

УДК 691.175.5/.8, 532.135

**ВЛИЯНИЕ ТИКСОТРОПНОГО ВЕЩЕСТВА НА СТРУКТУРУ
МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛАСТОМЕРА**Ульяна Алексеевна Ерохина⁽¹⁾, Степан Владимирович Сидоренко⁽²⁾*Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 4 курса⁽²⁾,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет**Научный руководитель: А.М. Базиненков,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»*

Интеллектуальные материалы – это одно- или многокомпонентные материалы, которые под внешним влиянием, таким как изменение температуры, давления, параметров излучения или под влиянием химических веществ, электрических или магнитных полей и т.д., изменяют типичные для них или проявляют необычные свойства [1]. Магнитореологический эластомер (МРЭ) – это интеллектуальный материал, который способен менять свою вязкость при взаимодействии с внешним магнитным полем.

Данный вид магнитореологических (МР) материалов обладает огромным потенциалом, но в данный момент находится на стадии исследования, в отличие от схожих по свойствам магнитореологических жидкостей (МРЖ). МРЭ состоят из трёх компонентов: поляризованные магнитные частицы, матрицы и добавки (в основном силиконовое масло) [2].

Матрицы делают на основе силиконовой резины, натурального каучука, полиуретана, этилен/акрила, резины из отработанных шин, каучука из этилен-пропилен-диенового мономера и т.д. Силиконовое масло используется в качестве добавки и усредняют распределение внутренних напряжений в материалах.

Магнитные частицы будут упорядочены, в зависимости от того, является ли МРЭ анизотропным или изотропным. Наиболее распространённой магнитной частицей является карбонильное железо, они бывают сферические с размером до 7 мкм и хлопьевидные – до 50 мкм.

МР эффект (рис.1) – это явление изменения механических свойств материала под действием внешнего магнитного поля быстро, обратимо и контролируемо. Эффект обусловлен взаимодействием диполей частиц, стремящихся уменьшить потенциальную энергию в магнитном поле.

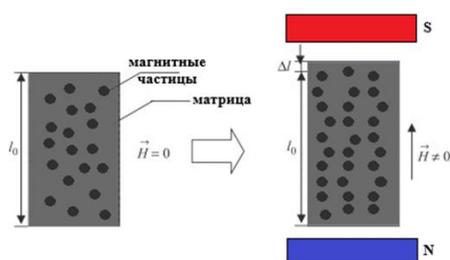


Рис. 1. Схема магнитореологического эффекта

Важнейшим свойством МРЭ является эффект Пейна: при малой деформации материал имеет высокую жёсткость, а при больших деформациях тем более мягким

становится материал, но, если приложить магнитное поле, МРЭ может восстановить жёсткость.

МР эффект усиливается при увеличении количества магнитных частиц, однако наблюдается ухудшение механических свойств таких как прочность на разрыв. МРЭ способны накапливать энергию в процессе деформации, а также образцы МРЭ демонстрируют значительные изменения сопротивления под действием сжатия и приложение магнитного поля [5].

МРЭ имеют огромный потенциал промышленного применения, особенно в случае с анизотропными эластомерами. В данный момент они используются в основном в устройствах виброизоляции, например демпферах [6,7]. Исследования показывают, что при добавлении проводящих наполнителей, чувствительность МРЭ к магнитным полям значительно повышается [8]. Также, МРЭ могут использоваться в бесконтактных сенсорах, в которых деформация материала под действием магнитного поля приведёт к изменению электрических характеристик [8].

Таким образом, МРЭ позволяют создавать адаптивные системы виброзащиты, поскольку их жесткость и демпфирование обратимо изменяются под действием магнитного поля. Системы могут быть успешно применены в оборудовании электронного машиностроения. Эффективность таких систем напрямую зависит от качества изготовления МРЭ и, в частности, однородности распределения магнитных частиц в полимерной матрице.

Основная технологическая трудность при изготовлении МРЭ – это седиментация частиц карбонильного железа в жидкой силиконовой матрице до её отверждения. Это приводит к неравномерной концентрации по высоте образца и, как следствие, к нестабильности свойств полимера и существенному усложнению САУ устройствами на его основе.

В работе предлагается способ решения данной задачи путем введения в жидкий состав на этапе изготовления тиксотропного материала – ксантановой камеди. Она увеличивает вязкость смеси в состоянии покоя, предотвращая оседание частиц, но при перемешивании вязкость снижается, сохраняя порядок операций процесса.

Экспериментально исследованы образцы с содержанием ксантановой камеди от 1 до 3 % об. Микроскопия срезов, выполненная с использованием микроскопа ХЖР-200, показала, что наиболее равномерное распределение частиц достигается при введении до 1% об. тиксотропной добавки. При увеличении концентрации до 2% и 3% об. наблюдается неравномерность распределения частиц по объему образца и образование агломератов, что ухудшает структуру материала.

Применение предложенного метода не требует сложного оборудования и позволяет получать МРЭ с более предсказуемыми характеристиками. Это делает возможным их использование в системах виброзащиты точного оборудования электронного машиностроения.

Литература

1. J. Köhnlein Smart materials - Intelligente Werkstoffe. – 2000.
2. Li, Y., Li, J., Li, W., & Du, H. A state-of-the-art review on magnetorheological elastomer devices. // IOP Science. – 2014.
3. Kang, S. S., Choi, K., Nam, J.-D., & Choi, H. J. Magnetorheological Elastomers: Fabrication, Characteristics, and Applications. // MDPI – 2020.
4. Suo S. et al. Improved mathematical model for analysis of the Payne effect of magnetorheological elastomers. // Journal of aerospace engineering. – 2018. – Т 31. - №. 5. – С. 04018046.

5. Li, W. H., Zhang, X. Z., & Du, H. Magnetorheological Elastomers and Their Applications. // *Advances in Elastomers*. – 2013.
6. Yu et al. Nonlinear characterization of magnetorheological vibration isolator. // *International Journal of Smart and Nano Materials*. – 2021. – Вып. 4 – С. 390-428.
7. Qi, S., Guo, H., Chen, J., Fu, J., Hu, C., Yu, M., & Wang, Z. L. Magnetorheological elastomers enabled high-sensitive self-powered tribo-sensor for magnetic field detection. // *Royal society of chemistry*. – 2018.
8. Y. Choi, N. Wereley. Adaptively tunable magnetorheological elastomer-based vibration absorber for a propeller aircraft seat. // *AIP Advances*. – 2022. – Вып.12 (3) – С.1-7.