



## СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОСТЬЮ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ШЛАКОВЫХ РАСПЛАВАХ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

И. А. ГОНЧАРОВ<sup>1</sup>, В. И. ГАЛИНИЧ<sup>1</sup>, Д. Д. МИЩЕНКО<sup>1</sup>, Р. Н. ШЕВЧУК<sup>1</sup>,  
А. Н. ДУЧЕНКО<sup>1</sup>, В. С. СУДАВЦОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11, E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup> Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины.  
03142, г. Киев, ул. Кржижановского, 3. E-mail: post@ipms.kiev.ua

Оксид кремния входит в состав флюсов для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Для прогнозирования металлургических и сварочно-технологических свойств флюсов важно знать его активность в шлаковом расплаве. Целью данной работы является разработка методики экспрессной оценки активности (эффективной концентрации) оксида кремния  $\text{SiO}_2$  в шлаковых расплавах и определение способов управления ею. Разработана конструкция оригинального электролитического датчика. Применение в качестве второго электрода сплава, содержащего 5 мас. % силиция, позволило повысить термостойкость датчика до температуры 1500 °С. С использованием разработанного датчика предложена методика определения активности  $\text{SiO}_2$  в шлаковых расплавах методом электродвижущих сил, которая обеспечивает точность измерения электродвижущих сил в пределах 1...2 мВ. Данная методика может быть применима в металлургии непосредственно в процессе плавки, а также при разработке сварочных материалов. Установлено, что увеличение содержания  $\text{MgO}$  в шлаковом расплаве системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$  вызывает снижение активности оксида кремния, что можно объяснить образованием тугоплавких и термодинамически стабильных силикатов и алюминатов магния. Определено влияние добавок (1 мас. %) металлов на активность  $\text{SiO}_2$  в расплавах системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$ . Показана возможность управления термодинамической активностью оксида кремния в шлаках при сварке и соответственно процессами восстановления кремния и образования неметаллических включений в сварных швах. Библиогр. 5, табл. 3, рис. 1.

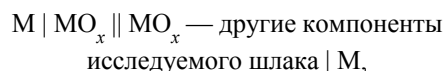
*Ключевые слова:* дуговая сварка, высокопрочные стали, шлаковые расплавы, термодинамические свойства, активность  $\text{SiO}_2$ , электролитический датчик, способы управления

Оксидные и оксидно-фторидные расплавы широко применяются в металлургии и сварке. Для прогнозирования металлургических и технологических свойств шлаков в расплавленном состоянии важно знать их термодинамические свойства, в частности активность компонентов шлаковых расплавов. Основным компонентом, входящим в состав флюсов для сварки углеродистых и низколегированных сталей, является оксид кремния. Именно он определяет степень полимеризации расплава и соответственно его структурно-зависимые свойства. Комплекс этих свойств определяет технологические параметры флюсов в процессе сварки. В то же время присутствие оксида кремния в составе флюса является причиной протекания при сварке целого ряда окислительно-восстановительных реакций: восстановления кремния и образования силикатных неметаллических включений — нежелательных с точки зрения получения оптимальных микроструктур и механических свойств при сварке современных низколегированных высокопрочных сталей. Современные сварочные материалы являются, как правило, сложными многокомпонентными систе-

мами. Кроме того, на активность компонентов шлакового расплава при сварке влияют не только компоненты расплава, но и входящие в состав стали, проволоки и флюса металлы.

Целью данной работы является разработка методики экспрессной оценки активности (эффективной концентрации) оксида кремния  $\text{SiO}_2$  в шлаковых расплавах и определение способов управления ею.

Наиболее точным методом определения активностей компонентов в сплавах является метод электродвижущих сил (ЭДС) [1]. Суть его заключается в том, что для исследования активности одного из компонентов оксидных систем создается концентрационный элемент без переноса ионов вида



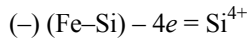
где  $\text{M}$ ,  $\text{MO}_x$  — металл и низший оксид этого металла. Концентрационный элемент для измерения активности оксида кремния  $\text{SiO}_2$  в расплаве системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$  [2] схематично записывается так:



(+) (Fe-Si) | SiO<sub>2</sub> || MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> | (Fe-Si) (-),

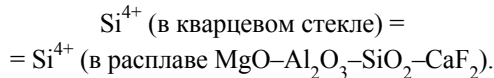
где (-), (+) — отрицательный и положительный полюсы.

