

Пути повышения надежности и точности измерений температуры с помощью термопар

В.А. Каржавин, А.В. Каржавин
ООО «Производственная компания «Тесей», г. Обнинск

В современной промышленности все более строгие требования предъявляются к точности измерения параметров технологических процессов вообще и температуры в частности. Так как значительная часть всех температурных измерений приходится на долю термоэлектрических преобразователей (далее ТП), чувствительными элементами которых являются термопары, вопрос точности их показаний приобретает все большую актуальность.

При модернизации объектов металлургии предлагаемые средства и методы измерений могут решить многие технические проблемы, снизить материальные затраты предприятия, а в отдельных случаях отказаться от закупки зарубежных аналогов термопреобразователей.

1. Практически на любом промышленном объекте, где контроль температуры производится с помощью термоэлектрических преобразователей, замена проволочных термопар на термопары в кабельном исполнении позволяет получить следующие преимущества:

- повышение термоэлектрической стабильности и рабочего ресурса ТП в 2–3 раза;
- возможность изгиба, монтажа в труднодоступных местах, в кабельных каналах, при этом длина ТП может достигать нескольких сотен метров. Термопары можно приваривать, припаивать или просто прижимать к поверхности для измерения ее температуры;
- малый показатель тепловой инерции, позволяющий регистрировать быстропротекающие процессы;
- универсальность применения для различных условий эксплуатации, малая материалоемкость;
- способность выдерживать большие рабочие давления.

Все эти преимущества вытекают из самой конструкции кабельной термопары (Рис. № 1 и Рис. № 2), обеспечивающей надежную герметичную защиту термоэлектродов от воздействия окружающей среды, и таким образом устраняющей их окисление – главный отрицательный фактор, влияющий на стабильность метрологических характеристик и рабочий ресурс.

		
Рис. № 1. Заготовка из термопарного кабеля с одной и двумя парами термоэлектродов. Оболочки кабеля выполнены из жаростойких сталей и сплавов: AISI 321, AISI 316, AISI 310, AISI 446, Inconel 600, Alloy 740.	Рис. № 2. Рабочий спай организован внутри кабеля, торец заглушен пробкой. Изоляция электродов – окись магния или окись алюминия.	Рис. № 3. Общий вид кабельной термопары.

Особое внимание уделено нашими специалистами технологии изготовления рабочего спая термопар. Разработан и запатентован способ контроля спая, использующий явление Пельтье, который обеспечивает при серийном производстве высокую надежность работы термопар, особенно при воздействии тепловых ударов и термоциклировании.

Термопары типов КТХА, КТНН, КТЖК выпускаются только по первому классу точности.

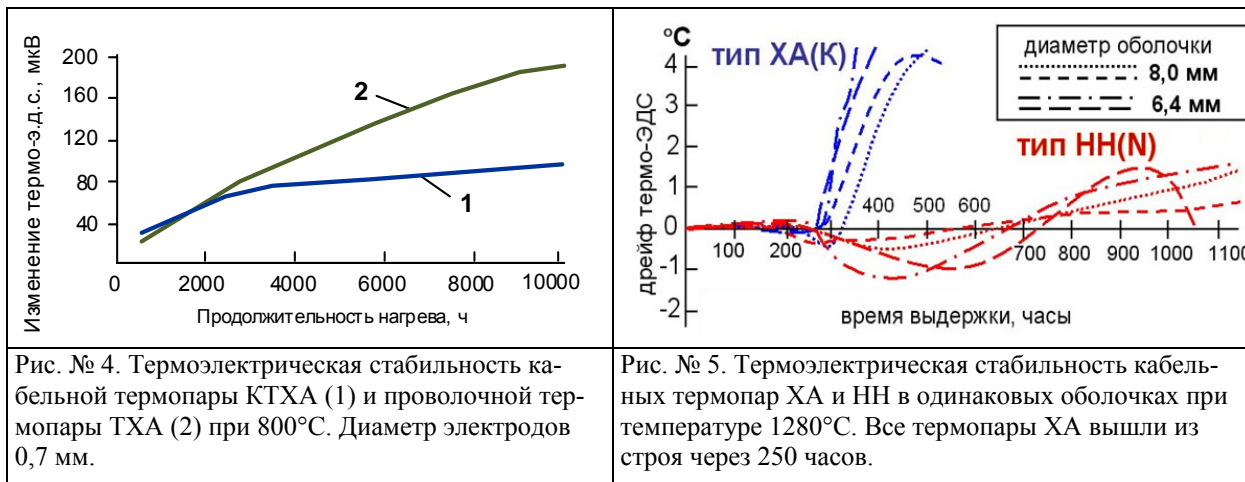
2. При температурах до 1250°C особенно эффективно применение сравнительно нового для российских потребителей типа термопар – нихросил-нисловых (КТНН).

