

УДК 621.791.92

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160259

© Белик А.Г.\*

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СМЕШИВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Предложена методика оценки качества перемешивания порошкообразных компонентов разной грануляции и технологических свойств при производстве порошковых электродных материалов. Наиболее высокие показатели эффективности смешивания порошкообразных компонентов исследуемых составов достигаются при соблюдении оптимального сочетания скорости вращения смесителя и продолжительности процесса смешивания, что позволит обеспечить водопадный характер перемещения смеси в смесителе. Соблюдение этих параметров при проведении технологической операции смешивания порошкообразных компонентов позволит повысить качество производимых порошковых электродных материалов с заданными сварочно-технологическими свойствами.*

**Ключевые слова:** порошковый электродный материал, сердечник, оболочка, смешивание компонентов, смеситель, однородность, эффективность.

**Білик О.Г. Оцінювання якості змішування порошкоподібних компонентів порошкових електродних матеріалів.** Запропоновано методику оцінювання якості змішування порошкоподібних компонентів різної грануляції і технологічних властивостей при виробництві порошкових електродних матеріалів. Для отримання якісних порошкових електродних матеріалів, що забезпечують необхідний хімічний склад в наплавленому металі, необхідна ретельна підготовка суміші порошкоподібних компонентів, яка дозволить отримати рівномірний їх розподіл в профілі оболонки порошкового електроду. Підготовка суміші порошкоподібних компонентів характеризується ефективністю змішування. Дослідження щодо визначення якості змішування проводилися з використанням двоконусного змішувача при різних швидкості обертання змішувача та тривалості перемішування частинок карбідів вольфраму та частинок легуючих добавок, таких як порошки нікелю і марганцю. Після певної тривалості перемішування з певною швидкістю обертання змішувача отримана суміш висипалася з утворенням конусоподібної маси. Відбір проб з конусоподібної маси проводився з 6 точок з урахуванням можливої сегрегації і сепарації змішаних компонентів. Оцінку ефективності змішування проводили при швидкостях обертання 6÷42 об/хв з тривалістю перемішування 0,5÷10,5 годин. Найбільш високі показники ефективності змішування порошкоподібних компонентів досліджуваних складів досягаються при дотриманні оптимального поєднання швидкості обертання змішувача та тривалості процесу змішування, що дозволить забезпечити водоспадний характер переміщення суміші в змішувачі. Дотримання цих параметрів при проведенні технологічної операції змішування порошкоподібних компонентів дозволить підвищити якість вироблюваних порошкових електродних матеріалів із заданими зварювально-технологічними властивостями.

**Ключові слова:** порошковий електродний матеріал, сердечник, оболонка, змішування компонентів, змішувач, однорідність, ефективність.

**O.G. Belik. Assessing of powder-like components of powder electrodes quality of mixing.** A method for assessing the quality of mixing powder components of different granulations and technological properties in the production of powder electrode materials is proposed. To obtain high-quality powder electrode materials that provide the required chemical composition in the weld metal, careful preparation of the powder components

\* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, alexbelick@gmail.com

*mixture is necessary, for proper preparation of the components will make it possible to obtain their uniform distribution in the shell of the powder electrode. Preparing a mixture of powdered components is characterized by mixing efficiency. Studies to determine the quality of mixing were carried out using a double-cone mixer at different speeds of rotation of the mixer and different duration of mixing the particles of tungsten carbides and particles of alloying additives, such as nickel and manganese powders. After a certain duration of mixing at a certain speed of rotation of the mixer, the resulting mixture was poured out to form a cone-shaped mass. Samples of the cone-shaped mass were taken from 6 points taking into account possible segregation and separation of the mixed components. Evaluation of the mixing efficiency was performed at rotational speeds of 6-42 rpm with the mixing duration of 0,5-10,5 hours. The highest mixing efficiency indicators for the powdered components of the formulations under study are achieved while observing the optimal combination of the mixer rotation speed and the mixing process duration, which will ensure the waterfall character of the mixture movement in the mixer. Compliance with these parameters during the technological operation of mixing the powder components will improve the quality of the produced powder electrode materials with the specified welding and technological properties.*

