

## Контроль высокотемпературной термической обработки стального проката

А. А. Улановский<sup>1</sup>, М. Тааке<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО "Обнинская термоэлектрическая компания" (г. Обнинск, Россия), otc@obninsk.com,

<sup>2</sup>ДАТАПАК, ГмбХ (г. Влото, Германия), michael.taake@datapaq.de

### Аннотация

В статье описан способ контроля температурного профиля термической печи с помощью автономной системы измерения температуры Furnace Tracker производства фирмы ДАТАРАК. Описаны основные технические характеристики составных частей системы. Система позволяет получить информацию о нагреве изделия в каждой зоне печи и оценить соответствие процесса термической обработки технологическим стандартам и качество конечного продукта. Приведены результаты измерений температурного поля при предварительном подогреве стального сляба в проходной печи. Система значительно упрощает процесс периодической аттестации печей по однородности температурного профиля. Программное обеспечение позволяет создать банк данных предприятия по всем технологическим процессам термической обработки.

Контроль температуры и температурных полей в процессах термической обработки стального проката в проходных или камерных печах очень важен для получения высококачественного конечного продукта и оптимизации затрат электроэнергии или энергоносителей.

Целью настоящей статьи является демонстрация относительно простого в применении, но надежного и точного способа контроля температурного профиля печи термообработки с помощью автономной системы измерения температуры Furnace Tracker. Фирма ДАТАРАК, имея 25-летний опыт работы, является ведущим мировым изготовителем таких систем. Основная их особенность заключается в том, что регистратор данных находится внутри печи (или проходит через нее) и защищен от воздействия температуры высокоэффективным термозащитным контейнером. С помощью сравнительно коротких кабельных термопар, выведенных из теплоизоляции, может быть измерена температура в контрольных точках печи для определения температурного поля на предмет соответствия технологическим стандартам, либо температура самих изделий в течение всего процесса термообработки. Таким образом, потребитель достаточно быстро получает надежные данные о температурных режимах оборудования, необходимые для системы контроля качества и безопасности технологического процесса.

Системы контроля процессов в печи Furnace Tracker являются модульными (рис.1) и могут конфигурироваться в зависимости от характеристик процесса и требований Заказчика.



Рис. 1 Компоненты системы контроля процессов в печи FURNACE TRACKER

Ядром системы всегда является автономный регистратор данных модели Траq21, у которого 8 или 10 измерительных каналов могут использовать один из 6 возможных типов термопар (рис.2), а точность измерения термоЭДС до  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  отвечает самым строгим требованиям.



Тип ТП по ГОСТ 6616-94	J 1 кл.	K 1 кл.	N 1 кл.	R 2 кл.	S 2 кл.	B 2 кл.
Диапазон рабочих температур, $^{\circ}\text{C}$	0..800	0..1300	0..1300	0..1600	0..1600	0..1700
Погрешность термопары, %	0,4	0,4	0,4	0,25	0,25	0,25
Погрешность измерения термоЭДС, $^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,7$	$\pm 0,8$	$\pm 1,0$

Разрешение во всех случаях равно  $0,1^{\circ}\text{C}$

Рис.2 Регистратор данных Траq21 и типы входных сигналов термопар

Электроника регистратора рассчитана на длительную работу при температуре  $110^{\circ}\text{C}$ . Перед использованием, оператор программирует регистратор с помощью компьютера, задавая момент начала работы, число термопар и частоту опроса каналов. При этом имеется очень важная возможность изменить частоту опроса каналов в заданный момент времени, или по достижении определенной температуры, если в процессе термообработки происходит резкий нагрев или охлаждение(закалка) изделия. Таким образом возможно получить детальную картину быстропротекающего переходного процесса. Память регистратора рассчитана на 130000 измерений температуры. Питание регистратора автономное от перезаряжаемого аккумулятора ( $70^{\circ}\text{C}$ ) или от высокотемпературных литиевых батарей ( $110^{\circ}\text{C}$ ).

