

# Преимущества изготовления термопар из кабелей с минеральной изоляцией КТМС



Современные технологии изготовления термопар за счет использования специальных кабелей с минеральной изоляцией, таких как КТМС, обеспечивают высокую устойчивость к агрессивным средам, высоким температурам и механическим воздействиям, что особенно важно при эксплуатации в экстремальных условиях.

Кабельный завод СЕНТЕК, г. Екатеринбург

Термопары – это широко используемые устройства для измерения температуры в различных промышленных и научных сферах. Высокая точность, надежность и простота эксплуатации делают их незаменимыми в металлургии, энергетике, нефтегазовой промышленности, а также в научных исследованиях. Основой работы термопары является термоэлектрический эффект – возникновение электрического напряжения при наличии разности температур между двумя разнородными проводниками.

Разнородные проводники, из которых состоит термопара, соединены на одном конце рабочим (горячим) спаем. При разнице температур между рабочим и холодным спаями возникает электродвижущая сила (ЭДС), пропорциональная разности температур. Классическое производство термопар включает использование термоэлектродных материалов, таких как хромель, алюмель, копель, нихросил, нисил и др. Материалы электродов определяют диапазон измерений, устойчивость к окислению, коррозии и агрессивным средам. Например, сплавы хромель-алюмель (К) устойчивы к окислению и применяются при

температурах до +1100 °С, а сплавы нихросил-нисил (N) работают в диапазоне от –40 до +1250 °С, заменяя дорогостоящие термопары из драгоценных металлов.

Традиционно термопары изготавливались из проволоки, изолируемой керамическими материалами (бусами). Однако с развитием промышлен-

ности возникла необходимость в более надежных, долговечных и удобных в монтаже решениях. Одним из таких решений стало использование термопарных кабелей с минеральной изоляцией, в частности, кабелей КТМС (рис. 1).

Термопары на основе кабеля с минеральной изоляцией в стальной оболочке (КТМС) представляют собой современное решение для измерения температуры в агрессивных и высокотемпературных средах. Их конструкция обеспечивает повышенную стабильность, долговечность и гибкость монтажа по сравнению с традиционными проволочными термопарами. КТМС состоит из гибкой металлической трубки, которая обычно изготовлена из жаростойкой нержавеющей стали (321, 08X18H10T, 12X18H10T, ХН78Т, ХН45Ю, AISI 310, AISI 316, никробель, Инколой 825, Инконель 600, 601 и др.). Внутри трубки размещены термоэлектроды – две или четыре однопроволочные жилы, проложенные параллельно. Материалом изготовления жил может служить хромель и алюмель (тип ХА), хромель и копель (тип ХК), нихросил и нисил (тип НН), железо и константан (тип



Рис. 1. Кабель термопарный с минеральной изоляцией в стальной оболочке (КТМС)

ЖК), медь и константан (тип МКн). Пространство между термоэлектродами и оболочкой заполнено плотной дисперсной минеральной изоляцией — оксидом магния (периклазом). Такая структура предотвращает контакт термоэлектродов с агрессивными средами и обеспечивает высокую теплопроводность, что снижает тепловую инерцию датчика.

Оболочку кабелей КТМС изготавливают из различных марок стали, что позволяет адаптировать кабель под конкретные условия эксплуатации. Перечислим основные марки стали, используемые для оболочек.

**AISI 321** (российские аналоги **12X18H10T** или **08X18H10T** отличаются друг от друга процентным содержанием хрома) — коррозионно-стойкая, жаростойкая, жаропрочная сталь. Неустойчива в серосодержащих и кислотных средах. Рекомендуемая максимальная температура применения в течение длительного времени (более 1000 ч) — 800 °С.

**AISI 310 (20X23H18)** — сталь тугоплавкая аустенитная жаростойкая. В окисляющей среде обычно можно применять до температуры 1100 °С, в восстанавливающей среде — до 1000 °С, но в любом случае — в атмосфере, содержащей менее 2 г серы на 1 м<sup>3</sup>.

**AISI 310S (10X23H18)** является низкоуглеродистой версией AISI 310 и используется в условиях, где возможна коррозия высокотемпературными газами или конденсатами.

**AISI 316 (08X17H13M2)** — аустенитная конструкционная нержавеющая сталь. И AISI 316, и ее варианты 316L (03X17H13M2) и 316Ti (08X17H13M2T) пользуются заслуженным спросом во многих производственных сферах. Благодаря присутствию в составе никеля и молибдена они отличаются очень высокой стойкостью к коррозионным воздействиям. Их можно применять в условиях агрессивных сред, низких температур. Нержавеющая сталь AISI 316 характеризуется особой стойкостью при взаимодействии с серной кислотой и ее солями. В случае повышенных требований к технологичности лучше выбрать нержавеющую сталь марки 316Ti, усиленную титаном.

