УДК 663.915

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТООЖИЖЕННОМ СЛОЕ ФЕРРОТЕЛ

Беззубцева М.М., Обухов К.Н.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, e-mail: mysnegana@mail.ru

В статье изложены результаты исследований физико-механических процессов в магнитоожиженном слое рабочего объема электромагнитных механоактиваторов. Проведенные исследования позволяют решить задачу по определению нормальной и тангенциальной сил взаимодействия между размольными сферическими ферромагнитными элементами в постоянном магнитном поле и проанализировать в зоне силовых контактов характер преобладающих деформаций. Результаты исследований имеют практическое значение для вычисления критериев прогнозирования эффектов намола при проектировании типовых рядов электромагнитных механоактиваторов для тонкого и сверхтонкого диспергирования высокопрочных продуктов.

Ключевые слова: механоактивация, процесс диспергирования, магнитоожиженный слой

FOR INVESTIGATING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROCESSES IN MAGNETIC LIQUEFIED LAYER FERROCHEL

Bezzubceva M.M., Obuhov K.N.

St.-Peterburg agrarian university, St.-Peterburg, e-mail: mysnegana@mail.ru

In article results of research of physical-mechanical processes in magnetic liquefied layer of the working volume of the electromagnetic mechanoactivation. The conducted researches allow to solve the problem of determining the normal and tangential interaction forces between the grinding spherical ferromagnetic elements in a constant magnetic field and analyzed in the area of power contacts of the prevailing strains. The research results have practical value for the evaluation criteria for predicting the effects of size reduction when designing a typical series of electromagnetic mechanoactivation for fine and ultrafine dispersion high strength of the products.

Keywords: mechanoactivation, dispergating process, magnitoozhizhenny layer

Теория взаимодействия сферических ферромагнитных тел в магнитоожиженном слое является недостаточно разработанной. Между тем исследования последних лет [1, 2, 3, 4] показывают, что в магнитоожиженном слое ферротел можно создавать значительное по величине регулируемое силовое поле и осуществлять энергоэкономичные технологические процессы различного целевого назначения (электромагнитная механоактивация, перемешивание и т.д.) [5, 6, 7]. В процессе механоактивации при высоких скоростных и электромагнитных режимах работы может возникать эффект износа (намола) ферромагнитных элементов [8, 9]. В настоящее время на основании развития теории трения разработаны критерии прогнозирования эффекта намола [10, 11]. Правомерность их использования в проектном расчете промышленных типовых рядов электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) требует проведения дополнительных исследований физико-механических процессов в контактной системе ферромагнитных элементов, происходящих под действием постоянного по знаку и регулируемого по величине электромагнитного поля.

Целью исследования является установление зависимости нормальных и тангенциальных сил взаимодействия между ферромагнитными элементами в структурных группах от величины индукции в зазоре между полюсами электромагнита.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются физико-механические процессы в рабочих объемах ЭММА при формировании диспергирующих нагрузок. Использованы экспериментально – статистические методы исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

По существующей в настоящее время трактовке физических процессов, происходящих в рабочем объеме (или зазоре) аппаратов с магнитоожиженным слоем, в основу механизма передачи момента вращения слою ферротел положены электромагнитные силы [15]. Нами сформулирована новая точка зрения на механизм формирования силового (или сцепляющего) усилия между ферромагнитными элементами в аппаратах с магнитоожиженным слоем [12]. Полагаем, что передача момента осуществляется за счет сил трения, развиваемых в слое скольжения (или в зоне разрушения) структурных построений между ферротелами. Такая трактовка процессов в рабочем объеме исследуемых аппаратов согласуется с полученными экспериментальными данными,

выполненными на макетах, моделирующих рабочий объем исследуемых аппаратов.

Эксперименты выполнялись на стенде «Электромагнит ФЛ-1», создающим регулируемое по величине и постоянное по знаку электромагнитное поле между полюсными наконечниками электромагнита (рис. 1). В процессе исследований на макетах, моделирующий рабочий объем (зазор), было установлено существование различных структурных построений из сферических ферротел. На рис. 2 представлены 6 таких структурных групп. Исследовали единичные структурные построения из стальных шариков различного диаметра $\boldsymbol{d} = 4$, 5, 6, 7 мм и определяли силы взаимодействия в контактной системе между двумя сферическими элементами. В проведенных экспериментах «угол разрыва связок» θ_0 является в действительности углом деформации структурных построений из ферротел [12]. Экспериментально установлено, что угол θ_0 достигает величины 16–20° при индукции в рабочем зазоре (объеме) B = 0,3–0,4 Тл.