В качестве датчиков температуры обычно используются гибкие кабельные термопары типов K (ХА) или N(НН) в металлической оболочке из жаростойких сплавов Инконель или Никробель 1-ого класса точности с погрешностью измерения температуры не более 0,4%. Наружный диаметр кабельных термопар 1,5 или 3,0 мм. При использовании термопар на предельных температурах они используются однократно для исключения роста погрешности при повторной эксплуатации вследствие дрейфа термоЭДС. Для особых случаев (например, аттестации высокотемпературных печей) возможно также использование термопар из драгоценных металлов с погрешностью измерения температуры не хуже 0,25%. Для точного измерения температуры изделия в процессе нагрева термопары заделываются внутрь стального сляба(листа) и дополнительно защищаются от прямого воздействия пламени горелок (рис.3).



Рис.3 Заделка кабельных термопар в стальной сляб.

Для защиты регистратора от воздействия высоких температур в процессе эксплуатации, перед проведением измерений он помещается в термозащитный контейнер, внутри которого рабочая температура регистратора не превышает 110 °С. Теплозащита обеспечивается с помощью барьера-испарителя, заполненного водой, и наружного волокнистого теплоизоляционного материала (рис.2). Для менее напряженных процессов барьер-испаритель может не применяться, но регистратор комплектуется контейнером с теплопоглотителем (соль с температурой плавления +70°С). Всего разработано более 200 видов термозащитных контейнеров для различных условий эксплуатации, в т.ч. способные обеспечивать рабочую температуру регистратора в течение 6 ч при температуре 1300°С при габаритах 260x470x625 мм (рис.4), а также защищать регистратор в вакуумных печах (до 1200°С) в процессах цементации, нитроцементации и последующей закалки в газе (охлаждение гелием или азотом) при давлении до 20 бар (рис.5).

Любая система DATARAQ в качестве опции может быть оснащена приемно-передающим устройством, работающим на общепринятой промышленной частоте сигнала 433 МГц. В этом случае оператор может наблюдать за температурой процесса в режиме реального времени на экране компьютера. Это актуально для длительных процессов термообработки, когда может появиться необходимость оперативно воздействовать на процесс во время замеров температурного поля. Вопреки распространенному мнению телеметрия возможна также и из герметично закрытого пространства печи, например, вакуумной.



Рис.4 Контейнер с радиотелеметрией.



Рис.5 Контейнер для вакуумной печи

Виды термозащитных контейнеров для предельных уровней температур.

После выхода из печи термозащитный контейнер с регистратором данных переносится в зону охлаждения (рис.6), наружная теплоизоляция сразу снимается, и регистратор данных может быть вытянут из контейнера за термопары. Экспериментальный сляб (лист) должен медленно остывать, чтобы не испытывать механических деформаций. Это позволит использовать его неоднократно для исследования печей.

Информация о нагреве изделия в каждой зоне печи до заданной температуры позволяет судить о соответствии процесса технологическим стандартам и качестве конечного продукта. Главным инструментом в решении этой задачи является оригинальный пакет программного обеспечения Insight Software, разработанный фирмой DATARAQ. Функции импорта и экспорта данных позволяют производить обмен данными между регистратором и компьютером оператора, а также с компьютером управления печью. Программа позволяет проанализировать полученные данные быстро и точно, имеет очень дружелюбный и интуитивно понятный пользователю интерфейс (с 2007 года на русском языке, рис.7).

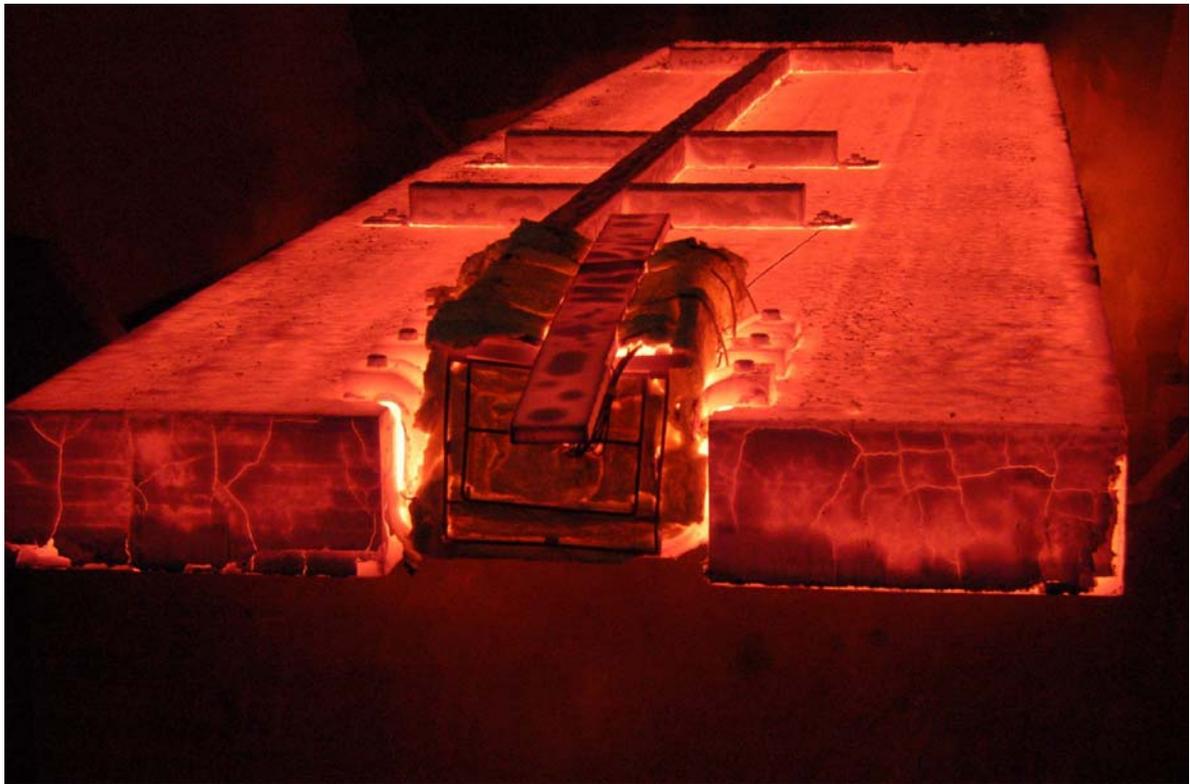


Рис.6 Система Furnace Tracker после выхода из печи



Рис.7 Окно настройки процесса.

Пользователь может сразу оценить весь температурный профиль печи, в т.ч. в трехмерном изображении, а также увеличить и рассмотреть в деталях любую его специфическую часть, в заданный промежуток времени, определить момент перехода заданных порогов температуры, скорость роста или падения температуры по зонам печи. Генерируется полный отчет о процессе с комментариями оператора. Каждая печь и изделия могут быть подробно

описаны в программе при подготовке к эксперименту, в последующем оператор всегда может сравнить новые данные по конкретной печи и изделию с ранее полученными. Создается банк данных предприятия по всем технологическим процессам термообработки.

На рис.8 приведены результаты предварительного подогрева экспериментального сляба(рис.3) в проходной печи на одном из европейских заводов-партнеров фирмы DATAPAQ. На экране компьютера визуализированы кривые роста температуры по восьми термопарам, установленных в разных точках сляба на глубину 20 мм. Габариты сляба 8000x1550x230 мм.

