

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА ТРУБ В ЗОНЕ СВАРНОГО ШВА

Черных И. В., докт. техн. наук, проф.

Уральский государственный технический университет - УПИ

e-mail: chernykh@etf.ustu.ru

Рачков С. А., Директор

ООО НПП "ЭЛТЕРМ-С"

e-mail: rachkov@elterm.convex.ru

elterm-c.com

Аннотация:

В статье рассматривается методика моделирования процесса индукционного нагрева труб большого диаметра перед их сваркой. Обоснован выбор программного пакета для моделирования. Приведен пример моделирования. Дана картина теплового поля в зоне сварного шва и графики распределения температуры в стенке трубы. Показан пример реализации установки индукционного нагрева.

Ключевые слова: индукционный нагрев, сварной шов, тепловое поле.

В настоящее время при проведении сварочных работ на трубах большого диаметра широко используется индукционный нагрев зоны сварного шва. Установка индукционного нагрева состоит из индуктора и источника питания током средней частоты. Частота источника – 2400Гц. При разработке установки индукционного нагрева (УИН) было проведено математическое моделирование зоны нагрева для нахождения геометрии индуктора, параметров источника питания УИН и определения распределения температуры в стенке трубы. Методы расчета подробно изложены в [1-3]. Результатами расчета являются картины и графики распределения мощности тепловыделения в трубе и температуры, а также интегральные показатели, такие как потребляемая мощность, КПД, $\cos(\varphi)$ и т.п.

Расчет проводился в два этапа. На первом этапе было принято допущение о том, что труба является сплошной (не имеет разрыва в месте будущего шва). Для расчета использовалась программа *Universal 2D*. Программа основана на использовании численных методов (конечных разностей, конечных элементов, интегральных уравнений и их комбинаций) для совместного расчета электромагнитных и температурных полей в двухмерных областях. Этот этап позволил определить основные энергетические показатели установки и графики распределения температуры вдоль и поперек стенки трубы с учетом принятого допущения. Расчеты проводились для стальной трубы диаметром $D = 1420$ мм и толщиной стенки $h = 33,4$ мм. Установка имеет индуктор, состоящий из 2-х секций. Каждая секция имеет 2 витка. Расстояние между секциями составляет 160 мм, что вполне достаточно для установки наружного трубного центратора. Расчет показал, что потребляемая мощность установки $P = 50$ кВт, время нагрева до заданной температуры $t = 10$ мин, электрический КПД установки $\eta = 81,7\%$. Кривые распределения температуры вдоль стенки трубы представлены на рис.1. Из рисунка видно, что ширина зоны нагрева с температурой 100°C и более, равна $l = 260$ мм.

