



УДК 621.791

Поступила 12.03.2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ С УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ В ПОКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОДА ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДА

Н. И. УРБАНОВИЧ, В. В. МЕЛЬНИЧЕНКО, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.

E-mail: komarov_metolit@tut.by, baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by,

А. А. РАДЧЕНКО, З. В. ИГНАТОВИЧ, ОХП «Институт сварки и защитных покрытий»

НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Платонова, 41

Установлено, что введенный в покрытие электрода отсев модификатора позволил измельчить зерно металла шва от 20–60 до 10–30 мкм, изменить его морфологию и улучшить сварочно-технологические свойства покрытого электрода. Показано, что модифицирующая добавка, введенная в покрытие сварочного электрода, содержащая ультрадисперсные частицы, в количестве 1% к массе сухой шихты не ухудшила технологические параметры при их изготовлении, при этом интегральный показатель разнотолщинности ($\Delta\epsilon_{sp}$) электродов со стандартным и экспериментальным покрытиями не превысил принятого значения 0,05. Это свидетельствует, что качество обмазочной массы, ее свойства, стабильность течения массы из фильеры удовлетворительны для обеих партий.

Ключевые слова. *Покрытый электрод, модифицирующая добавка, ультрадисперсные частицы, разнотолщинность, металл шва, мелкозернистая структура, сварочно-технологические свойства.*

Для цитирования. *Урбанович, Н. И. Исследование влияния модифицирующей добавки с ультрадисперсными частицами в покрытие электрода для ручной дуговой сварки на технологические параметры изготовления электрода / Н. И. Урбанович, В. В. Мельниченко, К. Э. Барановский, Е. В. Розенберг, А. А. Радченко, З. В. Игнатович // Литье и металлургия. 2018. Т. 91. № 2. С. 108–112.*

STUDY OF THE EFFECT OF MODIFIERS WITH ULTRADISPERSED PARTICLES IN THE COATING OF THE ELECTRODE FOR MANUAL ARC WELDING ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS IN MANUFACTURE OF THE ELECTRODE

N. I. URBANOVICH, V. V. MELNICHENKO, K. E. BARANOVSKY, E. V. ROZENBERG, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.

E-mail: komarov_metolit@tut.by, baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by,

A. A. RADCHENKO, Z. V. IGNATOVICH, Institute of Welding and Protective Coatings National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 41, Platonova

It is established that inclusion of the modifier into the electrode coating allowed to change the grains of the weld metal from 20–60 to 10–30 μm , to change its morphology and to improve the welding-technological properties of the coated electrode. It is shown that the modifying additive introduced into the coating of a welding electrode containing ultrafine particles in an amount of 1% of the weight of the dry charge had not deteriorated the technological parameters during manufacture, and the integral index of the different thickness ($\Delta\epsilon_{sp}$) of electrodes with standard and experimental coatings did not add to the accepted value of 0.05. This indicates that the quality of the lubricating mass, its properties, the stability of the mass flow from the spinneret are satisfactory for both batches.

Keywords. *Covered electrode, modifying additive, ultradisperse particles, different thickness, weld metal, fine-grained structure, welding-technological properties.*

For citation. *Urbanovich N. I., Melnichenko V. V., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V., Radchenko A. A., Ignatovich Z. V. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 108–112.*

На сегодняшний день в сварочной промышленности и строительстве значение ручной дуговой сварки как способа получения неразъемных соединений металлоконструкций не уменьшается. Особенно оно велико при монтаже, реконструкции и ремонте трубопроводов, емкостей и других технических устройств опасных производственных объектов. Высокое качество сварных соединений в таких устройствах достигается, в первую очередь, благодаря использованию качественных сварочных материалов, соответствующих специальным требованиям.

В работах [1–3] показано, что введение модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, в сварочную ванну и состав покрытия электродов позволяют улучшить свойства дуги, измельчить зерно в наплавленном металле, а, следовательно, повысить пластические свойства металла шва, а также увеличить производительность процесса сварки.

Процесс изготовления покрытых электродов предусматривает ряд строго последовательных операций по подготовке проволоки, компонентов покрытия, сухой смеси компонентов и обмазочной массы, нанесению ее на стержень с последующей сушкой и прокалкой электродов с целью придания необходимой прочности.

