

Выбор датчика для измерения температуры

М.В. Мирошкин

магистр техники и технологии «Авиа- и ракетостроения», инженер-технолог¹
mishgan.miro@yandex.ru

¹НПО «Вакууммаш», Ижевск, Россия

Правильное и точное измерение температуры на сегодняшний день – важная тема функционирования производства и развития общества. Не один технологический процесс не обходится без точных измерений, а в химической промышленности и отраслях нефтегазового комплекса, контроль за протекающими реакциями и автоматизация технологических процессов с соблюдением всех температурных режимов играет наиважнейшую роль. Статья знакомит с основными типами и характеристиками термопар.

Материалы и методы

Статья написана в соответствии с общими знаниями о существующих термоэлектрических преобразователях, их достоинствах и недостатках.

Ключевые слова

измерение температуры, выбор датчиков, температура, термопара, температура

В современном мире у каждого специалиста – метролога, технолога или рабочего возникает необходимость, при минимальных затратах, правильно и точно измерить температуру происходящего технологического процесса.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили термоэлектрические преобразователи (термопары) и термоэлектрические преобразователи сопротивления.

Термоэлектрический преобразователь или термопара представляет собой соединенные проводники из разнородных металлов. Принцип работы термоэлектрических преобразователей основан на термоэлектрическом эффекте (эффект Зеебека), когда между соединенными проводниками возникает разность потенциалов, если между местами соединений существует разность температур. Коэффициент пропорциональности в зависимости между разностью потенциалов и температурой называют коэффициентом термо-ЭДС. У разных металлов коэффициент термо-ЭДС разный и, соответственно, разность потенциалов, возникающая между концами разных проводников, будет различной.

В зависимости от поставленных задач и заданной температуры можно выбрать оптимальный термоэлектрический преобразователь, либо термоэлектрический преобразователь сопротивления.

Типы термоэлектрических преобразователей.

1. Тип ТХА(К)

Хромель (Cr – 8,7–10%; Ni – 89–91%; Si, Cu, Mn, Co – примеси).

Алюмель (Ni – 93–96%; Al – 1,8–2,5%; Mn – 1,8–2,2%; Si – 0,8–1,2%).

Плюсы:

1. Используется для измерения температур в широком диапазоне от -200°C до +1000°C.
2. Работает в нейтральной атмосфере или атмосфере с избытком кислорода.
3. Дешевизна.

Минусы:

1. После термического старения показания снижаются.
2. Нельзя использовать в атмосфере с содержанием серы.
3. В разряженной атмосфере может показывать заниженную температуру.

2. Тип ТХК(Л)

Хромель капель (Ni – 43–44%, Fe – 2–3%, остальное Cu).

Плюсы:

1. Используется для измерения температур в диапазоне от -200°C до +800°C.
2. Наибольший коэффициент термо-ЭДС при температурах, рабочих температурах.

Минусы:

Проволока изготавливается только второго класса, как следствие – не высокая точность измерений.

3. Тип ТХК(Е)

Хромель-константан (Cu – около 59%;

Ni – 39–41%; Mn – 1–2%)

Плюсы:

1. Используется для измерения температур в диапазоне от -40°C до +900°C.
2. Обладает высокой чувствительностью.
3. Материалы электродов обладают термоэлектрической однородностью.

4. Тип ТМК(Т)

Медь-константан

Плюсы:

1. Хорошо показала себя при измерении низких температур. Используется для измерения температур в диапазоне от -250°C до +300°C.
2. Может работать в атмосфере с небольшим избытком или недостатком кислорода.
3. Не чувствительна к повышенной влажности.

Минусы:

Не рекомендуется использовать термопреобразователи данного типа при температурах выше 400°C.

5. Тип ТЖК(Д)

Железо-константан

Плюсы:

1. Хорошо показала себя при измерении низких температур. Используется для измерения температур в диапазоне от -250°C до +300°C.
2. Может работать в атмосфере с небольшим избытком или недостатком кислорода.
3. Не чувствительна к повышенной влажности.
4. Хорошо работает в разряженной атмосфере.
5. Невысокая стоимость, т.к. в состав термопары входит железо.

Минусы:

1. Не рекомендуется использовать термопреобразователи данного типа при температурах выше 400°C.
2. На железном выводе может образоваться ржавчина из-за конденсации влаги.
3. Нельзя использовать в атмосфере с содержанием серы.
4. Показания повышаются после термического старения

6. Термопара типа ТВР

А-1, А-2, А-3

Плюсы:

1. Наибольшая температура применения, могут применяться при высокотемпературных измерениях от 0 до 2500°C в инертной среде.
2. Малая погрешность измерений вплоть до температуры 2500°C.
3. Использование в агрессивных средах при высокой температуре.

Минусы:

1. Высокая стоимость.
2. Технологическая трудность изготовления
3. Плохая воспроизводимость термо-ЭДС, вследствие чего термопары разделяют на категории А-1, А-2, А-3.

7. Тип ТНН(Н)

Нихросил (Cr – 13,7%; Si – 1,2%;

Fe — 0,15%; Mg — 0,01%; остальное Ni)
Нисил (Si — 4,4%; Mg — 0,1%; остальное Ni)
Плюсы:

1. Рекомендуемая рабочая температура до 1200°C.
2. Высокая стабильность при температурах от 200 до 500°C.
3. Высокая точность.
4. Невысокая стоимость, т.к. в состав термопары входит железо.

Типы термопар из благородных металлов и их особенности:

8. Тип ТПП(В)

Платинородий-платинородиевая

Плюсы:

1. Максимальная температура, при которой может работать термопара, составляет 1500°C, кратковременно до 1750°C.
2. Может работать в окислительной среде.

