

Научная статья
УДК 54.084, 662.612.12
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.2.008

РАЗРАБОТКА УСТАНОВКИ И МЕТОДИКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ

**Антон Андреевич Бородовский¹, Игорь Викторович Дудоров²,
Кирилл Владимирович Коршунов³, Анна Германовна Лещинская⁴,
Алексей Александрович Стеньгач⁵, Вячеслав Викторович Ярошенко⁶**

^{1–6}Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кирилл Владимирович Коршунов, korshunov@vniief.ru

Аннотация

Температура воспламенения — одна из важнейших характеристик порошков металлов. Ее определение проводится при изготовлении и перепроверке партий металлических порошков. Разработаны установка и методика для автоматизированного определения температуры воспламенения порошков металлов, имеющая улучшенные показатели точности.

Ключевые слова:

порошок циркония, температура воспламенения, порошок металла, автоматизированная установка

Для цитирования:

Разработка установки и методики для автоматизированного определения температуры воспламенения порошков металлов / А. А. Бородовский [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 2. С. 50–55. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.2.008

Original article

THE DEVELOPMENT OF FACILITY AND METHOD FOR AN AUTOMATED DETERMINATION OF METAL POWDERS IGNITION TEMPERATURE

**Anton A. Borodovskiy¹, Igor V. Dudorov², Kirill V. Korshunov³, Anna G. Leshchinskaya⁴,
Aleksey A. Stengach⁵, Vyacheslav V. Yaroshenko⁶**

^{1–6}FSUE “RFNC – VNIIEF”, Sarov, Russia

Corresponding author: Kirill V. Korshunov, korshunov@vniief.ru

Abstract

An ignition temperature is one of the important characteristics of metal powders. The determination of ignition temperature is carried out while producing and checking the overall condition of material. The facility and method for automated determination of metal powder ignition temperature have been developed. The method has the advanced precision parameters.

Keywords:

zirconium powder, ignition temperature, metal powder, automatized facility

For citation:

The development of facility and method for an automated determination of metal powders ignition temperature / A. A. Borodovskiy [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 50–55. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.2.008

Введение

В процессе разработки технологии изготовления российского порошка натриетермического циркония и её внедрения в производство ИХТРЭМС КНЦ РАН и РФЯЦ-ВНИИЭФ был выполнен большой объем работ, связанных в том числе с контролем температуры воспламенения порошка циркония [1]. В ходе их проведения были выявлены существенные отличия результатов, получаемых на предприятии изготовителя и в РФЯЦ-ВНИИЭФ при определении температуры воспламенения порошка циркония одних и тех же партий, а позже были установлены и экспериментально подтверждены множественные факторы, влияющие на значения температуры воспламенения порошка циркония, получаемые при его контроле по действующей в производстве методике. В частности, было сделано заключение о том, что методика, используемая в производстве начиная с 1970-х гг. до настоящего времени, является достаточно грубой и не содержит ряда требований к лабораторному оборудованию, месту проведения и технике выполнения измерений, которые необходимо регламентировать для повышения точности результатов.

Методический подход к измерению температуры воспламенения порошка циркония по действующей методике

Прибор для определения температуры воспламенения порошка циркония по методике, применяемой в производстве, представлен на рис. 1.

Перед проведением измерений из пробы порошка циркония, высушенной до постоянной массы, отбирают на кальку навески массой $(0,05 \pm 0,001)$ г. Печь нагревают до температуры 260°C и приступают к определению температуры воспламенения порошка циркония, при этом пробы помещают в измерительное гнездо печи в процессе её непрерывного нагревания со скоростью $(2-6)^\circ\text{C}/\text{мин}$. Подготовленные навески с кальки поочередно засыпают в гнездо прибора и одновременно для каждой навески включают секундомер. Время выдержки навески в приборе должно быть не более 6 сек с момента засыпки. Если воспламенение порошка за это время не произошло, фиксируют отказ. Результаты регистрируют, начиная с получения 2–3 отказов. Далее при повышающейся температуре получают 5–7 последовательных воспламенений, между которыми отказов не должно быть. За температуру воспламенения в одном определении принимают минимальную температуру, с которой начинается 100 %-е воспламенение навесок.

