

В. М. КОНСТАНТИНОВ, канд. техн. наук (БНТУ),
П. С. ГУРЧЕНКО, д-р техн. наук (РУП «МАЗ»),
В. А. СТЕФАНОВИЧ, канд. техн. наук,
Т. Н. СТРИЖЕВСКАЯ (БНТУ)

К ПРОБЛЕМЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Проблема снижения энергоемкости продукции в металлургии и машиностроении и повышения качества термической обработки сталей в современных условиях – чрезвычайно актуальна [1, 2]. В машиностроении и металлургии важнейшим фактором, оказывающим влияние на качество и долговечность деталей, является их термическая обработка, при этом в структуре себестоимости многих изделий машиностроения термообработка занимает существенное место. Парк используемого термического оборудования морально и физически устарел: в эксплуатации находятся электропечи, ресурс которых давно выработан, а многие из них технически несовершенны: имеют устаревшие теплоизоляционные материалы, технически отсталые системы управления нагревом и температурой в рабочем пространстве. Все это сказывается на энергоэффективности термических производств машиностроительных предприятий. Большая часть оборудования не обеспечивает ни уровня, ни стабильности качества изделий, так как находится на грани полного износа, что приводит к большим издержкам на его ремонт и содержание. В то же время известно, что точность регулирования температуры и ее распределения по рабочему пространству печи, поддержания заданного химического состава и циркуляции печной атмосферы, скорость перемещения деталей, температурно-временные параметры нагрева определяют качество упрочняемых деталей.

В настоящей работе выполнено обследование топливной двухзонной толкательной термической газовой печи РУП «БМЗ». Результаты обследований показали, что печь эксплуатируется более 40 лет, теплоизоляция печи находится в неудовлетворительном состоянии. Так, исследование температурных полей кожуха печи показало, что температура дверки выгрузки печи в разных точках ко-

леблется от 280 до 350 °С; зоны расположения горелок имеют температуру +(200–280) °С; боковые стенки +(120–180) °С; свод +(120–250) °С, что свидетельствует о высоких теплотерях (рис. 1).

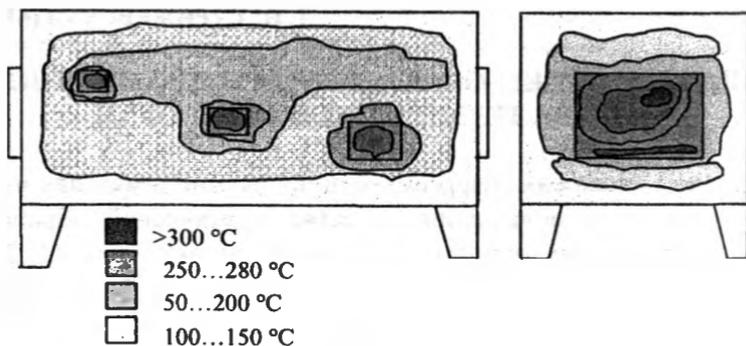


Рис. 1. Распределение температуры по кожуху печи

Высокие значения температуры кожуха заслонки разгрузки вызывают на неудовлетворительную теплоизоляцию и, как следствие, образование «холодной» зоны в рабочем пространстве у окна выгрузки. Детали из стали 45, перемещаясь на поддонах с темпом толкания 20 мин в первой зоне, нагреваются до температуры закалки 840–850 °С, в начале второй зоны – до 900 °С и возможно выше, что вызывает рост зерна аустенита до второго-третьего балла. Попадал в холодную зону у окна выгрузки, изделия охлаждаются до температуры неполной закалки стали 45 (~760–780 °С), что приводит к выделению феррита по границам крупных зерен аустенита. Фактическое распределение температуры по зонам рабочего пространства печи показано на схеме (рис. 2).

Выполнен анализ качества термической обработки некоторых деталей из среднеуглеродистых сталей в условиях агрегатов, функционирующих на Минском автомобильном заводе. Анализ структуры термообработанных деталей из стали 45 показал следующее:

- структура до термической обработки имеет феррито-перлитную смесь с баллом зерна 7–8; (рис. 3, а);
- периодически после термической обработки структура деталей представляет собой сорбит, окаймленный ферритом с баллом зерна 2–3 (рис. 3, в).

