью пластины. Пластины устанавливали вертикально для того, чтобы стык со вставками располагался горизонтально. Вставки оплавливали открытой дугой при автоматической сварке проволокой диаметром 5 мм на следующем режиме: $I_{св} = 700...750$ А; $U_{д} = 35...37$ В; $v_{св} = 10$ и 40 м/ч. При этом вставки растворению жидким металлом ванны не подвергались. После воздействия дугой оказалось, что только прутки из вольфрама диаметром 2 мм выступали над поверхностью пластины (кратера) на 2,5 мм при $v_{св} = 10$ м/ч и на 4,0 мм при $v_{св} = 40$ м/ч. Затем опыт повторили, уменьшив ток до $400...450$ А. При этом неоплавленными оказались также только прутки из вольфрама диаметром 2 мм и на такую же длину. Следовательно, применительно к процессам дуговой сварки и наплавки под флюсом, при которых используются значительный ($400...750$ А и более) сварочный ток, возможно применять все указанные выше тугоплавкие вставки, кроме прутков из вольфрама диаметром 2 мм. При других условиях сварки и наплавки для того, чтобы используемые вставки полностью оплавливались дугой, необходимо дополнительно определить их размеры.

Исследовали растворение вставок из вольфрама и тантала жидким металлом ванны при сварке. Вставки опускали в хвостовую часть ван-

Таблица 1. Средняя скорость растворения v_p (мм/с) тугоплавких вставок жидким металлом ванны при сварке в углекислом газе

Тип и размер вставки, мм	Материал вставки	
	Ta	W
Пруток $\varnothing 2,0$	0,08	—
Проволока $\varnothing 0,5$	1,20	0,50
Фольга (пластина):		
5 × 0,25	2,20	0,95
5 × 0,50	1,20	0,60
5 × 1,00	0,50	0,41

ны (до ее дна) и передвигали их на расстояние 15 мм от оси электрода (дуги) в течение определенного времени. Затем выполняли сварку в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на режиме: $I_{св} = 370...380$ А; $U_{д} = 35...37$ В; $v_{св} = 10$ м/ч. При этом максимальную стойкость против растворения показала вставка вольфрама (табл. 1). Средняя скорость растворения v_p вставок из тантала примерно в 2 раза больше, чем вставка из вольфрама. Укорочение вставок практически линейно связано со временем. Скорость растворения тугоплавких вставок в жидком металле одинакова, если толщина фольги (пластины) и диаметр проволоки (прутка) равны. Скорость растворения вставок из вольфрама диаметром 0,5 мм составляла примерно 0,5 мм/с.

Чтобы получить количественные данные о растворении тугоплавких вставок жидкой ванной при сварке (наплавке) под флюсом процесс наплавки проволокой Св-08А диаметром 4 мм под флюсом АН-348А выполняли на режиме: $I_{св} = 780...810$ А; $U_{д} = 28...30$ В; $v_{св} = 7,2$ м/ч. Тугоплавкие вставки располагали на стыке двух пластин из стали СтЗсп толщиной 20 мм. Причем вставки выступали на 10 мм над поверхностью пластин. Ось стыка, по которой располагали вставки, отстояла на 15 мм от оси предполагаемого валика. В связи с малым напряжением на дуге тугоплавкие вставки подвергались лишь воздействию жидкого металла ванны, а не дуги. Время воздействия жид-

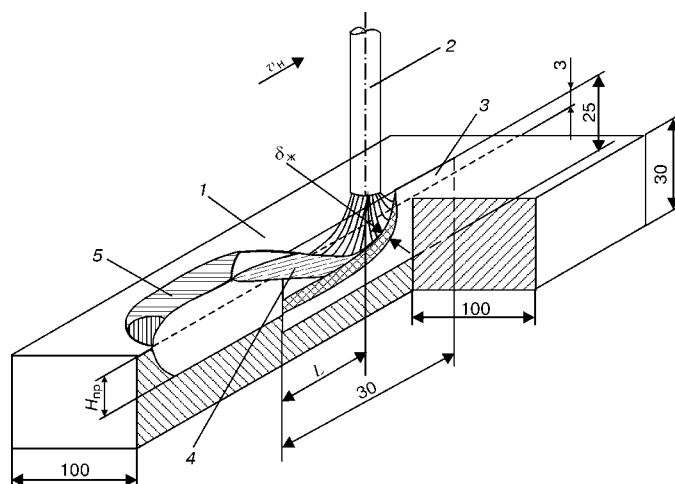


Рис. 3. Схема образца для измерения толщины прослойки жидкого металла под дугой при наплавке: 1 — основной металл; 2 — электрод; 3 — тугоплавкая вставка; 4 — жидкий металл ванны; 5 — наплавленный металл

