



ТЕМПЕРАТУРА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ СВАРОЧНОЙ ВАННЫ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ

П. В. ГЛАДКИЙ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. В. ПАВЛЕНКО, д-р-инж. (Делоро Стеллит ГмбХ, Германия),
Е. Ф. ПЕРЕПЛЕТЧИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты экспериментального исследования температуры, массы, размеров сварочной ванны и наплавленного слоя при плазменно-порошковой и аргонодуговой наплавке плавящимся электродом.

Ключевые слова: плазменная наплавка, присадочный порошок, сварочная ванна, температура ванны, форма и размеры ванны, плазменно-порошковая наплавка, аргонодуговая наплавка

Знание теплового состояния, формы и размеров ванны жидкого металла при дуговой и плазменной наплавке позволяют управлять формированием слоев заданных размеров, а также структурой и свойствами наплавленного металла.

Вопросам изучения теплового состояния и геометрических размеров ванны жидкого металла при различных способах сварки и наплавки посвящено много публикаций [1–7], однако сведений, характеризующих стадию ванны при плазменной наплавке с подачей в дугу присадочного порошка, недостаточно. В то же время этот процесс выгодно отличается от большинства других процессов наплавки (сварки) возможностью независимой подачи в ванну присадочного порошка, теплосодержание и количество которого можно регулировать в широких пределах [8].

В настоящей работе для исследования размеров и средней температуры ванны при плазменно-порошковой наплавке используется методика принудительного выплескивания металла ванны в калориметр в процессе наплавки и модернизированное устройство [9, 10] для ее реализации (рис. 1). При выполнении эксперимента платформу 5 с образцом 3 предварительно устанавливают в рабочее (горизонтальное) положение. Наплавку производят от середины к краю образца. После наплавки валика определенной длины платформа с образцом освобождается от защелки 8, закрепленной на раме 1, и под действием пружины 7 с большой скоростью поворачивается вокруг оси и ударяется о неподвижный упор 6. Во время поворота платформы и частично при ударе жидкий металл ванны под действием сил инерции выплескивается и попадает в калориметр 2. Дуга обрывается при повороте платформы, плазматрон 4 остается неподвижным. Время переноса металла

ванны с пластины в калориметр составляет 0,08...0,13 с.

Измерительная система установки, методика определения теплосодержания и средней температуры металла ванны, попавшего в калориметр, аналогичны использованным при калориметрировании присадочного порошка в работе [8]. Размеры сварочной ванны оценивали по кратеру, получаемому при выплескивании жидкого металла. При этом не весь металл попадает в калориметр, часть остается на поверхности образца в виде напыля. С учетом теплосодержания напыля средняя температура сварочной ванны

$$T_B = \frac{m_K T_K + m_H T_H}{m_K + m_H}, \quad (1)$$

где m_H , T_H , m_K , T_K — соответственно масса и температура напыля и металла, попавшего в калориметр.

Температуру напыля определяли для каждого эксперимента расчетным путем на основании следующих предположений. Если напыль на стенах кратера очень мал, то его температура близка к температуре плавления. С другой стороны, если

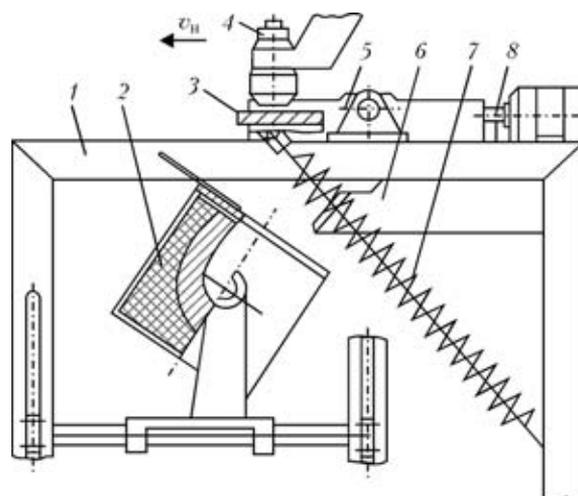


Рис. 1. Схема установки для исследования размеров и средней температуры сварочной ванны (обозначение см. в тексте)



