

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Р. М. Саидов, Р. Х. Рахимов, Ф. М. Рахимова, Результаты применения функциональной керамики в составе шлаковой системы $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CaO}_2\text{-TiO}_2$ для покрытий сварочных электродов, *Comp. nanotechnol.*, 2022, том 9, выпуск 3, 53–59

DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-3-53-59

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.220.255.141

9 ноября 2024 г., 00:14:30



Результаты применения функциональной керамики в составе шлаковой системы $Fe_3O_4-CaO_2-TiO_2$ для покрытий сварочных электродов

Р.М. Саидов^a ©, Р.Х. Рахимов^b ©, Ф.М. Рахимова^c ©

Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце»
Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

^a E-mail: saidov_r@yahoo.com

^b E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^c E-mail: f.rakhimova@imssolar.uz

Аннотация. В настоящей статье приведены результаты исследований по изучению влияния введения в состав покрытий сварочных электродов оксидной системы $Fe_3O_4-CaO_2-TiO_2$, наноструктурированной функциональной керамики (НФК), выделяющей газовой фазы, при температуре 1250 °С и выше, а также сравнительные результаты прокали электродов по стандартной технологии в электрических печах и в печах с использованием излучения НФК на сварочно-технологические свойства сварочных электродов. По результатам исследований выявлено, что совместное влияние добавок наноструктурированной функциональной керамики ЗКНМ в шихту электродных покрытий и прокали сварочных электродов методом с использованием импульсного излучения ИК благоприятно влияют на такие сварочно-технологические свойства сварочных электродов, как разрывную длину дуги $L_{р\text{дд}}$ и формирование наплавленной точки $\phi_{\text{св.т}}$. Также установлено положительное влияние наноструктурированной функциональной керамики ЗКНМ на коэффициент потерь на угар и разбрызгивание ψ , независимо от методов термообработки сварочных электродов, величина которого снижается в 2 раза.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, сварочные электроды, наноструктурированная функциональная керамика (НФК), сушка и прокали электродов, импульсное излучение, сварочно-технологические свойства электродов

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Саидов Р.М., Рахимов Р.Х., Рахимова Ф.М. Результаты применения функциональной керамики в составе шлаковой системы $Fe_3O_4-CaO_2-TiO_2$ для покрытий сварочных электродов // Computational nanotechnology. 2022. Т. 9. № 3. С. 53–59. DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-3-53-59

Results of the Application of Functional Ceramics in Composition of the $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CaO}_2\text{-TiO}_2$ Slag System for Welding Electrode Coatings

R.M. Saidov^a ©, R.Kh. Rakhimov^b ©, F.M. Rakhimova^c ©

Institute of Materials Science of the SPA "Physics-Sun" of the Academy of Science of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

^a E-mail: saidov_r@yahoo.com

^b E-mail: rustam-shsul@yandex.com

^c E-mail: f.rakhimova@imssolar.uz

Abstract. This article presents the results of research on the influence of the combined effect of nanostructured functional ceramics (NFC) of the ZKHM brand in the composition of coatings of welding electrodes of the $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CaO}_2\text{-TiO}_2$ oxide system and electrode calcination using standard technology in electric furnaces and in furnaces using NFC radiation on the welding and technological properties of welding electrodes. According to the research results, the combined effect of additives of nanostructured functional ceramics ZKHM in the slag of electrode coatings and calcination of welding electrodes by the method using pulsed radiation ИК favorably affects such welding and technological properties of welding electrodes as the breaking length of the arc L_{bla} and the formation of the deposited metal ϕ_{dp} . The positive effect of nanostructured functional ceramics ZKHM on the losses factor for waste and splashing ψ , regardless of the methods of heat treatment of welding electrodes, the value of which is reduced by 2 times, has also been established.

