



УДК 621.791
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-119-123

Поступила 09.02.2019
Received 09.02.2019

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ВВОДА МОДИФИЦИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ В ПОКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОДА НА ИХ СВАРОЧНО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВА

Н. И. УРБАНОВИЧ, Т. И. БЕНДИК, К. Э. БАРАНОВСКИЙ, Е. В. РОЗЕНБЕРГ,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by

Проведен сравнительный анализ и оценка влияния способа ввода модифицирующей добавки в виде дисперсных и ультрадисперсных частиц в покрытие электрода на их сварочно-технологические свойства и механические свойства металла шва. Установлено, что модифицирующая добавка, имеющая в своем составе такие химические элементы, как барий, стронций, калий, кремний, алюминий, ванадий, представляющая собой смесь устойчивых соединений щелочноземельных металлов в виде карбонатов и введенная в покрытие электродов способом нанесения ее со связующим на поверхность стандартного покрытия или способом ввода в состав сухой шихты перед их опрессовкой, позволяет повысить сварочно-технологические характеристики электрода и измельчить структуру металла шва, что способствует повышению его механических свойств, особенно пластичности.

Ключевые слова. Сварка, покрытый электрод, модифицирующая добавка, ультрадисперсные частицы, щелочноземельные металлы, структура металла, механические свойства.

Для цитирования. Урбанович, Н. И. Оценка влияния способа ввода модифицирующей добавки в покрытие электрода на их сварочно-технологические свойства и механические свойства металла шва / Н. И. Урбанович, Т. И. Бендик, К. Э. Барановский, Е. В. Розенберг // *Литье и металлургия*. 2019. № 1. С. 119–123. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-119-123.

ASSESSMENT OF INFLUENCE OF INPUT METHOD OF MODIFYING ADDITIVE IN THE COATING OF ELECTRODE ON THEIR WELDING–TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE WELD METAL

N. I. URBANOVICH, T. I. BENDIK, K. E. BARANOVSKY, E. V. ROZENBERG,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.
E-mail: baranosky_metolit@tut.by, erozenberg@bntu.by

A comparative analysis and assessment of the impact of the method of introducing the modifying additive in the form of dispersed and ultrafine particles into the electrode coating on their welding-technological properties and mechanical properties of the weld metal is carried out. It has been established that a modifying additive containing such chemical elements as barium, strontium, potassium, silicon, aluminum, vanadium is a mixture of stable alkaline-earth metal compounds in the form of carbonates and is inserted into the coating of the electrodes by applying its dry mixture into the composition prior to their crimping, allows to improve the welding-technological characteristics of the electrode and grind the structure of the weld metal, which contributes to the improvement of its mechanical properties particularly ductility.

Keywords. Welding, coated electrode, modifying additive, ultrafine particles, alkaline-earth metals, metal structure, mechanical properties.

For citation. Urbanovich N. I., Bendik T. I., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V. Assessment of influence of input method of modifying additive in the coating of electrode on their welding-technological properties and mechanical properties of the weld metal. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 1, pp. 119–123. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-119-123.

Известно [1–3], что использование дисперсных, ультрадисперсных и наноразмерных частиц в сварочных материалах приводит не только к улучшению их сварочно-технологических свойств, но и к мо-

дифицированию металла шва, которое является эффективным инструментом для обеспечения требуемых механических и эксплуатационных свойств сварного соединения.

Введение компонентов, находящихся в виде дисперсных и ультрадисперсных частиц, в покрытие электрода для ручной дуговой сварки может осуществляться разными способами. Например, у электрода [1], покрытие которого разделено на два слоя, внутренний слой покрытия содержит шлако- и газообразующие компоненты, а в наружный слой добавлены частицы тугоплавких соединений порошкообразной смеси микро- и/или наноразмерных тугоплавких компонентов со связующим. В работе [2] рассмотрен способ введения модифицирующей добавки в виде нанопорошка на стадии производства электродов в жидкое стекло с применением механо-активаторной установки кавитационного типа. Результаты исследований показали, что структура металла шва, выполненного экспериментальными электродами, более однородная, чем после сварки серийными электродами.

