

# Роль вольфрамовой спирали в азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

## The Role of Tungsten Helix in Azide Technology of Self-Propagating High-Temperature Synthesis

**Кондратьева Л.А.**

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

**Kondratieva L.A.**

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

### Аннотация

Описан метод получения вольфрамовой проволоки и перечислены виды нагревателей, изготавливаемых из нее. Рассмотрена роль спирали в качестве нагревательного элемента, из вольфрамовой проволоки при получении продуктов по азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

**Ключевые слова:** вольфрамовая проволока, спираль, нагреватель, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, азид.

### Abstract

The method of obtaining tungsten wire is described and the types of heaters made of it are listed. The role of spiral as a heating element made of tungsten wire in the production of products by azide technology of self-propagating high-temperature synthesis is considered.

**Keywords:** tungsten wire, spiral, heater, self-propagating high temperature synthesis, azide.

Очищенный вольфрам часто используется при изготовлении нагревательных элементов для получения высокой температуры. Самые лучшие нагреватели производят из вольфрама, с минимальным количеством примесей. Самым востребованным свойством вольфрама является его тугоплавкость.

Вольфрамовые нагревательные элементы производятся из проволоки различных диаметров, прутка, листового вольфрама – в зависимости от того, каковы особенности технологического процесса и нагреватели какого типа нужны.

Также из вольфрама производят электроды для высокотемпературных термодар. Наибольшее распространение среди термоэлектрических термометров для измерения высоких температур получили термодары Р5/ВР20 из сплавов вольфрам-рений (5% рения) / вольфрам-рений (20% рения).

Вольфрамовая проволока (рис. 1) изготавливается методом волочения. Исходным материалом для ее производства служат прутки из вольфрама диаметром 2,75 мм. В силу свойств металла волочение необходимо проводить совместно с нагревом заготовки. При комнатной температуре вольфрам не поддается обработке давлением из-за хрупкости, но при нагреве данный металл приобретает хорошую пластичность.



**Рис. 1.** Вольфрамовая проволока

Проволока из вольфрама, а точнее, ее размеры, свойства, состояние поставки и другие технологические параметры должны соответствовать требованиям стандартов.

Функционируя при температуре около 3000 °С, вольфрамовые нагреватели, произведенные с применением вольфрама высокой степени очистки, практически невосприимчивы к окислению, обладают высокой жаропрочностью и жаростойкостью.

В настоящее время изготавливаются несколько видов вольфрамовых нагревателей:

- плоские. Изготавливаются из листа толщиной, как правило, до 3 мм. Обладают повышенным КПД по сравнению с остальными типами нагревателей. Компактные, но сложные при изготовлении и монтаже.

- ленточные. Изготавливаются из полос толщиной от 0,8 мм. Обычно применяют для подогрева пода и свода печей. Нагреватели несложные в изготовлении, просты для монтажа. Достаточно просто вписываются в требуемые габариты, а также имеют наименьшую погрешность при тепловых расчетах.

- спиральные. Изготавливаются путём навивки на керамические трубки или укладыванием в керамический корпус. Используются для качественного теплообмена в ограниченном пространстве, когда требуется высокая температура и мощность, а также скорость нагрева.

- круглые. Изготавливаются из прутков диаметрами от 3 до 6 мм. Применяются обычно в вакуумных печах типа СНВЭ. Просты в изготовлении, но при этом позволяют получать нагревательные элементы сложной формы с меньшим количеством элементов сборки, тем самым повышая ремонтпригодность печи.

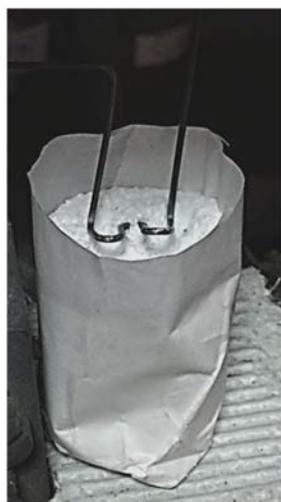
Вольфрамовые нагреватели в виде спирали (рис. 2) используются в азидной технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-Аз), для инициирования химической реакции в форме горения. Технологию СВС, с использованием в качестве азотирующего элемента – порошка азида, принято называть СВС-Аз [1].



**Рис. 2.** Вольфрамовая спираль

После того как шихта, представляющая собой смесь исходных порошковых компонентов (элемент + азид + галогенид), взвешена, перемешана, засыпана в кальковый стаканчик и размещена в СВС-реакторе, в нее не более чем на 0,5 мм погружается вольфрамовая спираль, соединенная посредством электродных контактов с системой воспламенения. Внешний вид размещения вольфрамовой спирали в образце перед инициированием реакции горения в режиме СВС-Аз представлен на рис. 3.

СВС-реактор герметизируется, вакуумируется и заполняется газом до необходимого значения рабочего давления. На электроконтакты кратковременно подается напряжение постоянного тока 28-30 В при силе тока 50-80 А [2]. Вольфрамовая спираль нагревается, нагревая и порошковую смесь, соприкасающуюся со спиралью. Начинает повышаться химическая активность компонентов. При этом вольфрамовая спираль продолжает нагревать смесь, горючее и окислитель начинают взаимодействовать в виде реакции горения. Возрастает скорость горения, появляется пламя, и процесс горения переходит в стадию самоподдерживающейся реакции горения, для которой уже не нужна нагретая вольфрамовая спираль, которая отключается от источника тока. Время от момента подачи до момента прекращения на электроконтакты вольфрамовой спирали электрического тока называется временем задержки или продолжительностью зажигания. Далее ускоряющийся процесс переходит в стадию цепной реакции горения.



**Рис. 3.** Внешний вид размещения вольфрамовой спирали в образце перед иницированием реакции горения в режиме СВС-Аз

После прохождения фронта горения и завершения процесса горения шихты, а также процесса дореагирования, заключающегося в протекании вторичных физико-химических превращений и охлаждения, синтезированный продукт достается из СВС-реактора [2] и из него извлекается вольфрамовая спираль. Если температуры горения шихты были не высоки, чтобы привести к плавлению и разрушению спирали, то спираль можно использовать в следующих исследованиях процесса горения экспериментальных составов шихт. Если вольфрамовая спираль от высокой температуры горения разрушилась (развалилась на части, треснула, оплавилась и т.п.), то повторному использованию она не подлежит.

Таким образом, вольфрамовая спираль является важным и не заменимым конструктивным элементом в осуществлении процесса синтеза тугоплавких соединений в режиме горения по азидной технологии СВС.

### **Литература**

1. Бичуров Г.В. Азидная технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза микро- и нанопорошков нитридных композиций: монография / Г.В.Бичуров, Л.А. Шиганова (Л.А.Кондратьева), Ю.В. Тутова.–М.: Машиностроение, 2012. – 519 с.
2. 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 азиды натрия и галоидных солей: дисс...докт.техн.наук: 01.04.17 /Л.А. Кондратьева. –Самара: СамГТУ. – 2018.– 881 с.