

Термоэлектрические преобразователи для измерения температур от 800 до 1600°C.

В качестве основных термопар металлургического производства и термообработки в диапазоне 1000-1600°C являются **платинородий-платиновые термопары** ТПП10 и ТПР. Их основные достоинства – хорошее сопротивление газовой коррозии, особенно на воздухе при высоких температурах и воспроизводимость метрологических свойств. Эти сплавы устойчивы в аргоне и гелии, не растворяют азота и водорода и не образуют нитридов и гидридов, не взаимодействуют с СО и СО₂. До 1200°C платина и ее сплавы с родием практически не взаимодействуют с огнеупорными материалами. При более высоких температурах контакт с SiO₂ ведет к изменению термоЭДС. Вообще, кремний – основная причина охрупчивания и разрушения термопар. Он, как и некоторые другие элементы: Zn, Sn, Sb, Pb, As, Bi, P, V, S - относятся к платиновым ядам.. Для устойчивой работы термопар из платины и ее сплавов необходима надежная изоляция термоэлектродов высокочистой оксидной керамикой, а также защита корундовыми чехлами хорошего качества. Поэтому наша компания выпускает платиновые термопреобразователи (рис. 1) в двойных защитных чехлах: наружный – из корундовой керамики марки КТВП или из пористой керамики Lunit20 с содержанием Al₂O₃ около 80% (толщина стенки 3÷4 мм), и внутренний – газоплотный из высокочистой оксидной керамики (99,5% Al₂O₃). Еще одной отличительной особенностью конструкции термопреобразователей нашего производства является наличие засыпки из мелкодисперсного порошка Al₂O₃ или MgO, что практически в два раза снижает показатель тепловой инерции термопреобразователя. Наши авторские права на данную конструкцию свидетельством на полезную модель № 11392, МПК H01L 35/00, 1999

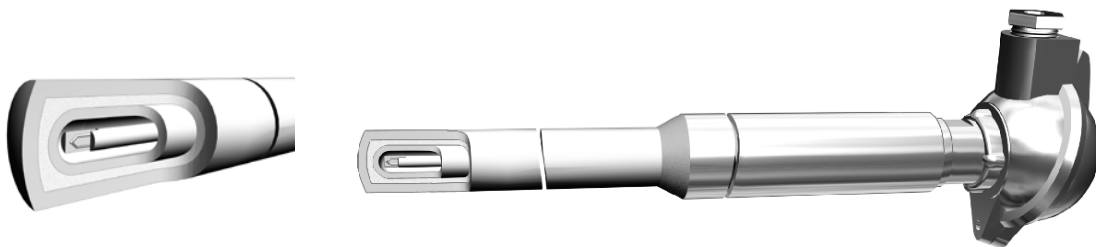


Рис. 1 Конструктивные особенности платиновых термопар

Термопара хромель-алюмель – самая распространенная в промышленности. В термопарах ТХА наблюдаются два вида нестабильности термоЭДС: обратимая циклическая нестабильность и необратимая нестабильность, постепенно накапливающаяся со временем. Заметный дрейф термо-ЭДС термопары ТХА уже при температуре 1000°C неоднократно отмечался в различных исследованиях, например, [1] (рис.2)

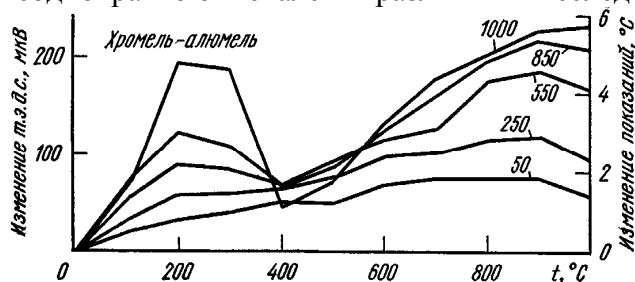


Рис. 2. Изменение градуировочной характеристики термопары хромель—алюмель и ее термоэлектродов в результате нагрева на воздухе при 1000°C (диаметр электродов 3,2 мм). Исходная градуировка — ось абсцисс. Цифры у кривых — время, ч. [1]