**Keywords:** powder electrode material, core, shell, mixing of components, mixer, uniformity, efficiency.

**Постановка проблеми.** Совместное плавление оболочки и сердечника порошкового электрода обеспечивает получение наплавленного слоя требуемого химического состава и свойств. При производстве порошковых электродных материалов в качестве компонентов сердечника используют различные порошковые материалы в виде частиц, отличающихся формой и размерами. Для равномерного их распределения в профиле оболочки порошкового электрода предусматривается технологическая операция смешивания порошкообразных компонентов. Неравномерное распределение порошкообразных компонентов в смеси приводит к снижению качества порошковых электродных материалов, что не позволяет обеспечить заданный химический состав наплавленного металла. Разработка методики оценки качества смешивания на стадии перемешивания компонентов смеси при определенных режимах смешивания позволят получить качественные порошковые электродные материалы с заданными сварочно-технологическими свойствами для обеспечения требуемого химического состава в наплавленном слое.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодня известны различные способы определения качества разнообразных смешиваемых порошкообразных материалов, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, которые отличаются используемыми методами и оборудованием [1-2]. Общей задачей при этом остается получение однородности распределения компонентов в смеси. Известны рентгеноспектральные и радиоизотопные методы оценки качества смеси [2], но использовать их в технологическом процессе производства порошковых электродных материалов и регулировать не представляется возможным из-за трудоемкости и наличия специального дорогостоящего оборудования. Использование периодического лабораторного контроля качества смешивания позволит получить информацию с запозданием, что может сказаться на качестве приготавливаемой смеси.

**Целью данной работы** является разработка методики оценки качества смешивания порошкообразных компонентов для производства порошковых электродных материалов с разными размерами частиц.

**Изложение основного материала.** Для смешивания порошкообразных компонентов применяются различные устройства – смесители, которые отличаются конструкцией, размерами и вместимостью, рис. 1 [3-4]. Их назначение – получение равномерного и однородного распределения компонентов в смеси (шихте). В связи с чем, необходимо учесть параметры смешивания и дать оценку качества перемешивания компонентов.

Известны три режима перемещения частиц в смесителе в зависимости от скорости вращения  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ : а – перекал; б – водопад; в – циклический, показаны на рис. 2 [5]. Равномерность распределения частиц в смеси зависит от числа их встреч, которое повышается с увеличением скорости вращения смесителя и градиента скорости в объеме сыпавшегося слоя.

При малой скорости вращения  $\omega_1$ , рис. 2 а, характерно перемещение определенного объ-

ема смеси к высшей точке крутого участка траектории движения с последующим осыпанием тонким слоем вниз по наклонной поверхности, образуемой смесью компонентов. В этом случае вероятность равномерного распределения мала, а с увеличением времени смешивания возможна сегрегация и сепарация частиц в смеси, что может привести к расслоению смеси и снижению качества смешивания.

