

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 005.6 ; 658.56

DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_139

*С. А. Васин, А. В. Евсеев, В. Ф. Першин, И. А. Юраскова***УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ НЕКОТОРЫХ КОМПОЗИТНЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ МОДИФИКАЦИЕЙ НАНОКОМПОНЕНТАМИ**

Аннотация. Авторы предлагают к рассмотрению новый подход к анализу формирования уровня качества некоторых композитных и других материалов при модификации их нанокompонентами. Исследуются не только вопросы модификации свойств гетерогенных смесей и композитов, но и технологические способы и особенности производства самих модифицирующих компонентов. В качестве машин и агрегатов для производства наномодифицирующих компонентов, на примере производных графена, представлены защищенные технические решения в виде роторного модуля для гидроэксфолиации графита и барабанной мельницы. В качестве композитных материалов и изделий с новыми или улучшенными свойствами предложены премиксы с повышенной эффективностью использования, строительные бетоны с повышенными прочностными характеристиками, металлорежущий инструмент с повышенными демпфирующими свойствами, а также синтетические смазки и масла со сверхнизкой температурой замерзания. Сформулировано соответствие данных технологий общей концепции всеобщего управления качеством.

Ключевые слова: гетерогенные смеси, композиты, композитные изделия, всеобщее управление качеством, система менеджмента качества, модифицирование свойств, наноматериалы.

Для цитирования: Управление качеством некоторых композитных и гетерогенных материалов модификацией нанокompонентами / С. А. Васин, А. В. Евсеев, В. Ф. Першин, И. А. Юраскова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 2. – С. 139–145. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_139.

Введение

Производство композитных материалов является одним из наиболее важных, актуальных и приоритетных направлений развития науки и техники, что соответствует и удовлетворяет критической технологии получения и обработки функциональных наноматериалов (Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899) и Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642).

Модификация свойств композитных материалов и гетерогенных смесей, из которых будут изготовлены промышленные изделия машиностроения, материалобработки и других отраслей промышленного производства, является одним из самых перспективных и актуализированных на государственном уровне направлений развития промышленного производства. Особенно это касается продукции и оборудования двойного и специального назначения, поскольку позволяет в значительной степени управлять конечными показателями их качества.

Такая модификация позволяет в большинстве случаев не только в разы улучшать свойства и параметры традиционных конструкционных, композитных и гетерогенных материалов, но и зачастую формировать у них новые уникальные свойства, которые в свою очередь могут не только расширять области применения данных материалов, но и прогнозировать создание новых композитов и способов их использования [1–14].

Исследования и экспериментальные разработки в данном направлении проводились на примере композитных бетонов, смазок, премиксов и других материалов, и композиций. В качестве модифицирующих компонентов использовались графеновые суспензии, щелочные бетоны и соли некоторых металлов [3–7, 9–12].

Постановка и решение задач

В таблице представлены результаты испытаний полученных материалов как со значительным улучшением их эксплуатационных характеристик, так и с принципиально новыми свойствами, позволяющими их использование в совершенно новом качестве.

Результаты испытаний и показатели качества некоторых композитных и гетерогенных материалов, модифицированных нанокomпонентами

Материал (<i>T</i> – традиционный, <i>M</i> – модифицированный)	Композитный бетон		Строительный бетон		Синтетические масла и смазки		Премиксы	
	<i>T</i>	<i>M</i>	<i>T</i>	<i>M</i>	<i>T</i>	<i>M</i>	<i>T</i>	<i>M</i>
Демпфирующие свойства, %	100	до 700						
Стойкость инструмента	1.0	1.2–1.7						
Прочность, %			100	до 200				
Прочность бетона на сжатие и изгиб, %			100	до 130				
Водопоглощение, %			100	до 30				
Рабочие температуры, °С					до –20	до –70		
Износ деталей, %					100	до 30		
Соотношение компонентов							1:10	1:50
Коэффициент вариации V_0 , %							6-9	1-2

Данные технологические решения реализуются с помощью различных по морфологии технических устройств. Ниже рассмотрено несколько примеров технологических методов и реализующих их машин для получения модифицирующих нанокomпонентов и непосредственной модификации ими материалов и композитов.

