

## Кабельные термоэлектрические преобразователи нихросил-нисил, преимущества и опыт эксплуатации.

Петров Д.В., Ободовский К.Ю., ПК «ТЕСЕЙ», г. Обнинск

Анализ средств контроля и регулирования технологических процессов современного промышленного предприятия, проведенный отечественными и зарубежными специалистами, показывает, что 40÷50% всего объема измерений на предприятии составляют процессы измерения и регулирования температуры рабочей среды, а также основных узлов технологических агрегатов [1].

Причем требования к точности измерения и регулирования температуры неуклонно возрастают, т.к. точность регулирования температуры технологического процесса напрямую воздействует на рентабельность производства и качество конечного продукта. Это касается многих производств и продуктов, от автомобильных бензинов, металлического литья, учета тепла на станциях теплоснабжения, до продуктов питания и спиртных напитков. Кроме того, точное знание температуры определяет степень безопасности многих технологических процессов.

Основой всех температурных измерений являются первичные датчики – термопреобразователи, производство которых и составляет основное направление деятельности нашего предприятия. Мы можем предложить потребителю датчики температуры различных типов в диапазоне от минус 220 до 1600 °С. Объем производства составляет более 70000 штук в год на протяжении последних 3 лет существования предприятия. Кроме самого производства мы также пытаемся по мере сил и возможностей решать и научно-технические проблемы термометрии. В основном это, конечно, задачи прикладного характера, предлагаемые нам нашими потребителями. Однако целый ряд задач термометрии, с которыми мы сталкиваемся постоянно, можно отнести к общим задачам, среди которых :

- непрерывное измерение температуры расплавов металлов, солей и стекла погружным методом в диапазоне температур от 800 до 1600 °С;
- устойчивость защитной арматуры термопреобразователей к воздействию агрессивной рабочей среды;
- внедрение новых типов общепромышленных термопар с высокой метрологической стабильностью при температурах 1000-1200 °С и, главное, доступных по цене рядовому потребителю, таких, как термопара нихросил-нисил;

Настоящий доклад рассказывает о нашем положительном опыте практического применения термопреобразователей на основе кабельной термопары нихросил-нисил .

Термопара нихросил-нисил ТНН (тип N) была разработана в лаборатории материаловедения Министерства обороны Австралии в 60-х годах, как термопара, имеющая большую стабильность по сравнению с термопарой хромель-алюмель.

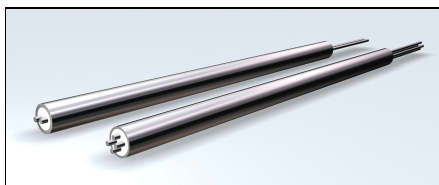
Материалы термоэлектродов нихросил и нисил демонстрируют существенно лучшую стабильность термо-э.д.с. по сравнению со сплавом ХА за счет увеличения концентрации хрома и кремния в никеле, а также введения в нисил магния, которые перевели процесс окисления материала термоэлектродов из внутреннего межкристаллитного в поверхностный. Образующаяся на термоэлектродах защитная пленка окислов подавляет дальнейшее окисление. Увеличение содержания хрома в нихросиле до 14.2 % фактически устранило обратимую нестабильность, характерную для хромеля. Однако, некоторые исследователи [2] все же наблюдали обратимую нестабильность термопары НН, но ее максимум смещался к температуре 700 °С (в хромеле – 400 °С). Эта нестабильность определяется не структурными превращениями малого порядка, а скорее микроструктурой металлического зерна сплава, наличием примесей, в частности, образованием и распадом в нихросиле карбидов хрома  $Cr_{23}C_6$  , а также интерметаллидных фаз в нисиле, в зависимости от температуры [3]. Отжиг термоэлектродов при 1100 °С в течение 1-2 ч с последую-

щим резким охлаждением на воздухе снимает все обратимые изменения. Абсолютная величина обратимой нестабильности, в целом, меньше, чем в термопаре ХА.

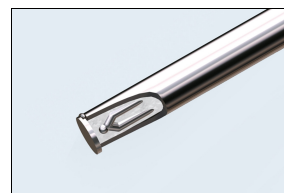
Более подробно с материалами об изобретении, исследовании, внедрении термопары нихросил - нисил можно ознакомиться в обзоре «Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие», ПК «Тесей» [4].

Выпускаемые производственной компанией «Тесей» преобразователи термоэлектрические типа КТНН имеют номинальную статическую характеристику НН(N) (стандарт МЭК 584, часть 2, ГОСТ 6616-94), предназначены для измерения температуры газообразных, жидких и сыпучих сред, твердых тел, химически неагрессивных к материалу оболочки термопарного кабеля или защитного чехла, а также агрессивных, не разрушающих материал защитной арматуры.

Непосредственно кабельная термопара представляет собой гибкую металлическую трубку с размещёнными внутри нее одной или двумя парами термоэлектродов, расположенными параллельно друг другу. Пространство вокруг термоэлектродов заполнено уплотненной мелкодисперсной минеральной изоляцией. Термоэлектроды кабельной термопары со стороны рабочего торца сварены между собой, образуя рабочий спай внутри стальной оболочки. Рабочий торец заглушен приваренной стальной пробкой. Свободные концы термоэлектродов подключаются к клеммам головки термопреобразователя или компенсационным проводам.



