

Научная статья
УДК 621.039.59
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.074

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СТРУЖКИ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОБЕДНЁННОГО УРАНА НА ЗАВОДЕ РТ-1

**Андрей Игоревич Широков¹, Владимир Станиславович Ермолин²,
Михаил Васильевич Логунов³**

^{1–3}ФГУП «ПО «Маяк», Озерск Челябинской области, Россия

²cpl@po-mayak.ru, ermolin78@list.ru✉

Аннотация

При производстве изделий из металлического обеднённого урана образуются отходы в виде стружки металлического урана. Как правило, они хранятся на складах. Было предложено утилизировать стружку на заводе РТ-1 путём её растворения с использованием получаемых растворов в технологии завода. Отработаны режимы безопасной загрузки брикетов стружки и их растворения в аппарате-растворителе. Опыт промышленной эксплуатации показал обоснованность выбранных параметров процесса.

Ключевые слова:

металлический обеднённый уран, стружка, взрывопожаробезопасность, азотная кислота, растворение, пенообразование, реакция

Для цитирования:

Широков А. И., Ермолин В. С., Логунов М. В. Разработка и испытания технологии переработки стружки металлического обеднённого урана на заводе РТ-1 // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 454–458. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.074.

Original article

DEVELOPMENT AND TESTING OF A TECHNOLOGY FOR REPROCESSING DEPLETED URANIUM METAL CHIPS AT THE RT-1 PLANT

Andrey I. Shirokov¹, Vladimir S. Ermolin², Michail V. Logunov³

^{1–3}FSUE Mayak PA, Ozyorsk Chelyabinsk region, Russia

²cpl@po-mayak.ru, ermolin78@list.ru✉

Abstract

Fabrication of items made of depleted uranium metal is accompanied with generation of waste in the form of uranium metal chips. As a rule, it is stored in storehouses. It was proposed to dissolve the chips and to use the resulted solutions in the RT-1 plant processes. The authors worked out conditions for safe loading of chip briquettes into the dissolver and their subsequent dissolution there. Experience gained during industrial-scale operation has demonstrated the validity of the selected process parameters.

Keywords:

depleted uranium metal, chips, explosion and fire safety, nitric acid, dissolution, foaming, reaction

For citation:

Shirokov A. I., Ermolin V. S., Logunov M. V. Development and testing of a technology for reprocessing depleted uranium metal chips at the RT-1 plant // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 454–458. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.074.

Введение

Металлический обеднённый уран применяется с различными целями, например, из него могут изготавливаться средства радиационной защиты. При производстве соответствующих элементов образуется отход — стружка металлического обеднённого урана, которая, как правило, складывается в металлических ящиках на предприятиях генерации. При хранении она представляет постоянную пожарную опасность и требует проведения регулярных учётных мероприятий.

Стружка хранится и транспортируется в брикетированном виде (БСМУ) в контейнерах, заполненных воздухом или углекислым газом с избыточным давлением.

Таким образом, проблема безопасной переработки этого отхода является актуальной. Вместе с тем, в период перезапуска экстракционных отделений завода РТ-1 для так называемого «зауранивания» требуется относительно чистый уран. Для этого обычно использовали регенерированный уран от переработки ОЯТ. Было предложено проводить растворение стружки урана и производить «зауранивание» полученным раствором.

Обеднённый уран, помимо этого, нужен для доводки обогащения (разбавления) по изотопу уран-235 готовой продукции завода РТ-1. Особенно привлекательно в нём практическое отсутствие изотопа уран-232. Это позволяет смешивать обеднённый уран с продуктом, содержащим этот изотоп в повышенных концентрациях. Таким образом, разработка технологии переработки БСМУ не только решила бы вопрос безопасности, но и позволила использовать продукт, который ранее применения не находил.

Исходя из вышеизложенного целью работы являлась разработка и испытания технологии растворения БСМУ применительно к оборудованию завода РТ-1. Для реализации поставленной цели предстояло определить аппарат, в котором будет проводиться растворение, обеспечить (установить) условия взрывопожаробезопасности проведения процесса переработки, включая этап загрузки материала, экспериментально определить оптимальные параметры проведения растворения и уточнить их на опытных операциях на реальном оборудовании.

