

ПОРИСТОСТЬ В МЕТАЛЛЕ, НАПЛАВЛЕННОМ ОТКРЫТОЙ ДУГОЙ ПРОВОЛОКОЙ БрКМц3-1

А.М. Осипов, П.А. Норин

POROSITY IN METAL DEPOSITED BY BrKMts3-1 OPEN ARC WIRE

A.M. Osipov, P.A. Norin

Представлены материалы по образованию пор в металле при наплавке ручной и механизированной сваркой открытой дугой проволокой марки БрКМц3-1. Определены зависимости влияния предварительного подогрева деталей на количество пор в наплавленном металле. Установлено, что при сварке меди и ее сплавов образование пор связано с водородом и кислородом. Определены равновесные концентрации кислорода и водорода в жидком металле (бронзе) при температуре $T = 1473$ К.

Ключевые слова: пористость, наплавка, открытая дуга.

The paper presents data on formation of pores in metal during surfacing by manual and mechanized open arc welding with the BrKMts3-1 grade wire. Dependence of preheating of parts on the quantity of pores in weld metal is determined. It is established that formation of pores in welding of copper and its alloys is connected with hydrogen and oxygen. Equilibrium concentrations of oxygen and hydrogen in liquid metal (bronze) at temperature $T = 1473$ K are defined.

Keywords: porosity, surfacing, open arc.

Рассматривается образование пор в металле, наплавленном ручной и механизированной наплавкой открытой дугой проволокой марки БрКМц3-1. Для исследования образования пор производилась наплавка отдельных и уширенных (с колебаниями) валиков без подогрева и с подогревом пластины из стали Ст3 до 200 °С. Режимы наплавки и результаты исследования пористости приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что при наплавке одиночных и уширенных валиков без подогрева и с подогревом образцов до 200 °С образуются крупные поры, которые располагаются у наружной поверхности наплавленного валика. При подогреве об-

разца перед наплавкой количество пор в наплавленном металле уменьшается.

При наплавке открытой дугой в газовой фазе дуги присутствуют пары воды. Пары воды в зоне дуги диссоциируют с образованием водорода и кислорода. Известно [1–3 и др.], что при сварке меди и ее сплавов образование пористости в наплавленном металле связывают с водородом и кислородом. При этом, как отмечается в работах [1, 2 и др.], каждый газ в отдельности не вызывает пористости, а только их совместное действие.

Для определения возможности образования пор за счет совместного взаимодействия кислорода и водорода при наплавке открытой дугой про-

Таблица 1
Пористость в наплавленном металле при наплавке открытой дугой проволокой БрКМц3-1

Способ наплавки	d_s , мм	Тип валика	Температура подогрева образца, °С	Наличие пор
Ручной	4,0	Одиночный	Без подогрева	У наружной поверхности
Ручной	4,0	Уширенный	Без подогрева	У наружной поверхности
Ручной	4,0	Одиночный	200	У наружной поверхности
Ручной	4,0	Уширенный	200	У наружной поверхности
Механизированный	1,8	Одиночный	Без подогрева	У наружной поверхности
Механизированный	1,8	Уширенный	Без подогрева	У наружной поверхности
Механизированный	1,8	Одиночный	200	У наружной поверхности
Механизированный	1,8	Уширенный	200	У наружной поверхности

Примечание. Режим наплавки: $I_d = 100 \dots 210$ А, $U_d = 24 \dots 25$ В; $V_n = 0,3$ см/с.

Таблица 2
Содержание остаточного водорода в металле при наплавке открытой дугой проволокой марки БрКМц3-1

Способ наплавки	d_3 , мм	Тип валика	Содержание водорода, $\text{см}^3/100 \text{ г}$
Ручной	4,0	Одиночный	4,1
Ручной	4,0	Уширенный	3,8
Механизированный	1,8	Одиночный	4,5
Механизированный	1,8	Уширенный	4,3

Примечание. Режим наплавки: $I_d = 100 \dots 250 \text{ А}$, $U_d = 23 \dots 25 \text{ В}$; $V_n = 0,3 \text{ см/с}$, без подогрева.

волокой марки БрКМц3-1 и в атмосфере рассмотрим реакцию



Для этой реакции [3]

$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \lg C_{[\text{H}]} + \lg C_{[\text{O}]} - 0,26 + 13\,460, \quad (2)$$

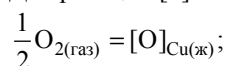
где $C_{[\text{H}]}$, $C_{[\text{O}]}$ – атомные проценты водорода и кислорода в металле.