бы весь металл сварочной ванны остался на образце (в наплыве), то температура наплыва была бы равна температуре ванны. Зависимость температуры наплыва от его массы принята линейной:

$$\frac{T_H}{T_{пл}} = \left(\frac{T_B}{T_{пл}} - 1 \right) \frac{m_H}{m_B} + 1, \quad (2)$$

где m_B — масса сварочной ванны, которая приближенно определяется как

$$m_B = m_K + m_H. \quad (3)$$

При расчете погрешности измерения энтальпии и средней температуры ванны учтены потери тепла в результате конвекции и радиации при переносе металла ванны в калориметр; переход тепла из ванны в основной металл при повороте платформы с образцом; тепло, аккумулированное в слое металла ванны, оставшемся на стенках кратера; количество тепла, неизмеренное калориметром из-за нагрева последнего в ходе эксперимента. Потери тепла в результате конвекции и радиации, которые оценивали по методике [9], составили соответственно 2,1 и 1,7 Дж/г. Количество тепла, передаваемого жидкой ванной основному металлу за время поворота платформы с образцом, рассчитанное по уравнению теплопроводности Фурье, равно 5,7 Дж/г. Учет тепла, аккумулированного в слое невыпеснутого металла ванны,

понижает значение удельного теплосодержания металла ванны на 4 Дж/г. Количество тепла, неизмеренное калориметром из-за повышения температуры последнего в процессе эксперимента, составило в среднем 0,2 Дж/г. Погрешность определения средней температуры ванны составила ± 24 К, массы ванны $\pm 0,4$ г.

Исследовали влияние тока дуги I , расхода порошка при плазменной наплавке G_p , расхода электродной проволоки при аргонодуговой наплавке G_s , грануляции порошка d_p , скорости наплавки v_H , размаха A и частоты колебаний f плазмотрона на среднюю температуру металла ванны T_B , массу m_B и длину L ванны, ширину наплавленного валика B , глубину h и площадь проплавления F_0 , высоту наплавленного валика H , площадь зеркала ванны в плане F_3 .

С целью исключения влияния перемешивания основного и присадочного материалов при наплавке на свойства жидкого металла ванны использовали основной металл и присадочный порошок близких химических составов, соответствующих марке стали 10X18H10T.

Анализ результатов измерений показывает, что размеры, масса и средняя температура ванны при плазменной наплавке с присадкой порошка существенно меньше, чем при аргонодуговой наплавке плавящимся электродом (рис. 2–4). Поскольку сравнение проведено на сопоставимых режимах (по мощности дуги и производительности подачи присадочного материала), имеющееся различие в значительной мере связано с тепловым состоянием присадочного материала, попадающего в сварочную ванну.

При плазменной наплавке с возрастанием тока (а значит и эффективной тепловой мощности дуги) сварочная ванна, ее теплосодержание и средняя температура увеличиваются.

С возрастанием скорости перемещения плазмотрона, что эквивалентно уменьшению погонной энергии, средняя температура ванны повышается,

