

ОДНОВРЕМЕННЫЙ СПОСОБ ИНДУКЦИОННОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Демидович В.Б., Андрушкевич В.В., Гусев А.М.
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия, vbdemidovich@mail.ru

Аннотация – Рассматривается одновременный способ индукционной термообработки труб большого диаметра. Исследуется влияние частоты, основных конструктивных параметров индукторов, скорости технологического возвратно-поступательного движения труб на энергетические показатели установки и температурное поле в трубе.

Ключевые слова – термообработка труб, индукционный нагрев, возвратно-поступательное движение

Основными видами термической обработки труб являются отжиг, нормализация, закалка и закалка с отпуском. В последние годы доля термообработанных труб в общем производстве труб резко возросла. Это связано с интенсивным развитием областей промышленности, в которых предъявляются высокие требования к качеству труб.

Современная термообработка подразумевает строгое соблюдение режима нагрева, выдержки, контролируемого охлаждения и, возможно, повторного нагрева (рис.1).

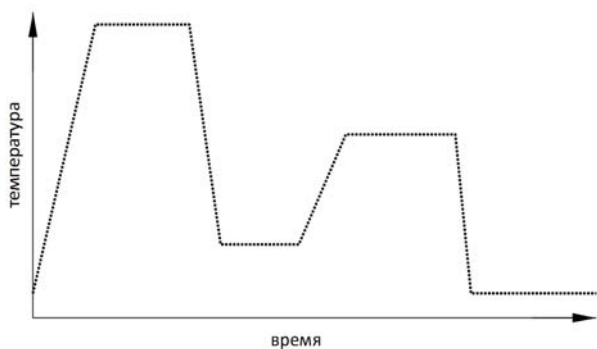


Рисунок 1 – Типичная форма температурного режима термообработки

В заводских условиях термическую обработку обычно выполняют в газовых пламенных или электрических печах. Выдержать необходимые режимы нагрева в газовых печах в силу их инерционности проблематично. К тому же продукты сгорания в пламенных печах содержат газы, которые взаимодействуют с металлом, что приводит к ухудшению его качества и уменьшению срока службы за счет окисления и обезуглероживания. В электрических индукционных печах и печах с нагревателями сопротивления окисление и обезуглероживание происходят в меньшей степени, чем в пламенных [1-4]. Для труб небольшого диаметра наибольшее распространение

получили индукционные установки непрерывного действия, когда легко реализуется режим «нагрев-охлаждение» путем непосредственного размещения зоны охлаждения за индуктором. Однако для труб большого диаметра реализация необходимого режима термообработки за счет пространственного распределения зон нагрева и охлаждения при постоянной скорости перемещения труб во многих случаях затруднительна и требует неоправданно больших мощностей нагрева. И в этом случае предпочтительно реализовывать периодический способ индукционной термообработки длинномерных труб, что обеспечивает гибкость при реализации режимов термообработки.

Данная статья посвящена исследованиям периодического индукционного нагрева труб большого диаметра из сталей аустенитного класса и высококачественных углеродистых сталей, выплавляемых дуплекс процессом. Диаметр нагреваемых изделий от 1016 мм до 1574.8 мм, толщины стенки от 6 мм до 25 мм. Проводились численные исследования сквозного нагрева указанных труб до температур 800 °С, 1000 °С и 1200 °С с максимальной достижимой равномерностью распределения температуры как по длине заготовки, так и по толщине стенки.

Исследования проводились с помощью численного моделирования в среде анализа индукционных систем Universal 2D [5]. Целью расчетов была разработка рекомендаций для проектирования индукционной нагревательной установки труб длиной до 13 метров с производительностью установки до 5 тонн/час.

Индукционная нагревательная установка представляет собой систему из двенадцати цилиндрических индукторов. Между индукторами располагаются ролики, на которые загружается труба. Для обеспечения максимально однородного распределения температуры в конце нагрева труба совершает возвратно-поступательные движения по определенному алгоритму [6].

