

Технологический процесс приготовления самоклеящихся радиопоглощающих материалов

В.Д. Черкасов¹, Ю.В. Юркин², Щербак Ю.П.³, В.В. Авдонин¹, Д.В. Черкасов¹

¹Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск

²Вятский государственный университет, Киров

³Саровский физико-технический институт Национальный исследовательский ядерный институт «МИФИ», Саров

Аннотация: Рассмотрен технологический процесс изготовления самоклеящихся радиопоглощающих материалов. Технологический режим изготовления радиопоглощающих материалов состоит из двух операций – приготовление смеси и изготовление из полученной смеси радиопоглощающих материалов. Важным этапом является перемешивание смеси. От качества смеси зависит качество радиопоглощающего материала.

Ключевые слова: смесь, время перемешивания, сканирующий зондовый микроскоп, исследование микроструктуры.

Введение

Главным признаком композитов является способность образовывать в процессе своего формирования специфические структуры из частиц наполнителя и матрицы [1-3], возникновение которых оказывает непосредственное влияние на приобретение новым составным материалом неаддитивных, иногда уникальных свойств, не присущих составляющим компонентам композиционного материала в отдельности [4-6]. Образование отмеченных структур происходит в результате вынужденных процессов перемешивания [7-9].

Процесс приготовления неотверждаемой смеси относится к простому перемешиванию, которое заключается в равномерном распределении частиц наполнителя в матрице. Компоненты смеси не вступают между собой в химическое взаимодействие. Однородность системы во многом зависит от скорости и продолжительности перемешивания [10-12]. Эти параметры в первую очередь влияют на качество материала. Процесс перемешивания является важным этапом получения радиопоглощающего материала. От правильного выбора режима перемешивания будет зависеть качество материала, его научно-технический уровень и конкурентоспособность.

Методы и материалы

Материалы

В качестве связующего для приготовления смеси использовали бутилкаучук. Для придания им радиопоглощающих свойств в состав вводят функциональный наполнитель углеродное волокно UFM-4HD и металлическая окалина. Перемешивание смеси производилось на лабораторном смесителе ЗЛ1, ОЭК01.

Сканирующая зондовая микроскопия.

Исследования микроструктуры проводились на сканирующем зондовом микроскопе «Solver Next» в режимах «оптическая микроскопия» и полу контактный метод.

Результаты и обсуждение

В процессе отработки режима перемешивания контролировали параметры температурного режима, определяли объемы и порядок загрузки смесителя. По результатам исследований установлен порядок и объем загрузки (табл.1)

Таблица 1

Порядок, объем загрузки и время смешивания

Порядок загрузки	Доля от навески	Время приготовления
1. Синтетические каучуки	Всю	15 – 20
2. Наполнител Тиксотропные добавки	по ½+ Всю	55 – 60
3. Упрочняющие добавки	Всю	35 – 45
4. Наполнители Пластификатор	Остаток 1/3	40 – 45
5. Наполнители Пластификатор	Остаток остаток	35 – 45
Общее время перемешивания		3 ч - 3 ч 30 мин*

В ходе обработки определены:

- порядок смешения;
- оптимальный температурный режим смешения: (120 – 140 °С);
- нормы загрузки: 500-800 г;
- общее время смешения: 3 ч – 3 ч 30 мин.

Для оценки качества материала после перемешивания компонентов оценивали на сканирующем зондовом микроскопе.

Исследования микроструктуры проводились на сканирующем зондовом микроскопе «Solver Next»; режимы: «оптической микроскопии» и полуконтактный метод. Наряду с регистрацией топографии в процессе сканирования производилась регистрация фазового контраста, отражающая распределение упругих свойств и позволяющая выявлять твердые включения в матрице эластомера (таблица 2).

Таблица 2

Данные по трем образцам, взятым для анализа.

Образцы	Режимы перемешивания
№1 размером 72x34x1 мм	Режим 1 (до оптим.)
№2 размером 72x34x1 мм	Режим 2 (за оптим.)
№3 размером 72x34x1 мм	Режим 3 (оптим.)

На рис. 1. приведены АСМ-изображения поверхности образцов в фазовом режиме.

Примечание: на рисунке по вертикали и горизонтали представлен размер частиц в Мкм.