В связи с этим возникла необходимость проверки влияния модифицирующей добавки при вводе ее в состав покрытия на технологические параметры изготовления электродов.

Целью данной работы является исследование влияния модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, в покрытии электрода на технологические параметры изготовления электродов для ручной дуговой сварки с улучшенными свойствами.

Согласно ГОСТ 9466-75, качество изготовления покрытых электродов нормируется показателем соосности оболочки покрытия и стержня. Разнотолщинность покрытия препятствует осуществлению нормального процесса сварки и, как следствие, приводит к ухудшению качества и механических свойств сварных швов. Превышение предельно допустимого стандартом отклонения 5% от диаметра стержня вызывает образование одностороннего «козырька», который нарушает газовую и шлаковую защиту расплавленного металла от воздействия воздуха при сварке, что приводит к неблагоприятным изменениям химического состава, ухудшению механических свойств, образованию пор и других дефектов шва [4, 5].

В результате исследований, проведенных рядом авторов [6, 7], выяснено, что на разнотолщинность покрытия электрода влияет множество факторов: вид, доля и зерновой состав составляющих обмазки. Дополнительно отмечено влияние таких технологических параметров процесса изготовления электрода, как давление опрессовки, степень адгезии покрытия к стержню, качество поверхности самих стержней. При сушке электродов происходит усадка обмазочной массы, возможно появление микро- и макротрещин. Состояние оборудования, квалификация и уровень исполнительской дисциплины персонала также вносят значительный вклад в качество конечного продукта.

Процесс изготовления экспериментальных и стандартных электродов состоял из одних и тех же операций, использовалось одно и то же оборудование, отличался только состав шихты присутствием в сухой смеси отсева модификатора, содержащего щелочноземельные металлы. Добавку модификатора следует рассматривать как один из факторов, который может повлиять на разнотолщинность. В случае существенного влияния данной добавки на изменение разнотолщинности в экспериментальных электродах по сравнению с контрольными электродами возникает необходимость в корректировке и отработке технологических параметров их изготовления.

Нами использовалось одно и то же оборудование, процесс изготовления экспериментальных и стандартных электродов состоял из одних и тех же операций, изменили только состав шихты, включив в нее модифицирующую добавку в виде отсева модификатора в количестве 1% к общей массе шихты. В состав сухой шихты входили обязательные компоненты для изготовления стандартных электродов марки УОНИ-13/55.

Для приготовления 1 кг обмазочной массы в сухую шихту добавляли натриево-калиевое (70 и 30% соответственно) жидкое стекло. Технологическую готовность обмазочной массы определяли органолептически. Готовую смесь направляли на опрессовку электродов в лабораторном электрообмазочном прессе ПЭО 0030 (ООО «ВЭЛМА»). Электроды изготавливали из сварочной проволоки марки Св-08А диаметром 3 мм. В процессе нанесения покрытия на стержни не наблюдали пульсаций, отжима жидкой фазы. Это показало, что модифицирующая добавка в количестве 1% к стандартной массе шихты не влияла на стабильность процесса истечения обмазочной массы из головки пресса.

После нанесения покрытия электроды сушили сначала на воздухе при температуре 20–25 °С в течение 24 ч, а затем в электрическом сушильном шкафу при температуре 350 °С в течение 2 ч. В обеих партиях электродов не наблюдали вздутий, пор, макро- и микротрещин в процессе сушки.

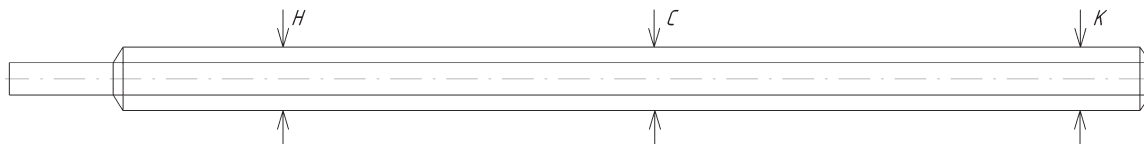


Рис. 1. Схема измерения разнотолщинности по длине электрода: Н, С, К – соответственно начало, середина, конец измерения электрода

Проверку разнотолщинности полученных электродов проводили согласно требованиям ГОСТ 9466-75. Схема замеров приведена на рис. 1, 2.

