

## ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 669.054.8

©Маслов В.А.<sup>1</sup>, Трофимова Л.А.<sup>2</sup>, Дан Л.А.<sup>3</sup>

### ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ ГРАФИТОВЫХ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ ЖЕЛЕЗОГРАФИТОВЫХ ОТХОДОВ

*Исследованы особенности морфологии графитовых частиц ЖГО. Показана зависимость длины и толщины графитовых чешуек от размера фракции материала. Предложен показатель, характеризующий форму графитовых частиц – коэффициент пластинчатости.*

**Ключевые слова:** ЖГО, графитовые чешуйки, коэффициент пластинчатости.

*Маслов В.О., Трофимова Л.О., Дан Л.О. Особливості морфології графітових часток дисперсних залізографітових відходів. Досліджена морфологія графітових часток дисперсних ЗГВ. Показана залежність довжини та товщини графітових шкарлупок від фракції матеріалу. Запропонований показчик, що характеризує форму графітових часток - коефіцієнт пластинчастості.*

**Ключові слова:** ЗГВ, графітові шкарлупки, коефіцієнт пластинчастості.

*V.O. Maslov, L.O. Trofimova, L.O. Dan. Peculiarities of morphology of graphite particles of dispersion Fe – C containing waste materials. Morphology of graphite particles of Fe – C containing waste materials was investigated. Dependence of length and thickness of graphite scales is shown on the size of faction of material. The index, characterizing the form of graphite particles - coefficient of flakiness was offered.*

**Keywords:** Fe – C containing waste materials, graphite flakes, coefficient of flakiness.

**Постановка проблемы.** Железографитовые отходы (ЖГО), образуются в большом количестве на металлургических предприятиях при производстве чугуна и стали [1]. Накапливаясь в виде отвалов, попадая в водный и воздушный бассейны, они вызывают серьезную техногенную нагрузку на окружающую среду.

Как показали различные исследования, ЖГО имеют в своем составе компоненты, существенно отличающиеся как по своей природе, так и по физико-химическим свойствам: графит, металлическое железо, оксиды железа и других элементов [2 - 7]. Таким образом, только комплексный подход к утилизации ЖГО позволит в полной мере решить эту экологическую проблему. Для этого необходимы углубленные исследования свойств ЖГО.

**Анализ последних исследований и публикаций.** До настоящего времени при изучении дисперсных ЖГО основное внимание уделялось морфологии и строению оксидных частиц, входящих в них, в контексте возможного получения материалов с заданными электрофизическими свойствами – удельной намагниченностью насыщения и удельным электрическим сопротивлением [8, 9]. Графитовые частицы ЖГО при этом рассматривались главным образом как подложка для оксидных.

Вместе с тем в работах В.Г. Шкавро показано, что свойства графита также сильно зависят от размеров их частиц. В работе [6] приведены данные, что с увеличением среднего размера частиц доменного графита от 50 до 700 мкм его электросопротивление уменьшается примерно в 10 раз. При этом основную роль в электросопротивлении играют контакты между токопроводящими частицами графита. В этой же работе [6] была определена связь сечения поглощения медленных нейтронов для графитовой спели с различной крупностью частиц.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

**Цель статьи** - более глубокое, по сравнению с известным, изучение строения графитовых частиц дисперсных ЖГО металлургического производства.

**Изложение основного материала.** Основной морфологической характеристикой дисперсного материала является форма составляющих частиц. Графит в отходах металлургического производства по результатам большинства исследований [8, 9] имеет чешуйчатую форму. Однако, кроме гранулометрического состава, в этих работах иные свойства не рассматривали.

Исходя из методов диагностики порошков, известно ряд формул для определения форм – факторов для любых частиц [10, 11]. Развивая известные методики [10, 11] выявления характеристик форм – факторов в нашей работе был предложен дополнительный форм – фактор, представляющий отношение максимальной удлиненности частицы к толщине частицы графита в пределах фракции. Это соотношение было названо коэффициентом пластинчатости,  $K_n$ :

$$K_n = \frac{L_{\max}}{h}, \quad (1)$$

где  $L_{\max}$  – максимальная длина частицы, мкм;  $h$  – толщина частицы, мкм.