Термопреобразователи КТНН помимо всех преимуществ кабельных термопреобразователей имеют дополнительные достоинства:

- повышенная в 2–5 раз термоэлектрическая стабильность и рабочий ресурс термопары КТНН по сравнению с термопарой КТХА при одинаковых рабочих условиях (Рис. № 5). Материалы термоэлектродов (нихросил и нисил) демонстрируют более высокую стабильность термо-э.д.с. за счет специального подбора легирующих элементов, которые переводят про-

цесс окисления материала термоэлектродов из внутреннего межкристаллитного в поверхностный. При этом на термоэлектродах образуется защитная пленка окислов, подавляющих дальнейшее окисление; устраняется обратимая нестабильность, характерная для хромеля;

- повышенная термоэлектрическая стабильность термопар НН(N) при их индивидуальной градуировке во многих случаях позволяет рекомендовать замену платиновых термопар градуировки ПП(S) 2 класса точности в диапазоне 1000–1200°C на более дешевые термопары КТНН;
- высокая чувствительность термопары НН(N) по сравнению с платинородий-платиновой термопарой ПП(S).



3. Примером универсальности кабельных термопар, их малой тепловой инерционности и материалоемкости, может служить разработка термопары КТХА 02.15, сделанная совместно специалистами ПК «Тесей» и ОАО «РУСАЛ Саяногорск» в 2005–2006 годах (Рис. № 6). Она предназначена для кратковременного измерения температуры расплавленного электролита в ваннах электролизеров при производстве первичного алюминия и предлагается потребителям для импортозамещения.

Преобразователь КТХА 02.15 погружают в расплав электролита на 30–35 секунд. Указанного времени достаточно для наступления теплового равновесия между рабочим спаем термопары и средой. Время одного замера температуры значительно сокращается. При этом увеличивается количество измерений, несмотря на уменьшение материалоемкости за счет снижения толщины стенки наконечника термопреобразователя.

Опытно-промышленная эксплуатации показала, что в расплавленном электролите с температурой 950–1060°C ТП выдерживали от 1000 до 1200 измерений (700–800 – импортные). Конструкция термопреобразователя 02.15 защищена патентом на полезную модель. По отзывам ОАО «РУСАЛ Саяногорск» применение термопреобразователей КТХА 02.15 позволило:

- сократить ежегодные прямые расходы на приобретение термопреобразователей за счет их сниженной стоимости. При этом стоимость одного измерения не превышает 1 рубля;
- сократить время работы персонала под воздействием неблагоприятных факторов;
- улучшить экологическую ситуацию на заводе за счет снижения времени разгерметизации каждого электролизера на 3–4 часа в год, снижения выбросов вредных веществ.

В настоящее время термопары КТХА 02.15 поставляются на заводы первичного алюминия «РУСАЛ» в Саяногорск, Иркутск, Красноярск, на Хакасский и Богословский алюминиевые заводы. Результаты этой работы были представлены в докладе на конференции «Алюминий Сибири» в 2007 году (текст см. на сайте).

Еще один пример. По заданию Новолипецкого металлургического комбината с целью импортозамещения нами разработана конструкция датчика 02.12, который применяется для измерения температуры стенок кристаллизатора установок непрерывной разливки металла (Рис. № 7). На эту конструкцию также выдан патент полезной модели, получены крупные заказы от НЛМК, ОАО «Северсталь», Ашинского металлургического завода.

На этих примерах хотелось бы подчеркнуть, что нам очень интересен опыт решения метрологических задач на производстве, и мы всегда готовы внедрить пожелания потребителей в конструкции наших датчиков, а также выслушать конструктивную критику: даже отрицательные отзывы – это, прежде всего ценная информация, позволяющая определять направления дальнейшей работы по усовершенствованию существующих конструкций и разработки новых.



Рис. № 6. Термопреобразователь КТХА (КТНН) 02.15 для периодических кратковременных измерений температуры расплавленного электролита в ваннах электролизеров при производстве первичного алюминия. Патент на полезную модель № 66040.

