

димостью подобного контроля возникает при оценке количества и качества смешения компонентов смеси в процессе оптимизации режима работы смесительных устройств, подготовке образцов для дальнейшего анализа их физико-химических, термофизических и диффузионных характеристик, измерении массового состава смесевой композиции в кинетических экспериментах, когда исходный состав меняется, например, в результате гидролиза или биодеструкции. Метод отличается высокой чувствительностью и малым количеством исследуемого образца без разрушения его структуры. Он может быть распространен на другие полимерные композиции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Olkhov A. A., Vlasov S. V., Iordanskii A. L., Zaikov G. E., Lobo V. M. Water transport, structure features and mechanical behavior of biodegradable PHB/PVA blends / J. Appl. Polym. Sci. 2003. Vol. 90. N 6. P. 1471 – 1476.
2. Seebach D., Brunner A., Bachmann B. M., Hoffmann T., Kuhnle F. N. M., Lengweiler U. D. Biopolymers and -oligomers of (R)-3-Hydroxyalkanoic Acids. — Zurich: Contributions of Synthetic Organic Chemists, 1996.
3. Bacterial Polysaccharides: Current Innovations and Future Trends / Ed. by M. Ullrich. — Norfolk: Caister Academic Press, 2009. — 358 p.
4. Iwata T., Doi Y. Crystal structure and biodegradation of aliphatic polyester crystals / Macromol. Chem. Phys. 1999. Vol. 200. P. 2429 – 2442.
5. Olkhov A. A., Berlin A. A., Iordanskii A. L., Stoyanov O. V., Zaikov G. E. Morphology and parameters polyethylene-polyhydroxybutyrate biocomposite / Chemical and biochemical physics. Monomers, oligomers, polymers pure and applied science. — Torun: Institute for engineering of polymer materials and dyes, 2014. — 211 p.

tyrate biocomposite / Chemical and biochemical physics. Monomers, oligomers, polymers pure and applied science. — Torun: Institute for engineering of polymer materials and dyes, 2014. — 211 p.

6. Маркин В. С., Иорданский А. Л., Люсова Л. Р., Потапов Е. Э. Контроль состава новых полимерных композиций на основе натурального каучука и бактериального поли(3-гидроксибутирата). Метод Фурье ИК-спектроскопии / Каучук и резина. 2006. № 4. С. 17 – 19.

REFERENCES

1. Olkhov A. A., Vlasov S. V., Iordanskii A. L., Zaikov G. E., Lobo V. M. Water transport, structure features and mechanical behavior of biodegradable PHB/PVA blends / J. Appl. Polym. Sci. 2003. Vol. 90. N 6. P. 1471 – 1476.
2. Seebach D., Brunner A., Bachmann B. M., Hoffmann T., Kuhnle F. N. M., Lengweiler U. D. Biopolymers and -oligomers of (R)-3-Hydroxyalkanoic Acids. — Zurich: Contributions of Synthetic Organic Chemists, 1996.
3. Bacterial Polysaccharides: Current Innovations and Future Trends / Ed. by M. Ullrich. — Norfolk: Caister Academic Press, 2009. — 358 p.
4. Iwata T., Doi Y. Crystal structure and biodegradation of aliphatic polyester crystals / Macromol. Chem. Phys. 1999. Vol. 200. P. 2429 – 2442.
5. Olkhov A. A., Berlin A. A., Iordanskii A. L., Stoyanov O. V., Zaikov G. E. Morphology and parameters polyethylene-polyhydroxybutyrate biocomposite / Chemical and biochemical physics. Monomers, oligomers, polymers pure and applied science. — Torun: Institute for engineering of polymer materials and dyes, 2014. — 211 p.
6. Markin V. S., Iordanskii A. L., Lyusova L. R., Potapov E. E. Kontrol' sostava novykh polimernykh kompozitsii na osnove natural'nogo kauchuka i bakterial'nogo poli(3-gidroksibutirata). Metod Fur'ye IK-spektroskopii [Control of new polymer composites based on natural rubber and bacterial poly(3-hydroxybutyrate). Method FTIR-spectroscopy] / Kauchuk i rezina. 2006. N 4. P. 17 – 19 [in Russian].