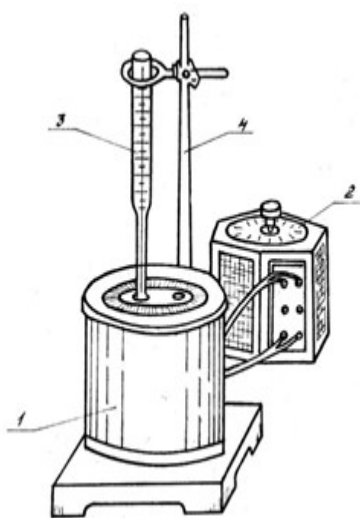


Рис. 1. Прибор для определения температуры воспламенения:

1 — нагревательная печь; 2 — лабораторный автотрансформатор ЛАТР-1 на 9А; 3 — термометр; 4 — штатив

Анализ действующей методики

Совместные экспериментальные работы сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ и предприятия-изготовителя по определению температуры воспламенения порошка циркония в разных лабораториях, а также сравнительный анализ полученных результатов подтвердили предположение о том, что указанные выше факторы могут являться причиной имеющихся расхождений межлабораторных результатов анализа температуры воспламенения. В частности, были проведены эксперименты, подтверждающие влияние положения термометра в гнезде печи и воздушных потоков, создаваемых системой вентиляции, на температуру воспламенения порошка циркония. Проведенные эксперименты показали, что разница в значениях температуры воспламенения порошка циркония, получаемая в различных вариантах исполнения таких экспериментов, может достигать более 30°C .

Кроме того, изучалась зависимость получаемых значений температуры воспламенения порошка циркония от способа подготовки образцов, в частности от площади поверхности пробы (навески) порошка циркония в измерительной ячейке [2]. Из результатов проведенных экспериментов был сделан вывод о том, что на получаемые значения температуры воспламенения порошка циркония значительное влияние оказывает площадь поверхности пробы исследуемого материала в измерительной ячейке прибора, которая может варьироваться вследствие индивидуальных особенностей выполнения измерения разными исполнителями. Обеспечить одинаковую геометрию проб порошка в измерительной ячейке в условиях выполнения данной операции по существующей методике (засыпка оператором навески порошка в измерительную ячейку) практически невозможно.

Разработка автоматизированной установки для определения температуры воспламенения порошка металла

Важнейшей задачей при разработке новой установки и методики являлось увеличение точности измерения температуры воспламенения порошка металла. Данную задачу предлагалось решать путем применения новых методических подходов, изложенных в том числе в изобретении «Способ определения температуры самовоспламенения порошка металла» [3].

В соответствии с разработанным способом определения температуры воспламенения пробы анализируемого порошка металла помещают в печь и фиксируют момент их воспламенения. При этом печь, предварительно нагретую до температуры, превышающей температуру воспламенения порошка металла, опускают на тигли с пробами, закрепленные на кабельных термopаpах. Момент воспламенения пробы фиксируют с помощью фотоэлектрического преобразователя и одновременно измеряют температуру порошка металла. Для устранения влияния конструктивных особенностей используемой установки по определению температуры воспламенения порошка, например, таких как тип устройства измерения температуры, массогабаритные параметры измерительных тиглей и нагревательной печи и т. д., производят ее предварительную калибровку с использованием контрольного образца с известной температурой фазового перехода, близкой к предполагаемой температуре воспламенения порошка металла.

Конструкция установки

Разработанная установка конструктивно представляет собой металлический корпус (1) с установленными в нем контроллерами движения шаговых двигателей, драйверами, блоками питания, аналого-цифровым преобразователем, измерителем — регулятором температуры (2), прибором контроля влажности и температуры внешней среды (3). На корпусе установки располагается печь (4), которая в зависимости от режима работы может находиться как в исходном положении (5), так и на рабочей площадке (8). Перемещение печи из исходного положения (5) на рабочую площадку (8) осуществляется автоматически при помощи модулей линейного перемещения (6) и шаговых двигателей (7). На рабочей площадке (8) установлены измерительные термопары (9) и тигли для проб порошка металла (10). Схема установки представлена на рис. 2.

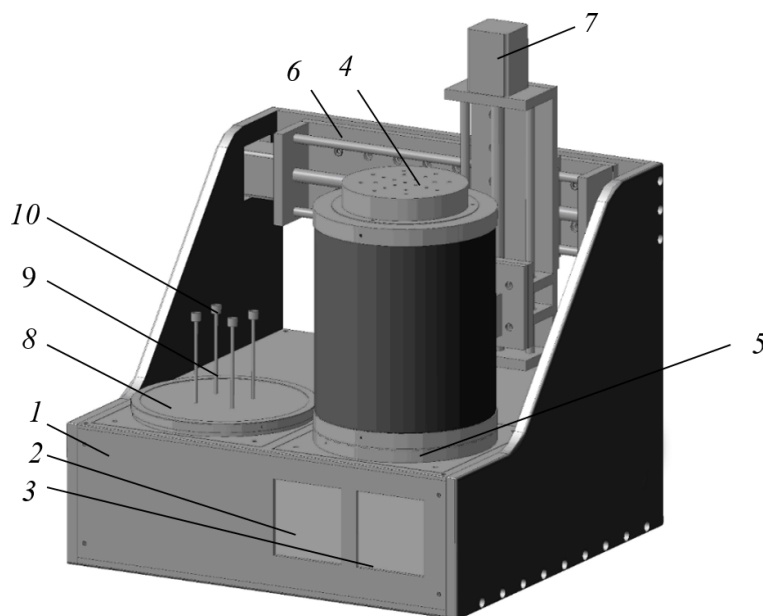


Рис. 2. Схема установки «Феникс»

Принципиальная схема установки приведена на рис. 3. Установка состоит из четырех функциональных блоков: блока управления нагревом печи; блока системы перемещений печи; блока регистрации данных; блока сбора и обработки данных.