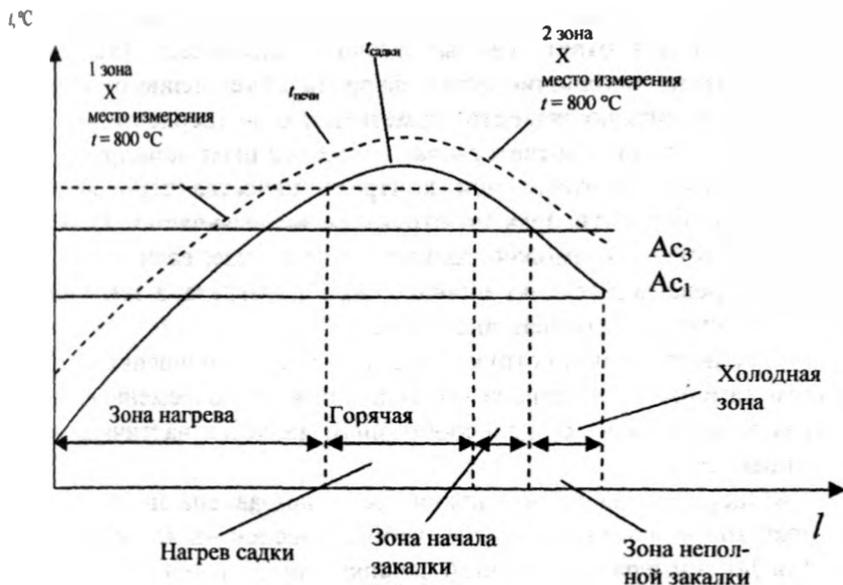


Рис. 2. Схема распределения температуры по длине рабочего пространства печи и садке, приводящая к браку

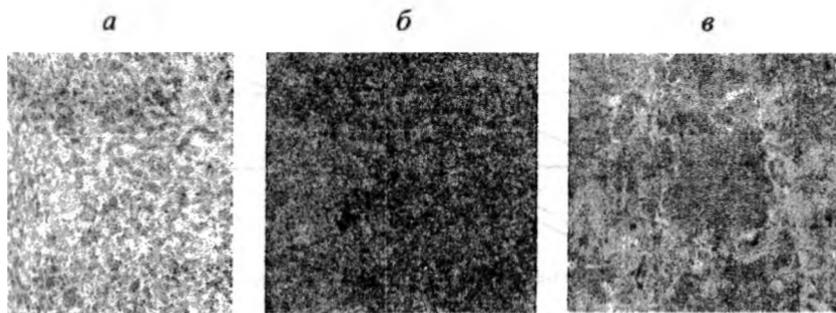


Рис. 3. Микроструктура детали из стали 45 ($\times 400$): а – исходная в состоянии поставки; б – эталонная структура после улучшения (закалка с температурой выше A_{c3} на 30–50 °C в масло + высокий отпуск в воду); в – перегрев и неполная закалка

Структура после термической обработки (рис. 3, в) является недопустимой для ответственных деталей автомобиля [3], так как крупное зерно и наличие сетки феррита обуславливают высокую хрупкость и низкую вязкость. Отметим, что по твердости указанная структура может соответствовать требованиям конструкторской документации. Поэтому при контроле качества термообработки только по твердости брак по структуре не выявляется. Получение такой структуры возможно только в том случае, если сталь в процессе нагрева под закалку вначале была перегрета, а затем подстужена до температуры неполной закалки.

Устранить брак по структуре стали после улучшения возможно путем замены устаревшего оборудования на современное. В ряде случаев экономически целесообразным является частичная модернизация печи.

Модернизация печи должна быть направлена на ликвидацию «горячей» и «холодной» зон, чтобы обеспечить плавный нагрев садки до температуры полной закалки стали и получение требуемой структуры сорбита отпуска (рис. 3, б) без включений феррита (рис. 4).

Распределение температуры по длине печи и в садке должно соответствовать графику, приведенному на рис. 4.

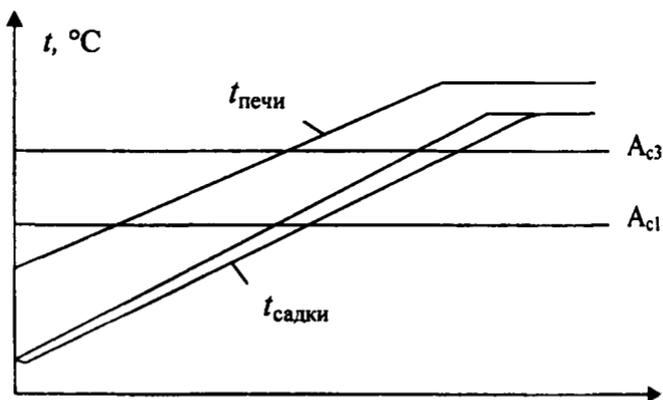


Рис. 4. Схема оптимального распределения температуры по рабочему пространству печи и садке

Модернизация печи предполагает применение современных огнеупорных и теплоизоляционных материалов, выполнение местной теплоизоляции горячих зон кожуха (например, места подвода термомпар, расположения горелок). Обязательным является замена газопоролочной системы печи и установка или модернизация имеющейся системы рекуперации теплоты. Далее следует оптимизация температурно-временных параметров термообработки.

Для определения эффективности модернизации анализируемой печи был выполнен теплотехнический расчет тепловой работы печи. Данные по теплотехническому расчету приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Тепловой баланс толкательной газовой печи

| Статьи | Приход теплоты, кВт | | Статьи | Расход теплоты, кВт | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------|
| | Базовый вариант | Проектный вариант | | Базовый вариант | Проектный вариант |
| Сжигание газа | 443 | 238 | Нагрев металла | ~70 | ~70 |
| Подогрев воздуха, 400 °С | – | 33 | Нагрев тары | ~29 | ~29 |
| | | | Потери через кладку | ~117 | ~48 |
| | | | Потери излучением | ~1 | ~1 |
| | | | Теплота, уносимая дымовыми газами | 218 | 118 |
| | | | Неучтенные потери | 8 | 5 |
| Итого | 443 | 271 | | 443 | 271 |

Таблица 2. Теплотехнические показатели толкательной топливной печи

| Показатель | Базовый вариант | Проектный вариант |
|---|-----------------|-------------------|
| Расход энергии на нагрев 1 кг детали, кДж | 3700 | 1983 |
| Расход газа, м ³ /с | 0,021 | 0,0114 |
| КПД, % | 15 | 29 |

Как видно из таблиц, тепловая модернизация печи позволит сократить количество энергии на нагрев одной детали и расход газа не менее чем на 80 %, увеличить КПД в 1,8 раза при очевидном повышении качества термообработки деталей.

Выводы

1. Неудовлетворительное состояние парка термического оборудования приводит не только к неоправданному расходу энергоресурсов, но и к низкому качеству термической обработки деталей и появлению брака. Контроль качества термообработки только по твердости не обеспечивает полной достоверности определения физико-механических свойств упрочняемых изделий, их надежности и долговечности при эксплуатации. Использование эталонных шкал структуры и контролирование параметров структуры по данным шкалам позволяет выявить нарушение теплового режима нагревательного оборудования и брака по микроструктуре.

2. Периодическое обследование термических печей с занесением данных в паспорт эксплуатации оборудования позволяет на начальных стадиях определить проблемные места печей и оперативно начать работы по сохранению оптимального теплового режима и энергосбережению.

3. Наряду с установкой современного термического оборудования экономически оправданной является модернизация термических печей. Глубина модернизации может быть различной, соизмеримой с возможностями предприятия. Модернизация печей с использованием современных огнеупорных и теплоизоляционных материалов, топливосжигающих устройств позволит сократить потребление топлива более чем в 1,8 раза, сократить количество брака при термической обработке и повысить качество упрочняемых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ конструкций и работы современных нагревательных печей, применяемых для нагрева цилиндрических заготовок в трубопрокатном производстве / В. И. Тимошпольский [и др.] // *Металлургия: сб. науч. тр.* – 2007. – Вып. 30. – 2007. – С. 3–15.

2. *Тимошпольский, В. И.* Концепция реконструкции и модернизации парка нагревательных печей металлургических и машиностроительных предприятий Республики Беларусь / В. И. Тимошпольский, М. Л. Герман // *Литье и металлургия.* – 2007. – № 2. – С. 21–28.

3. *Термическая обработка в машиностроении: справ.* / под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштата. – М.: Машиностроение, 1980. – 784 с.