

энергетических параметров на энергозатраты термостатирования металла в индукционных тигельных печах. Режимы позиционного и непрерывного термостатирования расплава в печах за счет оптимальных значений массы расплава в тигле, температуры непрерывного термостатирования, ширины зоны нечувствительности позиционного термостатирования и напряжения на индукторе обеспечивают снижение общих и удельных энергозатрат соответственно на 38; 76% и 65; 54%. Рекомендованный, связанный с заполнением тигля, выбор позиционного или непрерывного термостатирования металла соответственно снижает общие и удельные энергозатраты не менее, чем на 12 и 58%.

Новые процессы позволяют уменьшить удельные энергозатраты и поднять производительность печей, соответственно на 20-40 и 40-50%. Например, минимально возможные удельные энергозатраты при выплавке и перегреве до 1400 °С чугуна в печах типа ИЧТ-10 с мощностью 2,5 МВт достигают 434 (кВт·ч)/т. Разработки способствуют повышению ресурса футеровки за счет изотермической эксплуатации печи и оптимального, связанного с температурой термодинамического равновесия основной металлургической реакции, значения температуры термостатирования, уменьшающего ошлакование и разгар тигля. Процессы внедрены на отечественных и зарубежных предприятиях металлургии машиностроения.

УДК 536.4

**Л. Ф. Жуков, Д. А. Петренко, А. Л. Корниенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, г. Киев

### **ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ МЕТАЛУРГИИ**

Измерения основного технологического параметра – температуры доминируют в структуре метрологического обеспечения металлургии. Интенсивность и время температурного воздействия на основные и вспомогательные материалы определяют качество металлопродукции и ресурсозатраты на ее производство. Из-за несовершенства или отсутствия температурного контроля металлургических процессов значительно повышается брак готовой продукции, расход шихтовых и футеровочных

материалов, энергозатраты в 1,5-2,0 и более, раз превышают возможные. Ведущие зарубежные предприятия связывают основные успехи в повышении качества металлопродукции и эффективности производства с новыми достижениями в области температурного контроля и оптимального управления тепловыми технологическими процессами. Термометрические технологии, особенно высокотемпературные, являются наукоемкими и на мировом рынке высоко ценятся. Обычно цены значительно превосходят их себестоимость и определяются монополией промышленно развитых стран Западной Европы, США и Японии.

Бурное развитие измерительной техники в металлургии за последние 35 лет было вызвано потребностями создания новых автоматизированных технологических процессов для получения высококачественной металлопродукции при минимальных ресурсозатратах. Например, в Японии значительный рост использования средств измерительной техники в металлургии наблюдается с 1984 г. При этом основное внимание уделяется развитию средств температурного контроля (Рис.1).

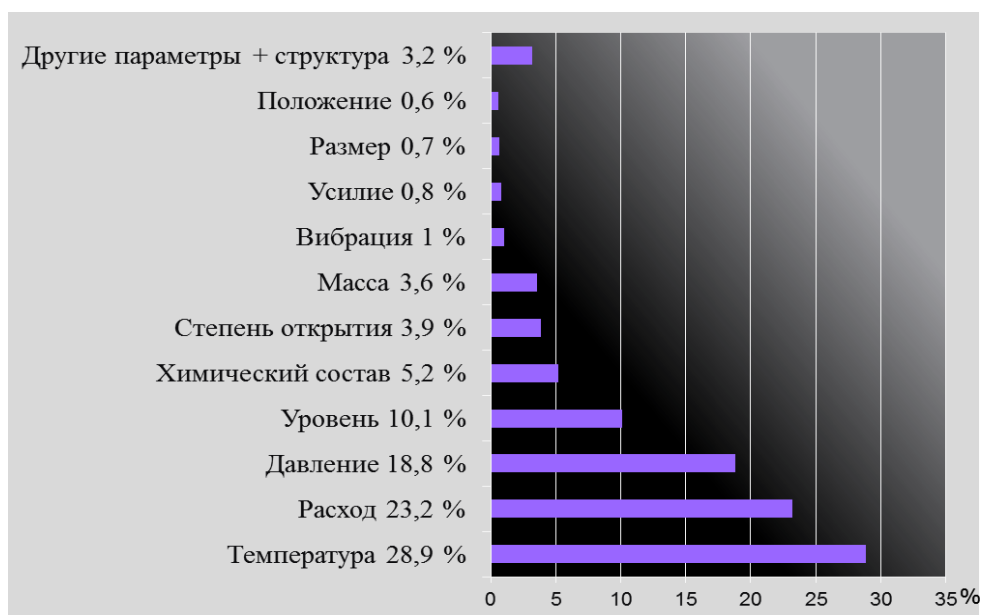


Рис.1. Структура метрологического обеспечения предприятий Кавасаки Сэйтецу (Япония).