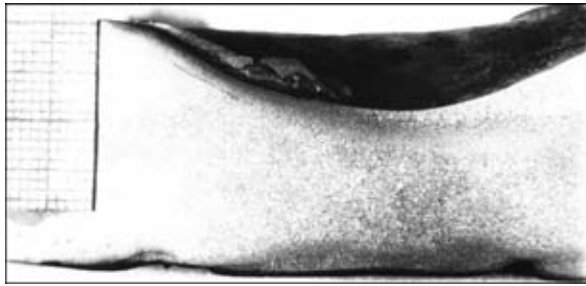


Рис. 4. Макрошлиф наплавки с тугоплавкой вставкой после выплеска сварочной ванны

кого металла на вставки, согласно расчетам с учетом высоты расположения оплавленных вставок, а также экспериментальных данных о размерах сварочной ванны, составляло 5... 10 с. Укорочение вставок отсчитывали от верхней поверхности валика над вставкой, поскольку выше этой поверхности они растворялись под воздействием жидкого шлака. Данные табл. 2 свидетельствуют о том, что скорость растворения тугоплавких вставок при наплавке под флюсом не больше, чем при наплавке в углекислом газе. Средняя скорость растворения вставки v_p из вольфрама диаметром 0,5 мм (и фольги такой же толщины) составляет около 0,5 мм/с. Примерно такие же значения v_p получены при использовании вставки из тантала диаметром 1 мм и фольги толщиной 1 мм.

Как показали оценки, скорость продвижения фронта плавления в глубь основного металла в диапазоне глубин (относительно поверхности пластины) 0... 5; 5... 10 и 10... 15 мм при наплавке под флюсом ($I_{св} = 750... 800$ А, $U_d = 33... 35$ В, $v_n = 20$ м/ч) составляет соответственно 5,0, 2,0 и 1,5 мм/с. Это больше, чем скорость растворения вставок. При сварке и наплавке проволокой под флюсом в этом случае данные о толщине прослойки жидкого металла на передней стенке кратера будут достоверными, если использовать вставки из вольфрама в виде фольги толщиной 0,5 мм либо в виде проволоки диаметром 0,5 мм, а также вставки из тантала в виде фольги толщиной 1 мм либо проволоки диаметром 1 мм. Целесообразно удаление (выплеск) жидкого металла ванны. При этом значительно упрощается методика определения $\delta_{ж}$, поскольку кратер не залит закристаллизовавшимся

Таблица 2. Средняя скорость растворения v_p (мм/с) тугоплавких вставок жидким металлом ванны при наплавке под флюсом

Тип и размер вставки, мм	Материал вставки	
	Ta	W
Пруток \varnothing 2,0	0,08	0,010
Пруток \varnothing 1,5	0,20	0,015
Пруток \varnothing 1,0	0,50	0,020
Проволока \varnothing 0,5	1,10	0,520
Фольга (пластина):		
5 × 0,25	2,20	0,750
5 × 0,50	1,20	0,400
5 × 1,00	0,50	—
10 × 0,50	1,10	0,400
30 × 0,50	1,05	0,380

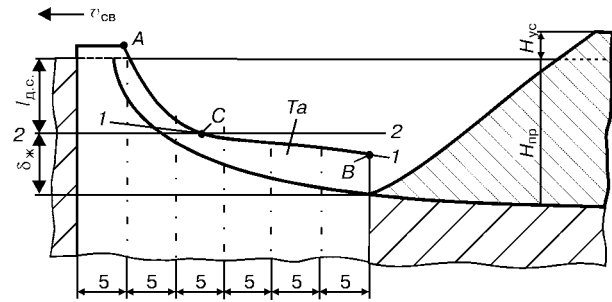


Рис. 5. Схема к оценке скрытой составляющей длины дуги (толщины прослойки жидкого металла) при дуговой наплавке (ACB — линия оплавления вставки; $H_{ус}$ — высота усиления; остальные обозначения см. в тексте)

жидким металлом и нет необходимости выполнять поперечные макрошлифы наплавки, а размеры тугоплавкой вставки в кратере можно измерить.