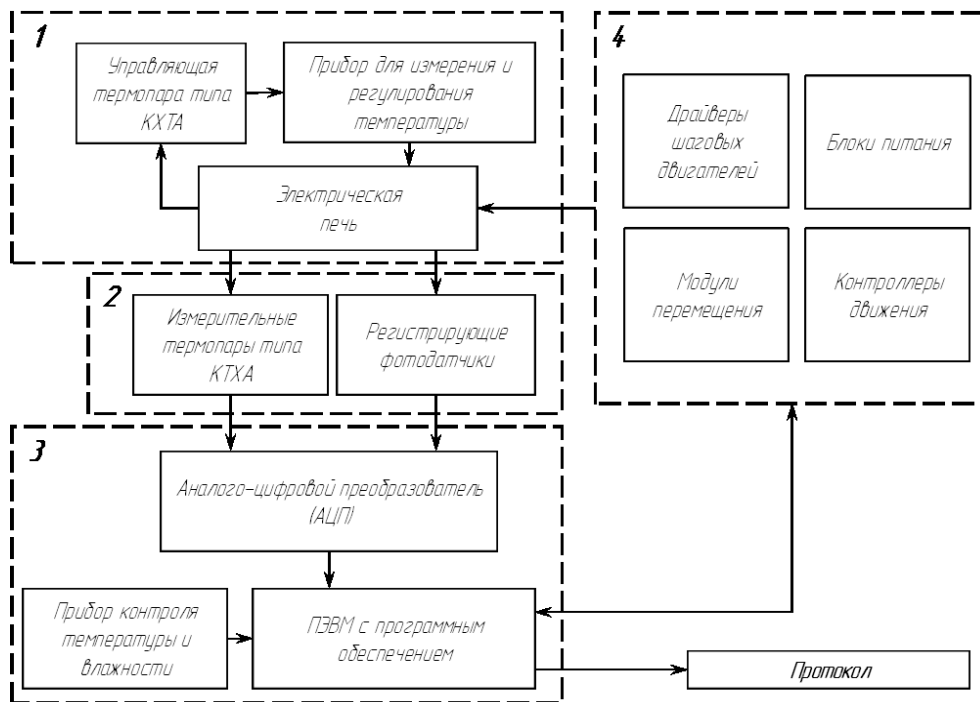


Рис. 3. Принципиальная схема установки «Феникс»:
1 — блок управления нагревом печи; 2 — блок регистрации данных; 3 — блок сбора и обработки данных;
4 — блок системы перемещения печи

Методика измерений. Сравнительный анализ результатов, получаемых по действующей и разработанной методикам

Разработка и создание установки «Феникс», в которой реализован способ определения температуры самовоспламенения порошка металла [3], стали основой для разработки методики измерений для автоматизированного определения температуры воспламенения порошка металла. Сравнение некоторых наиболее важных характеристик новой и действующей методик представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение некоторых характеристик методик

Характеристика	Действующая методика	Разработанная методика
Абсолютная погрешность измерения, °С	9,0	5,2
Время анализа, ч	~ 7	< 1
Масса материала, г	3	~ 0,2
Фиксация факта воспламенения	Визуально, оператором	Фотодатчик, обработка АЦП
Обработка результата	Оператором	Автоматически (программное обеспечение)
Формирование протокола	То же	То же

Типичный вид термограммы при определении температуры воспламенения порошка металла на установке «Феникс» представлен на рис. 4.

Для проведения предварительного сравнительного анализа результатов определения температуры воспламенения порошка металла, получаемых на автоматизированной установке по разработанной методике и по методике, действующей в производстве, был проведен набор экспериментальных данных на установке «Феникс» с использованием различных партий порошка циркония, выбор которых определялся значениями их температуры воспламенения, полученными по действующей методике, а именно: были выбраны порошки циркония с минимальной и максимальной температурами воспламенения из имеющихся, с температурой воспламенения, близкой к предельным значениям температурного диапазона, нормируемого требованиями технической документации, а также к среднему значению данного диапазона. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