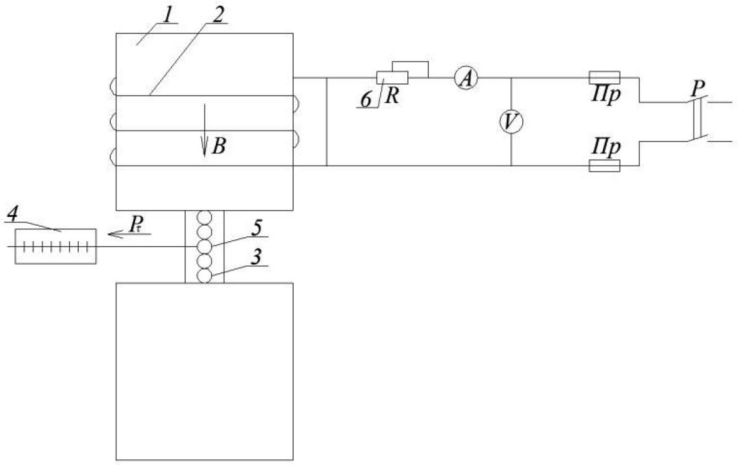

Рис. 1. Схема экспериментальной установки «Электромагнит ФЛ-1»:
1 – сердечник с подвижными полюсами; 2 – обмотка управления; 3 – пластина со структурными построениями из ферромагнитных сферических элементов; 4 – динамометр; 5 – контрольный ферромагнитный сферический элемент с припаянной тягой; 6 – регулировочный реостат; A и V – амперметр и вольтметр в цепи обмотки управления

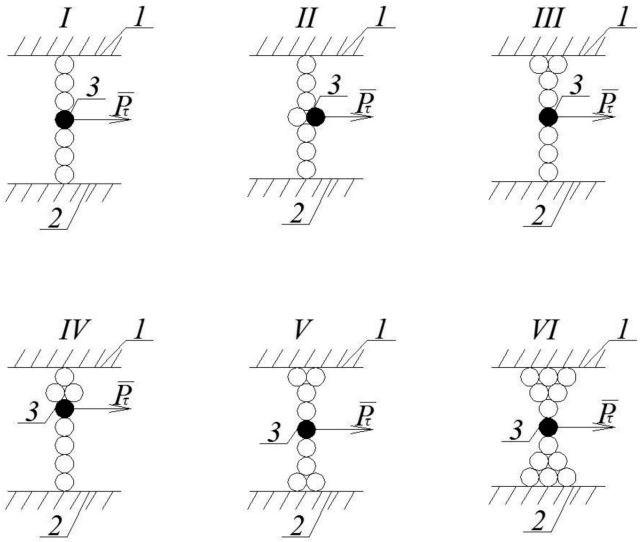

Рис. 2. Структурные построения (I–VI) из ферромагнитных элементов в постоянном электромагнитном поле: 1, 2 – поверхности, ограничивающие рабочий объем; 3 – контрольный ферромагнитный шар; 4 – тяга, прикрепленная при помощи серебряной пайки к контрольному шару; P_τ – тангенциальная составляющая сил взаимодействия между сферическими ферротелами

Анализ результатов исследования позволил решить задачу по определению нормальной силы взаимодействия P_N между сферическими ферротелами в постоянном электромагнитном поле. Измеряя величину $P_\tau^{'}$ (усилие), развиваемое взаимодействием одной пары сферических ферротел при радиальном магнитном поле (в пространстве между двумя коаксиальными цилиндрами), можно, зная величину коэффициента трения f пары 2-х сферических ферротел, определить силы P_N при различных значениях индукции в магнитном поле, в котором осуществляется их механическое взаимодействие:

$$P_N = f \cdot P_\tau^{'},$$

где f – коэффициент трения одной пары ферротел.

