

Н. И. Горбачевский, А. Г. Сорокин, Н.В. Антонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ СИСТЕМЫ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТМАССЫ МЕТОДОМ ЛИТЬЯ

Ключевые слова: полимер, теплообмен, индуктор, шнек, электротепловая модель, численные методы.

С помощью метода конечных элементов реализованного программно смоделирована электротепловая модель системы индукционного нагрева для производства пластмассы методом литья и исследованы электромагнитные и тепловые поля. Приведены результаты расчета на численной модели. Математическая модель индукционного нагревателя ориентирована на решение задач проектирования индукционных систем для производства пластмассы методом литья.

Keywords: plastic, heat transfer, the inductor, the screw, Electricity and model, numerical methods.

Using the finite element method is implemented programmatically modeled Electricity and model induction heating system for the production of plastics molding and studied electromagnetic and thermal fields. The results based on the numerical model. A mathematical model of the induction heater is focused on solving design problems of induction systems for the production of injection molded plastic.

Повышение эффективности технологии производства изделий из пластмассы методом литья, посредством применения индукционного нагрева, позволяет удовлетворить все более возрастающие требования к качеству готовой продукции. Изготовление продукции из пластмассы в настоящее время осуществляется в литьевой машине для многих областей промышленности. Рассматриваемый объект представляет собой теплообменный аппарат, состоящий из полога цилиндра пластикации 3 и расположенного внутри него шнека 5 (рис. 1). Полимерный материал 4 нагревается за счет теплообмена со стенками цилиндра пластикации и шнеком, в которых индуцируются вихревые токи охватывающим их индуктором 2.

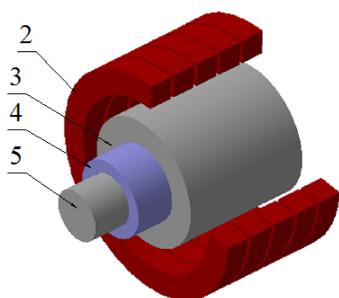


Рис. 1 - Теплообменный аппарат

Для успешного внедрения эффективных технологий, которые использует индукционный нагрев необходимо проводить предварительное исследование протекающих процессов методами физического и математического моделирования. Разработка математических моделей электромагнитных и тепловых процессов в сопряженных физически неоднородных средах, позволит обеспечить качественное функционирование всего технологического процесса. Что бы составить полную картину изменения характера распределения плотности тока и

мощности в цилиндре пластикации и шнеке в процессе нагрева и возможности аналитического описания функции распределения внутренних источников тепла требуется последовательное решение электромагнитной и тепловой задач. Разделение во времени процедур расчета электромагнитного поля и теплового поля объясняется разной инерционностью этих процессов. Поэтому электромагнитная задача может быть сформулирована как квазистационарная, а тепловая имеет в дифференциальном уравнении временную производную первого порядка. Все это позволяет создать полностью или частично независимые процедуры расчетов электромагнитных и тепловых полей. Модели, которые учитывают взаимное влияние электромагнитного и температурного полей в процессе нагрева называются электротепловыми (рис. 2). Такие модели дают исчерпывающую характеристику индукционного устройства с точки зрения потребления энергии от внешнего источника питания и выделения ее в загрузке.

Здесь q_1 – тепловой поток от стенки цилиндра пластикации в окружающую среду, q_2 – тепловой поток от стенки цилиндра пластикации в полимерный материал, q_3 – тепловой поток от шнека в полимерный материал, h_1 – радиус шнека, h_2 – толщина слоя полимерного материала, h_3 – толщина стенки цилиндра пластикации.

В общем случае процесс индукционного нагрева описывается нелинейными уравнениями Максвелла для электромагнитного поля с соответствующими краевыми условиями [1, 2]. Следующим этапом исследования является разработка математической модели тепловых процессов в сложной физически неоднородной среде. Характер распределения и удельная плотность мощности внутренних источников тепла определены в результате решения электромагнитной задачи. По причине того, что по длине индуктора не происходит значимых изменений электрических

параметров системы, необходимо рассматривать задачу в двумерной постановке. Поэтому математическая формулировка задачи приводится к системе линейных дифференциальных уравнений нестационарной теплопроводности [3]. Для полной физической определенности общая система уравнений дополняется эмпирическими зависимостями удельной теплоемкости, вязкости, коэффициентов теплопроводности, теплопередачи и других величин от температуры. Расчет теплового поля системы осуществляется с помощью метода конечных элементов. Аналитическое решение можно получить, но при условии значительных упрощений и низкой точности. Поэтому при использовании метода конечных элементов можно учесть непостоянство параметров внутри элементов рассматриваемой системы.

