DOI: 10.17117/na.2016.11.02.163

<http://ucom.ru/doc/na.2016.11.02.163.pdf>

Поступила (Received): 28.11.2016

Краснорудский В.А., Умушкина А.А., Попова А.Н. Исследование распределения магнитного поля в индукторах с многослойными обмотками

Krasnorudskii V.A., Umushkina A.A., Popova A.N.
The study of the magnetic field distribution in a
multi-layer inductors windings

Представлены результаты исследования распределения магнитного поля в индукторах с многослойными обмотками. В случае индуктора с оптимальным токопроводом использование магнитопровода приводит к увеличению сопротивления обмотки, но КПД при этом возрастает на $\approx 9\%$ из-за повышения мощности в нагрузке

Ключевые слова: индукционный нагрев, магнитопровод, многослойная обмотка

Are presented results of a research of distribution of magnetic field in inductors with multilayered windings. If to use the inductor with the optimum current-conducting and magnetic circuit, resistance of a winding and electric efficiency will increase

Key words: induction heating, magnetic circuit, multilayered winding

Краснорудский Вадим Андреевич

Студент

Санкт-Петербургский горный университет

г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия
2

Krasnorudskii Vadim Andreevich

Student

Saint-Petersburg mining university

St. Petersburg, 21st. Line, 2

Умушкина Арина Александровна

Студент

Санкт-Петербургский горный университет

г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия
2

Umushkina Arina Alexandrovna

Student

Saint-Petersburg mining university

St. Petersburg, 21st. Line, 2

Попова Анна Николаевна

Студент

Санкт-Петербургский горный университет

г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия
2

Popova Anna Nikolaevna

Student

Saint-Petersburg mining university

St. Petersburg, 21st. Line, 2

На сегодняшний день весьма актуальна задача внедрения энергосберегающих технологий в народном хозяйстве России.

Как известно, существуют прогнозы, что уже в середине XXI века в индустриально развитых странах Европейского Союза применение газа и других минеральных ресурсов непосредственно для нагрева, плавки, термообработки материалов в промышленности будет полностью исключено. На смену им придут технологии нагрева и плавки исключительно на базе электричества

На многих этапах производства металлических изделий необходима термическая обработка полуфабрикатов и конечных продуктов. Индукционный нагрев занимает видное место среди различных видов электронагрева, в силу таких преимуществ, как: экологическая чистота, высокая надежность, высокая производительность, технологическая гибкость, удобство управления и возможности оптимизации, легкость автоматизации и механизации процесса, малая тепловая инерция установки и ее постоянная готовность к работе, улучшение условий труда, простота обслуживания и ремонта установки

Первые многослойные индукторы представляли из себя концентрические соленоиды, включенные последовательно. В последнее время в мировой практике все чаще используется галетное исполнение индукторов. Галета состоит из двух спиральных обмоток с числом слоев 5 – 7 и даже более. Обмотка индуктора набирается из галет, которые могут соединяться в группы с однофазным или трехфазным питанием

В данной работе представлены результаты исследования распределения магнитного поля в индукторах с многослойными обмотками.

Были проведены расчеты сопротивления витков многослойных индукторов галетного и соленоидального типа (рис.1) по слоям намотки и в зависимости от места расположения витка по длине индуктора. Результаты расчетов представлены в табл. 1

Рис. 1. Модели многослойных индукторов: без магнитопровода: а – галетного; б – соленоидального; с магнитопроводом: в – галетного; г – соленоидального

В России для нагрева алюминиевых слитков наиболее часто используются соленоидальные индукторы с магнитопроводами и без них.

Из проведенных расчетов (табл.2) видно, что использование магнитопровода для индуктора из неоптимальной трубки 20x16x2 мм приводит к значительному увеличению сопротивления индуктора, а также приводит к сильной неравномерности распределения сопротивления по слоям индуктора с сильным ростом потерь в крайних витках внутреннего слоя. При этом использование магнитопровода не увеличивает КПД индуктора. В случае индуктора с токопроводом из трубки 20x8x2 мм и из сплошного провода 20x8 мм использование магнитопровода хоты и приводит к увеличению сопротивления обмотки, но КПД при этом возрастает на $\approx 9\%$ из-за повышения мощности в загрузке.