Key words: manual arc welding, welding electrodes, nanostructured functional ceramics (NFC), drying and calcining of electrodes, welding and technological properties of electrodes

FOR CITATION: Saidov R.M., Rakhimov R.Kh., Rakhimova F.M. Results of the Application of Functional Ceramics in Composition of the $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CaO}_2\text{-TiO}_2$ Slag System for Welding Electrode Coatings. *Computational Nanotechnology*. 2022. Vol. 9. No. 3. Pp. 53–59. (In Rus.) DOI: 10.33693/2313-223X-2022-9-3-53-59

ВВЕДЕНИЕ

Функциональная керамика характеризуется ярко выраженными свойствами и широко применяется в различных изделиях и устройствах. Это могут быть материалы с особыми физическими свойствами, например, электрическими, магнитными, тепловыми, оптическими, пьезоэлектрическими и другими [1–3].

Однако, исследование влияния добавок наноструктурированной функциональной керамики (НФК) в шихту электродных покрытий и совместное влияние добавок наноструктурированной функциональной керамики и прокалики с использованием импульсного излучения НФК не проводились.

В связи с этим, целью настоящей работы являлось проведение исследований совместного влияния небольших добавок наноструктурированной функциональной керамики (НФК), (лабораторное название ZKHM), синтезированной на солнечной печи, на основе таких окислов как, SiO_2 , CuO , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , CeO , CaO , MgO , Al_2O_3 , ZrO_2 в количестве от 0 до 8%, методов сушки и прокалики сварочных электродов кислородного типа с покрытием, состоящим из оксидов

шлаковой системы $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CaO}_2\text{-TiO}_2$, на сварочно-технологические свойства сварочных электродов.

Точное содержание компонентов и технология синтеза функциональной керамики не приводятся в данной статье, так как являются предметом заявки на изобретение.

Отличительной особенностью такой керамики, является способность генерировать импульсное излучение и образование газовой фазы при высоких температурах. Кроме того, при ее добавке в шлаковые системы в малых количествах, она играет роль поверхностно-активного вещества. Проявление того или иного свойства НФК, зависит от состава шлаковой основы шихты и концентрации добавок керамики в шихте, используемой для обработки металлов при высоких температурах.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе реализации настоящих исследований, покрытия на сварочных электродах получали методом окунания в обмазочную массу, состоящую из оксидов железа, титана и карбоната кальция (шлаковая система

$Fe_3O_4-CaO_2-TiO_2$) с добавками наноструктурированной функциональной керамики (НФК) ЗКНМ от 0 до 8% и получаемую в результате смешивания исследуемых соединений (порошок с гранулометрическим составом менее 100 мкм) с жидким стеклом (плотностью

1,4 г/см³) в соотношении, способствующим образованию на поверхности металлического стержня слоя обмазки, толщиной 0,8–1,2 мм. После нанесения обмазки, электроды сушились и прокаливались различными методами, представленными в табл. 1.

Таблица 1

**Методы и режимы термообработки сварочных электродов
[Welding electrodes heat treatment methods and parameters]**

Метод термообработки [Heat treatment methods]	Температура термообработки (сушка + прокалка), °С [Temperature, °C]	Длительность термообработки (сушка + прокалка), мин [Heat treatment duration, min]	Потеря веса (сушка + прокалка), % [Weight loss, %]
Обычная сушка при комнатной температуре (К) [Natural drying at room temperature]	25	1440	0,87
Обычная сушка при комнатной температуре + прокалка с использованием импульсного излучения НФК (ИК) [Natural drying at room temperature + calcining with the use of radiation NFC]	25 +150	1440 + 10	0,87 + 1,15
Обычная сушка при комнатной температуре + прокалка в электрической печи (SEF) [Natural drying at room temperature + calcining in standart electric furnace(SEF)]	25 + 180	1440 + 60	0,87 + 1,15

Шихта наноструктурированной функциональной керамики ЗКНМ, использованной в качестве добавок в электродное покрытие, изготовлена из смеси порошков на основе хромита железа с добавками двуоксида кремния, оксида кальция, оксида алюминия, оксида магния, оксида меди с гранулометрическим составом 2–10 мкм с содержанием фракции 5 мкм не менее 50%. Технология изготовления этой керамики осуществлялась в соответствии с патентом США № 5.350.927 [7].

