

Приготовление смесей гетерогенных компонентов и сред при детерминированном формировании их однородности для создания новых композитных материалов

С. А. Васин, А. В. Евсеев, А. А. Маликов, И. А. Юраскова

В рамках теории детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей (нонмиксинга) разработан оригинальный комплекс технологий для приготовления волокнистых, дисперсноупрочненных и упрочненных частицами композитных материалов и нанокомпозитов.

Ключевые слова:

детерминированное формирование однородности, гетерогенные компоненты, среды и смеси, композитные материалы, синтез композитных смесей, эффективность использования смесей (композиций)

УДК 621.922: 621.921.34 | ВАК 2.6.17

DOI: 10.22184/2499-9407.2023.32.3.52.57

Введение

Получение однородных смесей гетерогенных компонентов традиционно принято рассматривать как вероятностный механический процесс, который реализуется достаточно широким спектром используемых технологических приемов, имеющих свою производственную специфику и использующихся на многих промышленных предприятиях. Некоторые типы производства должны реализовать производство продукции из сыпучих или зернистых материалов, в том числе из металлических составляющих при соотношении компонентов на уровне 1:1000 и выше при обеспечении максимально высокой однородности, то есть при отклонении содержания ключевых компонентов, не превышающего 1–2% от установленных нормами значений [1–7].

Производство композитных смесей, в свою очередь, основано, прежде всего, на использовании в качестве рабочих сред не только твердотельных компонентов, но и различных растворов, суспензий, фугатов и других жидких

и пластических сред. Традиционное смешение подразумевает использование твердофазных гетерогенных сред, реже увлажненных. Приготовление таких смесей и композиций является весьма сложным с технологической точки зрения процессом, и большинство традиционных способов не позволяют обеспечивать необходимые качественные и количественные характеристики получаемых материалов. В этой связи авторами предлагается использование детерминированного формирования однородности смесей и композиций [1–4], которое позволяет заметно расширить номенклатуру используемых компонентов и способов приготовления из них гетерогенных композиций.

Становится возможным позиционировать данную методологическую систему как одну из наиболее перспективных для использования при производстве современных композитных материалов различной структуры и назначения, в том числе из металлических компонентов, значительно более высокого качества и функционала [2–5, 7].

Актуальность данных научно-технических разработок обусловлена все более высокими требованиями, предъявляемыми к рецептуре гетерогенных смесей и композитов, к соотношению компонентов в данных материалах и к однородности получаемых композиций, которые являются наиболее определяющими технологическими и экономическими параметрами эффективного использования данных материалов, в том числе и отечественных производителей [1, 2, 8–12].

Ряд исследований в данной области подтвержден экспериментально [3–5, 10]. В частности, в ранних работах авторов подробно изложены методики проведения опытов, описание материалов и методов анализа со статистической обработкой полученных результатов на примере получения и использования смесей металлических связок при производстве абразивного режущего инструмента методами детерминированного формирования однородности и графеновых модифицирующих добавок [2–6, 10].

Основной целью данной работы является продвижение нового научно-технического направления приготовления высококачественных и высокоэффективных гетерогенных смесей и композитных материалов при детерминированном формировании их однородности, а также различных методов его описания, реализации и развития.

Основные теоретические положения и анализ экспериментальных данных

Огромное количество промышленных материалов, в том числе и композитных, имеют смесевую структуру и механическую однородность. Причем матрица(ы) и наполнитель в композитах имеют строго упорядоченную структуру, получение которой возможно в том числе при детерминированном формировании однородности (нонмиксинге). Структура большинства композитных материалов имеет четкие и нормативно определенные технические характеристики, учитывающие физико-механические свойства компонентов, что является главным и определяющим критерием при выборе технологии приготовления любых смесей и композиционных материалов. Свойства композитов, как и свойства составляющих их компонентов, зачастую очень сильно отличаются, в том числе и по физическому состоянию. Авторами разработаны два основных положения теории детерминированного формирования однородности, внедрение которых позволит достигнуть наиболее актуальных целей современного развития технологий получения высокоэффективных композитных материалов, а именно:

- описание и обоснование немеханического получения гетерогенных смесей и композитных материалов;
- обоснование введения новой функциональной классификации гетерогенных компонентов для получения различных смесей и композитных материалов в зависимости от их физико-механических свойств и возможности технологической переработки.