При работе этого концентрационного элемента на электродах протекают следующие процессы:



(в расплаве MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>) + Fe,  
(+) Si<sup>4+</sup> (в кварцевом стекле) + 4e = (Fe-Si).

Общий процесс:



Активность SiO<sub>2</sub> рассчитывали по известному уравнению

$$E = RT/4F \ln a_{SiO_2}^{фл} / a_{SiO_2}^{пл},$$

где  $E$  — ЭДС концентрационного элемента;  $R$  — газовая постоянная;  $a_{SiO_2}$ ,  $a_{SiO_2}^{фл}$  — активности оксида кремния SiO<sub>2</sub> соответственно в кварцевом стекле и жидком флюсе системы MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>.

При  $T = 1673$  К  $E = -0,036 \ln a_{SiO_2}^{фл}$ , откуда  $a_{SiO_2}^{фл} = e^{-E/0,036}$ .

Такую ячейку можно изготовить следующим образом. В графитовом блоке высверливают два углубления для электрода Fe-Si (ферросилиций). Снизу или сбоку подводят токоотводы из вольфрама. Ячейку в таком виде нагревают до 1500 °С в инертной атмосфере и выдерживают 30...60 мин. Расплавленный ферросилиций будет иметь хороший контакт с токоотводами и стенками углублений. После этого на поверхность одного электрода Fe-Si засыпают кварцевое стекло, а на поверхность другого — исследуемый шлак. Определение активности SiO<sub>2</sub> с помощью такой методики является сложной задачей. Кроме того, во время опыта происходит взаимодействие оксидов и Fe-Si с графитом. В связи с этим возникает необходимость его замены на другие, более инертные материалы такие, как алюминитрид бора.

Поэтому была поставлена задача создания оригинального электролитического датчика для экспрессного определения активности SiO<sub>2</sub> в оксидных и оксидно-фторидных расплавах. Были изготовлены специальные электроды, которые вначале в качестве кремнийсодержащей составляющей имели чистый Si, SiC или MoSi<sub>2</sub>. В специальных опытах установлено, что на поверхностях SiC и MoSi<sub>2</sub> медленно образуется двойной электрический слой, так как кремний прочно связан с другими атомами — углерода или молибдена. Датчик с электродом из чистого кремния в ка-

честве металлической составляющей позволял проводить измерения лишь до 1400 °С. Поэтому на основе диаграммы состояния системы Fe-Si нами был подобран сплав, содержащий 5 мас. % Si и плавящийся при температуре 1500 °С, а также изготовлены ферросилицийсодержащие электроды по технологии, описанной ниже. Мелко измельченный силиций смешивали с порошкообразным карбонильным железом марки ОСЧ, засыпали в кварцевую ампулу диаметром 5 мм и длиной 4 см. Потом в эту смесь вставляли вольфрамовый пруток длиной 40...50 см. Для более качественного контакта между вольфрамовым прутком и сплавом, повышения прочности стыка зафиксировали замазкой из оксида алюминия и жидкого стекла. Второй электрод концентрационного элемента представлял собой стержень из ферросилиция (5 мас. % Si), прикрепленный к вольфрамовому токоотводу тонким молибденовым проводом. Для этого в верхней части электрода алмазным кругом прорезали канавку, куда вставляли вольфрамовый провод диаметром 1 мм, крепящийся тонким молибденовым проводом. Место стыка замазывали смесью порошкообразного оксида алюминия с жидким стеклом. Вольфрамовые токоотводы изолировали, зачекляя их в фарфоровые трубки. Электроды изолировали один от другого корундовой пластиной и связывали молибденовым проводом. Схема концентрационного элемента, который использовали для экспрессного определения активности SiO<sub>2</sub> в оксидных и оксидно-фторидных расплавах приведена на рисунке.