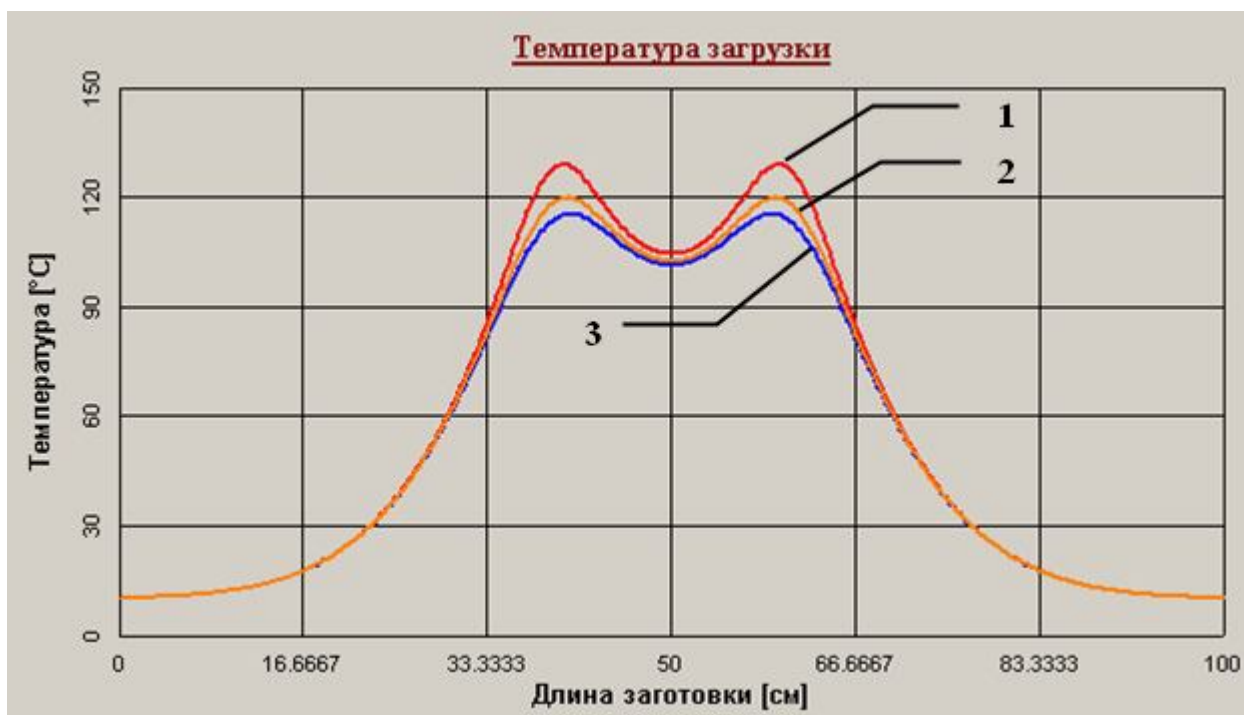


Рис.1. Результаты расчета УИН на первом этапе. 1 – температура наружной поверхности, 2 – температура внутренней поверхности, 3 – средняя температура.

На втором этапе проводится уточнение расчетов с учетом формы разделки торцов труб (рис. 2.).

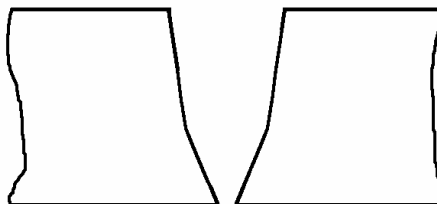


Рис.2. Форма разделки торцов труб

На втором этапе также решались электромагнитная и тепловая задачи, но в качестве результатов расчета получены картина теплового поля, графики распределения температуры вдоль интересующих контуров трубы, а также графики изменения температуры во времени при нагреве и охлаждении трубы. Для расчета использовался программа *Elcut* реализующая метод конечных элементов [4]. На рис. 3 показана картина теплового поля в зоне нагрева, а также расположение контрольной точки (X) и контуров A и B. Из рисунка видно, что труба имеет максимальную температуру (130°C) в зонах расположения витков индуктора, а в зоне сварного шва порядка 100°C . На рис. 3 и 4 показаны графики распределения температуры вдоль контуров A и B в конце интервала нагрева. Из графиков видно, что температура на свариваемых поверхностях равна 100°C , а на поверхности трубы под индуктором не превышает допустимых значений.