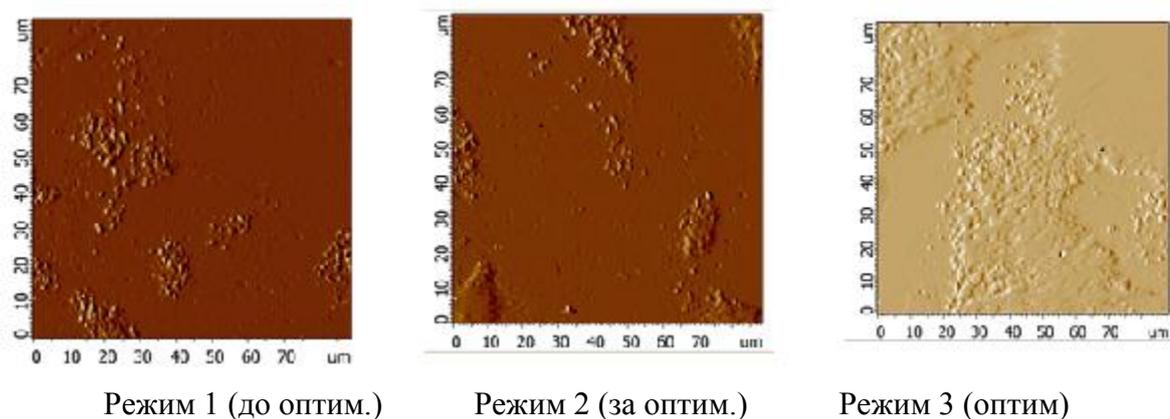


Рис. 1. – АСМ-изображения поверхности образцов/фазовый контраст
а – режим 1 (2 ч. перемеш.); б – режим 2 (4 ч. перемеш.);
в – режим 3 (3,5 ч. перемеш.)

В образцах (режим 2 и 3) матрица слабая. Есть полости, возможно, образованные в результате выкрашивания наполнителя. На рисунке 2 для иллюстрации приведен профиль сечения образца «режим 3».

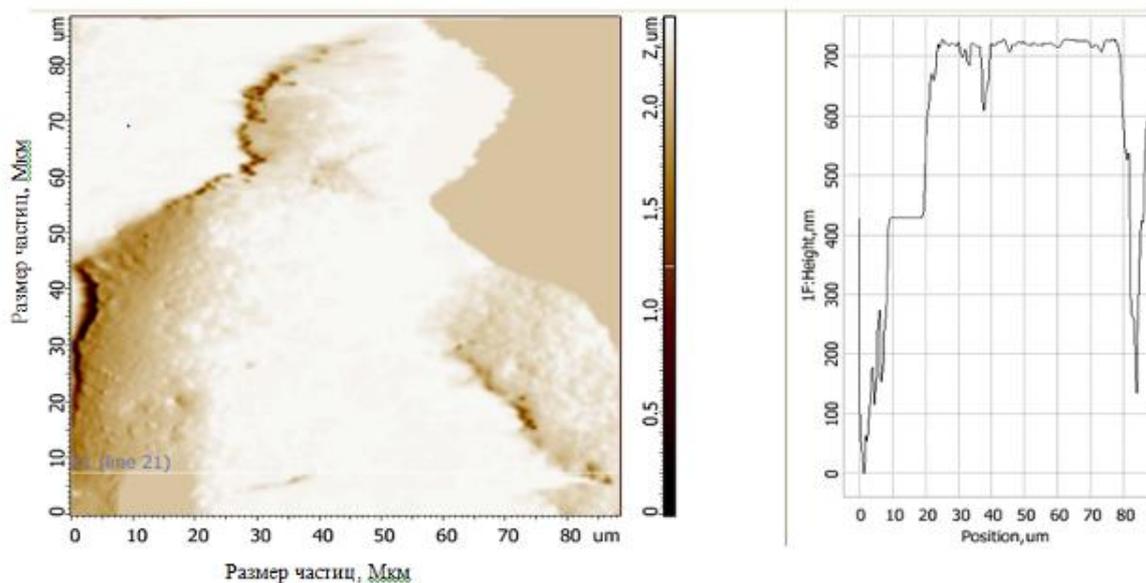


Рис. 2. – АСМ-изображения образца 3:

а – топография с линией сечения; б – профиль сечения поверхности.

Примечание: на рисунке по вертикали и горизонтали представлен размер частиц в Мкм.

Анализ профиля сечения показывает, что материал непрочный, склонен к разрыву/смещению слоев. Глубина углублений 500нм.

Как показывают результаты исследований (табл. 4, 5) более равномерное распределение частиц наполнителя наблюдается при оптимальной продолжительности перемешивания (3,5 часа).

