

Лысенко Владимир Александрович,
Доктор технических наук
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна
Lysenko Vladimir Aleksandrovich,
Saint-Petersburg State University of
Industrial Technologies and Design

Крисковец Максим Викторович,
Кандидат Технические наук,
Санкт-Петербургское государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
“Охтинский колледж”
Kriskovets Maksim Viktorovich,
Saint-Petersburg State Professional
Institution "Okhta College"

**ПОЛИОКСАДИАЗОЛЬНЫЕ ВОЛОКНА КАК ВЫСОКОТОЧНЫЕ
ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕЧЕЙ КАРБОНИЗАЦИИ
POLYOXADIAZOLE FIBERS AS HIGH-PRECISION TEMPERATURE
SENSORS FOR CARBONIZATION FURNACES**

Аннотация. Показана возможность использования полиоксадиазольных волокон как датчиков температуры. Разработан высокоточный способ определения температурных полей промышленных высокотемпературных печей.

Abstract. The potential of using polyoxadiazole fibers as temperature sensors has been demonstrated. A high-precision method for determining temperature fields in industrial high-temperature furnaces has been developed.

Ключевые слова: Полиоксадиазольное волокно, электрическое сопротивление, датчик температуры

Keywords: Polyoxadiazole fiber, electrical resistivity, temperature sensor.

Волокна из поли-пара-фенилен-1,3,4-оксадиазола (полиоксадиазол, ПОД) обладают уникальными свойствами.

При термическом нагреве таких волокон в инертной среде происходит их карбонизация, ПОД волокна становятся электропроводящими. В отличие от полиакрилонитрильных или гидратцеллюлозных волокон заметная электропроводность ПОД волокон наблюдается уже при конечной температуре термообработки 600 °С [1] и зависит от ряда параметров: марки волокна, скорости нагрева, предварительной термообработки волокна в диапазоне от 20 до 400 °С, т.е. до начала термодеструкции и пр [2].

В работе мы используем промышленно выпускаемые полиоксадиазольные волокна марки Арселон, Арселон-С.

На рисунке [3, с. 65] представлена зависимость электрического сопротивления углеродных волокон указанных марок от конечной температуры термообработки. Исследования показывают, что при изменении температуры, например, в диапазоне от 600 до 1000 °С происходит падение электрического сопротивления нитей, из ПОД волокон, с 160 кОм до 15 Ом. Т.е. сопротивление ПОД нитей падает примерно в $10,7 \cdot 10^3$ раз.



Распределение температур в объёме печи карбонизации проводится в три этапа.

Этап 1. Определение основных характеристик волокон, как датчиков температуры. На данном этапе на лабораторном оборудовании определяют характеристики датчиков: зависимость электрического сопротивления волокна от конечной температуры карбонизации, точность измерения температуры, величину пространственного разрешения, повторяемость измерения температуры и пр.

Этап 2. В объёме печи, где требуется определить температурное поле, т.е. распределение температур, в конкретных пространственных точках размещают ПОД волокна, для которых определены характеристики согласно Этапу 1. Это могут быть отрезки нитей из ПОД волокон или нити большой длины, соответствующие размерам печи. Как правило, волокна размещаются на технологических полках печи. Например, для определения распределения температуры в печи в объеме $2000 \times 2000 \times 2000$ мм, мы размещаем волокна с шагом 20 см в горизонтальной плоскости и с таким же шагом располагаем плоскости измерения по вертикали, в зависимости от расположения полок печи. После этого производится нагрев печи в обычном технологическом режиме до конечной температуры термообработки, по данным используемых датчиков температуры, в качестве которых обычно применяют термопары, или пирометры, или пирометрические пирамидки, температурные кольца и т.д. При соблюдении требуемых режимов термообработки при достижении конечной температуры и времени выдержки, нагрев печи прекращают. Печь охлаждают.

Этап 3. После остывания печи производится последовательное измерение распределения электрического сопротивления карбонизованных полиоксидазольных волокон по их длине (L), с определением зависимости электрического сопротивления от длины $R(L)$. Одновременно фиксируют координаты точек объема печи, соответствующих положению L длины нити, где производятся измерения сопротивления $R(L)$. Таким образом, определяется зависимость $R(L)$ в конкретных координатах объема печи: x , y , z . Далее производится перерасчёт электрического сопротивления $R(L)$ согласно характеристикам Этапа 1 в температурную зависимость $T(x, y, z)$.

Разработанный способ определения распределения температуры в объеме печи обладает несомненными достоинствами, проверенными на практике.

Первое – это высокая точность определения температуры, составляющая $0,1$ °С в температурном диапазоне $600 - 1000$ °С. Второе – высокое пространственное разрешение определения температуры.

Пространственное разрешение во многом определяется точностью определения $R(L)$ и расположения волокон в координатах x , y , z . Для практических целей в печах размером, например, $2000 \times 2000 \times 2000$ мм периодической загрузки, легко достижима на практике точность определения температуры по координате $0,5$ мм. Для печи непрерывного действия длиной $3 - 6$ м, стандартной точностью по координате является 5 мм.

Несомненным достоинством разработанного способа является наличие памяти у полиоксидазольных углеродных волокон, как датчиков. Дело в том, что углеродное ПОД волокно фиксирует максимальную температуру нагрева в области расположения. Таким образом, при уменьшении температуры, например, при остывании печи, будет зафиксирована максимальная температура в данной точке.

Таким образом, разработанный метод позволяет определять распределение температуры в объёме промышленных печей большого размера с чрезвычайно высокой точностью, высоким пространственным разрешением и высокой воспроизводимостью измерений, что не может быть так просто достигнуто на практике никакими другими методами.



Список литературы:

1. Лысенко В.А. Системное проектирование углеродных композиционных материалов. Теория и практика / В.А. Лысенко. – Palmarium Academic Publishing. – 2018. – 323 с.
2. Лысенко В.А. Создание углеродных электропроводящих волокон на основе полиоксадиазола. Системная инженерия, информационное моделирование, технологии и свойства / В.А. Лысенко, М.В. Крисковец. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2020. – 351 с.
3. Крисковец М.В. Разработка и исследование углеродных волокон с низким удельным объемным электрическим сопротивлением на основе полиоксадиазола: дис. канд. техн. наук / М.В. Крисковец, Санкт-Петербург. – 2021. – 181 с.