На рис. 1 представлена оригинальная разработка авторов [7] – роторная машина (модуль) для гидроэксфолиации графита с целью получения модификатора композитов – малослойных и многослойных производных графена. Установка находится в стадии экспериментальной апробации, и соответствующие эмпирические результаты будут представлены авторами в последующих работах.



Рис. 1. Роторный модуль для гидроэксфолиации графита

С помощью представленного на рис. 1 модуля эксфолиации можно получать графеновые субстанции, являющиеся эффективной основой для модификации композитных бетонов.

Если рассматривать в качестве интегрального показателя преимуществ режущего инструмента его стойкость, то можно утверждать, что использование композитных бетонов в конструкциях такого инструмента повышает ее в сравнении с обычным инструментом в 1,2–1,7 раза, что подтверждается многолетними экспериментами [4, 5].

Доказано, что для изготовления державок резцов, торцевых фрез (рис. 2) можно применять бетонполимеры, шлакощелочные бетоны и бетоны на основе шлакомагнезии, что значительно снижает их себестоимость.

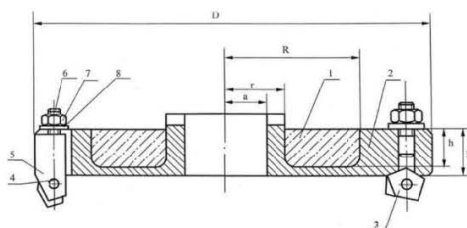


Рис. 2. Торцевая фреза с корпусом, содержащим композитный бетон:

I – кольцеобразная выборка, заполненная композитным материалом; 2 – корпус; 3 – режущая пластина; 4 – штифт; 5 – державка; 7 – гайка; 8 – шайба

На базе зависимостей прочности и логарифмического декремента колебаний от состава композитного бетона была разработана методика выбора состава композита для изготовления державок резцов с требуемыми диссипативными и прочностными характеристиками. В результате экспериментов выявлено, что при использовании резцов с державками из композитов на основе бетона происходит подавление высокочастотных компонент в спектре динамической составляющей силы резания в диапазоне частот от 6000–15 000 Гц.

Показано, что кроме державок для резцов и торцевых фрез возможно применение корпусов и державок из композиционных материалов на основе бетона для других видов режущих инструментов (борштанг, расточных инструментов и других) [4, 5].

Гетерогенные композиции с детерминированной однородностью уже сейчас получают с помощью нового класса оборудования – нонмиксеров, позволяющих формировать упорядоченную структуру материала с заведомо гарантированными показателями качества и, соответственно, эффективностью использования [3, 8–10].

В работах [3, 6, 8, 9] рассмотрены возможные конструкции и способы получения смесей (материалов) заданного качества с высокой вероятностью и необходимыми свойствами. В частности, при испытании роторного нонмиксера для верификации математической модели детерминированного формирования однородности смеси был разработан опытный стенд, на котором проводились эксперименты по дозированию и нонмиксингу премиксов, используемых в комбикормовой промышленности и животноводстве (рис. 3) [3]. Премиксы модифицировались порошками марганца (II) углекислого основного водного (формула $MnCO_3 \cdot nMn(OH)_2 \cdot nH_2O$) и меди (II) углекислой основной (карбонат меди, формула $CuCO_3$) как ключевыми компонентами. Результаты экспериментов [3, 6, 8, 9] представлены в таблице.

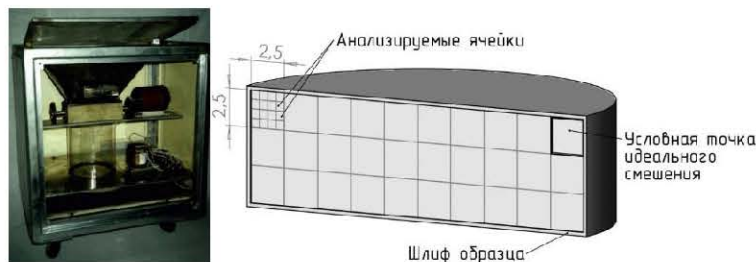


Рис. 3. Роторный нонмиксер для проведения экспериментов детерминированного формирования однородности премиксов и схема исследования образцов

При модифицировании строительного бетона графеновые пластины получают в воде, которая впоследствии используется в качестве воды затворения при приготовлении бетона. Поскольку графеновые пластины имеют огромную поверхностную энергию, при гидратации цемента они являются центрами кристаллообразования. Чем больше центров, тем больше кристаллов и тем они меньше. Чем меньше кристаллы при гидратации цемента, тем он плотнее и прочнее [11, 12]. Свойства модифицированных графеносодержащими фракциями строительных бетонов [4, 5, 11] также сведены в таблицу.