Дополнительное влияние на стабильность оказывает состав окружающей среды. Так, длительное пребывание в вакууме при высоких температурах значительно уменьшает термо-ЭДС хромеля вследствие испарения хрома. В атмосфере, содержащей серу, интеркристаллитная коррозия охрупчивает термоэлектроды, в первую очередь алюминель. Кроме того, взаимодействие SO_2 с хромелем является причиной большого отрицательного дрейфа термоЭДС. В восстановительных средах дрейф градуировочной характеристики всегда отрицателен, а его величина намного больше, чем дрейф, наблюдаемый в окислительных средах. Нестабильность увеличивается с увеличением углеродного потенциала атмосферы и при повышении концентрации паров воды.

Все эти проблемы с термопарой ТХА инициировали разработку и стандартизацию ведущими промышленными странами **термопары нихросил-нисил**, созданной лабораторией материаловедения министерства обороны Австралии в 60-х годах. Дрейф термопары ТНН с термоэлектродами диаметром 3.2 мм за 1100 ч на воздухе при температуре 1200°C не превышает 100 мкВ, тогда как дрейф такой же термопары ТХА за 300 ч достиг 300 мкВ [2] (рис. 3).

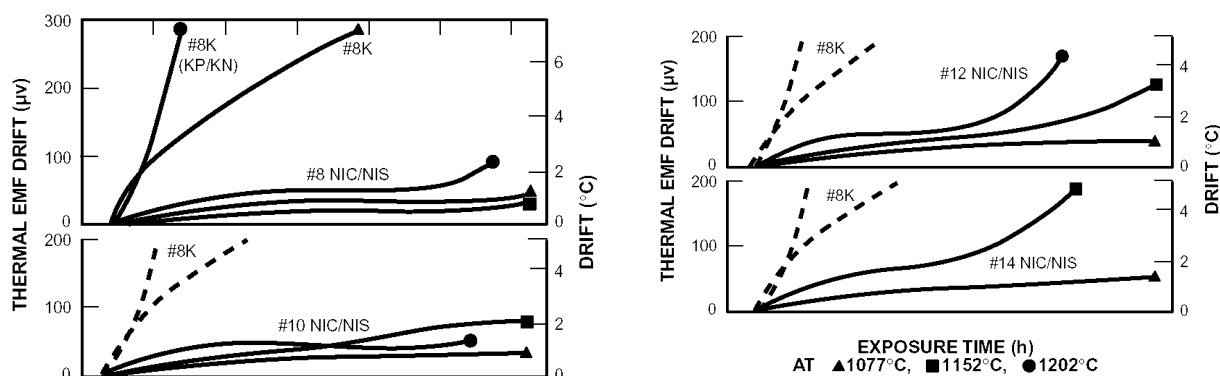


Рис. 3. Дрейф термоЭДС термопар нихросил-нисил при длительной выдержке на воздухе для трех постоянных температур (1077; 1152; 1202°C) и четырех диаметров термоэлектродов ($\varnothing 3.2$; 2.6; 2.0; 1.6 мм).

Для сравнения приведены соответствующие дрейфы термоЭДС термопар хромель-алюмель для двух температур (1077 и 1202°C) и диаметра термоэлектродов 3.2 мм.

В настоящее время широкое распространение в мире, в т.ч. и в России, получили кабельные термоэлектрические преобразователи, изготавливаемые из термопарного кабеля. Кабель представляет собой пару термоэлектродов, помещенную внутрь металлической трубки и изолированную от нее уплотненным плавленным порошком MgO -периклазом (рис. 4). При изготовлении термопреобразователя внутри кабеля лазерной сваркой варится спай а торец заглушивается пробкой (рис.4)



Рис 4. Заготовка из термопарного кабеля с одной или двумя парами термоэлектродов. Спай термопары.