В качестве сварочно-технологических свойств сварочных электродов изучались такие свойства, как стабильность горения дуги сварочного электрода $L_{рлд}$, формирование наплавленной точки $\sigma_{св.т}$, величина козырька или чехла на торце электрода h_k и коэффициент потерь на угар и разбрызгивание Ψ . Указанные сварочно-технологические свойства сварочных электродов определяли по методике, описанной в работе [8, 9].

Наплавка осуществлялась на пластину из стали СтЗсп, толщиной 5 мм, при помощи выпрямителя инверторного типа типа Jasic TIG–200P. Питание сварочной дуги осуществлялось на переменном токе при величине силы сварочного тока 140 А и диаметре стержня электрода 4 мм.

Степень влияния методов и условий термообработки, времени воздействия импульсного излучения и добавок НФК в покрытии электрода на сварочно-технологические свойства сварочных электродов оценивали с помощью коэффициента детерминированности R^2 [10]. Коэффициент детерминированности находится в диапазоне $0 < R^2 < 1$, и обозначает силу линейной

корреляции между исследуемыми режимами и свойствами. При построении графиков зависимостей использовали полиномиальные аппроксимирующие кривые.

Результаты исследований влияния методов термообработки и составов покрытий на сварочно-технологические свойства сварочных электродов приведены в табл. 2.

Результаты исследований сварочно-технологических свойств сварочных электродов в зависимости от метода и режимов прокалики представлены на рис. 1–4.

Как видно из полученных результатов, наблюдается благоприятное влияние термической обработки исследуемых покрытий сварочных электродов на разрывную длину дуги $L_{рлд}$ и устойчивое горение дуги при добавке в состав покрытия 4% наноструктурированной функциональной керамикой (НФК) типа ЗКНМ и прокалке электродов в печи с импульсным излучением ИК (рис. 1). При этом, можно видеть, что добавка в покрытие ЗКНМ благоприятно влияет на повышение разрывной длины дуги $L_{рлд}$ только при прокалке в печи с использованием импульсного излучения ИК, т.е. при совместном воздействии наноструктурированной функциональной керамики (НФК), используемой в виде добавки ЗКНМ и источника импульсного излучения ИК.

Похожие результаты выявлены при изучении влияния содержания ЗКНМ в покрытии и методов сушки и прокалики сварочных электродов на формирование наплавленной точки $\sigma_{св.т}$ (рис. 2).

Результаты исследования сварочно-технологических свойств сварочных электродов кислотно-рутилового типа ($Fe_3O_4-CaCO_3-TiO_2 + ZKHM$) в зависимости от метода термической обработки и содержания ЗКХМ [Results of research of welding and technological properties of welding electrodes of acid-rutil type ($Fe_3O_4-CaCO_3-TiO_2 + ZKHM$) depending on the heat treatment method]

Метод термообработки [Heat treatment methods]	Содержание ЗКХМ в покрытии электрода, % [ZKHM content in the electrodes coated, %]	Разрывная длина дуги $L_{рда}$, мм [Breaking length of the arc L_{bla} , mm]	Козырек на торце электрода h_k , мм [Visor at the end of the electrode h_v , mm]	Формирование наплавленной точки $\sigma_{св.т}$, мм [Formation of the deposited metal σ_{dp} , mm]	Коэффициент потерь на угар и разбрызгивание Ψ , % [Loss factor for waste and splashing Ψ , %]
Обычная сушка при комнатной температуре (К) [Natural drying at room temperature]	0	9,6	0,3	8,9	30,8
	1	8,3	0,1	8,6	44,5
	2	9,3	0,2	9	14,9
	4	8,5	0,4	9,1	15,5
	8	9	0	9	10,6
Обычная сушка при комнатной температуре + прокалка с использованием импульсного излучения НФК (ИК) [Natural drying at room temperature + calcining with the use of radiation NFC]	0	9,3	0	9,1	20,4
	1	9,2	0,2	8,8	19,1
	2	9	0	9,4	19,1
	4	11,2	0,3	9,8	16,2
	8	9,7	0	9	12,1
Обычная сушка при комнатной температуре + прокалка в электрической печи (SEF) [Natural drying at room temperature + calcining in standart electric furnace(SEF)]	0	10,5	0	9,7	22,1
	1	6,8	0	8,1	20,7
	2	10	0,3	9,4	14,5
	4	9,2	0	9,6	16,9
	8	9,7	0	9	13,2

Примечание. Каждое значение, указанное в таблице, соответствует среднему арифметическому результату трех измерений. [Note. Each value shown in the table corresponds to the arithmetic mean of the results of three measurements.]