УДК 621.74.08

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕСКА В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© И. А. Кузнецов¹, Г. Л. Хазан², А. В. Лоптев²

Статья поступила 17 февраля 2015 г.

Освещены трудности, возникающие при применении гранулометрического метода анализа формовочного песка и обработке его результатов. Как известно, для определения гранулометрического состава пробу песка просеивают через сита. При этом может возникать существенная ошибка при вычислении. Важный показатель качества песка — форма зерен, которая в настоящее время определяется косвенно. Для получения достоверной количественной информации о размерах и форме частиц предпочтительнее использование оптического метода.

Ключевые слова: формовочный песок; гранулометрический анализ; оптический метод контроля.

В настоящее время основной материал при изготовлении формовочных и стержневых смесей — кварцевый песок, качество которого определяется, прежде всего, его гранулометрическим составом. От гранулометрического состава песчаной основы зависят важнейшие свойства формовочной смеси: прочность, податли-

вость, газопроницаемость, осыпаемость, склонность к образованию пригара и поверхностных дефектов на отливке и др. Следовательно, к методу контроля формовочных песков должны предъявляться самые высокие требования.

Цель работы — оценка эффективности применяемого стандартного ситового анализа формовочного песка и возможности использования оптического метода контроля в качестве его альтернативы.

¹ НПК «Уралвагонзавод», г. Нижний Тагил, Россия.

² Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия.

Контроль материалов, в частности формовочного песка, осуществляют с применением методов математической статистики. Действительно, должны быть статистически обоснованы объем репрезентативной пробы для анализа, точность взвешивания, выбор параметров и др. Вместе с тем исторически сложилась практика, когда нормативные документы (в том числе и стандарты) содержат существенное нарушение статистической методологии.

Совсем небольшая порция песка состоит из громадного количества частиц. Допустим, что это шарики одного и того же диаметра $d = 0,2$ мм. Рассчитаем, сколько таких частиц содержится в пробе, имеющей массу $G = 50$ г (именно столько отбирают для анализа в соответствии с ГОСТ 29234.3–91): $N = 6G \cdot 1000 / (\pi d^3 \rho) \approx 4\,500\,000$ (здесь $\rho = 2,65$ г/см³ — плотность кварца). Фактически же N больше, поскольку песок полидисперсен и его зерна не сферичны.

Еще совсем недавно (при разработке ГОСТ 2138–91 на формовочные пески [1]) инструментальный контроль каждой из множества песчинок анализируемой пробы был невозможен. Поэтому для определения свойств песка вполне допустимо использование метода статистической группировки, при котором всю совокупность разбивают на одинаковые по ширине размерные интервалы. Для расчета количества интервалов (k) используют эмпирическую формулу: $k = 5 \lg N$, где N — количество элементов совокупности. Если (как это следует из предыдущего расчета) $N = 4\,500\,000$, то $k \approx 33$.

Стандарт (ГОСТ 29234.3–91) предписывает проводить рассев песка через стопку из 11 сит с размерами ячеек от 2,5 до 0,05 мм [2]. При этом на подситовой тарелке остаются частицы с размерами от 0,022 до 0,05 мм (глинистая составляющая — частицы менее 0,022 мм — предварительно отмывается). Остатки песка с каждого сита взвешивают.

Примем, что диапазон диаметров зерен формовочного песка составляет $\Delta = \max(d) - \min(d) = 2,5 - 0,022 = 2,478$ мм. Тогда ширина интервала $h = \Delta/k \approx 0,075$ мм.

Однако для анализа применяют сита не только с более широким, но и с переменным интервалом h (см. таблицу). В результате рассев пробы песка проводится через сита, размерный ряд которых противоречит принципам стандартизации, поскольку он существенно неравномерен. В этой ситуации ошибка вычисления статистических характеристик может быть велика.

