

7. Brekke I.J., Puntervoll L.H., Pedersen P.B., Kellett J., Brabrand M. The value of vital sign trends in predicting and monitoring clinical deterioration: A systematic review. *PloS one*, 2019, vol. 14 (1), pp. 1-13. doi: 10.1371/journal.pone.0210875. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6333367/>. (accessed 01 March 2021).

Рецензент: В.О. Маслов
д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 23.03.2021

УДК 66.046:532.137

doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240586

© Макуров С.Л.¹, Погібасєв О.Є.²

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ШЛАКІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У ПРОЦЕСАХ СПЕЦІАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ (СЕМ)

Розвиток металургійної промисловості України в значній мірі залежить від експорту спеціальних сталей високої якості, які одержують способами спеціальної електрометалургії. Якість металу, що одержують такими способами (в першу чергу способом ЕШП), визначається властивостями флюсу на основі CaF_2 , з якого протягом плавки утворюється рідкий шлак. Шлак служить джерелом теплоти, а також середовищем, в якому включення, що містяться в металі, та шкідливі домішки видаляються в результаті хімічної реакції або розчинення. Впливаючи на шлак, можна здійснювати вплив не лише на хімічний склад, а також на структуру злитка. В цілому вказані шлаки повинні мати не лише високу рафінуючу здатність, а й відповідати ряду інших вимог, які на практиці частенько вступають у протиріччя. У кожному конкретному випадку треба підібрати такий шлак, який відповідалиме найбільш важливим вимогам, у першу чергу має оптимальну електропровідність. З метою застосування шлаків раціонального хімічного складу виконали експериментальні дослідження електропровідності деяких шлаків, що застосовують у процесах спеціальної електрометалургії. У роботі використовували експериментальну установку із застосуванням датчика оригінальної конструкції. Вимірювальна гарунка, що занурюється у тигель з рідким шлаком, зроблена з нітрідборового циліндра, у який вставлена термopара та вольфрамові електроди для вимірювання електропровідності. Вимірювання проводили з використанням змінного струму із частотою 400 Гц. Одержані експериментальні результати добре відповідають літературним даним щодо флюсів із хімічним складом близьким к дослідженню і даним розрахунків за рекомендованою в літературі емпіричною формулою. Результати виконаних досліджень дозволяють рекомендувати для промислового використання флюси АН-14 та АН-15, які, крім усього, вміщують невелику кількість шкідливого для здоров'я плавикового шпату.

Ключові слова: флюс, шлак, плавлення, температура, хімічний склад, електропровідність, тигель, вимірювання.

S.L. Makurov, O.E. Pogibayev. Experimental study of electrical conductivity of slags used in special electrometallurgy (SEM). The development of the metallurgical industry

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, makurov@ukr.net

² студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, legdars.official@gmail.com

of Ukraine largely depends on the export of special high-quality steels, which are obtained by special electrometallurgy. The quality of the metal obtained by such methods (primarily by the ESR method) is determined by the properties of the flux based on CaF_2 , from which liquid slag is formed during melting. Slag serves as a source of heat, as well as an environment in which the inclusions contained in the metal and harmful impurities are removed by chemical reaction or dissolution. Affecting the slag can affect not only the chemical composition but also the structure of the ingot. In general, these slags must not only have a high refining capacity, but also meet a number of other requirements, which in practice often come into conflict. In each case it is necessary to choose such slag which will meet the most important requirements, first of all has optimum electric conductivity. In order to use slags of rational chemical composition, experimental studies of the electrical conductivity of some slags used in SEM processes were performed. The work used an experimental setting, using a sensor of the original design. The measuring ring, which is immersed in a crucible with liquid slag, is made of a nitridescent cylinder, into which a thermocouple and tungsten electrodes are inserted to measure electrical conductivity. The measurements were performed using alternating current with a frequency of 400 Hz. The obtained experimental results correspond well to the literature data on fluxes with a chemical composition close to the studied ones and to the calculation data according to the empirical formula recommended in the literature. The results of the performed researches allow to recommend for industrial use fluxes AN-14 and AN-15, which, in addition, contain a small amount of fusible harmful feldspar.