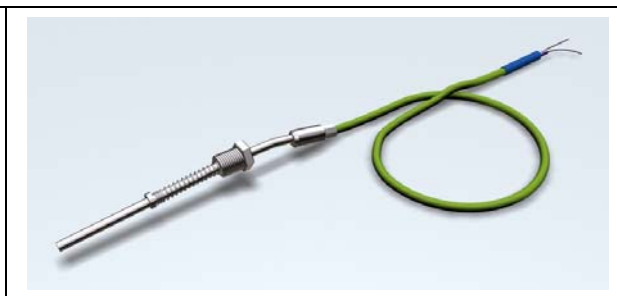


Рис. № 7. Термопреобразователь КТХА 02.12 для измерения температуры стенок кристаллизатора установок непрерывной разливки металла. Патент на полезную модель № 79667.

4. Для дополнительной защиты при высоких температурах и давлениях (свыше 4 МПа), в агрессивных средах, кабельные термопреобразователи помещаются в защитные чехлы, предохраняющие их от разрушений. Термопреобразователи, конструкция которых является разборной и состоит из кабельной термопары, служащей в качестве сменного термочувствительного элемента (ТЭ), и защитного чехла, называют термопреобразователями блочно-модульного исполнения (Рис. № 8 и Рис. № 9). Они обеспечивают возможность замены термочувствительного элемента без демонтажа защитного чехла с объекта; удешевление последующих поставок, так как, при необходимости, заменять можно только наружный чехол или только термочувствительный элемент.



Рис. № 8. Термопреобразователи блочно-модульного исполнения.

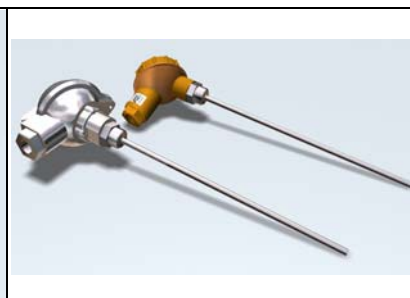
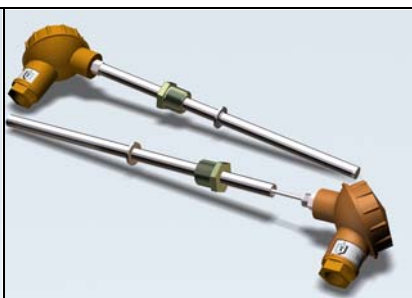


Рис. № 9. Сменные термочувствительные элементы.

Таким образом, кабельные термопреобразователи успешно работают как в качестве непосредственно датчика температуры, так и в качестве сменного термочувствительного элемента термоэлектрического преобразователя более сложной конструкции.

ПК «Тесей» постоянно расширяет ассортимент жаростойких и жаропрочных материалов как металлических, так и керамических, применяемых для изготовления защитных чехлов термопреобразователей, с целью предоставления потребителям возможности наиболее точного подбора датчиков для конкретных условий эксплуатации, а также снижения затрат на их приобретение.

В настоящее время при производстве термопреобразователей с температурой применения до 800°C используются чехлы из нержавеющей аустенитной стали 12X18H10T и химстойкой стали 10X17H13M2T, при температурах до 1100°C – чехлы из жаростойкой стали AISI 310 аустенитного класса взамен в более дорогого сплава ХН45Ю, и при температурах до 1250°C – чехлы из сплава ХН45Ю или керамические.

Для использования в печах с окислительными и восстановительными высокотемпературными атмосферами предлагаются термопреобразователи в защитных чехлах из железохромалюминиевого сплава КАНТАЛ АРМ с более высокими эксплуатационными характеристиками по сравнению со сталями и сплавами AISI 310, 10X23H18, ХН45Ю. Сплав КАНТАЛ АРМ по химическому составу практически идентичен традиционной фехрала, однако за счет применения технологии «Передовая Порошковая Металлургия» (АРМ – Advanced Powder Metallurgy) получил новые эксплуатационные свойства:

- максимальная температура применения 1400°C, что на 150–200°C выше, чем для чехлов из других жаростойких сплавов и сталей;
- повышенное сопротивление коррозии при температуре 1250–1400°C;
- высокая устойчивость к воздействию серы и серосодержащих соединений, а также к науглероживанию;

- высокая жаропрочность материала позволяет изготавливать тонкостенные чехлы, что обеспечивает высокую чувствительность к колебаниям температуры.

