

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Ивановский государственный
энергетический университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук Российской Федерации

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Международной научно-технической конференции

«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»

(XVI Бенардосовские чтения)

*К 130-летию изобретения электродуговой сварки
Н.Н. Бенардосом*

1-3 июня

I том

Электроэнергетика

Иваново 2011

В I томе сборника научно-технической конференции отражены результаты научных исследований в области теории и практики электротехники и электротехнологии; электроэнергетических систем; рассмотрены вопросы надежности, эффективности и диагностики электрооборудования станций и энергосистем; вопросы техногенной безопасности в энергетике.

Редакционная коллегия:

Тарарыкин С.В., ректор, д.т.н., профессор, - председатель
Тютиков В.В., проректор по НР, д.т.н., профессор,
Мошкарин А.В., зав. каф. ТЭС, д.т.н., профессор
Назарычев А.Н., зав. каф. ЭСДЭ, д.т.н., профессор
Митькин Ю.А., зав. каф. ТЭВН, д.т.н., профессор
Полетаев В.А., зав. каф. ТАМ, д.т.н., профессор
Косяков С.В., зав. каф. ПОКС, д.т.н., профессор
Колибаба В.И., зав. каф. экономики и организации предприятия
Клюнина С.В., нач. УИУНЛ

ISBN 978-5-89482-726-1
ный

©  ГОУВПО «Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина», 2011.

УДК 621.365.5

А.Н. ГОЛУБЕВ, д.т.н., профессор,
В.А. МАРТЫНОВ, д.т.н., профессор,
М.Г. МАРКОВ, к.т.н., доцент, М.С. САЙКИН, к.т.н., доцент,
Л.Б. КОРЮКИН
(ИГЭУ)

Повышение износоустойчивости устройств и механизмов

Повышение износоустойчивости и долговечности различных устройств и механизмов является одной из важнейших задач, которую необходимо решать при их создании. При этом современный уровень развития электротехнологии определяет возможность применения как новых способов упрочнения деталей машин, так и оптимизацию уже известных. На кафедре «Теоретические основы электротехники и электротехнологии» (ТОЭЭ) исследования в данной области осуществляются в следующих основных направлениях:

- моделирование и оптимизация процесса индукционного нагрева на основе совместного расчета взаимосвязанных электромагнитного и теплового полей;
- магнитно-импульсная обработка материалов (МИО);
- разработка герметизаторов на основе магнитной наножидкости (МНЖГ).

Индукционная закалка является в настоящее время одним из основных и наиболее эффективных способов упрочнения поверхностных слоев деталей машин. Несмотря на длительную практику ее применения, возможности ее совершенствования далеко не исчерпаны. Это касается, в первую очередь, создания новых типов источников питания установок индукционной закалки, в качестве которых во многих случаях до сих пор используются электромашинные генераторы. Кроме того, большие резервы повышения эффективности этого метода заключаются в возможности совершенствования конструкций индукторов и оптимизации собственно режимов закалки. Последнее становится особенно актуальным в связи с постоянно повышающимися требованиями к усталостной прочности и твердости закаливаемых изделий. Существующие методы проектирования установок индукционной закалки, и в частности ее основных элементов - индукторов, обычно основаны на применении грубых приближенных методик, опирающихся на экспериментальные данные. Поскольку на самом деле зависимости между термическими и энергетическими параметрами технологического процесса не выражаются в простой форме, такой подход не позволяет получить оптимальные параметры конструкций индукторов и режимов закалки. В этой связи была разработана методика и реализующий ее программный модуль расчета индукторов и режимов индукционной закалки дорожек качения опорно-поворотных

устройств (ОПУ) автомобильных кранов. Необходимость разработки методики возникла в связи с новыми требованиями к глубине закалки и конфигурации закалочной зоны зубчатых венцов и колец ОПУ. До недавнего времени требовалась закалка на глубину порядка 2,5 мм. Согласно новым требованиям к чистоте рабочих поверхностей деталей необходимая глубина поверхностной закалки должна составлять 4...6 мм. При этом толщина закаливаемого слоя в пределах закаливаемого участка должна меняться не более чем на 20 %. Кроме того, недопустим перегрев на кромках деталей.

Основой разработанной методики являются точные математические модели электромагнитных и тепловых процессов индукционной закалки. Закаливаемая область рассматривается как кусочно-однородная среда. Для расчета квазистационарного электромагнитного поля в области индуктора и в зоне закалки в каждом однородном участке используются уравнения типа Гельмгольца в линейном приближении. Возможность кусочно-однородной линеаризации электромагнитной задачи возникает в силу того, что, во-первых, в каждой из однородных зон магнитное поле меняется по пространству достаточно медленно и поэтому магнитную проницаемость в пределах каждой из подобластей можно считать постоянной, и, во-вторых, электромагнитные процессы устанавливаются гораздо быстрее тепловых.

Для расчета теплового поля используется нестационарное нелинейное уравнение теплопроводности, в котором учитывается зависимость удельных теплопроводности и теплоемкости от температуры.

Реализующий данную методику расчетный модуль, разработанный с использованием программного комплекса ElCut, включает в себя восемь основных окон:

- главное окно, содержащее меню выбора типа индуктора, текстовое поле, а также ряд кнопок, при помощи которых можно вызвать все остальные окна программы;
- четыре окна создания задачи, соответствующие четырем типам индукторов;
- окно расчёта величины закалочного тока;
- окно совместного расчёта электромагнитной и тепловой задач;
- окно построения графиков зависимости температуры от времени.