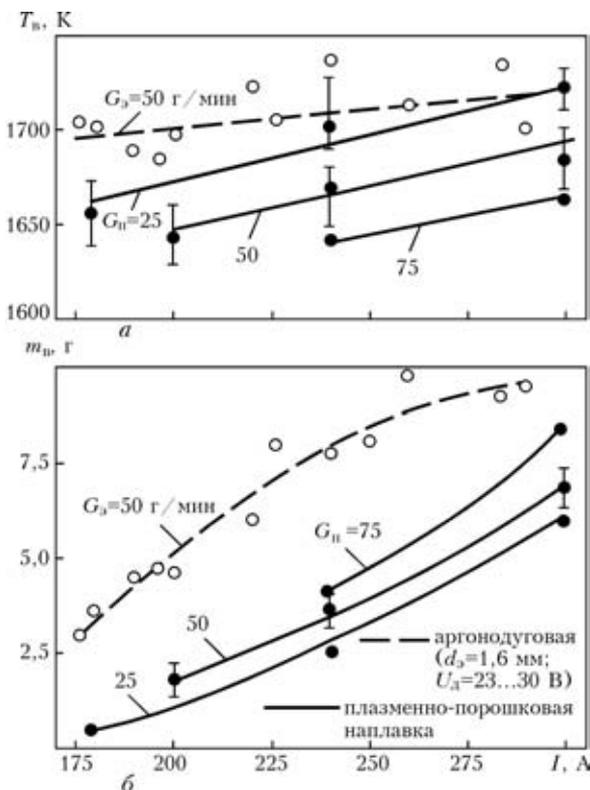


Рис. 2. Средняя температура (а) и масса (б) ванны при плазменно-порошковой и аргонодуговой наплавке плавящимся электродом

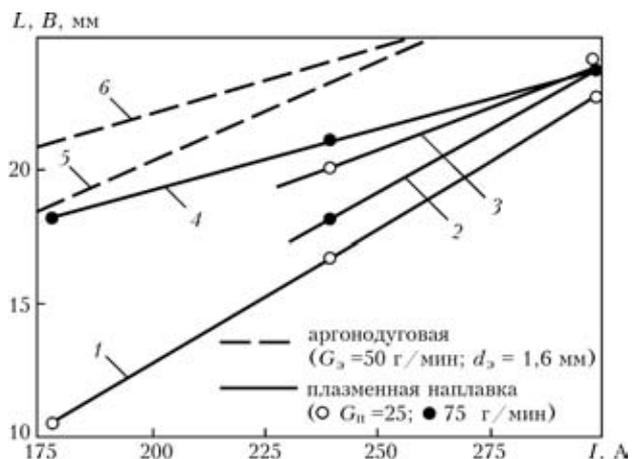


Рис. 3. Влияние силы тока на длину сварочной ванны L (1, 2) и ширину наплавленного валика B (3...5)

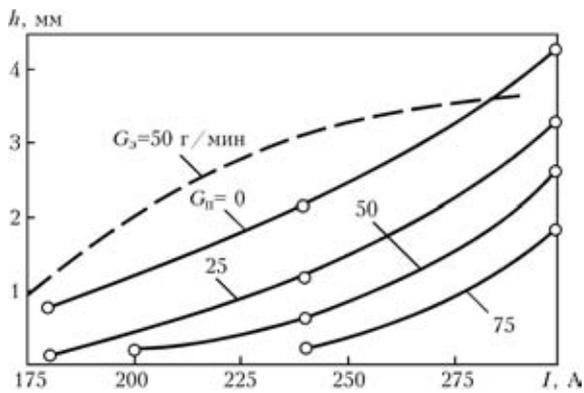


Рис. 4. Зависимость глубины проплавления основного металла от тока наплавки при плазменной (сплошная) и аргонодуговой наплавке плавящимся электродом (штриховая кривая)

а ее масса и размеры становятся меньше (в основном за счет хвостовой части) (рис. 5, 6). При увеличении размаха поперечных колебаний плазмотрона средняя температура ванны остается практически постоянной, ширина валика резко увеличивается, с той же интенсивностью уменьшается длина ванны (рис. 7), а площадь зеркала ванны и глубина проплавления основного металла изменяются мало. Увеличение частоты колебаний плазмотрона приводит к усилению перемешивания жидкого металла и, как следствие, возрастанию конвективной теплоотдачи ванны. С повышением частоты ее температура несколько снижается, уменьшается глубина проплавления основного металла, остальные размеры ванны почти не изменяются.

Увеличение расхода присадочного порошка влияет на различные параметры ванны неоднозначно (рис. 4, 8) — масса ванны при этом увеличивается, ее длина и ширина остаются практически неизменными, глубина проплавления и средняя температура сварочной ванны снижаются. Общее теплосодержание ванны жидкого металла увеличивается в результате более полного использования тепловой мощности дуги.