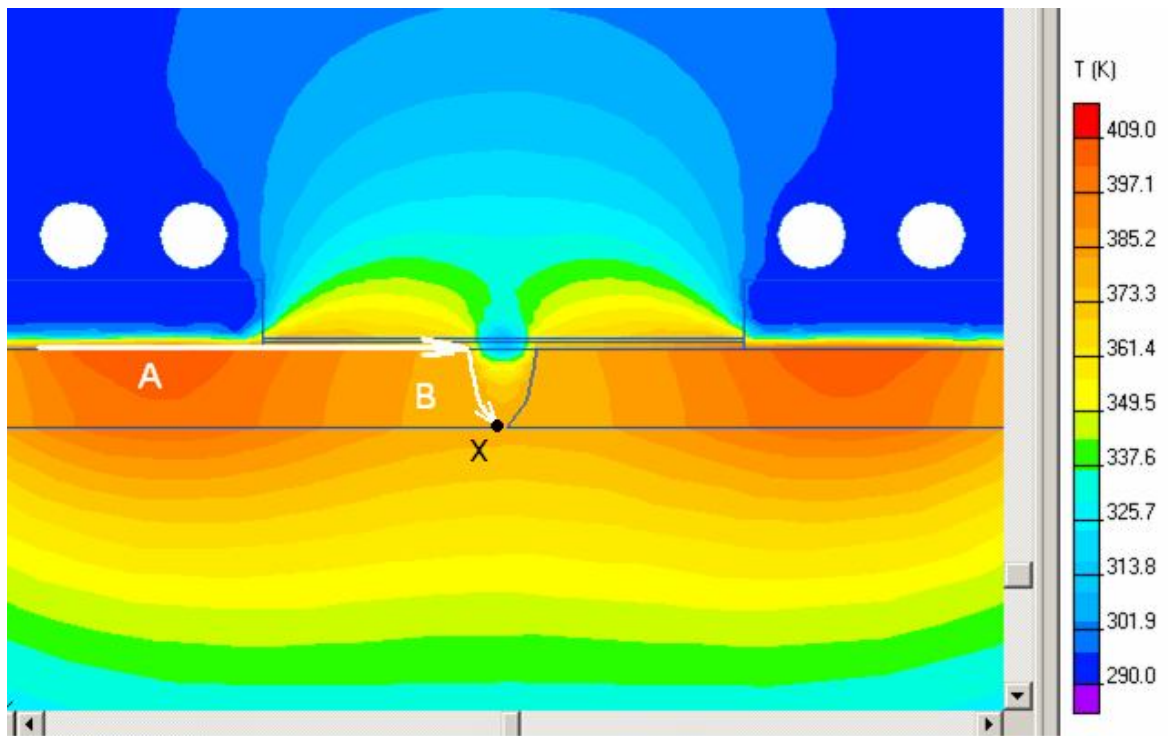


Рис.3. Картина теплового поля

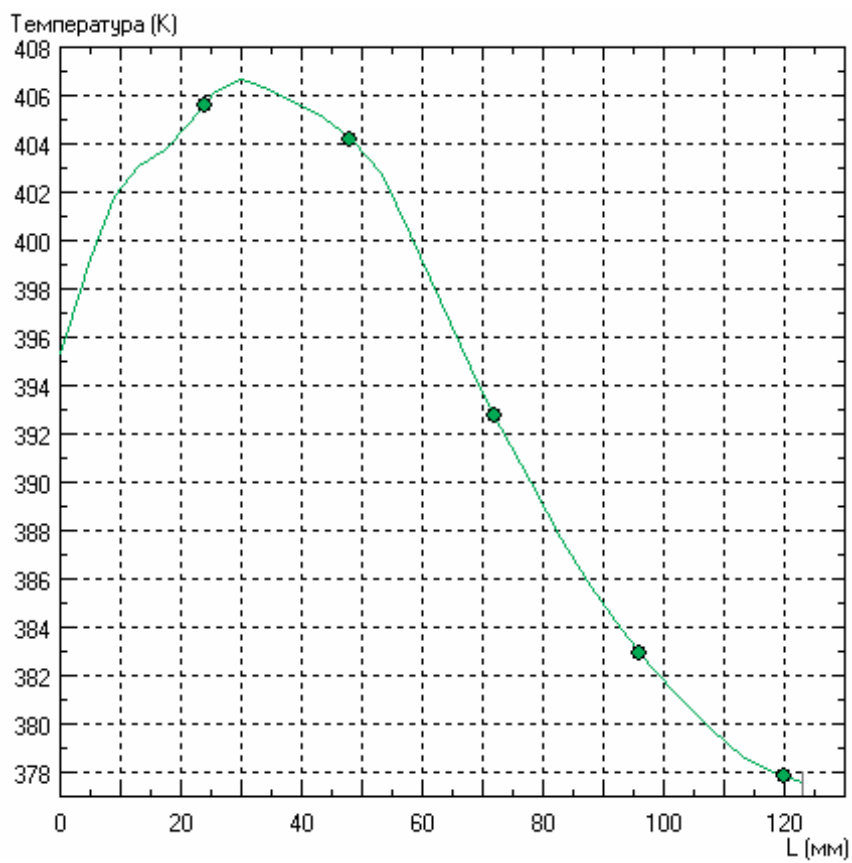


Рис.4. Распределение температуры по контуру «А» в конце нагрева

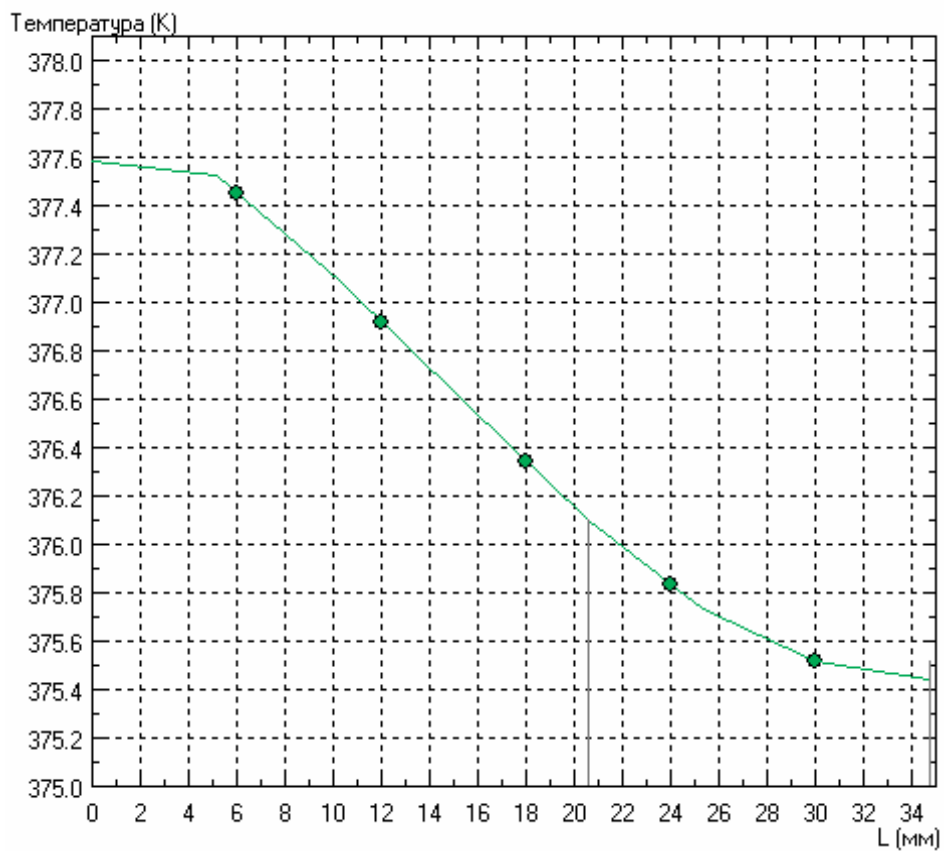


Рис.4. Распределение температуры по контуру «В» в конце нагрева

Дополнительно, на втором этапе рассчитывался режим естественного охлаждения трубы при отключении индуктора от источника питания. На рис. 5 показан график изменения температуры в контрольной точке X при охлаждении.

