

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042248**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.01.26

(51) Int. Cl. **G21C 21/02 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202092939

(22) Дата подачи заявки
2019.07.15

(54) **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(43) **2022.04.19**

(86) **РСТ/RU2019/000502**

(87) **WO 2021/010852 2021.01.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ПУБЛИЧНОЕ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"НОВОСИБИРСКИЙ ЗАВОД
ХИМКОНЦЕНТРАТОВ" (ПАО
"НЗХК"); ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
НАУЧНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ "НАУКА
И ИННОВАЦИИ" (ЧАСТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ "НАУКА И
ИННОВАЦИИ") (RU)**

(72) Изобретатель:

**Зеленков Евгений Геннадьевич,
Буймов Сергей Анатольевич,
Мустафаев Расим Фарманоглы,
Струков Александр Владимирович,
Тлустый Анатолий Саввич, Юдина
Елена Васильевна (RU)**

(74) Представитель:

Снегов К.Г. (RU)

(56) **RU-C1-2140674
RU-C2-2537951
RU-C2-2357992
CN-U-204043478
EP-A2-0192137**

(57) Изобретение относится к атомной энергетике и может найти применение на предприятиях по изготовлению тепловыделяющихборок (ТВС), преимущественно, для водо-водяных и с жидкометаллическим теплоносителем ядерных энергетических реакторов. Сущность изобретения: в способе сборки тепловыделяющих элементов в тепловыделяющие сборки, включающем операции изготовления и контроля тепловыделяющих элементов, нанесения на каждый тепловыделяющий элемент защитного покрытия, сборки подготовленных тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку, закрепления головки и хвостовика, отмывки от защитного покрытия и сушки, операции нанесения защитного покрытия и сборки тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку совмещают, используя в качестве защитного покрытия водорастворимую смазку, содержащую оксиэтилированный алкилфенол и одноосновные ненасыщенные жирные кислоты, которую на операции сборки тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку на стенде сборки наносят на поверхность тепловыделяющего элемента, перемещаемого в горизонтальном направлении вдоль собственной оси в ячейки дистанционирующих решеток через устройство для нанесения защитного покрытия, установленное на стенде сборки. Операцию отмывки от защитного покрытия проводят струями под давлением водой комнатной температуры.

B1

042248

042248

B1

Область техники

Изобретение относится к атомной энергетике и может найти применение на предприятиях по изготовлению тепловыделяющих сборок (ТВС), преимущественно, для водо-водяных и с жидкометаллическим теплоносителем ядерных энергетических реакторов.

Предшествующий уровень техники

Известно, что процесс изготовления ТВС включает операцию установки подготовленных к сборке тепловыделяющих элементов заталкиванием через соосные ячейки дистанционирующих решеток, установленных параллельно друг другу и вместе с каналами направляющими образующих каркас ТВС (см. Б.А. Дементьев. Ядерные энергетические реакторы. - М., Энергоатомиздат, 1990, с. 42-44). Тепловыделяющий элемент является наиболее ответственным и самым напряженным конструктивным элементом активной зоны ядерного энергетического реактора. Обеспечение надежности, сохранения герметичности оболочки тепловыделяющего элемента и его надёжная фиксация в каркасе при сборке ТВС обеспечивает надежность и безопасность эксплуатации ТВС и реактора в целом.

Известно, что циркониевые сплавы, из которых изготовлена оболочка тепловыделяющего элемента, имеют склонность к коррозии, главным образом, в местах поверхностных повреждений - царапин, задиров (см. Металлургия циркония (пер. с англ.), под ред. Меерсона Г.А. и Гагаринского Ю.А. - М.: Изд-во "Иностранная литература", 1959, с. 298). Для предупреждения повреждений поверхности тепловыделяющих элементов при их сборке в каркас ТВС на них наносят защитную пленку.