Для проведения исследований из бункеров газоочисток миксерного отделения ПАО МК «Азовсталь» были отобраны и подготовлены соответствующим образом пробы дисперсных ЖГО. Базовый полидисперсный образец ЖГО содержал 44,2 % С; 29,0 % Fe<sub>общ.</sub>; 4,73 % Fe<sub>мет.</sub>; 9,7 % FeO; 29,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ситовый анализ проводили по четырем фракциям.

Определение длины и толщины графитовых частиц проводили на минералогическом микроскопе МИН-8. Для определения длины частиц графита образец тонким слоем наносили на предметное стекло и проводили их обсчет. Предварительный анализ показал, что изменение объема выборки в пределах от 40 до 100 частиц практически не изменяет результатов расчета. Поэтому объем выборки был определен в количестве 40 частиц.

При измерении толщины частиц использовали обнаруженные ранее магнитные свойства графитовых чешуек ЖГО, связанные с наличием на их поверхности либо внутри них включений магнитных оксидов железа либо металлического железа. Учитывая это, микроскоп снабдили магнитной приставкой, с помощью которой графитовые частицы ориентировали перпендикулярно предметному стеклу. Этот прием позволял непосредственно определять толщину графитовых чешуек.

Для проведения исследований базовый образец подвергли рассеву на узкие фракции. При микроскопическом анализе определяли максимальную длину каждой частицы графита в узкой фракции. На рисунке 1 приведены результаты этого исследования. Из них видно, что для каждой фракции имеется определенный диапазон максимальных длин частиц. Кривые представлены как интегральные по плюсу для каждой узкой фракции.

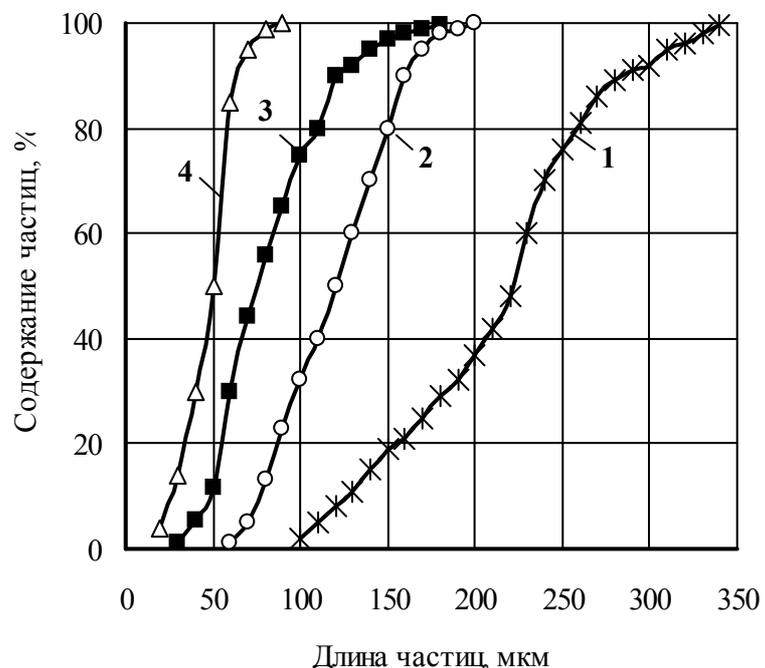


Рис. 1 – Распределение максимальной длины частиц графита (интегральные кривые по плюсу) в пределах фракций: 1 – (-160 + 100)мкм; 2 – (-100+63)мкм; 3 - (-63+50) мкм; 4 – (-50)мкм