На рис. 9 показана зависимость температуры и размеров ванны от гранулометрического состава присадочного порошка. При увеличении среднего диаметра частиц порошка средняя температура ванны снижается. Незначительно уменьшается масса ванны и существенно глубина проплавления

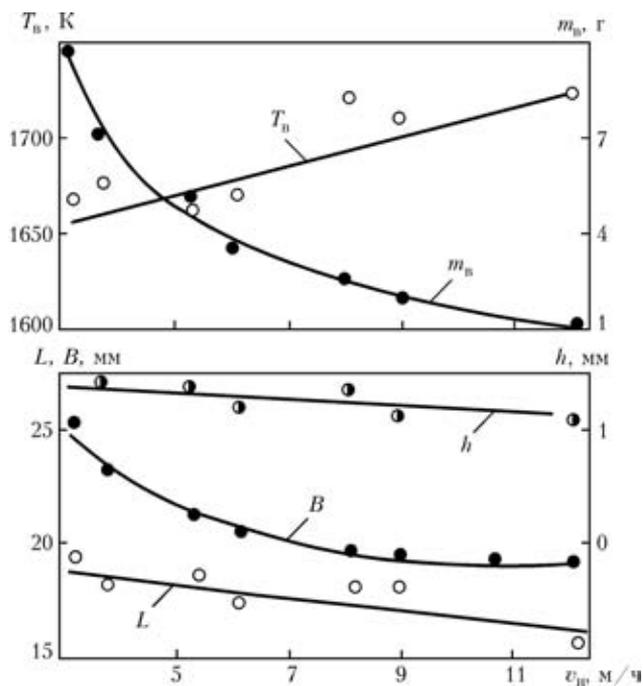


Рис. 5. Влияние скорости плазменной наплавки на характеристики сварочной ванны и основного металла

основного металла. Полученные результаты однозначно связаны с уменьшением нагрева порошка в дуге.

В целом в исследованном диапазоне параметров режима наплавки порошком стали 10X18H10T зафиксировано относительно небольшое изменение средней температуры сварочной ванны в пределах 1640...1770 К, что составляет примерно $(1,01...1,08)T_{пл}$ присадочного порошка или в среднем $1,05T_{пл}$.

При сопоставлении результатов ранее проведенных исследований нагрева порошка в дуге [8, 11] и данных настоящих исследований установлена корреляция теплового состояния присадочного порошка и параметров ванны. Снижение температуры частиц присадочного порошка, а также увеличение подачи в ванну порошка, нагретого ниже ее температуры, приводят к снижению перегрева жидкого металла и уменьшению проплавления основного металла. Таким образом, возможность регулирования нагрева порошка при плазменной наплавке создает предпосылки управле-

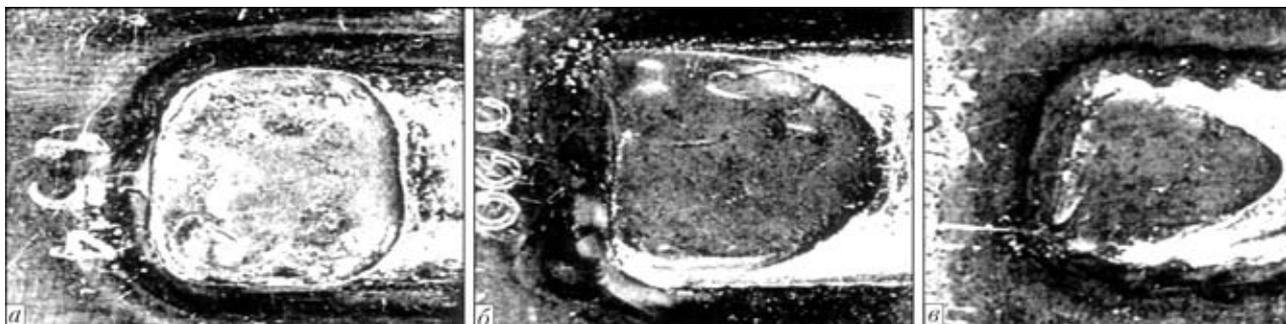


Рис. 6. Форма ванны при различной скорости плазменной наплавки: а — 3,8; б — 6,1; в — 12,1 м/ч