Приведенная структура метрологического обеспечения металлургии практически не изменяется на протяжении последних 45 лет. Развитие термоконтроля оценено по количеству публикаций, посвященных разработке методов и средств измерений температуры, а также их практическому использованию. Проанализировано 2915 работ, из них 2,2% составляют диссертации, 5,8% – монографии, 71,4% – статьи в периодических изданиях и тезисы докладов, 20,6% – патенты. Оптический и

термоэлектрический термоконтроль доминирует в металлургии. Оптические методы реализуются на базе различных «классических» пирометров излучения, а также световодных и многоцветовых пирометрических систем, контактные – с помощью термоэлектрических преобразователей.

В результате проведенного анализа установлено, что:

- в структуре метрологического обеспечения металлургических предприятий на долю термометрии приходится около 30% применяемых средств измерений;
- 65,6% разработок направлено на развитие оптической термометрии, а 34,4% – термоэлектрической. 77% публикаций по термометрии в металлургии принадлежат СССР (России, Украине), США, Японии, ФРГ и Великобритании;
- наиболее наукоемкий и эффективный непрерывный термоконтроль доминирует в структуре термометрических исследований (78,2%), причем 80% здесь занимает оптическая термометрия, безальтернативная для высокотемпературных температурных измерений. Распределение публикаций по направлениям оптической термометрии отражает их развитие в соответствии с техническими возможностями электронной элементной базы;
- в периодическом термоконтроле доминирует термоэлектрическая термометрия. Дальнейшее ее развитие связано с роботизацией, повышением экспрессности и снижением стоимости однократных периодических измерений температуры. Для периодического оптического термоконтроля перспективным является применение портативных двухцветовых пирометров;
- наиболее перспективными и лидирующими в области непрерывного оптического термоконтроля являются световодные и бесконтактные многоцветовые термометрические технологии, разработанные отделом термометрии и физико-химических исследований ФТИМС НАН Украины.

Эти технологии ориентированы на решение актуальных проблем современного непрерывного оптического термоконтроля. Например, была доказана высокая эффективность световодной термометрии для непрерывного контроля температуры металлических расплавов в индукционных тигельных и канальных плавильных, миксерных и разливочных печах. Установлено, что впервые в мировой практике световодные термометрические системы обеспечивают непрерывный, в течение кампании футеровки, контроль температуры жидкого металла в диапазоне от 1200 до 1600 °С в указанных печах с требуемой точностью.

Одной из самых актуальных проблем современной термометрии является непрерывный термоконтроль конверторной плавки. На ее решение в мире уже затра-

чено более 1 млрд. USD, а по оценкам Research & Development Centre of Nippon Steel Corporation – около 2 млрд. USD. Тем не менее, задача еще не решена и с этой целью до сих пор используют периодические измерения температуры с помощью термоэлектрических преобразователей. Указанные высокие затраты на разработку непрерывного термоконтроля подчеркивают его высокую технико-экономическую эффективность на конвертерах и сложность этой проблемы. При использовании современных керамических материалов, в том числе наноматериалов, световодные многоцветовые термометрические технологии дают серьезные предпосылки для решения этой общемировой проблемы.

УДК 621.745.5.06./07:536.5

**Л. Ф. Жуков, Е. А. Сиренко, Э. В. Захарченко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **РЕГРЕССИОННЫЙ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ**

Для стабильного получения качественного литья с заданными свойствами необходимо экспрессно, по ходу плавки, контролировать не только основной параметр - температуру расплава, но и его химический состав. В случае отливок из серого чугуна обычных конструкционных марок содержание *C*, *Si* и *Mn* должно соответствовать требованиям ГОСТ 1412-85. Метод регрессионного термографического экспресс-анализа (РТГЭА) основан на зависимостях температур «ликвидус» и «солидус» от химического состава сплава, например чугуна.

ФТИМС НАН Украины накоплен значительный опыт в области РТГЭА. Усовершенствованы конструкции пробоотборников, оптимизировано размещение, термоизоляция и конструкция термоэлектрических преобразователей, созданы усовершенствованные алгоритмы и программы математической обработки термограмм охлаждения чугунов. Особое внимание уделено повышению чувствительности и снижению инерционности измерений температуры, выяснению достоверной взаимосвязи между формой термограмм охлаждения и характеристиками металлографической структуры. Подтверждены экспериментально установленные «НЕН» предель-