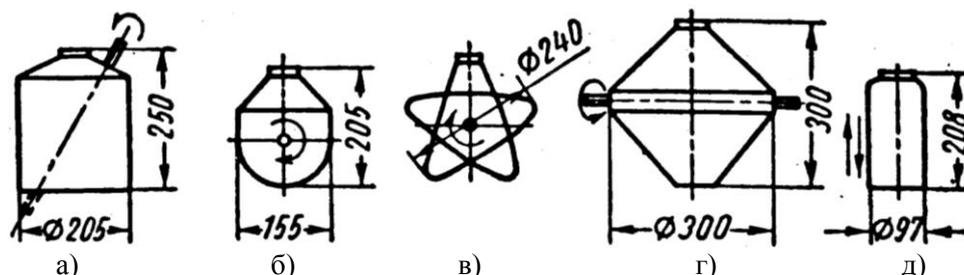


Рис. 1 – Некоторые типы лабораторных смесителей

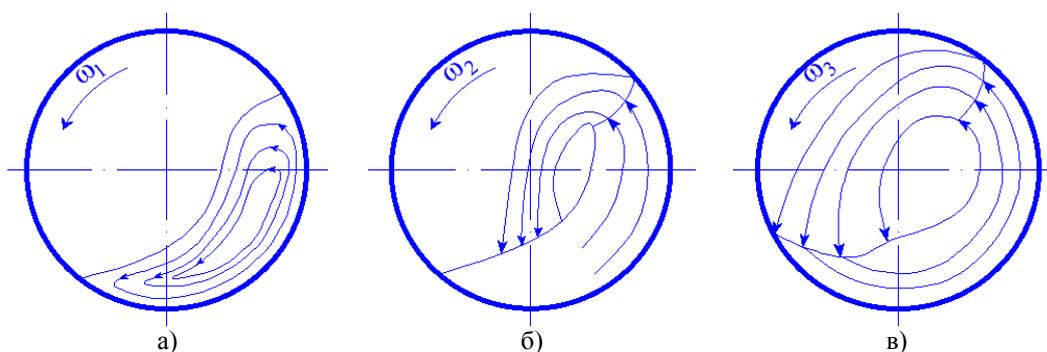


Рис. 2 – Режимы движения компонентов в смесителе в зависимости от скорости вращения: а) – перекал; б) – водопад; в) – циклический

При больших скоростях вращения смесителя  $\omega_3$ , характерного для циклического режима, перемещение компонентов происходит по замкнутым траекториям движения отдельных слоев, при этом траектории слоев не пересекаются. В результате возможно послойное перемещение слоев друг относительно друга, рис. 2 в. Оптимальным из приведенных режимов смешивания является режим, показанный на рис. 2 б.

В работе [4] рассмотрена методика оценки качества смешивания методом магнитной сегрегации по определению содержания железного порошка в отобранных пробах. На основании проведенных исследований получение более равномерного распределения компонентов в сердечнике порошкового электрода обеспечивается при наложении одного компонента на другой, при расположении их слоями. Такая схема засыпки компонентов в сердечник порошковой ленты и порошковой проволоки была рассмотрена в работах [6, 7].

Качество смешивания определяется отношением содержания компонента в смеси к его содержанию во взятой пробе:

$$K = \frac{M_{см}}{M_{пр}}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент однородности;  $M_{см}$  – среднее содержание компонента в смеси, %;  $M_{пр}$  – содержание компонента во взятой пробе, %.

Однородность смешивания компонентов будет максимальная, если  $K = 1$ . Зная коэффициент эффективности в пробах, можно определить эффективность смешивания смеси компонентов отношением минимального коэффициента однородности ( $K_{min}$ ) к максимальному ( $K_{max}$ ):

$$K = \frac{K_{min}}{K_{max}}. \quad (2)$$

При наплавке композиционного сплава типа релит-мельхиор в качестве компонентов сердечника порошкового ленточного электрода используют карбиды вольфрама (релит) и легирующие порошкообразные добавки для получения требуемого химического состава металла связи.

Для оценки смешивания компонентов сердечника порошковой ленты, состоящей из частиц карбида вольфрама и легирующих добавок, готовилась шихта разного состава. Тройная смесь карбидов имела следующий фракционный состав и соотношение: (0,2-0,4) мм – 20%; (0,4-0,6) мм – 25%; (0,6-0,9) мм – 50%. Все остальные легирующие добавки компонентов вводились в смесь с размерами частиц менее 0,2 мм. Оценку качества смешивания проводили путем отсева проб по фракциям с использованием сит соответствующих размеров, ГОСТ 6613-75.

Исследования по определению качества смешивания проводились с использованием двухконусного смесителя, рис. 3, при различной скорости вращения смесителя и длительности перемешивания частиц карбидов вольфрама и частиц легирующих добавок, таких как порошки никеля и марганца.



Рис. 3 – Общий вид двухконусного смесителя

После определенной длительности перемешивания при определенной скорости вращения смесителя полученная смесь высыпалась с образованием конусовидной массы. Отбор проб из конусовидной массы проводился из 6 точек с учетом возможной сегрегации и сепарации смешанных компонентов.