Цель данной работы – проведение сравнительного анализа и оценки влияния способа ввода модифицирующей добавки в виде дисперсных и ультрадисперсных частиц в покрытие электрода на их сварочно-технологические свойства и механические свойства металла шва, где в качестве модифицирующей добавки использовали отсев модификатора, имеющий в своем составе такие химические элементы, как Ba, Sr, K, Si, Al, V, и представляющий смесь устойчивых соединений щелочноземельных металлов в виде карбонатов.

Для исследований использовали стандартные и экспериментальные электроды марки УОНИ-13/55 (ГОСТ 9466-75) диаметром 3,0 мм. Экспериментальными электродами в данном случае являлись электроды, в покрытие которых модифицирующая добавка была внесена в состав сухой шихты перед их опрессовкой, и электроды, на поверхность стандартного покрытия которых модифицирующая добавка наносилась тонким слоем со связующим жидким стеклом плотностью 1,2 г/см³. В обоих случаях количество вносимой добавки составляло 1% к массе покрытия. Такое количество вносимой добавки обусловлено полученными результатами исследований [3].

В качестве показателей оценки сварочно-технологических свойств электродов были взяты длина разрывной дуги и продолжительность ее горения. Длину разрывной дуги определяли с помощью специальной установки по методике К. К. Хренова. Длительность горения дуги после ее зажигания до ее разрыва определяли с использованием компьютера с установленной в нем платой аналого-цифрового преобразователя. Среднее значение результатов замеров длины разрывной дуги и времени ее горения приведено в виде гистограмм на рис. 1.

