

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО ФОРМОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА С МАГНИТНОТВЕРДЫМ ФОРМОВОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ

Эсауленко В.А., Черников В.Ю., Корощенко А.В.
Донецкий государственный технический университет

In this paper the electromagnetic moulding device, which includes two throwing solenoids and node for the load, is described. A series of experiments were conducted. Principal results of experiments are given. The conclusions are made. The worked out device is used in non-ferrous metallurgy during making single-used mould with the hard-magnetic moulding materials.

Электромагнитные импульсные формовочные устройства позволяют реализовать принципиально новую перспективную технологию магнитной формовки в литейном производстве с использованием специального ферромагнитного формовочного материала [1,2,3,4].

В литейном производстве наряду с традиционными формовочными материалами (песчано-глинистые смеси) получили распространение специальные ферромагнитные формовочные материалы [1,5], которые по ряду параметров превосходят традиционные. В качестве ферромагнитных формовочных материалов используются магнитномягкие и магнитотвердые порошкообразные вещества. Применение этих материалов позволяет значительно улучшить санитарно-гигиенические условия работы в литейных цехах, автоматизировать основные операции литейного производства, повысить производительность труда и улучшить качество поверхности получаемых изделий.

При получении отливок в разовых литейных формах с использованием традиционных песчано-глинистых смесей ранее эпизодически применялись электромагнитные устройства для уплотнения материала и придания ему требуемых физических характеристик. Однако с появлением ферромагнитных формовочных материалов применение электромагнитных устройств становится обязательным и для них, как правило, нет альтернативных технических решений. Электромагнитные поля в этих устройствах выполняют различные функции, главными из которых являются: намагничивание, разгон, уплотнение, обеспечение связности зерен материала и зависящей от нее прочности стенок формы и т.д.

В случае использования магнитномягких формовочных материалов удается получать отливки с хорошей чистотой поверхности, улучшаются санитарно-гигиенические условия работы в литейном цехе, однако возникают и определенные сложности. Опока, заполненная магнитномягким формовочным материалом, при выполнении операций протяжки модели, сборки, заливки и охлаждения форм, находится под воздействием постоянного магнитного поля электромагнита больших габаритов и мощности [5,6]. В рассмотренных устройствах сечение магнитопровода электромагнита равно боковой поверхности опоки, а зазор между полюсами электромагнита равен ширине опоки. В связи с этим максимальные размеры формы составляют порядка 400x400 мм. Основным же затруднением при магнитной формовке по разъемным извлекаемым моделям является разрушение их отпечатков при сборке полуформ из-за взаимодействия магнитных полей катушек электромагнита. Недостатки вышеуказанных устройств препятствуют их использованию для получения крупногабаритных отливок сложной геометрии с высокими требованиями к точности размеров и чистоте поверхности.

Применение магнитотвердых формовочных материалов позволяет устранить недостатки магнитной формовки с магнитномягкими материалами. Опоки с магнитотвердым материалом могут быть практически любых размеров, они не требуют наличия непрерывно включенных катушек с постоянным магнитным полем и поэтому энергетически и конструктивно более выгодны. Устраняется также недостаток, связанный с разрушением отпечатков при сборке полуформ.

Целью предпринятых исследований является разработка конструкции метательной головки электромагнитного импульсного формовочного устройства с магнитотвердым формовочным материалом и схемы ее электропитания, изучение основных характеристик магнитного поля и магнитных сил отдельных элементов метательной головки, а также оценка плотности набивки формовочного материала и отработка рабочих режимов устройства.

В Донецком государственном техническом университете разработано электромагнитное импульсное формовочное устройство с двумя метательными соленоидами типа ЭФУ-2 производительностью 4,0 т/час с плотностью набивки формовочного материала около 60 единиц, два образца которого внедрены в условиях ПО "Ижевский мотозавод". Первый образец такого устройства с одним метательным соленоидом имел производительность 0,7 т/час при той же плотности набивки [7].

В конструктивном отношении метательная головка электромагнитного импульсного устройства представляет собой совокупность соленоидов, питаемых импульсами токов определенной величины и определенной последовательности. Внутри каждого соленоида возникает неоднородное магнитное поле, которое увлекает ферромагнитный формовочный материал в область максимальных значений индукции

магнитного поля. В данном устройстве одновременно реализуется несколько технологических операций: намагничивание формовочного материала, формирование и перемещение порций с последующим их разгоном и уплотнением в опоке с моделью [3].