На рис. 4 показаны места отбора проб смеси компонентов для ситового анализа. Оценку эффективности смешивания проводили при скоростях вращения  $6 \div 42$  об/мин с длительностью перемешивания  $0,5 \div 10,5$  часов.



Рис. 4 – Места отбора проб смеси компонентов для ситового анализа

При расसेве взятой пробы частицы размерами менее 0,2 мм проходили через сито, остальные оставались сверху (частицы карбидов вольфрама). Среднее фактическое содержание частиц карбидов вольфрама во взятой пробе рассчитывалось:

$$M_{np} = \frac{M \cdot P_p}{100}, \quad (3)$$

где  $M_{np}$  – содержание карбидов вольфрама в пробе;  $P_p$  – расчетное содержание карбидов вольфрама в смеси;  $M$  – масса взятой пробы, г.

При исследовании смесь компонентов в смесителе составляла 40% от его общего объема. По выражениям (1) и (2) определялось качество смешивания компонентов в смеси, результаты приведены в таблице и на рис. 5.

Таблица

Результаты показателей смешивания

Показатели смешивания	Продолжительность смешивания, ч				
	0,5	1,5	4,5	7,5	10,5
Эффективность смешивания никеля, %	$\frac{42,2 - 55,4}{48,8}$	$\frac{80,5 - 95,3}{87,9}$	$\frac{63,2 - 77,8}{70,5}$	$\frac{56,7 - 70,7}{63,7}$	$\frac{68,0 - 81,0}{74,5}$
Эффективность смешивания марганца, %	$\frac{61,4 - 72,4}{67,7}$	$\frac{66,7 - 77,5}{71,2}$	$\frac{82,0 - 93,2}{88,8}$	$\frac{51,5 - 63,7}{58,2}$	$\frac{76,4 - 87,2}{82,9}$

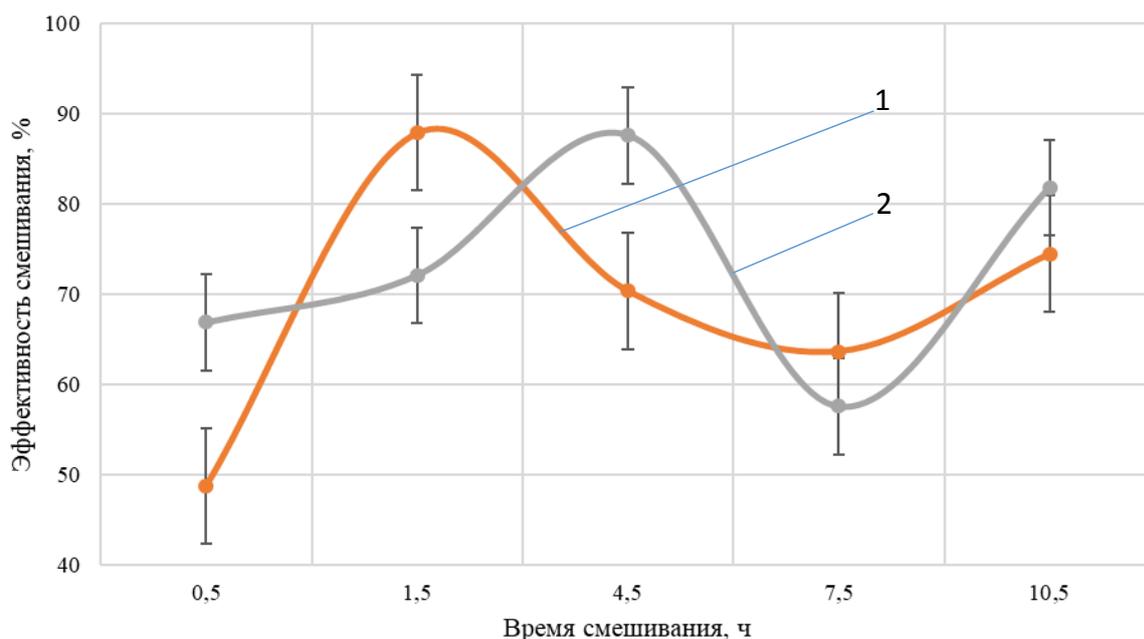


Рис. 5 – Зависимость эффективности смешивания от времени: 1 – эффективность смешивания никеля; 2 – эффективность смешивания марганца

Зависимость эффективности смешивания шихты от скорости вращения смесителя и длительности смешивания показана на рис. 6.