Данные экспериментальных исследований в виде графических зависимостей усилия взаимодействия одной пары ферротел в структурной группе от величины индукции в моделируемом рабочем объеме $P_\tau^{'} = \phi(B)$ представлены на рис. 3, 4, 5 и 6.

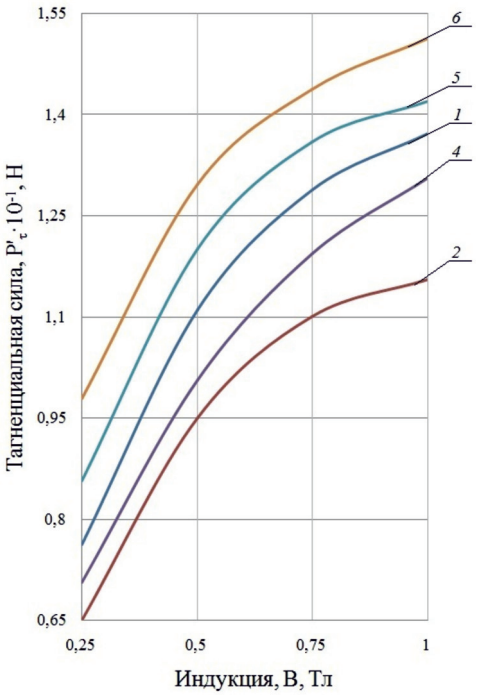

Рис. 4. Зависимость тангенциальной силы взаимодействия между ферромагнитными шарами диаметром d = 6 мм в структурной группе от индукции в зазоре между полюсами магнита

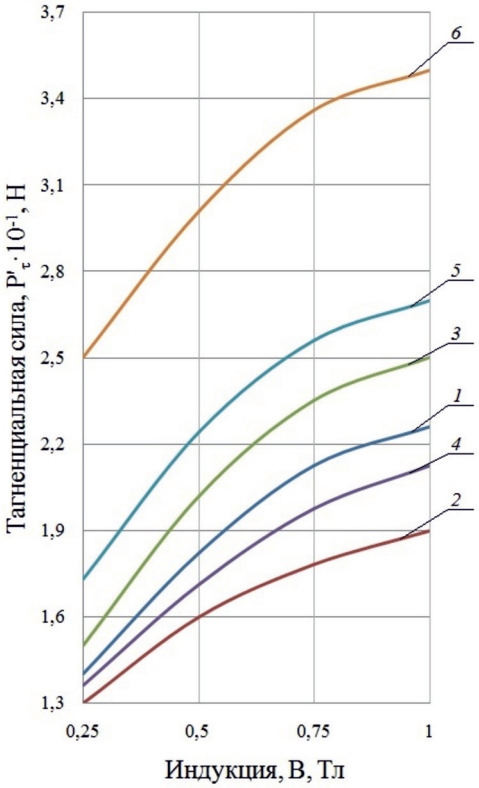

Рис. 3. Зависимость тангенциальной силы взаимодействия между ферромагнитными шарами диаметром d = 7 мм в структурной группе от индукции в зазоре между полюсами электромагнита

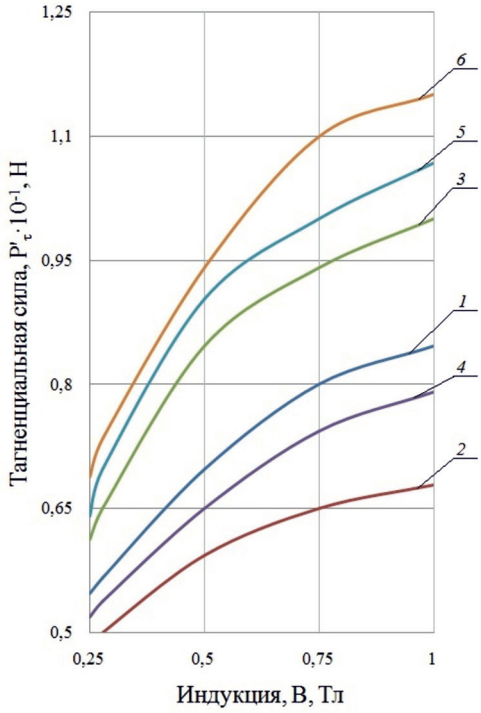

Рис. 5. Зависимость тангенциальной силы взаимодействия между ферромагнитными шарами диаметром d = 5 мм в структурной группе от индукции в зазоре между полюсами электромагнита