Применение кабельных термопреобразователей позволяет достичь существенных преимуществ по сравнению с термопарами традиционного исполнения, таких как:

- повышенные в 2–3 раза термоэлектрическая стабильность и рабочий ресурс при сравнимых рабочих условиях;
- возможность изгибать, укладывать в труднодоступные места, в кабельные каналы, приваривать, припаивать или просто прижимать к поверхности для измерения ее температуры, при этом монтажная длина может достигать 60-100 метров;
- малый показатель тепловой инерции, позволяющий применять их при регистрации быстропротекающих процессов;
- блочно-модульное исполнение термопреобразователей в защитных чехлах, обеспечивающее дополнительную защиту термоэлектродов от воздействия рабочей среды и возможность оперативной замены чувствительного элемента;
- универсальность применения в различных условиях эксплуатации, хорошая технологичность, малая материалоемкость.

Повышенная стабильность кабельных термопар (рис. 5) объясняется затруднением окисления термоэлектродов из-за ограниченного количества кислорода внутри кабеля, а также дополнительной защитой термоэлектродов от воздействия рабочей среды посредством металлической оболочки и оксида магния.

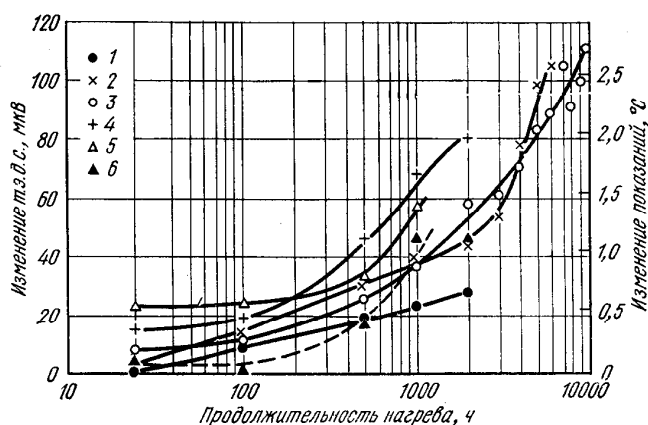


Рис. 5 Изменение термо-ЭДС термопарных кабелей КТМС-ХА после нагрева на воздухе при 800°C. Цифры на рисунке — диаметр кабелей, мм [1]

Кабельное исполнение термопары хромель-алюмель позволяет уменьшить недостатки, присущие электродам этой термопары. Использование же термопары нихросил-нисил в качестве чувствительного элемента кабеля с жаростойкой оболочкой приводит к появлению термопреобразователя с качественно новыми свойствами. В работе [8] приводятся данные по уникальной стабильности кабельной термопары ТНН в оболочке из модифицированного сплава нихросил наружным диаметром кабеля 3 мм в течение 2200 ч при температуре 1100°C. Дрейф термо-ЭДС не превысил 4°C (рис. 6).

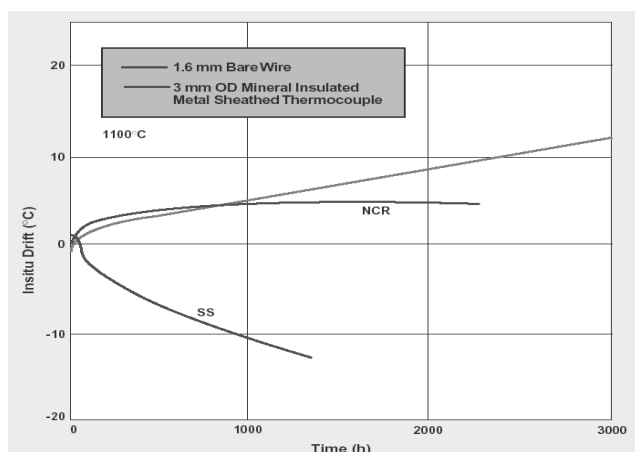


Рис. 6 Дрейф кабельной термопары ТНН в оболочке из сплава нихросил в сравнении с проволоочной термопарой ТНН (электроды диаметром 1.6 мм) и кабельной термопарой ТНН в оболочке из нержавеющей стали.