Из полученных результатов видно, что с увеличением продолжительности смешивания повышается однородность распределения компонентов в смеси, причем в пределах 1,5-3,0 ч в зависимости от скорости смешивания, рис. 5. Влияние скорости вращения смесителя на эффективность смешивания неравномерно (рис. 6), что объясняется изменением режимов перемешивания компонентов в смесителе. При скорости 13 об/мин и времени смешивания 1,5 ч достигается наибольшая эффективность. Рассматривая диапазон скорости смешивания от 13 об/мин и выше, можно отметить, что оптимальной продолжительностью смешивания является 1,5 ч.

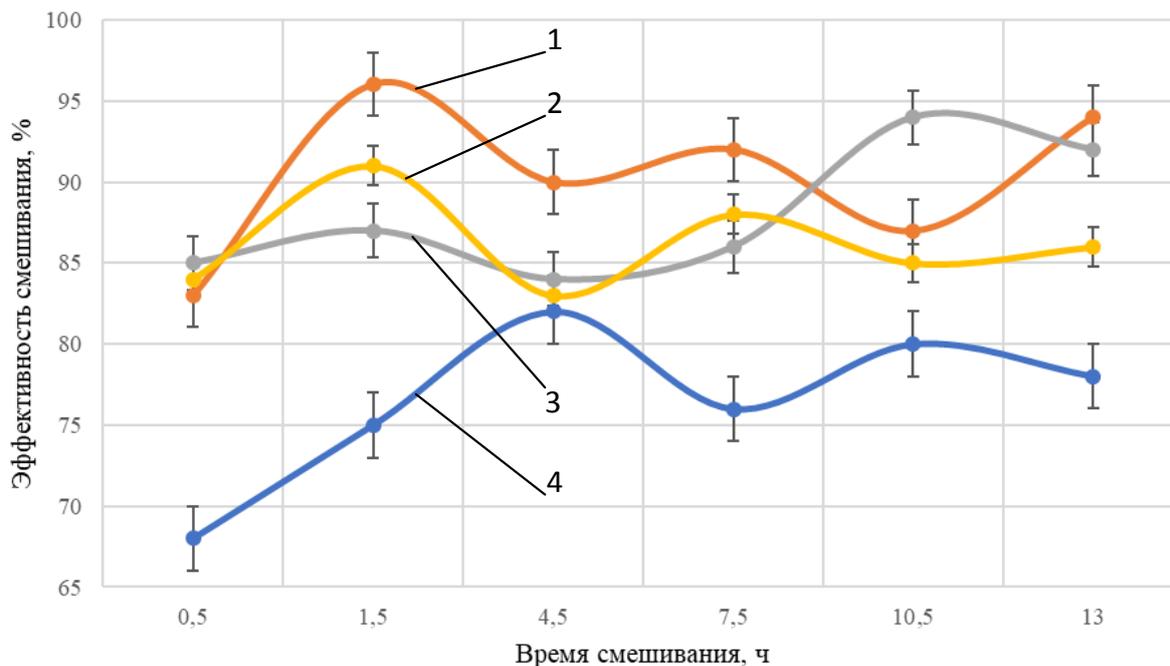


Рис. 6 – Зависимость эффективности смешивания шихты от скорости вращения смесителя и длительности смешивания: 1 – скорость вращения 13 об/мин; 2 – скорость вращения 35 об/мин; 3 – скорость вращения 42 об/мин; 4 – скорость вращения 6 об/мин

