

# **Термопары ВР5/20 для самораспространяющегося высокотемпературного синтеза азотсодержащих продуктов**

## **BP5/20 thermocouples for self-propagating high-temperature synthesis of nitrogen-containing products**

**Кондратьева Л.А.**

д-р техн. наук, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» Самарского государственного технического университета  
e-mail: schiglou@yandex.ru

**Kondratieva L.A.**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials» of Samara State Technical University  
e-mail: schiglou@yandex.ru

### **Аннотация**

В статье даны характеристики вольфрам-рениевых термопар ВР5/20, используемых в азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Раскрыт их принцип работы, перечислены преимущества и недостатки. Детально рассмотрен процесс производства вольфрам-рениевых термопар ВР5/20, а также их использования в технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для определения температуры шихты в момент ее твердопламенного горения.

**Ключевые слова:** вольфрам-рениевая термопара, проволока, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, азид.

### **Abstract**

The article presents the characteristics of tungsten-rhenium thermocouples BP5/20 used in the azide technology of self-propagating high-temperature synthesis. Their principle of operation is revealed, advantages and disadvantages are listed. Details the process of production of tungsten-rhenium thermocouples BP5/20 and their use in the technology of self-propagating high-temperature synthesis for determining the temperature of the charge at the time of its termoplastico burning.

**Keywords:** tungsten-rhenium thermocouple, wire, self-propagating high temperature synthesis, azide.

Высокотемпературные датчики применяются в различных областях науки и техники с середины XX в. для контактного измерения температур рабочей среды от 1300 до 2000 °С и даже выше. Диапазон измеряемых датчиками температур зависит непосредственно от химического состава измерительного элемента. Основным измерительным элементом таких датчиков является отрезок термоэлектродной проволоки, последовательно спаянной из двух разнородных электропроводящих металлов, который называют «термопара».

Высокотемпературные датчики на основе термопары ВР5/20 предназначены для длительной эксплуатации и получения точных результатов при экстремально высоких температурах. Например, вольфрам-рениевая термопара используется для измерения температуры при производстве тугоплавких металлов, твердых сплавов и керамики, при выплавке и разливке сталей и сплавов, для измерения температуры газовых потоков и

низкотемпературной плазмы в газотурбинных двигателях, МГД-генераторах, а также в атомной энергетике.

Термопара (или термоэлектрический преобразователь) – это устройство, преобразующее тепловую энергию в электрическую, применяется для измерения температуры на производстве, в лабораторных и научных исследованиях, а также в бытовых условиях.

Термопарная вольфрам-рениевая проволока ВР5/20 состоит из двух химических элементов, вольфрама и рения – одного из самых тяжелых и тугоплавких металлов таблицы Менделеева. В зависимости от марки каждый сплав содержит разное количество рения (Re). Так сплав ВР5 содержит  $5 \pm 0,5$  % рения (Re) и является положительным термоэлектродом, а ВР20 –  $20 \pm 0,5$  % рения (Re) является отрицательным термоэлектродом.

Сплав вольфрама и рения в сочетании ВР5/ВР20 был запатентован в СССР в 1957 г. как приоритетный для создания термопар. Присутствие 5% рения в положительном термоэлектроде термопары позволило увеличить степень пластичности проволоки за счет повышения температуры рекристаллизации вольфрама. В отрицательном термоэлектроде (ВР20) процент содержания рения был увеличен в четыре раза, чтобы термопарная проволока имела максимально возможную ЭДС.

Термопара вольфрам-рений является одной из лучших среди промышленных аналогов, предназначенных для измерения температур от  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $2800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Нижний предел измеряемых температур – не ниже  $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Любая термопара конструктивно состоит из двух проволок, каждая из которых изготовлена из разнородных материалов или одного и того же материала, но при разном соотношении компонентов в материале (рис. 1). Концы этих проволок сварены вместе и образуют «горячий» спай. Свободные концы термопары замыкаются с помощью компенсационных проводов на контакты измерительного прибора. В точках соединения образуется «холодный» спай.



**Рис. 1.** Термопара ВР5/20

Работа любой термопары основывается на термоэлектрическом эффекте, который был открыт Т.И. Зеебеком в 1821 г. Эффект Зеебека состоит в следующем: если соединить два проводника (термоэлектрода) из разнородных металлов или сплавов таким образом, чтобы они образовали замкнутую электрическую цепь, и затем поддерживать спаи при различной температуре, то в цепи будет протекать постоянный ток. Электродвижущая сила, вызывающая ток в цепи, называется термо-ЭДС Зеебека.