Таблица 1. Полные сопротивления индукторов и среднее сопротивление одного витка

Многослойный индуктор галетного типа – 1 галета					
Тип токопровода	число слоев намотки	без магнитопровода		с магнитопроводом	
		полное сопротивление индуктора	среднее сопротивление 1 витка индуктора	полное сопротивление индуктора	среднее сопротивление 1 витка индуктора
Трубка 20×16мм с толщиной стенки 2мм	5	0,002852	0,000285	0,007092	0,000507
	7	0,004418	0,000316	0,015852	0,001132
Трубка 20×8мм с толщиной стенки 2мм	5	0,003192	0,000319	0,003892	0,000278
	7	0,004832	0,000345	0,006884	0,000492
Сплошной провод 20×8мм	5	0,002056	0,000206	0,002814	0,000201
	7	0,003174	0,000227	0,005336	0,000381
Многослойный индуктор соленоидального типа – 10 витков в слое					
Тип токопровода	число слоев намотки	без магнитопровода		с магнитопроводом	
		полное сопротивление индуктора	среднее сопротивление 1 витка индуктора	полное сопротивление индуктора	среднее сопротивление 1 витка индуктора
Трубка 20×16мм с толщиной стенки 2мм	5	0,0234	0,000468	0,0401	0,000802
	7	0,0461	0,000659	0,0958	0,001369
Трубка 20×8мм с толщиной стенки 2мм	5	0,0192	0,000384	0,0206	0,000412
	7	0,0327	0,000467	0,0370	0,000529
Сплошной провод 20×8мм	5	0,0142	0,000284	0,0154	0,000308
	7	0,0262	0,000374	0,0301	0,00043

Следует отметить, что с увеличением высоты канала охлаждения трубки токопровода происходит значительное возрастание сопротивления потерь индуктора, поэтому выбор профиля токопровода имеет чрезвычайно важное значение.

Таблица 2. Значение КПД и сопротивления соленоидального индуктора с загрузкой

Тип токопровода	Наличие магнитопровода	КПД	Полное сопротивление потерь системы индуктор деталь	Сопротивление потерь индуктора
трубка 20*16 мм со стенкой 2 мм	–	33	0,0360	0,0245
	+	33,1	0,0599	0,0401
трубка 20*8 мм со стенкой 2 мм	–	41,3	0,0320	0,0187
	+	50,2	0,0404	0,0201
сплошной провод 20*8 мм	–	49,3	0,0267	0,0135
	+	57,56	0,0350	0,0148

Список используемых источников:

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоатомиздат, 1988. 271 с.
2. Растворова И.И., Ситько П.А., М'лики Мохамед Амин. Моделирование и оптимизация многослойных индукторов // *Электромеханика, Электротехнологии, Электротехнические материалы и компоненты*. Крым. 2012. С. 338-340.
3. Немков В.С., Неужилова О.И., Северянин А.К. Пути снижения потерь энергии в индукционных нагревателях // *Известия ЛЭТИ. Л.*, 1984. Вып.341. С.102-109.
4. Демидович В.Б., Растворова И.И., Чмиленко Ф.В., Григорьев Е.А. Индукционный нагрев алюминиевых заготовок перед прессованием и тиксоформовкой // *Индукционный нагрев*, 2008г, №6.
5. Немков В.С., Демидович В.Б., Растворова И.И., Чмиленко Ф.В., Ситько П.А. Энергоэффективный индукционный нагрев алюминиевых заготовок перед прессованием *Индукционный нагрев*, №3 (21), 2012.С.С. 10-15.
6. Nemkov, V. Demidovich, I. Rastvorova, F. Chmilenko, P. Sitko, M'Liki Mohamed Amin. Energy-efficient induction heating of aluminium billets // *proceedings of XVII congress UIE-2012, St.Petersburg, 21-25 may 2012*, p.394-399.
7. V. Nemkov, V. Demidovich, I. Rastvorova, F. Chmilenko, P. Sitko, M'Liki Mohamed Amin Energy-efficient induction heating of aluminium billets // *proceedings of XVII congress UIE-2012, St.Petersburg, 21-25 may 2012* , p.394-399.

© 2016, Краснорудский В.А., Умушкина А.А.,
Попова А.Н.

Исследование распределения магнитного поля в
индукторах с многослойными обмотками

© 2016, Krasnorudskii V.A., Umushkina A.A.,
Popova A.N.

The study of the magnetic field distribution in a
multi-layer inductors windings