**Рис.1.** Заготовка для кабельной термопары с одной или двумя парами термоэлектродов



**Рис. 2.** Общий вид кабельной термопары

Термоэлектрические преобразователи КТНН, помимо преимуществ нихросил-нисиловой термопары над хромель-алюмелевой, обладают всеми преимуществами кабельных термопреобразователей над проволочными, основные из которых:

- более высокие термоэлектрическая стабильность и рабочий ресурс (в 2–3 раза);
- малый показатель тепловой инерции, позволяющий применять их для регистрации быстропротекающих процессов;
- изготовление на их основе термопреобразователей в защитных чехлах блочно-модульного исполнения, обеспечивающих дополнительную защиту термоэлектродов от воздействия рабочей среды и создающих возможность оперативной замены чувствительного элемента.

За последние три года ПК «Тесей» поставила на несколько десятков предприятий почти 2 500 (643шт. в 2004, 715шт. в 2005 и 1121шт в 2006 году) термоэлектрических преобразователей типа КТНН различных конструктивных модификаций, часть из которых представлена на рисунках 3-6. Диапазон их применения весьма широк это и измерение однородности температурного поля печей, и регулирование температуры технологических процессов в воздушной среде и эндогазе, измерение температуры футеровки раздаточных ковшей, и многое другое. К сожалению, нам далеко не всегда известно назначение поставляемых термопар и ещё большее сожаление вызывает отсутствие обратной информации о результатах эксплуатации термопар. Менеджерам отдела маркетинга и сотрудникам конструкторско-технологического бюро пришлось приложить не мало усилий для получения представляемых отзывов. При этом большинство потребителей так и не ответили на наши запросы.



рис.3



рис.4



рис.5



рис.6

Одним из первых отзывов о превосходных результатах практического применения термопреобразователей нихросил - нисил был получен нами от завода автотракторной электроаппаратуры ЗАО «МЗАТЭ-2».

В течении ряда лет на участке пайки медью в печи со средой эндогаза возникали серьезные проблемы использования термопар при температуре  $1100 \div 1120$  °С. Так термопары хромель-алюмель многих производителей выходили из строя в течении 2÷3 недель, термопреобразователи типа ПП(S) работали чуть дольше, до полутора месяцев. Специалистами ПК «Тесей» была предложена термопара КТНН 01.06-Т<sub>45</sub>-И-20-1000, которая отработала до выхода из строя 6 месяцев. После освидетельствования отработавшей термопары конструкция была доработана и отправлена потребителю. Результат превзошел все ожидания. Термопары КТНН 01.06-Т<sub>45</sub>-И-20-1000 были установлены на печь 28.07.03 г. и до 04.12.06 г. находились в эксплуатации.

С успехом термопреобразователи КТНН эксплуатируются в производственных процессах ОАО «Калужский двигатель». Применение термопреобразователей КТНН позволило снизить затраты на эксплуатацию и увеличить ресурс работы термопреобразователей. Так, например:

- при установке вместо термопар хромель – алюмель собственного производства в печах «СКО 4,8» при пайке деталей время эксплуатации увеличилось в 10 раз и составляет 80 часов. Термопреобразователи КТНН 02.01-Т<sub>600</sub>-И-3-2000/1000 выходят из строя по причине химического разрушения оболочки кабеля флюсом;

- при установке термопреобразователей КТНН 02.01-Т<sub>600</sub>-И-3-1000/4000 на печах «СЭВ-3-3» вместо преобразователей типа платинородий - платина (S) удалось снизить затраты на эксплуатацию. Термопреобразователи эксплуатируются в циклическом режиме, после установки 19.10.04 г. находятся в работе по настоящее время.

- термопреобразователей КТНН 02.01-Т<sub>740</sub>-И-4,5-2000/1000 на печах «ФШВ-90/60» используются для проверки печи на технологическую точность вместо преобразователей типа платинородий-платина (S). Термопреобразователи эксплуатируются в течении 3 ча-

сов ежемесячно при температуре 1250 °С. Установка 23.03.06 г., находящаяся в работе. Нарботка до сегодняшнего момента составляет 30 часов.

ООО «Коломенский завод порошковой металлургии» закупает термопреобразователи КТНН с конца 2005 года. Эксплуатация термопреобразователей проходит в непрерывном режиме при температурах 1050 °С и 1120 °С, средняя наработка до отказа не установлена, т.к. после монтажа термопреобразователей 1.02.06 г. и 10.07.06 г. они находятся в эксплуатации по настоящее время. Применение термопреобразователей КТНН вместо термопреобразователей ПП (S) позволило повысить надежность измерения температуры, увеличить ресурс работы термопреобразователей и снизить затраты на закупки.