**XH78T (КТМСn)** — жаропрочный сплав на никелевой основе, предназначенный для эксплуатации в экс-

тремальных температурных условиях. Относится к классу высоколегированных никелевых сталей. Рекомендуемая максимальная температура его применения — 1000 °С в течение 10000 ч. Сплав неустойчив в серосодержащих средах.

**10ХН45Ю (ЭП747) (КТМСэп)** — это железоникелевый высоколегированный сплав с добавками хрома и алюминия, относящийся к классу жаростойких и жаропрочных сталей. Выдерживает длительные нагрузки при температурах до 1250–1300 °С (при малых механических напряжениях).

**Никробель/Nicrobell (КТМСн)** — жаростойкий сплав на никелевой основе, разработанный для применения в высокотемпературных измерительных системах, прежде всего — в термодарах, сохраняет работоспособность при температурах до 1200–1300 °С (в зависимости от конкретной марки и условий эксплуатации).

**Инконель/Inconel** — это торговая марка никелевых сплавов, известных своей высокой стойкостью к коррозии и термической стабильностью. В частности, сплавы Inconel 600 и Inconel 601 широко применяются в различных промышленных областях, таких как химическая промышленность, энергетика и аэрокосмическая индустрия. Вот некоторые из распространенных сплавов Inconel, используемых для изготовления кабелей КТМС.

**Inconel 600 (КТМСин)** — никелево-хромовый сплав, широко используемый в условиях высокой температуры и коррозионных воздействий. Этот сплав обладает отличной устойчивостью к окислению, высоким температурам (до 1093 °С) и коррозии в агрессивных средах, однако не обладает высокой стойкостью к окислению при температурах выше 1000 °С, в отличие от Inconel 601.

**Inconel 601 (КТМС601)** — никелево-хромовый сплав, обладающий высокой термостойкостью и коррозионной стойкостью. Он содержит примерно 58–62% никеля, около 21–25% хрома и небольшие добавки алюминия и титана, что обеспечивает его отличную устойчивость к окислению при высоких температурах (до 1100 °С и выше).

**Инколой 825 (КТМС825)** — высоколегированная нержавеющая сталь, которая содержит хром, никель, медь, молибден и титан. Она обладает от-

личной коррозионной стойкостью, особенно в агрессивных средах, таких как кислотные растворы, морская вода и химические среды. Используется в химической, нефтяной, газовой промышленности, а также в оборудовании для обработки воды и в морской технике. Эта сталь сохраняет прочность при высоких температурах и отличается хорошей пластичностью.

Выбор конкретной марки стали зависит от условий эксплуатации: температуры, давления, агрессивности среды и требований к механической прочности. Критически важные моменты при выборе стали для КТМС:

- ▶ температурный диапазон — сталь должна выдерживать максимальную рабочую температуру без деформации и потери свойств. Превышение максимальной рабочей температуры для выбранной марки стали приведет к быстрому окислению, потере прочности и выходу из строя;

- ▶ коррозионная стойкость — материал должен сопротивляться окислению, воздействию агрессивных сред (кислот, хлоридов, серосодержащих соединений);

- ▶ механическая прочность и износостойкость — сталь должна выдерживать механические нагрузки, вибрацию и ударные воздействия.

Выбор марки стали для кабелей КТМС — это не просто поиск «прочного кожуха», а инженерный расчет, основанный на температуре, химическом составе среды и требуемом сроке службы.

Работоспособность и точность измерений термоэлектрических термометров зависит в основном от качества изготовления рабочего спая и герметизации оболочки.

По конструкции термопары из кабеля КТМС подразделяются на два типа:

- ▶ с рабочим спаем, изолированным от оболочки;

- ▶ с рабочим спаем, заземленным на оболочку.

Рабочий спай у вышеуказанных типов термопар можно изготовить с помощью пайки или сварки. Однако отечественный и зарубежный опыт показывает, что наиболее надежный рабочий спай можно получить только путем расплавления и сварки концов термоэлектродов, так как паяные термопары имеют ряд недостатков: припой, используемые для пайки,

обладают более низкой коррозионной стойкостью, чем материал оболочки, ограничивают максимальную рабочую температуру термопары; наконечник увеличивает диаметр конца термопары; после пайки требуется удалить остатки флюса с конца термопары. Герметизацию оболочки термопары тоже целесообразно производить сваркой.