Первым этапом численного моделирования системы индуктор-заготовка стало определение оптимальной частоты тока для нагрева труб из всего требуемого диапазона. С этой целью были проведены численные эксперименты для определения зависимостей электрического КПД от частоты для нагрева заготовок из всего исследуемого сортамента. Расчет проводился для труб различного диаметра с различными толщинами стенок, что соответствовало в первом приближении

параметрам реальных заготовок. Графики зависимостей электрического КПД от частоты представлены на рисунке 2. Все зависимости имеют максимумы, которые находятся в диапазоне 50-150 Гц.

В связи с большой площадью поверхности трубы, имеющей максимальный диаметр (около 65 м^2), значительное влияние на возможность нагрева до требуемой температуры и эффективность нагрева оказывает тепловая изоляция. С этой целью проводились численные эксперименты по выяснению влияния толщины футеровки на тепловые потери. Расчеты проводились для трубы длиной 13200 мм максимального из заданных диаметров 1575 мм при толщине стенки 25 мм на частоте тока 150 Гц. Материал трубы - немагнитная сталь. Нагрев трубы осуществлялся с возвратно-поступательным движением трубы в установке из 12 одинаковых индукторов: длина

каждого индуктора по меди 800 мм, расстояние между индукторами 400 мм, общая длина нагревателя 14000 мм. В качестве материала футеровки использовалась минеральная вата на основе муллитокремнеземистого волокна (МКРВ) с теплопроводностью $0,15 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ (МКРВ-200). К каждому индуктору подводилась мощность в диапазоне от 100 до 300 кВт. Рассматривался процесс нагрева до $1200 \text{ }^\circ\text{С}$ при различных толщинах футеровки и различной мощности, подводимой к индуктору (рисунок 3). Вертикальная черта на Рис.3 показывает время нагрева для обеспечения необходимой производительности 5т/час. Рекомендуемая мощность каждого индуктора, необходимая для достижения заданной температуры, составляет около 200 кВт. Высокие энергетические показатели достигаются при толщине футеровки 50-60 мм.

