

УДК 532.135

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ РЕЛАКСАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Коробко Е.В., Радкевич Л.В., Журавский Н.А., Кузьмин В.А.

*Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследованы тиксотропные явления и переходные релаксационные процессы в магниточувствительных материалах. Установлено, что площадь петли гистерезиса для составов магнитоуправляемых материалов меньше при большей концентрации магнитной дисперсной фазы. Исследованы переходные релаксационные процессы в магнитоуправляемых материалах в режиме непрерывного сдвига при включении магнитного поля. Установлено, что время достижения равновесного значения напряжения сдвига уменьшается с ростом скорости сдвига.

Ключевые слова: реологические свойства, магнитореологические жидкости, время релаксации.

INVESTIGATIONS OF THE EFFECT OF RELAXATION PROCESSES ON THE EFFICIENCY OF MAGNETOREOLOGICAL MATERIALS

Korobko E., Radkevich L., Zhurauski M., Kuzmin V.

*A.V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. Thixotropic phenomena and transient relaxation processes in magnetically sensitive materials have been studied. It has been established that the area of the hysteresis loop for the compositions of magnetically controlled materials is smaller at a higher concentration of the magnetic dispersed phase. Transient relaxation processes in magnetically controlled materials are studied in the continuous shear regime with the inclusion of a magnetic field. It has been established that the time to reach the equilibrium value of the shear stress decreases with increasing shear rate.

Key words: rheological properties, magnetoreological liquids, relaxation time.

*Адрес для переписки: Коробко Е.В., пр. Петруся Бровки, 15, Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: evkorobko@gmail.com*

Научно-технический прогресс на современном этапе определяется явно выраженной тенденцией к широкому использованию «интеллектуальных» материалов, позволяющих осуществлять многостороннее и эффективное управление их свойствами, а также к разработке устройств, в которых они применяются. Способность управлять силовыми и температурными характеристиками реологических материалов, включающих поляризующиеся в электрическом или магнитном поле дисперсные наполнители в дисперсионной среде, открывает реальные перспективы новых путей решения актуальных технических задач для энергетики, прецизионного оборудования, машиностроения и строительства [1, 2], что подтверждает актуальность и необходимость развития данного направления исследований, в том числе, целенаправленной разработки их составов и алгоритмов управления их характеристиками.

Реологические особенности материалов определяются комплексом характеристик материала: расположением частиц в объеме, характером их молекулярного и поляризационного взаимодействия, степенью управляемого структурообразования в полях, влиянием температуры, уровнем диссипации энергии при нестационарном силовом воздействии и др. Малочисленные исследования конкретных реологических материалов, созданных авторами, показали, что характер

деформирования определяется также временем действия силового фактора и величиной поля по сравнению со временем релаксации среды. В частности, при росте скорости сдвига и последующем ее снижении в некоторых реологических материалах имеет место гистерезис напряжения сдвига [3, 4]. Это явление оказывает существенное влияние на исполнительные характеристики устройств с реологическими жидкостями.

В настоящей работе исследованы магнитореологические жидкости (МРЖ) с 20 об.%, 30 об.% и 40 об.% карбонильного железа, а также с 30 об.% карбонильного железа и 10 об.% ферримагнитного оксидного наполнителя при воздействии магнитных полей различной величины при различных сдвиговых нагрузках.

Тиксотропные явления в магниточувствительных материалах экспериментально исследованы в фиксированном магнитном поле в диапазоне скоростей сдвига $0,01-536 \text{ с}^{-1}$ в магнитном поле $62,5-625 \text{ мТл}$. Измерения проведены при непрерывном увеличении и, затем, уменьшении скоростей сдвига. Установлено, что площадь петли гистерезиса для составов только с карбонильным железом меньше при большей концентрации магнитной дисперсной фазы в магнитном поле $300-625 \text{ мТл}$. Так, при 250 мТл у МРЖ с 20 об.% площадь гистерезиса равна $1,22 \cdot 10^5 \text{ Па/с}$, а при 625 мТл равна $1,87 \cdot 10^5 \text{ Па/с}$. У МРЖ с

40 об.% при $B = 250$ мТл площадь гистерезиса равна $1,37 \cdot 10^5$ Па/с, а при 625 мТл – $1,46 \cdot 10^5$ Па/с. Добавление оксидных ферромагнитных частиц к карбонильному железу способствует значительному увеличению петли гистерезиса МРЖ. Показано, что использование таких частиц в составе магнито-реологических жидкостей позволяет дополнительно расширить диапазон напряжений сдвига.