Для реакции [1]:

$$\frac{1}{2} \text{H}_{2(\text{газ})} = [\text{H}]_{\text{Cu}(\text{ж})}; \quad (3)$$

$$\lg C_{[\text{H}]} = \frac{1}{2} \lg P_{\text{H}_2} - 1,29 - \frac{2270}{T}. \quad (4)$$

Для реакции [3]:



$$\lg C_{[\text{O}]} = \frac{1}{2} \lg P_{\text{O}_2} - 1,46 + \frac{3953}{T}. \quad (5)$$

Для перехода от атомных процентов к весовым процентам:

$$C_{[\text{H}]} = [\text{H}\%] \frac{A_{\text{Cu}}}{100}; \quad (6)$$

$$C_{[\text{O}]} = [\text{O}\%] \frac{A_{\text{Cu}}}{100}. \quad (7)$$

С учетом $A_{\text{Cu}} = 63,54$

$$2 \lg C_{[\text{H}]} = 2 \lg [\text{H}\%] - 0,394; \quad (8)$$

$$C_{[\text{O}]} = \lg [\text{O}\%] - 0,197. \quad (9)$$

Подставляя значения $\lg C_{[\text{H}]}$ и $\lg C_{[\text{O}]}$ в уравнение (2), получим уравнение для определения равновесных концентраций водорода и кислорода для реакции (2):

$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \lg [\text{H}\%] + \lg [\text{O}\%] - 0,851 + \frac{13\,460}{T}. \quad (10)$$

Для определения равновесных концентраций водорода и кислорода необходимо определить насыщенную влажность при температуре воздуха $T = 298 \text{ К}$.

Для реакции [3]:

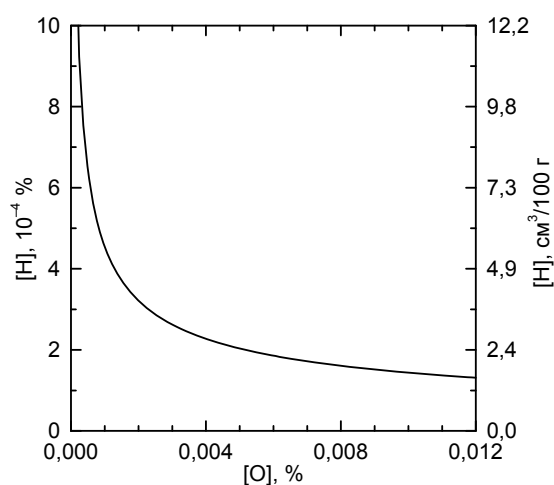


$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нас}} = \frac{\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исп}}}{4,575T} + C. \quad (12)$$

При температуре воздуха 218 К $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{исп}} = 539 \text{ кал/г}$ (9700 кал/моль). Тогда

$$\lg P_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{нас}} = \frac{2120}{4,575T} + C. \quad (13)$$

Постоянную интегрирования определим из граничных условий при температуре воздуха $T = 373 \text{ К}$ и $P_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ атм}$. Тогда $C = 5,68$. При температуре воздуха $T = 298 \text{ К}$ $\lg P_{\text{H}_2\text{O}} = -1,434$ и $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,037 \approx 0,04 \text{ атм}$.



Равновесное содержание кислорода и водорода в меди при $T = 1473 \text{ К}$ и $P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,04 \text{ атм}$

На рисунке приведены расчетные равновесные концентрации водорода и кислорода в жидкой меди (бронзе) при $T = 1473 \text{ К}$ (10). Сравнивая концентрацию кислорода в меди (бронзе) при наплавке открытой дугой $[\text{O}] = 0,01$ с содержанием остаточного водорода, определенного методом вакуумплавки на эскалографе ЕА-1 (табл. 2), видно, что концентрация водорода при содержании кислорода в наплавленном металле $0,01 \%$ находится выше равновесного значения. Следовательно, будет происходить выделение водорода из расплавленного металла и образование пористости.

Литература

1. Гуревич, С.М. Справочник по сварке цветных металлов / С.М. Гуревич. – Киев: Наукова думка, 1981. – 508 с.
2. Теоретические основы сварки / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1967. – 598 с.
3. Фром, Е. Газы и углерод в металлах / Е. Фром, Т.Е. Гебхард. – М.: Металлургия, 1980. – 230 с.

Поступила в редакцию 24 января 2012 г.