Keywords: flux, slag, melting, temperature, chemical composition, electrical conductance, crucible, measurement.

Постановка проблеми. Розвиток металургійної промисловості України в значній мірі залежить від експорту спеціальних сталей високої якості, які одержують способами спеціальної електрометалургії. Якість металу, що одержують такими способами, в першу чергу способом електро-шлакового перепау (ЕШП), визначається властивостями флюсу на основі CaF_2 , з якого в ході плавки утворюється рідкий шлак. Шлак служить джерелом теплоти, а також середовищем, в якому включення, що містяться в металі, видаляються в результаті хімічної реакції або розчинення і в якій здійснюється необхідне регулювання вмісту кисню, сірки та інших елементів. Шлак захищає розплавлений метал від безпосереднього атмосферного окислення, створює резервуар тепла вище розплавленого металу, який запобігає утворенню усадкової раковини і внутрішньої усадки. Впливаючи на шлак, можна впливати не лише на хімічний склад, але також і на структуру злитка. В цілому ж шлаки для спеціальної електрометалургії (СЕМ) повинні мати не лише високу рафінуючу здатність, але і відповідати ряду інших вимог. Слід додати, що шлаки для СЕМ по можливості не повинні містити дорогих і дефіцитних компонентів.

Всі ці вимоги на практиці часто вступають в протиріччя і створити шлаки, що повністю відповідають ним, практично неможливо. Проте у кожному конкретному випадку треба підібрати такий шлак, який відповідатиме найбільш важливим вимогам, у першу чергу має оптимальну електропровідність. Електропровідність являється важливою характеристикою шлаків, що використовуються в електрошлакових процесах. Вказаний параметр характеризує в'язкість шлаків (має місце зворотно пропорційна залежність). Шлакова ванна діє як електричний опір в електричному ланцюзі і є джерелом тепла для перепау. Електропровідність шлаку грає важливу роль при визначенні глибини шлакової ванни і величини струму. Тому дослідження електропровідності рідких шлаків з метою оптимізації їх хімічного складу є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно літературним даним [1-6] відомо, що для легкого наведення шлакової ванни шлак має бути порівняно легкоплавким і володіти високою електропровідністю в розплавленому стані. Для підтримки стабільного електрошлакового процесу також необхідно, аби в розплавленому шлаку були присутні катіони, що перешкоджають виникненню дугового розряду, крім того, температура кипіння шлаку або окремих його компонентів має бути досить високою. Цим умовам значною мірою задовольняє фторид кальцію та його сполуки.

Розплави на основі CaF_2 характеризуються іонною провідністю, яка є функцією рухливо-

сті іонів і їх концентрації [3]. Рухливість катіонів залежить від відносної міри зв'язку між відповідними аніонами і катіонами, присутніми в розчині, і визначається розмірами іонів і в'язкістю розплаву. Електричні заряди переносяться через розплав CaF_2 іонами Ca^{2+} і F^- . Домішка оксидів до розплаву знижує провідність, оскільки, хоча іони F^- і O^{2-} мають близькі значення іонних радіусів, подвійний заряд аніона кисню посилює його зв'язок з катіонами і останні стають менш рухливими.

Оксиди з частковим полярним зв'язком (Al_2O_3 , TiO_2) надають більш значний вплив на зниження електропровідності в порівнянні з іонними зв'язками (CaO , MgO), оскільки вони мають тенденцію до утворення агрегатів і комплексних іонів (таких, як $\text{Al}_3\text{O}_7^{5-}$, AlO_3^{3-} , $\text{AlO}_2\text{F}_2^{3-}$, AlOF_2^-). Ці агрегати і комплекси мають меншу рухливість завдяки їх великим розмірам.

У літературі [1-3, 7-11] є обмежене число даних щодо електропровідності багатокомпонентних флюсів, близьких по складу до флюсів, що застосовуються в електрошлакових процесах. До того ж ці дані обмежені температурою 1400°C .

