



УДК 621.365

В. Б. Демидович, Ф. В. Чмиленко, П. А. Ситько,

В. В. Андрушкевич, Ю. Ю. Перевалов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Модульные индукционные установки для непрерывного нагрева заготовок перед обработкой давлением

Рассматривается автоматизированный нагревательный комплекс на базе многомодульной индукционной установки. На примере трехмодульного индукционного нагревателя приводятся преимущества использования таких установок по сравнению с применяемыми в настоящее время кузнечными индукционными нагревателями. Многомодульные индукционные установки дают возможность оптимизации режимов работы оборудования по различным критериям (энергопотребление, форма температурного профиля загрузки, производительность и т. п.), а также позволяют эффективно отработать возможные возмущения типа изменения скорости, диаметра заготовки, начальной температуры и тем самым минимизировать количество брака при нагреве.

Индукционный нагрев, модульная установка, термообработка, температурный профиль, многозонный нагрев

Наблюдающийся в последнее время прогресс в разработках источников питания внес серьезные изменения в архитектуру и построение кузнечных индукционных нагревателей [1]–[3]. Этот процесс напрямую связан с появившейся возможностью сильно уменьшить габариты источников питания, с резко возросшей удельной емкостью электротермических конденсаторов, а также со снижением габаритов и повышением эффективности теплообменников. Управление нагревателем стало цифровым и появилась возможность реализации управления им по модели. Все это привело к тому, что в настоящее время у ведущих компаний, производящих индукционное оборудование, индукционный нагреватель представляет собой набор модулей, которые имеют свои встроенные преобразователи частоты, станции охлаждения, конденсаторные батареи и индивидуальные контроллеры. Общий вид типичной модульной установки индукционного нагрева представлен на рис. 1.

В зависимости от количества индукционных модулей в составе установки существенно изменяется кривая нагрева заготовок по длине кузнечного индукционного нагревателя. И, как показывает

практика, анализ, разработка, проектирование и оптимизация таких автоматизированных многомодульных индукционных комплексов невозможен без применения математического моделирования с использованием специализированных программ [4], [5]. В качестве примера на рис. 2–4 приведены результаты такого компьютерного моделирования. Показаны распределения температурных полей по длине индукционного нагревателя для нагрева заготовок диаметром 110 мм с производительностью 4 т/ч, использующего один, два и три модуля соответственно.

