

Таким образом, присадки Ni (0,79%) обеспечивают более высокий уровень комплексных свойств шва по сравнению с Si и Co.

Литература

1. **Присадочный материал для сварки высокопрочных конструкционных легированных сталей** / Л. Л. Старова, В. Г. Ковальчук, М. Т. Борисов [и др.] // Сварочное производство. – 2005. – № 9 (850). – С. 3–6.
2. **Мусяиченко, В. Ф.** Влияние кобальта на структуру и свойства высокопрочного металла шва / В. Ф. Мусяиченко, Л. И. Миходуй, В. Г. Васильев // Автоматическая сварка. – 1984. – № 7. – С. 45–48.
3. **Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Статистика, 1976. – 279 с.
4. **Вознесенский, В. А.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – М.: Статистика, 1974. – 192 с.

УДК 621.746

И.В. РАФАЛЬСКИЙ, канд. техн. наук,
А.В. АРАБЕЙ,
С.В. КИСЕЛЕВ,
П.С. ГУРЧЕНКО, д-р техн. наук (БНТУ)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ В СИСТЕМАХ ТЕРМИЧЕСКОГО ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА

Термический анализ расплавов является высокочувствительным методом измерения теплофизических характеристик вещества и широко используется как в научных целях, так и для решения практических задач. В научных целях этот метод применяется при

изучении и количественном измерении теплофизических, термодинамических характеристик исследуемых материалов, в том числе металлов и сплавов. Широкое распространение, в частности, получили методы дифференциального термического анализа (ДТА), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГА). В то же время эти методы и их аппаратная реализация, несмотря на то, что они характеризуются достаточно высокой точностью и широким диапазоном температур измерения, неприменимы для использования в системах экспресс-анализа литейных сплавов в производственных условиях.

На практике литые изделия затвердевают в неравновесных условиях, имеют массу и размеры, несопоставимые с образцами, используемыми в стандартной аппаратуре для физико-химического анализа материалов. В связи с этим для изучения процессов кристаллизации промышленных сплавов получил применение метод термического анализа (ТА) охлаждающейся пробы расплава. На практике метод ТА охлаждающейся пробы расплава используется для оценки эффективности модифицирующей и/или рафинирующей обработки расплавов, экспресс-анализа химического состава, прогнозирования структуры и свойств сплавов [1-3].

Термический анализ охлаждающейся пробы расплава включает процедуру регистрации значений температуры образца как функции от времени. Результатом измерений является температурно-временная зависимость – термограмма, обработка которой позволяет определить температурно-временные параметры фазовых переходов. Если при охлаждении исследуемого сплава в нем происходили фазовые превращения, то по полученной термограмме можно рассчитать их параметры: температуры и моменты времени фазовых превращений.

Внедрение современной микропроцессорной техники в измерительные системы открыли качественно новые возможности практической реализации и широкого использования метода термического анализа в системах экспресс-анализа литейных сплавов.

Применение современных микропроцессорных средств позволяет создать малогабаритные переносные устройства для экспресс-анализа литейных сплавов нового поколения с высокой разрешающей способностью, легко адаптируемые к конкретным условиям производства. Универсальность и гибкость программируемых мик-

ропроцессорных устройств, использование цифровых методов измерения и обработки температурно-временных параметров термограмм позволяют не только сократить время обработки данных и обеспечить объективность определения значений контролируемых параметров, но также автоматизировать процессы измерения, идентификации и определения температурно-временных параметров фазовых превращений в литейных сплавах.

Для проведения термического анализа процесса кристаллизации литейных сплавов в диапазоне температур от 0 до 1600 °С была разработана и изготовлена портативная универсальная микропроцессорная система экспресс-анализа с децисекундным разрешением по времени на базе микроконвертора серии ADuC834/6, обеспечивающего функции сбора, хранения и обработки данных: контроль температуры и времени, формирование, хранение и вывод на внешние устройства термограмм, обработка термограмм, идентификация и определение температурно-временных параметров фазовых переходов, вывод результатов анализа на встроенный индикатор (рис.1).

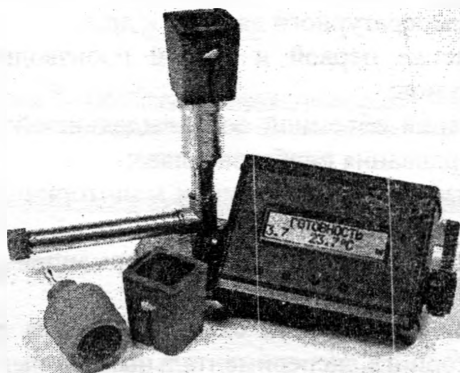


Рисунок 1 – Внешний вид портативной микропроцессорной системы термического экспресс-анализа литейных сплавов

Конструктивно микропроцессорная система термического экспресс-анализа сплавов состоит из измерительного блока, специального штатива и измерительной ячейки. Для обработки термограмм с использованием персональных компьютеров, визуализации результатов термического анализа и подготовки отчетной документации требуется организация передачи данных из измерительного прибора в компьютер. Передача данных из измерительного блока в персональный компьютер производится с помощью COM и USB-портов.

Для проведения термического анализа был разработан специальный штатив, в который устанавливаются стандартные измерительные ячейки для отбора проб типа Quik-Cup компании «Heraeus Electro-Nite» (холдинг «Heraeus Group», Германия) и измерительных датчиков типа ДСУ-99 производства ООО «Теплоприбор Экспресс-Анализ» (г. Челябинск, Российская федерация), широко применяемых и зарекомендовавших себя в системах контроля качества при производстве литых изделий и полуфабрикатов из промышленных сплавов.

Алгоритм проведения обработки термограмм и мониторинга экспериментальных данных включает следующие операции:

- 1) установка начальных параметров системы (температурной шкалы, типа температурного датчика и др.);
- 2) вычисление первой и второй производной термограммы. Фильтрация шумов;
- 3) вычисление объемной доли выделившейся твердой фазы в процессе затвердевания пробы расплава;
- 4) визуализация термограммы и мониторинг результатов обработки экспериментальных данных;
- 5) формирование документов с информацией о ходе проведения эксперимента.

Обобщенная структурная схема алгоритма обработки термограмм и мониторинга экспериментальных данных представлена на рисунке 2.

Процесс идентификации и определение температурно-временных параметров фазовых переходов в работе реализован на основе вычислительных процедур, включающих численное дифференцирование термограммы $T(t)$ и определение критических точек, соответствующих характерным тепловым эффектам фазовых переходов в сплавах (рис.3).

Как известно, при решении задач моделирования и анализа процесса затвердевания литейного сплава наиболее важным является учет выделения скрытой теплоты в интервале кристаллизации и температур фазовых переходов сплавов.

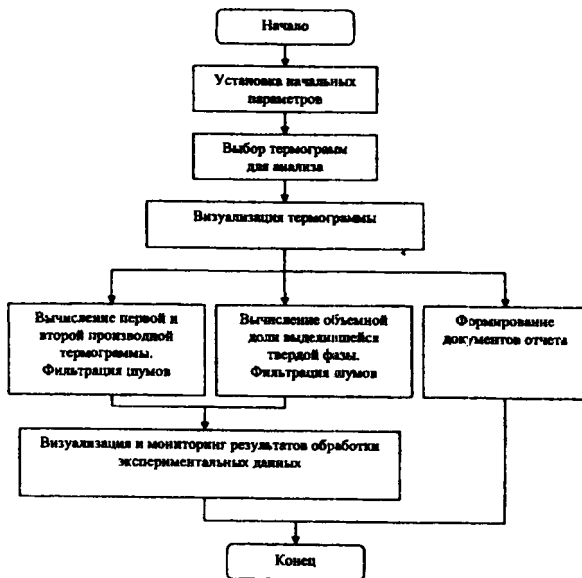


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема алгоритма обработки термограмм и мониторинга данных термического экспресс-анализа

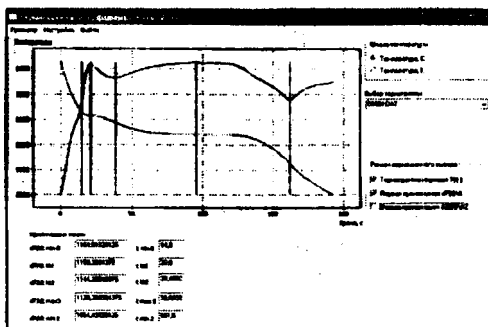


Рисунок 3 – Термограмма и ее первая производная для железоуглеродистого сплава

Проведенные исследования сплавов различных систем, включая дзэвтектические, эвтектические и заэвтектические Al-Si и Fe-C сплавы, выявили наличие определенных проблем автоматической идентификации критической точки, соответствующей началу кристаллизации пробы расплава (температуры ликвидуса). Необходимо отметить, что температура ликвидуса реального сплава, затвердевающего в неравновесных условиях при проведении термического экспресс-анализа, может быть отличной от равновесных значений. Как отмечалось в работе [4], существенное влияние на температурно-временные параметры фазовых превращений оказывают факторы металлургической наследственности и температурной предыстории подготовки расплава.

В ряде работ, посвященных проблемам определения температуры ликвидуса (например, в [5]), отмечается возможность идентификации начала фазового перехода при кристаллизации из расплава на основе значений второй производной от дискретизированной кривой охлаждения (термограммы). Однако при этом указывается, что такой метод дает хорошую сходимость результатов только при отсутствии шумов в результатах измерений исследуемой кривой охлаждения, что достижимо, как правило, только в лабораторных условиях. При проведении анализа в условиях цеха результаты измерений пробы расплава неизбежно содержат шумы, обусловленные множеством различных влияющих факторов: конструкцией тигля (теплопроводность, шероховатость внутренних стенок, материал); общей термической массой материалов, контактирующих с расплавом; конвекционными потоками в тигле (обусловленным температурой расплава, его химическим составом и внешними воздействующими факторами, такими как потоки воздуха в цеху); удаленностью от источника теплового излучения (например, от ванны с электролитом); сильными магнитными полями; качеством и количеством взятой пробы; стабильностью положения тигля с пробой в пространстве [5].

На рисунке 4 представлена термограмма и ее производная второго порядка для железоуглеродистого сплава, полученная авторами настоящей работы при проведении термического экспресс-анализа в условиях цеха ковкого чугуна завода РУП «МАЗ».

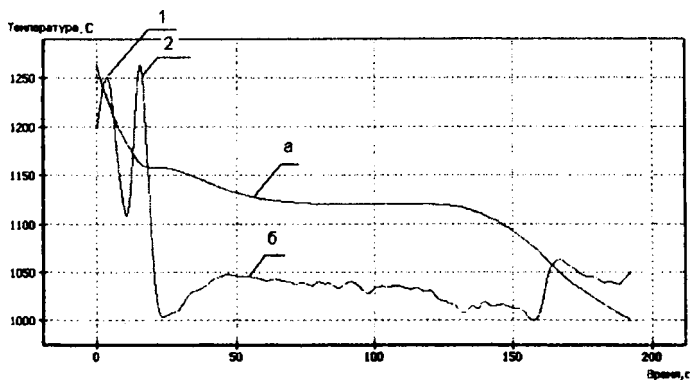


Рисунок 4 – Термограмма (а) и ее производная второго порядка (б) для железоуглеродистого сплава, полученная при проведении термического экспресс-анализа в условиях цеха ковкого чугуна завода МАЗ

Как видно из представленных на рисунке 4 данных, вторая производная на участке, соответствующем жидкофазному состоянию сплава и началу выделения первичных фаз, характеризуется наличием не одного, а двух максимумов. При этом максимум, соответствующий жидкофазному состоянию сплава (1), связан с шумовыми эффектами. Следующий за ним пик (2) на кривой второй производной соответствует максимальной скорости изменения темпа тепловыделения при образовании первичных кристаллов из жидкой фазы, т.е. температуре начала кристаллизации.

Проведенные испытания показали, что использование информационно-измерительного блока в условиях литейного цеха, оснащенного индукционными печами, может приводить к появлению на термограммах кристаллизации соответствующих «помех» в виде скачка температуры. Обработка такой термограммы, содержащей фрагменты появления скачков температуры, может приводить к выявлению «ложных» критических точек, которые, в свою очередь, будут приводить к определению ложного фазового превращения и, соответственно, к искажению результатов экспресс-анализа. На рисунке 5 приведен пример такой термограммы с температурным скачком.

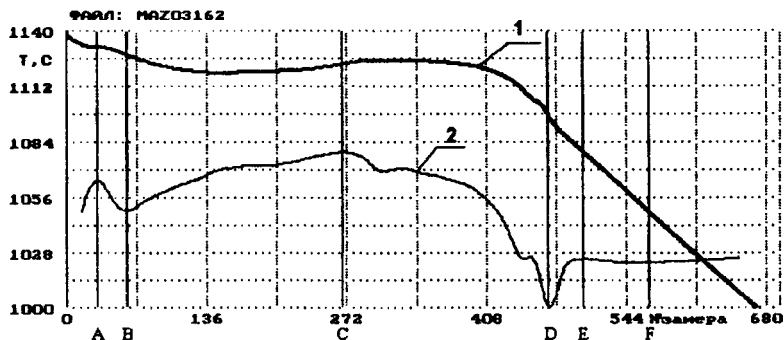


Рисунок 5 – Пример термограммы кристаллизации высокопрочного чугуна со скачком температуры

На рисунке 5, кроме термограммы (кривая 1) и ее первой производной (кривая 2), показаны вертикальные линии, маркированные буквами латинского алфавита (A-F). Эти линии в результате обработки термограммы кристаллизации определены информационно-измерительным блоком как температурно-временные параметры фазового превращения. Линии A и B соответствуют моменту интенсивного протекания (линия A) и моменту завершения (линия B) первичной кристаллизации. Линии C и F соответствуют моментам интенсивного протекания и завершения эвтектической кристаллизации. Однако появление скачка температуры в районе линии D приводит к определению ложных линий D и E и, соответственно, к ошибке в определении стадии эвтектического превращения.

Анализ причин возникновения такого рода скачков температуры показал, что они появляются в момент включения/выключения индукционной печи в результате мощных импульсных наводок в одном или нескольких из ниже перечисленных компонентов плавильного агрегата: силовой шкаф, генератор, проводка, индуктор. Изменяя место расположения информационно-измерительного блока и измерительной ячейки, в отдельных случаях удастся несколько уменьшить эти наводки, но полностью их исключить невозможно.

В связи с этим в работе был выполнен анализ путей оптимизации функциональной схемы и конструкции информационно-измерительного блока с целью подавления помех, вызывающих скачки температуры на термограмме кристаллизации сплава. Реали-

зация поставленной задачи была достигнута путем разработки и аппаратной реализации специального фильтра нижних частот (ФНЧ), предназначенного для подавления внешних шумов, которые формируются во внешних цепях датчика температуры вследствие наводок от внешнего электромагнитного излучения. Было установлено, что с помощью ФНЧ эффективно подавляются внешние наведенные помехи как синфазные, так и однополярные.

Подавление шумов, поступающих в аналоговые устройства по линиям питания, было реализовано с помощью установки фильтров развязки на линиях питания и блокирующих конденсаторов непосредственно у входов питания как аналоговых, так и цифровых устройств. Снижение уровня шумов, поступающих путем наводок, также достигается оптимальным расположением аналоговых устройств относительно цифровых и локальным экранированием всех компонентов измерительной схемы (процессорной платы).

Проведенные лабораторные и производственные испытания на РУП «МАЗ» показали, что разработанная электрическая схема и конструкция портативной микропроцессорной системы термического экспресс-анализа литейных сплавов при полном контроле параметров шума и дрейфа каждого компонента позволила эффективно минимизировать погрешность в измерениях аналоговых сигналов. При этом время автономной эксплуатации системы в режиме непрерывной работы без подзарядки гарантированно обеспечивается не менее 24 ч. Разработанный опытный образец микропроцессорной системы для термического экспресс-анализа литейных сплавов является универсальным цифровым запоминающим устройством, который обеспечивает возможность комплексного использования в качестве:

- цифрового прецизионного термометра при измерении высоких температур в агрессивных средах;

- для регистрации фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах при изменении их агрегатного состояния;

- для экспрессного контроля качества промышленных сплавов при производстве литых изделий.

Литература

1. Arabey, A. The automated system for the foundry process control / A. Arabey, P. Lushchik, I. Rafalski, // International doctoral L seminar. Proc. Trnava: AlumniPress, 2007. – P.P. 7–13.

2. Киселев, С. В. Универсальное устройство для термоанализа сплавов / С. В. Киселев, Г. В. Довнар // Литейное производство. – 2004. – №3. – С. 27.

3. Бялик, О. М. Определение качества металла термическим анализом / О. М. Бялик, А. А. Смольский, Д. В. Иванчук // Литейное производство. – 1981. – №5. – С. 2–3.

4. Компьютерный анализ фазовых переходов и интервала кристаллизации заэвтектических силуминов с учетом влияния температурной обработки расплава / И. В. Рафальский [и др.] // Металлургия: сб. науч. тр. – 2008. – Вып. № 31. – С. 169–179.

5. Перепелкин, С. С. Измерение температуры ликвидуса с использованием Вейвлет-преобразования: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. С. Перепелкин. – СПб.: Госуд. электротехнич. универ-т ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), 2006. – 16 с.

УДК 621.74

И.В. ЗЕМСКОВ, канд. тех. наук,
И.К. ФИЛАНОВИЧ (БНТУ),

Г.П. ГОРЕЦКИЙ, канд. техн. наук (ФТИ НАН Беларуси)

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЖАРСТОЙКОЙ СТАЛИ ДЛЯ ПОДДОНОВ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

В настоящее время для термической обработки деталей в нагревательных печах используют поддоны и другую оснастку из жаростойкой стали 35Х18Н24С2Л (ГОСТ 977–88), а также из жаростойкой стали 35Х18Н11СЛ (ТУ 23.118.294–88). В частности, на РУП «МТЗ» для собственного потребления используют литые поддоны из стали с 24% никеля, жаростойкость ее обусловлена высоким содержанием в ней никеля и хрома. В то же время при длительной эксплуатации эта сталь охрупчивается,