

СЕНСОРИ

УДК 539.226

РІДКОМЕТАЛЕВІ СЕНСОРИ ТЕМПЕРАТУРИ

© Прохоренко В.^{1,2}, Паздрій І.¹, 2003

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Ряшівський університет, ал. Рейтана, 16 с, 35-959, Ряшів, Польща

Очевидна перевага рідкометалевих сенсорів температури — різке розширення діапазону вимірюваних температур. Рідкі метали пасивні до механічних та радіаційних пошкоджень, їм не притаманні фазові перетворення. Показано, що широке впровадження нових сенсорів вимагає лише розв'язання деяких задач підвищення корозійної стійкості конструкційних матеріалів.

Очевидное преимущество жидкометаллических сенсоров температуры состоит в резком расширении диапазона измеряемых температур. Жидкие металлы пассивны к механическим и радиационным повреждениям. Показано, что широкое внедрение новых сенсоров требует лишь решения некоторых задач повышения коррозионной стойкости конструкционных материалов.

The apparent advantage of sensors of temperature operating in construction molten metals consists in sharp expansion of a gamut of measured temperatures. The liquid metals are passive to mechanical and radioactive damages. It is noted that the broad intrusion of new sensors requires only solution of some problems of pinch of a corrosion stability of structural materials.

Стан проблеми. Здебільшого обов'язковою умовою використання контактних сенсорів температури є приведення їх у стан термодинамічної рівноваги з довкіллям. Останнє іноді вимагає нагрівання теплочутливих елементів до температур, що перевищують діапазон застосування стабільного кристалічного стану, що, фактично, позбавляє можливості використання наявних сенсорів.

Топлення металів та сплавів не супроводжується зміною характеру хімічного зв'язку, а тому теплові, електричні та термоелектричні властивості при топленні змінюються не принципово. Температурна залежність електропровідності та абсолютної термоЕРС залишається близькою до лінійної, що забезпечує можливість використання металевих розплавів як матеріалу чутливих елементів рідкометалевих термометрів опору та термопар. Найочевидніша перевага застосування металевих розплавів як матеріалу теплочутливих елементів полягає у різкому розширенні інтервалу вимірюваних температур.

Однак донедавна недостатньо вивченим залишалось питання про роль чинника руйнування кристалічної ґратки, а також впливу домішок на стабільність та повторюваність температурних залежностей електронних властивостей розплавів.

Оскільки промислове використання термометровувачів пов'язане з різноманітними умовами експлуатації, то аналітично описати вплив довкілля на метрологічні характеристики неможливо. У структурному аспекті нестабільність термометричних характеристик кристалічних перетворювачів як термопар, так і термометрів опору, можна пояснити формуванням високотемпературних дефектів (як просторових, типу дислокацій чи дисклинацій, так і точкових), радіаційними пошкодженнями, поліморфними перетвореннями, рекристалізацією, старінням і т.д. Навіть повний перелік фізичних чинників не вичерпує джерел похибок відтворення високих температур, котрі досягають значних значень також під впливом неконтрольованої взаємодії чутливого елемента розплаву з конструкційними матеріалами та довкіллям.

Узагальнивши тривалі дослідження кристалічних сенсорів температури, Б.І. Стадник ввів інтегральний критерій нестабільності термометричних характеристик [1]. Багатофакторна дія зовнішнього середовища подається функцією нестабільності, зумовленою внутрішніми напруженнями в матеріалі термочутливого елемента. Такі напруження являють собою відхилення від ідеальності кристалічної ґратки, що

формується під дією температурних коливань, механічних напружень, домішкових атомів, радіаційних пошкоджень та інших збудовальних чинників.

На перший погляд, структурні причини нестабільності електричних властивостей мали б поглиблюватись під час плавлення. Насправді це не так і швидше навпаки.

У структурному аспекті металевий розплав являє собою розупорядковану систему, оскільки атоми не локалізовані у певному об'ємі, а здійснюють безактиваційну дифузну міграцію у всьому об'ємі рідини. Нагрівання розплаву супроводжується ліквідацією залишків кристалоподібного ближнього порядку у вузькому інтервалі після температури плавлення, а потім у всьому інтервалі існування рідкого стану лише активізується трансляційний рух атомів і зростають міжатомні відстані (тиском насичених парів для більшості розплавів можна знехтувати в межах температурного інтервалу вимірювання).

Отже, нагрівання розплаву зумовлює удосконалення специфічної "рідинної" структури, які описують в межах теорії ймовірності. В цьому полягає принципова відмінність рідини від твердого тіла, в котрому нагрівання обов'язково супроводжується інтенсифікацією структурних дефектів. Відповідно до викладених теоретичних положень, відтворюваність електронних властивостей розплавів має підвищуватись при високих температурах, – на відміну від протилежної тенденції в кристалічних металах.

Перспективи реалізації. Проаналізуємо джерела неповторюваності електричних властивостей рідких металів з позицій вищевказаного критерію нестабільності, що визначається внутрішніми напруженнями:

– залишкові механічні і термомеханічні напруження неможливі у рідині як ізотропній та лабільній системі;

– радіаційні пошкодження, як і точкові чи просторові дефекти іншого походження, самозаліковуються у рідині з часом релаксації, непорівнянно меншим від часу тривалості вимірювання;

– розплави позбавлені також таких причин нестабільності електричних властивостей, як поліморфні перетворення, рекристалізація, старіння, втома, – що відповідає відсутності дальнього порядку, що породжує ці причини;

– складнішим є вивчення впливу домішок. Відомо, що розплавлені метали істотно більш активні хімічно, ніж кристалічні. Внаслідок взаємодії розплав дифундують домішки з конструкційного

матеріалу, причому взаємодія може бути реактивною, що зумовить утворення асоціатів, об'єднаних у структурні складові кластерного типу. З іншого боку, теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено: та сама кількість домішок істотно менше впливає на електричні властивості рідких металів, ніж кристалічних. І все ж використання традиційних конструкційних матеріалів при високих температурах стає проблематичним.

Разом з тим, упродовж останніх двох десятиліть створено нові жаростійкі матеріали нового типу та розроблено нові технології нанесення захисних покриттів, стійких до високотемпературної корозії у рідкометалевому середовищі [2].

З огляду на обмежену можливість вибору нових конструкційних матеріалів, значний інтерес становить саме пошук способів збільшення корозійної стійкості матеріалу, оптимального в цій конструкції. Очевидно, що підвищення високотемпературної корозійної стійкості незрівнянно складніше від вільного пошуку прийнятних матеріалів і відповідно вимагає використання сучасної техніки експерименту. Зокрема, подібна задача нами розв'язана для підвищення корозійної стійкості нержавіючої сталі 12Х18Н10Т при тривалій експлуатації в середовищі розплавів на основі галію. Покриття формується в середовищі робочого розплаву. При високих температурах, створюваних рухомою зонною піччю, методом реактивної дифузії створюють захисний ітерметалічний шар. Після ізотермічної витримки розплав-реагент видаляють, здійснюють дифузійний відпал і конструкцію заповнюють свіжим робочим розплавом. Інший метод формування захисного покриття полягає в одержанні на внутрішній поверхні каналу проміжних фаз за допомогою термодифузії відповідних елементів із самого галієвого середовища. Особливо перспективною видається технологія нанесення ізоляційних оксидних покриттів з використанням плазмохімічних технологій [2]. Отже, успіхи у створенні нових високотемпературних конструкційних матеріалів та корозійностійких ізоляційних покриттів забезпечують реалізацію високотемпературних рідкометалевих сенсорів.

1. Стадник Б.И. Новый критерий оценки нестабильности термо-ЭДС термоэлектрических преобразователей // *Теплофизика высоких температур*. – 1980. – Т.18. – № 4. – С. 826–833. 2. Прохоренко В.Я., Роцупкин В.В. и др. Жидкий галлий: перспективы использования в качестве теплоносителя // *Теплофизика высоких температур* / – 2000. – Т.38. – № 6. – С. 991–1005.