При модифицировании эпоксидной смолы и полимерных композитов на ее основе применяют графеновые пластины, которые получают в отвердителе смолы. Графеновые пластины изменяют структуру полимера. Они работают как связи между полимерными цепочками.

При модифицировании моторных масел и пластичных смазок графеновые пластины получают непосредственно в моторных маслах или смазках, которые являются основой пластичной смазки. В данном случае графен непосредственно снижает трение, поскольку связь между слоями графена очень слабая.

Для получения графеновых суспензий, а именно синтетических смазок и масел со сверхнизкой температурой замерзания, использовалась лабораторная барабанная мельница (рис. 4) с мелющими стержнями (рис. 5), которые соединены между собой. Видеозапись движения стержней в поперечном сечении вращающегося барабана показала, что стержни, соединенные между собой гибким тросом, а также свободные стержни периодически двигаются вверх вместе с барабаном, а затем сдвигаются вниз в исходное положение. Эффект сдвига на частицах может произойти только тогда, когда стержни соскальзывают вниз [13].

Экспериментально установлено, что время движения стержней вверх и время скольжения стержней вниз почти одинаковы. Таким образом, за время, когда материал и стержни остаются во вращающемся барабане, частицы графита расслаиваются. Стержни были соединены с неподвижным основанием с помощью кронштейна. Точно так же стержни были закреплены в лабораторной установке с барабаном диаметром 140 мм и длиной 100 мм. В ходе экспериментов угловая скорость вращения барабана менялась с 56 до 141 об/мин.



Рис. 4. Экспериментальная установка – барабанная мельница



Рис. 5. Компоновка мелющих стержней

Таким образом, разработчиками была создана параметрическая серия мельниц производительностью для многослойного графена от 0,077 до 0,884 г/ч [13]. Результаты практической апробации полученных модифицированных масел и смазок [7, 13, 14] также показаны в таблице, представленной выше.

Заключение (выводы)

Резюмируя вышеизложенное, авторы позиционируют предлагаемые технологии как наиболее перспективные методы при производстве новых материалов с улучшенными и новыми показателями качества на основе использования модифицирующих наноконпонентов. При этом данные научно-технические разработки полностью соответствуют общей концепции всеобщего управления качеством (TQM) и требованиям системы менеджмента качества. С этой целью авторами также был разработан программный комплекс [14], позволяющий, используя закон Парето, создавать технологические регламенты синтеза новых высококачественных и высокоэффективных материалов, а также оптимизировать их для производства гетерогенных смесей и композитных материалов максимального качества на основе имеющихся производственно-технических возможностей и перспектив их развития.

Список литературы

- 1 ГОСТ ISO 9000-2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь : межгосударственный стандарт : введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2013 г. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 декабря 2011 г. № 1574-ст ; переиздание : октябрь 2020 г. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 28 с.
- 2 ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования : национальный

References

- 1 GOST ISO 9000-2011. Quality management systems. Main provisions and vocabulary : interstate standard : put into effect as a national standard of the Russian Federation from January 1, 2013 by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 22, 2011 No. 1574-st ; reissue : October 2020 – Moscow : Standartinform, 2020. – 28 p.
- 2 GOST R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements : National Standard of the

стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1391-ст. – Москва : Стандартиформ, 2015. – 24 с.

3 Евсеев, А. В. Теория и оборудование детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.02.13 / А. В. Евсеев. – Тула, 2021. – 297 с.

4 Васин, С. А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании / С. А. Васин. – Москва : Mashinostroenie, 2006. – 383 с. – ISBN 5-217-03333-9 (В пер.)

5 Патент № 2280542 Российская Федерация, МКИ В23 27/00. Резец / С. А. Васин, Л. А. Васин, Н. Н. Бородин. – № 2005112363/02 ; заявл. 25.04.2005 ; опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21. – 24 с.