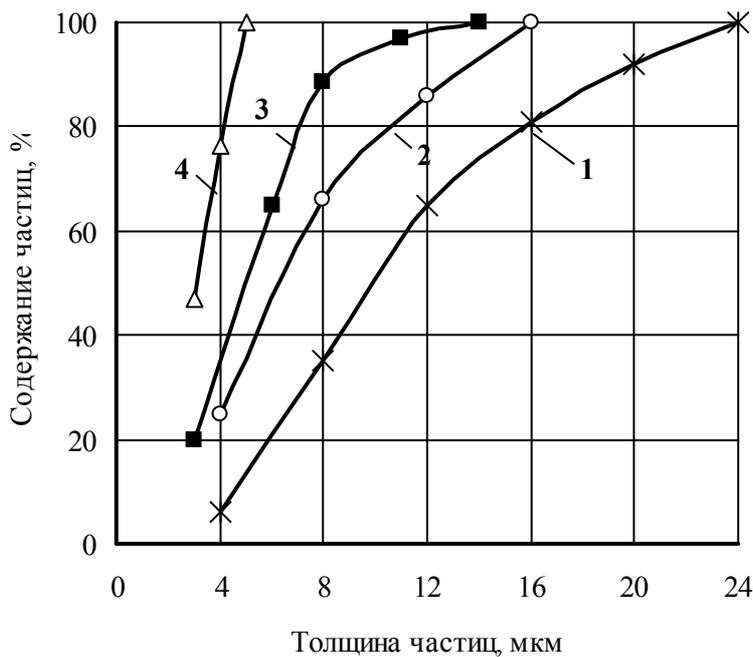


Рис. 2 – Распределение толщины частиц графита (интегральные кривые по плюсу) в пределах фракций: 1 – (-160+100)мкм; 2 – (-100+63)мкм; 3 – (-63+50) мкм; 4 – (-50)мкм

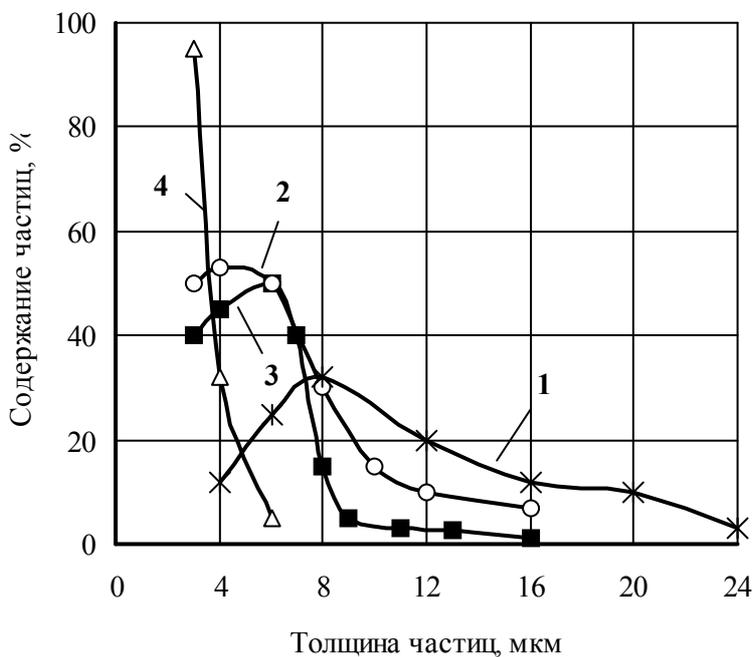


Рис. 3 – Дифференциальное распределение толщины частиц графита (частные кривые) в пределах фракций: 1 – (-160+100)мкм; 2 – (-100+63)мкм; 3 – (-63+50) мкм; 4 – (-50)мкм

отклонение;  $L^*$ ,  $h^*$  – средневзвешенные величины.

Результаты обработки экспериментальных данных показывают, что с уменьшением размера фракции соотношение  $L_{max}/L_{min}$  существенно увеличивается, а толщина частиц, наоборот – существенно уменьшается. При этом и среднеквадратичное отклонение с уменьшением дисперсности уменьшается. Полученные данные показывают, что с уменьшением дисперсности частиц фракции становятся более однородными. Однако, при значительной вариации длины

Исследования показывают, что при фракционном составе графитовых частиц 100 - 160 мкм максимальная длина единичных чешуек колеблется в пределах 104 - 356 мкм. При этом фракция менее 100 мкм имеет более равномерное распределение толщин, чем фракция (-160 + 100) мкм. На рисунках 2 и 3 приведены результаты интегрального и дифференциального анализа распределения графитовых частиц по толщине.

Кривые графиков свидетельствуют о том, что с уменьшением дисперсности существенно снижается разброс толщин графитовых чешуек.

Так, например, для фракции (-160+100) мкм толщина чешуек 4 - 24 мкм, а для фракции (-100+63) мкм – 4–16 мкм, для фракции (-63 + 50) мкм практически все частицы имеют толщину 2,85 – 9,0 мкм.

В пределах каждой фракции по толщинам частицы распределены практически равномерно. Как правило, максимальное количество частиц в пределах каждой фракции приходится на малые толщины. Так, например, для фракции (-160 + 100) мкм максимум частиц имеет толщину 8 мкм, а для фракции (-63 + 50) мкм более 50 % частиц имеют толщину 6 мкм.

