

А.П. ДАВИДЕНКО, канд. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»,
В.Н. СЛАВКОВ, аспирант, НТУ «ХПИ»

ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ

У статті розглядаються питання можливості застосування індукційного нагріву при тепловому неруйнівному контролі об'єктів, а також при визначенні їх теплофізичних властивостей. Проведено аналіз конструктивних рішень індукційних нагрівачів. Запропоновано конструкцію індукційного нагрівача для вирішення завдань теплового неруйнівного контролю за допомогою цифрового фотоапарату.

В статье рассматриваются вопросы возможности применения индукционного нагрева при тепловом неразрушающем контроле объектов, а также при определении их теплофизических свойств. Проведен анализ конструктивных решений индукционных нагревателей. Предложена конструкция индукционного нагревателя для решения заданий теплового неразрушающего контроля с помощью цифрового фотоаппарата.

The article discusses the possibility using heating induction at the thermal nondestructive testing of objects, as well as the determination of their thermal properties. The constructive solutions analysis of induction heaters was carry out. The induction heater design for objective resolution of the thermal nondestructive testing with a digital camera was proposed.

Постановка проблемы. При тепловом неразрушающем контроле (ТНК), а также при определении теплофизических свойств объектов возможно применение цифрового фотоаппарата (ЦФ), который позволяет произвести обработку цифровых температурных картин и получить характеристики распределения температур на поверхности объекта [1].

Фотографический метод ТНК, основан на анализе RGB уровней изображений (рис. 1) объектов нагретых до температуры видимого диапазона спектра (более 600 °C) [2]. В данном случае для выявления дефектов (скрытых раковин, полостей, трещин, инородных включений и т.д. [3]) не обязательно знать значения температур по поверхности объекта, достаточно лишь иметь картину распределения температуры по поверхности объекта.

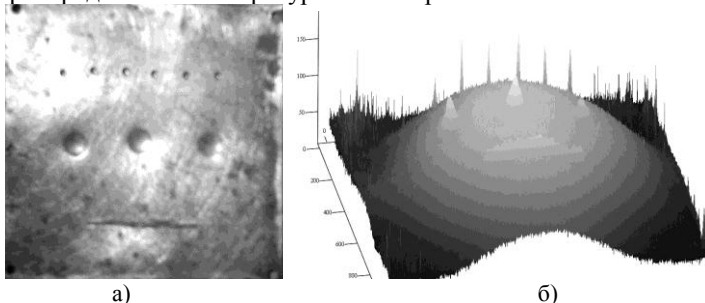


Рис. 1. Обнаружение дефектов по значениям RGB уровней изображения при фотографическом методе ТНК:

а) – изображение объекта исследования; б) – распределение RGB уровней полученное после обработки в MathCAD

При определении теплофизических свойств объекта необходимо установить связь термодинамической температуры объекта с полученными в процессе фотографирования значениями RGB уровней изображения, а также отслеживать скорость изменения распределения термодинамической температуры объекта в процессе нагревания (охлаждения) (рис. 2).