Предлагается пересмотреть классическое понятие механической смеси на основе общих теоретических положений детерминированного формирования однородности [1, 2]. Смесь, в данном понимании – это структура, состоящая из различных по своей природе и физико-механическим характеристикам компонентов и полученная не только механическим образом, а любым другим технологическим приемом. В этой связи необходимо ввести технологическую классификацию детерминированного формирования однородности таких структур в зависимости от определяющих его физико-химических процессов. На сегодняшний день к ним можно отнести:

- механический (твердотельный) нонмиксинг;
- гидрононмиксинг;
- биононмиксинг.

При реализации данных направлений нонмиксинга при упорядоченном расположении компонентов получаемых смесевых и композитных субстанций, которое обеспечивает модифицирование свойств как смесей, так наноматериалов и композитов, возможны различные технологические методы.

В **механическом нонмиксинге** возможна любая механическая обработка: прессование, спекание, осаждение и другие процессы, реализуемые на линейных, роторных, бироторных и комбинированных машинах, в том числе с использованием систем манипулирования и робототехники [2, 7, 8]. Так, например, прессование смеси металлической шихты вместе с техническими алмазами позволяет получать композитный абразивный инструмент на основе медно-оловянной связки [3–5, 12].

В **гидрононмиксинге** возможно использование электролиза, эксфолиации, экструзии, сублимации или, наоборот, увлажнения с целью обеспечения модификации свойств смеси, среды или композита как в жидком, так и в измененном состоянии, например в высушенном [1, 2, 10].

В **биононмиксинге** целесообразно использование направленной селекции, молекулярной биологии и биохимии, например выращивание материалов растительного или животного происхождения с фиксированным содержанием ключевого компонента – солей селена или других токсичных или вредных, но необходимых составляющих [1, 2]. В перспективе будут разработаны и другие методы.

Во всех способах нонмиксинга возможно использование совершенно различных механических, термических, химических и электромагнитных воздействий на частицы составляющих компонентов с целью обеспечения и сохранения высокой однородности и упорядоченной структуры гетерогенных смесей и композитных материалов. С точки зрения использования гетерогенных компонентов для производства смесей и композитов разработана функциональная классификация, показанная на рис. 1. Она построена на взаимозависимости фракций и состояний синтезируемых компонентов и соответственно используемых

технологий традиционного смешения или предлагаемых методов [1, 2, 5, 7, 9, 11], при учете современных требований, предъявляемых производителями и потребителями смесей и композитов в соответствии с положениями разработанной теории детерминированного формирования однородности [1, 5, 6].

При использовании на практике различного смесительного оборудования и результатов проведенных исследований [2, 3, 6–9, 11], а также объективной невозможности разделить смешиваемые материалы по какому-либо одному признаку, предлагается использовать новую обобщенную функциональную классификацию смешиваемых или усредняемых компонентов (сред) механическим или другим способом в практической реализации теории детерминированного формирования однородности гетерогенных сред и композитов [2, 5]. Это обусловлено, прежде всего, слишком большим количеством параметров компонентов, которые невозможно учесть даже по эмпирическим зависимостям при проектировании оборудования для производства смесей и композитов. Авторы предполагают не замещение предлагаемой классификацией уже разработанной Э.Э. Кольман-Ивановым [2], а их совместное использование и рассмотрение второй как базовой, а представленной как производной для более эффективного применения обеих при выборе традиционной смесительной

машины – миксера или нонмиксера на проектирование и производство.

Также предлагается расширить общую номенклатуру смешиваемых сыпучих компонентов до более широкого понятия – «гетерогенные среды», в котором выделить четыре основные категории компонентов:

- штучные (кусковые, единичные, элементные);
- грануляты (мелко-, средне- и крупнодисперстные);
- порошкообразные (в том числе пылевидные);
- увлажненные (в том числе жидкости, фугаты, суспензии и пластические).

Данная ранжировка позиционируется авторами как производная от базовой для учета особенно первой и четвертой категорий, которые ранее не анализировались или учитывались частично по некоторым признакам. Это обусловлено объективным расширением номенклатуры производимых смесевых продуктов и композитных материалов, особенно применительно к требованиям современного производства и рынка.