В таблице приведены все основные характеристики графитовых частиц исследованного образца материала.

Коэффициенты вариации для длины,  $K_B^L$ , и толщины,  $K_B^h$ , частиц (см. таблица) рассчитывали следующим образом:

$$K_B^L = \frac{\sigma_L}{L^*}; K_B^h = \frac{\sigma_h}{h^*}, \quad (2)$$

где  $\sigma_L$ ,  $\sigma_h$  – среднеквадратическое

(3,4÷5,7 раз) и толщины (6 ÷ 2 раза) частиц графита предложенный коэффициент пластинчатости изменяется с 24,8 до 16,3, т.е. всего на 34 %. Предложенный коэффициент является более устойчивым параметром, характеризующим морфологию графитовых частиц, полученных в результате снижения растворимости углерода в чугунах при переливах в миксерном отделении и отделении десульфурации.

Таблица

Морфологические параметры графитовых частиц

Размер фракции, мкм	Длина частиц, мкм			Толщина частиц, мкм			Среднеквадратическое отклонение		Коэффициент вариации		K <sub>п</sub>
	L <sub>min</sub>	L <sub>max</sub>	L*	h <sub>min</sub>	h <sub>max</sub>	h*	σ <sub>L</sub>	σ <sub>h</sub>	K <sub>B</sub> <sup>L</sup>	K <sub>B</sub> <sup>h</sup>	
-160+100	104	356	214	4,0	24,0	10,9	59,5	5,06	0,278	0,46	24,8
-100+63	68	204	120	4,0	16,0	6,9	33,0	3,69	0,276	0,53	22,4
-63+50	31	185	81,9	2,85	14,25	5,2	31,8	2,46	0,39	0,47	18,0
-50	14	80	47,5	2,85	5,70	3,0	14,0	0,62	0,30	0,2	16,3

### Выводы

Предложено в качестве морфологического параметра частиц графита дисперсных ЖГО ввести коэффициент пластинчатости - отношение максимального размера к толщине графитовых частиц. При значительном колебании размеров частиц L в 3,4÷5,7 раз и h в 6 ÷ 2 раза коэффициент пластинчатости отклоняется всего лишь на 34 %, что показывает правомерность использования этого параметра для анализа морфологии частиц графита.

### Список использованных источников:

1. Каненко Г.М., Носков В.А., Макогон В.Ф. Состояние и перспективы утилизации железосодержащих отходов в металлургическом производстве Украины // Металлургическая и горно-рудная промышленность. – 2001. – № 4. – С. 98–100.
2. Кравец В.А. Подавление бурого дыма при переливах чугуна / В.А. Кравец. – Донецк: УкрНТЭК, 2002. – 186 с.
3. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии / А.И. Толочко, В.И. Славин, Ю.М. Супрун, Р.М. Хайрутдинов. – Челябинск: Металлургия, Челябинское отделение, 1990. – 152 с.
4. Андоньев С.М. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии / С.М. Андоньев, О.И. Филиппев. – М.: Металлургия, 1973. – 198с.
5. Шапиро К.А. Графит из отходов доменного производства /К.А. Шапиро – М.; Л.: Госгеологоиздат, 1941. – 60 с.
6. Шкавро В.Г. Исследование доменного графита // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1964. – № 11. – С.29–33.
7. Гуров Н.И., Федотов А.А. Ресурсы графитосодержащих отходов и эффективность их использования // Производительность труда и экономия материальных ресурсов в металлургии. – М., 1973. – Вып.78. – С. 39–47.
8. Маслов В.А. Морфология и микроструктура частиц железграфитовых отходов металлургического производства/ В.А. Маслов, Л.А. Трофимова, Ю.П. Пустовалов // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2002. – Вип. №12. – С.71 – 75.
9. Маслов В.А. Структурно-морфологические особенности и электрофизические свойства дисперсных железграфитовых отходов металлургического производства/ В.А. Маслов, Л.А. Трофимова, Л.А. Дан // Известия ВУЗов. ЧМ. – 2009. – №7. – С.43 – 47.
10. Диагностика металлических порошков / В.Я. Буланов, Л.И. Кватер, Т.В. Долгаль и др. – М.: Наука, 1983. – 278 с.
11. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Б.Н.Бабиц, Е.В. Вершинина, В.А. Глебов и др.; под ред. Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.