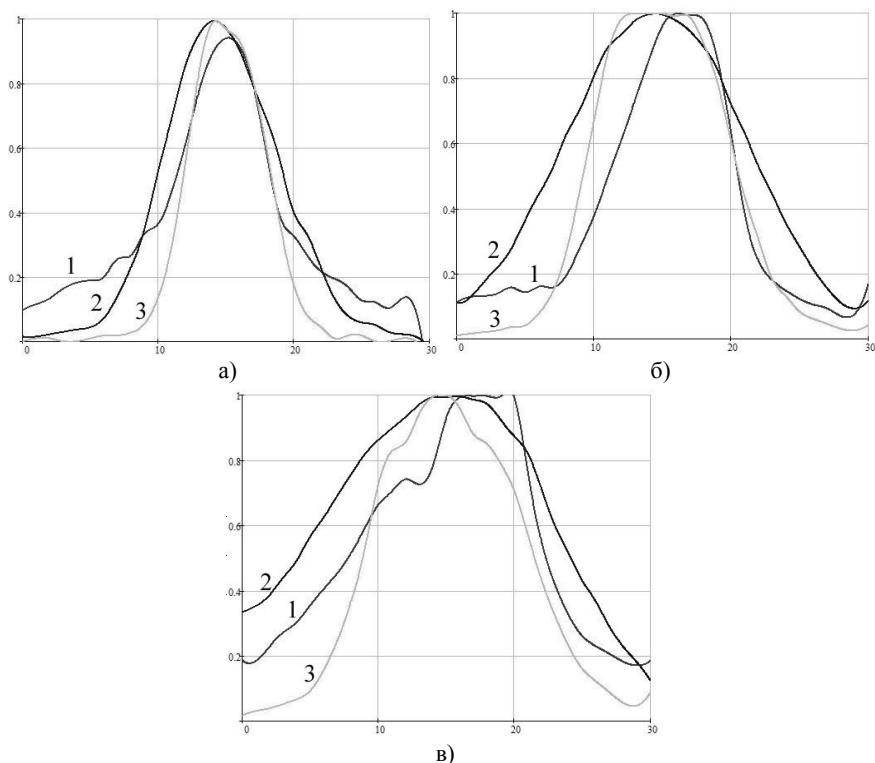


Рис. 2. Распределение RGB уровней изображения в процессе нагревания пластин металлов (размер 10×10 см, толщина 1 мм):

1 – алюминий; 2 – медь; 3 – сталь;

а) момент времени t_0 ; б) момент времени $t_0 + 1$ мин; в) момент времени $t_0 + 2$ мин

Использование ЦФ в качестве средства измерения термодинамической температуры возможно при разработке соответствующего метрологического обеспечения, которое включает в себя процедуру его калибровки с помощью установки, состоящей из абсолютно черного тела (АЧТ), источника внешнего теплового воздействия, исследуемого объекта (разнородные металлы), а также устройства контроля температуры (рис. 3).

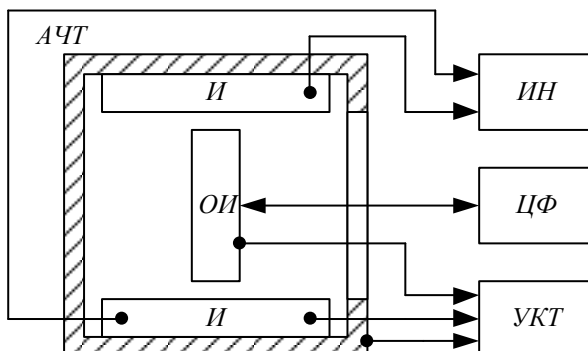


Рис. 3. Структурная схема установки для калибровки ЦФ:
 АЧТ – абсолютно чёрное тело; И – индуктор; ОИ – объект исследования;
 ИН – индукционный нагреватель; УКТ – устройство контроля температуры;
 ЦФ – цифровой фотоаппарат

В данной статье рассматривается возможность применения индукционного нагревателя в качестве источника внешнего теплового воздействия в установке для калибровки ЦФ, а также при фотографическом методе ТНК.

Анализ литературы. Развитие индукционного нагрева идёт по пути совершенствования его технологии и автоматизации, в том числе и на основе достижений современной вычислительной техники [4]. В связи с ростом мощности установок и расширением их использования в промышленности особое значение приобрело совершенствование основной аппаратуры и источников питания, направленное на улучшение энергетических показателей и надёжности установок для нагрева проводящих материалов и диэлектриков.

Цель статьи – анализ конструктивных решений индукционных нагревателей. Разработка и применение индукционного нагревателя при использовании фотографического метода ТНК, а также при определении теплофизических свойств объектов.