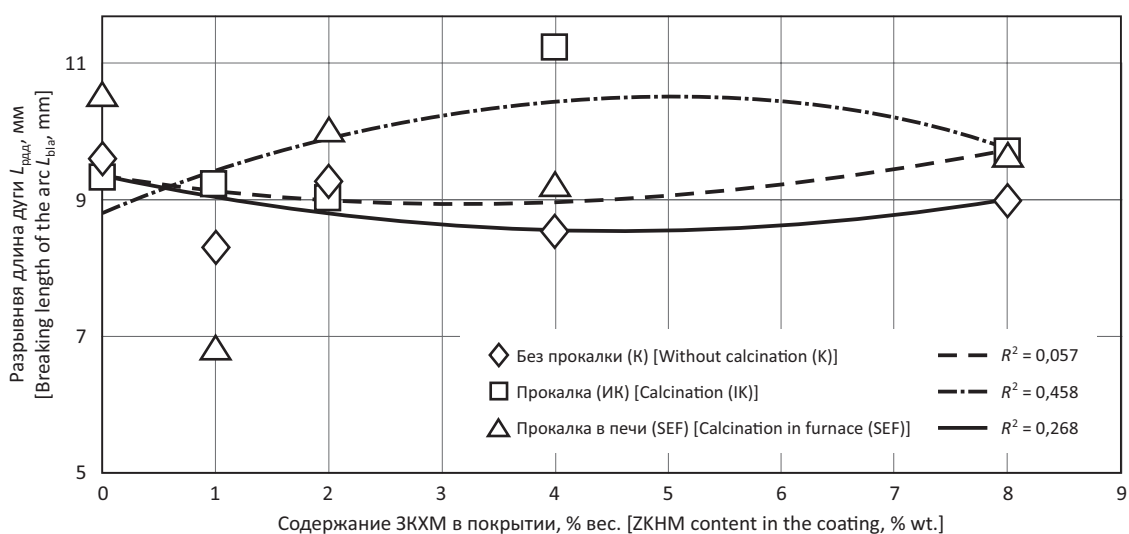


Рис. 1. Зависимость разрывной длины дуги $L_{рда}$ сварочных электродов в зависимости от содержания «ЗКХМ» в покрытии электрода, а также метода и режимов их термообработки

Fig. 1. Depending of the heat treatment method and content of the ZKHM in the slag coating electrodes on the Breaking length of the arc L_{bla}

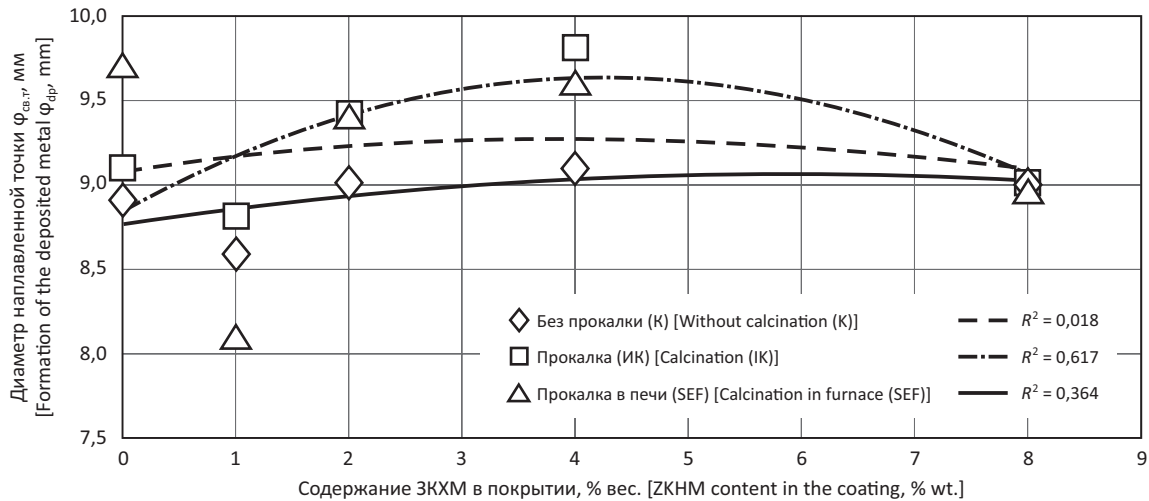


Рис. 2. Зависимость диаметра наплавленной точки $\phi_{св.т}$ сварочных электродов в зависимости от содержания ЗКХМ в покрытии электрода, а также метода и режимов их термообработки

Fig. 2. Depending of the heat treatment method and content of the ZKHM in the slag coating electrodes on the Formation of the deposited metal ϕ_{dp}

Все кривые зависимостей формирования наплавленной точки $\phi_{св.т}$ от содержания ЗКХМ в покрытии и методов сушки и прокалики сварочных электродов имеют параболический характер с максимумом при содержании в покрытии 4% наноструктурированной функциональной керамикой (НФК) типа ЗКХМ и термообработке электродов в печи с импульсным излучением ИК. Наиболее эффективное действие на формирование наплавленной точки $\phi_{св.т}$ наблюдается при совместном воздействии наноструктурированной функциональной керамики (НФК) используемой в виде добавки ЗКХМ и источника импульсного излучения ИК.

По-видимому, эти эффекты объясняются тем, что добавка ЗКХМ в малых количествах (до 4%) играет роль поверхностно-активного вещества и способствует снижению поверхностного натяжения капли на торце электрода. Это облегчает отделение капель с конца электрода и переводит процесс переноса металла при сварке из крупнокапельного в мелкокапельный [11], что соответственно, приводит к увеличению разрывной длины дуги $L_{рдд}$ и улучшению формирования наплавленной точки $\phi_{св.т}$.

Однако, превышение концентрации содержания НФК выше определенного значения (свыше 4%), приводит к повышению выделения газовой фазы и снижению эффекта поверхностно-активного вещества, ухудшая его влияния на устойчивость горения дуги $L_{рдд}$ и формирование наплавленной точки $\phi_{св.т}$.

Также, в настоящей работе, проводились исследования влияния введения наноструктурированной функциональной керамики ЗКХМ в состав электродного покрытия и методов сушки и прокалики сварочных электродов на величину козырька или чехла на торце электрода h_k (рис. 3). Так, при прокалике электродов по стандартной технологии в электрической печи ко-

зырек на торце электрода образуется только при 2% содержании ЗКХМ в покрытии, а при прокалике в печи с использованием импульсным излучением ИК при содержании в покрытии ЗКХМ 1 и 4%. Характерно, что в случае добавки в электродное покрытие ЗКХМ до 8%, независимо от метода сушки и прокалики, образование козырька не выявлено. Следует отметить, что козырек на торце отсутствует и при сварке электродами с обмазкой без добавок ЗКХМ, как при прокалике электродов по стандартной технологии, так и с использованием импульсного излучения ИК. Учитывая, что максимальная высота козырька на торце электрода составляет всего 0,3 мм, которая практически не влияет на качество сварочных электродов и не препятствуют нормальному плавлению электрода при сварке. В связи с этим, можно считать, что добавки в шихту ЗКХМ не влияют на образование чехла и козырька на торце электродов и является достаточным проведение прокалики электродов любым методом.