Известен способ изготовления ТВС ядерного реактора, включающий операцию поверхностной обработки тепловыделяющих элементов в циркониевой оболочке, согласно которому обработку поверхности тепловыделяющих элементов с образованием пленки осуществляют их окунанием вертикально в горячий раствор поливинилового водорастворимого лака с выдержкой, дальнейшим покрытием водным раствором глицерина и удалением пленки перед упаковкой ТВС острым паром в горячей воде (см. патент РФ № 2265903, опубл. 10.12.2005. Бюл. № 34), недостатками которого являются неравномерная толщина слоя наносимого на поверхность тепловыделяющего элемента лакового покрытия по его длине, обусловленная вертикальным положением тепловыделяющего элемента в процессе выдержки, приводящим к утончению пленки в верхней части тепловыделяющих элементов и, как следствие, к ухудшению защитных свойств пленки; высокий расход и сложность приготовления раствора поливинилового водорастворимого лака и, в итоге, низкие технологичность, невозможность компактизации производственного процесса, связанные с необходимостью иметь большие площадки для размещения оборудования для лакопокраски, его высокие металло- и энергоёмкость, низкий уровень автоматизации.

Известен способ изготовления ТВС ядерного реактора, реализация которого заключается в том, что процесс подготовки тепловыделяющих элементов к сборке в ТВС осуществляют, нанося лаковое покрытие на поверхность тепловыделяющих элементов приведением поверхности тепловыделяющих элементов в контакт с лаком в устройстве для нанесения лакового покрытия путем их перемещения в горизонтальном направлении вдоль собственной оси последовательно через зону нанесения лака и зону сушки данного устройства, смачивания в зоне нанесения лака цилиндрической поверхности тепловыделяющего элемента лаком при проходе его через плотно облегающий эластичный капиллярно-пористый элемент, в который подают лак до заполнения им его пор, при этом перемещение тепловыделяющих элементов осуществляют с помощью роликов, образующих две опоры, расположенные соответственно перед зоной нанесения лака и после зоны сушки (см. патент РФ № 2537951, опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1). Недостатками данного способа являются неравномерность толщины лакового покрытия не только по длине, но и в каждом сечении тепловыделяющего элемента, что в процессе высыхания приводит к его вспучиванию и отслаиванию и, как следствие, оголению поверхности, приводящее к появлению грубых задиров и наволакиваний при сборке; необходимость наличия многокомпонентного агрегата со значительными габаритами, снабженного комплексом сложной автоматизации; продолжительность процесса подготовки поверхности тепловыделяющего элемента к сборке, связанная, в том числе, с обеспечением полного высыхания - полимеризации твердого пленочного покрытия.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ изготовления тепловыделяющих кассет (ТВС) (см. патент РФ № 2140674, опубл. 27.10.1999. Бюл. № 30) - прототип, включающий операции изготовления, контроля тепловыделяющих элементов, нанесения и сушки защитного лакового покрытия на каждый тепловыделяющий элемент перед сборкой тепловыделяющих элементов в ТВС, сборку тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки, закрепления головки и хвостовика, отмывки от защитного покрытия и сушки, недостатком которого является недостаточная эффективность технологического процесса, связанная с необходимостью нанесения в качестве защитного покрытия тепловыделяющих элементов лаковой смеси, представляющей собой раствор дистиллированной воды с поливиниловым спиртом: технология нанесения такого покрытия требует громоздкого аппаратного обеспечения, как было указано в аналогах; после нанесения покрытия требуется сушка образовавшейся пленки, что также приводит к временным и трудозатратам. Качество нанесенного покрытия также не является удовлетворительным из-за трудностей нанесения и высыхания его равномерным слоем, необходимым для обеспечения отсутствия в дальнейшем при сборке ТВС грубых задиров, наволакиваний и проч. Не исключается нарушение - разрывы лакового покрытия, приводящее к образо-

ванию задилов более 30 мкм, являющихся основанием для замены тепловыделяющего элемента, либо наволакиваний, которые необходимо удалять вручную с помощью специальных приспособлений.

Раскрытие изобретения

Технической задачей предполагаемого изобретения является обеспечение качества изготовления тепловыделяющей сборки ядерного реактора с одновременным обеспечением эффективности технологического процесса и связанного с этим снижением себестоимости изготовления тепловыделяющих сборок.

Поставленная задача решается тем, что способ изготовления тепловыделяющей сборки ядерного реактора включает операции изготовления и контроля тепловыделяющих элементов, нанесения на каждый тепловыделяющий элемент защитного покрытия, сборки подготовленных тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки, закрепления головки и хвостовика, отмытки от защитного покрытия и сушки, при этом, согласно изобретению, операции нанесения защитного покрытия и сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки совмещают, пропуская каждый тепловыделяющий элемент, перемещаемый на операции сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки горизонтально вдоль собственной оси в ячейки дистанционирующих решеток, образующих каркас ТВС, через устройство для нанесения защитного покрытия, установленное на стенде сборки. В качестве защитного покрытия используют водорастворимую смазку, в состав которой входят оксиэтилированный алкилфенол в количестве от 20 до 45% и одноосновные ненасыщенные жирные кислоты в количестве от 80 до 55%.

Поставленная задача решается также и тем, что операцию отмытки от защитного покрытия проводят струями под давлением водой комнатной температуры.

Осуществление предлагаемого способа изготовления ТВС ядерного реактора позволяет решить поставленную задачу изготовления ТВС требуемого качества, обеспечивающего безопасный процесс эксплуатации ТВС в ядерном реакторе, одновременно повысить эффективность технологического процесса и снизить себестоимость изготовления.

Водорастворимая смазка предлагаемого состава, используемая в качестве защитного покрытия, способна распределиться по всей поверхности тепловыделяющего элемента ровным тонким слоем путем однократного обхватывания периметра тепловыделяющего элемента материалом, пропитанным смазкой, и не нуждается в сушке, что дает возможность наносить смазку на поверхность тепловыделяющих элементов, движущихся в непрерывном потоке на сборку ТВС непосредственно на стенде сборки, получая на поверхности тепловыделяющего элемента качественное защитное покрытие. Отсутствие тенденции к стеканию и образованию неравномерностей покрытия обусловлено наличием в составе смазки добавки в виде оксиэтилированного алкилфенола, которая в смеси с одноосновными жирными кислотами позволяет смазке равномерно распределяться по всей длине оболочки. Присутствие добавки обеспечивает необходимую вязкость смазки и увеличивает адгезию смазки к сплавам, в том числе, циркониевым, благодаря чему в процессе сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки при контактировании тепловыделяющих элементов с пучками дистанционирующих решеток водорастворимая смазка выбранного состава не вытесняется из контактирующих сочленений "пучка дистанционирующей решетки - тепловыделяющий элемент", в результате исключается риск образования на поверхности тепловыделяющих элементов рисок, задилов и наволакиваний. Таким образом, применение смазки предлагаемого состава влияет на повышение эффективности технологического процесса: исключаются неизбежные ранее в технологическом процессе изготовления ТВС перед операцией сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки операции разборки межоперационной кассеты, закрепления тепловыделяющих элементов на длинномерной установке лакопокраски, предварительной отмытки тепловыделяющих элементов в течение 15-20 мин, погружения в приготовленный из единичных марок поливинилового водорастворимого лака раствор, сушки тепловыделяющих элементов при температуре 70-90°C в течение 12-15 мин и последующей сборки в межоперационную кассету; обеспечивается возможность совмещения операции сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки с операцией нанесения защитного покрытия.

Наличие в составе смазки жирных кислот оказывает влияние как на качество нанесения покрытия, так и на его полное удаление. Таким образом, достигается цель оптимизировать технологический процесс изготовления ТВС в целом, снизить его себестоимость без снижения качества сборки.

Лучший вариант осуществления изобретения

Способ изготовления тепловыделяющей сборки ядерного реактора реализуется следующим образом.

Тепловыделяющие элементы, представляющие собой длинномерные трубки, преимущественно из циркониевого сплава, загерметизированные с двух концов, предварительно снаряженные топливными таблетками и прошедшие все операции контроля, собирают в пучок - набор тепловыделяющих элементов, предназначенных для сборки одной кассеты - ТВС, упаковывают в межоперационную кассету и далее транспортируют на стенд сборки ТВС.

Операцию сборки тепловыделяющих элементов в ТВС на стенде сборки осуществляют заталкиванием тепловыделяющих элементов, перемещаемых с помощью механизма толкателей горизонтально вдоль собственной оси через устройство для нанесения защитного покрытия и ячейки дистанционирую-

щих решеток, в каркас ТВС. В качестве устройства для нанесения защитного покрытия может быть использована, например, фильера, внутренняя поверхность которой выложена пористым эластичным материалом, пропитанным водорастворимой смазкой предлагаемого состава, которая может быть установлена на стенде сборки непосредственно перед дистанционирующей решеткой, расположенной в каркасе первой по ходу перемещения тепловыделяющего элемента, либо аналогичным образом расположенная емкость, заполненная смазкой предлагаемого состава и снабженная соосными отверстиями для прохода тепловыделяющего элемента.

