

$$\Delta G = -878 \text{ кДж/моль};$$



$$\Delta G = -86 \text{ кДж/моль}.$$

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.

- A. J. Pinkerton, Lin Li et al. // *Mater. and Design*. — 2011. — 32. — P. 495–504.
10. *The arc characteristics and metal transfer behaviour of cold metal transfer and its use in joining aluminium to zinc-coated steel* / H. T. Zhanga, J. C. Feng, P. Heb et al. // *Mater. Sci. and Eng. A*. — 2009. — 499. — P. 111–113.
  11. *Interfacial microstructure and mechanical properties of aluminium-zinc-coated steel joints made by a modified metal inert gas welding-brazing process* / H. T. Zhang, J. C. Feng, P. He, H. Hack // *Materials Characterization*. — 2007. — 58. — P. 588–592.
  12. *Dissimilar metal joining of steel to aluminum using the arc heat source* / Y. Kim, K. Park, Y. Kim, S. Kim // *Mater. Sci. Forum Vols*. — 2012. — 706-709. — P. 2974–2979.
  13. *Laser brazing of a steel/aluminium assembly with hot filler wire (88% Al, 12% Si)* / A. Mathieu, S. Pontevicci, Jean-Claude Viala et al. // *Mater. Sci. and Eng. A*. — 2006. — 435-436. — P. 19–28.
  14. *Dissimilar metal joining of aluminum to steel by MIG arc brazing using flux cored wire* / M. Taichi, N. Kazuhiro, H. Tong, U. Masao // *ISIJ International*. — 2003. — 43, № 10. — P. 1596–1602.
  15. *Plasma arc brazing: a low-energy joining technique for sheet metal* / U. Draugelates, B. Bouaifi, A. Helmich et al. // *Welding J*. — 2002. — 81, № 3. — P. 38–42.
  16. *Siewert T., Samardzic I., Klaric S. Application of an on-line weld monitoring system* // 1st Intern. conf. on advanced technologies for developing countries, Slavonski Brod, Croatia, Sept. 12–14, 2002. — P. 1–6.
  17. *Кинетика растекания алюминия на железе* / В. Н. Еременко, Н. Д. Лесник, Т. С. Пестун, В. Р. Рябов // *Физическая химия поверхностных явлений в расплавах*. — Киев: Наук. думка, 1971. — С. 203–206.
  18. *О кинетике растекания алюмокремниевых расплавов по железу* / В. Н. Еременко, Н. Д. Лесник, Т. С. Пестун, В. Р. Рябов // *Смачиваемость и поверхностные свойства расплавов и твердых тел*. — Киев: Наук. думка, 1972. — С. 39–41.
  19. *Khorunov V. F., Sabadash O. M., Andreiko A. A. Investigation of fusibility and chemical interaction in the K, Al, Si/F salt system fluxes for high-temperature brazing of aluminium* // Intern. conf. «Brazing, high temperature brazing and diffusion welding». — Aachen, Germany, May, 1998. — P. 200–202.
  20. *Сабадаш О. М., Хорунов В. Ф. Материалы и технология флюсовой пайки алюминия и алюминия с нержавеющей сталью* // *Автомат. сварка*. — 2005. — № 8. — С. 69–74.
  21. *Хорунов В. Ф., Сабадаш О. М. Реактивный фторидный флюс для пайки алюминия и разнородных соединений* // *Адгезия расплавов и пайка материалов*. — 2006. — Вып. 39. — С. 68–75.
  22. *Сабадаш О. М., Хорунов В. Ф. Реактивный флюс для пайки алюминия* // Докл. 2-го науч.-техн. семинара «Сварка и родственные процессы в промышленности», 17 апр. 2007, г. Киев. — Киев: Екотехнологія, 2007. — С. 48–49.
  23. *Новые литейные сплавы. Цинковистые силумины* / А. А. Бочвар, З. Н. Свидерская, Н. И. Рытвин и др. — М.: ЦИИИ ЦМ СССР, 1947. — 108 с.

Поступила в редакцию 13.11.2012

## РАЗРАБОТАНО В ИЭС

### ТЕХНОЛОГИЯ ВОСТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ МЕТОДОМ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

В ИЭС разработана установка детонационного напыления «Перун-С» и технология нанесения покрытий для защиты от износа и коррозии и для восстановления деталей машин и оборудования в различных отраслях промышленности — авиа-, авто-, турбостроении, энергетике, нефтехимии и др.

Детонационное напыление обеспечивает получение покрытий с прочностью сцепления до 100...150 МПа при пористости менее 1 %. Одной из основных областей применения детонационного напыления является упрочнение новых и ремонт после износа различных деталей и узлов авиационной техники, в частности, упрочнение контактных поверхностей бандажных полок лопаток, лопаток компрессора, топливных форсунок и др. Результатом применения детонационных покрытий, содержащих карбиды вольфрама и хрома, является повышение срока службы изделий в 7-12 раз.

Накоплен опыт использования детонационных покрытий при восстановлении: корпуса II и III ступени газовой турбины авиационного двигателя, крышки III опоры двигателя вертолета, проставки КВД авиационного двигателя, соплового аппарата II ступени свободной турбины двигателя вертолета, антивибрационных полок лопаток АГТД. Одним из примеров служит восстановление изношенной поверхности монорельса закрылки ИЛ-76 после его эксплуатации с одновременным существенным повышением его износостойкости путем напыления покрытия из порошка механической смеси 35%WC+65%Ni-Cr-B-Si (микротвердость слоя 10500 МПа).