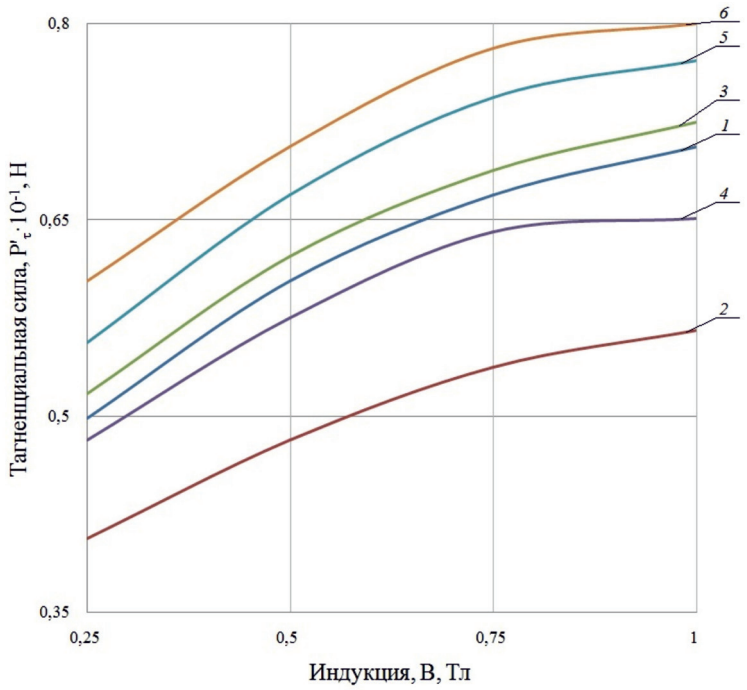

Рис. 6. Зависимость тангенциальной силы взаимодействия между ферромагнитными шарами диаметром d = 4 мм в структурной группе от индукции в зазоре между полюсами электромагнитамагнита

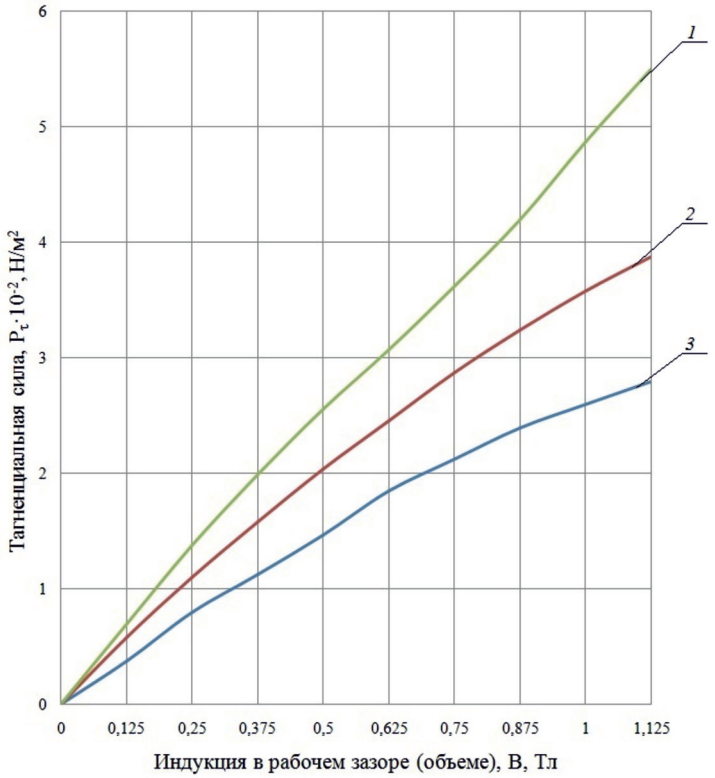

Рис. 7. Зависимость тангенциальной составляющей сил взаимодействия между ферромагнитными элементами от индукции в рабочем зазоре (объеме) B при высоте рабочего зазора (объема) M: 1 – M = 0,25 мм; 2 – M = 0,5 мм; 3 – M = 1,5 мм