Величина эксцентриситета (e , мм) определяется на основании измерений на трех участках, смещенных относительно друг друга на 50–100 мм по длине электрода и повернутых на 120° по окружности.

Измерения на каждом контрольном участке проводили в двух противоположных позициях с точностью до 0,01 мм. Величина локального эксцентриситета: $e = s - s_1$.

Для оценки качества партии электродов необходимо вычислить общий средний эксцентриситет [8, 9]:

$$\Delta e_{\text{ср}} = \frac{\sum_{n=1}^n (e_{\text{max}}^n - e_{\text{min}}^n)}{n},$$

где n – количество электродов в выборке.

Значение $\Delta e_{\text{ср}} \leq 0,05$ свидетельствует о надежном качестве перемешивания и однородности обмазочной массы.

В таблице приведены результаты измерений разнотолщинности электродов.

Показатели разнотолщинности электрода со стандартным и экспериментальным покрытием

Электроды с контрольным покрытием				Электроды с экспериментальным покрытием			
Н	С	К	Δe	Н	С	К	Δe
0,06	0,08	0,06	0,02	0,10	0,08	0,08	0,02
0,04	0,08	0,06	0,04	0,08	0,08	0,06	0,02
0,04	0,06	0,06	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
0,04	0,04	0,10	0,06	0,06	0,04	0,04	0,02
0,04	0,04	0,04	0	0,04	0,04	0,04	0
0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,04	0,06	0,02
0,04	0,04	0,08	0,04	0,08	0,10	0,06	0,04
0,06	0,04	0,06	0,02	0,04	0,04	0,04	0
0,04	0,08	0,06	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04
0,08	0,04	0,04	0,04	0,06	0,08	0,06	0,02
$\Delta e_{\text{ср}} = 0,03$				$\Delta e_{\text{ср}} = 0,02$			

Примечание: Н, С, К – точки измерения разнотолщинности покрытия: Н – начало электрода; С – середина электрода; К – конец электрода.

Получено значение $\Delta e_{\text{ср}}$ для стандартного покрытия 0,03 и 0,02 мм для экспериментальной партии электродов. Это значение меньше стандартного допуска 0,05 мм для электродов толщиной 3 мм, что показало возможность использования предлагаемой обмазочной смеси с модифицирующей добавкой, содержащей ультрадисперсные частицы, без ухудшения геометрии электродов.

Для сравнительной оценки сварочно-технологических свойств данных электродов и структуры металла шва получили стыковые сварные соединения пластин из стали 20 толщиной 6 мм с V-й разделкой кромок по ГОСТ 5264-80. Сварку выполняли в два прохода на постоянном токе обратной полярности на режимах: $I_{\text{св}} = 70-90$ А, $U_{\text{д}} = 22-24$ В.

Оценку стабильности горения дуги осуществляли визуально. Наиболее легко возбуждалась и устойчиво горела дуга у электродов с модифицирующей в покрытии добавкой. При сварке данными электродами наблюдалось меньшее количество брызг. Качество шва оценивали по результатам визуального его осмотра поверхности после удаления шлака. Осмотр показал, что во всех случаях швы получились ров-

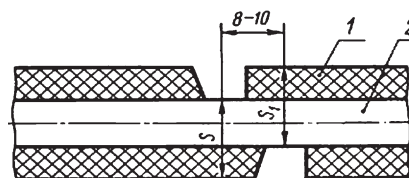


Рис. 2. Схема измерения разнотолщинности в двух противоположных участках согласно ГОСТ 9466-75: 1 – соответственно покрытие и стержень электрода