До настоящего времени на предприятиях не возникало проблем с достоверностью оценки качества исходных формовочных материалов, так как поставщик песка не менялся и поставлял продукт стабильного качества. Сейчас же компании закупают материал у разных поставщиков и с различных карьеров, а на современных формовочных линиях вместо свежего песка используют регенерат непостоянного качества. Поэтому заводские лаборатории вынуждены проводить постоянное сравнение поступающих песков.

Сопоставление различных песков друг с другом удобно выполнять, пользуясь гистограммой распределения, но, как указывалось выше, при этом возможно заметное искажение данных. В самом деле, высота каждого столбика гистограммы характеризует «представительность» групп, на которые разбили интервал размеров зерен песка. Поскольку интервалы h между размерами ячеек набора сит неодинаковы, то «представительность» одинаковых по массе ситовых остатков должна зависеть от h . Если это не учитывается (а это не учитывается), то гистограмма, построенная по нескорректированным ситовым остаткам, может оказаться неадекватной.

Частоту случаев f , когда размер песчинки d соответствует неравенству $x > d \leq x_a$ (x и x_a — размеры ячеек данного и смежного с ним верхнего сита соот-

Результаты определения основных гранулометрических характеристик песка

Интервал	Размер ячеек нижнего сита, мм	Размер ячеек верхнего сита, мм	Массовая доля ситового остатка (g_i), %	Накопленная массовая доля $\left(F_i = \sum_{j=1}^i g_j\right)$ %	Весомость ($f_i = n_i/N \cdot 100$), %	Накопленная доля по количеству частиц $\left(Z_i = \sum_{j=1}^i f_j\right)$ %
1	0,02	0,05	0	0	0	0
2	0,05	0,063	0	0	0	0
3	0,063	0,1	0,17	0,17	4,55	4,55
4	0,1	0,16	3,69	3,86	24,79	29,34
5	0,16	0,2	13,56	17,42	34,32	63,67
6	0,2	0,315	29,13	46,55	25,04	88,71
7	0,315	0,4	28,02	74,57	9,01	97,72
8	0,4	0,63	19,62	94,19	2,12	100
9	0,63	1,0	5,81	100	0,16	100
10	1,0	1,6	0	100	0	100
11	1,6	2,5	0	100	0	100
12	2,5	—	0	100	0	100

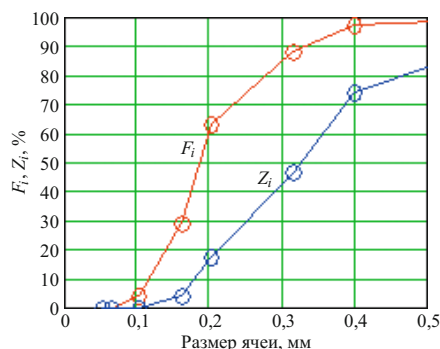


Рис. 1. Кривые распределения частиц песка по размерам, построенные по массовой доле (F_i) и по доле количества частиц (Z_i)

ветственно), называют «весомостью». Ее выражают в процентах и вычисляют по формуле $f_i = n_i / N \cdot 100$, где n_i — количество песчинок в i -м интервале; N — общее количество песчинок в анализируемой пробе.

Для весовой (массовой) доли ситового остатка аналогично можно записать: $g_i = m_i / M \cdot 100$, где m_i — масса песчинок в i -м интервале, M — общая масса частиц.

Действующий ГОСТ 29234.3–91 предусматривает использование интегральной кривой распределения частиц по размерам, для построения которой по оси абсцисс откладывают размер ячеек сита, а по оси ординат — накопленную массовую долю частиц (F_i).

Кривые распределения, построенные по массовой доле (F_i) и по доле количества частиц (Z_i), могут значительно различаться (рис. 1).

Важный показатель качества песка — форма зерен. В ГОСТ 29234.12–91 она определяется косвенно по отношению истинной и теоретической удельных поверхностей [3]. При этом получение результата — очень трудоемкая процедура.