Таблица 3

Распределение наполнителя в образцах серии Абрис ЭМИси.

Режим 1	Асси-метричное, два пика: 0.4/0.8	
Режим 2	Ассиметричное, два пика: 0.4/0.8	
Режим 3	Близкое к нормальному	

Таблица 4

Анализ распределения частиц наполнителя в образцах серии Абрис ЭМИСи

Образец	Размер скана, мкм	Кол-во частиц в поле зрения	Процент площади, занимаемой частицами, %	Размеры наполнителя, мкм		
				max	min	Средний диаметр
<i>Режим 1</i>	90x90	629	4,38	2.0197	0,3464	0,4/0.8
<i>Режим 2</i>	90x90	729	5.502	2,0492	0,3464	0,4/0.8
<i>Режим 3</i>	90x90	171	1.864	1,8972	0,3464	0,75

Метод АСМ позволяет не только исследовать структуру материалов на различных структурных уровнях, но и оценивать их свойства.

По результатам исследований проведена оценка однородности распределения наполнителя. Установлено, что наполнитель агрегирует в скопления мелкодисперсного волокна. Сняты силовые кривые и измерен модуль Юнга в локальных точках (рис.3). Образец, изготовленный по «режиму 3» (оптимальное время перемешивания), имеет наиболее стабильную структуру матрицы.

