

Научная статья

УДК 620.18

## Оценка равномерности распределения армирующих частиц в структуре композиционных материалов при помощи ImageJ

**Иван Владимирович Шабалдин**

Владимирский государственный университет  
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия

shabaldinivan@mail.ru

**Аннотация.** В работе описывается методика оценки равномерности распределения армирующих частиц в алюмоматричных композитах Al–Mg<sub>2</sub>Si при помощи программного обеспечения ImageJ с применением разработанного макроса для автоматизации выполнения анализа.

**Ключевые слова:** металлография, автоматизация, макропрограммирование, ImageJ, равномерность распределения, композиты

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность научному руководителю — кандидату технических наук, доценту Е. С. Прусову.

Original article

## Evaluation of the Uniformity of the Distribution of Reinforcing Particles in the Structure of Composite Materials Using ImageJ

**Ivan V. Shabaldin**

Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov,  
Vladimir, Russia

shabaldinivan@mail.ru

**Abstract.** The paper describes the method for assessing the uniformity of the distribution of reinforcing particles in Al–Mg<sub>2</sub>Si aluminum matrix composites using ImageJ software using the developed macro for automating the analysis.

**Keywords:** metallography, automation, macro programming, ImageJ, uniformity of distribution, composites

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the scientific supervisor — candidate of sciences in engineering, associate professor E. S. Prusov.

Структурные параметры различных фазовых компонентов в значительной степени определяют механические и эксплуатационные свойства материалов. В связи с этим контроль формирования заданной структуры металломатричных композитов, армированных частицами, является основной задачей технологических процессов их производства и последующей обработки [1–3]. Количественная оценка параметров микроструктуры требуется для решения вопросов по разработке и корректировке технологических параметров изготовления композитов, обеспечивающих заданные структурно-морфологические характеристики. Примером простейшей и в то же время эффективной методики оценки распределения армирующих частиц в структуре композитов является расчет степени равномерности распределения по стандартному отклонению среднего числа частиц на единицу площади поверхности [4].

Для автоматизации расчета степени равномерности распределения разработана программа для математической оценки степени равномерности распределения армирующих частиц в структуре композиционных материалов. Эта программа зарегистрирована в Роспатенте и представляет собой макрос для открытого ПО ImageJ [5]. Разработанная программа обеспечивает выполнение следующих функций: сегментация изображения структуры материала на локальные области, в каждой из которых производится анализ частиц; критериальное задание порогового уровня отбора частиц для анализа; определение размерных параметров частиц и площади, занимаемой частицами; вычисление степени равномерности распределения армирующих частиц. Суть работы программы состоит в следующем: сначала осуществляется разбиение загруженного металлографического изображения на 48 равных по размеру ячеек. Затем, в зависимости от выбранной версии, программа либо предлагает определить пороговое значение

по решению пользователя, либо выбирает его автоматически. После этого начинается анализ частиц в каждой из ячеек, и полученные результаты выгружаются в отдельное окно. Полученная информация в дальнейшем может быть использована для принятия решений о сравнительной эффективности применяемых технологических процессов с позиций обеспечения требуемых характеристик структуры композиционных материалов.

### Список источников

1. Mortensen A., Llorca J. Metal Matrix Composites // Annual Review of Materials Research. 2010. Vol. 40. P. 243–270.
2. Rahman Md. H., Al Rashed Mamun H. M. Characterization of Silicon Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composites // Procedia Engineering. 2014. Vol. 90. P. 103–109.
3. Prusov E. S., Deev V., Rakhuba E. Aluminum Matrix In-Situ Composites Reinforced with Mg<sub>2</sub>Si and Al<sub>3</sub>Ti // Materials Today : Proceedings. 2019. Vol. 11. P. 386–391.
4. Pasiaka A., Konorka Z. Distribution of Reinforcing Particles in the Pressure Die Cast AlSi11/20 % SiC Composite // Archives of Metallurgy and Materials. 2014. Vol. 59, no. 2. P. 767–770.
5. Патент № 2021618320 Российская Федерация, RU 2021619286. Программа для математической оценки степени равномерности распределения армирующих частиц в структуре композиционных материалов : заявл. 02.06.21 : опубл. 08.06.21 / И. В. Шабалдин, Е. С. Прусов ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

### References

1. Mortensen A., Llorca J. Metal Matrix Composites // Annual Review of Materials Research. 2010. Vol. 40. P. 243–270.
2. Rahman Md. H., Al Rashed Mamun H. M. Characterization of Silicon Carbide Reinforced Aluminum Matrix Composites // Procedia Engineering. 2014. Vol. 90. P. 103–109.

3. Prusov E. S., Deev V., Rakhuba E. Aluminum Matrix In-Situ Composites Reinforced with Mg<sub>2</sub>Si and Al<sub>3</sub>Ti // Materials Today : Proceedings. 2019. Vol. 11. P. 386–391.
4. Pasięka A., Konorka Z. Distribution of Reinforcing Particles in the Pressure Die Cast AlSi11/20 % SiC Composite // Archives of Metallurgy and Materials. 2014. Vol. 59, no. 2. P. 767–770.
5. Patent No. 2021618320 Russian Federation, RU 2021619286. Program for mathematical evaluation of the degree of uniformity of the distribution of reinforcing particles in the structure of composite materials : application 02.06.21 : publ. 08.06.21 / I. V. Shabaldin, E. S. Prusov; applicant and copyright holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov”.