Электромагнитное импульсное формовочное устройство содержит загрузочный бункер 1, ферромагнитный неэлектропроводный трубопровод 2, вдоль которого последовательно расположены электромагнитный дозатор 3, электромагнитный фиксатор начального положения порции материала 4 и ускоряющие соленоиды 5 и 6 (рис. 1,а). Указанные элементы образуют метательную головку устройства с вертикальной трассой для разгона порций материала 7, направляемых в опоку 8 с моделью 9. Соленоиды дозатора 3, фиксатора 4 и ускоряющие соленоиды 5 и 6 подключены к схеме электропитания 10, которая формирует импульсы токов соленоидов метательной головки, представленных на рис. 1,б.

Устройство магнитными полями соленоидов 3 и 4 формирует и перемещает из бункера вдоль трубопровода порции формовочного материала и полями соленоидов 5 и 6 одновременно намагничивает материал до характеристик предельной петли гистерезиса и разгоняет его до требуемой скорости.

В момент времени t_1 включается электромагнитный дозатор 3 и под воздействием неоднородного магнитного поля дозатора из бункера втягивается материал в центр соленоида дозатора, формируя порцию. В момент t_2 отключается дозатор и включается фиксатор 4, в результате чего порция перемещается в центр фиксатора. В момент t_3 отключается фиксатор и включается первый ускоряющий соленоид 5, который своим мощным полем намагничивает и разгоняет порцию материала до момента t_4 , когда материал оказывается вблизи центра этого соленоида. В этот момент отключается первый 5 и включается второй 6 ускоряющий соленоид, и порция получает дополнительное приращение скорости, вылетая из трубопровода и направляясь в опоку с моделью, где осуществляет набивку формовочного материала.

В момент времени t_3 формируется новая порция материала и процесс ее перемещения, намагничивания и разгона повторяется с периодом T (рис. 1,б).

Для соленоидов загрузочного узла метательной головки разработана схема электропитания от источника постоянного тока через силовой тиристор с его принудительной коммутацией класса D. Схема содержит 6 диодов трехфазного выпрямителя, силовой тиристор, автотрансформатор, коммутирующий конденсатор, диод цепи заряда и диод предотвращения перенапряжений на соленоиде. При такой схеме электропитания в соленоиде возникает ток, нарастающий и спадающий по экспоненциальному закону с относительно большими значениями постоянной времени цепи.

Для метательных соленоидов разработана схема электропитания от батареи импульсных конденсаторов с рекуперацией энергии магнитного поля соленоидов. Эта схема содержит 6 диодов трехфазного выпрямителя, батарею импульсных конденсаторов, токоограничительный дроссель в цепи источника, два силовых тиристора включения соленоида, два диода рекуперации энергии магнитного поля, тиристор отключения соленоида, коммутирующий конденсатор, диод и дроссель цепи коммутации. В этой схеме формирование импульса тока в соленоиде происходит при малом активном сопротивлении цепи "батарея конденсаторов - соленоид", небольшой является и постоянная времени цепи (колебательный процесс), что позволяет формировать мощные короткие импульсы с большой скоростью нарастания и спада тока.

Для управления тиристорами силовой части схемы электропитания разработан блок управления на логических элементах, который позволяет устанавливать желаемые моменты включения и отключения соленоидов метательной головки.

Схема управления силовыми и коммутирующими тиристорами содержит блок питания, генератор импульсов, генератор ручной подачи одиночных импульсов, кольцевой счетчик импульсов, наборное поле программы переключения соленоидов метательной головки, блок формирования управляющих импульсов и блок световой индикации прохождения управляющих импульсов.

Схема управления работает следующим образом. Генератор импульсов подает импульсы регулируемой частоты на вход кольцевого счетчика импульсов, включающего в себя счетчик двоично-десятичного кода и дешифратор. Через n импульсов схема счетчика принимает исходное состояние. На коммутационном поле набора программы переключения соленоидов выведены гнезда разряда единиц и разряда десятков счетчика импульсов. Подключая на вход соответствующих усилителей требуемый импульс в диапазоне от 1 до n , можно выбрать нужный момент включения соответствующего силового тиристора. Прохождение импульса в цепи управляющих электродов тиристора фиксируется "загоранием" светодиода блока индикации.

Таким образом, схема управления силовыми тиристорами позволяет формировать токи соленоидов метательной головки с периодом $T = nT_n$, где T_n - период генератора импульсов, n - количество импульсов, переводящих кольцевой счетчик в исходное состояние. Длительность импульса тока соленоида может быть выбрана в диапазоне от T_n до mT_n с шагом T_n ($m < n$).

Генератор ручной подачи одиночных импульсов вырабатывает импульсы с помощью кнопки и используется в режиме настройки блоков схемы электропитания и управления.