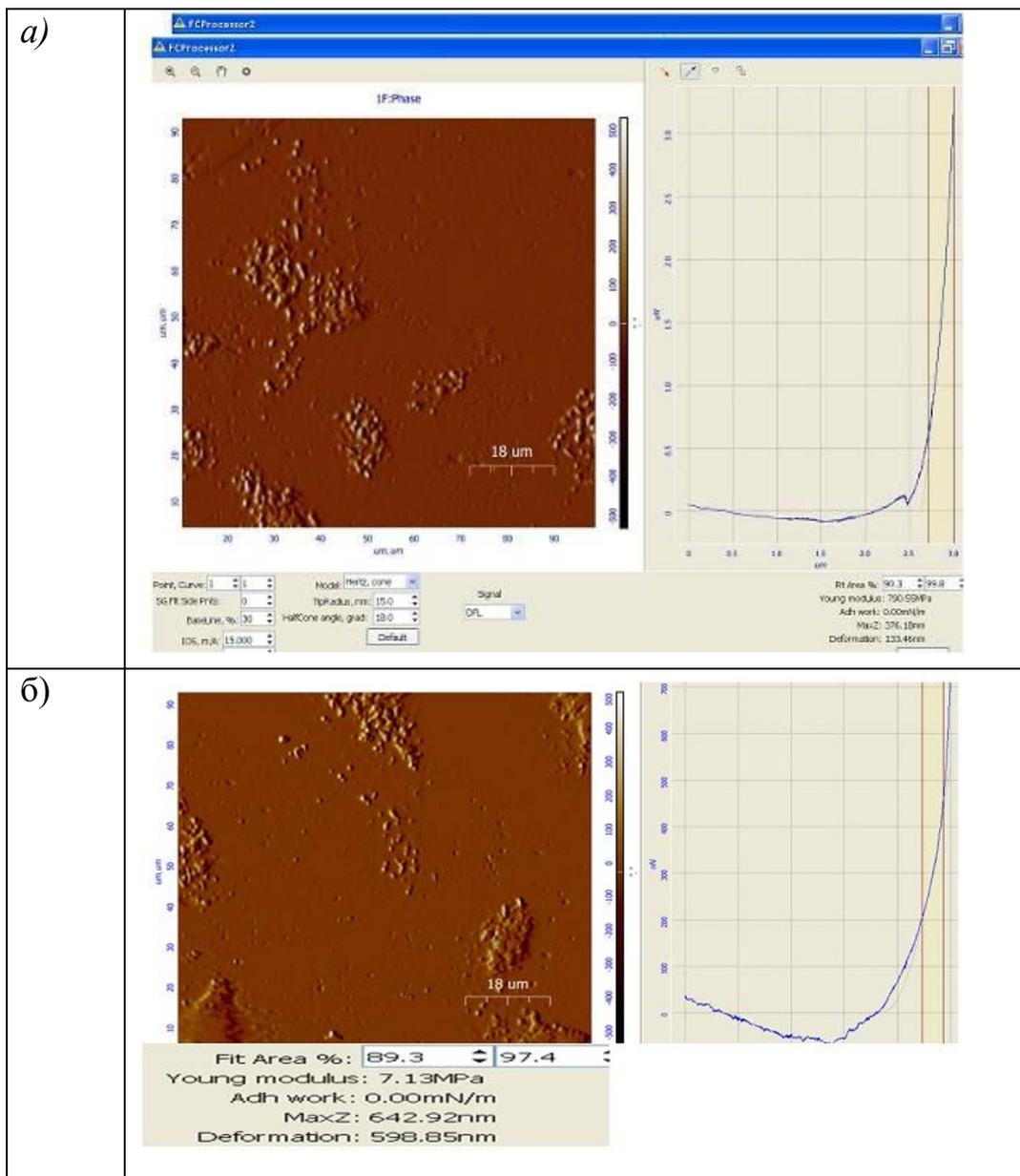


Рис. 3. – Вид силовых кривых

а – силовые кривые образец режим 3; б – режим 2 Модуль Юнга в точке (рис.2 -бирюзовый цвет) на поверхности образца режим 3 составляет 790,55 МПа. Для образца режим 2 – 7, 13МПа, что подтверждает результаты АСМ-исследований: образец 3 более жесткий.



Выводы

Установлено, что оптимальный режим перемешивания смеси на основе бутилкаучука составляет 3,5 часа при температуре 120 – 140 °С.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме «Организация импортозамещающего производства самоклеящихся радиопоглощающих материалов с повышенными защитными свойствами» в рамках Государственного контракта №075-11-2022-008 от 6 апреля 2022 г., идентификатор государственного контракта 000000S407522QMX0002.

Литература

1. Черкасов В.Д., Щербак Ю.П., Черкасов Д.В. Радиопоглощающие материалы на основе герметика «Абрис» // Строительные материалы и изделия. 2023. Том 6. № 4. С. 30 – 41. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-30-41.
2. Черкасов В.Д., Авдонин В.В., Черкасов Д.В., Щербак Ю.П., Юркин Ю.В. Самоклеящиеся радиопоглощающие покрытия // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 4 (53). С. 41-50. ISSN: 2072-2958. DOI: 10.54734/20722958_2022_4_41.
3. Qing Yuchang, Zhou Wancheng, Luo Fa, Zhu Dongmei, Optimization of electromagnetic matching of carbonyl iron/BaTiO₃ composites for microwave absorption // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2011. Vol. 323. Issue 5. P. 600 - 606. ISSN 0304-8853, 10.1016/j.jmmm.2010.10.021. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885310007481](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885310007481). DOI: 10.1016/j.jmmm.2010.10.021.
4. Шилкова Т.В., Шибкова Д.З., Ефимова Н.В., Полевик Н.Д. Оценка биологических эффектов электромагнитного поля радиочастотного



диапазона низкой частоты на систему крови экспериментальных животных // Вестник ЮУрГУ. 2011. № 7. С. 10 - 15.

5. Nina Joseph, Mailadil Thomas Sebastian, Electromagnetic interference shielding nature of PVDF-carbonyl iron composites // Materials Letters. 2013. Vol. 90. pp. 64 - 67. ISSN 0167-577X, 10.1016/j.matlet.2012.09.014. URL:

sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X12012943. DOI: 10.1016/j.matlet.2012.09.014.

6. Zheng Xiangyu, Zhang Haiwei, Liu Zhihao, Jiang Rijia, Zhou Xing, Functional composite electromagnetic shielding materials for aerospace, electronics and wearable fields // Materials Today Communications. 2022. Vol. 33. P. 104498. ISSN 2352-4928, 10.1016/j.mtcomm.2022.104498. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013393. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.104498.

7. Thomassin Jean-Michel, Jérôme Christine, Pardoën Thomas, Bailly Christian, Huynen Isabelle, Detrembleur Christophe, Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials // Materials Science and Engineering: R: Reports, 2013. Vol. 74. Issue 7. P. 211 - 232. ISSN 0927-796X, 10.1016/j.mser.2013.06.001. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X1300048X. DOI: 10.1016/j.mser.2013.06.001.

8. Казанцева Н.Е., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А. Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона // Радиотехника и электроника. 2003. Т. 48. № 2. С. 196 - 209.

9. Криваткин А.М., Сакуненко Ю.Т. Специальные пластмассы для экранирования электромагнитных излучений // Полимерные и композиционные материалы: технологии, оборудование, применение: тез.