Если в разрыв цепи подключить микровольтметр, то можно измерить величину термо-ЭДС, которая будет иметь значение в несколько мили- или микровольт. Значение термо-ЭДС будет зависеть от разности температур между «холодным» и «горячим» спаем. Также термо-ЭДС зависит и от материала термоэлектродов. Таким образом, если место соединения разнородных проводников термопары нагреть, то между несоединёнными (свободными) концами проводников возникнет разность потенциалов, которую можно измерить электроизмерительным прибором. Благодаря современным преобразователям возникающую разность потенциалов можно преобразовать в определённое цифровое значение, т.е. узнать значение температуры нагрева в месте соединения проводников термопары.

Вольфрам-рениевые термопары имеют как преимущества, так и недостатки по сравнению с другими термопарами.

Преимущества вольфрам-рениевых термопар ВР5/20:

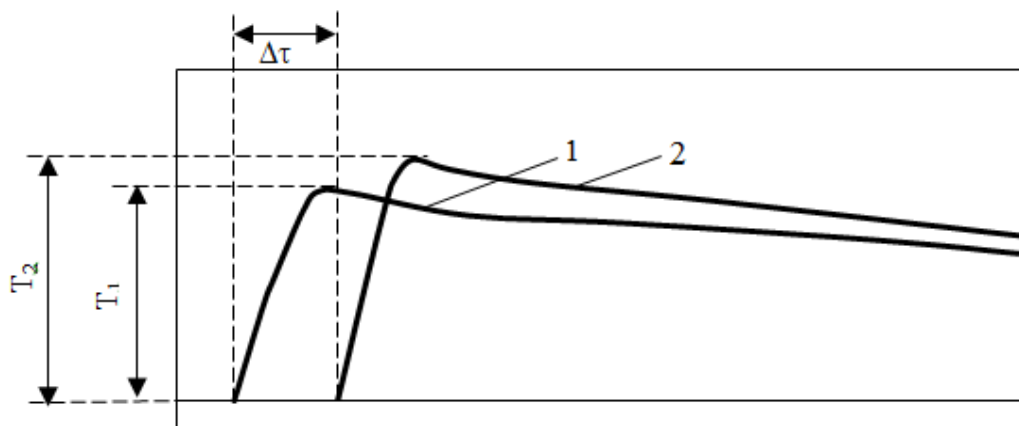
- высокая точность измерения значений температуры (до  $\pm 0,01$  °С);
- большой температурный диапазон измерения: от 1300 °С до 2800 °С;
- хорошие механические свойства при эксплуатации в условиях высоких температур;
- нечувствительны к воздействию экстремальных знакопеременных нагрузок;
- нечувствительны к частым и резким сменам температурного режима;
- высокая надежность и прочность;
- простота конструкции;
- простота в обслуживании;
- универсальность;
- невысокая стоимость;
- малочувствительны к загрязнениям;
- широкая сфера применения.

Недостатки вольфрам-рениевых термопар ВР5/20:

- плохая воспроизводимость термо-ЭДС;
- нестабильность термо-ЭДС в условиях облучения;
- значительное падение чувствительности при температурах выше 2500 °С;
- ограничение пределов рабочего диапазона нелинейной зависимостью ТЭДС от степени нагревания, порождающей сложности в разработке вторичных преобразователей сигналов;
- при длительной эксплуатации в условиях перепадов температур ухудшаются градуировочные характеристики;
- необходимость в индивидуальной градуировке для получения высокой точности измерений, в пределах погрешности в 0,01 °С.

Срок службы термопары зависит от характера атмосферы, материала изоляции и рабочей температуры.

Термопары ВР5/20 применяются в качестве устройств для регистрации температуры горения реакционной шихты в азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Аз) (рис. 2) [1].



**Рис. 2.** Графическое изображение температуры горения азидных СВС-систем:

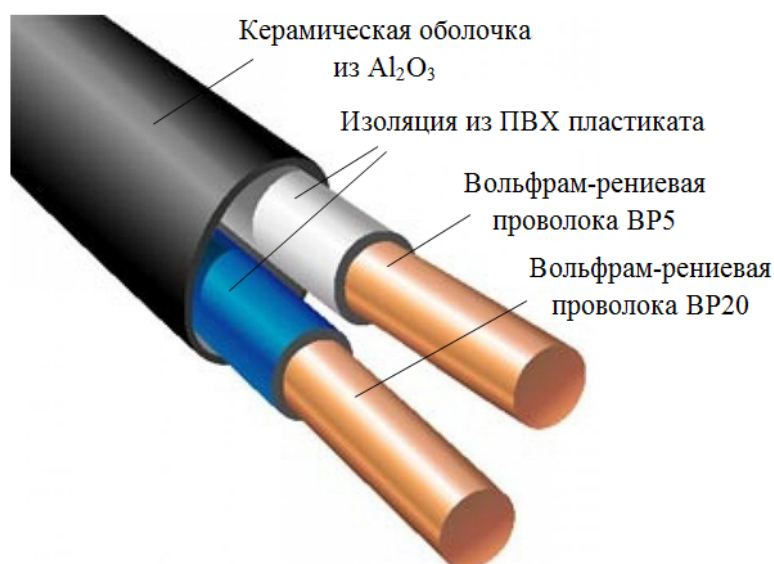
- 1 – 1-я термопара; 2 – 2-я термопара;  $T_1$  – температура горения шихты, регистрируемая 1-й термопарой, °С;  $T_2$  – температура горения шихты, регистрируемая 2-й термопарой, °С;  
 $\Delta\tau$  – время прохождения фронта горения между термопарами, сек