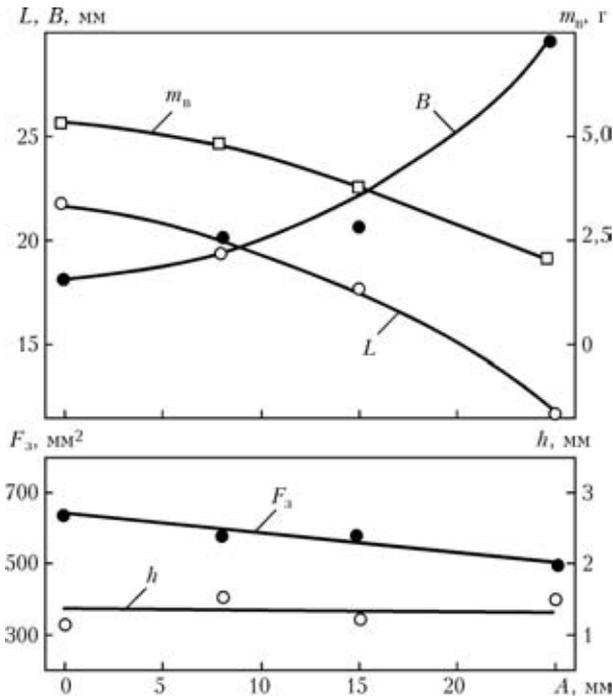


Рис. 7. Влияние размаха колебаний плазматрона A на характеристики сварочной ванны и основного металла

ния формой и размерами ванны, кристаллизацией наплавленного слоя.

Как указывалось выше, главной особенностью плазменно-порошковой наплавки является введение в сварочную ванну присадочного металла в виде порошка с диаметром частиц 80...300 мкм. Мелкие фракции, пролетая через плазменную дугу, расплавляются, а крупные успевают нагреться до температуры в несколько сот градусов и попадают в сварочную ванну в твердом состоянии. В головной части ванны под действием тепла

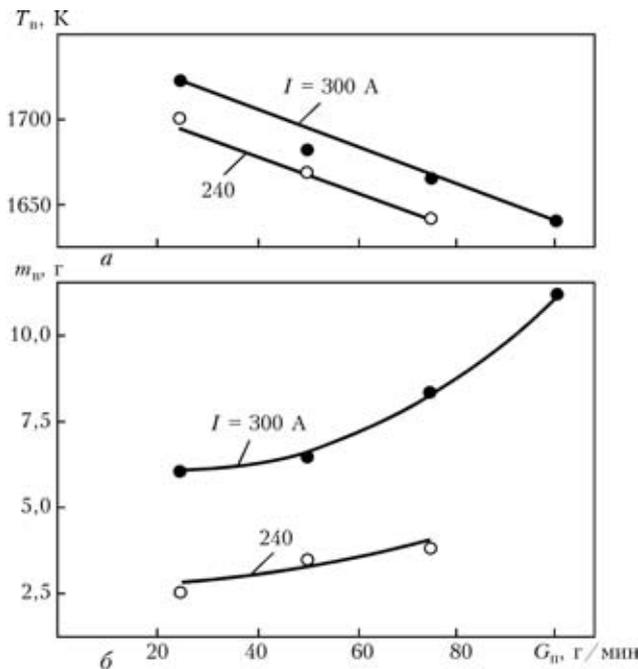


Рис. 8. Средняя температура (а) и масса ванны (б) при различных производительностях и токах плазменной наплавки