В роботі [9] досліджені фізико-хімічні властивості ряду флюсів системи $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, що застосовуються при електрошлаковому обігріві і електрошлаковому розливанні. Експериментальні флюси №4 і №5 [5] близькі за складом до флюсу АН-14, АН-15 і АН-22.

Тому дані по електропровідності з роботи [9] можуть бути використані для оцінки електропровідності цих флюсів. Для порівняння можуть бути взяті також дані з роботи [11] по електропровідності флюсу АНФ-8. Цей флюс відноситься до системи $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$ і має в своєму складі 50-60% CaF_2 . Тому його електропровідність повинна бути вище, ніж електропровідність розглянутих багатокомпонентних флюсів, в яких вміст CaF_2 знаходиться в межах 20-24%. Для визначення електропровідності багатокомпонентних шлаків на основі CaF_2 авторами [10] запропонована емпірична формула, отримана на основі експериментального вимірювання електропровідності 40 різних шлакових систем, що застосовуються в промисловості:

$$\kappa = 100 \exp(1,911 - 1,38N_x - 5,69N_x^2) + 0,39(t - 1973), \quad (1)$$

де κ – питома електропровідність, $\text{Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$; N_x – молярна частка відповідних оксидів в шлаку; t – температура, $^\circ\text{C}$;

$$N_x = N_{\text{Al}_2\text{O}_3} + 0,2N_{\text{CaO}} + 0,75N_{\text{SiO}_2} + 0,5(N_{\text{TiO}_2} + N_{\text{ZrO}_2}).$$

Метою роботи є експериментальне дослідження електропровідності рідких шлаків для процесів СЕМ, необхідне для вибору флюсів оптимального складу.

Виклад основного матеріалу. В літературі [7-11] наведено доволі численні результати досліджень електропровідності багатокомпонентних шлаків на спеціально сконструйованих експериментальних установках. У даній роботі використовували експериментальну установку, відмінність якої від відомих полягає в конструкції датчика.

Рівняння (1) можна застосувати для температур розплавленого шлаку від 1823 до 2053 K . Застосування цього рівняння дозволяє за даними авторів роботи [10] визначити електропровідність багатокомпонентних шлаків з точністю до 10%. Більш точні дані можуть бути отримані тільки експериментальними методами.

Схема вимірювального пристрою представлена на рисунку 1. Пристрій складається з двох вольфрамових електродів (1) діаметром 1 мм, щільно вставлених в блок (2), виготовлений з нітриду бору. Виступаючі кінці електродів разом з блоком утворюють вимірювальну комірку, яка занурюється в шлак. Блок кріпиться до алундової трубки за допомогою вогнетривкої замазки. У трубку вставлена термопара 4 (ВР 5/20), робочий спай якої занурений в блок 2. На холодний кінець алундової трубки надіта розпірна трубка 5 з асбоцементу. Така конструкція осередку має достатню твердість, а робочий блок з нітриду бору, який не змочується шлаковим розплавом, – високу термостійкість, шлакостійкість і незначний коефіцієнт лінійного розширення.

Досліджуваний шлак розплавляють в тиглі з нітриду бору, встановленому в центральній зоні графітового нагрівача високотемпературної печі опору. Температуру печі контролювали вольфрам-ренієвою термопарою ВР 5/20, підключеною до потенціометра.

Після досягнення температури 1400°C в шлак занурювали робочу частину вимірювального пристрою (приблизно 2/3 блока 2, см. рис. 1) і після розплавлення шлакового гарнісажу на електродах і робочому блоці приступали до вимірювання електроопору осередки, зануреної в шлак. Опір осередки вимірювали за допомогою реохордного моста, що живиться змінним

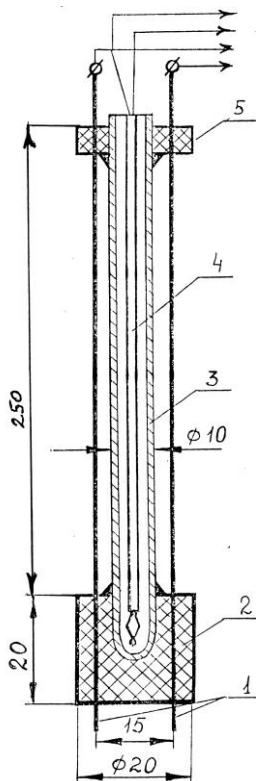


Рис. 1 – Схема приладу для вимірювання електропровідності шлаку: 1 – вольфрамові електроди; 2 – робочий блок з нітриду бора; 3 – алундова трубка; 4 – термопара; 5 – втулка з азбоцементу

ності логарифма електропровідності від зворотної температури.