Исследуемый шлак (масса 8 г) засыпали в корундовый круглодонный тигель, который помещали в печь Таммана. После нагрева до 1400 °С его выдерживали 3...5 мин при этой температуре (для гомогенизации). Затем в расплав медленно погружали два электрода, описанных выше. После прогревания электродов до заданной температуры значение ЭДС сохранялось постоянным в пределах 1...2 мВ.

Проверку точности и корректности разработанной методики проводили на шлаках системы CaO-SiO<sub>2</sub>, ранее хорошо изученной. Оказалось, что определенные нами активности SiO<sub>2</sub> в пределах погрешностей эксперимента согласуются с литературными данными [2]. Это дало основание перейти к определению активности оксида кремния SiO<sub>2</sub> в модельных шлаках системы MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>, к которой относится целый ряд флюсов для сварки низколегированных высокопрочных сталей. Разработанная методика была использована для исследования зависимости влияния MgO на активность SiO<sub>2</sub>. Полученные результаты приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что введение MgO в шлаки системы MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> обуславливает существенное снижение активности оксида кремния. Это можно объяснить

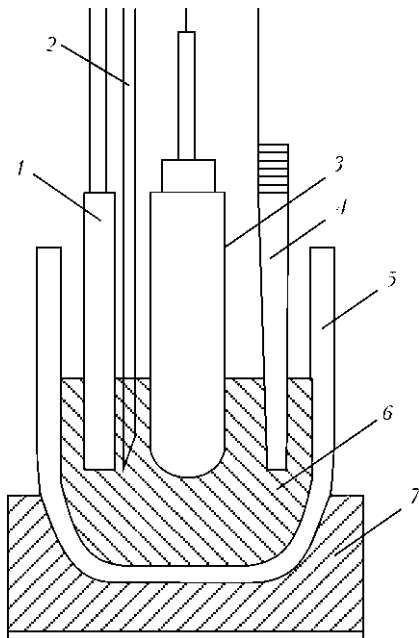


Схема концентрационного элемента: 1 — термопара ВР5-20; 2 — мешалка; 3 — стержень из Fe–Si, соединенный с вольфрамовым токоотводом в чехле из SiO<sub>2</sub>; 4 — стержень из Fe–Si, соединенный с вольфрамовым токоотводом; 5 — корундовый тигель; 6 — исследуемый шлак; 7 — подставка из ниобиевой жести и алюмонитрида бора

образованием комплексных соединений, близких по составу к Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub> и Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> [3], которые очень тугоплавки и термодинамически стабильны.

При сварке компоненты флюсов вступают во взаимодействие с легирующими элементами, входящими в состав электродной проволоки и стали. Кроме того, агломерированные флюсы, как правило, содержат легирующие элементы. Для исследования этого взаимодействия в оксидно-фторидный расплав (34 мас. % SiO<sub>2</sub>, 34 мас. % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 17 мас. % MgO, 15 мас. % CaF<sub>2</sub>) с помощью воронки с корундовой трубкой вводили порошкообразные сплавы в количестве 1 мас. %: ферросилиций ФС75 (75 мас. % Si), ферротитан ФТи70 (70 мас. % Ti), силикокальций СК30 (30 мас. % Ca), ферромарганец ФМн90 (90 мас. % Mn) и металлический марганец Мн998 (99,8 мас. % Mn).

Результаты измерений ЭДС, полученные с применением описанной выше методики, и соответствующие значения активности оксида кремния в шлаковом расплаве приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что активность SiO<sub>2</sub> в расплаве

Таблица 2. Влияние добавок ферросплавов и металлического марганца на активность SiO<sub>2</sub> в расплаве

Расплав	E, мВ	a <sub>SiO<sub>2</sub></sub> , мол. %
Флюс	75,5	0,123
Флюс+Fe–Mn	114	0,042
Флюс+Mn	141,7	0,020
Флюс+Fe–Si	161	0,011
Флюс+Fe–Ti	277,5	0,001
Флюс+Ca–Si	332,5	0,0001

системы MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–CaF<sub>2</sub> при добавлении ферросплавов снижается. Это можно объяснить протеканием реакций между SiO<sub>2</sub> и металлами.