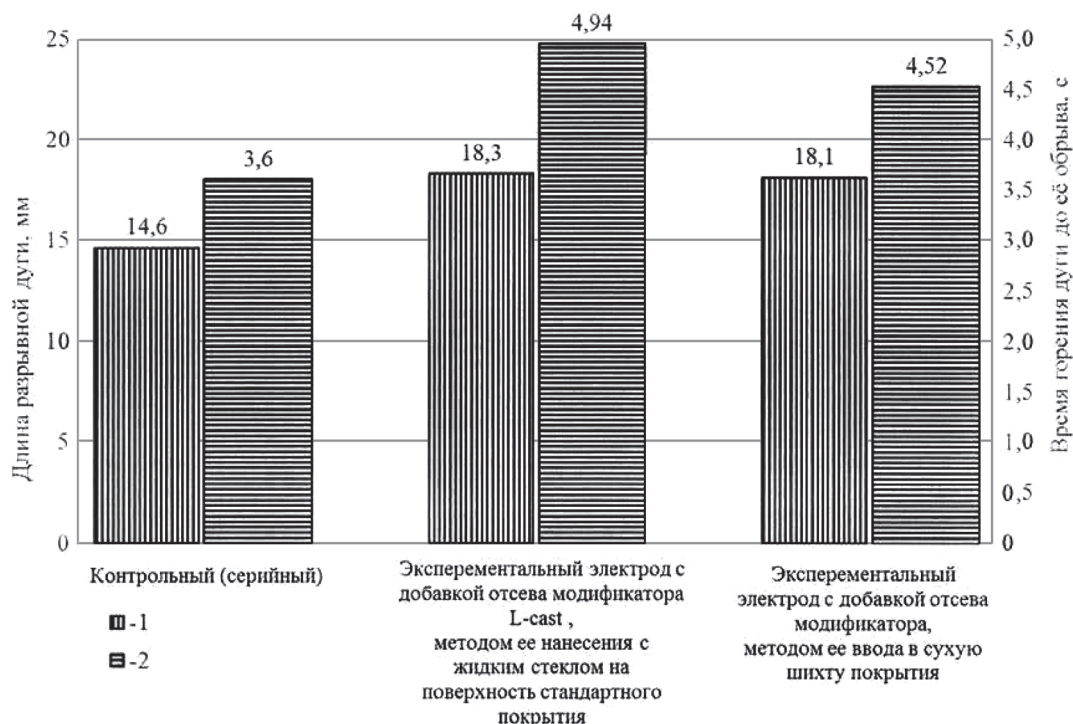


Рис. 1. Гистограммы изменения длины разрывной дуги и времени ее горения до обрыва электродов марки УОНИ-13/55, в покрытие которых введена модифицирующая добавка различными методами: 1 – длина разрывной дуги; 2 – время горения дуги до ее обрыва

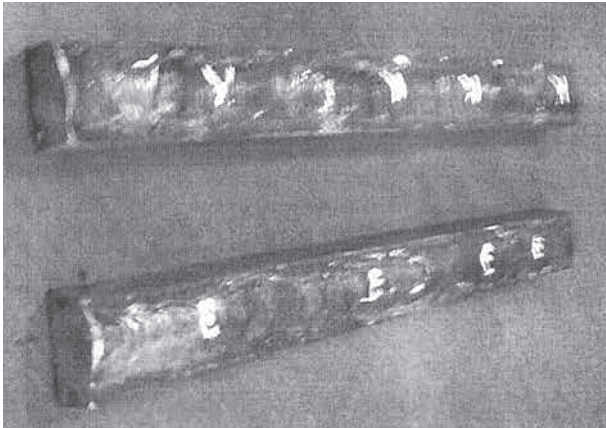


Рис. 2. Заготовки для изготовления образцов на растяжение металла сварного шва

периментальными электродами. Перед сваркой электроды прокаливали при температуре 350 ± 10 °С. Заполнение шва по сечению осуществляли в пять слоев. Корень шва получали при постоянном токе силой 63 А, остальные слои при силе тока, равной 73 А. Каждый последующий слой наносили после остывания предыдущего слоя ниже 250 °С, при этом меняли направление сварки при получении каждого слоя. Таким образом, получили три сварных соединения. Одно стыковое соединение было сварено стандартными электродами марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм, второе и третье – экспериментальными, в покрытие которых внесена модифицирующая добавка в состав сухой шихты до опрессовки электродов и на поверхность покрытия путем нанесения добавки с жидким стеклом. Из сварных соединений вырезку заготовок образцов производили плазменной резкой, при этом учитывали рекомендуемый припуск не менее 5 мм для исключения изменений в металле рабочей части образцов в результате плазменной резки. Дальнейшую обработку проводили на металлорежущих станках. Подготовленные заготовки для получения образцов на растяжение показаны на рис. 2.

Вырезку образцов из металла шва осуществляли механическим способом в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3. Изготавливали по три образца типа II для испытаний на статическое растяжение (ГОСТ 6996).

Испытания проводили на разрывной машине РМ-50. В таблице приведены результаты испытаний на растяжение. Значения показателей при растяжении представлены как среднее арифметическое результатов, полученных при испытании трех образцов.

Результаты испытаний металла шва на растяжение

Наименование образца	Механические свойства металла шва при испытании на растяжение			
	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
Металл шва, полученный электродами без модифицирующей добавки в покрытии (стандартными)	571,0	428,0	21,6	61,7
Металл шва, полученный электродами с модифицирующей добавкой способом ввода в сухую шихту покрытия (экспериментальные)	574,0	435,0	27,0	67,8
Металл шва, полученный электродами с модифицирующей добавкой способом ее нанесения с жидким стеклом на поверхность покрытия (экспериментальные)	572,0	431,0	25,0	65,4

Как показал анализ сравнительных испытаний электродов, модифицирующая добавка независимо от способа ввода позволила увеличить длину разрывной дуги на 23–27%, продолжительность горения – на 30–35%, а также повысить ее устойчивость. Можно отметить, что более высокие результаты по этим показателям отмечены у электродов, на поверхность покрытия которых модифицирующая добавка наносилась со связующим.