Електропровідність розплавлених шлаків пов'язана з температурою відомою залежністю:

$$\kappa = A \cdot e^{-\frac{E_x}{RT}}, \tag{2}$$

де E_x – енергія активації провідності.

У логарифмічному вигляді ця залежність має вигляд:

$$\lg \kappa = -\frac{E_x}{2,3RT} + B, \tag{3}$$

де A і B – постійні величини. При постійній величині E_x , що справедливо для невеликого температурного інтервалу, залежність $\lg \kappa - 1/T$ повинна бути лінійною.

Таблиця

Хімічний склад досліджених флюсів*

Марка флюсу	Зміст компонентів, %					
	CaF ₂	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
АН-14	23,3	10,1	17,8	20,6	18,0	6,1
АН-15	22,9	14,3	25,9	22,3	11,5	2,7
АН-22	54,0	6,7	5,7	19,4	14,6	-
АНФ-6	62,0	-	2,3	35,1	-	-

*флюси містять також, %: Fe₂O₃(0,4-0,6); C(0,03-0,04); P(0,02-0,04); S(0,02-0,04).

На рис. 2 крім отриманих експериментальних даних нанесені також дані з робіт різних дослідників і результати розрахунку за формулою (1).

струмом підвищеної частоти (400 Гц) від звукового генератора.

Вимірювання електроопору осередку проводили при нагріванні шлаку до температури порядку 1600-1700°C, а потім при повільному охолодженні (0,17-0,33°C/c) до температури солідусу шлаку. Температуру вимірювальної осередки контролювали ручним переносним потенціометром з автономним живленням, який менш чутливий до зовнішніх електромагнітних полів.

Оскільки неможливо дотримати ідентичність геометричних параметрів датчиків (кожен датчик використовується для вимірювання електропровідності тільки в одному експерименті), в кожному випадку проводили індивідуальне градування вимірювальної комірки. Для цього використовували водні розчини солей, питома електропровідність яких при кімнатній температурі відома з достатньою надійністю.

Відомо, що при високих температурах багато неелектропровідних вогнетривких матеріалів стають провідниками [12]. Для оцінки можливої похибки справили «холості» виміри опору нагрітої осередки без шлаку. Величини електроопору в останньому випадку виявилися порядку декількох тисяч Ом, тобто на 3-4 порядки вище вимірюваного опору шлаку. Тому зміну опору блоку пристрою, що занурюється в шлак, до уваги не брали. Похибка вимірювань не перевищує 5%.

За розробленою методикою провели вимірювання електропровідності флюсів, хімічний склад яких наведено в таблиці.

Результати визначення електропровідності досліджених флюсів представлені на рис. 2 в вигляді залежності