Выдержка при температуре 1100°C. [3].

При работе в потоках жидкости или газа,двигающихся с большой скоростью, а также при высоких давлениях и температурах, в агрессивных средах, кабельные термопреобразователи помещаются в защитные чехлы (гильзы), предохраняющие их от изгибов и разрушений, и служат в качестве сменных чувствительных элементов. Защитные чехлы имеют типовые габаритные размеры. Внешний вид преобразователя аналогичен традиционному внешнему виду промышленных термопар (8).

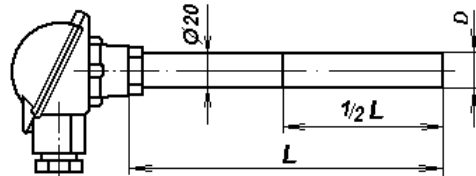
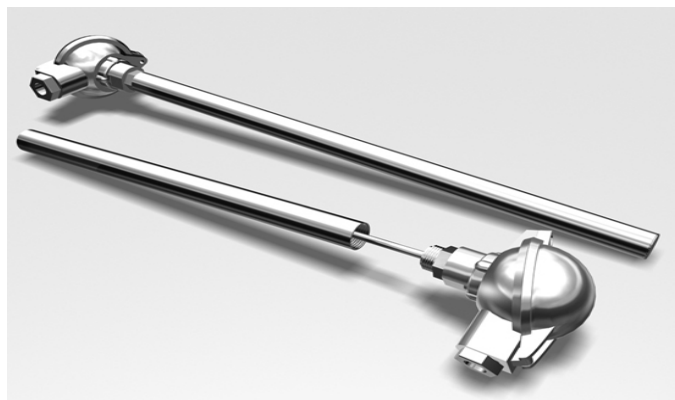


Рис. 8. Термопары КТХА в жаростойких защитных чехлах (цельных и составных)

Компания «ТЕСЕЙ» первый, а сегодня - крупнейший производитель термопар блочно-модульного исполнения в России.

Для температур до 800°C применяются чехлы из нержавеющей стали типа X18H10T или 10X17H13M2T (повышенная устойчивость к межкристаллитной коррозии.), при более высоких температурах использовалась, в основном, ферритная сталь 15X25T с температурой интенсивного окисления 1050°C , которая имеет ограниченную свариваемость и склонна к охрупчиванию в диапазоне $450-850^{\circ}\text{C}$ [4, с.353]. Учитывая эти недостатки, специалистами компании были предложены к применению жаростойкая аустенитная сталь 10X23H18 с верхним пределом рабочих температур до 1000°C , а также железо-никелевый сплав ХН45Ю с предельной температурой эксплуатации на воздухе до 1300°C (ГОСТ 5632-72), перекрывающей весь диапазон измеряемых температур термопары хромель-алюмель. В отличие от стали 15X25T, эти материалы очень хорошо свариваются, а также, как показал опыт, имеют достаточно прочный сварной шов с нержавеющей сталью типа 12X18H10T. . При этом эксплуатационные характеристики стали 10X23H18 оказались как минимум не хуже характеристик стали 15X25T. Сплав ХН45Ю обладает отличной жаростойкостью, сохраняя хорошую коррозионную стойкость благодаря включению в сплав 3,4% Al, который образует на поверхности сплава тугоплавкую окисную пленку и препятствует развитию коррозионного процесса. Скорости коррозии этого сплава в 7-10 раз меньше, чем стали 15X25T при тех же условиях эксплуатации.

Список использованной литературы:

1. И.Л.Рогельберг, В.М.Бейлин. Сплавы для термопар. Справочник, М., Металлургия, 1983.
2. N.A.Burley Nicrosil\Nisil type N Thermocouple, Measurements & Control, April 1989, pp.130-133.
3. H.L.Daneman The Choice of sheathing for mineral insulated thermocouples. Measurements&Control, June 1988, pp 242-243.
4. Свойства элементов. Справочник под ред. М.Е.Дрица, книга 2, М., Металлургия, 1997