Процесс изготовления термопары из кабеля КТМС с рабочим спаем, изолированным от оболочки, включает несколько последовательных этапов (рис. 2):

► отрезка кабеля — выбирается длина кабеля в зависимости от условий монтажа;

► закрепление заготовки в вертикальном положении и высверливание сердечника на глубину, равную половине диаметра кабеля;

► подготовка термоэлектродов под сварку — бормашиной с медицинскими борами удаляют изоляцию вокруг термоэлектродных жил и зачищают их до металлического блеска;

► сближение термоэлектродных жил до соприкосновения друг с другом и их сварка;

► удаление с поверхности изоляции вокруг жил следов загрязнения металлов посредством обдувки воздухом;

► засыпка рабочего спаея слоем предварительно прокаленного периклаза (магнезиальной изоляции) и его уплотнение с помощью пуансона;

► установка пробки из соответствующей стали, заварка и герметизация;

► после этого выполняется финальная обработка:

- полировка сваренного конца для обеспечения гладкости и точности измерений;
- правка и проверка — кабель подвергается механической проверке на целостность и соответствие техническим требованиям.

Технология сварки термопар с заземленным на оболочку спаем предусматривает одновременную сварку термоэлектродов с оболочкой и герметизацию оболочки (рис. 3). При сварке термоэлектродов термопар диаметром до 3 мм это осуществляется за счет оплавления термоэлектродов. При сварке термопар диаметром более 3 мм металл термоэлектродов недостаточно для герметизации оболочки, поэто-

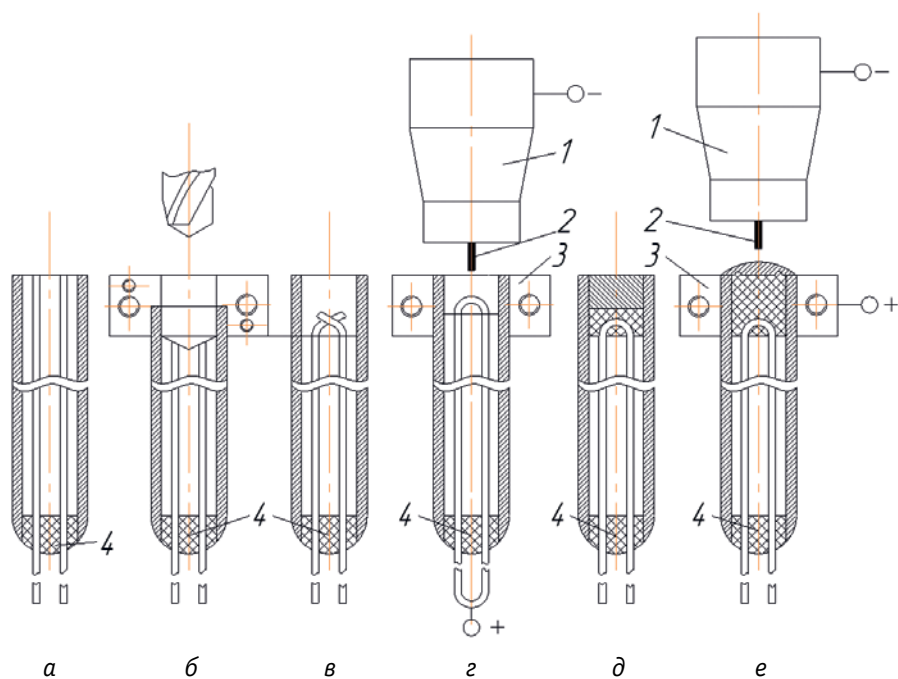


Рис. 2. Последовательность подготовки и сварки рабочих концов термопар диаметром 1–6 мм с рабочим спаем, изолированным от оболочки: а – обрезка заготовки; б – удаление изоляции и термоэлектродов; в – подготовка термоэлектродов под сварку; г – сварка термоэлектродов; д – уплотнение изоляции над термоэлектродами и установка пробки; е – сварка оболочки (1 – горелка; 2 – электрод; 3 – медные губки; 4 – герметик)

му применяются пробки с отверстием под термоэлектроды. На рисунке приведена последовательность подготовки и сварки рабочих концов термопар

с рабочим спаем, приваренным к оболочке.