6 Патент № 2707998 Российская Федерация. Способ получения смеси из сыпучих компонентов и устройство для его осуществления / А. В. Евсеев. – № 2019104861 ; заявл. : 21.02.2019 ; опубл. 03.12.2019, Бюл. № 34. – 8 с.

7 Патент № 2783291 Российская Федерация. Устройство для получения графеносодержащих суспензий эксфолиацией графита / А. В. Евсеев, С. А. Васин, В. Ф. Першин. – № 2022108390 ; заявл. : 29.03.2022 ; опубл. 11.11.2022, Бюл. № 32. – 20 с.

8 Евсеев, А. В. Нонмиксинг / А. В. Евсеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – Вып. 9. – С. 27–36. – ISSN 2071-6168.

9 Evseev, A. V. Accuracy of discrete metering devices in relation with the criterion of formed mixture quality assessment / A. V. Evseev // Journal of Physics : Conf. Series. – 2019. – Vol. 1260. – P. 032014. – DOI 10.1088/1742-6596/1260/3/032014.

10 Сокольчик, П. Ю. Прогноз и управление качеством гетерогенных сыпучих смесей / П. Ю. Сокольчик, С. И. Сташков, М. В. Малимон // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2013. – № 1. – С. 64–83. – ISSN 2224-9400.

Russian Federation: official publication : approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 28, 2015 No. 1391-st. – Moscow : Standartinform, 2015. – 24 p.

3 Evseev, A. V. Theory and equipment of deterministic formation of homogeneity of heterogeneous mixture : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences : 05.02.13 / A. V. Evseev. – Tula, 2021. – 297 p.

4 Vasin, S. A. Prediction of tool vibration resistance during turning and milling / S. A. Vasin. – Moscow : Mashinostroenie, 2006. – 383 p. – ISBN 5-217-03333-9.

5 Patent No. 2280542 Russian Federation, MKI B23 27/00. Cutter / S. A. Vasin, L. A. Vasin, N. N. Borodkin. – No. 2005112363/02 ; filed 25.04.2005 ; published 07.27.2006, Bull. No. 21. – 24 p.

6 Patent No. 2707998 Russian Federation. The method of obtaining a mixture of bulk components and a device for its implementation / A. V. Evseev. – No. 2019104861 ; filed 21.02.2019 ; published 12.03.2019, Bull. No. 34. – 8 p.

7 Patent No. 2783291 Russian Federation. Device for obtaining graphene-containing suspensions by graphite exfoliation / A. V. Evseev, S. A. Vasin, V. F. Pershin. – No. 2022108390 ; filed 29.03.2022 ; published 11.11.2022, Bull. No. 32. – 10 p.

8 Evseev, A. V. Nonmixing / A. V. Evseev // Proceedings of the Tula State University. Technical sciences. – 2019. – Iss. 9. – P. 27–36. – ISSN 2071-6168.

9 Evseev, A. V. Accuracy of discrete metering devices in relation with the criterion of formed mixture quality assessment / A. V. Evseev // Journal of Physics : Conf. Series. – 2019. – Vol. 1260. – P. 032014. – DOI 10.1088/1742-6596/1260/3/032014.

10 Sokolchik, P. Yu. Forecast and quality control of heterogeneous bulk mixtures / P. Yu. Sokolchik, S. I. Stashkov, M. V. Malimon // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical Technology and Biotechnology. – 2013. – No. 1. – P. 64–83. – ISSN 2224-9400.

11 Аль-шиблави, Карам Али. Армирование бетонных изделий полимерными композиционными материалами: современное состояние и перспективы / Карам Али Аль-шиблави, В. П. Ярцев, В. Ф. Першин // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2017. – Т. 9, № 6. – С. 145. – eISSN 2223-5167.

12 Весовое дозирование зернистых материалов / В. Ф. Першин, С. В. Першина, А. В. Катыльмов, В. Г. Однолько. – Москва : Машиностроение, 2009. – 260 с. – ISBN 978-5-94275-484-6.

13 Результаты исследований смазки, модифицированной многослойным графеном / В. К. Нагдаев, В. С. Вязинкин, А. В. Забродская [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 2(50). – С. 71–77. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-71-77.