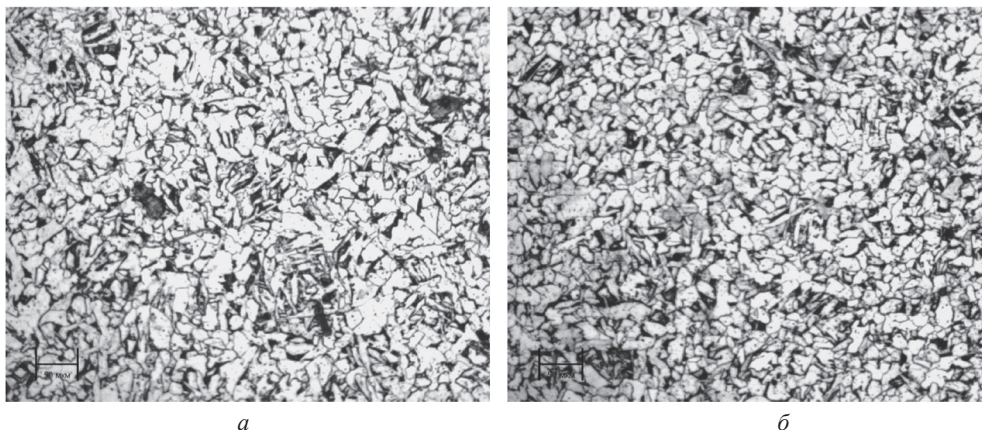


Рис. 3. Микроструктура сварных швов: *а* – без добавки; *б* – с отсевом модификатора

ные, без раковин, мелкочешуйчатые, без наплывов, с хорошей отделяемостью шлаковой корки. Следует отметить, что покрытие электродов во всех случаях плавилось равномерно, без отваливания кусков и образования чехла или козырька.

На рис. 3 представлены микроструктуры корневой части сварных швов, изучение которых осуществляли на оптическом микроскопе АЛТАМІ. Структура металла сварного шва, полученного электродом без модифицирующей добавки, характеризуется наличием участков с повышенным содержанием таких хрупких составляющих, как блочный феррит и феррит видманштетта. Зерна имеют величину от 20 до 60 мкм. Металл шва, полученный электродом с отсевом модификатора, характеризуется более мелкозернистой структурой, и величина зерна составляет 10–30 мкм.

Таким образом, наличие в составе покрытия электродов для ручной дуговой сварки модифицирующей добавки, содержащей ультрадисперсные частицы, позволило не только повысить их сварочно-технологические свойства, но и изменить морфологию зерна и измельчить структуру металла шва, что должно положительно отразиться на показателях по механическим свойствам.

Выводы

Установлено, что модифицирующая добавка, содержащая ультрадисперсные частицы, введенная в количестве 1% к массе сухой шихты в покрытие электродов марки УОНИ-13/55, не изменила показатели технологических параметров при их изготовлении.

Показано, что интегральный показатель разнотолщинности (Δe_{cp}) электродов со стандартным и экспериментальным покрытиями не превышает принятого значения 0,05. Если значение $\Delta e_{cp} \leq 0,05$, значит, качество обмазочной массы, ее свойства, стабильность течения массы из фильеры удовлетворительны для обеих партий, а это, в свою очередь, свидетельствует о том, что модифицирующая добавка не ухудшила качество обмазочных масс и таким образом качество электродов.

Установлено, что введенный в покрытие электрода отсев модификатора позволил измельчить зерно металла шва от 20–60 до 10–30 мкм, изменить его морфологию и улучшить сварочно-технологические свойства покрытого электрода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордин С. О., Смирнов А. Н., Князьков В. Л. Влияние ультрамелкозернистых компонентов электродных покрытий на механические свойства металла шва // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. 2012. № 6(94). С. 101–104.
2. Урбанович Н. И., Радченко А. А., Игнатович З. В., Барановский К. Э., Проворова И. Б., Розенберг Е. В. Оценка влияния модифицирующих добавок в покрытии электродов марки УОНИ-13/55 на глубину проплавления стали марки Ст.3 и микроструктуру наплавленного металла // Республ. межвед. сб. науч. тр. «Металлургия». Минск: БНТУ, 2017. Вып. 38. С. 138–145.
3. Модифицирование наплавленного металла нанодисперсными карбидами вольфрама / Г. Н. Соколов, И. В. Лысак, А. С. Трошков и др. // Физика и химия обработки материалов. 2009. № 6. С. 41–47.
4. Паршин С. Г. Влияние активирующих флюсов на формирование сварных швов при ручной аргонодуговой сварке // Сварочное производство. 2000. № 10. С. 23–26.
5. Походня И. К., Макаренко В. Д., Миличенко С. С. Влияние эксцентricности покрытия на сварочно-технологические свойства электродов и качество наплавленного металла // Автоматическая сварка. 1985. № 11. С. 39–40.
6. Овчинников В. А., Баженов В. В. Влияние геометрии электродных покрытий и наличия дефектов в нем на надежность защиты плавящегося металла от воздействия воздуха // Сварочное производство. 1978. № 5. С. 39–40.
7. Марченко А. Е. Разнотолщинность покрытия как индикатор состояния процесса и качества изготовления сварочных электродов // Электродное производство на пороге нового тысячелетия: Материалы науч.-техн. семинара (С.-Петербург, 22–26 мая 2000 г). Череповец: Ассоциация «Электрод», 2000. С. 124–125.