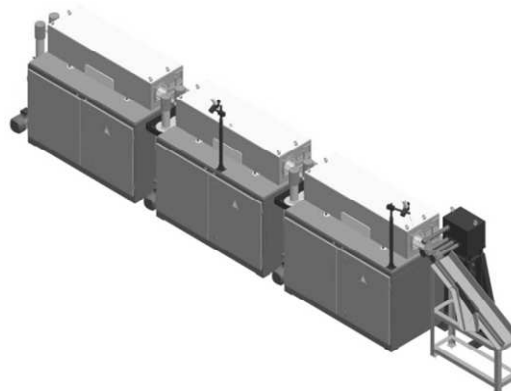


Рис. 1

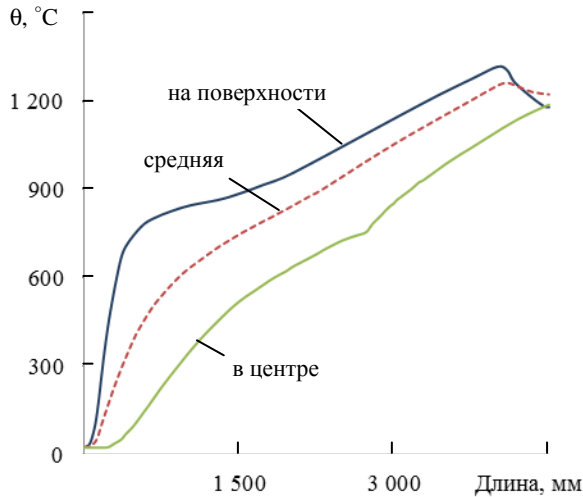


Рис. 2

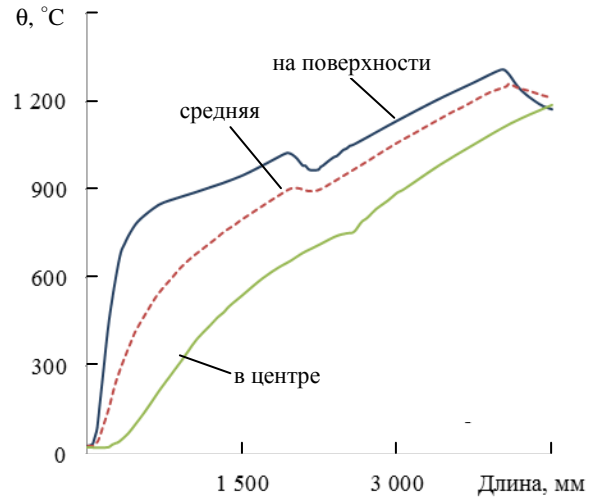


Рис. 3

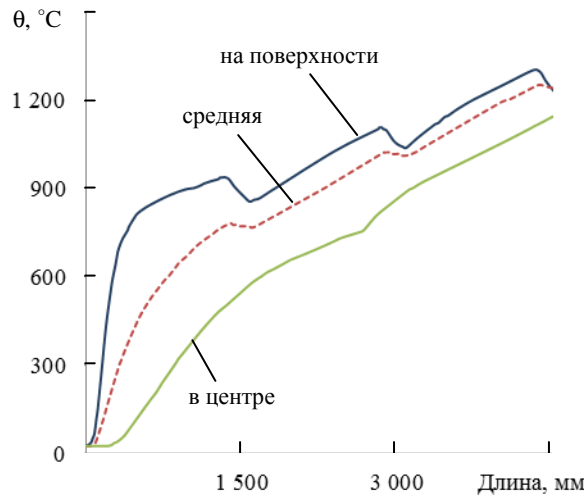


Рис. 4

При использовании разного количества модулей общая длина зоны нагрева остается неизменной и составляет примерно 4200 мм. Конечная температура нагрева равна 1200 °C. Длины индукторов в многомодульной системе нагрева равны, а мощность, подаваемая на каждый из них, может отличаться в 2–3 раза. Суммарная мощность всех источников питания в каждом случае отличается не более чем на 10 %. В качестве примера на рис. 5 представлено распределение мощности источников питания по зонам нагрева в многомодульных индукционных нагревателях.

Как видно из примера, по мере увеличения количества модулей нагрев заготовок приобретает «многозонный» характер. Такая структура позволяет создать систему адаптивного многозонного нагрева (АМН) заготовок с несколькими индивидуально контролируемыми участками нагрева, питание которых происходит от автономных преобразователей частоты, по управлению объединенных в

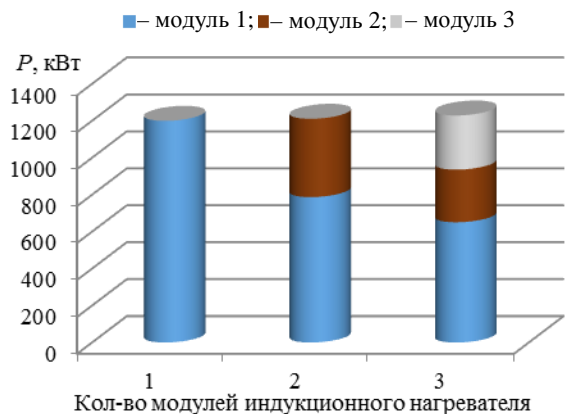


Рис. 5

систему с контролем промежуточных параметров. Количество нагревательных модулей может варьироваться от одного до виртуально неограниченного числа, однако наиболее оптимально, с точки зрения вариативности управления распределением температурного поля по заготовкам, использовать три зоны нагрева и выше. Количество и длина

модулей зависит от производительности установки, требований к качеству нагрева и от параметров заготовок. На рис. 6 представлена зависимость количества модулей от производительности установок при нагреве цилиндрических заготовок диаметром 130 мм перед ковкой.

Индивидуальное управление мощностью нагрева в каждом модуле позволяет гибко подстраивать термический режим под требования заказчика, минимизировать количество брака, а также снизить негативные влияния переходных режимов. На рис. 7 изображены кривые нагрева цилиндрических заготовок диаметром 130 мм, полученные при различном распределении мощностей источников питания по модулям нагревателя с тремя зонами нагрева с производительностью 4.125 т/ч. Нижний, 1-й профиль, соответствует плавному режиму нагрева с конечной равномерностью распределения