14 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611457 Российская Федерация. Программа расчёта показателей качества смесей и композитов на основе диаграммы Парето / А. В. Евсеев, С. А. Васин, Д. И. Благовещенский [и др.]. – № 2023610173 ; заявл. 09.01.2023 ; зарег. 19.01.2023.

11 Al-Shiblawi, Karam Ali. Reinforcement of concrete products with polymer composite materials: current state and prospects / Karam Ali Al-Shiblawi, V. P. Yartsev, V. F. Pershin // Online journal “NAUKOVEDENIE”. – 2017. – Vol. 9, No. 6. – 145 p. – eISSN 2223-5167.

12 Weight dosing of granular materials / V. F. Pershin, S. V. Pershina, A. V. Katalymov, V. G. Odolko. – Moscow : Mashinostroenie, 2009. – 260 p. – ISBN 978-5-94275-484-6.

13 Results of studies of grease modified with multi-layer graphene / V. K. Nagdaev, V. S. Vyazinkin, A. V. Zabrodskaya [et al.] // Science in the Central Russia. – 2021. – No. 2(50). – P. 71–77. – DOI 10.35887/2305-2538-2021-2-71-77.

14 Certificate of state registration of a computer program No. 2023611457 Russian Federation. The program for calculating the quality indicators of mixtures and composites based on the Pareto diagram / A. V. Evseev, S. A. Vasin, D. I. Blagoveshchensky [et al.]. – No. 2023610173 ; filed 09.01.2023 ; registered 09.01.2023.

S. A. Vasin, A. V. Evseev, V. F. Pershin, I. A. Yuraskova

QUALITY CONTROL OF SOME COMPOSITE AND HETEROGENEOUS MATERIALS BY MODIFICATION WITH NANOCOMPONENTS

Abstract. The authors propose for consideration a new approach to the analysis of the formation of the quality level of some composite and other materials when modified with nanocomponents. Not only the issues of modification of the properties of heterogeneous mixtures and composites are investigated, but also technological methods and features of the production of the modifying components themselves are considered. As machines and units for the production of nano-modifying components using graphene derivatives as an example, protected technical solutions are presented in the form of a rotary module for graphite hydro exfoliation and a drum mill. As composite materials and products with new or improved properties, pre-mixes with increased efficiency of use, building concretes with increased strength characteristics, metal-cutting tools with increased damping properties, as well as synthetic lubricants and oils with ultra-low freezing point are offered. The correspondence of these technologies to the general concept of total quality management is formulated.

Keywords: heterogeneous mixtures, composites, composite products, total quality management, quality management system, property modification, nanomaterials.

For citation: Quality control of some composite and heterogeneous materials by modification with nanocomponents / S. A. Vasin, A. V. Evseev, V. F. Pershin, I. A. Yuraskova // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 2. – P. 139–145. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_2_139.

Сведения об авторах

Васин Сергей Александрович
Тулльский государственный университет (ТулГУ),
кафедра «Городское строительство, архитектура
и дизайн»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: vasin_sa53@mail.ru

Information about the authors

Vasin Sergey Alexandrovich
Tula State University (TulSU),
Chair «Urban Construction, Architecture
and Design»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
e-mail: vasin_sa53@mail.ru

Евсеев Алексей Владимирович
Тулеский государственный университет
(ТулГУ),
кафедра «Промышленная автоматика
и робототехника»,
доктор технических наук, доцент,
e-mail: ews1972@mail.ru

Першин Владимир Федорович
Тамбовский государственный технический
университет (ТГТУ),
кафедра «Техника и технологии производства
нанопродуктов»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: pershin.home@mail.ru

Юраскова Ирина Андреевна
Тулеский государственный университет
(ТулГУ),
кафедра «Промышленная автоматика и
робототехника»,
аспирант, ассистент,
e-mail: yuraskova.ira@yandex.ru

Evseev Alexey Vladimirovich
Tula State University (TulSU),
Chair «Industrial Automation and Robotics»,
Doctor of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: ews1972@mail.ru

Pershin Vladimir Fyodorovich
Tambov State Technical University (TSTU),
Chair «Engineering and Technology Production
of Nanoproducts»,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor,
e-mail: pershin.home@mail.ru

Yuraskova Irina Andreevna
Tula State University (TulSU),
Chair «Industrial Automation and Robotics»,
Postgraduate Student,
Lecture,
e-mail: yuraskova.ira@yandex.ru