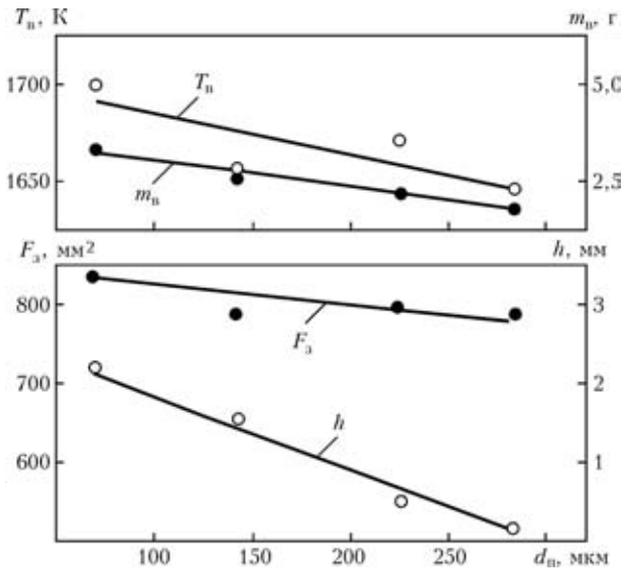


Рис. 9. Влияние грануляции присадочного порошка на характеристики сварочной ванны и основного металла

плазменной дуги они плавятся, а в хвостовой ускоряют охлаждение, действуя как микроохлаждающие. В этом случае наблюдается подстуживание ванны — уменьшается ее средняя температура и, что весьма важно, глубина проплавления основного металла. Нерасплавившиеся крупные частицы могут становиться дополнительными центрами кристаллизации. На практике в закристаллизованном слое нерасплавившиеся частицы присадочного металла наблюдаются крайне редко (рис. 10).

Степень воздействия частиц присадочного материала на микроструктуру наплавленного металла должна зависеть от размеров (массы) частиц, их формы и температуры нагрева, а также доли крупных фракций в порошке. Влияние последних аналогично действию дополнительной присадки в форме крупки или гранул, вводимых в сварочную ванну при дуговой сварке под флюсом и других процессах [12, 13].

Образование дополнительных центров кристаллизации измельчает структуру и придает ей разориентированный характер, что может способ-

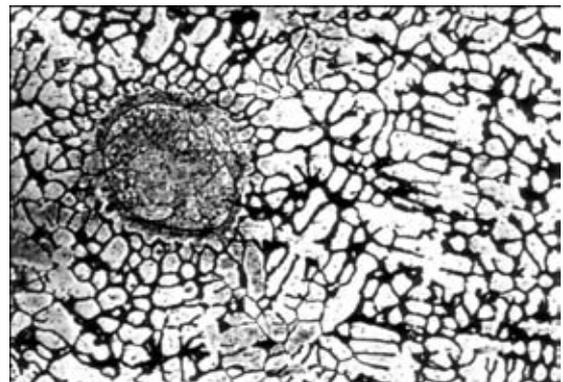


Рис. 10. Микроструктура металла, наплавленного порошком 10X18H10T (видна крупная нерасплавившаяся частица порошка), $\times 250$



ствовать улучшению эксплуатационных свойств наплавленного металла.

Выводы

1. Средняя температура сварочной ванны зависит от тока дуги, скорости наплавки, размеров частиц и скорости подачи присадочного порошка. С достаточной для расчетов точностью в среднем ее можно принять равной $1,05T_{пл}$ порошка.

2. Значения основных геометрических и тепловых параметров ванны жидкого металла при плазменной наплавке с подачей присадочного порошка существенно меньше аналогичных значений, характеризующих ванну при аргонодуговой наплавке плавящимся электродом.

3. Основное влияние на глубину проплавления основного металла оказывает ток дуги, размеры частиц и расход присадочного порошка. Меньшее по сравнению с другими способами проплавление основного металла обеспечивается в результате охлаждения головной части ванны расплавляющимся в ней порошком.

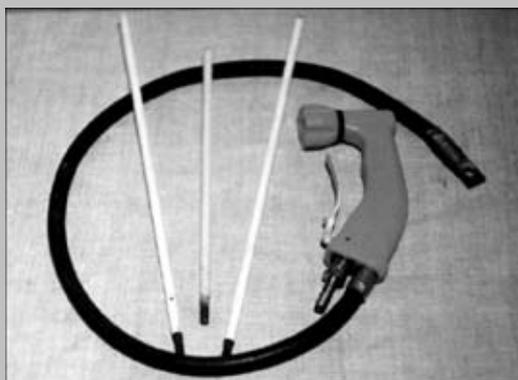
1. Фрумин И. И., Походня И. К. Исследование средней температуры сварочной ванны // Автомат. сварка. — 1955. — № 4. — С. 13–30.
2. Температурный режим сварочной ванны / Н. И. Коперсак, А. М. Сливинский, В. М. Духно, Ю. Н. Каховский // Там же. — 1973. — № 7. — С. 1–3.
3. Влияние предварительного подогрева металла на температуру сварочной ванны / Н. И. Коперсак, А. М. Сливин-

The paper presents the results of an experimental study of temperature, mass, and dimensions of the weld pool and deposited layer in plasma-powder and argon-arc consumable electrode surfacing

- ский, В. М. Духно, Ю. Н. Каховский // Там же. — 1974. — № 11. — С. 9–11.
4. Ерохин А. А. Температурное поле ванны жидкого металла при дуговом нагреве // Свароч. пр-во. — 1982. — № 2. — С. 16–17.
5. Добровольский И. П. Температурное поле ванны при дуговом нагреве // Физ. и химия обработки материалов. — 1982. — № 5. — С. 49–52.
6. Дмитрик В. В. Разработка метода определения температурного режима расплава ванны // Изв.вузов. Машиностроение. — 1999. — № 1. — С. 76–80.
7. Размышляев А. Д. Расчетная оценка влияния конвекции жидкого металла на размеры сварочной ванны при дуговой наплавке // Автомат. сварка. — 1999. — № 8. — С. 22–24.
8. Павленко А. В., Гладкий П. В. Особенности нагрева присадочного порошка в дуге при плазменной наплавке // Там же. — 1990. — № 1. — С. 33–37.
9. Экспериментальное исследование температурного режима сварочной ванны / В. М. Духно, А. М. Сливинский, С. М. Гетманец, В. Т. Котик // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Сер. Машиностроение. — 1975. — № 12. — С. 107–109.
10. А. с. 472263 СССР, МКИ G 01 K 7/02. Устройство для определения средней температуры металла в сварочной ванне / В. М. Духно, А. М. Сливинский, В. Т. Котик, С. М. Гетманец. — Заявл. 04.06.73; Бюл. № 20.
11. Гладкий П. В., Павленко А. В., Зельниченко А. Т. Математическое моделирование нагрева порошка в дуге при плазменной наплавке // Автомат. сварка. — 1989. — № 11. — С. 17–21, 54.
12. Ивочкин И. И. Подавление роста столбчатых кристаллов методом «замораживания» сварочной ванны // Свароч. пр-во. — 1965. — № 12. — С. 1–3.
13. Ивочкин И. И., Малышев Б. Д. Сварка под флюсом с дополнительной присадкой. — М.: Стройиздат, 1981. — 175 с.

Поступила в редакцию 11.01.2006

ЭЛЕКТРОДЫ АНР-Т8 ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ЭЛЕКТРОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ



Применяются для электрокислородной резки под водой металлоконструкций из конструкционных сталей толщиной до 40 мм на глубине до 60 м. Обеспечивают производительность не менее 300...350 мм реза одним электродом листовой стали толщиной 14 мм. Время горения одного электрода ≈ 1,5 мин, масса электрода ≈ 180 г. Расход кислорода — 0,20...0,25 м³/пог. м.

Применение. Используются при расчистке русел рек от затонувших кораблей, при ремонте шпунтовых стенок, судоподъеме, выполнении аварийно-спасательных операций и для других работ.

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
 Отд. № 18, Максимов Сергей Юрьевич
 Тел./факс: (38044) 287 31 84
 E-mail: maksimov@paton.kiev.ua