В области МИО материалов на кафедре ТОЭЭ создана установка, позволяющая варьировать в широких пределах режимы и параметры процесса обработки.

Основные характеристики установки для МИО:

- напряжение питания – 220/380 В;
- диаметр рабочего пространства – от 10 до 175 мм;
- рабочий диапазон изменения магнитной индукции – 0,1...1 Тл;
- режимы намагничивания;
- переменным током частоты 50 Гц;

- постоянным током;
- пульсирующим однополярным током;
- пульсирующим двуполярным током;
- единичными однополярными импульсами регулируемой длительности (от 40 мс до 5 с с паузами между импульсами от 0 до 5 с);
- пакетами однополярных импульсов регулируемой длительности (число импульсов в пакете - от 1 до 15);
- возможность подключения различных измерительных приборов для контроля за протеканием технологического процесса с последующей обработкой результатов измерений на ЭВМ.

Полученные результаты показали, что разработанная методика МНО позволяет существенно повысить износоустойчивость режущего инструмента, в частности дорогостоящих фрез (до 40%). При этом экономичность метода по сравнению с другими способами упрочнения, например на установке «Булат», существенно выше, в том числе и в отношении энергетических затрат.

МНЖГ предназначены для герметизации валов, совершающих вращательное или возвратно - вращательное движение между средами с перепадом давлений или средами, содержащими различные вещества, для предотвращения их перемешивания. Герметизируемой средой может являться вакуум с различной степенью разрежения, инертные газы, пары и жидкости. Принцип действия МНЖГ основан на удержании магнитной наножидкости (МНЖ) в рабочем зазоре пондеромоторной силой, которая возникает при взаимодействии магнитного момента единичного объема МНЖ с неоднородным магнитным полем, создаваемым с использованием постоянных магнитов, изготовленных на основе сплавов самарий-кобальт или неодим-железо-бор.

Основными преимуществами МНЖГ перед традиционными уплотнениями являются: практически абсолютная герметичность, малый собственный момент трения, отсутствие износа, высокая долговечность и простота технического обслуживания.

МНЖ представляет собой коллоидный раствор частиц магнетита в жидкости-носителе. Жидкость-носитель должна быть инертна по отношению к герметизируемой среде и не разрушаться под её воздействием. Большое разнообразие МНЖ позволяет использовать МНЖГ для герметизации валов вакуумной арматуры и узлов специального назначения, химических и биологических реакторов, электротехнологического и энергетического оборудования. МНЖГ обладают высокой надёжностью, просты в обслуживании и эксплуатации, не опасны для персонала и не наносят вред окружающей среде.

МНЖГ имеют следующие эксплуатационные характеристики:

- линейная скорость на поверхности вала в длительном режиме, м/с: от 0 до 15;
- критический перепад давлений, МПа: от 0,05 до 0,50;

- диаметры герметизируемых валов, мм: от 12 до 1500;
- наработка на отказ, тыс. час.: от 5 до 70;
- срок службы, тыс. час.: 120.

Конструкции герметизаторов на основе магнитных наножидкостей с увеличенным ресурсом работы защищены охранными документами России, а разработка отмечена золотой медалью Женевского салона 2009 года.

УДК 621.791

К.В. КУЛИКОВ, к.т.н., доцент,
А.В.ШЕРИХОВ, студент
(ИГЭУ)

Применение средств MathCad для расчета выпрямителей

Современные электротехнологические установки требуют все больших мощностей. Для минимизации массогабаритных показателей используют, в основном, инверторные структуры преобразователей. Силовая часть источников питания выполняется в виде выпрямительных схем с пульсностью больше трех. Это позволяет уменьшить габариты низкочастотного фильтра. Шести- и двенадцатипульсные схемы могут рассматриваться как комбинация основных трехпульсных групп, которые работают независимо одна от другой и питаются от соответствующим образом сдвинутых по фазе трехфазных источников. Современные методы моделирования выпрямителей позволяют с помощью аппарата h-функций [Л.1] установить, какими должны быть фазы входных напряжений, и построить диаграммы проводимости ключей.

В качестве примера рассмотрим трехпульсную схему выпрямителя, который присоединен к источнику переменного тока с частотой $f_{вх.}$ и управляется таким образом, чтобы получить напряжение в звене постоянного тока. Исходные данные: Входная частота: $f_{вх.} = 50$ Гц; Угловая частота: $\omega_{вх.} = 2 \cdot \pi \cdot f_{вх.} \cdot \text{с}^{-1}$; Амплитуда напряжения: $U_{вх.м.} = 220\sqrt{2}$ В.

Модель трёхфазной сети выглядит следующим образом:

$$U_{вх.}(t) = U_{вх.м.} \cdot \begin{pmatrix} \sin(\omega_{вх.} \cdot t) \\ \sin(\omega_{вх.} \cdot t - 2\pi/3) \\ \sin(\omega_{вх.} \cdot t - 4\pi/3) \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} U_{вх.1}(t) &= U_{вх.м.} \cdot \sin(\omega_{вх.} \cdot t); \\ U_{вх.2}(t) &= U_{вх.м.} \cdot \sin(\omega_{вх.} \cdot t - 2\pi/3); \\ U_{вх.3}(t) &= U_{вх.м.} \cdot \sin(\omega_{вх.} \cdot t - 4\pi/3). \end{aligned}$$

Уравнения модели работы силовых ключей в h-функциях будут выглядеть следующим образом: