



Ультравысокие температуры: решение проблемы метрологической калибровки контактных датчиков

Данная публикация представляет первые результаты работ по двухлетнему Гос.контракту между Обнинской термоэлектрической компанией и российским Фондом содействия инновациям. Цель работы состоит в обеспечении контактных датчиков температуры надежными и относительно простыми средствами калибровки в диапазоне ультравысоких температур от 1700 до 2500°С.

В указанном диапазоне температур применяется единственный тип контактных датчиков - вольфрамрениевые (ВР-) термопары типа А (ВР5-ВР20), имеющие самый широкий диапазон измерений по стандарту ГОСТ Р 8.585-2001.

Для воспроизводства рабочих температур датчика была выбрана вертикальная печь с графитовым нагревателем в атмосфере защитного газа аргон.

Основная проблема – воздействие углерода на материал электродов и изолирующие элементы термопары в процессе калибровки. Хорошее значение сопротивления электроизоляции термоэлементов термопары – основное условие ее надежной работы при сверхвысоких температурах.

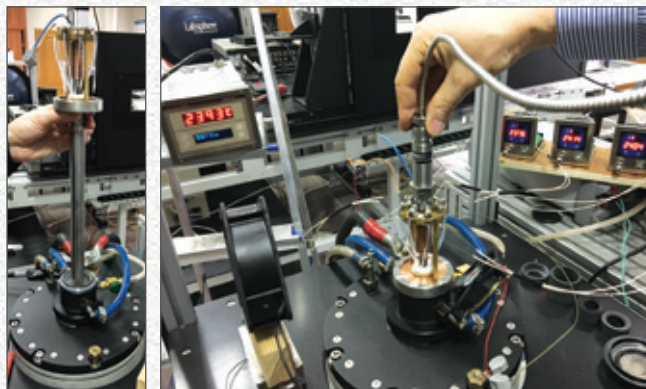
В исследовании использовались проволоки из вольфрамрениевых сплавов ВР5 и ВР20 диаметром 0,35 и 0,5 мм. В качестве изоляторов использовались двухканальные трубки из оксидной (корунд, лейкосапфир, оксид гафния) и безоксидной керамики (нитрид бора гексагональный и пиролитический).

Результаты экспериментов показали, что если сборка с термоэлементами не защищалась от воздействия графита, испаряющегося с нагревателя, то при 1800°С происходило полное шунтирование термоэлементов с любыми электроизолирующими материалами. Все элементы сборки после испытаний имели темный цвет из-за графита. Установка сборки с термоэлементами в защитный чехол, негерметичный с рабочего (горячего) конца, также не позволила использовать элементы сборки в режиме измерений при температуре выше 1800°С.

Также было установлено, что термопарные провода в изолирующих трубках из оксида гафния более устойчивы в атмосфере печи, тогда как вольфрамрениевые проволоки внутри изолирующих элементов из нитрида бора сильно охрупчивались из-за явного роста зерна в сплаве и разрушались при самом небольшом механическом воздействии на них. Термопара в изоляторах из оксида гафния показала хорошую стабильность показаний при калибровках до и после высокотемпературных испытаний, не превышающую 2-3 градуса.

Лучшим решением оказалось изготовление защитного чехла из чистого поликристаллического вольфрама марки ВА (99,95%). Чехол был герметично заварен с рабочего конца. Сборка состояла из четырех ВР-термопар в изолирующих трубках из оксида гафния наружным диаметром 2,4 и 4,0 мм, закрепленных на центральной молибденовой трубке, рабочий конец которой был также заглушен приваренной пробкой. Сборка помещалась в защитный чехол и вставлялась в рабочее пространство печи. В верхней холодной части защитного чехла и в стенке центральной трубки имелись отверстия для протечки аргона из печи внутрь чехла и центральной трубки. Рабочая температура контролировалась с помощью термопар, пирометром, измеряющим температуру концевой пробки центральной трубки, а также управляющим пирометром печи с нижней стороны вертикальной печи.

Нагрев сборки проводился до 1300°С и далее ступенями через 100 градусов. При температуре около 2000°С был проведен получасовой отжиг термопар, и затем температура ступенчато повышалась до 2400°С. При этой температуре в показаниях термопар появились



Термопарная сборка в защитном чехле из вольфрама и максимально достигнутая температура испытаний. Показания термопар и пирометра излучения с волоконно-оптическим датчиком

колебания, свидетельствовавшие о шунтировании сигнала. Далее температура печи была последовательно снижена, а показания термопар восстановились.

Таким образом, герметичность защитного чехла в области самых высоких температур печи позволила провести измерения термоЭДС почти до предельных рабочих температур термопары типа А. Общее время нахождения сборки при температуре 2000°С и выше составило 2 часа. Состояние вольфрамового защитного чехла после эксперимента без видимых изменений. Термоэлементы датчиков также не разрушились.

Результаты испытаний термопарной сборки в защитном вольфрамовом чехле, полностью герметичном с рабочего («горячего») торца, показали возможность выхода на температуру 2400°С, что на 200 градусов выше максимальной температуры длительного применения термопары типа А (ВР 5/20). Для промышленного датчика достаточно откалибровать термопару, сличив ее термоэлектродвижущую силу (ТЭДС) с температурой, измеряемой радиационным пирометром. Таким образом, результаты испытаний свидетельствуют о принципиальной возможности калибровки вольфрамрениевых термопар до верхних пределов рабочего диапазона температур, что позволит решать задачи метрологического обеспечения измерений ультравысоких температур.

ООО «Обнинская термоэлектрическая компания»,

г.Обнинск, Российская Федерация

Улановский Анатолий Александрович,

кандидат технических наук, директор,

E-mail: otc-director@otc-obninsk.ru,

тел. +7-484-397-9905.

Малецкий Роман Романович, конструктор-технолог,

E-mail: otc@otc-obninsk.ru, тел. +7-484-397-9915.

<http://www.otc-obninsk.ru>