В классификации в качестве учитываемых взяты как базовые (абсолютные) параметры: размер частиц (фракций, элементов), ρ_n – насыпная плотность материала (условно, функционально применительно к возможности смешивания (нонмиксинга) компонентов различной плотности), ϕ – угол внутреннего трения материала (угол сдвига

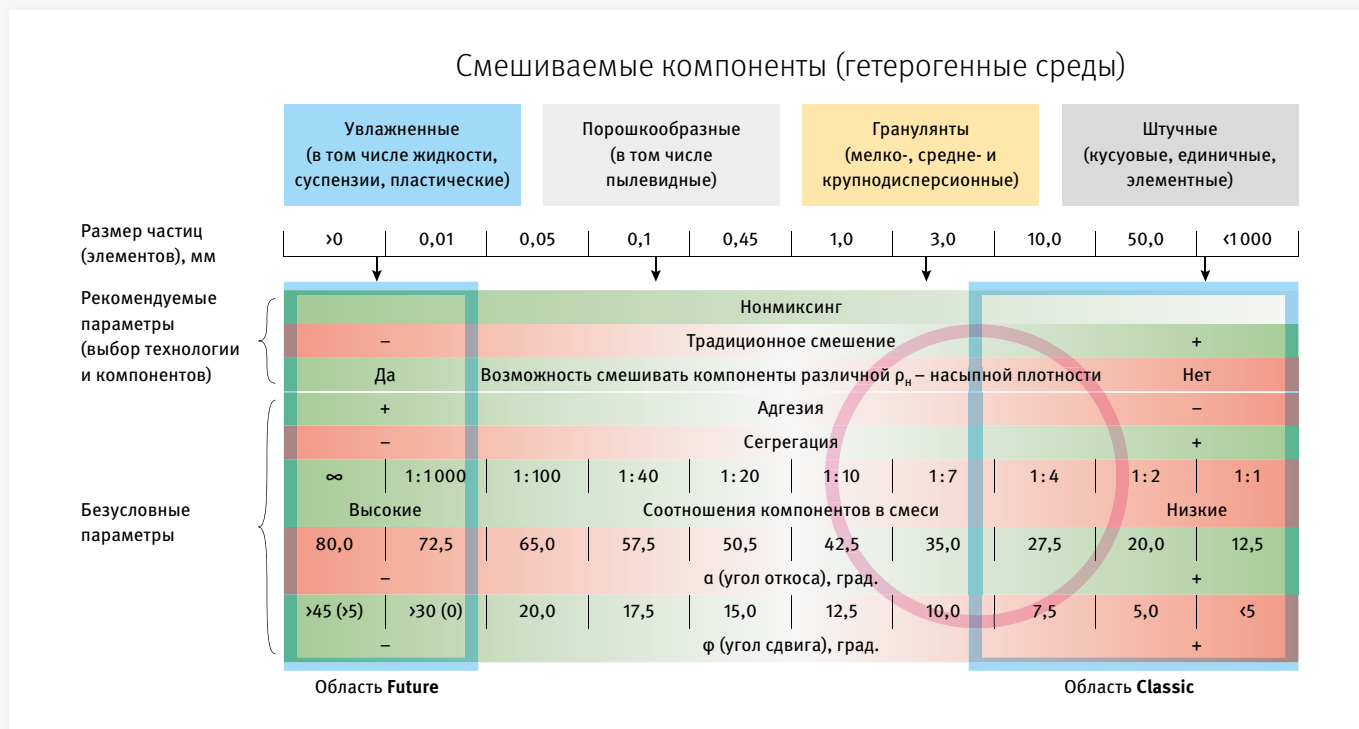


Рис. 1. Предлагаемая функциональная параметрическая классификация компонентов для выбора миксеров (нонмиксеров) и получения показателей качества смеси, наноматериала или композита на уровне не ниже $V_c \leq 1...10\%$, овалом выделена оптимальная область выбора параметров смеси (композиции)

для производного τ_0 – начального сопротивления сдвигу, в том числе для пластических компонентов и суспензий), α – угол откоса (интегрально учитывающий параметры сводообразования). А как дополнительные (производные) параметры: обратные друг другу параметры адгезии и сегрегации, а также взаимосвязанные с ними, соотношение компонентов в смеси и собственно области совместного взаимодействия традиционных технических решений миксинга [7–9, 11, 12] и нонмиксинга [1, 2, 5]. Численные характеристики параметров могут быть скорректированы под конкретную отрасль производства.

