

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОРЦИЮ ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ СОЛЕНОИДА ПРИ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ

Корощенко А.В., Эсауленко В.А., Черников В.Ю.

Донецкий государственный технический университет, кафедра ТОЭ

Abstract

Koroshchenko A.V., Esaulenko V.A., Chernikov V.Y. To ask on calculation of power, influence upon part of ferromagnetic material in magnetic area of solenoid under nonlinear statement of the problem. This article is kept a comparison of results of the calculation of magnetic forces of missile solenoid power under single-line, nonlinear statements of the problem and at the calculation on the simplify strategy. Made findings on possibilities of using these strategies at the analysis of movement of moving portion of moulding material.

Для решения ряда технологических и транспортных задач в металлургии, машиностроении, производстве электротехнических материалов и энергетике разработано несколько перспективных электромагнитных устройств, которые имеют преимущества по сравнению с аналогами и характерны тем, что в них электромагнитные поля индукторов соленоидного типа непосредственно воздействуют на сыпучий ферромагнитный материал без использования промежуточных звеньев [1].

Индукторы соленоидного типа применяются в электромагнитных импульсных формовочных устройствах в литейном производстве [2,3], в устройствах для ввода ферромагнитных дисперсных материалов в струю жидкого металла при непрерывной разливке [4], в электромагнитных дробеметных устройствах для обработки поверхности изделий ферромагнитным абразивом [5], в электромагнитных подъемниках сыпучего ферромагнитного теплоносителя [6], в электромагнитных устройствах прессования бариевых ферритов [7] и др.

При разработке этих устройств и оптимизации их технических

характеристик актуальною задачею є пошук інженерних методів розрахунку магнітних і силових полів індукторів.

Відомі спрощені методики розрахунку магнітних сил, що діють на порцію ферромагнітного матеріалу при її різних положеннях всередині робочого каналу соленоїда [8,9]. Похибка розрахунків досягає 20-30% в залежності від положення порції.

Розрахунок магнітних сил на базі чисельного методу розрахунку двохвимірного магнітного поля металевого соленоїда при лінійній постановці задачі [10] дозволило знизити похибку до 18,8% при визначенні максимального значення магнітної сили і до 4,6% при визначенні площі під кривою магнітної сили, яка пропорційна енергії, отриманою порцією при розгоні.

Однак при розрахунку металевих соленоїдів формувальних пристроїв, що використовують ферритовий формувальний матеріал, відносна магнітна проникність якого значно залежить від напруженості магнітного поля (відношення максимальної відносної магнітної проникності до мінімальної досягає 8), слід враховувати нелінійність магнітних властивостей розганяемого матеріалу, тобто розв'язувати задачу розрахунку поля соленоїдів в нелінійній постановці. Розрахунок магнітного поля виконувався методом кінцевих різниць з використанням скалярного магнітного потенціалу. По результатах розрахунку магнітного поля розраховувалися магнітні сили.

Внаслідок допущення про абсолютну твердість розганяемого тіла розглядалися тількиponderomotorні сили і не враховувалися стрікційні сили, що викликають деформацію порції формувального матеріалу.

В основу розрахунку магнітних сил, що діють в неоднорідному полі індуктора на ферромагнітну порцію, покладено співвідношення, що визначає величину магнітної сили, що діє на одиничну площадку межі розділу двох середовищ з різними магнітними проникностями [11].

Расчет магнитных сил базируется на расчете магнитного поля метательного соленоида, при котором определяются значения осевой и радиальной составляющих магнитной индукции, а также значения магнитной проницаемости материала ускоряемой порции.

Вследствие осевой симметрии расчетной модели индуктора с разгоняемой порцией цилиндрической формы радиальная компонента результирующей силы равна нулю. Таким образом, результирующая сила равна алгебраической сумме сил, действующих на верхнюю и нижнюю грани порции.

Программы расчета магнитного поля и магнитных сил составлены на языке программирования PL-1 и приведены в [12].

Измерения величины магнитной силы осуществлялись с помощью динамометра, который с целью устранения систематической составляющей погрешности был оттарирован разновесами аналитических весов. Для уменьшения и оценки случайных погрешностей значение магнитной силы в каждой точке измерялось не менее трех раз и подвергалось статистической обработке.

Сравнение результатов расчета магнитных сил при нелинейной и линейной постановке задачи с экспериментальными данными производилось для соленоидов относительной длины 3,0 и 2,0 (отношение длины соленоида к его среднему радиусу) при токе питания $I=100$ А.