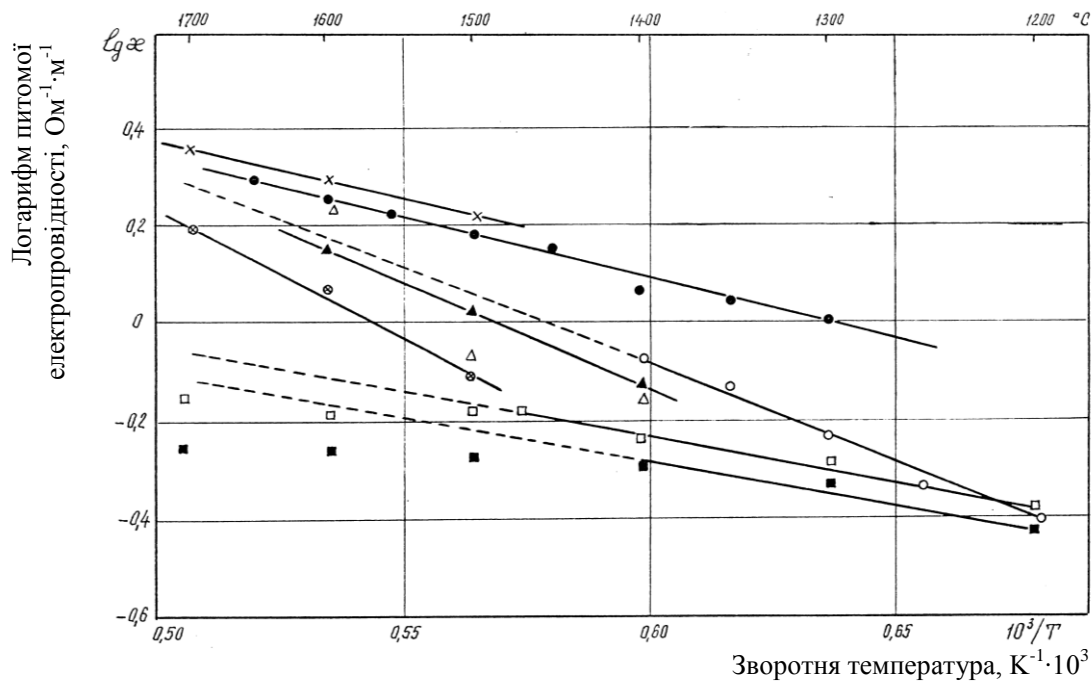


Рис. 2 – Залежність електропровідності шлаків від температури за даними експериментів і розрахунків: □ – АН-14; ■ – АН-15 (експеримент); x – АН-14; ⊗ – АН-15 (розрахунок по ф. 1); ▲ – шлак №4; Δ – шлак №5 (за даними роботи [9]); ○ – АН-22 [7]; ● – АНФ-6 [11]

В області температур до 1500°C результати експериментального визначення електропровідності флюсів АН-14 і АН-15 добре вкладаються на лінійну залежність і близькі до значень за результатами інших досліджень. Однак при температурах вище 1500°C експериментальні дані дещо відхиляються від лінійної залежності, що може бути пов'язано з особливостями використовуваної методики. Тому електропровідність при високих температурах оцінювали шляхом лінійної екстраполяції результатів, отриманих при температурах нижче 1500°C. Абсолютні значення σ в області температур нижче 1500°C для багатокомпонентних флюсів АН-14, АН-15 і АН-22 знаходяться в межах $(0,5-1,0) \cdot 10^2 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Значення енергії активації електропровідності за результатами експериментів становить для флюсів АН-14 і АН-15 $E_x = 36453 \text{ Дж/моль}$, тобто такого ж порядку, як для флюсу АНФ-8 ($E_x = 49861 \text{ Дж/моль}$). У зв'язку з низьким значенням енергії активації провідності з ростом температури відзначається порівняно слабке зростання величини електропровідності. Для флюсу АН-22 в області помірних температур значення такого ж порядку, як для флюсів АН-14 і АН-15. Однак значення енергії активації провідності для флюсу АН-22 становить $E_x = 76677 \text{ Дж/моль}$, і з ростом температури відзначається більш помітне збільшення електропровідності. Проте навіть при температурах, близьких безпосередньо до 1700°C, електропровідність розглянутих флюсів порівняно невелика, що відповідає вимогам до флюсу для електрошлакових процесів.

Отримані дані, а також результати раніше виконаних досліджень [4], дозволяють вважати, що найбільш сприятливими з точки зору електропровідності, хімічного складу і температурного інтервалу плавлення є флюси АН-14 і АН-15, розроблені в ІЕС ім. Є.О. Патона. Ці флюси є також менш шкідливими для здоров'я, тому що містять CaF_2 в помірній кількості.