Минусы:

1. Присутствует эффект загрязнения водородом, кремнием, парами меди и железа при температурах выше 900°C.
2. При температуре выше 1000°C термопара может загрязняться кремнием, который присутствует в некоторых видах защитных керамических материалов.
3. Не рекомендуется применение при температуре ниже 600°C, где термо-ЭДС очень мала и нелинейна.

9. Тип ТПП(С) и ТПП(Р)

Платинородий-платиновая

Плюсы:

1. Максимальная температура, при которой может работать термопара, составляет 1350°C, кратковременное до 1600°C.
2. Может работать в окислительной среде.

Минусы:

1. Присутствует эффект загрязнения водородом, углеродом, парами меди и железа при температурах выше 900°C. При

содержании в платиновом электроде 0,1% железа, термо-ЭДС изменяется более, чем на 1 мВ (100°C) при 1200°C и 1,5 мВ (160°C) при 1600°C.

2. При температуре выше 1000°C термопара может загрязняться кремнием, который присутствует в некоторых видах защитных керамических материалов.

3. Не рекомендуется применение при температуре ниже 400°C, где термо-ЭДС очень мала и нелинейна.

Для подключения к термопреобразователям вторичных приборов используется компенсационный провод, имеющий такой же химический состав, что и провода термопары.

Компенсационные провода применяются для вывода места соединения вторичных приборов от непосредственного места использования термопары, так как на объекте измерения может быть высокая температура. Компенсационный провод дешевле термопарного и практически не вносит погрешности в измерения.

Так же для термопар в качестве компенсационного провода можно использовать медный провод, но в таком случае необходимо использовать нормирующий преобразователь, который предназначен для преобразования термоэлектродвижущей силы термоэлектрических преобразователей (ТП) и термоэлектрических преобразователей сопротивления (ТС) в унифицированный выходной сигнал 4–20 мА постоянного тока, пропорциональный измеряемой температуре.

Термопреобразователи должны быть защищены от механических и химических воздействий измеряемой среды. Для этих целей применяется специальная защитная арматура. В зависимости от измеряемой среды это может быть и жаропрочная сталь, например таких марок как Inconel, Kanthal, хромникелевая сталь или ХН45Ю, так и чугун (для

расплавов солей металлов), графит, боросилицированный графит или нитридная керамика (для расплавов цветных металлов). В высокотемпературных газовых и жидких средах, при наличии абразивных частиц применяется самосвязанный карбид кремния.

Для защиты термопар из драгоценных металлов применяются керамические чехлы, чаще всего двойные, внутренний газоплотный керамический чехол, для защиты от воздействия компонентов термометрируемой среды, и внешний, не газоплотный, стойкий к термоудару. Для защиты термопар используется керамика на основе Al₂O₃ типов С530; С610; С795; С799, а также керамика, производимая под различными торговыми марками, но соответствующая одному из указанных типов.

Итоги

Статья позволяет ориентироваться в промышленных датчиках температуры в зависимости от измеряемых сред и диапазонов температур.

Список используемой литературы

1. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. М.: Энергоатомиздат, 1992.
2. Гордов А.Н., Геращенко О.А. Температурные измерения, справочник. Киев: Наукова Думка, 1989.
3. Плясункова Л.А., Шкарупа И. Л. Исследование микроструктуры керамики различных производителей, используемой для защиты термопар из драгоценных металлов. Обнинск, 2009.
3. Рогберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар: справочник. М.: Metallurgia, 1983.
4. Ландсберга Г.С. Элементарный учебник физики. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.
5. Берклеевский курс физики. Т. I–V. М.: Наука, 1971–1972.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

Sensor selection for temperature measurement

UDC 681.2

Authors:

Mikhail V. Miroshkin — master degree in Aerospace engineering, technical engineer¹; mishgan.miro@yandex.ru

¹Vakuummash, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

Proper and accurate temperature measurement today is important subject in production functioning and development of society. All technological processes require accurate measurements, and for the chemical and petroleum industry, control for reactions and process automation with all temperature regimes has the most important role. Therefore

the correct choice of temperature sensor, largely determines the validity of the results. Article gives an introduction about the basic types and characteristics of thermocouples.

Materials and methods

The article is written in accordance with the general knowledge about the existing thermocouples their advantages and disadvantages.

Results

Article allows focus on an industrial temperature sensors, depending on the measurement environments and temperature ranges.

Keywords

temperature measurement, sensor selection, temperature, thermocouple, temperature

References

1. Gordov A.N., Zhagullo O.M., Ivanova A.G. *Osnovy temperaturnykh izmerenij* [Basics of temperature measurement]. Moscow: Energoatomizdat, 1992.
2. Gordov A.N., Gerashchenko O.A. *Temperaturnye izmereniya* [Temperature measurements: handbook]. USSR AS. Kiev: Naukova Dumka, 1989.
3. Plyasunkova L.A., Shkarupa I. L. *Issledovanie mikrostruktury keramiki razlichnykh proizvoditelej, ispol'zujemyj dlja zashchity termopar iz dragocennykh metallov* [Microstructure of ceramics from different manufacturers used to protect thermocouples made of precious metals]. Obninsk, 2009.
3. Rogberg I.L., Bejlin V. M. *Splavy dlja termopar* [Alloys for thermocouples: handbook]. Moscow: Metallurgija, 1983.
4. Landsberg G.S. *Elementarnyj uchebnik fiziki* [Elementary physics book]. Moscow: FIZMATLIT, 2010.
5. Berkleevskij kurs fiziki [Berkeley Physics Course]. V. I–V. Moscow: Nauka, 1971–1972.