докл. науч.-практ. конф. 7 междунар. специализир. выставки "Индустрия пластмасс'2006", Москва, 14 марта 2006 г. М.: Максима, 2006. С. 28 - 30.

10. Николайчук Г., Иванов В., Яковлев С. Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур // Электроника: наука, технология, бизнес. 2010. № 1. С. 92 - 95.

11. Гульбин В.Н., Михеев В.А., Колпаков Н.С., Александров Ю.К., Поливкин В.В. Материалы для защиты среды обитания человека от влияния электромагнитных излучений // Технологии ЭМС. 2013. № 2 (45). С. 18 - 25.

12. Liu Lidong, Duan Yuping, Liu Shunhua, Chen Liyang, Guo Jingbo, Microwave absorption properties of one thin sheet employing carbonyl-iron powder and chlorinated polyethylene // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2010. Vol. 322. Issue 13. pp. 1736 - 1740. ISSN 0304-8853, 10.1016/j.jmmm.2009.12.017. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885309011627. DOI: 10.1016/j.jmmm.2009.12.017.

References

1. CHerkasov V.D., SHCHerbak YU.P., CHerkasov D.V., Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2023. Tom 6. № 4. pp. 30 – 41. DOI: 10.58224/2618-7183-2023-6-4-30-41.

2. CHerkasov V.D., Avdonin V.V., CHerkasov D.V., SHCHerbak YU.P., YUrkin YU.V., Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2022. № 4 (53). pp. 41-50. ISSN: 2072-2958. DOI: 10.54734/20722958_2022_4_41.

3. Qing Yuchang, Zhou Wancheng, Luo Fa, Zhu Dongmei, Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2011. Vol. 323. Issue 5. P. 600 - 606. ISSN 0304-8853, 10.1016/j.jmmm.2010.10.021. URL: sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885310007481. DOI:10.1016/j.jmmm.2010.10.021.



4. SHilkova T.V., SHibkova D.Z., Efimova N.V., Polevik N.D., Vestnik YUUrGU. 2011. № 7. pp. 10 - 15.

5. Nina Joseph, Mailadil Thomas Sebastian, Materials Letters. 2013. Vol. 90. P. 64 - 67. ISSN 0167-577X, 10.1016/j.matlet.2012.09.014. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X12012943](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167577X12012943). DOI: 10.1016/j.matlet.2012.09.014.

6. Zheng Xiangyu, Zhang Haiwei, Liu Zhihao, Jiang Rijia, Zhou Xing, Materials Today Communications. 2022. Vol. 33. P. 104498. ISSN 2352-4928, 10.1016/j.mtcomm.2022.104498. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013393](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822013393). DOI: 10.1016/j.mtcomm.2022.104498.

7. Thomassin Jean-Michel, Jérôme Christine, Pardoën Thomas, Bailly Christian, Huynen Isabelle, Detrembleur Christophe, Materials Science and Engineering: R: Reports, 2013. Vol. 74. Issue 7. pp. 211 - 232. ISSN 0927-796X, 10.1016/j.mser.2013.06.001. URL: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X1300048X](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X1300048X). DOI: 10.1016/j.mser.2013.06.001.

8. Kazanceva N.E., Ryvkina N.G., CHmutin I.A., Radiotekhnika i elektronika. 2003. T. 48. № 2. pp. 196 - 209.

9. Krivatkin A.M., Sakunenko YU.T., Polimernye i kompozicionnye materialy: tekhnologii, oborudovanie, primeneniye: tez. dokl. nauch.-prakt. konf. 7 mezhdunar. specializir. vystavki "Industriya plastmass'2006", Moskva, 14 marta 2006 g. M.: Maksima, 2006. P. 28 - 30.

10. Nikolajchuk G., Ivanov V., YAKovlev S., Elektronika: nauka, tekhnologiya, biznes. 2010. № 1. pp. 92 - 95. Bibliogr.: 6 nazv.

11. Gul'bin V.N., Miheev V.A., Kolpakov N.S., Aleksandrov YU.K., Polivkin V.V., Tekhnologii EMS. 2013. № 2 (45). pp. 18 - 25.

12. Liu Lidong, Duan Yuping, Liu Shunhua, Chen Liyang, Guo Jingbo, Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2010. Vol. 322. Issue 13. P. 1736 - 1740. ISSN 0304-8853, 10.1016/j.jmmm.2009.12.017. URL: [10.1016/j.jmmm.2009.12.017](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885309001736). URL:



sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885309011627.
10.1016/j.jmmm.2009.12.017.

DOI: