

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛИНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ ТРУБ НЕФТЯНОГО СОРТАМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

Титаев А.А.

*Руководитель – профессор кафедры Автоматики, ИРИТ-РТФ, д.т.н.,
Лисиенко В.Г.*

Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б.Н.Ельцина, г.Екатеринбург,
alexander.titaev@gmail.com

В данной работе проведено выявление причин появления брака при термообработке труб нефтяного сортамента в термоотделе цеха №4 ОАО “Первоуральский Новотрубный Завод”. На основании анализа статистики работы термоотдела сделан вывод, что брак произошел вследствие недогрева труб во время высокого отпуска в режимах, когда печь работает на предельной мощности. С помощью модели теплопереноса в печи была рассчитана максимальная температура трубы в конце зоны нагрева, что позволяет скорректировать технологические режимы с целью получения требуемых механических свойств.

Определяющее воздействие на прочностные и пластические свойства трубного продукта оказывает этап термообработки. Для получения требуемых механических свойств труб нефтяного сортамента используется два вида термической обработки: нормализация и улучшение (закалка с последующим высоким отпуском). Нормализация применяется для получения труб низких групп прочности (например, группа К), тогда как термоулучшение применяется для получения продукта с высокими прочностными свойствами[1].

Одним из ключевых этапов термоулучшения является высокий отпуск (500–750°C) труб, прошедших закалку. Задача оптимизации технологического процесса состоит в получении требуемых механических свойств после отпуска при одновременной максимизации производительности линии термообработки в целом[2].

Составляющими линии термообработки труб в термоотделе цеха №4 ОАО “Первоуральский Новотрубный Завод” являются: печь нагрева труб под закалку, закалочная спрерная установка, печь высокого отпуска, вспомогательные системы транспортировки труб (транспортеры, столы нормализации и т.п.).

Максимальный диаметр труб, обрабатываемых термоотделом цеха №4, равен 219мм. Термообработка данной группы сортамента зачастую

сопряжена с выходом печи отпуска на максимальную мощность и достижением максимальной проектной производительности 28т/ч. Однако, как показал статистический анализ результатов термообработки за 2013-2014гг, при этом не всегда обеспечивается поддержание нужных температур в зонах управления, а образцы, взятые из партии труб, не всегда проходят контроль механическими испытаниями.

В качестве экспериментальной базы исследования предельных режимов работы печи отпуска был проведен анализ статистики работы термоотдела за 2013-2014гг. Было обнаружено, что для режимов, выводящих печь на максимальную мощность, характерно появление отклонений механических свойств труб: часть партий не проходит по параметру ударной вязкости (фактические значения ниже минимально допустимых $10 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{см}^2$), эти же партии не проходят по значению доли вязкой составляющей в изломе ударных образцов. Также есть партии, не проходящие по значению предела текучести (фактические значения данного параметра выше максимально допустимого значения $48 \text{ кгс}/\text{мм}^2$).

Проанализировав причины несоответствия механических свойств образцов, полученных после термоулучшения, можно сделать вывод, что брак при термообработке произошел вследствие недогрева либо малой изотермической выдержки труб во время отпуска.

График зависимости фактической температуры печи от производительности показан на рис.1.

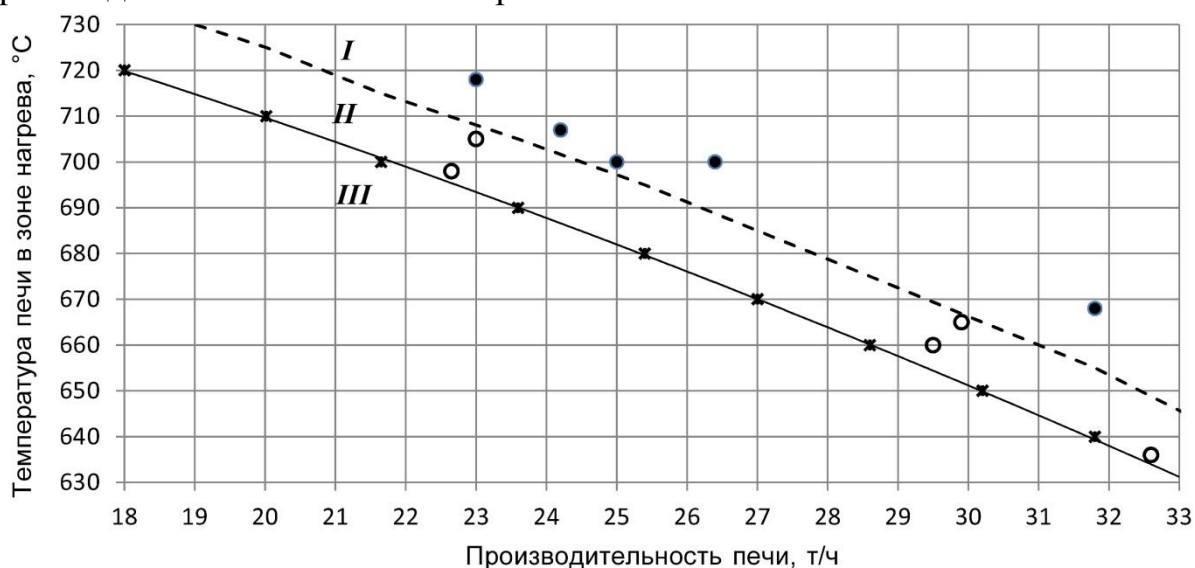


Рис.1. Зависимость температуры печи от производительности при предельных режимах работы печи. Закрашенные точки – режимы группы 1, незакрашенные – режимы группы 2. I – область, в которой печь не обеспечивает температурный режим; II – область, в которой печь работает на предельном режиме; III – область, в которой печь может обеспечивать заданный температурный режим;

Фактические режимы отпуска были условно разбиты на две группы:

Группа 1 – режимы, в которых две центральные подзоны регулирования работают в режиме диапазона мощности 90..100%.

Группа 2 – режимы, в которых только одна из подзон регулирования достигла 100% мощности.

Среднее отклонение фактической температуры печи в зоне нагрева от заданной для группы 1 составляет 5°С, а для группы 2 – 2°С.

Зависимость температуры трубы в конце зоны нагрева от заданной температуры печи в зоне нагрева определялась как экспериментально, так и с использованием математического моделирования. В процессе моделирования была построена трехмерная модель внутripечного пространства зоны нагрева печи отпуска, в которой были рассчитаны температурные поля, определяемые совокупностью механизмов теплопередачи: излучением, конвекцией, теплопроводностью. Также расчёт велся по гидродинамической составляющей, что позволило определить поле скоростей движения газов. В качестве ограничения мощности подзон регулирования было принято ограничение подачи топлива во внутripечное пространство в виде постоянного расхода газа в двух центральных подзонах регулирования. В качестве варьируемого параметра, позволяющего настроить модель был принят расход топлива в периферийных подзонах регулирования. Модель была верифицирована на нескольких режимах из статистики работы термоотдела за 2013-2014гг. Результат моделирования обобщен на рис.2.

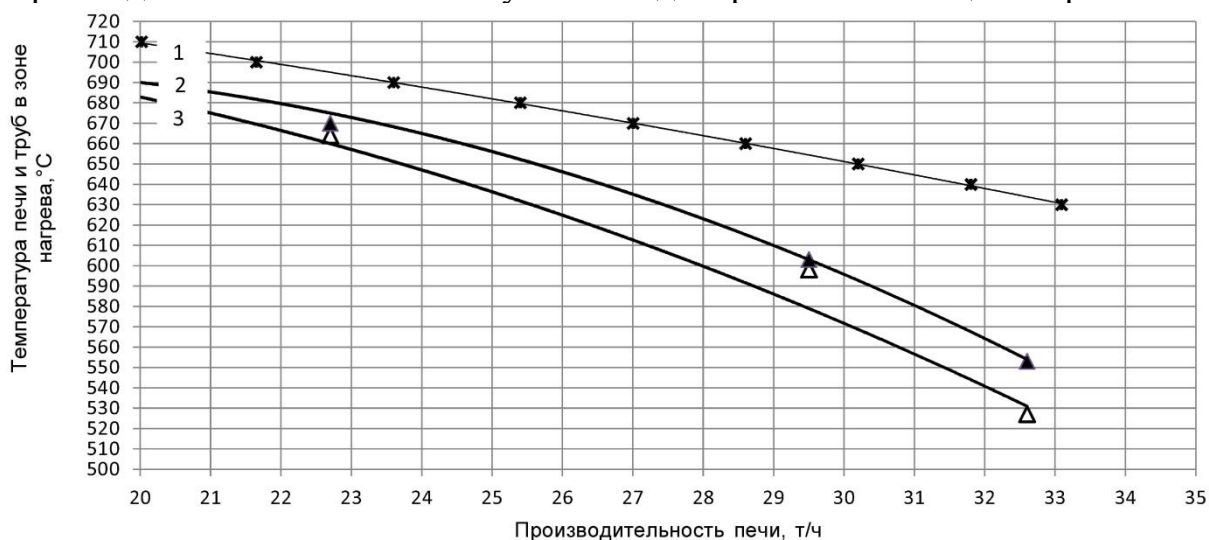


рис.2. Зависимость предельных температур печи отпуска и соответствующих им температур центральной части трубы от производительности. Линия 1 – температура печи в зоне нагрева; линии 2 и 3 – температуры трубы, соответствующие средним длинам труб 10м и 8м соответственно; точки – фактические (незакрашенные) и расчетные (закрашенные) средние температуры труб для нескольких реальных режимов.

По данному рисунку можно оценить диапазон температур, в котором будет находиться температура труб в конце зоны нагрева при предельном

режиме работы печи. Температура труб будет определяться производительностью печи, и лежать между линиями 2 и 3.

Таким образом, в данной работе проведен анализ работы термоотдела ОАО “ПНТЗ”, выявлены случаи брака и определены его причины. В результате анализа получена экспериментальная зависимость максимальной температуры в печи от производительности, которая была подтверждена математическим моделированием. С помощью модели теплопереноса в зоне нагрева печи отпуска была рассчитана максимальная температура трубы в конце зоны нагрева, что позволяет скорректировать имеющиеся технологические режимы с целью получения требуемых механических свойств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали.- М: Металлургия, 1985.-408с.
2. Гуляев А.П. Металловедение.-М: Металлургия, 1986.- 544с.