На рис. 4 представлены результаты исследований влияния введения наноструктурированной функциональной керамики ЗКХМ в состав электродного покрытия и методов термообработки сварочных электродов на коэффициент потерь на угар и разбрызгивание Ψ , которая характеризуется очень сильной корреляцией при прокалике с использованием импульсного излучения ИК ($R^2 = 0,987$) и сильной корреляционной связью при стандартной прокалике в электрической печи SEF ($R^2 = 0,739$). Согласно полученным данным, добавки ЗКХМ в шихту покрытий электродов до 8%, независимо от метода термообработки, способствуют снижению потерь на угар и разбрызгивание Ψ при сварке с 20–30 до 10–13% (рис. 4), т.е. небольшие добавки наноструктурированной функциональной керамики ЗКХМ в электродные покрытия позволяют снизить коэффициента потерь Ψ в 2 раза.

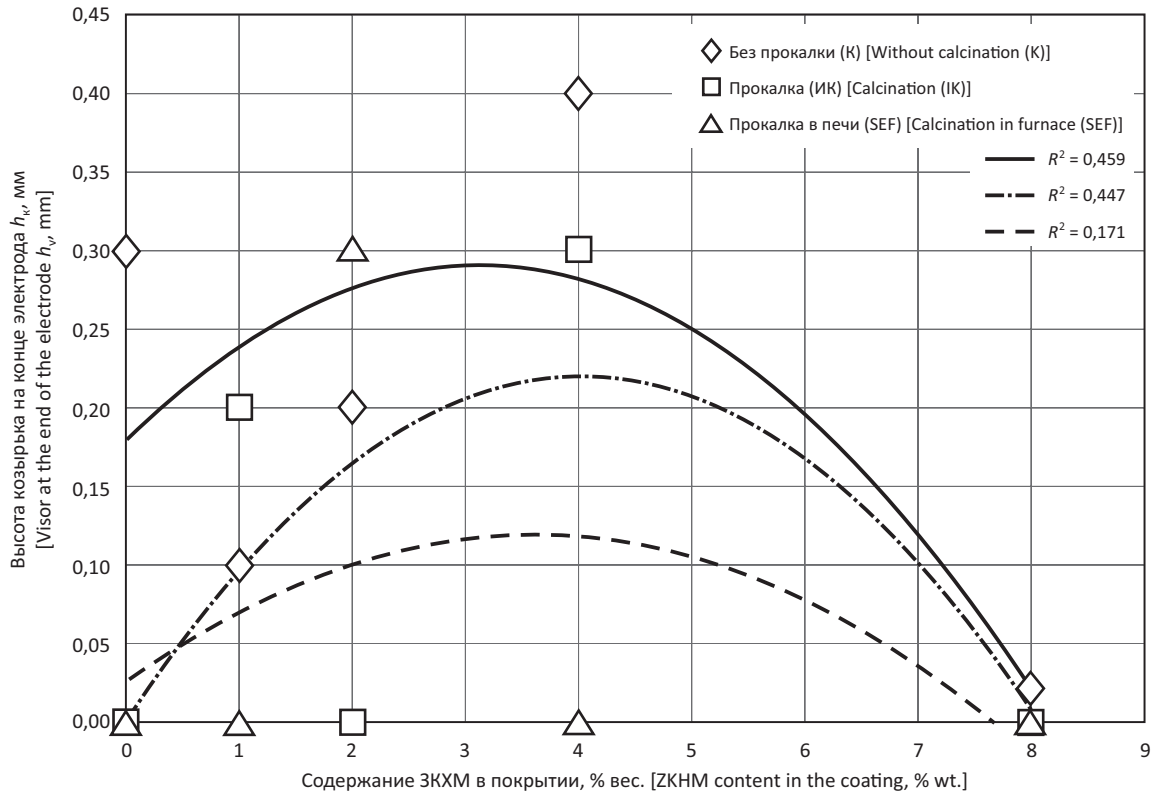


Рис. 3. Зависимость диаметра козырька или чехла на торце электрода h_k сварочных электродов в зависимости от содержания ЗКХМ в покрытии электрода, а также метода и режимов их термообработки

Fig. 3. Depending of the heat treatment method and content of the ZKHМ in the slag coating electrodes on the Visor at the end of the electrode h_v