Предлагается применительно к сварке и наплавке под флюсом использовать тугоплавкие вставки в виде фольги значительной (например, 30 мм) протяженности вдоль оси шва. Размер вставки по высоте должен быть больше глубины проплавления металла. По этой методике вставку размещают в стыке пластин вдоль предполагаемой оси валика (шва). Когда головная часть ванны в процессе наплавки располагается в зоне тугоплавкой вставки (рис. 3), производится выплеск жидкого металла ванны, например, с помощью ударного устройства, описанного в работе [4].

Эксперименты по наплавке проволокой под флюсом показали, что толщина прослойки жидкого металла на передней стенке увеличивается по мере углубления в кратер (рис. 4). Характерно также, что при крутом фронте оплавления вставки на передней части ванны эта кромка опускается почти прямолинейно и на незначительное расстояние (на участке после точки перегиба C длиной 20... 25 мм — на 1,0... 1,5 мм) (рис. 5). Расчеты показали, что после точки перегиба укорочение вставки происходит со скоростью ее растворения жидким металлом ванны (табл. 2). Для определения значения скрытой составляющей длины дуги $l_{д.с}$ необходимо найти точку перегиба (точка C на рис. 5). Поскольку в зависимости от толщины вставки интенсивность ее растворения различна, то возможны различные углы наклона кромки этой вставки на участке, расположенном ниже уровня $l_{д.с}$. Для определения $l_{д.с}$ необходимо провести осредняющую линию $1-1$ до пересечения ее с кромкой вставки на передней стенке кратера, определив таким образом место расположения точки C . Горизонтальная линия $2-2$ соответствует самому нижнему уровню расположения активного пятна дуги на передней стенке кратера и представляет собой скрытую составляющую длины дуги $l_{д.с}$ (рис. 5). Расстояние от линии $2-2$ до самой нижней точки дна кратера является толщиной (глубиной) жидкого слоя $\delta_{ж} = H_{пр} - l_{д.с}$.

Данные о значениях $\delta_{ж}$, полученные при наплавке проволокой Св-08А диаметром 4 мм под флюсом АН-348А на пластины из стали СтЗсп толщиной 20 мм, приведены в табл. 3. Значения скрытой составляющей длины дуги $l_{д.с}$ достигают



Таблица 3. Зависимость параметров кратера ванны от режима наплавки

№ наплав- ленного валика	Диаметр проволоки, мм	Параметры режима наплавки		Параметры кратера ванны			
		I_n , А	v_n , м/ч	$H_{пр}$, мм	$l_{д.с}$, мм	$\delta_{ж}$, мм	$l_{д.с}/H_{пр}$
1	4	550...560	36	7,0	3,5	3,5	0,50
2		550...560	66	5,4	3,5	1,9	0,65
3		510...530	90	2,7	1,7	1,0	0,65
4		780...810	32	10,8	7,0	3,8	0,65
5		780...810	60	7,0	5,0	2,0	0,71
6	5	780...810	12	4,5	1,5	3,0	0,33
7		500...510	12	8,5	5,5	3,0	0,65
8		760...810	12	14,0	9,5	4,5	0,68
9		950...1000	20	6,6	4,7	1,9	0,71
10		760...810	40	5,3	3,5	1,8	0,66
11		760...810	12	6,0	1,8	4,2	0,30
12		760...810	12	13,0	11,7	1,3	0,90

Примечания: 1. $U_d = 33...35$ В. 2. Валики № 11, 12 выполнены при наплавке соответственно на спуск и подъем; угол наклона пластины к горизонту составляет 8°.