После установки всех тепловыделяющих элементов, входящих в состав одной ТВС, на ТВС закрепляют головку и хвостовик.

Затем производят отмывку ТВС от водорастворимой смазки струями под давлением водой комнатной температуры на установке струйной отмывки. Также возможна отмывка последовательно с применением агрегата струйной отмывки под давлением и помещением кассеты в реторту с водой комнатной температуры с барботированием в течение 30 мин и последующим сливом с двукратным повторением отмывок, при этом последнюю отмывку - с применением горячей воды температурой 80-90°C.

Сушку ТВС производят при температуре 100-120°C в течение 40 мин.

Промышленная применимость

Предлагаемый способ изготовления ТВС ядерного реактора с применением в качестве защитного покрытия водорастворимой смазки выбранного состава как альтернативы применения операции лакопокраски прошел типовые испытания в производственных условиях.

Имитаторы тепловыделяющих элементов, перемещенные на стенде сборки через устройство для нанесения защитного покрытия, проталкивались через решетки каркаса ТВС-2М, состоящего из дистанционирующих решеток, закрепленных на каналах направляющих, центральной трубе, при этом фиксировалось усилие проталкивания по длине каркаса. Статистические характеристики усилий проталкивания имитаторов при проведении типовых испытаний сборки ТВС-2М с применением смазки следующие:

среднее значение - 244,7 Н;

стандартное отклонение от среднего - 47,9 Н;

минимальное значение - 68,6 Н;

максимальное значение - 358,5 Н.

Использовалась смазка состава, содержащая 30% оксиэтилированного алкилфенола и 70% смеси одноосновных ненасыщенных жирных кислот.

В процессе сборки осуществлялся контроль качества нанесения смазочного покрытия. Результаты контроля подтвердили необходимые и достаточные для удерживания на поверхности тепловыделяющего элемента значения вязкости смазки и ее сохранности при контакте с пружинными элементами дистанционирующей решетки, позволяющие производить нанесение смазки на поверхность тепловыделяющего элемента однократно. Контроль тепловыделяющих элементов, прошедших операцию сборки, показал, что максимальная глубина рисок, измеренная методом "слепок", составила 9-13 мкм. Основная масса рисок имеет глубину 5-8 мкм, что не превышает допустимых значений по механическим повреждениям (30 мкм) и не является коррозионно-опасной. Наволакивания и задиры отсутствовали.

Способность смазки покрывать поверхность тепловыделяющего элемента тонким слоем обеспечивает ее минимальный расход в технологическом процессе: 1,0-1,5 л на сборку одной ТВС.

Операция сборки тепловыделяющих элементов в ТВС с применением смазки предлагаемого состава не требует изменений конструкции существующих стендов сборки. Сборка производится на штатном оборудовании.

Таким образом, реализация предлагаемого способа изготовления тепловыделяющей сборки ядерного реактора позволяет решить поставленную задачу обеспечения качества изготовления ТВС с одновременным обеспечением эффективности технологического процесса и связанного с этим снижением себестоимости изготовления тепловыделяющих сборок. Способ открывает возможность создания непрерывного цикла изготовления тепловыделяющих элементов и сборки их в ТВС.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления тепловыделяющей сборки ядерного реактора, включающий операции изготовления и контроля тепловыделяющих элементов, нанесения на каждый тепловыделяющий элемент защитного покрытия, сборки подготовленных тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку, закрепления головки и хвостовика, отмывки от защитного покрытия и сушки, отличающийся тем, что операции нанесения защитного покрытия и сборки тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку совмещают, перемещая каждый тепловыделяющий элемент на операции сборки тепловыделяющих элементов в тепловыделяющую сборку на стенде сборки в горизонтальном направлении вдоль собственной оси в ячейки дистанционирующих решеток через устройство для нанесения защитного покрытия, установленное на стенде сборки, при этом в качестве защитного покрытия используют водорастворимую смазку, содержащую оксиэтилированный алкилфенол и одноосновные ненасыщенные жирные кислоты.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что операцию отмывки от защитного покрытия проводят струями под давлением водой комнатной температуры.