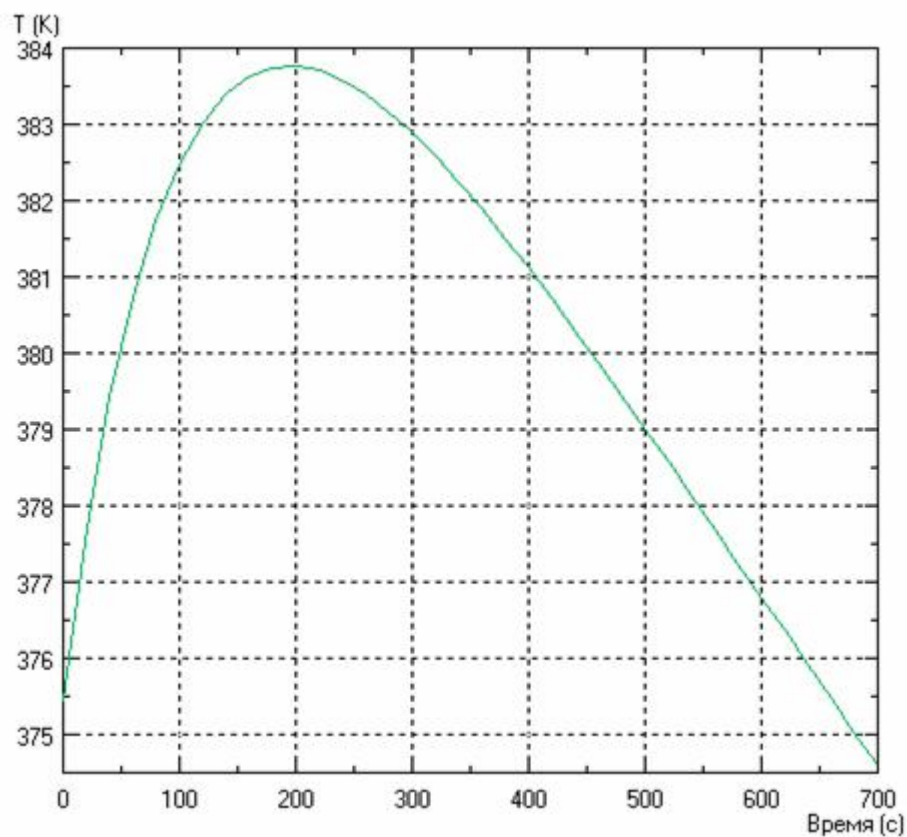


Рис.5. Изменение температуры в контрольной точке при охлаждении

Из графика следует, что поверхность в зоне сварного шва остается нагретой до температуры 100°C еще около 10 мин.

По результатам расчетов были оптимизированы конструктивные решения и режимы работы установки индукционного нагрева “ЭЛТЕРМ-С УИНТ-50-2,4”. Общий вид установки представлен на рис. 6. Индуктор и нагреваемая труба показаны на рис. 7. На основе моделирования спроектировано несколько видов индукторов, приведенных на рис. 7-11.



Рис.6. Общий вид установки индукционного нагрева “ЭЛТЕРМ-С УИИТ-50-2,4”