Для объяснения влияния различных металлов на активность SiO<sub>2</sub> в изученном оксидном расплаве оценивали термодинамическую вероятность этих процессов. Для этого рассчитали изменение энергии Гиббса ΔG для каждой реакции, приведенной ниже (при 298 и 1673 К):

- 1) [Mn] + (SiO<sub>2</sub>) → (MnO<sub>2</sub>) + [Si],
- 2) 3[Mn] + 2(SiO<sub>2</sub>) → (Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) + 2[Si],
- 3) 2[Mn] + (SiO<sub>2</sub>) → 2(MnO) + [Si],
- 4) 4[Ti] + 3(SiO<sub>2</sub>) → 2(Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + 3[Si],
- 5) [Ti] + (SiO<sub>2</sub>) → (TiO<sub>2</sub>) + [Si],
- 6) 2[Fe] + (SiO<sub>2</sub>) → 2(FeO) + [Si],
- 7) 4[Fe] + 3(SiO<sub>2</sub>) → 2(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) + 3[Si],
- 8) 3[Fe] + 2(SiO<sub>2</sub>) → (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) + 2[Si].
- 9) [Si] + (SiO<sub>2</sub>) → 2{SiO},
- 10) 2[Ca] + (SiO<sub>2</sub>) → 2(CaO) + [Si],

где ( ), [ ], { } — жидкое, твердое или газообразное состояние веществ.

Для расчета ΔG при 298 К используем формулу

$$\Delta G = \sum_i v_i(\Delta G_i^{\text{прод}}) - \sum_i v_i(\Delta G_i^{\text{реак}})$$

Так, для реакции 1) имеем

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta G_{\text{MnO}_2, 298}^0 + \Delta G_{\text{SiO}, 298}^0 - \Delta G_{\text{Mn}, 298}^0 \quad (1)$$

Чтобы рассчитать ΔG при 1673 К, в первом, грубом приближении, предположим, что ΔC<sub>p</sub> = 0. Тогда изменение энергии Гиббса для температуры 1673 К равно:

Таблица 1. Активность SiO<sub>2</sub> в модельных шлаках системы MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>–CaF<sub>2</sub>

SiO <sub>2</sub> , мас. %/мольная доля	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас. %/мольная доля	CaF <sub>2</sub> , мас. %/мольная доля	MgO, мас. %/мольная доля	E, мВ	a <sub>SiO<sub>2</sub></sub> , мол. %
40/0,507	40/0,298	20/0,195	0/0	20,0	0,573
38/0,462	38/0,272	19,2/0,179	4,8/0,087	47,0	0,27
36/0,418	36/0,246	18/0,161	10/0,174	49,0	0,25
34/0,380	34/0,223	17/0,146	15/0,251	75,0	0,123



$$\Delta G_{1673}^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 \quad (2)$$

Для расчета изменения энтальпии реакции 1) используем формулу

$$\Delta H_{298}^0 = \sum_i v_i(\Delta H_{298}^0). \quad (3)$$

Для реакции 1) эта формула приобретает вид

$$\Delta H_{298}^0 = \Delta H_{\text{MnO}_2, 298}^0 + \Delta H_{\text{Si}, 298}^0 - \Delta H_{\text{SiO}_2, 298}^0 - \Delta H_{\text{Mn}, 298}^0 \quad (4)$$

где  $\Delta H_{\text{MnO}_2, 298}^0$ ,  $\Delta G_{\text{MnO}_2, 298}^0$  — энтальпия и энергии образования Гиббса  $\text{MnO}_2$ .

