DOI: 10.17117/na.2016.09.01.462

<http://ucom.ru/doc/na.2016.09.01.462.pdf>

Поступила (Received): 30.09.2016

Обухова А.В., Клочкова Н.Н., Проценко А.Н. Числовая модель индукционной установки для нагрева сферических деталей под закалку

Obukhova A.V., Klochkova N.N., Protsenko A.N.
**The numerical model of induction system for
heating spherical parts to hardening**

В статье рассмотрена модель индуктора для поверхностной закалки заготовки сферической формы. Показана возможность получения требуемой равномерности нагрева в индукторе рассматриваемой конструкции. Определены параметры конструкции и режима нагрева, обеспечивающие достижение требуемых кондиций нагреваемой детали. В качестве результатов приведено распределение температуры по поверхности сферы в конце нагрева при учете нелинейности различных теплофизических свойств материалов

Ключевые слова: индукционный нагрев, электромагнитные и тепловые поля, метод конечных элементов

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 article deals with the inductor model for surface hardening of the work piece with spherical shape. The possibility of obtaining the required uniformity of heating the inductor design is considered. Determined the design parameters of the structure and mode of heating to ensure the achievement required conditions by the heated parts. As a result shows the temperature distribution on the surface of the sphere at the end of the heating, received with taking into account the nonlinearity of the different physical properties of materials

Key words: induction heating, electromagnetic and thermal fields, finite element method

Obukhova Alla Vasilievna

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

Klochkova Natalya Nikolaevna

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

Protsenko Alexander Nikolaevich

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

При индукционном нагреве равномерность распределения температуры является необходимым условием. Требуемое распределение температуры может быть достигнуто путем использования индуктора определенной формы.

Поэтому, существенным моментом в проектировании индукционной установки является выбор конструкции индуктора. Сложная форма деталей, следовательно, вызывает дополнительные сложности при нагреве. Сложными для нагрева оказываются детали с резко изменяющейся формой и сферические поверхности.

Одним из вариантов конструкции индуктора для нагрева сферической поверхности может быть индуктор лепесткового типа чашеобразной формы [2], магнитным полем которого практически невозможно управлять.

От указанного недостатка свободен азимутальный трубчатый одновитковый индуктор с вращающейся заготовкой [2-4].

Равномерность нагрева в таком индукторе может достигаться с помощью соответствующего выбора частоты тока, величины воздушного зазора, ширины или радиуса витка, угла наклона витка и скорости вращения заготовки [2].

Успешное решение задачи проектирования подобного индуктора возможно только при наличии подробной и точной трехмерной модели. Возможность построения таких моделей практически любой сложности [1] предоставляет программный пакет Flux, разработанный для многопараметрического анализа полей различной физической природы методом конечных элементов.

В рассматриваемом случае целесообразно назначить следующие параметры: частота индуктора, то есть глубину проникновения тока в сталь нагреваемой заготовки и в медь индуктирующего проводника, а так же, радиус сферы, радиус индуктора, угол наклона плоскости витка индуктора относительно горизонтальной плоскости, высота геометрического центра индуктирующего витка относительно центра сферы, внешний диаметр трубки индуктирующего проводника, внутренний диаметр трубки индуктирующего проводника.

Один из важных аспектов модели рассматриваемой индукционной системы – вращение сферы. Flux предоставляет возможность расчета вращательного движения только тел с прямолинейной образующей, т.е. цилиндров и цилиндрических пирамид. Для расчета вращающейся сферы требуются дополнительные геометрические построения [2]. Необходимо заключить нагреваемую сферу в сфероид, образующая которого представляет собой ломаную линию из нескольких прямолинейных участков. Вращение такого сфероида возможно.

Рис. 1. Сфероид и сфера с сеткой конечных элементов

Для сфероида и сферы назначаются одинаковые кинематические параметры для обеспечения возможности вращения сферы. На рисунке 1 представлена конечно-элементная сетка сфероида и сферы.

Рассматриваемая задача индукционной закалки требует образования физического приложения: трехмерная квазистационарная электромагнитная задача переменного тока, объединенная с задачей нестационарной теплопроводности (3D Steady State AC Magnetic coupled with Transient Thermal application). Как известно, при индукционном нагреве на результирующее температурное поле нагреваемого изделия влияет изменение свойств металла в зависимости от напряженности магнитного поля и температуры.

Flux, предоставляет пользователю несколько различных нелинейных моделей для описания свойств материалов. Это позволяет моделировать материалы с практически любым набором свойств.

Дальнейшие вычислительные эксперименты проводились с целью определения рациональных параметров процесса нагрева.

Общий уровень температуры определяется напряжением на индукторе и продолжительностью процесса нагрева. Следовательно, что в таких условиях равномерность нагрева в одновитковом индукторе зависит от скорости вращения нагреваемой детали.

В ходе вычислительного эксперимента определялось также положение индуктора, так как на равномерность результирующего температурного поля влияет угол наклона плоскости витка индуктора.

В результате проведенного вычислительного эксперимента, в качестве рациональных определены следующие значения исследуемых параметров режима нагрева: напряжение на индукторе 26В, угол наклона индуктора 35°, скорость вращения сферы 400 об/мин, время нагрева 0.6 сек (4 оборота).

Таким образом, была получена модель индукционной установки для нагрева сферических деталей под закалку. На основе модели определены параметры режима нагрева, обеспечивающие достижение требуемых показателей нагрева.

Рис. 2. Распределение температуры по поверхности сферы в конце нагрева

Расчет производился для следующих условий:

- диаметр сферы 20мм;
- скорость вращения сферы 400 об/мин;

- диаметр трубки индуктора 5мм;
- зазор индуктор-сфера 2мм;
- угол наклона индуктора 35°;
- частота тока 20кГц;
- напряжение на индукторе 26В;
- ток индуктора 265А
- время нагрева 0.6 сек (4 оборота).

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рисунке 2.

При температуре поверхности на уровне 1000°C температура центра составляет 118°C, а перепад температуры по поверхности не превышает 100°C.

Список используемых источников:

1. Шарапова О.Ю. Численное моделирование процесса периодического индукционного нагрева на базе конечно элементного программного пакета FLUX // Вестник Самар. тех. ун-та. 2011. Вып. №7 (28). С. 180-185.
2. Брятов А.С., Клочкова Н.Н., Обухова А.В., Проценко А.В. Моделирование индукционной установки специального назначения средствами программного пакета Flux // Вестник СГТУ. 2015. Вып. №2 (79). С. 57-64.
3. Обухова А.В., Клочкова Н.Н., Проценко А.Н. Моделирование индукционной установки специального назначения средствами программного пакета Flux // Materials Science Forum. Trans Tech Publications.
4. Обухова А.В., Клочкова Н.Н., Проценко А.Н. Проектировании одновиткового индуктора для закалки сферических деталей средствами программного пакета FLUX // Вестник Самарского государственного технического университета. №2(50). 2016. 93-98 с.
5. User guide Flux 11.2. Vol. 1. General tools, geometry & mesh. 2013.

© 2016, Обухова А.В., Клочкова Н.Н., Проценко А.Н.
Числовая модель индукционной установки для
нагрева сферических деталей под закалку

© 2016, Obukhova A.V., Klochkova N.N.,
Protsenko A.N.
The numerical model of induction system for
heating spherical parts to hardening