Индукционный нагреватель. При проведении экспериментов с помощью установки для калибровки ЦФ, а также в реальных производственных условиях данный вид нагревателя обладает рядом преимуществ по отношению к другим видам нагревателей [5], а именно: высокоскоростной разогрев любого электропроводящего материала; возможен нагрев в атмосфере защитного газа, в окислительной (или восстановительной) среде, в непроводящей жидкости, в вакууме; нагрев через стенки защитной камеры, изготовленной из стекла, цемента, пластмасс, дерева – эти материалы очень слабо поглощают электромагнитное излучение и остаются холодными при работе установки; нагревается только электропроводящий материал – металл (в том

числе расплавленный), углерод, проводящая керамика, электролиты, жидкие металлы и т. п.; поскольку разогрев ведется посредством электромагнитного излучения, отсутствует загрязнение заготовки продуктами горения факела в случае газопламенного нагрева, или материалом электрода в случае дугового нагрева; помещение образцов в атмосферу инертного газа и высокая скорость нагрева позволят ликвидировать окалинообразование; удобство эксплуатации за счет небольшого размера индуктора; индуктор можно изготовить особой формы – это позволит равномерно прогревать по всей поверхности детали сложной конфигурации, не приводя к их короблению или локальному перегреву; легко провести местный и избирательный нагрев; легкая автоматизация оборудования – циклов нагрева и охлаждения, регулировка и удерживание температуры, подача и сьем заготовок.

Существует достаточно большое количество конструктивных решений индукционных нагревателей, в частности силовых инверторов, входящих в состав индукционного нагревателя, подробно описанных в [6, 7, 8]. При проведении исследований разного рода металлов в лабораторных условиях с помощью фотографического метода ТНК достаточно применение индукционного нагревателя обладающего следующими характеристиками (табл.).

Таблица. Характеристики индукционного нагревателя

Мощность нагревателя, кВт	Диапазон рабочих частот, кГц	Диапазон получаемых температур, °С	Напряжение питания нагревателя, В
2	60-300	500-1300	220

Для построения данного индукционного нагревателя использована структурная схема полумостового инвертора (рис.4), обладающего необходимыми характеристиками, подробно описанная в [9].

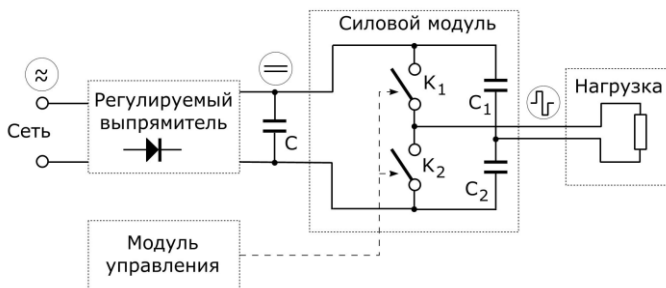


Рис. 4. Структурная схема инвертора

Управление ключами силового модуля осуществляется генераторами управляющих импульсов (IR2153). Усиление сигналов генераторов управляющих импульсов осуществляется с помощью микросхем MAX4420. Схема данного блока представлена на рис.5.

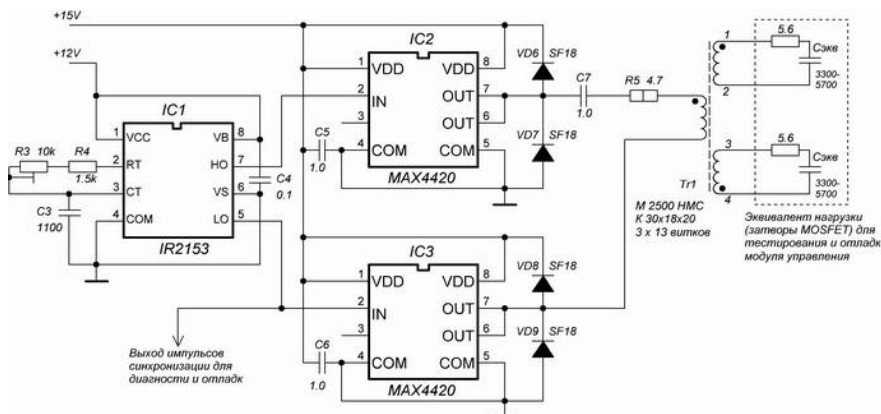


Рис. 5. Схема модуля управления с трансформаторной развязкой

Силовой модуль (рис. 6) содержит мощные полевые транзисторы с изолированным затвором (IXFH30N50).

