DOI: 10.17117/na.2015.11.03.328

Поступила (Received): 28.11.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.11.03.328.pdf>

Обухова А.В., Клочкова Н.Н., Проценко А.Н. Проектирование элементов конструкции трехфазного индуктора специального типа

Obukhova A.V., Klochkova N.N., Protsenko A.N.
Design elements of the three-phase inductor
design of a special type

Рассмотрен вопрос проектирования трехфазного индуктора поперечного поля с магнитопроводом статорного типа. Поставленная задача решается на примере нагрева цилиндрической заготовки из алюминиевого сплава. Для решения задачи был использован программный пакет Elcut. За критерии оптимальности приняты полный КПД индуктора и общие энергозатраты на нагрев при условии достижения необходимой температуры. В результате исследования наилучшие результаты показал магнитопровод с шестью пазами шириной 186 мм, толщиной проводника 15 мм, КПД составил 0,572

Ключевые слова: индукционный нагрев, магнитопровод, оптимизация, конструкция, энергозатраты

Обухова Алла Васильевна

Кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный технический университет
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Клочкова Наталья Николаевна

Кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный технический университет
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Проценко Александр Николаевич

Кандидат технических наук, доцент
Самарский государственный технический университет
г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

The problem of designing a three-phase inductor with a magnetic field transverse stator type. The problem is solved by the example of heating a cylindrical blank of an aluminum alloy. To solve the problem was to use a software package Elcut. For optimality criteria adopted by the overall efficiency of the inductor and the overall energy consumption for heating, subject to the necessary temperature. The study results showed nailushnie magnetic six slots conductor 15mm thick, the efficiency was 0,572

Key words: induction heating, magnetic, optimization, construction, energy cost

Obukhova Alla Vasilievna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Klochkova Natalya Nikolaevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Protsenko Alexander Nikolaevich

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Samara state technical university
Samara, Molodogvardeyskaya st., 244

Индукционные системы в настоящее время находят широкое применение для нагрева различных заготовок. К их достоинствам можно отнести: надежность, безопасность, компактность, экологичность, возможность автоматического управления процессом нагрева. Из-за широкого разнообразия форм и размеров нагреваемых изделий необходимо применение различных конструкций индукционных нагревателей с учетом предъявляемых к нагревателю различных требований [2].

Индукционные нагревательные установки для сквозного нагрева заготовок больших размеров под ковку и штамповку, представляют собой многосекционную систему индукторов и питаются трехфазным переменным током промышленной частоты.

Главными проблемами в таких установках являются: неравномерность распределения мощности по длине загрузки и по фазам. Пространственное управление нагревом или установка магнитопровода для магнитной связи между секциями позволяют улучшить равномерность нагрева по длине загрузки, но не влияют на неравномерность загрузки фаз сети.

Индукционная установка, представляющая собой индуктор с замкнутым цилиндрическим магнитопроводом в форме статора трехфазного асинхронного двигателя [1] естественным образом равномерно нагружает трехфазную сеть. В продольных пазах магнитопровода такого индуктора размещаются три однофазные катушки.

Первоочередной задачей разработки конструкции подобного индуктора является определение рационального числа и ширины пазов, чередование фаз, толщины трубки индуцирующего провода и т.п. [3, 4].

Задача решается на примере нагрева цилиндрической заготовки из алюминиевого сплава Д16 диаметром 420 мм длиной 1000 мм до температуры 480 °С с допустимым перепадом 25 °С перед горячей штамповкой. Для сквозного нагрева заготовок оптимальная частота f выбирается из условия

$$3000/D_2^2 < f < 6000/D_2^2, \text{ где } D_2 - \text{диаметр заготовки, см.}$$

В данной задаче оптимальная частота находится в пределах 17÷34 Гц, поэтому принимается частота сети 50 Гц. Индуктор выполняется медным проводником 40×40 мм с трубкой для отвода тепла. При данных конструктивных параметрах индуктора система «индуктор-металл» магнитное поле вдоль длины индуктора можно считать плоскопараллельным.

Для решения задачи использован программный пакет Elcut, позволяющий решать взаимосвязанные задачи расчета электромагнитных и тепловых полей для двумерных моделей методом конечных элементов (МКЭ).

На рис. 1 приведена геометрическая модель системы, разбитая на сетку конечных элементов. Исходные данные по блокам приведены в табл. 1.

Рис. 1. Геометрическая модель с сеткой конечных элементов

Таблица 1

Наименование блока	Магнитная проницаемость, ОКН	Электропроводность, См/м	Ток, кА	φ	Теплопроводность, Вт/(К·м)	Теплоёмкость, Дж/(кг·К)	Плотность, кг/м ³
Воздух	1	0	-	-	0,0298	1005	1,1
Вода	1	0,01	-	-	0,64	4182	998
Заготовка	1	25650000	-	-	130	922	2800
Магнитопровод	5685	5	-	-	20	465	7833
Фаза А	1	58100000	15	0	384	385	8890
Фаза В	1	58100000	15	120	384	385	8890
Фаза С	1	58100000	15	240	384	385	8890
Футеровка	1	0	-	-	0,2	800	2700

а)

б)

Рис. 2. Распределение температур: а) Изотермы с шагом 1 К или градус, центр самый холодный, соответствует минимуму 479 град; б) График распределения температур по радиусу

Первая часть исследований проводилась для определения оптимальной толщины проводника токопровода (δ) со стороны заготовки. Критерием оптимальности служил максимально возможный коэффициент полезного действия (η) при сохранении постоянной плотности тока. Толщина проводника δ изменялась в пределах от 3 до 20 мм, наилучший результат: $\eta=0,422$ наблюдается при $\delta=15$ мм.

В качестве критериев оптимальности при выборе числа пазов в магнитопроводе приняты КПД индуктора и энергозатраты на нагрев при условии достижения необходимой температуры. Ширина паза ($a_{\text{паз}}$) во всех вариантах принималась одинаковой – 40 мм, количество пазов кратное трем фазам питающей сети. В результате исследования магнитопровод с шестью пазами показал наилучшие результаты, приведенные в табл. 2., распределение температур показано на рис. 2.

Таблица 2

Число пазов	P, кВт	T _{min} , °C	T _{max} , °C	ΔT, °C	t, сек	W, кВт·час	η
6	54,592	476	492	16	9750	147,85	0,42
12	54,506	479	487	8	10250	155,190	0,412
18	55,647	481	487	6	11250	173,9	0,38

Как видно из табл. 2 более равномерный нагрев наблюдается при увеличении количества пазов, что соответствует увеличению площади нагреваемой поверхности изделия. При увеличении числа пазов КПД падает. Дальнейшие исследования показали, что увеличение ширины паза до 186 мм при числе пазов равных 6 позволяет повысить КПД до 0,572 при перепаде температур 6°C.

Список используемых источников:

1. Данилушкин А.И., Никитина Е.А. Моделирование процесса индукционного нагрева цилиндрического изделия во вращающемся магнитном поле. Бийск. Изд. Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2010.
2. Данилушкин А.И., Данилушкин В.А., Зимин Л.С. Основы промышленных технологий. Самара: Самар.гос. техн. ун-т, 2014. 239 с.
3. Клочкова Н.Н., Обухова А.В. Исследование влияния количества пазов на кпд трехфазного индуктора специальной конструкции // Состояние и перспективы развития электротехнологии. 2015. Иваново.
4. Клочкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.Н. Исследование конструкции трехфазного индуктора поперечного поля с магнитопроводом статорного типа // Вестник Самарского государственного технического университета. №2(46). 2015.