Изучены переходные релаксационные процессы в исследуемых МРЖ в режиме непрерывного сдвига при фиксированной скорости сдвига при включении магнитного поля. Диапазон скоростей сдвига составил от 0,01 до 32 с^{-1} , величина магнитного поля 62,5–625 мТл. Характерные зависимости времени достижения устойчивого состояния МРЖ представлены на рис. 1.

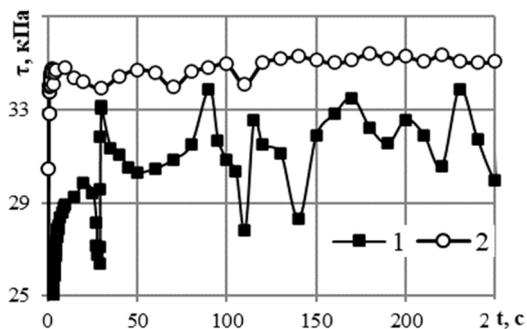


Рисунок 1 – Время достижения устойчивого состояния МРЖ при скоростях сдвига $0,1 \text{ с}^{-1}$ (1) и $32,0 \text{ с}^{-1}$ (2) при воздействии магнитного поля 625 мТл

Установлено, что время достижения равновесного значения напряжения сдвига уменьшается с ростом скорости сдвига. Оно существенно меньше, чем у МРЖ только с оксидным ферромагнитным наполнителем. Ускорение процесса обусловлено большей намагниченностью частиц наполнителя и, соответственно, большей силой их взаимодействия. Для МРЖ с большими концентрациями карбонильного железа при скорости сдвига до 1 с^{-1} релаксация напряжения сдвига происходит за меньшее время при меньших индукциях магнитного поля, а при больших скоростях сдвига напряжение сдвига устанавливается быстрее при больших значениях поля. Таким образом, увеличение скорости сдвига приводит к повышению темпа структурной релаксации в МРЖ в магнитном поле. Уменьшение concentra-

ции частиц карбонильного железа приводит к повышению времени достижения стабильного значения напряжения сопротивления сдвиговому воздействию. Однако при индукции поля 375 мТл и выше и скоростях сдвига 8 с^{-1} и более время достижения стабильного значения напряжения сдвига при меньшей концентрации частиц дисперсной фазы становится меньше, чем при большей концентрации. Для МРЖ, содержащей 30 об.% карбонильного железа и 10 об.% оксидного ферромагнитного наполнителя, характерно более медленное установление динамического равновесия по сравнению с МРЖ только с карбонильным железом. Это обусловлено наличием анизодиаметричных частиц оксидного ферромагнитного наполнителя, создающих дополнительные механические помехи структурообразованию в магнитном поле.

Таким образом, время релаксации МРЖ при включении магнитного поля зависит от состава жидкости и соотношения между гидро-динамическими силами течения жидкости и магнитными силами взаимодействия между частицами дисперсной фазы. Полученные результаты являются основой для разработки методов комплексного исследования влияния процессов сдвиговой и структурной поляризации с учетом влияния релаксации для создания обобщенных алгоритмов управления материалами и устройствами в энергетике, прецизионном приборостроении, транспортном машиностроении, авиастроении и строительстве.

Литература

1. Ahamed, R. A State of Art on Magnetorheological Materials and their Potential Applications / R. Ahamed, S.-B. Choi, M. M. Ferdous // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2018. – Vol. 29, № 10. – P. 2051–2095.
2. A Test of Giant Electrorheological Valve in DC and Square Wave AC Fields with Different Frequencies / L. Xu [et al.] // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2018. – Vol. 29, № 2. – P. 250–254.
3. Aizawa, R. Hysteresis Phenomenon in Flow-Curves of ER Fluids Containing Sulfonated Polymer Particles / R. Aizawa, S. L. Vieira, M. Nakano // *International Journal of Modern Physics B*. – 2001. – Vol. 15, № 6–7. – P. 1070–1077.
4. Gorodkin, S. Irreversible Effects in Magnetorheological Fluids / S. Gorodkin, R. James, W. Kordonski // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2011. – Vol. 22, № 15. – P. 1749–1754.