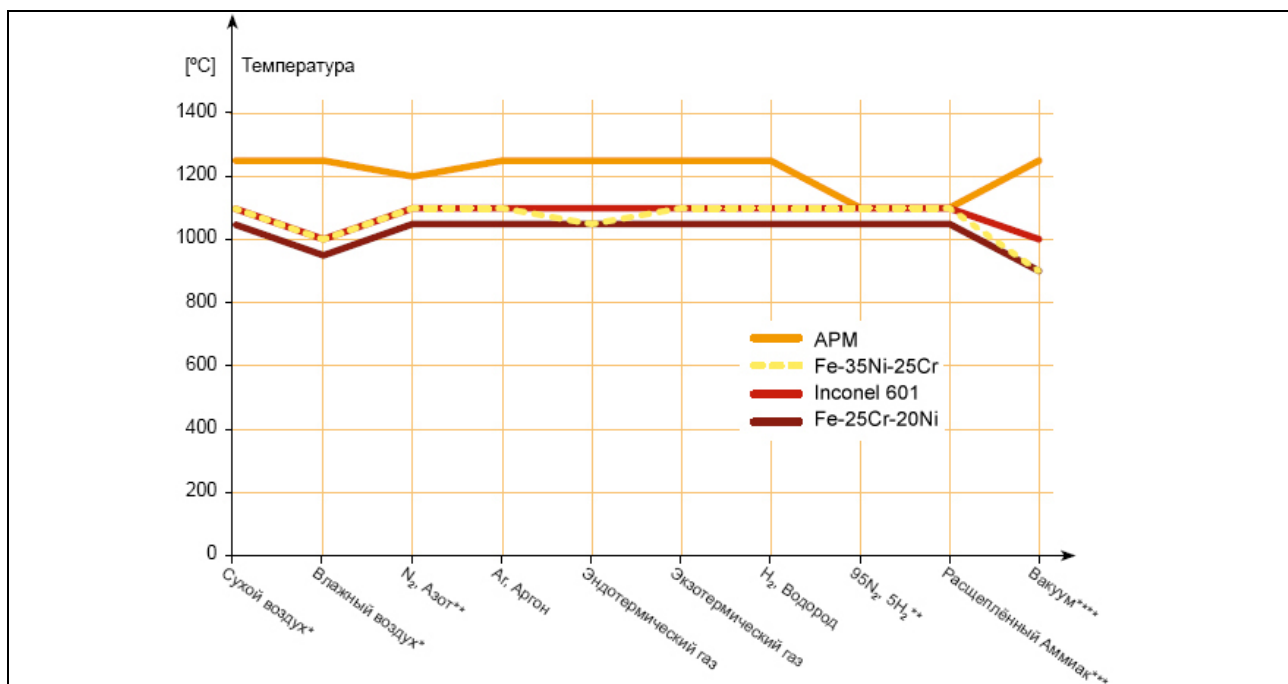


Рис. № 10. Температура применения чехлов КАНТАЛ АРМ в различных атмосферах: сухой воздух, влажный воздух, азот, аргон, экзогаз, эндогаз, водород, «азотный газ» (95N₂, 5H₂), диссоциированный аммиак, вакуум.

Благодаря перечисленным свойствам и множеству дополнительных преимуществ чехлы КАНТАЛ АРМ целесообразно применять для термопар типов КТНН и ТППТ, ТПРТ (платиновых).

Для цветной металлургии за последние пять лет нами были разработаны и испытаны на различных предприятиях алюминиевой промышленности более 15 конструктивных модификаций термопар с чехлами из различных материалов. Результаты испытаний сведены в отдельный отчет, с которым можно ознакомиться в нашем отделе разработок, отзывы об эксплуатации размещены на сайте.

В настоящее время для измерения температуры в расплавах цветных металлов мы предлагаем термопары КТХА и КТНН модификаций 01.19 с защитными чехлами, показавшими наибольшую стойкость в расплавах (Рис. № 13). Это чехлы из серого чугуна (наиболее дешевые изделия), показавшие стойкость до 30 дней в расплаве алюминия при непрерывном погружении на объектах Ступинской металлургической компании и Русал Арменал; и чехлы из керамики на основе нитрида кремния, которые предпочтительны при повышенных требованиях к химической чистоте расплавов и обладают стойкостью до 12 месяцев в расплаве алюминия и до 3 месяцев в расплаве меди. В расплаве цинка хорошо зарекомендовали себя КТХА 01.20 с чехлами из карбида кремния – срок службы составил 100 дней.