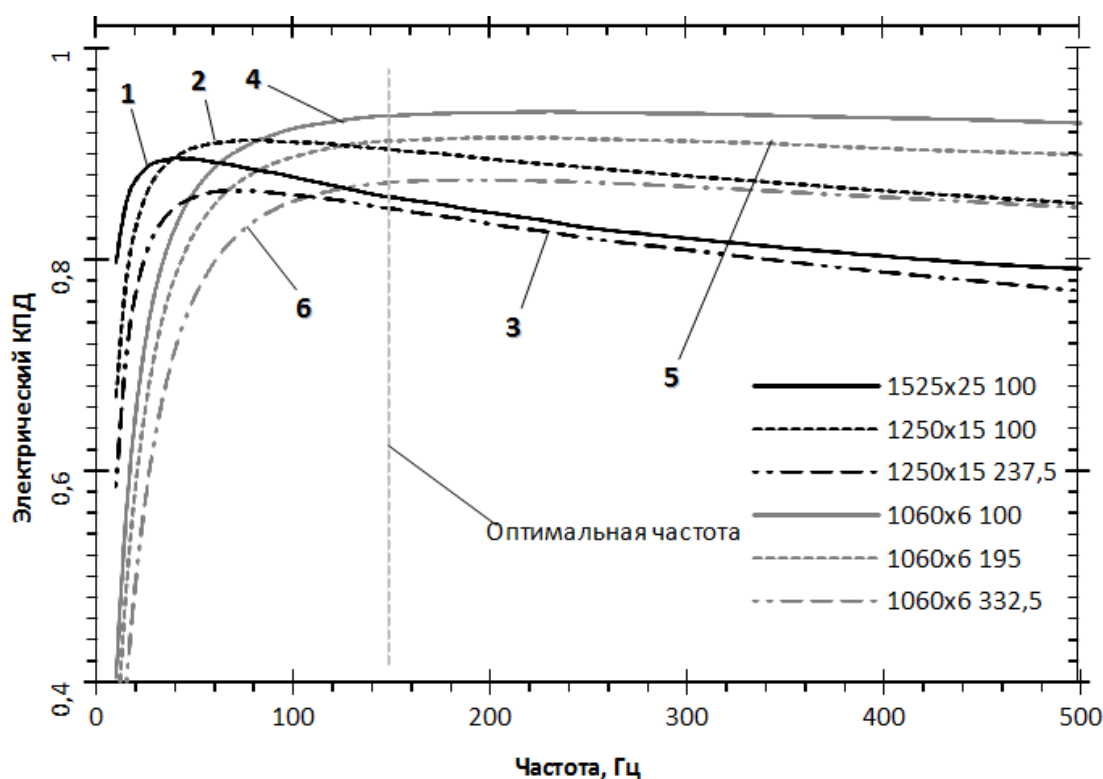


Рисунок 2 – Зависимость электрического КПД от частоты

1 – труба 1525x25 зазор 100мм; 2 – труба 1250x15 зазор 100мм; 3 – труба 1250x15 зазор 235мм; 4 – труба 1060x6 зазор 100мм; 5 – труба 1060x6 зазор 200мм; 6 – труба 1250x15 зазор 330мм

Технология индукционного нагрева длинномерных труб с возвратно-поступательным движением приводит к периодически повторяющемуся температурному полю с температурным перепадом, зависящим от скорости движения трубы. Целью исследований являлось определение скорости возвратно-поступательного движения, при которой температурный перепад снизится до приемлемых $10\text{-}20 \text{ }^\circ\text{С}$. С этой целью были проведены численные исследования нагрева трубы 1575×25 длиной

13200 мм до температуры $1200 \text{ }^\circ\text{С}$ при различной скорости движения. При скорости движения трубы 2 мм/с температурный перепад составлял $100 \text{ }^\circ\text{С}$ (рисунок 4). Увеличение скорости покачиваний до 5 мм/с позволило уменьшить температурный перепад до $20 \text{ }^\circ\text{С}$. При дальнейшем увеличении скорости покачивания с шагом в 1 мм/с температурный перепад уменьшается с шагом $0,4 \text{ }^\circ\text{С}$, т.е. зависимость величины температурного перепада от скорости покачивания становится линейной.