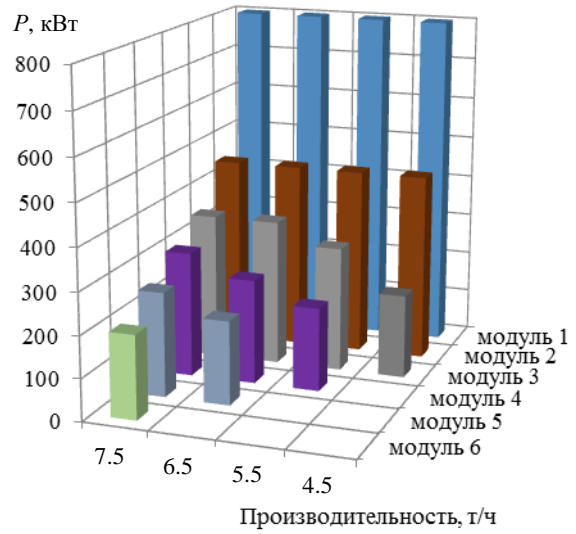


Рис. 6

температуры по сечению заготовки 110 °С, а верхний, 3-й профиль, и средний, 2-й профиль,

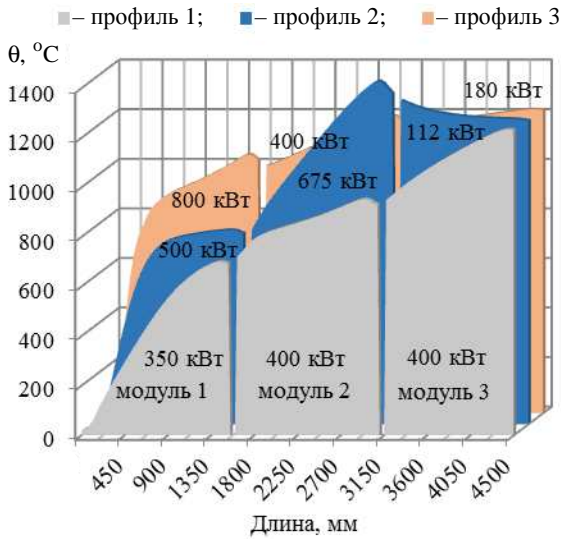


Рис. 7

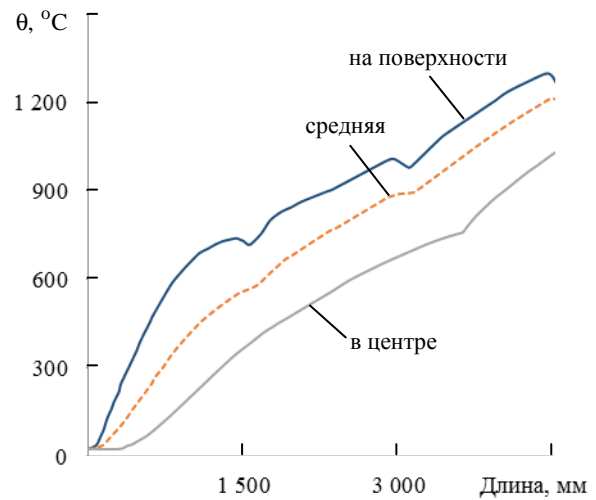


Рис. 8

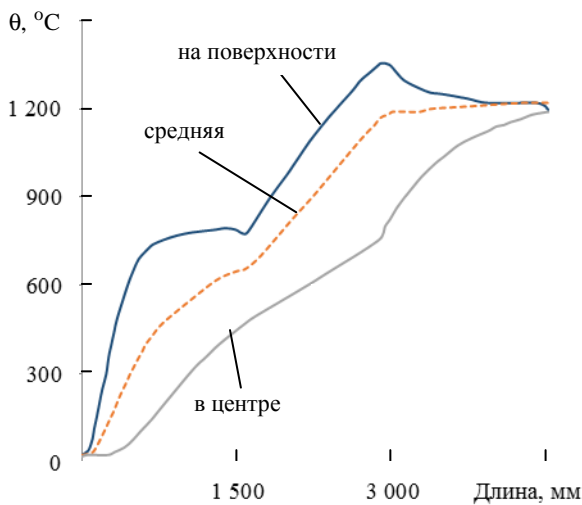


Рис. 9

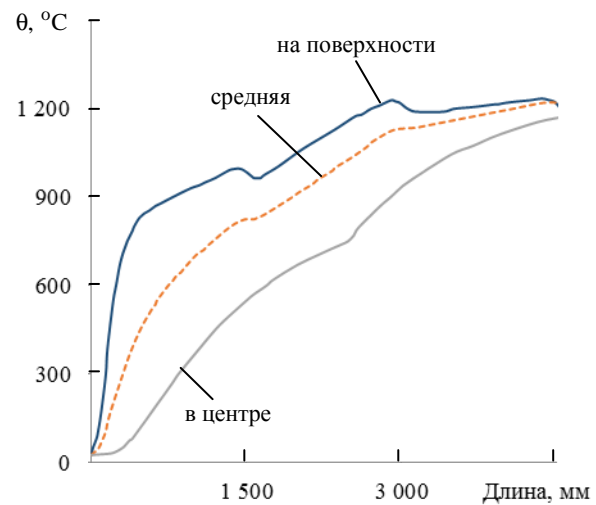


Рис. 10

Температурный профиль	КПД, %	Общая мощность, кВт	Температурный перепад по радиусу, °С	Условия для окалинообразования	Условия для свариваемости торцов
1	67	1380	50	+++	++
2	70	1287	50	++	+++
3	73	1185	110	+	+

соответствуют ускоренному нагреву разной интенсивности с конечной равномерностью распределения температуры по сечению заготовки 50 °С. На рис. 8–10 для каждого из трех профилей соответственно представлены графики распределения температурных полей по длине индукционного нагревателя.

Плавный нагрев характеризуется пониженным окалинообразованием и высокой энергоэффективностью, ускоренный нагрев позволяет свести разность температур между поверхностью и центром заготовок до минимума. В зависимости от особенностей технологического процесса может быть выбран тот или иной вид кривой. Параметры нагрева заготовок при различных режимах нагрева приведены в таблице (сравнение параметров нагрева заготовок при разных режимах нагрева (для заготовок диаметром 130 мм с производительностью 4.125 т/ч)).

Также значительный эффект имеет применение метода многозонного нагрева во время переходных процессов, возникающих при работе установки (стартовый нагрев, неритмичная работа стоящего в линии прокатного оборудования).

Это объясняется тем, что модульная структура позволяет применять различные алгоритмы задания мощности на каждом участке линии нагрева независимо друг от друга, что в сочетании с малой инерционностью индукционной системы позволяет эффективно отработать возникшие в процессе нагрева возмущения и тем самым минимизировать количество брака при нагреве.