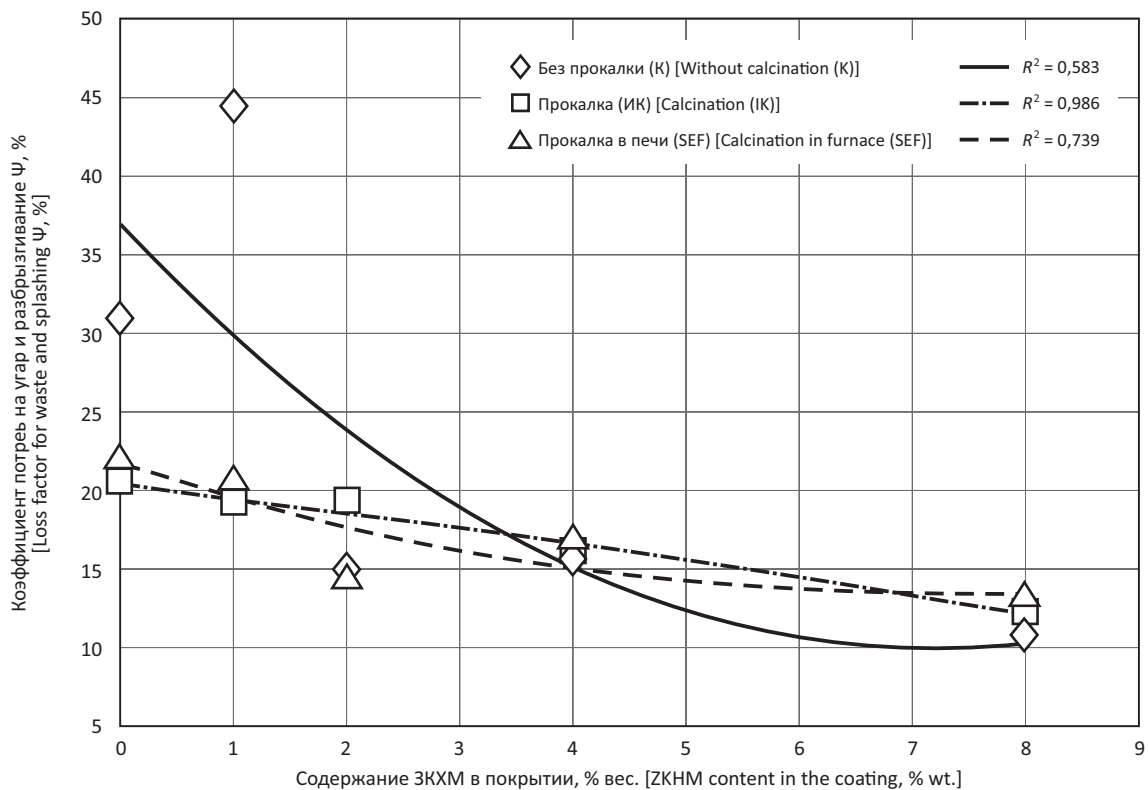


Рис. 4. Зависимость коэффициент потерь на угар и разбрызгивание Ψ сварочных электродов в зависимости от содержания ЗКХМ в покрытии электрода, а также метода и режимов их термообработки

Fig. 4. Depending of the heat treatment method and content of the ZKHМ in the slag coating electrodes on the Loss factor for waste and splashing Ψ

Такой эффект, видимо, связан со способностью ЗКНМ генерировать импульсное излучение во время нагрева покрытия при сварке, которое способствует эффективному удалению влаги, оставшейся в покрытии после термической обработки сварочных электродов. Как известно [12], остаточная влажность покрытия ухудшает такие сварочно-технологические свойства сварочных электродов, как разбрызгивание и неравномерность плавления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с полученными данными, совместное влияние добавок наноструктурированной функциональной керамики ЗКНМ в шихту электродных покрытий, состоящей из оксидов $Fe_3O_4-CaO_2-TiO_2$, и прокали сварочных электродов ИК-излучением, генерируемым функциональной керамикой, благоприятно влияют на такие сварочно-технологические свойства сварочных электродов, как разрывную длину дуги $L_{рэд}$ и формирование наплавленной точки $\sigma_{н.г}$.

Независимо от методов термообработки сварочных электродов, добавки наноструктурированной функциональной керамики ЗКНМ в шихту электродных покрытий снижают коэффициента потерь на угар и разбрызгивание Ψ в 2 раза.