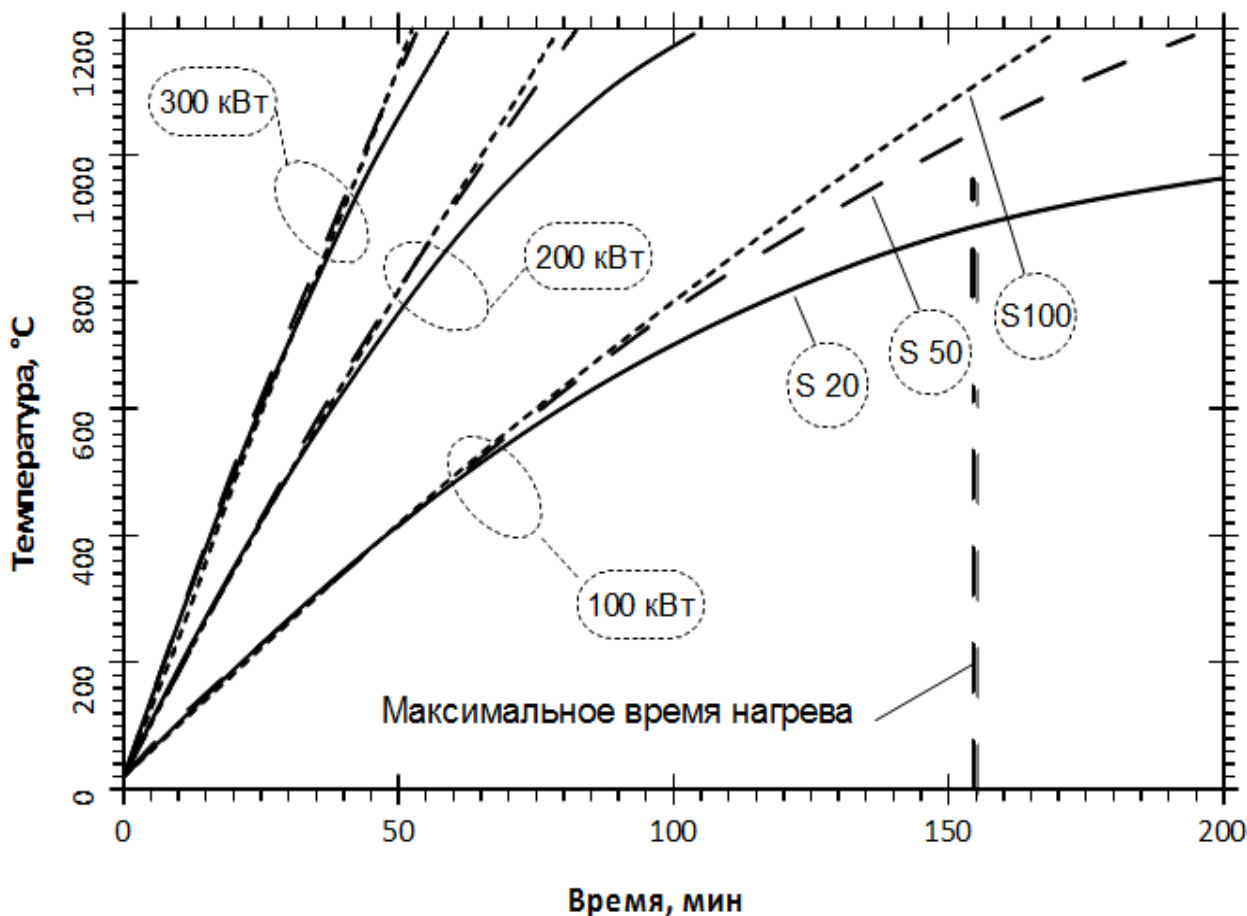


Рисунок 3 – Зависимость температуры трубы от времени нагрева при различных толщинах слоев футеровки из МКРВ и различной мощности, подаваемой на индуктор

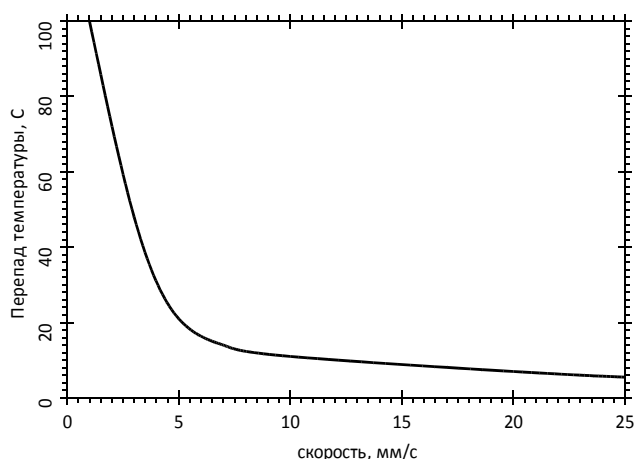


Рисунок 4 – Зависимость перепада температуры по длине трубы в регулярной части от скорости

Большое значение для практики индукционного нагрева труб с широкой номенклатурой диаметров труб имеет выбор количества сменных индукторов. Расчеты полного

КПД, приведенные на рисунке 5, показывают, что в одном индукторе невозможно нагреть с приемлемым КПД всю номенклатуру рассматриваемых труб. При двух сменных индукторах КПД при нагреве всей номенклатуры лежит в диапазоне 0.6-0.8, а при трех сменных индукторах – КПД находится в диапазоне 0.67 – 0.8.

Примерное расположение и состав оборудования для рассмотренной системы представлен на рисунке 6. Данная схема позволяет осуществлять перемещение трубы во время технологического процесса одновременно с вращением, что сильно уменьшает неизбежную неравномерность нагрева трубы связанную с «отсосом» теплоты в местах контакта её поверхности с транспортными роликами. Практические значения скоростей перемещения трубы в данной конструкции больше представленных минимальных расчетных значений. Так при угле косоугольного ролика в 5°, диаметре колеса 750мм и рабочей частоте его оборотов 10мин⁻¹ скорость перемещения трубы составит около 2000мм/мин (33,3мм/сек).

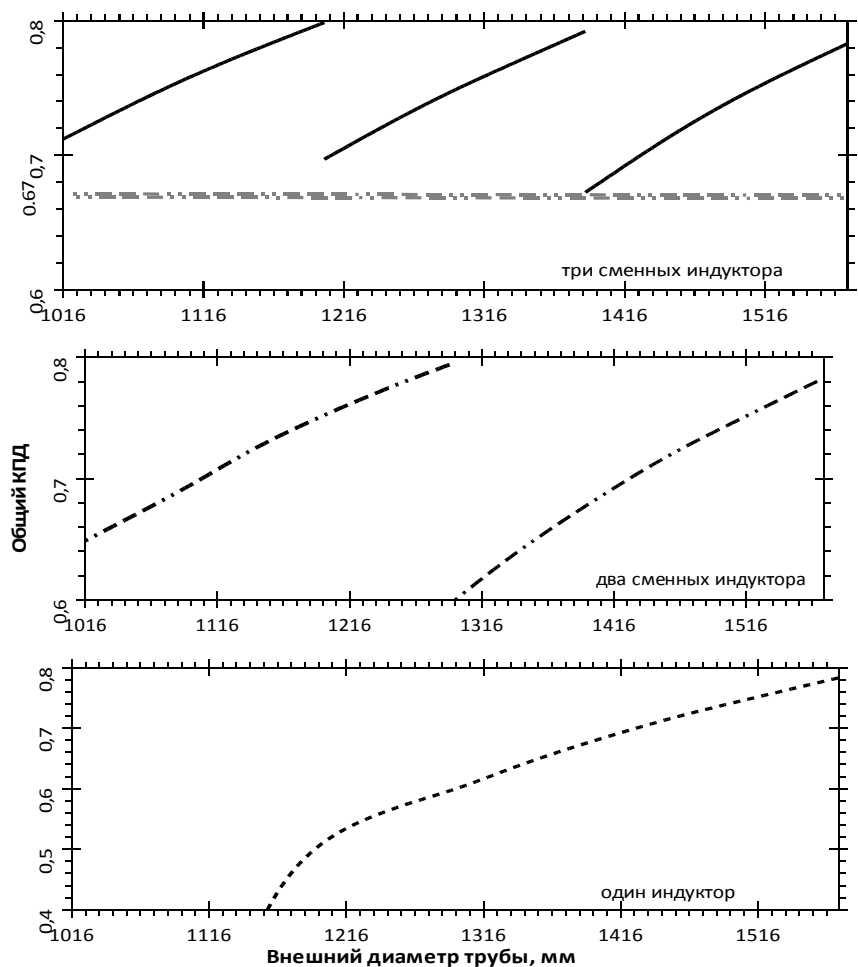


Рисунок 5 – Полный КПД индукционного нагревателя труб различного диаметра при использовании сменных индукторов