Висновки

1. Розроблено вдосконалений метод вимірювання електропровідності рідких шлаків в інтервалі температур 1300-1600°C, який в порівнянні з відомими методами є більш точним і надійним, що дозволяє рекомендувати його до використання в лабораторній практиці.
2. Отримано нові експериментальні дані щодо електропровідності шлаків, що застосовуються в процесах спеціальної електрометалургії, що дозволили з урахуванням встановлених

раніше інтервалів температур кристалізації рекомендувати до використання у виробництві малофторидні флюси АН-14 і АН-15.

Перелік використаних джерел:

1. Латаш Ю.В. Современные способы производства слитков особо высокого качества / Ю.В. Латаш, В.Н. Матях. – К. : Наукова думка, 1987. – 336 с.
2. Шалимов А.Г. Интенсификация процессов специальной электрометаллургии / А.Г. Шалимов, В.Н. Готин, Н.А. Тулин. – М. : Metallurgija, 1988. – 334 с.
3. Специальные способы литья : Справочник / В.А. Ефимов [и др.]; под общ. ред. В.А. Ефимова. – М. : Машиностроение, 1991. – 436 с.
4. Макуров С.Л. Исследование температуры плавления шлаков применяемых в процессах специальной электрометаллургии / С.Л. Макуров, Л.И. Тарасюк, К.Д. Голуб // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 38. – С. 7-13. – (Серія: Технічні науки). – Режим доступу: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.38.2019.181247>.
5. Макуров С.Л. Особенности кристаллизации и качество двухслойного горизонтального слитка для производства биметаллического листа / С.Л. Макуров, Е.А. Казачков, Т.Г. Логутова // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2001. – Вип. 11. – С. 70-74.
6. Чепурной А.Д. Пути совершенствования электрошлаковой технологи в производстве отечественных изделий машиностроения / А.Д. Чепурной // Весник Приазовского государственного технического университета : Сб. науч. тр. – Мариуполь, 1999. – Вып. 7. – С. 32-39.
7. Влияние алюминия и кремния на электропроводность фторидноокисидных шлаков / В.А. Воронов, Н.Ф. Яковлев, А.Н. Прохоров, Е.М. Стригачев // Известия Академии наук СССР. Металлы. – 1979. – № 5. – С. 60-63.
8. Электрошлаковый металл / Под ред. Б.Е. Патона, Б.И. Медовара. – К. : Наукова думка, 1981. – 680 с.
9. Исследование физико-химических свойств флюсов системы $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, применяемых при ЭШО и ЭШР / Ю.В. Латаш [и др.] // Специальная электрометаллургия : Сб. науч. тр. / ИЭС им. Е.О. Патона. – К.-М., 1977. – Вып. 34. – С. 51-55.
10. Электрошлаковая технология за рубежом / Под ред. Б.Е. Патона, Б.И. Медовара. – К. : Наукова думка, 1982. – 320 с.
11. Лопаев Б.Е. Об электропроводности расплавленных флюсов для электрошлакового переплава и подогрева / Б.Е. Лопаев, А. А. Плышевский, В.В. Степанов // Автоматическая сварка. – 1966. – № 1. – С. 31-34.
12. Корсунский М.М. Четырехэлектродный метод измерения электропроводности проводящих жидкостей и газов при высоких давлениях и высоких температурах / М.М. Корсунский // Теплофизика высоких температур. – 1979. – Т. 17, № 2. – С. 386-388.

References:

1. Latash Ju.V., Matjah V.N. *Sovremennye sposoby proizvodstva slitkov osobo vysokogo kachestva* [Modern methods of producing high quality ingots]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1987. 336 p. (Rus.)
2. Shalimov Al.G., Gotin V.N., Tulin N.A. *Intensifikatsiia protsessov spetsial'noi elektrometallurgii* [Intensification of processes of special electrometallurgy]. Moscow, Metallurgija Publ., 1988. 334 p. (Rus.)
3. Efimov V.A., Anisovich G.A., Babich V.N. *Spetsial'nye sposoby lit'ia* [Special Casting Methods]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1991. 436 p. (Rus.)
4. Makurov S.L., Tarasjuk L.I., Golub K.D. *Issledovanie temperatury plavleniia shlakov primeniaemykh v protsessakh spetsial'noi elektrometallurgii* [Investigation of the melting point of slags used in the processes of special electrometallurgy]. *Visnik Priazovs'kogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu. Serii: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2019, vol. 38, pp. 7-13. (Rus.)
5. Makurov S.L., Kazachkov E.A., Logutova T.G. *Osobennosti kristallizatsii i kachestvo dvou-*