С целью определения механических свойств металла шва на статическое растяжение изготавливали контрольные сварные соединения. Стыковые соединения типа С17, согласно ГОСТ 5264-80, получали односторонней сваркой пластин размером $320 \times 100 \times 12$ мм со скосом кромок 25 ± 1 °С из стали 09Г2С. Сварку проводили в нижнем положении стандартными и экс-

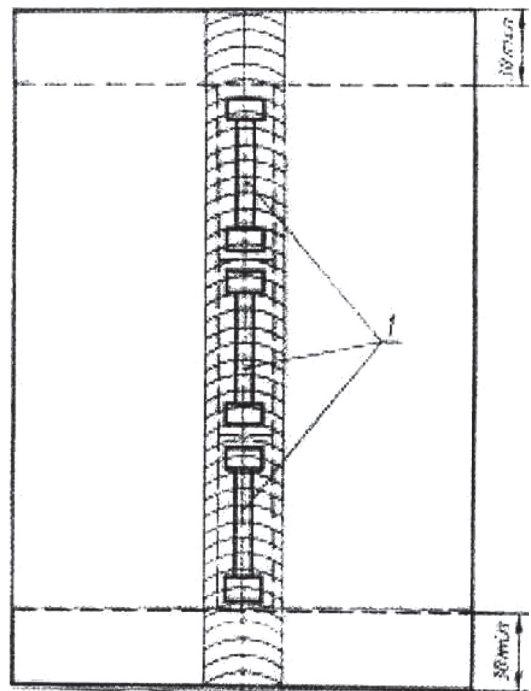


Рис. 3. Схема вырезки образцов: I – образцы на статическое растяжение

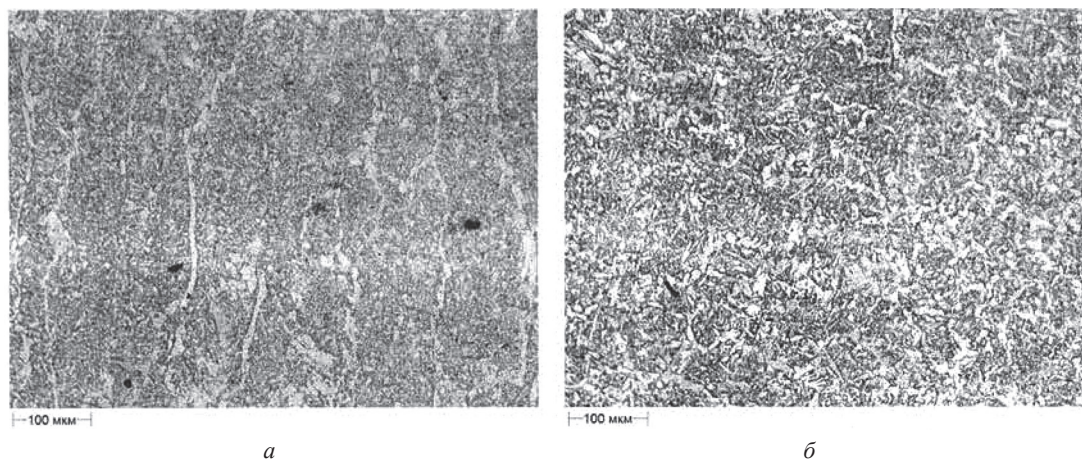


Рис. 4. Микроструктура металла шва, полученного электродом без модифицирующей добавки: *a* – верхнего заполняющего прохода; *б* – корневого шва