Аналогично для изменения энтропии данной реакции:

$$\Delta S_{298}^0 = S_{\text{MnO}_2, 298}^0 + S_{\text{Si}, 298}^0 - S_{\text{SiO}_2, 298}^0 - S_{\text{Mn}, 298}^0 \quad (5)$$

Уравнение (2) дает достаточно точные результаты в широком диапазоне температур. Однако во многих случаях это обусловлено не тем, что  $\Delta H$  и  $\Delta S$  слабо зависят от температуры, а частичной взаимной компенсацией влияния изменений этих функций.

Во втором приближении (Улиха) температурная зависимость термодинамических функций принимается постоянной, т. е. изменение теплоемкости продуктов и реагентов реакции  $\Delta C_p$  постоянно и равно изменению теплоемкости всех веществ при комнатной температуре:

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T\Delta S_{298}^0 + \Delta C_{p, 298}(T - 298 - T \ln T/298). \quad (6)$$

В связи с тем, что для нас важно не точное значение  $\Delta G$ , а ее порядок и знак, воспользуемся приближенными методами расчета  $\Delta G$  по уравнению (2) и (6). При расчетах использовали ли-

тературные данные [4]. Для марганца брали данные для устойчивой при нормальных условиях  $\alpha$ -формы. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Для реакций № 4, 5 и 10  $\Delta G_{1673}^0$  отрицательная. Это свидетельствует о взаимодействии титана и кальция с  $\text{SiO}_2$ , причем более вероятным является прохождение реакций № 4 и 10. Это хорошо согласуется с полученными нами экспериментальными данными по снижению активности  $\text{SiO}_2$  при введении добавок ферротитана и силикокальция в шлаковый расплав системы  $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaF}_2$ . Результаты расчетов энергии Гиббса, приведенные в табл. 3, подтверждают то, что титан и кальций, входящие в состав ферросплавов, реагируют с оксидом кремния по приведенной выше схеме. Чтобы объяснить полученное экспериментально уменьшение активности  $\text{SiO}_2$  при добавлении других ферросплавов, при расчете нужно использовать парциальные мольные энергии Гиббса металлов, учитывающие их активности, а также то, что эти металлы при контакте со шлаком находятся в жидком состоянии. Для этого применим модифицированное уравнение

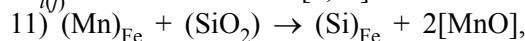
$$\Delta G = \sum_i a_i v_i (\Delta G_{i, \text{обр}}^{\text{прод}}) - \sum_j a_j v_j (\Delta G_{j, \text{обр}}^{\text{реаг}}), \quad (7)$$

где  $\Delta G_i$ ,  $\Delta G_j$  — парциальные мольные энергии Гиббса компонентов конечных и исходных расплавов.

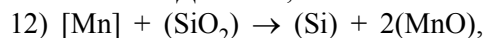
В свою очередь

$$\Delta G_{i(j)} = RT \ln a_{i(j)}. \quad (8)$$

Активности компонентов ферросплавов и шлаков  $a_{i(j)}$  использовали из [1, 5]:



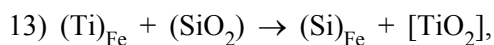
$\Delta G = -460$  кДж/моль;



$\Delta G = -371$  кДж/моль;

Таблица 3. Расчетные термодинамические функции для реакций металлов с  $\text{SiO}_2$

Номер реакции	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta S_{298}^0$ , Дж/моль	$\Delta C_p$ , Дж/моль	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{1673}^0$ , кДж/моль (1 прибл.)	$\Delta G_{1673}^0$ , кДж/моль (2 прибл.)
1	337	-2,55	2,14	333,91	332,76	329,91
2	329	42,85	46,49	310,22	257,38	319,37
3	87,9	33,08	7,76	64,70	32,57	42,913
4	-463	-35,38	17,5	-471,9	-403,9	-380,6
5	-83	-3,97	4,36	-85,59	-76,68	-70,87
6	325	29,74	23,76	305,42	275,13	306,81
7	929	-0,46	31,6	913,00	930,22	972,35
8	598	17,26	23,37	666,99	568,97	600,13
9	635	351,1	15,57	524,35	47,16	67,92
10	-363	-25,38	7,5	-331,6	-303,9	-280,6



$$\Delta G = -878 \text{ кДж/моль};$$



$$\Delta G = -86 \text{ кДж/моль}.$$

Значения энергии Гиббса реакций № 11–14 являются отрицательными, что свидетельствует о самопроизвольности их протекания в прямом направлении. Это хорошо согласуется с экспериментальными данными, согласно которым при добавлении указанных ферросплавов в исследуемый шлак активность  $\text{SiO}_2$  существенно падает.