Эти этапы позволяют получить готовую термопару, которая обладает

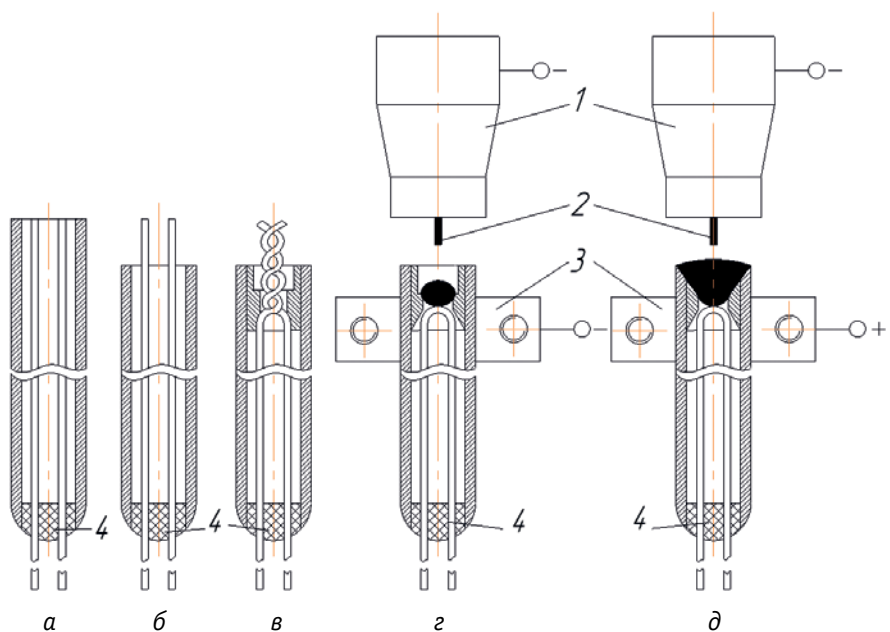


Рис. 3. Последовательность подготовки и сварки рабочих спаев термопар диаметром 3–6 мм с рабочим спаем, заземленным на оболочку: а – обрезка заготовки; б – освобождение термоэлектродов; в – удаление изоляции, скручивание термоэлектродов и установка пробки; г – оплавление термоэлектродов; д – сварка (1 – горелка; 2 – электрод; 3 – медные губки; 4 – герметик)

высокой точностью, стабильностью и долговечностью.

Преимущества использования кабелей КТМС для производства термопар очевидны:

- ▶ высокая долговечность и устойчивость к коррозии и окислению;
- ▶ гибкость монтажа благодаря возможности изгиба кабеля;
- ▶ малое тепловое инерционное время, что позволяет быстро реагировать на изменения температуры;
- ▶ высокая точность и стабильность измерений;
- ▶ устойчивость к высоким давлениям и экстремальным температурам;
- ▶ простота установки — достаточно разделить кабель, создать спай и заварить его, что позволяет даже одному человеку выполнить монтаж.

Термопары на основе кабелей КТМС применяются в различных отраслях промышленности: в металлургии и стекловарении (контроль температуры в печах, ковшах, печных

камерах), энергетике (измерение температуры в паровых котлах, турбинах, доменных печах), нефтегазовой отрасли (контроль температуры в скважинах, трубопроводах, нефтеперерабатывающих установках), пищевой промышленности (контроль процессов обжарки, пастеризации, стерилизации), при обжиге кирпича и керамики (мониторинг температуры в печах), для измерения температуры дымовых газов и высокоскоростных газовых потоков (в научных исследованиях и испытаниях).

Ведущие мировые производители, такие как ABB, Ari, JUMO, Pyrotex, Siemens, Thermocoax, TRM, Omega Engineering, Pyromation, Watlow, КМЕ, Eurotherm, Sungil, производят основной объем термоэлектрических термопреобразователей из термопарного кабеля с минеральной изоляцией в стальной оболочке КТМС. Применение КТМС для изготовления термопар становится все более популярным

благодаря его уникальным характеристикам и свойствам. Современные материалы и технологии позволяют создавать кабели, способные работать в условиях высоких температур, агрессивных сред и больших механических нагрузок.

Изготовление термопар из кабелей с минеральной изоляцией КТМС — это современное, надежное и эффективное решение, позволяющее снизить затраты и повысить качество.

Более 19 лет специалисты кабельного завода СЕНТЕК совершенствуют технологии, позволяющие изготавливать кабельно-проводниковую продукцию высокого качества и под самые разные нестандартные требования.

Е. Ф. Пронькина,  
Кабельный завод СЕНТЕК, г. Екатеринбург,  
тел.: +7 (343) 361-1553,  
e-mail: info@sentek.ru,  
сайты: sentek.ru, uralterm.ru

**rosmould**  
Международная выставка  
пресс-форм, штампов, инструмента  
и производственных технологий

**rosplast**  
Международная выставка  
оборудования и материалов для  
производства изделий из пластмасс

От идеи  
до готового  
изделия

**4**  
ТЕПЕРЬ ДНЯ!  
16–19 июня 2026  
МВЦ «Крокус Экспо»  
Москва

РЕГИСТРАЦИЯ  
ОТКРЫТА

Отсканируйте QR-код  
для бесплатного билета

rosmould.ru  
rosplast-expo.ru

АА GEFERA MEDIA