Еще одно преимущество вводимой классификации – ее гибкость, возможность адаптироваться к различным технологическим регламентам, сохраняя при этом ее структуру и подход. Можно варьировать различными характеристиками компонентов (сред), не изменяя их зависимости от технологии производства продукта.

Все параметры привязаны по оси абсцисс по функциональным взаимосвязанным признакам, что раньше не учитывалось, а также в плоскости обеих осей для выделения области обоснованного выбора миксера (нонмиксера). При этом специально выделяются области Classic и Future, визуально характеризующие диалектический переход от традиционных технологий к нонмиксингу, позволяющему синтезировать гетерогенные смеси и композитные материалы, которые ранее получать не удавалось.

В поле классификации специально выделена область рационального соотношения всех используемых параметров с возможностью оптимального выбора устройства и технологии. Следует отметить, что данную функциональность классификации не обязательно рассматривать как однозначную или предпочтительную. Существует большое количество технических и технологических особенностей приготовления смесей [6–9, 11, 12], технические и технологические регламенты приготовления которых, с экономической точки зрения, вполне возможно реализовать традиционными методами. В таком случае они попадают в другую, вполне работоспособную область предлагаемой классификации, упрощая выбор на проектирование миксера (нонмиксера) при учете всех параметров компонентов. Однако структура классификации остается постоянной с возможностью исключения или, наоборот, включения описываемых или вновь вводимых параметров.

Можно использовать классификацию как базовую структуру для детального описания каждого компонента,

который есть в наличии на конкретном предприятии в данный момент времени. Это не только позволит составлять своего рода «паспорт» партии данного компонента, но и обозначит наиболее оптимальные условия для его транспортирования и хранения. Далее можно производить наложение уточненных данных для каждого конкретного компонента, составляющих определенную рецептуру смеси или композита, друг на друга с целью синтеза необходимой рецептуры смеси или композитного материала из базы имеющихся компонентов.

Обсуждение результатов

Вместе с ранее полученными результатами на рис. 2 представлена обобщенная сравнительная характеристика экспериментальных исследований традиционного стохастического и детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей и композитов.

Техническая компоновка дозирующих узлов и систем упорядоченной укладки микродоз компонентов в нонмиксерах при детерминированном формировании однородности гетерогенных смесей или композитных материалов позволяет синтезировать их в достаточном количестве и с уровнем качества, превышающим получаемый на традиционных конструкциях миксеров в среднем на 20% и более. В результате многолетних научных исследований получено практическое подтверждение теоретических разработок процессов дозирования и нонмиксинга, а также высокая сходимость результатов теоретического обоснования детерминированного формирования однородности