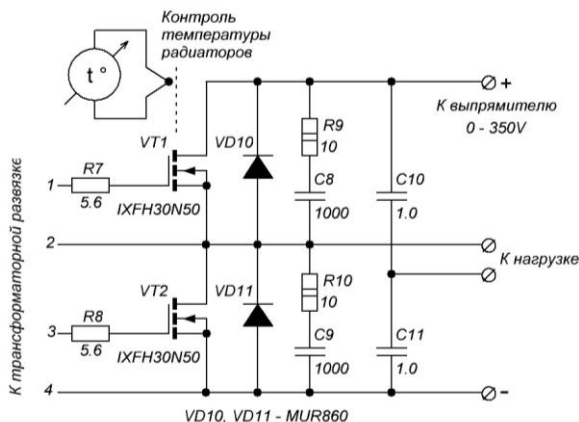


Рис. 6. Схема силового модуля

Эквивалентная схема нагрузки для индукционного нагрева представлена на рис. 7. Трансформатор TR2 изготовлен из двух колец К 45×28×12 мм (марка феррита М2000НМ). Первичная обмотка – 26 витков провода МГТФ 0,75 мм. Эта обмотка подсоединяется непосредственно к выходу инвертора. Роль вторичной обмотки, состоящей из одного витка, выполняет одна из отводных трубок индуктора (медь, диаметр 6 мм), проходящая через центр кольца трансформатора.

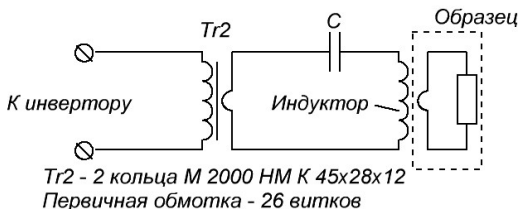


Рис. 7. Эквивалентная схема нагрузки

Индуктор представляет собой катушку, содержащую несколько витков (медная трубка диаметром 4 мм). Индуктор вместе с конденсатором С образует последовательный колебательный контур, на резонансную частоту которого должен быть настроен инвертор. Охлаждение индуктора осуществляется проточной водой.

Выводы. Рассмотренное конструктивное решение индукционного нагревателя является достаточно простым и повторяемым, а также полностью удовлетворяет требованиям установки для калибровки ЦФ и фотографического метода ТНК. В свою очередь, данная конструкция обладает и рядом недостатков. Регулирование мощности нагревателя производится путём изменения напряжения питания инвертора, данный недостаток возможно устранить путём использования частотного регулирования мощности. Вместо полумостовой схемы силового модуля возможно использование мостовой схемы, что приведёт к увеличению уровня мощности нагревателя до 4 кВт в случае необходимости.

Список литературы: 1. Давиденко А.П. Применение цифровой фотографии в задачах неразрушающего контроля / А.П. Давиденко, В.Н. Славков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009 – №23. 2. Давиденко А.П., Славков В.Н. Анализ современного состояния теплового неразрушающего контроля. Фотографический метод ТНК: Матеріали між нар. наук. – техн. конф. «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: Севастополь, 5-9 вересня 2011 р. /М-во освіти і науки, молоді та спорту України; Севастоп. нац. техн. ун-г; наук. ред. В.Я. Копп – Севастополь.; СевНТУ, 2011. – 292с. 3. Тепловые методы неразрушающего контроля [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.welding.su/library/kontrol/kontrol_113.html. 4. Слухоцкий А.Е. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамурз; Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат. Ленинград. отд-ние, 1981. – 328с. 5. Индукционный нагрев [Электронный ресурс] – Режим доступа: ru.wikipedia.org/wiki/Индукционный_нагрев. 6. Индукционный нагрев металлов [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.offtop.ru/gauss2k/v7_625902_1.php?of99=bnrgnu21qtpp9guom9eidf. 7. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. – М.: СОЛЮН-Пресс, 2005. – 416 с. 8. Мелишин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М. Техносфера, 2005. – 632 с. 9. Простой лабораторный инвертор для индукционного нагрева [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.icct.ru/Practicality/Papers/30-03-2010/Invertor-01.php>.

Статья представлена д.т.н. проф. НТУ «ХПИ» Кондрашовым С.И.

Поступила в редакцию 09.09.2011