Использование описанной модульной структуры имеет очевидные преимущества в технологии индукционного нагрева, так как делает возможным сохранить температурный профиль постоянным при производительностях, отличных от номинальной величины, позволяет эффективно отработать возможные возмущения типа изменения скорости, диаметра заготовки, начальной температуры и минимизировать количество брака при нагреве, а также дает возможность оптимизировать режимы работы оборудования относительно:

- энергопотребления;
- окалинообразования;
- снижения сваривания торцов заготовок;
- изменения длины заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Risch M., Walther A., Thus A. Innovative concept using IGBT multiconverter technology // Heat Processing. 2006. Iss. 1. P. 43–45.
2. Демидович В. Б., Никитин Б. М., Титов А. В. Модульные индукционные установки нагрева прутков повышенной надежности // Индустрия. 2007. № 1. С. 19.
3. Brown D. Modular induction system offers billet-heating advantage // Forge. Jan. 2008. P. 13–16.
4. Демидович В. Б., Чмиленко Ф. В. Численное моделирование устройств индукционного нагрева. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 158 с.
5. Демидович В. Б. Компьютерное моделирование и оптимальное проектирование энергосберегающих технологий индукционного нагрева металлов // Изв. РАН. Энергетика. 2012. Вып. 6. С. 48–63.

V. B. Demidovich, F. V. Chmilenko, P. A. Sitko, V. V. Andrushkevich, Yu. Yu. Perevalov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

MODULE INDUCTION INSTALLATIONS FOR CONTINUOUS HEATING OF BILLETS BEFORE TO PRESSURE TREATMENT

Automated heating system is considered on the basis of a multi induction unit. Advantages of using such installations as compared to currently used blacksmith induction heaters are considered on the example of three-modal induction units. Multi-module induction installations make it possible to optimize of behavior of the equipment on various criteria, such as energy consumption, the shape of the load's temperature profile, productivity and also allow effectively investigate possible perturbations like velocity change, the workpiece diameter, the initial temperature and thereby minimize the number of rejects during heating.

Induction heating, module installation, heat treatment, the temperature profile, multi-zone heating