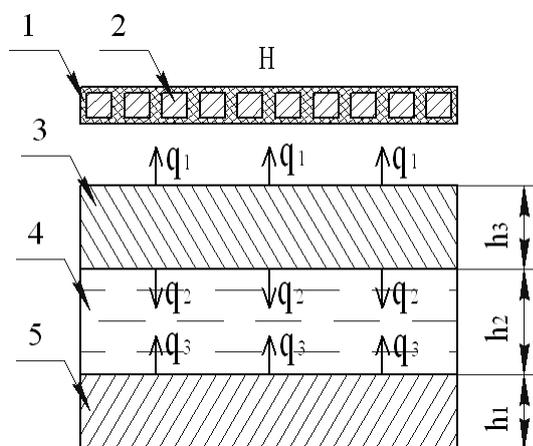


Рис. 2 - Электротепловая задача: 1 – изоляция витков индуктора, 2 – индуктор, 3 – стенка цилиндра пластикация, 4 – слой полимерного материала, 5 – шнек

Расчет электротепловой модели (рис.2) осуществляем методом конечных элементов, который реализован с помощью пакетов ELCUT и FEMLAB, которые учитывают специфику поставленной задачи. С помощью программы, построенной на основе метода конечных элементов, составляется геометрическая модель системы, содержащая все объекты, имеющие тепловой контакт. Следующим шагом является задание условий теплообмена, величины плотности внутренних источников тепла и времени нагрева. В ходе моделирования получены решения электромагнитной задачи, которые представлены на рис. 3, 4, из которых видно, что нагрев полимерного материала осуществляется от цилиндра пластикация и шнека, а удельная объемная мощность по сечению максимальна на поверхности цилиндра и шнека и уменьшается по мере проникновения вглубь.

В результате расчета электротепловой модели было получено температурное распределение в полимерном материале по его сечению, при индукционном нагреве, которое представлено на рис.5 [4, 5].

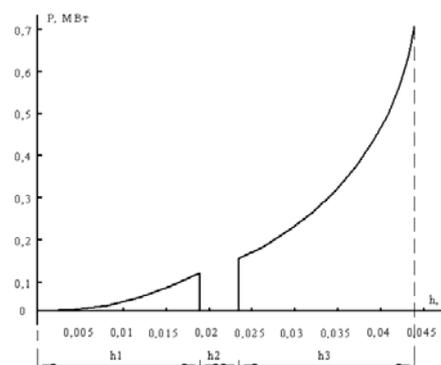


Рис. 3 - Распределение удельной объемной мощности по сечению объекта нагрева

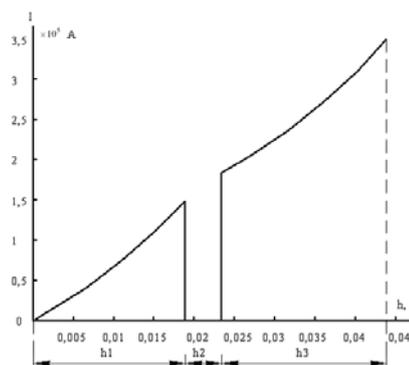


Рис. 4 - Распределение плотности тока по сечению объекта нагрева

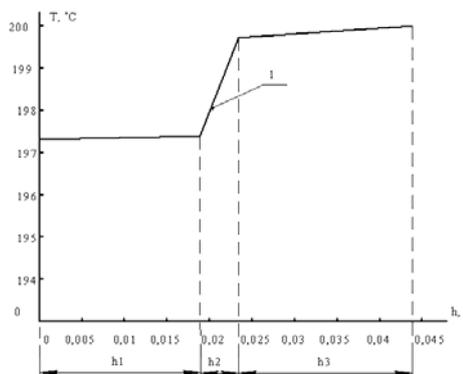


Рис. 5 - Температурное распределение по сечению полимерного материала.

Анализ результатов расчета показывает, что перепад температуры при индукционном нагреве полимерного материала от цилиндра пластикация и шнека одновременно по сечению приблизительно составляет 3°C, что является допустимым по технологии производства и существенно сокращается время нагрева, от которого зависит расход электроэнергии.

Литература

1. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. «Энергия» М. 1967. 415 с.
2. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. Высшая школа, Москва, 1967, 599 с.
4. Исследование электромагнитных и тепловых полей в технологической установке для производства пластмассы.

[Текст]//Л.С. Зимин// Вестн. Самар. Гос. Техн. Ун-та. Сер. Техн. Науки. – 2007. Вып. №1(19) – с. 131-135.

5.Сорокин А.Г. Идентификация математической модели системы индукционного нагрева при производстве пластмассы методом литья [Текст]//Л.С. Зимин// Вестн. Самар. Гос. Техн. Ун-та. Сер. Техн. Науки. – 2012. Вып. №4(36) – с. 163-168.

6.Тумаева Е.В. Подобие оптимальных зависимостей токов в синхронном двигателе с электромагнитным

возбуждением на базе теории обобщенной машины. – Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 158-159.

7.Амирова С.С. Абдурагимов Р.А., Исаев А.А. Совершенствование управления энергосбережением цеха 2104 завода «Этилен». - Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 180-181

© **Н. И. Горбачевский** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», aer-nk@mail.ru; **А. Г. Сорокин** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины» Сызранского филиала ФГБОУ ВПО «Самарский государственный экономический университет», prepodkse@yandex.ru; **Н.В. Антонов** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Математические и естественнонаучные дисциплины» Сызранского филиала ФГБОУ ВПО «Самарский государственный экономический университет», prepodkse@yandex.ru.