Для изготовления вольфрам-рениевой термопары, используемой в азидной технологии СВС, берут по одному отрезку проволоки ВР5 и ВР20 длиной не менее 10 см от каждой из катушек проволоки и отрезают с помощью бокорезов плоскогубцев (рис. 3).



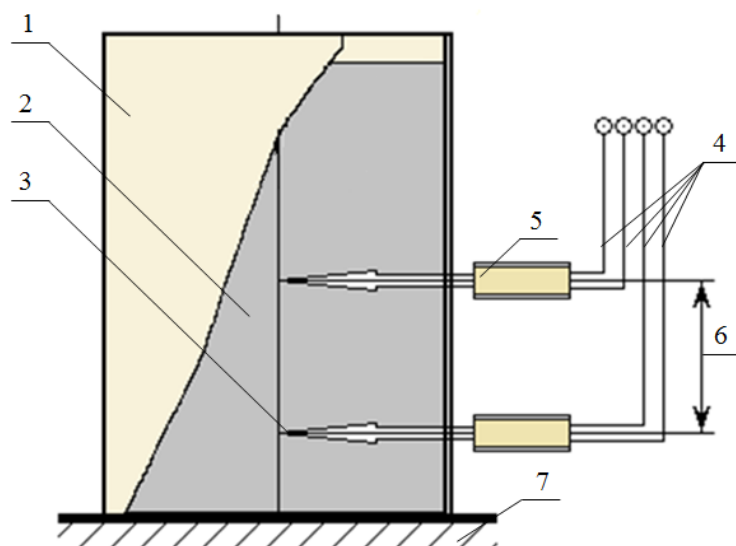
**Рис. 3.** Строение плоскогубцев

Затем два отрезка вольфрам-рениевой проволоки зажимают в насечках губок плоскогубцев параллельно друг другу так, чтобы около 0,3–0,5 мм проволоки выступало с одной стороны губок плоскогубцев. Далее выступающую часть отрезков вольфрам-рениевой проволоки, зажатых в плоскогубцах, подводят к угольному электроду, которой подключен к понижающему трансформатору. При прикосновении плотно прилегающих друг к другу двух вольфрам-рениевых проволочек, зажатых в плоскогубцах, к угольному электроду концы проволочек оплавляются, образуя на конце шарик спая. После чего спаянные отрезки проволочек извлекаются из плоскогубцев, и на каждый термоэлектрод полученной термопары одевается изоляция из ПВХ пластика. А также на термопару с целью защиты от агрессивной горячей среды одевается керамическая оболочка из монокристаллического оксида алюминия  $Al_2O_3$ . Схема строения термопары, применяемой в азидной технологии СВС, представлена на рис. 4.



**Рис. 4.** Схема строения термопары, применяемой в азидной технологии СВС

Для определения скорости горения шихты в технологии СВС необходимо использовать не менее двух вольфрам-рениевых термопар, погруженных на глубину, равную радиусу экспериментального образца (рис. 5). На рис. 6 показан внешний вид размещения вольфрам-рениевых термопар до погружения и погруженного в шихту [1].



**Рис. 5.** Схема размещения вольфрам-рениевых термопар в образце с исходной смесью: 1 – кальковый стаканчик с исходной шихтой; 2 – смесь компонентов исходной шихты; 3 – спай вольфрам-рениевой термопары; 4 – вольфрам-рениевая термопара ВР5/20; 5 – керамическая оболочка из оксида алюминия; 6 – расстояние между термопарами; 7 – предметный столик



а)



б)

**Рис. 6.** Вольфрам-рениевые термопары в реакторе СВС-Аз: а) до погружения в шихту; б) погруженные в шихту

Таким образом, вольфрам-рениевые термопары ВР5/20 являются важным элементом реактора СВС-Аз при исследовании выходных параметров (температуры и скорости горения) процесса синтеза азотсодержащих соединений в режиме горения по азидной технологии СВС.

### Литература

1. Кондратьева Л.А. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез порошков нитридных композиций  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-BN}$ ,  $\text{AlN-BN}$ ,  $\text{AlN-TiN}$ ,  $\text{BN-TiN}$  с применением азидов натрия и галоидных солей: дисс...докт.техн.наук: 01.04.17 / Л.А. Кондратьева. – Самара: СамГТУ. – 2018.– 881 с.