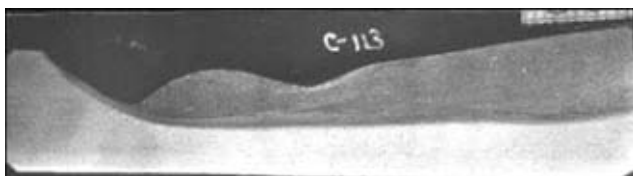


Рис. 6. Вид кратера сварочной ванны в продольном сечении при наплавке проволокой Св-08А диаметром 4 мм под флюсом АН348А на режиме $I_n = 680...700$ А; $U_d = 38...40$ В; $v_n = 72$ м/ч

примерно $(1/2...1/3)H_{пр}$. Аналогичные количественные данные получены и при наплавке под керамическим флюсом типа ЖСН-1. Исходя из всех этих данных можно сделать вывод, что состав флюса влияет на значения $\delta_{ж}$ и $l_{д.с}$ несущественно.

Для определения значения $\delta_{ж}$ под дугой можно применять, как и указано в работах [1, 2], тугоплавкие вставки круглого сечения (проволоку либо пруток). Однако в соответствии с предлагаемой методикой необходимо после прохождения электродом сечения с тугоплавкой вставкой произвести выплеск металла сварочной ванны. При этом следует измерить расстояние L от оси электрода (в момент выплеска ванны) до сечения с тугоплавкой вставкой, значения $\delta_{ж}$, а также учесть поправку на растворение тугоплавкой вставки жидким металлом ванны Δ . Тогда толщина жидкой прослойки с учетом поправки составит

$$\delta'_{ж} = \delta_{ж} + \Delta = \delta_{ж} + v_p L / v_n$$

Данные о скорости растворения вставок можно взять из табл. 2, 3.

Method for estimation of thickness of the molten metal interlayer during arc surfacing is suggested. Processes of melting (fusion) of refractory inserts of tungsten and tantalum by the welding arc, as well as their dissolution under the effect of the molten pool metal are considered. It is shown that removal of the molten pool metal during surfacing allows improvement of reliability of the data on thickness of the molten metal interlayer under the arc.

С учетом полученных в настоящей работе сведений о расплавлении дугой и растворении жидким металлом ванны тугоплавких вставок можно утверждать, что приведенные в работе [6] данные о распределении толщины прослойки жидкого металла на передней стенке кратера ванны представляются заниженными, поскольку получены по методике, при которой не осуществлялся выплеск сварочной ванны и тугоплавкая вставка подвергалась растворению жидким металлом ванны.

Представленные в настоящей работе данные о существенных значениях скрытой составляющей длины дуги $l_{д.с}$ качественно подтверждаются наличием лунки, наблюдаемой в зоне дуги (рис. 6),

когда в процессе экспериментальной наплавки под флюсом осуществляется быстрое перемещение (ударом) электрода в направлении, перпендикулярном направлению наплавки.

Выводы

1. Учет процессов оплавления тугоплавких вставок сварочной дугой и растворения их жидким металлом сварочной ванны позволил повысить достоверность экспериментальных данных о толщине прослойки жидкого металла под дугой при наплавке под флюсом.
2. При дуговой наплавке под флюсом значения скрытой составляющей длины дуги значительны и составляют приблизительно $1/2...1/3 H_{пр}$ основного металла.

1. Чернышов Г. Г., Рыбачук А. М. О толщине жидкой прослойки под дугой // Технология и автоматизация процессов сварки и пайки. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 67–73.
2. А. с. 1625629 (СССР), МПК В 23 К 2800. Способ исследования процесса проплавления металла / А. Н. Корниенко, Я. А. Романенко. — Опубл. 02.03.85; Бюл. № 5.
3. Лецинский Л. К., Павлов И. В. Толщина жидкой прослойки под дугой при наплавке ленточным электродом и проволокой // Автомат. сварка. — 1975. — № 3. — С. 75–76.
4. Размышляев А. Д. Исследование скорости движения жидкого металла в сварочной ванне при дуговой наплавке под флюсом // Свароч. пр-во. — 1979. — № 9. — С. 3–5.
5. Размышляев А. Д. Методика для определения толщины жидкой прослойки под дугой при сварке. — Мариуполь, 1990. — 10 с. — Деп. в УкрНИИНТИ.
6. Размышляев А. Д., Лецинский Л. К., Нестеренко К. Л. Распределение толщины прослойки жидкого металла по длине кратера сварочной ванны // Автомат. сварка. — 1975. — № 12. — С. 62–63.

Поступила в редакцию 02.12.2002, в окончательном варианте 03.02.2003