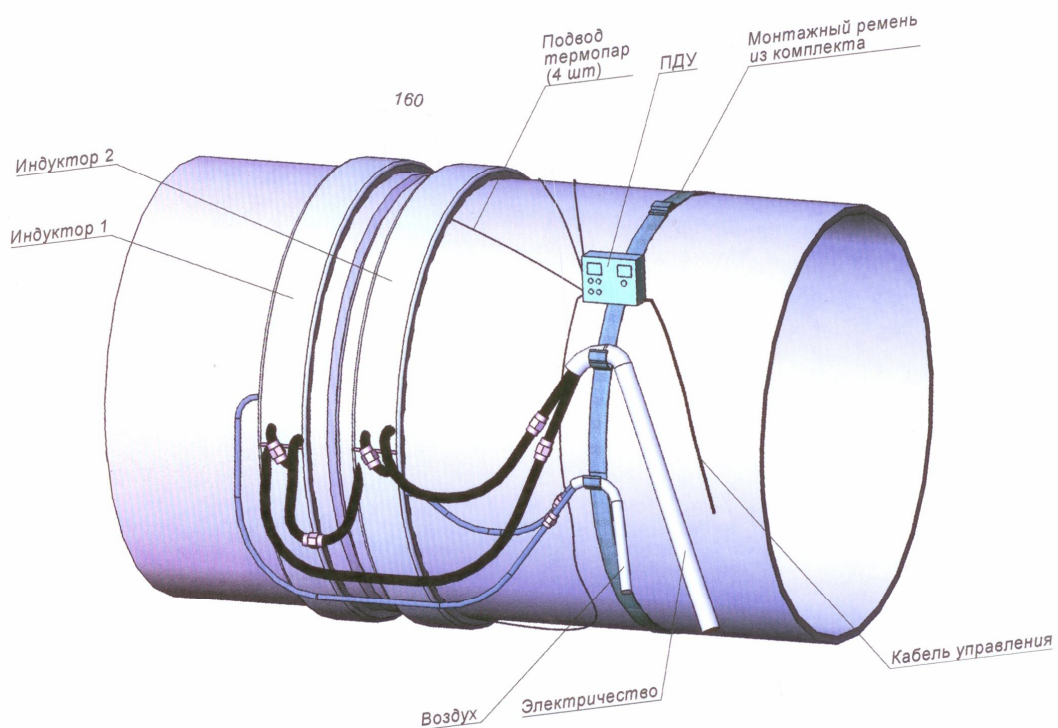


Рис.7. Мягкий гибкий индуктор на трубе



Рис.8. Фото мягкого гибкого индуктора на трубе

Индуктор разъемный
На фото индуктор на трубе.

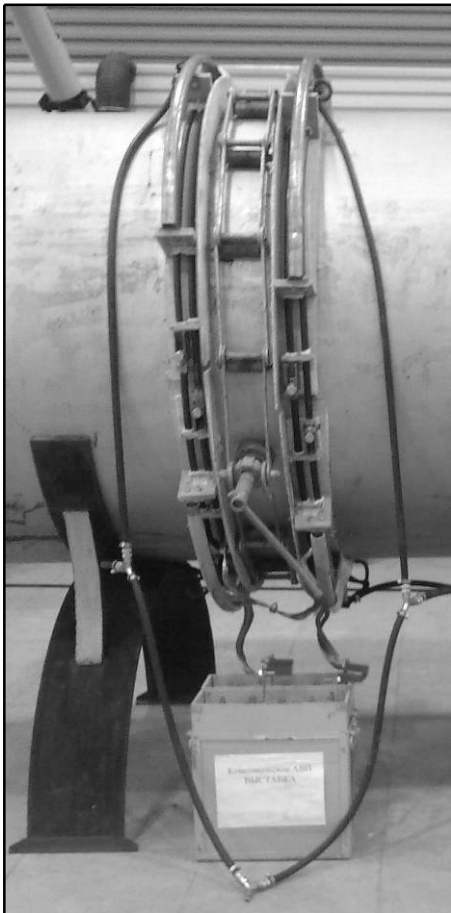


Рис. 9

Индуктор перекатный



Рис. 10



Рис. 11

Разработанные и серийно выпускаемые установки индукционного нагрева на предприятии “ЭЛТЕРМ-С”, оптимизированные по результатам расчетов, являются высокоэффективными технологическими установками индукционного нагрева при подогреве перед сваркой и сопутствующем подогреве.

Авторы предлагают использовать накопленный опыт расчетов электромагнитных и тепловых расчетов при разработке индукционных установок для нагрева различных объектов (труб, фитингов, валов и т.п.)

1. Плавильные индукционные комплексы на основе индукционных тигельных печей и их математическое моделирование: учебное пособие/ В.И.Лузгин, С.Ф. Сарапулов, Ф.Н.Сарапулов, Б.А.Сокунов, Д.Н.Томашевский, В.Э.Фризен, И.В.Черных, В.В. Шипицын. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 464с.
2. Лузгин В.И., Петров А.Ю., Сарапулов Ф.Н, Черных И.В. Система индукционного нагрева длинномерных трубных заготовок. Сб. материалов международной научно-практической конференции Актуальные проблемы теории и практики индукционного нагрева, С-Петербург, 2005
3. Лузгин В.Ю., Петров А.Ю., Сарапулов Ф.Н., Файерман Л.И. И.В.Черных Система управления индукционным нагревом длинномерных трубных заготовок. VI Симпозиум “Электротехника 2010 год” Сборник докладов, Т3, М: 2001
4. И.В.Черных. Пакет ELCUT: моделирование устройств индукционного нагрева. Научно-практический журнал Exponenta Pro. Математика в приложениях, № 2, 2003