В промышленности все большую популярность получают оптические методы контроля материалов. Основное их преимущество (кроме оперативности) — возможность получения достоверных количественных данных о размерах и форме частиц.

Для анализа формовочного песка можно использовать, например, оптические анализаторы с двумя адаптивными полномасштабными матричными камерами, однако в литейном производстве их применение недопустимо.

В работе [4] подробно описан метод определения гранулометрического состава песков с помощью сканеров — фотографического с увеличительными насадками и планшетного.

При использовании фотографического сканера образ отпечатка аналогичен гранулометрическому контролю зерен металла. На рабочий стол прибора помещают контрастирующую подложку, по ней распределяют исследуемый материал, сканируют его, полученное изображение обрабатывают (контрастируют, сегментируют и пр.) и обчисляют.

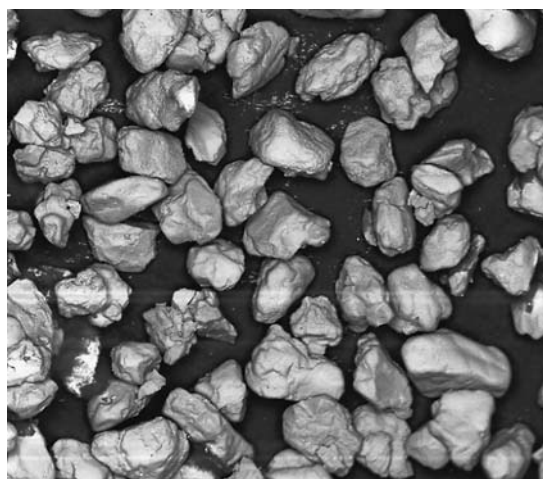


Рис. 2. Частицы кварцевого песка ($\times 300$)

Статистическая обработка позволяет проводить разбиение на любое количество интервалов, хотя в данном случае такой необходимости нет.

Оптические методы также дают возможность получить информацию о форме зерен, которая в большинстве случаев оказывается не сферичной (рис. 2).

Таким образом, неравномерность интервалов, на которые разбивается совокупность при анализе формовочного песка по ГОСТ 29234.3–91, может искажать вычисления статистических характеристик. Оптический метод контроля представляется более перспективным. Однако для его использования необходимо разработать алгоритм пересчета характеристик, получаемых стандартным рассевом, к оптическим данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2138–91. Пески формовочные. Общие технические условия. — М.: Стандартинформ, 2005. — 7 с.
2. ГОСТ 29234.3–91. Пески формовочные. Метод определения среднего размера зерна и коэффициента однородности. — М.: Стандартинформ, 2008. — 7 с.
3. ГОСТ 29234.12–91. Пески формовочные. Метод определения формы зерен песка. — М.: Изд-во стандартов, 1992. — 7 с.
4. Лоптев А. В. Оптико-компьютерные методы анализа формовочных материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. — Екатеринбург: Уральский государственный технический университет, 2004.

REFERENCES

1. RF State Standard GOST 2138–91. Peski formovochnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Moulding sands. General specifications]. — Moscow: Standartinform, 2005. — 7 p. [in Russian].
2. RF State Standard GOST 29234.3–91. Peski formovochnye. Metod opredeleniya srednego razmera zerna i koefitsienta odnorodnosti [Moulding sands. Method for determination of medium size of seed and coefficient of homogeneity]. — Moscow: Standartinform, 2008. — 7 p. [in Russian].
3. RF State Standard GOST 29234.12–91. Peski formovochnye. Metod opredeleniya formy zeren peska [Moulding sands. The method of determining the shape of the grains of sand]. — Moscow: Izd-vo standartov, 1992. — 7 p. [in Russian].
4. Loptev A. V. Optiko-komp'yuternye metody analiza formovochnykh materialov [Optical and computer analysis of molding materials]: Candidate's Thesis. — Yekaterinburg: Izd. UGTU, 2004 [in Russian].