Таким образом, путем введения некоторых металлов в сложные оксидные расплавы можно управлять активностью его компонентов, в частности  $\text{SiO}_2$ , и тем самым, металлургическими свойствами флюса при сварке. Снизив активность  $\text{SiO}_2$  в шлаковом расплаве, можно подавить протекание нежелательных с точки зрения металлургии сварки низколегированных сталей реакций восстановления кремния и образования силикатных неметаллических включений.

### Выводы

1. Методом ЭДС с использованием разработанного электролитического датчика определены активности  $\text{SiO}_2$  в шлаковых расплавах системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$ .

2. Установлено, что увеличение содержания  $\text{MgO}$  в шлаковом расплаве системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$  вызывает снижение активности оксида кремния, что можно объяснить образованием тугоплавких и термодинамически стабильных силикатов и алюминатов магния.

3. Изучено влияние добавок металлов на активность  $\text{SiO}_2$  в расплавах системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$ . Установлено, что введение 1 % силикокальция, ферротитана, ферросилиция, ферромарганца и металлического марганца в расплав системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$  приводит к скачкообразному падению активности оксида кремния. Наибольшее снижение (на 2-3 порядка) достигается при введении силикокальция и ферротитана.

1. *Судаццова В. С., Макара В. А., Галинич В. И.* Термодинамика металлургических и сварочных расплавов. Ч. 1. Сплавы на основе железа и алюминия. — Киев: Логос, 2005. — 192 с.
2. *Taylor J. R., Dinsdale A. T.* Thermodynamic and phase diagram data for the  $\text{CaO-SiO}_2$  system // *Calphad.* — 1990. — 14, № 1. — P. 71–88.
3. *Образование шпинели в расплаве агломерированного сварочного флюса системы  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaF}_2$  и ее влияние на вязкость шлака / И. А. Гончаров, В. Э. Сокольский, А. О. Давиденко и др. // Автомат. сварка.* — 2012. — № 12. — С. 21–28.
4. *Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справ. изд. / Под ред. В. П. Глушко.* — 3-е изд., перераб. и доп. — Т. II. Кн. 2. — М.: Наука, 1979. — 440 с.
5. *Подгаецкий В. В., Кузьменко В. Г.* Сварочные шлаки. — Киев: Наук. думка, 1988. — 256 с.

Поступила в редакцию 17.12.2012

## РАЗРАБОТАНО В ИЭС

### ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ППР-АНЗ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДУГОВОЙ ПОДВОДНОЙ РЕЗКИ

Порошковая проволока ППР-АНЗ предназначена для механизированной дуговой подводной резки углеродистых и легированных сталей толщиной до 40 мм на глубинах до 60 м. Скорость резки низкоуглеродистой стали толщиной 20 мм составляет 15 м/ч. При этом расход проволоки составляет 0,6 кг на 1 пог. м реза.

Применяется для расчистки русел рек от затонувших кораблей, при ремонте шпунтовых стенок, судоподъеме, выполнении аварийно-спасательных операций и других работах.

### ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА ППС-АН2 ДЛЯ ДУГОВОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ

Порошковая проволока ППС-АН2 предназначена для сварки под водой на глубинах до 20 м металлоконструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с пределом текучести до 350 МПа. Обеспечивает получение механических свойств на уровне (не менее):  $\sigma_T = 350 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_B = 430 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 16 \%$ ,  $KCV_{-20} = 30 \text{ Дж/см}^2$ . Соответствует требованиям класса В+ Классификации по подводной сварке ANSI/AWS D3.6.

Применяется для ремонта судов на плаву, трубопроводов, портовых сооружений и т. п.