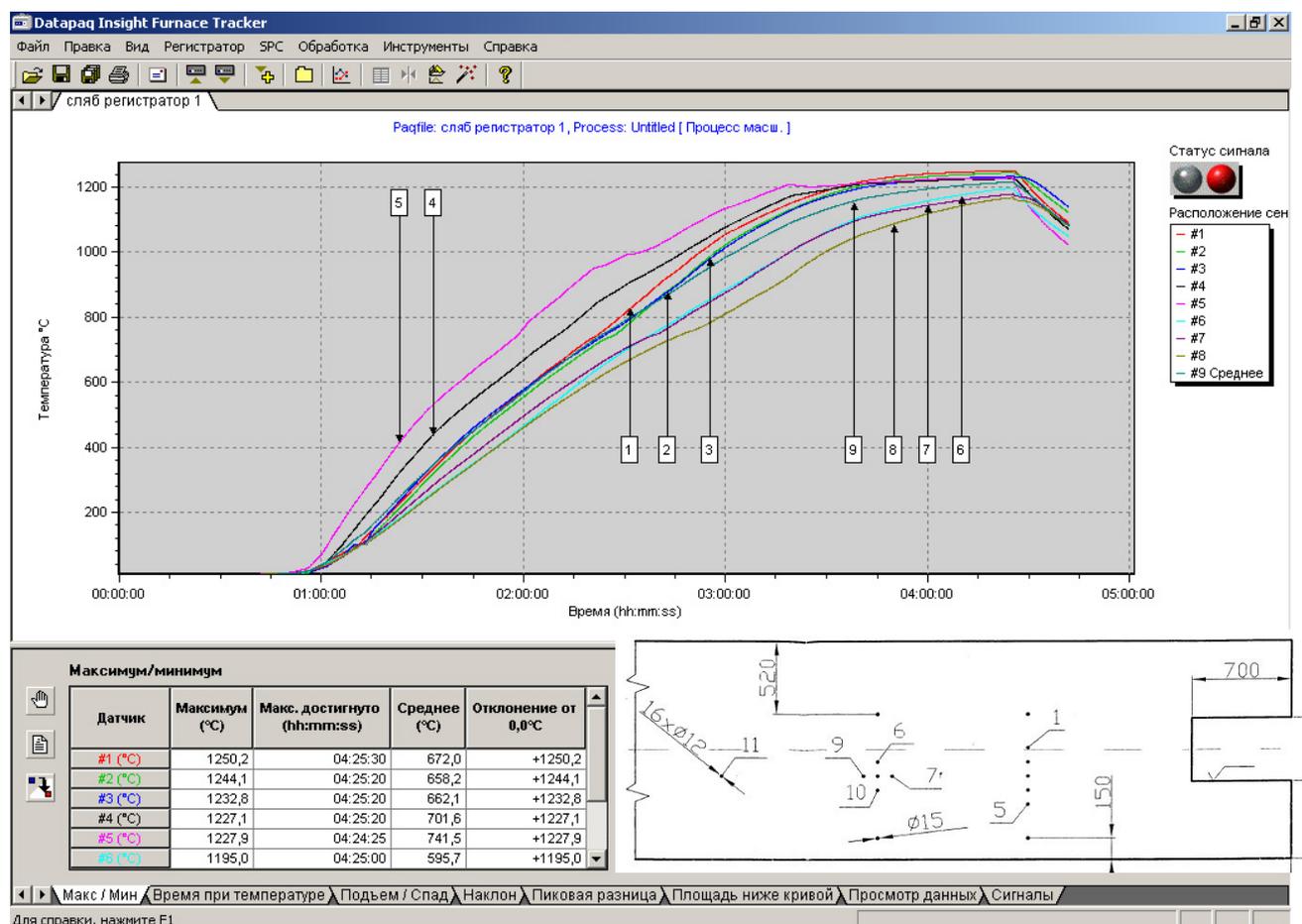


Рис.8 Пример температурного профиля при нагреве сляба в печи и схема размещения термопар 1-8 на слябе.

Отчет о процессе (рис.9) полностью соответствует стандартам ISO 9001. Число обрабатываемых измерительных каналов может достигать 20. С помощью программного обеспечения Insight Software пользователь может самостоятельно определить следующие параметры процесса: скорость изменения температуры по времени, площадь под температурной кривой (количество полученного тепла), градиенты подъема/спада температуры, сравнение двух и более температурных кривых, сравнение полученных кривых с кривыми технологического допуска, время достижения различных значений температуры, анализ пиковых значений и т. д.

В конечном счете, с помощью системы Furnace Tracker Вы можете оценить эффективность процесса нагрева в целом, сравнить энергозатраты по разным печам или изделиям, проверить соответствие процесса технологическим допускам, а также получить полное объективное представление о работе новой печи, или печи после ремонта(модернизации).