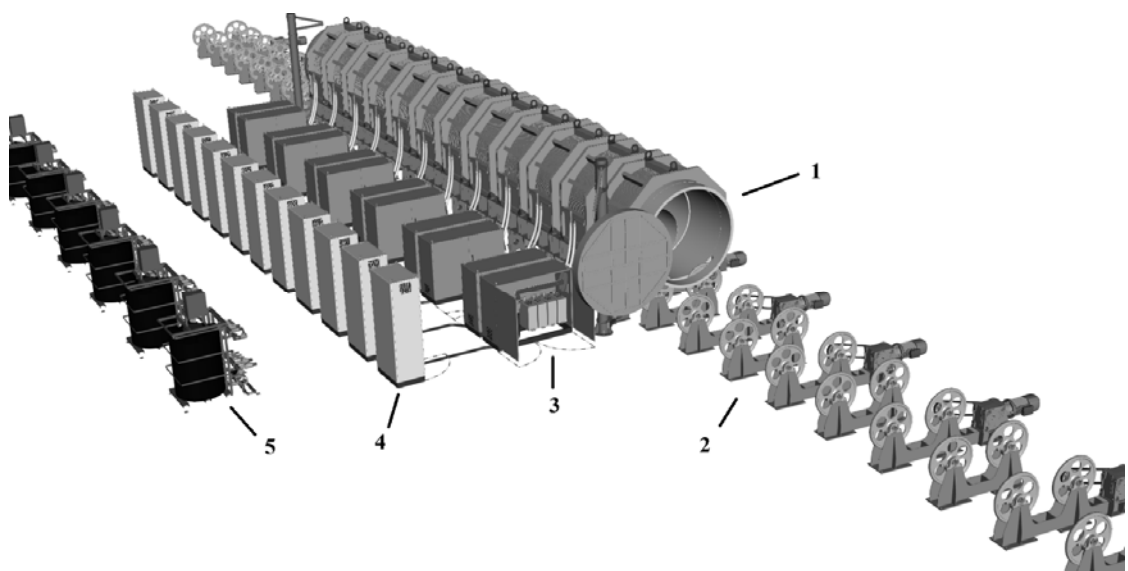


Рисунок 6 – Расположение и состав оборудования установки
 (1– система индукторов образующих общую камеру;
 2 – колесный рольганг (подача, выдача, осуществление технологического перемещения);
 3 – батарея конденсаторов(12шт.); 4 – преобразователи частоты(12шт.); 5 – станция охлаждения)

ВЫВОДЫ

1. Для каждого диаметра и толщины стенки труб существует оптимальная частота тока, при которой достигается максимум электрического КПД, выраженный в некоторых случаях довольно сильно. Поэтому при построении энергоэффективных систем индукционного нагрева труб особое внимание уделяется выбору частоты.

2. В условиях широкой номенклатуры диаметров и толщин стенки труб разработана процедура выбора числа сменных индукторов для гарантии нагрева любой трубы с электрическим КПД не ниже 10-15% от максимального.

3. При высокотемпературной термообработки из-за большой поверхности теплоизлучения особое внимание уделяется выбору футеровки. Поскольку температурные перепады по толщине стенки труб обычно не ограничивают мощность, то выбор мощности индукторов определяется не только производительностью, но и достижением высокого термического КПД.

4. Предложен новый способ термообработки труб в индукторах с возвратно-поступательным движением и схема размещения необходимого оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бернштейна М.Л. и Рахштадта А.Г. Металловедение и термическая обработка стали. Справочник в трёх томах // Москва «Металлургия», 1983. Том III С. 87.
2. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов // Москва «Энергоатомиздат», 1990. Том III С. 134-135.
3. Бодажков В.А. Индукционный нагрев труб // Ленинград. «Машиностроение», 1989. С. 14.
4. Андрушкевич В.В., Киреева Г.П., Севергин М.В., Меркушев А.А.. Автоматизация технологических процессов индукционного нагрева длинномерных изделий перед прокаткой или с целью термической обработки. Индукционный нагрев №1(7) март 2009. с.42
5. Демидович В.Б., Чмиленко Ф.В. Численное моделирование устройств индукционного нагрева. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. 158с.
6. Пат. №2333618, Российская Федерация, МПК H05B 6/02. Способ индукционного нагрева длинномерных заготовок/ В.Б. Демидович, В. А. Оленин, Ф. В. Чмиленко; опубл. 10.09.2008, Бюл. №25 – 5 с.