В слое ферромагнитных тел рабочего объёма при наличии магнитного поля и смещении одной из поверхностей имеет место 4 возможных вида нарушения фрикционной связи: пластическое оттеснение ферротел, упругое деформирование материала ферротел, разрушения плёнок, покрывающих поверхности твёрдых тел, разрушение основного материала ферротел. Учитывая неоднородность и дискретность фрикционных контактов, тангенциальная составляющая силы взаимодействия между ферротелами в слое разрыва структур (между плоскостями) $P\tau$ равна сумме элементарных сил трения $\Delta\tau$, возникающих на отдельных площадках касания. Зависимость тангенциальной составляющей сил взаимодействия между ферромагнитными элементами от индукции в рабочем зазоре (объеме) исследована на модели рабочего зазора (объема) ЭММА для статических испытаний. Тангенциальная составляющая силы взаимодействия в слое ферротел определена при оптимальном значении коэффициента объемного заполнения ферромагнитной составляющей рабочего объема $K_v = 0{,}4$ [13]. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 7.

Анализ экспериментальных данных позволил сформулировать общий подход к качественной и (с известными допущениями) к количественной оценке сил взаимодействия между ферротелами, развивающихся под действием сил магнитного поля и механических сил от двигателя, приводящего во вращение подвижную часть устройства, моделирующего электромагнитный механоактиватор [12].

Заключение

Полученные результаты позволяют установить значение нормальной и тангенциальной сил взаимодействия между сферическими ферротелами в постоянном электромагнитном магнитном поле и проанализировать характер в преобладающих деформаций. Результаты исследований имеют практическое значение для вычисления критериев прогнозирования эффектов намола при проектировании типовых рядов ЭММА [14].

Список литературы

1. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Энергетическая теория способа формирования диспергирующих нагрузок в электромагнитных механоактиваторах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–6. – С. 1157–1161.

2. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Загаевски Н.Н. Формирование диспергирующих нагрузок в магнитоожиженном слое электромагнитных механоактиваторов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 10. – С. 78–80.

3. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Волков В.С. Теоретические исследования деформированного магнитного поля в рабочем объеме электромагнитных механоактиваторов с магнитоожиженным слоем размольных элементов цилиндрической формы // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6–4. – С. 689–693.

4. Беззубцева М.М., Волков В.С., Котов А.В., Обухов К.Н. Определение сил и моментов, действующих на систему ферромагнитных размольных элементов цилиндрической формы в магнитоожиженном слое рабочего объема электромагнитных механоактиваторов // Фундаментальные исследования. – № 11 – 3, 2014. – С. 504–508.

5. Беззубцева М.М. Исследование процесса измельчения какао бобов в электромагнитных механоактиваторах // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 171.

6. Беззубцева М.М., Обухов К.Н. К вопросу исследования процесса электромагнитной механоактивации пищевого сельскохозяйственного сырья // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–2. – С. 232–234.

7. Беззубцева М.М., Ружьев В.А., Дзюба А.М. Исследование процесса перемешивания сыпучих материалов в электромагнитных мешалках // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 11 (часть 3). – С. 116–117.

8. Беззубцева М.М., Назаров И.Н. Исследование электромагнитного способа оценки степени загрязненности технологических сред примесями // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 17. С. 240-246.

9. Беззубцева М.М., Волков В.С., Губарев В.Н. Способ диагностики загрязненности технологических сред ферропримесями // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 1. – С. 60–61.

10. Беззубцева М.М. К вопросу исследования эффекта намола в аппаратах с магнитоожиженным слоем ферротел // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 8. – С. 96.

11. Беззубцева М.М., Зубков В.В. Прогнозирование эффекта намола измельчающего оборудования // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 6. – С. 145–146.

12. Беззубцева М.М., Волков В.С., Обухов К.Н., Котов А.В. Прикладная теория электромагнитной механоактивации (монография) // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 2–1. – С. 101–102.

13. Беззубцева М.М., Волков В.С Оптимизация коэффициента объемного заполнения электромагнитных механоактиваторов (ЭММА) //Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 3. – С. 70–71.

14. Беззубцева М.М., Волков В.С Рекомендации по проектированию электромагнитных механоактиваторов // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 5–2. – С. 128–129.

15. Пуговкин П.Р., Беззубцева М.М. Модель образования сцепляющего усилия в ЭПМ // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 1987. – № 10. – С. 91.