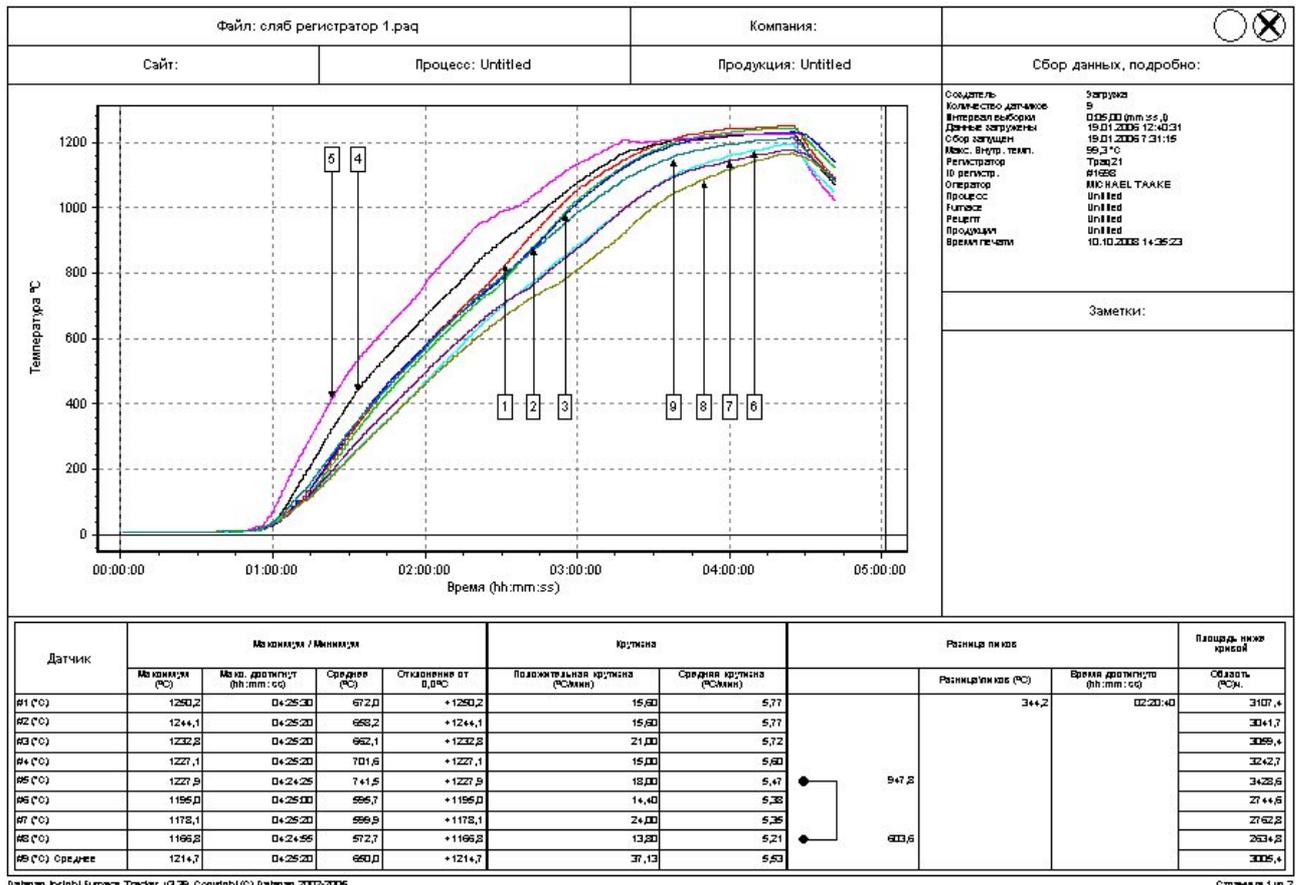


Рис.9 Отчет о процессе

Таким образом, система контроля температурного профиля фирмы DATARAQ представляет собой мощное средство инструментального технологического контроля при термообработке стального проката (слябов, листов, труб и т.п.) в широком диапазоне температур. Она также широко применяется в алюминиевой промышленности, машиностроении, производстве керамических и стекло- изделий, процессах пайки, сушки и т.п.

Данная система позволяет проводить периодическую аттестацию туннельных (проходных) печей на производствах с внедренными системами менеджмента качества. В настоящее время она эксплуатируется в России на производстве алюминиевого проката ALCOA (г.Белая Калитва), Каменск-Уральском металлургическом заводе, ОАО «ГАЗ», кирпичных заводах «Wienerberger» (Владимирская обл.), Голицынском керамическом заводе, Борском стекольном заводе, Джонсон Метью Катализаторы (Новосибирск) и др.