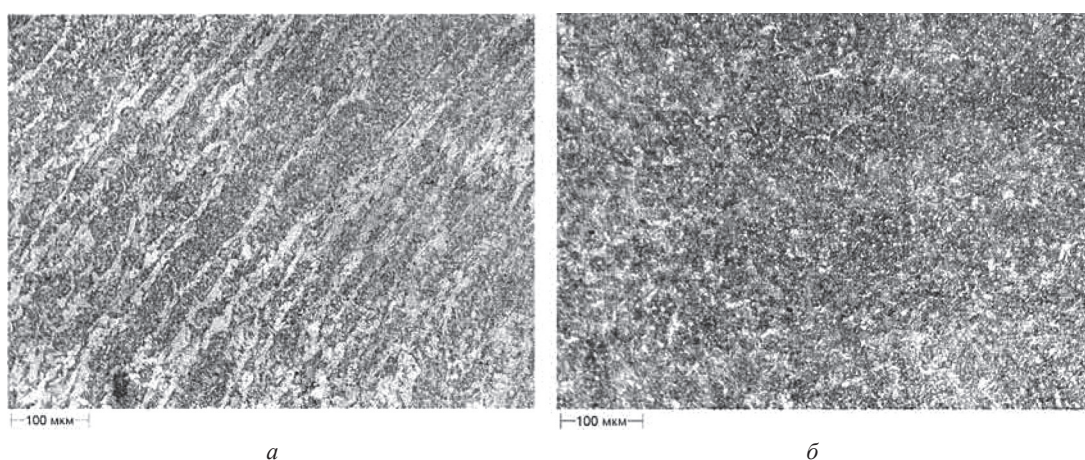


Рис. 5. Микроструктура металла шва, полученного электродом с модифицирующей добавкой, которая вводилась способом нанесения с жидким стеклом на поверхность стандартного покрытия: *a* – верхнего заполняющего прохода; *б* – корневого шва

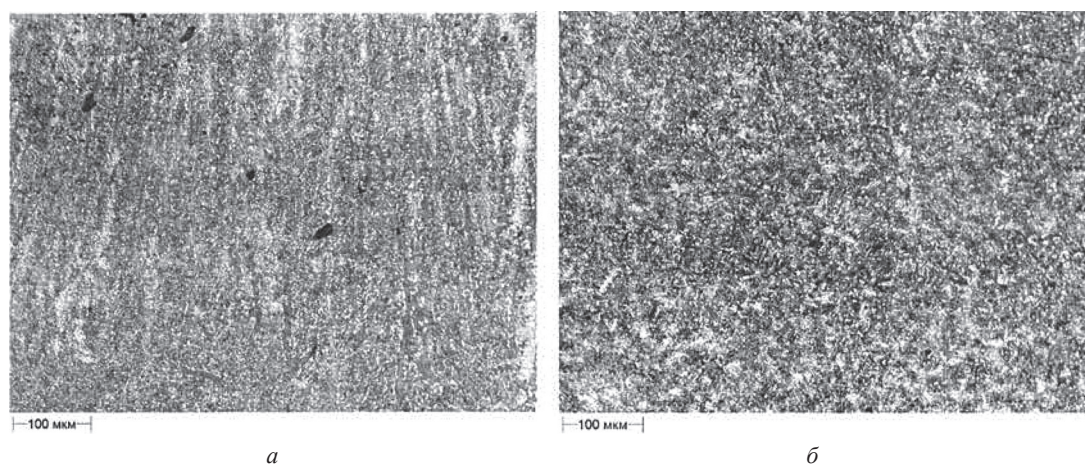


Рис. 6. Микроструктура металла шва, полученного электродом с модифицирующей добавкой, которая вводилась способом ввода в сухую шихту: *a* – верхнего заполняющего прохода; *б* – корневого шва

Анализ сравнительных испытаний на растяжение показал, что показатели предела прочности металла швов, полученные электродами со стандартным покрытием и экспериментальными, практически имеют одинаковое значение. При этом предел текучести повысился от 428 МПа для металла шва, выполненного стандартным электродом, до 435 МПа – экспериментальными электродами. Следует отметить некоторое повышение такого показателя, как относительное удлинение, значение которого повысилось на 20–23% у металла шва, полученного экспериментальными электродами по сравнению со стандартным электродом.

Микроструктуры металла сварных швов, полученных электродами, имеющих стандартное и экспериментальные покрытия, представлены на рис. 4–6.