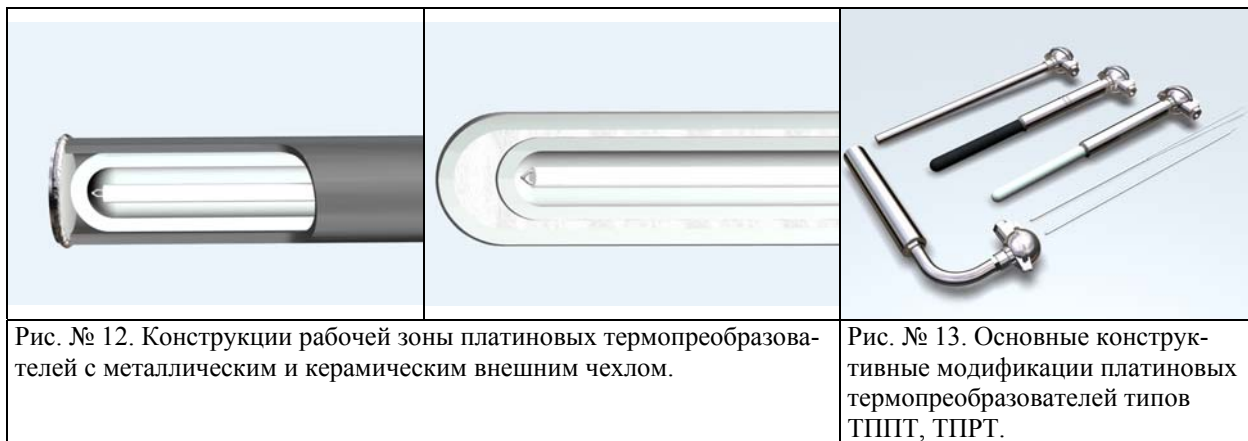


Рис. № 11. Термопреобразователи в специальных защитных чехлах.

5. Для измерения высоких температур до 1600 °С ПК «Тесей» производит платиновые термопреобразователи ТППТ и ТПРТ с высоким рабочим ресурсом. Многочисленные испытания показывают, что нами достигнуты высокие показатели надежности этих термопар – вероятность безотказной работы $P(t)$ при номинальных условиях эксплуатации составляет не менее 0,85 за 8000 часов. Другими производителями обычно указывается такой показатель, как «средняя наработка до отказа», равная 6000 часов, что эквивалентно вероятности безотказной работы $P(t)=0,37$.

Такой результат был достигнут за счет применения в производстве импортных защитных чехлов из особо чистой газоплотной алюмооксидной керамики С795 и С799, полностью отвечающей требованиям стандарта МЭК 60672. Применение высококачественных материалов и разработка конструкций ТП с двойными защитными чехлами позволяет устранить загрязнение электродов – основной фактор, непосредственно влияющий на работоспособность платиновых термопар. Внешний чехол может быть как керамическим, так и металлическим, но внутри него платиновые термоэлектроды всегда хорошо защищены вторым чехлом из высокочистой керамики.

Отметим, что платиновые термопары, как и термопары из неблагородных металлов, могут иметь не только проволочное, но и кабельное исполнение.



6. Особенно важным для повышения точности измерений температуры является внедрение новых методик и средств их реализации.

В настоящее время в практическую метрологию внедряется концепция «неопределенности измерения». Она получила широкое распространение во всем мире и введена как обязательное условие при аттестации поверочных лабораторий по международному стандарту ИСО/МЭК 17025. В национальные стандарты Российской Федерации в области термометрии, понятие «неопределенность измерения» взамен термина «погрешность измерений» впервые введено в новых ГОСТ на термометры сопротивления, в разработке которых специалисты нашей компании принимали активное участие. Концепция «неопределенности измерения» возможно найдет свое отражение и при разработке новых ГОСТ, касающихся термоэлектрических преобразователей, работа над которыми уже начата.

Неопределенность измерения достаточно легко рассчитывается как в производственных, так и в лабораторных условиях, позволяет сравнивать результаты измерений, проведенных в различных лабораториях, повышает объективность оценки средств измерений, снижает риск потребителя получить некачественные приборы и в итоге наиболее эффективно оптимизировать технологические процессы. В первом номере журнала «Главный метролог» за 2010 год опубликована статья наших специалистов «К вопросу о неопределенности измерений температуры термоэлектрическими преобразователями» с подробным описанием всех факторов, влияющих на точность, и примерами расчетов неопределенности измерений для различных измерительных схем.