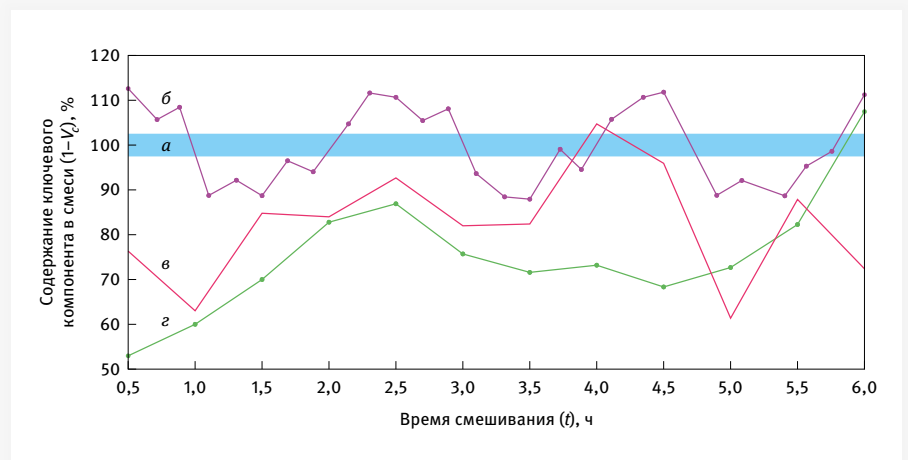


Рис. 2. Аппроксимированные функции содержания ключевого компонента в готовых смесях по коэффициенту вариации $1 - V_c$ в зависимости от времени смешивания в %, области показателей качества смесей: *а* – получаемых при детерминированном формировании однородности смесей и композитов (нонмиксингом), *б* – получаемых на смесителях непрерывного действия; *в* – получаемых на смесителях периодического действия (насыпная плотность ключевого компонента низкая); *г* – получаемых на смесителях периодического действия (насыпная плотность ключевого компонента высокая)

смесей с результатами практических экспериментов. При этом экспериментальные исследования проводились на оборудовании для различных отраслей хозяйства, с использованием различных методик проведения опытов, материалов и статистических методов анализа экспериментальных данных [2, 3, 5–7, 9–11].

Наглядно результаты исследований по данному научно-техническому направлению можно проиллюстрировать и прокомментировать по зависимостям, которые представлены на рис. 2. Границы области показателей качества смесей и композитов, получаемых нонмиксингом (рис. 2, а), находятся в пределах $\pm 2-4\%$ от необходимого и предъявляемого потребителем уровня. Они на десятки процентов превосходят качественные характеристики смесей, полученных традиционно, и представленных в работах многих авторов, в том числе Ю. И. Макарова и А. В. Чувпило [1, 2] (рис. 2, б), применительно к смесям непрерывного действия и, в определенной степени, обобщаемые и аппроксимированные для всех классов традиционного смесительного оборудования. Показатели качества смесей, получаемые нонмиксингом, как и любые статистические величины, также колеблются, но только в пределах своей области, жестко регламентированной уровнем доверительной вероятности, технически привязанной к каждой конкретной нонмиксинговой системе, то есть способу и устройству с их техническими возможностями [2–5].

Проведенные практические и экспериментальные исследования позволяют утверждать, что на самом деле качественные характеристики смесей, получаемые традиционными способами, варьируются в пределах 70–80% от нормируемых и, как правило, по сильно усредненной оценке (рис. 2, в, г). Также утверждается, что различные по насыпной плотности компоненты смешиваются по-разному, и качественные характеристики более легких компонентов в смеси (рис. 2, в) несколько лучше, чем более тяжелых (рис. 2, г), которые имеют более высокую склонность к сегрегации даже в смесях, где разница в насыпных плотностях компонентов незначительна. Это обстоятельство может найти эффективное применение при производстве композитных материалов из компонентов, имеющих значительные различия физико-механических свойств [3, 5, 6, 10–12].

В результате анализа полученных результатов можно сформулировать наиболее перспективные направления развития теории и практики детерминированного формирования однородности высокоэффективных смесей и композитных материалов:

- совершенствование существующих и создание новых технологий и оборудования, использующих различные физико-механические, химические, электромагнитные и другие способы создания упорядоченной структуры компонентов при производстве

гетерогенных смесей и композитных материалов для решения различных производственных задач;

- создание универсальных типоразмерных рядов конструкций нонмиксеров, а также оптимизация этих рядов с целью обеспечения баланса между производительностью нонмиксеров и их стоимостью, в том числе и при обслуживании;
- построение частных структурных схем детерминированного формирования однородности, ориентированных прежде всего на эффективное использование конечного смесового продукта или композитного материала с соответствующей привязкой параметров его использования к техническим возможностям конкретной конструкции оборудования;
- использование упорядоченной укладки компонентов, волокон и сред в плоскости (2D-материалы) и пространстве (3D-материалы), а также разработка и создание nD-материалов с новыми модифицированными свойствами, кроме геометрии [5, 6, 10];
- создание производства биокомпозитов на основе матриц из биоволокон, содержащих ключевые компоненты и т. п.;
- разработка и использование общих принципов упорядоченной укладки компонентов для улучшения экологических параметров производства гетерогенных смесей и композитных материалов и обеспечения безопасных условий обслуживания вновь создаваемого оборудования.