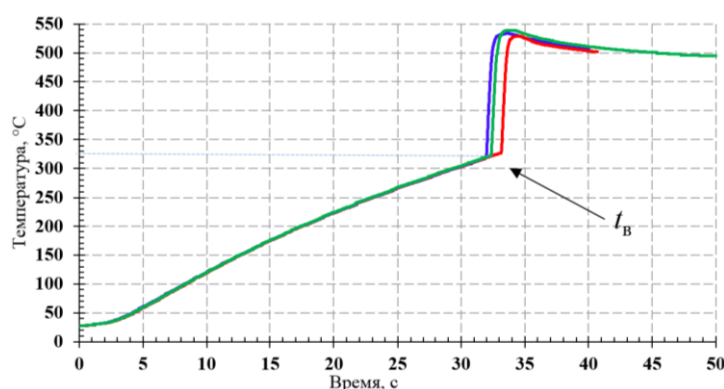


Рис. 4. Термограмма определения температуры воспламенения

Таблица 2

Результаты определения температуры воспламенения порошка циркония

№ пробы порошка металла	Температура воспламенения по действующей методике T_1 , °C	Температура воспламенения по разработанной методике T_2 , °C	$T_2 - T_1$, °C
1	235	235	0
2	346	349	3
3	> 350*	384	< 34
4	238	239	1
5	267	271	4
6	287	290	2
7	311	310	-1

* Максимальная температура, регистрируемая по действующей методике.

Представленные результаты, полученные для имеющихся в нашем распоряжении партий порошка циркония, позволяют сделать предварительное заключение о существовании корреляции между значениями температуры воспламенения, определяемой по действующей и новой методикам. По мере изготовления новых партий порошка циркония с требуемыми параметрами работа, направленная на получение статистических данных по определению температуры воспламенения порошка циркония с использованием двух методик, и их анализ будут продолжены.

Заключение

Разработанная установка и методика измерений для автоматизированного определения температуры воспламенения порошка металла позволяют повысить точность измерения температуры воспламенения, исключить воздействие на оператора вредных производственных факторов, значительно сократить трудозатраты, уменьшить расход дорогостоящего порошка металла, используемого для проведения измерения.

Разработанная установка «Феникс» и методика измерений для автоматизированного определения температуры воспламенения порошка металла проходят апробацию с целью внедрения в производство.

Список источников

1. Валева С. М.-А., Гусев П. Т., Левченкова О. Н., Лещинская А. Г., Орлов В. М., Федорова Л. А., Ярошенко В. В. Технология порошка циркония: проблемы и решения // Труды КНЦ РАН. 2018. Т. 1. С. 242–247.
2. Бородавский А. А., Дудоров И. В. Исследование влияния способа подготовки образцов порошка циркония на его температуру воспламенения // Доклад на НТК «Молодежь в науке». Саров, 2017.
3. Дудоров И. В., Бородавский А. А., Коршунов К. В., Лещинская А. Г., Ярошенко В. В. Способ определения температуры самовоспламенения порошка металла. Изобретение. Патент РФ № 692399. 2019.

References

1. Valeev S. M.-A., Gusev P. T., Levchenkova O. N., Leschinskaya A. G., Orlov V. M., Fedorova L. A., Yaroshenko V. V. Tehnologiya poroshka cirkonia: problemy i reshenia [Technology of zirconium powder: issues and solutions]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of the Kola Science Centre of RAS], 2018, vol. 1, pp. 242–247. (In Russ.).

2. Borodovskiy A. A., Dudorov I. V. Issledovanie vlianiya sposoba podgotovki obrazcov poroshka cirkonia na ego temperature vosplameneniya [The determination of influence of sample preparing methodology on ignition temperature]. Doklad na NTK “Molodezh v nauke” [Report at the STC ‘Youth in Science’], Sarov, 2017. (In Russ.).
3. Dudorov I. V., Borodovskiy A. A., Korshunov K. V., Leschshinskaya A. G., Yaroshenko V. V. *Sposob opredeleniya temperaturi vosplameneniya poroshka metalla* [The method of determination of metal powder ignition temperature], patent RF no. 692399, 2019. (In Russ.).

Информация об авторах

А. А. Бородовский — научный сотрудник;
И. В. Дудоров — ведущий инженер-исследователь;
К. В. Коршунов — начальник научно-исследовательской группы;
А. Г. Лещинская — ведущий инженер-исследователь;
А. А. Стеньгач — начальник научно-исследовательской лаборатории;
В. В. Ярошенко — главный специалист.

Information about the authors

A. A. Andreevich Borodovskiy — staff scientist;
I. V. Dudorov — advanced research engineer;
K. V. Korshunov — head of research group;
A. G. Leschinskaya — advanced research engineer;
A. A. Stengach — head of research group;
V. V. Yaroshenko — main specialist.

Статья поступила в редакцию 28.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 28.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.