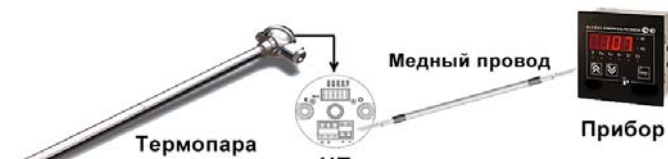


Рассмотрим основные измерительные схемы, по которым производится контроль и регулирование температуры в промышленных условиях. В состав измерительной схемы могут входить следующие компоненты: первичные датчики (термопреобразователи), удлинительные провода (длиной до нескольких сотен метров), нормирующие преобразователи (НП), обеспечивающие непрерывное преобразование температуры в унифицированный выходной сигнал, и регистрирующие вторичные приборы. Каждый из компонентов имеет свои типовые классы точности и пределы допускаемых погрешностей и вносит свой вклад в общий итоговый бюджет неопределенности измерения.

Делая первый шаг к повышению точности измерений, обычно выбирают использование более точного регистрирующего прибора. Но это даст положительный эффект, если будут корректно учтены следующие не менее важные факторы:

- класс допуска термопары, неопределенность ее калибровки, дрейф термо-эдс в межповерочном интервале, термоэлектрическая неоднородность по длине термопары;
- тип и класс удлинительных проводов и вносимой ими неопределенности;
- нестабильность температуры в рабочем поле;
- соблюдение указаний по эксплуатации датчиков, в частности глубины погружения в среду и температуры на узлах коммутации (клеммных головках, разъемах, переходных втулках) и проводах.

В таблице приведены расчеты итоговой неопределенности при измерении температуры 800°C с помощью термопар из неблагородных металлов, сделанные для различных схем при низкой и высокой точности всех компонентов. При низкой точности компонентов подразумевается: класс ТП – 2, класс провода – 2, класс прибора – 0,5, класс НП – 0,5; при высокой точности: класс ТП – 1, класс провода – 1, класс прибора – 0,25, класс НП – 0,25.

При правильном учете всех факторов точность измерений любой их схем, можно повысить практически в два раза, а при использовании термопар с индивидуальной градуировкой и высокоточных приборов (класса 0,1) приблизится к точности, обеспечиваемой платиновыми термопарами.

Схема	Компоненты схемы	Расширенная неопределенность результатов измерений, °C (расчет для температуры 800°C)	
		при низкой точности всех компонентов	при высокой точности всех компонентов
Схема 1		$\pm 11,3$	$\pm 6,1$
Схема 2		$\pm 9,6$ ($\pm 11,8$)*	$\pm 5,0$ ($\pm 6,2$)*
Схема 3		$\pm 12,2$	$\pm 6,5$
Более точные технические измерения обеспечиваются при использовании термопары с индивидуальной градуировкой, удлинительного провода класса 1, регистрирующего прибора класса 0,1:			
Схема 1		$\pm 4,3$ для ТП типов ХА и НН $\pm 3,1$ для ТП типов ПП(R) и ПП(S) 2-го класса	

* – при отдельной проверке термопреобразователя и нормирующего преобразователя (НП).

7. В процессе эксплуатации ТП в термоэлектродах неизбежно возникает термоэлектрическая неоднородность (ТЭН), определяемая как отклонение дифференциальной чувствительности (коэффициента Зеебека) на данном участке термоэлектрода от некоторого нормированного значения. Скорость развития ТЭН и её величина зависят от ряда причин, связанных с воздействием внешней среды, особенно при высокой температуре, и вызывающих изменения состава и структуры материала. Среди основных причин:

- изменение химического состава термоэлектродов при взаимодействии с изолирующими материалами и окружающей средой за счет избирательного окисления, испарения или связывания в соединения элементов;

- рекристаллизация, рост зерна;
- превращения в твердом состоянии (упорядочение, распад твердого раствора);
- пластическая деформация и упругие напряжения;

Проявление ТЭН заключается в зависимости показаний термопары не только от разницы температур опорного и рабочего спая, но и от распределения температуры

ствительным элементом внутри защитного чехла и таким образом позволяют проводить бездемон- тажную поверку и/или градуировку в рабочих условиях.

Один из главных вопросов бездемон- тажной поверки – это проблема, связанная с выбором эталонного средства измерения. Традиционно в России в качестве эталонных используют плати- нородий-платиновые термопары в керамической сололке с оголенным рабочим спаем. Такие тер- мопары хороши для применения в лабораторных условиях, так как имеют небольшую неопределенность измерения температуры. В реальных промышленных условиях работать с таки- ми термопарами затруднительно и дорого, так как незащищенные термоэлектроды быстро загряз- няются, а керамическая сололка при погружении в измерительный канал часто ломается.