- khsloinogo gorizontal'nogo slitka dlia proizvodstva bimetallicheskogo lista [Features of crystallization and quality of two-layer horizontal ingot for the production of bimetallic sheet]. *Visnik Priazovs'kogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 2001, vol.11, pp. 70-74. (Rus.)
6. Chepurnoj A.D. Puti sovershenstvovaniia elektroshlakovoi tekhnologi v proizvodstve otechestvennykh izdelii mashinostroeniia [Ways to improve electroslag technology in the production of domestic mechanical engineering products]. *Visnik Priazovs'kogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 1999, vol. 7, pp. 32-39. (Rus.)
 7. Voronov V.A., Jakovlev N.F., Prohorov A.N., Strigachev E.M. Vliianie aliuminiia i kremniia na elektroprovodnost' ftoridnooskidnykh shlakov [The influence of aluminum and silicon on the electrical conductivity of fluoride oxide slags]. *Izvestiia Akademii nauk SSSR. Metally – Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Metals*, 1979, no. 5, pp. 60-63. (Rus.)
 8. Paton B.E., Medovar B.I. *Elektroshlakovyi metall* [Electroslag metal]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1981. 680 p. (Rus.)
 9. Latash Yu.V., Zhdanovskii A.A., Fetisov T.Ya. Issledovanie fiziko-khimicheskikh svoystv flusov sistemy CaF₂-CaO-Al₂O₃-SiO₂, primeniemykh pri EShO i EShR [Investigation of the physico-chemical properties of fluxes of the CaF₂-CaO-Al₂O₃-SiO₂ system used in EShO and EShR]. *Spetsial'naiia elektrometallurgiiia – Special electrometallurgy*, 1977, no. 34, pp. 51-55. (Rus.)
 10. Paton B.E., Medovar B.I. *Elektroshlakovaia tekhnologiia za rubezhom* [Electroslag technology abroad]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1982, 320 p. (Rus.)
 11. Lopaev B.E., Plyshevskij A.A., Stepanov V.V. Ob elektroprovodnosti rasplavlennykh flusov dlia elektroshlakovogo pereplava i podogreva [On the electrical conductivity of molten fluxes for electroslag remelting and heating]. *Avtomaticheskaiia svarka – Automatic Welding*, 1966, no. 1, pp. 31-34. (Rus.)
 12. Korsunskij M.M. Chetyrekhelektroodnyi metod izmereniia elektroprovodnosti provodiashchikh zhidkostei i gazov pri vysokikh davleniiax i vysokikh temperaturakh [Four-electrode method for measuring the conductivity of conductive liquids and gases at high pressures and high temperatures]. *Teplofizika vysokikh temperature – High Temperature*, 1979, vol.17, no. 2, pp. 386-388. (Rus.)

Рецензент: В.О. Маслов
д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 16.03.2021

УДК 621.742.4

doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240588

© **Большаков Л.А.**¹, Дан Л.О.², Трофімова Л.О.³

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФОРМУВАЛЬНИХ СУМІШЕЙ, ЩО МІСТЯТЬ ЛІГНОСУЛЬФОНАТИ ТА ПОЛІЕТІЛЕНПОЛІАМІН

В роботі розглянуті результати досліджень комплексу властивостей формувальних сумішей, що містять в якості сполучного лігносульфонати технічні в поєднанні з поліетиленполіаміном.

Ключові слова: *формувальна суміш, сполучне, лігносульфонати, поліетиленполіамін, міцність.*

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, trofimova.pstu@gmail.com

³ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, trofimova.pstu@gmail.com