8. **Ворновицкий И. Н.** Разнотолщинность покрытия – основной показатель качества электрода // Сварочное производство. 1989. № 4. С. 7–19.
9. **Ворновицкий И. Н.** Практика снижения разнотолщинности покрытия сварочных электродов // Сварщик. 2000. № 19(11). С. 5–9.

REFERENCES

1. **Gordin S. O., Smirnov A. N., Knjaz'kov V. L.** Vlijaja ul'tramelkorazmernyh komponentov jelektroodnyh pokrytij na mehanicheskie svojstva metalla shva [Influencing ultra-fine-sized components of electrode coatings on the mechanical properties of weld metal]. *Vesnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2012, no. 6(94), pp. 101–104.
2. **Urbanovich N. I., Radchenko A. A., Ignatovich Z. V., Baranovskij K. E., Provorova I. B., Rozenberg E. V.** Ocenka vlijanija modifizirujushhih dobavok v pokrytii elektrodov marki UONI-13/55 na glubinu proplavlenija stali marki St.3 i mikrostrukturu naplavlennogo metalla [Evaluation of the influence of modifying additives in the coating of electrodes of the grade UONI-13/55 on the penetration depth of steel grade St.3 and the microstructure of the weld metal]. *Respublikanskiy mezhdostvennyy sbornik nauchnyh trudov «Metallurgija» = Republican interdepartmental collection of scientific works «Metallurgy»*. Minsk, BNTU Publ., 2017, vyp. 38, pp. 138–145.
3. **Sokolov G. N., Lysak I. V., Troshkov A. S.** i dr. Modificirovanie naplavlennogo metalla nanodispersnymi karbidami vol'frama [Modification of the weld metal by nanodispersed tungsten carbides]. *Fizika i himija obrabotki materialov = Physics and chemistry of material processing*, 2009, no. 6, pp. 41–47.
4. **Parshin S. G.** Vlijanie aktivirujushhih fljusov na formirovanie svaryh shvov pri ruchnoj argonodugovoj svarke [Influence of activating fluxes on the formation of welded joints with manual argon-arc welding]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 2000, no. 10, pp. 23–26.
5. **Pohodnja I. K., Makarenko V. D., Milichenko S. S.** Vlijanie jekscentrichnosti pokrytija na svarочно-tehnologičeskie svojstva elektrodov i kachestvo naplavlennogo metalla [The influence of the eccentricity of the coating on the welding-technological properties of electrodes and the quality of the welded metal]. *Avtomatičeskaya svarka = Automatic welding*, 1985, no. 11, pp. 39–40.
6. **Ovchinnikov V. A., Bazhenov V. V.** Vlijanie geometrii jelektroodnyh pokrytij i nalichija defektov v nem na nadezhnost' zashhity plavjashhegosja metalla ot vozdeystvija vozduha [Influence of the geometry of electrode coatings and the presence of defects in it on the reliability of protecting the melting metal from the effects of air]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 1978, no. 5, pp. 39–40.
7. **Marchenko A. E.** Raznotolshinnost' pokrytija kak indikator sostojanija processa i kachestva izgotovlenija svaročnyh jelektrodov [Thickness of the coating as an indicator of the state of the process and the quality of manufacturing of welding electrodes]. *Elektroodnoe proizvodstvo na poroge novogo tysjacheletija = Electrode production on the threshold of a new millennium*. Cherepovec, asociacija «Elektrod» Publ., 2000, pp. 124–125.
8. **Vornovickij I. N.** Raznotolshinnost' pokrytija – osnovnoj pokazatel' kachestva jelektroda [Thickness of coating – the main indicator of the quality of the electrode]. *Svarochnoe proizvodstvo = Welding production*, 1989, no. 4, pp. 7–19.
9. **Vornovickij I. N.** Praktika snizhenija raznotolshinnosti pokrytija svaročnyh jelektrodov [The practice of reducing the thickness of the coating of welding electrodes]. *Svarshhik = Welder*, 2000, no. 19(11), pp. 5–9.