Литература/References

1. White paper on nanotechnology: Research in the field of nanoparticles, nanostructures and nanocomposites in the Russian Federation. Moscow: LKI publishing House, 2008. 344 p.

Статья проверена программой Антиплагиат

Рецензент: *Раджапов С.А.*, доктор физико-математических наук; ведущий научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз (Ташкент, Республика Узбекистан)

Статья поступила в редакцию 12.08.2022, принята к публикации 17.09.2022
The article was received on 12.08.2022, accepted for publication 17.09.2022

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Саидов Рустам Маннапович, кандидат технических наук; старший научный сотрудник Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0126-5273>; Scopus Author ID: 6602574798; E-mail: saidov_r@yahoo.com

Рахимов Рустам Хакимович, доктор технических наук; заведующий лабораторией № 1 Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-9260>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Рахимова Фатима Маратовна, младший научный сотрудник Института материаловедения Научно-производственного объединения «Физика-Солнце» Академии наук Республики Узбекистан. Ташкент, Республика Узбекистан. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5517-760X>; E-mail: f.rakhimova@imssolar.uz

2. *Khasanov O.L., Bikbaeva Z.G.* Nanostructured ceramics. powder technologies for compacting structural materials. Tomsk: Polytechnic University, 2009. P. 41.
3. *Saidov R.M., Rakhimov R.Kh., Yusupov B.D. ugli, Kholdorov M.K.B. ugli.* Efficiency of drying and calcining of welding electrodes in furnaces using radiator from nanostructured functional ceramics (NFC). *Computational Nanotechnology*. 2020. Vol. 7. No. 2. Pp. 64–70.
4. *Rakhimov R.H., Rashidov H.K., Ermakov V.P. et al.* Features of synthesis of functional ceramics with a set of specified properties by radiation method. Part 4. *Comp. Nanotechnol.* 2016. No. 2. Pp. 77–80.
5. *Rakhimov R.Kh.* Generation and properties of infrared radiation. *Comp. Nanotechnol.* 2019. No. 2. Pp. 95–100. DOI: <https://doi.org/10.33693/2313-223X-2019-6-2-101-137>.
6. *Rakhimov R.Kh., Kim E.V.* USA Patent “Treatment of materials with infrared radiation”. No. 5472720 from 12.05.1995.
7. *Rakhimov R.Kh., Kim E.V.* USA Patent “Radiation emitting ceramic materials and devices containing same”. No. 5.350.927 from 27.09.1994.
8. *Saidov R.M., Rakhimov R.Kh., Yusupov B.D., Kholdorov M.K.* A new method of drying and calcining welding electrodes using emitters made of functional ceramics. *Computational Nanotechnology*. 2020. No. 1. Pp. 44–52.
9. *Litvinova T.R., Elsukov S.K., Antipov I.S. et al.* Study of the welding and technological properties of coated electrodes for welding low-alloy high-strength steels. *International Research Journal*. 2017. No. 05. Part 3. Pp. 71–75.
10. <http://mathbits.com/MathBits/TISection/Statistics2/correlation.htm>
11. http://oitsp.ru/welding_article/perenos-elektrodnogo-metalla-v-svarochnuyu-vannu
12. <https://www.spetselectrode.ru/download/2018-Kachestvo-electrodo-i-kachestvo-svarnih-soedineniy/1.htm>

ABOUT THE AUTHORS

Rustam M. Saidov, Cand. Sci. (Eng.); leader research at the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0126-5273>; Scopus Author ID: 6602574798; E-mail: saidov_r@yahoo.com

Rustam Kh. Rakhimov, Dr. Sci. (Eng.); Head at the Laboratory No. 1 of the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6964-9260>; E-mail: rustam-shsul@yandex.com

Fatima M. Rakhimova, senior research at the Institute of Materials Science of the SPA “Physics-Sun” of the Academy of Science of Uzbekistan. Tashkent, Republic of Uzbekistan. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5517-760X>; E-mail: f.rakhimova@imssolar.uz