В качестве эталонных термопар удобно использовать кабельные термопары. Наша компания проводила исследования кабельных термопар в течение 7 лет. Были исследованы характеристики термопар различных градуировок ХА, ПП, НН, ЖК. Термопары подвергались различным видам тепловых воздействий: длительной выдержке при высокой температуре, термоциклированию от 400 до 1050°C, термоударам. В результате мы доказали, что в качестве эталонного средства изме- рения для проведения бездемон- тажной поверки в различных температурных полях, на различных глубинах погружения, в диапазоне температур от 200 до 1100 °С возможно использовать кабель- ные термоэлектрические преобразователи типа нихросил-нисил. Они получили наименование – преобразователи термоэлектрические кабельные эталонные 3-го разряда КЭТНН.

Мы гарантируем расширенную неопределенность термопар КЭТНН от $\pm 0,85$ °С до $\pm 1,5$ °С в указанном диапазоне температур на протяжении всего времени их использования с учетом их дрейфа и возможного возникновения в них ТЭН. Эти термопары не подлежат периодической по- верке. Ресурс термопар составляет 500 замеров (500 термоциклов 25 °С... 1100 °С).

Способ бездемон- тажной поверки и/или градуировки подробно описан в разработанной ком- панией «Тесей» методике поверки МИ 3091-2007.

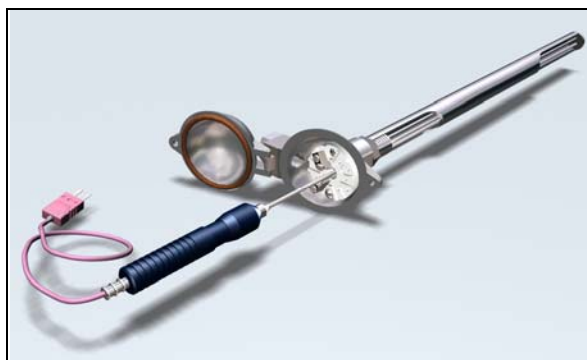


Рис. № 15. Термопара КТХА 21.06 и КЭТНН.

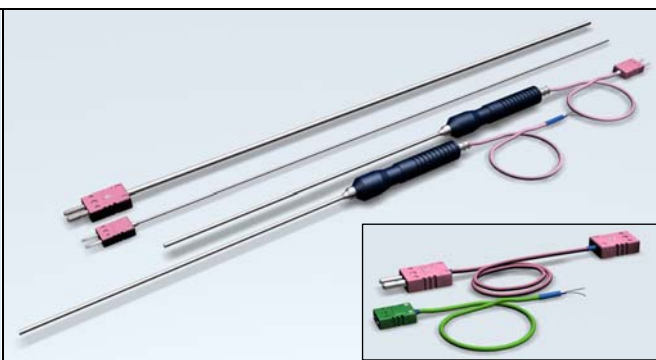


Рис. № 16. Эталонные термопары КЭТНН и термопар- ные адаптеры для подключения.

 Термопары серии 21.XX Конструктивные модификации кабельных термоэлектрических преобразователей с дополнительным каналом		
 21.05	КТХА, КТНН, КТХК, КТЖК	 21.06 21.16
 21.07	 21.20 21.21	 21.08

Рис. № 17. Основные конструктивные модификации термопреобразователей серии 21.xx с дополнитель- ным каналом для установки эталонной термопары.

Все перечисленные средства измерения сертифицированы и внесены в Государственный ре- естр СИ. Исключительное право ПК «Тесей» на кабельные термоэлектрические преобразователи серии 21.XX, методику бездемон- тажной поверки МИ 3091-2007 и эталонные кабельные термопре-

образователи КЭТНН подтверждено патентами на изобретения (№ 2299408, № 2325622) и полезную модель № 39200.




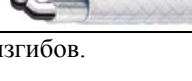
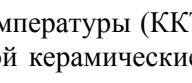
Использование перечисленных средств и методики поверки МИ 3091 непосредственно на термометрируемом объекте в диапазоне температур от 200 °С до 1100 °С дает ряд преимуществ:

- данный способ поверки дает наиболее достоверный результат периодической поверки термопар, бывших в употреблении, так как они поверяются в том же температурном поле, в котором и используются. Необходимая регулярность поверок зависит от конкретных условий эксплуатации;
- периодическая бездемонтажная поверка с помощью эталонных термопар КЭТНН позволяет существенно повысить точность измерений. Расширенная неопределенность измерений составляет $\pm 1,9 \div 2,7$ °С, что соответствует расширенной неопределенности измерений платиновыми термопарами ПП(S) 1-го класса точности;
- на поверку одной термопары на одном температурном уровне требуется 5–7 минут времени, что существенно меньше, чем время, затрачиваемое на традиционную поверку в лаборатории. Нет необходимости снимать термопару с объекта, относить ее в лабораторию, и затем, после проведения поверки, вновь устанавливать термопару на место. Таким образом, существенно снижается нагрузка на персонал метрологической службы предприятия;
- кабельные эталонные термопары КЭТНН предназначены для проведения 500 поверок, после чего они подлежат списанию и не могут применяться как эталонные. Стоимость КЭТНН существенно ниже стоимости традиционной образцовой платиновой термопары, что в совокупности с их ресурсом значительно снижает стоимость поверки;
- стоимость термопар серии 21.XX всего на 3–5 % выше стоимости их аналогов.

Пробное применение комплекса преобразователей 21.XX и КЭТНН было проведено на предприятии ФГУП ПО «УралВагонЗавод» им. Ф.Э. Дзержинского. Начато серийное применение термопар на промышленных предприятиях, таких как ОАО «Самарский металлургический завод», ОАО «Энергомашспецсталь» (Краматорск, Украина), ОАО «Златоустовский металлургический завод» и др.

8. Для аттестации технологических печей и контроля температуры предлагаем следующие вспомогательные средства:

- термопары модификации 02.21, изготовленные из термоэлектродного провода с изоляцией из муллито-кремнеземного, керамического или кварцевого волокна для применения в условиях воздействия высоких температур (760–1200°С), используемые в оборудовании для термической обработки, печах гомогенизации, отжига, старения, отпуска и т.п. в качестве «загрузочных» или «проверочных» термопар. «Загрузочные» («закладные») термопары предназначены для измерения температуры деталей, макетов деталей, заготовок, сырьевого материала. Загрузочные термопары устанавливаются внутри садки материала или в контакте с ней. «Проверочные» термопары используются для контроля равномерности нагрева или однородности температурного поля в рабочем объеме печей или другого оборудования при его аттестации. Класс точности проводов по МЭК 60584-2 – первый.

 <p>Термопары КТХА и КТЖК модификации 02.21</p>	Внешний вид	НСХ	Диаметр термоэлектродов	Материал изоляции и наружной оболочки	Термостойкость оболочки, °С
		ЖК	0.8 мм	муллито-кремнеземное волокно (FIL)	760*
		ХА		керамическое волокно (CER)	1200
		ХА		кварцевое волокно (SIL)	870 (1270*)
	ХА				

* – при отсутствии трения и изгибов.

- Кольца для Контроля Температуры (ККТ) – высокоточные индикаторы температуры, внешне представляющие собой керамические кольца, способные изменять свои геометрические параметры в зависимости от количества поглощенного тепла. ККТ воспринимают как радиационное, так и конвективное тепловое воздействие. В зависимости от количества получаемого тепла кольцо практически линейно уменьшается в диаметре, при условии, что оно находится в рабочем диапазоне температур. ККТ изменяет свой диаметр именно в зависимости от количества тепла, полученного им в процессе теплового воздействия, а не от макси-

мальной температуры, в которой оно находилось во время процесса. После применения диаметр кольца измеряется микрометром, результат переводится по специальным таблицам, учитывающим время воздействия, в условную «температуру кольца», упрощающую сравнение результатов и их корреляцию с тепловым процессом.

ККТ могут использоваться в различных технологических печах и в различных средах, таких как кислород, азот, воздух и вакуум, в диапазонах температур внутри интервала от 660°C до 1750°C. Расположение ККТ по всему объему печи и определение «температур кольца» после завершения теплового процесса позволяет обнаружить «холодные» и «горячие» зоны внутри печи. Используя карту распределения «температур колец», можно оптимизировать тепловой режим, перемещая источники тепла или управляющие термодары.



Рис. № 18. Кольца для контроля температуры – ККТ.



Рис. № 19. Измерение диаметра кольца.



Рис. № 20. ККТ для различных диапазонов температур.



Рис. № 21. Карта распределения температуры в печи (пример)

Надеемся, что информация, кратко изложенная в этом докладе, будет полезна специалистам металлургической отрасли.

При вашей заинтересованности Производственная компания «Тесей» готова провести на вашем предприятии технический семинар с более детальным и глубоким рассмотрением затронутых проблем контактной термометрии.