10. Ricciardi G., Cantello M. Laser material interaction: Absorption coefficient in welding and surface treatment // *Ibid.* — 1994. — 43, № 1. P. 171–175.
11. Grigoryants A. G., Shiganov I. N. Misyurov A. I. Technological processes of laser treatment. — Moscow: Bauman Molcow State Technical University. — 2006. — 663 p. — In Russian.
12. Steen W. M. Laser material processing. — 3 ed. — London: Springer, 2003. — 408 p.
13. Phenomena of welding with high-power fiber laser / K. Kinoshita, M. Mirutani, Y. Kawahito, S. Katayama // *Proc. of 25th Intern. Congress applications of lasers & electro-optics, 2006.* — P. 535–542.
14. Weld penetration and phenomena in 10 kW fiber laser welding / S. Katayama, K. Kinoshita, Y. Kawahito et al. // *Ibid.* — 2007. — P. 360–369.
15. Salminen A., Lehtinen J., Harkko P. The effect of laser and welding parameters on keyhole and melt pool behavior during fiber laser welding // *Ibid.* — 2008. — P. 416–425.
16. Salminen A., Piili H., Purtonen T. The characteristics of high power fibre laser welding // *Proc. of the Institution of Mechanical engineers, Part C // J. Mech. Eng. Sci.* — 2010. — 224, № 5. — P. 1019–1029.
17. Salminen A., Purtonen T. The effect of welding parameters on keyhole and melt pool dimensions and behavior during fiber laser welding // 12th Nordic conf. on laser materials processing. — NOLAMP 12, 2009. — 16 p.
18. Kaplan A., Wiklund G. Advanced welding analysis methods applied to heavy section welding with a 15kW fiber laser // *Intern. conf. on welding of the IIW.* — 2009. — 53. — P. 295–300.
19. Katajama S., Kawahito Y., Mizutani M. Elucidation of laser welding phenomena and factors affecting weld penetration and welding defects // *Phys. Procedia.* — 2010. — № 5. — P. 9–17.
20. Laser welding and weld analysis of thick section S355 structural steel / M. Sokolov, A. Salminen, M. Kuznetsov, I. Tsi-bulskiy // *Materials @ Design.* — 2011. — 32, № 10. — P. 5127–5131.
21. Bergstrom D., Powell J., Kaplan A. The absorption of light by rough metal surfaces. A three-dimensional ray-tracing analysis // *Proc. of 26th Intern. congress on applications of lasers & electro-optics.* — 2007. — P. 704–713.
22. Malashenko A. A., Mezenov A. V. Laser welding of metal. — M.: Mashinostroenie, 1984. — 45 p. — In Russian.
23. Laser welding of structural steels: Influence of the edge roughness level / M. Sokolov, A. Salminen, V. Somonov, A. Kaplan // *Optics & Laser Technology.* — 2012. — 44, № 7. — P. 2064–2071.
24. GOST 380-94. Common quality carbon steel // *Grades.* — 1994. — In Russian.
25. EN 10049:2005. Measurement of roughness average. Ra and peak count R<sub>Pc</sub> on metallic flat products. — 2005.
26. ISO 13919-1:1996. Welding. Electrons and laser beam welded joints // *Guidance on quality levels for imperfections.* — Part 1: Steel. — 1996.

Поступила в редакцию 07.12.2012

## РАЗРАБОТАНО В ИЭС

### ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ТОЛЩИНОЙ ДО 400 мм

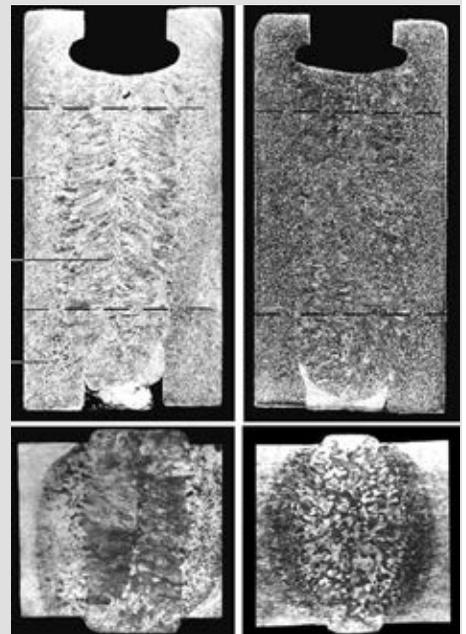
Технология предназначена для сварки деталей и узлов толщиной 40...400 мм из титана и его сплавов при выполнении стыковых, угловых и тавровых соединений.

Сварка осуществляется вертикальными швами за один проход без разделки кромок. Максимальная толщина свариваемого металла в месте стыка 400 мм при максимальной длине шва до 2 м и сварочном зазоре 22...30 мм. В зависимости от конструктивных особенностей изделий сварка может вестись с использованием проволочных электродов, плавящегося мундштука и пластинчатого электрода.

Отличительной особенностью технологии является использование электромагнитного воздействия на сварочную ванну, обеспечивающего высокое качество сварных соединений.

#### Преимущества:

- возможность сварки изделий толщиной до 400 мм за один проход без разделки кромок;
- высокая производительность процесса сварки;
- мелкозернистая структура металла шва без пор, шлаковых включений, несплавлений и прочих дефектов;
- простота и надежность используемого технологического оборудования.



Макрошлифы сварных соединений, выполненных без электромагнитного воздействия (слева) и с воздействием