Заводские испытания схемы электропитания электромагнитного импульсного формовочного устройства показали надежную работу всех элементов силовой части схемы и блока ее управления. Длительность импульсов токов метательных соленоидов регулировалась в диапазоне от 10 до 60 мс, максимальный ток достигал 200А, период импульсов составлял величину около 1 с.

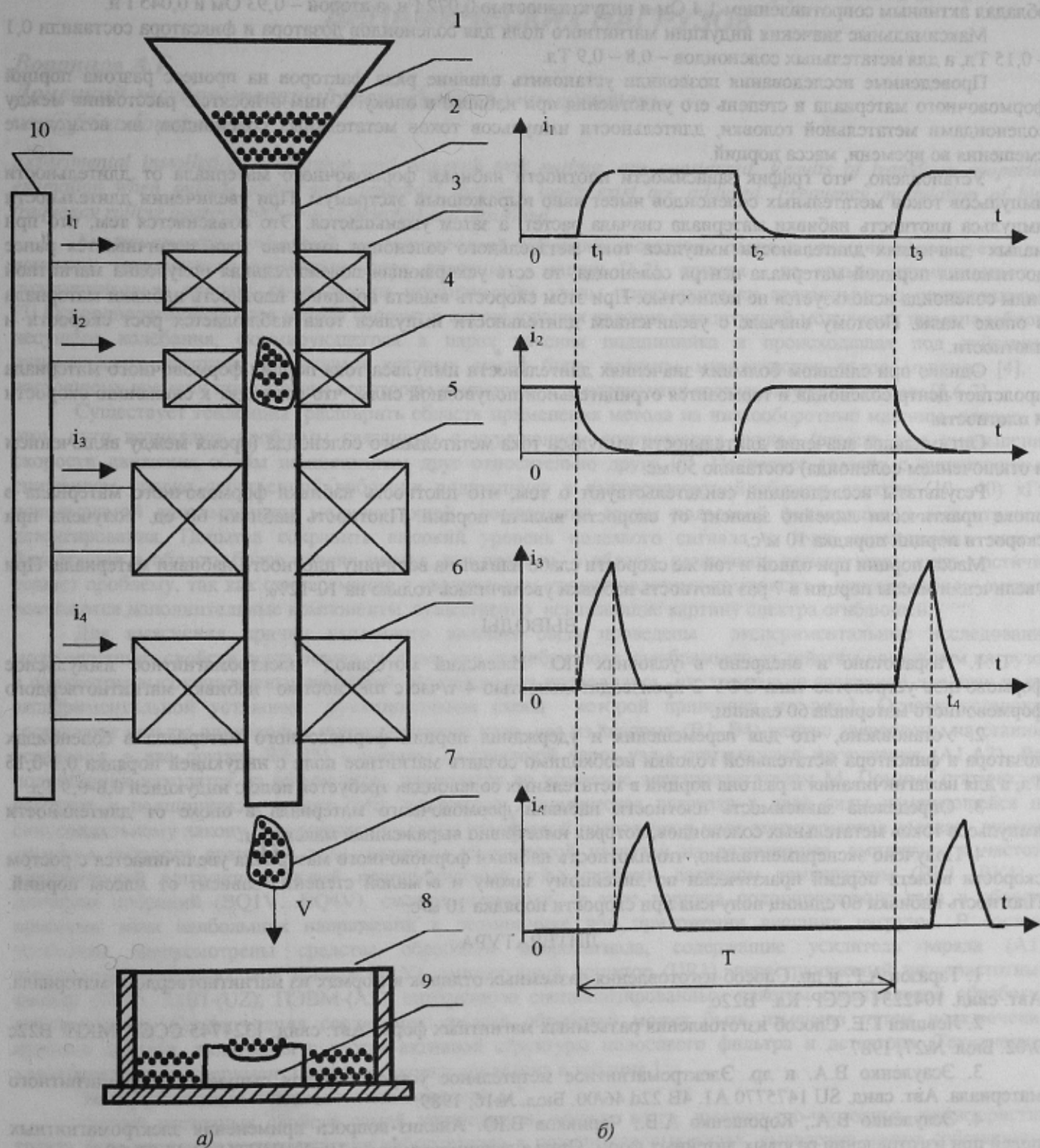


Рисунок 1- Схематическое изображение электромагнитного импульсного формовочного устройства (а) и осциллограммы токов соленоидов метательной головки (б) :

1 – бункер, 2 – трубопровод, 3 – дозатор, 4 – фиксатор порции, 5 и 6 – первый и второй метательные соленоиды, 7 – порция формовочного материала, 8 – опока, 9 – модель, 10 – схема электропитания

Первый метательный соленоид представляет собой секцию, состоящую из трех одинаковых последовательно включенных соленоидов длиной 75 мм (внутренний диаметр – 105 мм, внешний – 225 мм), заключенных в магнитопровод, представляющий собой полый цилиндр с толщиной стенки 5 мм. Второй метательный соленоид собран из двух таких же соленоидов длиной 75 мм. Первый метательный соленоид обладал активным сопротивлением 1,4 Ом и индуктивностью 0,072 Гн, а второй – 0,93 Ом и 0,045 Гн.

Максимальные значения индукции магнитного поля для соленоидов дозатора и фиксатора составили 0,1 – 0,15 Тл, а для метательных соленоидов – 0,8 – 0,9 Тл.

Проведенные исследования позволили установить влияние ряда факторов на процесс разгона порций формовочного материала и степень его уплотнения при набивке в опоку. К ним относятся: расстояния между соленоидами метательной головки, длительности импульсов токов метательных соленоидов, их возможные смещения во времени, масса порций.

Установлено, что график зависимости плотности набивки формовочного материала от длительности импульсов токов метательных соленоидов имеет явно выраженный экстремум. При увеличении длительности импульса плотность набивки материала сначала растет, а затем уменьшается. Это объясняется тем, что при малых значениях длительности импульса тока метательного соленоида импульс тока заканчивается ранее достижения порцией материала центра соленоида, то есть ускоряющая положительная полуволна магнитной силы соленоида используется не полностью. При этом скорость вылета порции и плотность набивки материала в опоке малы. Поэтому вначале с увеличением длительности импульса тока наблюдается рост скорости и плотности.

Однако при слишком больших значениях длительности импульса тока порция формовочного материала пролетает центр соленоида и тормозится отрицательной полуволной силы, что приводит к снижению скорости и плотности.

Оптимальное значение длительности импульса тока метательного соленоида (время между включением и отключением соленоида) составило 50 мс.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что плотность набивки формовочного материала в опоке практически линейно зависит от скорости вылета порций. Плотность набивки 60 ед. получена при скорости порций порядка 10 м/с.

Масса порции при одной и той же скорости слабо влияет на величину плотности набивки материала. При увеличении массы порции в 7 раз плотность набивки увеличилась только на 10-12%.

ВЫВОДЫ

1. Разработано и внедрено в условиях ПО “Ижевский мотозавод” электромагнитное импульсное формовочное устройство типа ЭФУ-2 производительностью 4 т/час с плотностью набивки магнитнотвердого формовочного материала 60 единиц.

2. Установлено, что для перемещения и удержания порций формовочного материала в соленоидах дозатора и фиксатора метательной головки необходимо создать магнитное поле с индукцией порядка 0,1-0,15 Тл, а для намагничивания и разгона порций в метательных соленоидах требуется поле с индукцией 0,8-0,9 Тл.

3. Определена зависимость плотности набивки формовочного материала в опоке от длительности импульсов токов метательных соленоидов, которая имеет явно выраженный максимум.

4. Получено экспериментально, что плотность набивки формовочного материала увеличивается с ростом скорости вылета порций практически по линейному закону и в малой степени зависит от массы порций. Плотность набивки 60 единиц получена при скорости порядка 10 м/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таразов А.Р. и др. Способ изготовления разъемных отливок в формах из магнитнотвердого материала. Авт. свид. 1042231 СССР. Кл.³ В22с.

2. Левшин Г.Е. Способ изготовления разъемных магнитных форм. Авт. свид. 1324745 СССР. МКИ⁴ В22с 9/02. Бюл. №27, 1987.

3. Эсауленко В.А. и др. Электромагнитное метательное устройство для сыпучего ферромагнитного материала. Авт. свид. SU 1475770 A1. 4В 22d 46/00. Бюл. №16, 1989.

4. Эсауленко В.А., Корощенко А.В., Черников В.Ю. Анализ вопроса применения электромагнитных полей при изготовлении разовых литейных форм. Статья депонированная в УкрНИИТИ 04.11.87. 18с.

5. Левшин Г.Е. и др. Устройство для магнитной формовки. Литейное производство, 1975, №3. С.25-26.

6. Hofmann, Richard (ФРГ). Способ изготовления литейной формы с помощью намагничивающего материала. Пат. 1558123 ФРГ. М. Кл.³ В 22с 9/00. Изобретения за рубежом. №3, 1976.

7. Эсауленко В.А., Черников В.Ю. Разработка электромагнитного импульсного формовочного устройства для намагничивания, разгона и уплотнения формовочного материала. Электромеханика и электроэнергетика. Сборник трудов энергетического факультета ДонГТУ. Донецк-96. С. 167-172.