Анализ структур показал, что микроструктура верхнего заполняющего прохода (рис. 4, а), выполненного электродом со стандартным покрытием, состоит из зоны столбчатых кристаллов. По границам вытянутых в сторону тепловода зерен присутствует ферритная сетка, в том числе наблюдается видманштеттовский феррит. Внутри зерен образуется феррито-карбидная структура с игольчатой морфологией феррита. Средний поперечный размер столбчатых кристаллов составляет от 100 до 200 мкм. Микроструктуры таких же слоев, полученных экспериментальными электродами, характеризуются зоной более мелких столбчатых кристаллов, их размер составляет от 20 до 80 мкм (рис. 5, а, б, а).

На рис. 4, б, 6, б показаны микроструктуры металла корневых швов. Следует отметить, что структура корневого шва определяется не только типом сварочного материала, но и термическим циклом в этой зоне от теплового воздействия последующих проходов заполняющих слоев. В процессе сварки последующих слоев структура корневого шва претерпевает значительные изменения, а именно полную перекристаллизацию. Микроструктуры данных корневых швов во всех случаях характеризуются равноосными зернами, при этом размер зерна корневого шва, полученного экспериментальными электродами, составляет 30–80 мкм, а полученного стандартными – от 80 до 150 мкм. Следует отметить, что модифицирующая добавка независимо от способа ввода в покрытие электрода позволила получить более мелкозернистую структуру металла шва по сравнению с металлом шва, полученного стандартным электродом.

Таким образом, установлено, что модифицирующая добавка, имеющая в своем составе такие химические элементы, как барий, стронций, калий, кремний, алюминий, ванадий, представляющая собой смесь устойчивых соединений щелочноземельных металлов в виде карбонатов и введенная в покрытие электродов способом нанесения ее со связующим на поверхность стандартного покрытия или способом ввода в состав сухой шихты перед их опрессовкой, позволила повысить сварочно-технологические характеристики электрода и измельчить структуру металла шва, что обусловило повышение его механических свойств, особенно пластичности металла шва. При этом значение относительного удлинения металла шва повысилось на 20–23%, что будет способствовать повышению сопротивляемости образования горячих трещин и, вероятно, холодных трещин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Электрод** для дуговой сварки и наплавки: пат. 2407617 РФ, МПК В23К35/365 / Г. Н. Соколов, А. С. Трошков, В. И. Лысак; заявитель Волгоградский гос. техн. ун-т. №а. 2009122805; заявл. 15.06.2009; опубл. 27.12.2010 // Официальный бюл. / Изобретения, полезные модели. 2010. № 36.
2. **Makarov S. V., Sapozhkov S. B.** Use of complex nanopowder (Al₂O₃, Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding // World Applied Sciences Journal, 22 (SPL. ISSUE2). 2013. P. 87–90.
3. **Урбанович Н. И.** Исследование влияния модифицирующей добавки с ультрадисперсными частицами в покрытие электрода для ручной 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.

REFERENCES

1. **Sokolov G. N., Troshkov A. S., Lysak V. I.** *Jelektrod dlja dugovoj svarki i naplavki* [Electrode for arc welding and surfacing]. Patent RF, no. 2407617, 2010.
2. **Makarov V., Sapozhkov S. B.** Use of complex nanopowder (Al₂O₃, Si, Ni, Ti, W) in production of electrodes for manual arc welding. World Applied Sciences Journal (Special Issue on Techniques and Technologies), 2013, pp. 87–90.
3. **Urbanovich N. I., Mel'nichenko V. V., Baranovsky K. E., Rozenberg E. V., Radchenko A. A., Ignatovich Z. V.** Issledovanie vlijaniya modifizirujushhej dobavki s ul'tradispersnymi chasticami v pokrytie jelektroda dlja ruchnoj dugovoj svarki na tehnologicheskie parametry izgotovlenija jelektroda [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]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2018, vol. 91, no. 2, pp. 108–112.