Оказалось, что для соленоидов с относительной длиной 3,0 и 2,0 расхождение расчетных и экспериментальных величин в определении максимального значения магнитной силы составляет, соответственно, при нелинейной постановке задачи - 6,6% и 2,8%, а при линейной постановке - 18,6% и 8,9%. Таким образом, нелинейная постановка задачи снижает погрешность в определении максимума магнитной силы по сравнению с линейной в 2,8 - 3,2 раза.

Расхождение в определении площади под кривой магнитной силы, которая пропорциональна энергии, приобретаемой порцией при разгоне, составляет: при нелинейной постановке задачи - 8,5% и 13,0%, а при линейной -

4,6% и 4,1%.

Значительно меньшая погрешность при определении максимума силы является более важной характеристикой метода расчета, чем некоторая погрешность при определении площади под кривой магнитной силы, так как при разгоне ток метательного соленоида достигает своих максимальных значений в момент прохождения порцией максимума магнитной силы.

В связи с этим, наиболее точным для использования при анализе динамики движения порции является метод расчет с нелинейной постановкой задачи, однако при инженерных расчетах приемлемым является и метод с линейной постановкой задачи.

На первых этапах проектирования устройства может использоваться упрощенная методика расчета магнитных сил для области, расположенной внутри метательного соленоида.

Выводы

1. Разработанная программа расчета магнитных сил метательного соленоида при нелинейной постановке задачи учитывает влияние на создаваемое метательным соленоидом магнитное поле ферромагнитных элементов конструкции и разгоняемой порции формовочного материала, имеющего нелинейные магнитные свойства.

2. По сравнению с методом расчета с линейной постановкой задачи нелинейная постановка снижает погрешность в определении максимума магнитной силы в 2,8-3,2 раза, что является важной характеристикой расчетного метода.

3. Метод расчета магнитных сил метательных соленоидов с линейной постановкой задачи дает приемлемые результаты и может использоваться при анализе динамики движения порции формовочного материала как более простой и требующий меньшего времени работы ЭВМ.

Литература

1. Эсауленко В.А. Разработка технологических и транспортных устройств с непосредственным воздействием электромагнитных полей на сыпучие ферромагнитные материалы. Доклады региональной научной конференции "Творческое наследие В.И.Вернадского и современность". Секция 4. Донецк: ДонГТУ, 1995, с. 49-50.

2. Эсауленко В.А., Черников В.Ю. Разработка электромагнитного импульсного формовочного устройства для намагничивания, разгона и уплотнения формовочного материала. Электромеханика и электроэнергетика. Сборник научных трудов энергетического факультета. Донецк: ДонГТУ, 1996, с. 167-172.

3. Эсауленко В.А., Черников В.Ю., Корощенко А.В. Разработка электромагнитного устройства для намагничивания, разгона и уплотнения формовочного материала. Тезисы докладов научно-технической конференции по завершённым научно-исследовательским работам. Донецк, 1991.

4. Закута М.Б. и др. Устройство для ввода ферромагнитных материалов в жидкий металл. Авт. свид. №533445, БИ №40, 1976.

5. Гриднев Ю.Г. и др. Применение электромагнитных полей в дробеметных устройствах. "Литейной производство", №10, 1980, с. 24-25.

6. Мерзлякин Э.С. Разработка электромагнитного подъемника сыпучего ферромагнитного материала в системе утилизации тепла газотурбинных установок. Доклады региональной научной конференции "Творческое наследие В.И.Вернадского и современность". Секция 4. Донецк: ДонГТУ, 1995, с. 53-54.

7. Эсауленко В.А., Никорюк Н.С., Корощенко А.В. Разработка электромагнитного устройства прессования бариевых ферритов с целью увеличения магнитной энергии образцов. Сборник тезисов докладов научно-технической конференции по завершённым НИР. ч.П. ДПИ, Донецк, 1991, с. 69.

8. Штокман И.Г. Основы создания транспортных установок. "Недра", М.,

1972, 192с.

9. Штокман И.Г., Эсауленко В.А., Онопчук Б.Н. Анализ пространственного распределения магнитных сил в соленоидном конвейере для транспортирования насыпных ферромагнитных грузов. Труды №20 ДонНИИчермета. Донецк, 1970, с.93 - 105.
10. Черников В.Ю. Исследование электромагнитного устройства разгона частиц ферромагнитного материала: Дис. канд.техн.наук. -Ленинград, 1987. - 163с.
- П. Основы теории электрических аппаратов: Учебник для вузов /И.С.Таев, Б.К.Буль, А.Г.Годжелло и др.; Под ред. И.С.Таева. - М.: Высшая школа, 1987. - 352с.: ил.
12. Короценко А.В. Разработка и исследование электромагнитных устройств для намагничивания и разгона магнитотвердого формовочного материала: Дис. канд.техн.наук. - Харьков, 1990. - 176с.