### Выводы

1. Предложена методика оценки качества перемешивания порошкообразных компонентов разной грануляции и технологических свойств.
2. Для получения качественных порошковых электродных материалов, обеспечивающих требуемый химический состав в наплавленном металле, необходима тщательная подготовка смеси порошкообразных компонентов, которая характеризуется эффективностью смешивания.
3. На эффективность смешивания оказывает влияние скорость и продолжительность смешивания. Наиболее высокие показатели эффективности смешивания порошкообразных компонентов исследуемых составов достигаются при скорости вращения смесителя 13 об/мин и длительности смешивания 1,5 ч, обеспечивая водопадный характер перемещения смеси в смесителе.

### Список использованных источников:

1. Оценка качества смешивания сыпучих материалов с различным размером фракций / Р.И. Черкасов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – Режим доступа: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=22998>.
2. Тигарев А.М. Регулирование качества смешивания компонентов полимерных композитных строительных материалов в процессе их производства / А.М. Тигарев // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2017. – Вип. 66. – С. 106-112.
3. Chigarev V.V. Flux-cored strips for surfacing / V.V. Chigarev, A.G. Belik // Welding International. – 2012. – Vol. 26. – Pp. 975-979.
4. Безбах Д.К. Некоторые особенности изготовления порошковой проволоки / Д.К. Безбах // Сварочное производство. – 1963. – № 8. – С. 29.
5. А. с. 586973 СССР, МКИ В 23 К 35/48. Порошковая лента / В.В. Чигарев, В.А. Муратов, П.Ф. Лаврик, Л.А. Суржикова. – № 2342458/25-27; заявл. 02.04.76; опубл. 05.01.78, Бюл. № 1.
6. А. с. 1123814 СССР, МКИ В 23 К 35/06. Порошковая проволока / И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, В.Ф. Альтер, П.И. Рак. – № 3543831/25-27; заявл. 06.01.83; опубл. 15.11.1984, Бюл. № 42.
7. Справочник агломератчика / А.Г. Астахов [и др.]. – Киев : Техника, 1964. – 448 с.

**Reference:**

1. Cherkasov R.I., Adigamov K.A., Voronin V.V., Gapon N.V., Siziakin R.A. Otsenka kachestva smeshivaniia sypuchikh materialov s razlichnym razmerom fraktsii [Evaluation of the quality of mixing bulk materials with different size fractions]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education*, 2015, № 2-2 Available at: [www.science-education.ru/ru/article/view?id=22998](http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22998) (accessed 15 July 2018). (Rus.)
2. Tigarev A.M. Regulirovanie kachestva smeshivaniia komponentov polimernykh kompozitnykh stroitel'nykh materialov v protsesse ikh proizvodstva [Regulation of the quality of mixing the components of polymer composite building materials in the process of their production]. *Visnik Odes'koï derzhavnoï akademii budivnitstva ta arkhitekturi – Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2017, vol. 66, pp. 106-112. (Rus.)
3. Chigarev V.V., Belik A.G. Flux-cored strips for surfacing. *Welding International*, vol. 26, 2012, pp. 975-979.
4. Bezbakh D.K. Nekotorye osobennosti izgotovleniia poroshkovoï provoloki [Some features of the manufacture of cored wire]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1963, № 8, p. 29. (Rus.)
5. Chigarev V.V., Muratov V.A., Lavrik P.F., Surzhikova L.A. *Poroshkovaia lenta* [Powder tape]. Certificate of authorship USSR, no. 586973, 1978. (Rus.)
6. Pokhodnia I.K., Shlepakov V.N., Al'ter V.F., Rak P.I. *Poroshkovaia provoloka* [Cored wire]. Certificate of authorship USSR, no. 1123814, 1984. (Rus.)
7. Astakhov A.G., Machkovskii A.I., Nikitin A.I., Fedorovskii N.V. *Spravochnik aglomeratchika* [Agglomeration Manual]. Kiev, Tekhnika Publ., 1964. 448 p. (Rus.)

Рецензент: В.Н. Матвиенко  
д-р техн. наук, проф., ГБУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 06.09.2018