Выводы

Практическая реализация теоретических положений теории детерминированного формирования однородности смесей и композитных материалов позволяет технически и технологически решить основную задачу по данной научно-производственной проблеме – получение гетерогенных смесей и композитных материалов гарантированного высокого качества из компонентов различной физической структуры и свойств с соотношением в смеси свыше 1:20 на новом классе технологических машин – нонмиксерах.

Предложена новая классификация гетерогенных компонентов для приготовления высокооднородных гетерогенных смесей и композитных материалов с новыми модифицированными свойствами при использовании как традиционных, так и новых инновационных технологий.

Представлена сравнительная характеристика нонмиксинга гетерогенных сред и композитов, показывающая его преимущества перед традиционными способами смешения и подтвержденная некоторыми экспериментальными исследованиями.

Доказана возможность получения методами детерминированного формирования однородности новых высокоэффективных композитных материалов.

Литература

1. **Евсеев А. В.** Нонмиксинг // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. Вып. 9. С. 27–36.
2. **Евсеев А. В.** Теория и оборудование детерминированного формирования однородности гетерогенных смесей: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2021. 297 с.
3. **Евсеев А. В., Парамонова М. С., Прейс В. В., Лобанов А. В.** Экспериментальная проверка математической модели детерминированного формирования однородности смеси для алмазного инструмента // Цветные металлы. 2019. № 1 (913). С. 78–87. DOI: 10.17580/tsm.2019.01.12
4. **Evseev A. V., Preys V. V., Proskuryakov N. E., Lobanov A. V.** Simulation of the metallic powder mixing process and deterministic formation of homogeneity // Tsvetnye Metally, 2021, 2021(2), 93–100.
5. **Vasin S. A., Evseev A. V., Malikov A. A.** Some aspects of the production of high-performance composite mixtures and materials // Tsvetnye Metally, 2022, 2022(6), 51–58.
6. **Васин С. А.** Проектирование, технология изготовления режущих инструментов в державках из композита на основе бетона с повышенными демпфирующими свойствами и особенности их эксплуатации: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01, 05.16.06. Москва, 1995. 36 с.
7. **Баранцева Е. А.** Моделирование и оптимизация процессов смешивания сыпучих материалов: автореферат дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08, 05.13.01. Иваново, 2010. 34 с.
8. High-speed measurement of axial grain transport in a rotating drum / Khan Z. S., Van Bussel F., Schaber M., Seemann R., Scheel M. and Di Michiel M. // New Journal of Physics, 2011. Issue 13. 105005. DOI:10.1088/1367-2630/13/10/105005.
9. A study of the mixing and segregation mechanisms in the Bohle Tote blender via DEM simulations / Arratia P. E., Nhat-hang Duong, Muzzio F. J., Godbole P., Reynolds S. // Powder Technology. Vol. 164 (2006). PP. 50–57.
10. **Аль-шиблави К. А., Першин В. Ф., Баранов А. А., Пасько Т. В.** Получение малослойного графена способом жидкофазной сдвиговой эксфолиации // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25. № 1. С. 143–154.
11. **Podgornyj Yu. I., Martynova T. G., Skeebe V. Yu., Kosilov A. S., Chernysheva A. A., Skeebe P. Yu.** Experimental determination of useful resistance value during pasta dough kneading // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2017. Issue 87. 082039. DOI: 10.1088/1755-1315/87/8/082039.
12. **Marinescu I. D., Rowe W. B., Dimitrov B., Ohmori H.** Tribology of Abrasive Machining Processes. William Andrew Pub., Elsevier. 2013.

Авторы

Васин Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор Тульского государственного университета


Евсеев Алексей Владимирович – доктор технических наук, доцент Тульского государственного университета



Маликов Андрей Андреевич – доктор технических наук, профессор, проректор Тульского государственного университета

Юраскова Ирина Андреевна – аспирант Тульского государственного университета

ЭЛЕКТРОНИКА НАНОИНДУСТРИЯ ФОТОНИКА ПЕРВАЯ МИЛЯ АНАЛИТИКА СТАНКОИНСТРУМЕНТ

ИНФОПРОСТРАНСТВО
ФЕССИОНАЛОВ

Мы на  YouTube

Подписывайтесь