### Bibliography:

1. Kanenko G.M., Noskov V.A., Makogon V.F. Consisting and prospects of utilization of iron-graphite metallurgical wastes of Ukraine // Metallurgical and mining industry. - 2001. №4. - pp. 98-100. (Rus.)
2. Kravets V.A. Suppression of brown smoke of cast-iron pouring / V.A. Kravets.- Donetsk:

- UKRNTEK, 2002. - 186 p. (Rus.)
3. Utilization of dusts and slags in black metallurgy / A.I. Tolochko, V.I. Slavin, Y.M. Suprun, R.M. Khayrutdinov. Chelyabinsk: Metallurgy, 1990. - 152 p. (Rus.)
4. Andon'ev S.M. Dusts and gases of enterprises of black metallurgy / S.M. Andon'ev, O.I. Filip'ev. - M.: Metallurgy, 1973. - 198 p. (Rus.)
5. Shapiro K.A. Graphite from wastes of blast-furnace production /K.A. Shapiro - M.; L.: Gosgeologoizdat, 1941. - 60 p. (Rus.)
6. Shkavro V.G. Investigation of blast-furnace graphite of // Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya. - 1964. - № 11. - pp.29-33. (Rus.)
7. Gurov N.I., Fedotov A.A. Resources of iron-graphite wastes and efficiency of their use // Labour Productivity and economy of financial resources in metallurgy. M., 1973. - V.78. - pp. 39-47. (Rus.)
8. Maslov V.A. Morphology and microstructure of particles of iron-graphite metallurgical wastes / V.A. Maslov, L.A. Trofimova, Y.P. Pustovalov // Visnik Priazovsk state technical university: scientific transactions. - Mariupol, 2002. V. №12. - pp.71 - 75. (Rus.)
9. Maslov V.A. Structural-morphological and electrophysical characteristics of disperse iron-graphite metallurgical wastes / V.A. Maslov, L.A. Trofimova, L.A. Dan of // Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya. - 2009. - №7. - pp. 43 - 47. (Rus.)
10. Diagnostics of metallic powders / V.Y. Bulanov, L.I. Kvater, T.V. Dolgal' and others. - M.: Science, 1983. - 278 p. (Rus.)
11. Metallic powders and powder-like materials: reference book / B.N.Babich, E.V.Ver-shinina, V.A. Glebov and others; under red. Y.V. Levinsky. - M.: EKOMET, 2005. - 520 p. (Rus.)

Рецензент: А.М. Скребцов  
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 10.10.201

УДК 621.745.435:62-932.2

©Троцан А.И.<sup>2</sup>, Каверинский В.В.<sup>3</sup>, Бродецкий И.Л.<sup>4</sup>, Карликова Я.П.<sup>5</sup>

### ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ МОДИФИКАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО ДЕЙСТВИЯ В РАСПЛАВЕ

*Показана возможность увеличения в 2,0 - 5,0 раз (в зависимости от типа модификатора) числа образующихся дополнительных центров кристаллизации при равномерном распределении вводимых частиц внутри фракции по сравнению с нормальным. Установлено, что наиболее эффективными модификаторами второго рода являются дисперсные порошки: NbN - 1...3 мкм; TiN - 1...3 мкм; TiC - 1...5 мкм.*

**Ключевые слова:** *растворение, модифицирование, дисперсные порошки, расплав, кристаллизация, конечноразностное моделирование.*

**Троцан А. И., Каверинський В. В., Бродецький І. Л., Карлікова Я.П.** *Вплив розподілу і розмірів часток модифікатору на ефективність його дії у розплаві. Показана можливість збільшення у 2,0 – 5,0 разів (в залежності від типу модифікатору) числа утворюваних додаткових центрів кристалізації при рівномірному розподілі часток, що вводяться, всередині фракції у порівнянні з нормальним. Встановлено, що найбільш ефективними модифікаторами другого роду є дисперсні порошки: NbN - 1...3 мкм; TiN - 1...3 мкм; TiC - 1...5 мкм.*

**Ключові слова:** *розчинення, модифікування, дисперсні порошки, розплав, кристалізація, скінченорізносне моделювання.*

<sup>2</sup> д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь

<sup>3</sup> вед. інженер, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, г. Київ

<sup>4</sup> канд. техн. наук, ст. научн. співробітник, Інститут проблем матеріалознавства НАН України, г. Київ

<sup>5</sup> канд. техн. наук, асистент, Приазовський державний технічний університет, г. Мариуполь