Наше предприятие поставляет термопреобразователи КТНН 02.01-Т<sub>740</sub>-И-3 и КТНН 02.01-Т<sub>740</sub>-И-4,5 на производственное предприятие ЗАО «МИУС», которое устанавливает их на печи шахтные СШО, СШЗ, камерные СНО. Рабочие условия эксплуатации термопреобразователей: окислительная атмосфера, рабочая температура эксплуатации – 1000 °С, давление 0,1 МПа. Процесс эксплуатации циклический: 15 часов – 1 нагрев, 9 часов – остывание. Средняя наработка до отказа до разрушения чехла 3000 часов. Применение термопреобразователей КТНН снижает затраты на эксплуатацию (стоимость отнесенная ко времени эксплуатации).

Имеем мы и положительный опыт в решении проблем замены импортных датчиков температуры, например, термодатчик ТПП (S) производства Германии на ОАО «Наро-Фоминский завод». Так установка термопреобразователей КТНН 02.01-Т<sub>310</sub>-И-3 на вакуумную термическую печь «Эльтермс» позволило повысить надежность измерения температуры, увеличить ресурс работы термопреобразователей, снизить затраты на закупки. Термопреобразователи КТНН эксплуатируются при температуре 1080÷1150 °С, давлении  $2 \cdot 10^{-3}$  МПа. Установлены на печи 05.02.06 г. - 1 шт., 18.05.06 г. - 5 шт., 19.10.06 г. - 1 шт. все термопреобразователи до настоящего времени находятся в эксплуатации.

Интересные результаты испытаний получены в научно-инженерном центре ООО «Вятич». Термопреобразователи КТНН 02.01-Т<sub>740</sub>-И-3 эксплуатировались в циклическом режиме: нагрев до 1100÷1200 °С в течении 3÷4 минут, выдержки при этой температуре в течении 2 минут, остывание до 500÷600 °С в течении 4÷5 минут. Результаты испытаний представлены в таблице.

| № термопреобразователя | Количество циклов до отказа | Примечание          |
|------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 257/802                | 250                         |                     |
| 258/802                | 1200                        |                     |
| 259/802                | 70                          |                     |
| 260/802                | 280                         | Продолжает работать |
| 261/802                | 50                          |                     |
| 265/802                | 170                         |                     |
| 264/802                | 5                           |                     |
| 384/520                | 10                          |                     |

Термопреобразователи № 264/802 и № 384/520 эксплуатировались при температурах свыше 1300 °С, а так как вторичные приборы имеют градуировку типа НН(N) до 1300 °С преобразователи были забракованы, как вышедшие из строя. Освидетельствование в МС ПК «Тесей» показало работоспособность этих термопреобразователей.

На ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» испытывались два термопреобразователя КТНН 01.06-Т<sub>45</sub>-И-20-2500 при измерениях температуры при обжиге конверторов. Температура испытаний 1200÷1250 °С, среда – продукты сгорания природного газа и продукты разложения связующих компонентов высокотемпературных огнеупоров. На 07. 11 06 г. термопреобразователи КТНН показали 2-х кратное увеличение ресурса по сравнению с ранее применявшимися термопреобразователями ТХА.

Исходя из приведенных отзывов свидетельствующих, несмотря на их ограниченное количество, о существенном увеличении рабочего ресурса по сравнению с термопарами хромель- алюмель и возможности замены платина-платинородиевых термопар термопарами типа КТНН. Опираясь на многочисленные публикации зарубежных специалистов и наши собственные исследования метрологических характеристик термопар КТНН, представленные , в том числе и на этой конференции, нам представляется возможным рекомендовать термоэлектрические преобразователи типа КТНН как перспективное, универсальное средство измерения температуры в диапазоне температур от 0 до 1200<sup>0</sup>С, позволяющее решать задачи повышения достоверности измерений и снижать затраты на их проведение.

Хотелось бы подчеркнуть, что нам очень интересен опыт решения метрологических задач на производстве. Мы всегда готовы выслушать конструктивную критику и постараться внедрить пожелания потребителей в конструкции наших датчиков. Устранять же выявленные недостатки – наша прямая обязанность. Поэтому очень важно для нас поддерживать постоянную обратную связь с потребителями нашей продукции. Ваши письма с отзывами о нашей продукции, пусть даже и отрицательными – это, прежде всего ценная информация, позволяющая определять направления дальнейшей работы по усовершенствованию существующих конструкций и разработки новых продуктов.

Мы надеемся на многосторонний обмен мнениями по существующим проблемам термометрии, предложений по улучшению конструкции существующих, а также разработке новых датчиков. Ведь мы же не можем знать всех Ваших проблем. Для этого и нужны такие вот встречи людей, решающих одну и ту же проблему – достоверного и надежного измерения температуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н. Гордов, О.М. Жагулло, А.Г. Иванова. Основы температурных измерений / М.:Энергоатомиздат, 1992.
2. Bentley R.E. Thermoelectric Hysteresis in Nichrosil and Nisil. J. Physics E: Science Instrumentation, 20(1987), pp.1368-1373.
3. Bentley R.E. Thermoelectric Hysteresis in Nickel-based Thermocouple Alloys. J. Physics D: Applied Physics, 22, 1989, pp.1902-1907.
4. Каржавин А.В. и др. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие / Обнинск, 2004