Одно из важнейших условий при выборе аппарата заключалось в том, что этот аппарат должен иметь возможность загрузки растворяемого материала навалом. Таких аппаратов на заводе РТ-1 имелось два — кольцевой ядернобезопасной геометрии и цилиндрический (неядернобезопасный). Впрочем, для данного материала (обеднённый уран) задача обеспечения параметров ядерной безопасности неактуальна. И хотя цилиндрический аппарат, в отличие от кольцевого, позволяет растворять значительные массы материала, что является определённым преимуществом, аппарат ядернобезопасной геометрии расположен значительно ближе к экстракционным отделениям. Следовательно, на заполнение связующих трубопроводов требуется значительно меньший объём раствора. Таким образом, для растворения БСМУ в первую очередь был рассмотрен кольцевой аппарат.

Независимо от типа аппарата для организации растворения в нём стружки необходимо было решить следующие задачи:

- 1) определить безопасные условия процесса фрагментации (если она необходима);
- 2) определить безопасные условия загрузки БСМУ или её фрагментов в аппарат-растворитель;
- 3) принципиально исследовать процесс растворения БСМУ (оценить ход процесса, выявить особенности, требующие принятия превентивных мер);
- 4) определить оптимальные параметры растворения БСМУ (концентрация кислоты, температура и др.).

Обеспечить безопасность процесса фрагментации БСМУ можно тремя путями: первый — создание инертной атмосферы (азот или диоксид углерода) в зоне измельчения, например, путём осуществления операции измельчения в герметичном боксе; второй — фрагментация брикетов под слоем воды. Вода должна предупреждать воспламенение, поскольку смазывающе-охлаждающая жидкость (СОЖ), применяемая при механической обработке изделий из металлического урана, представляет собой эмульсию с содержанием воды от 85 до 97 %; наконец, процесс измельчения можно организовать и на воздухе с применением определённых предосторожностей, например, ограничение массы урана на стадии фрагментации брикетов (не более одного брикета непосредственно в работе), размещение порошковых средств пожаротушения и т. п.

Первичный анализ свидетельствует, что наиболее оптимальным и простым в реализации вариантом, обеспечивающим безопасность фрагментации БСМУ, является использование воды. Было экспериментально подтверждено, что при погружении воспламенившегося урана в воду происходит моментальное прекращение горения, газообразования при этом также не наблюдается.

При загрузке в аппарат куски БСМУ могут нагреваться от трения, при ударах почти неизбежно будет возникать искрение. В результате стружка может воспламениться, пламя перекинуться на ранее загруженный в аппарат-растворитель материал, что не исключает большой вероятности повреждения

аппарата. В связи с этим загрузка брикетов под зеркало воды, очевидно, должна предотвратить возгорание загруженной в аппарат-растворитель стружки, а орошение тракта загрузки водой в процессе движения по нему брикетов должно минимизировать эффекты искрения и воспламенения.

На основании изложенного ранее был предложен следующий способ загрузки брикетов стружки урана или их фрагментов:

- перед началом загрузки в аппарат-растворитель принять воду в объёме, превышающем объём стружки, планируемой к загрузке (далее — «подушка»);
- загрузку производить при постоянном орошении тракта загрузки водой.

Основная часть

Первые лабораторные эксперименты по растворению стружки показали высокую интенсивность и плохую управляемость процесса. При растворении в азотной кислоте с молярной концентрацией 10 моль/дм³ происходил саморазогрев раствора от комнатной температуры до кипения, при этом объём пены превышал объём раствора в 7,5 раза.

С целью поиска путей снижения пенообразования и интенсивности процесса исследовали растворение в азотной кислоте с молярными концентрациями 6, 7 и 9 моль/дм³. Эксперименты показали, что при растворении в азотной кислоте с молярной концентрацией 6 и 7 моль/дм³, если эксперимент начинать при охлаждении, дальнейшем контроле за температурой можно прекратить, при этом объём пены не превышает объёма раствора. Аналогичный результат наблюдается и в азотной кислоте с молярной концентрацией 9 моль/дм³, если производить ступенчатый нагрев, не допуская достижения температуры кипения.

Данные параметры были взяты за основу при проведении первых опытных операций на промышленном оборудовании.

Первая партия БСМУ, загружаемая в аппарат ядернобезопасной геометрии, состояла из брикетов, продольные размеры которых значительно превышали ширину кольцевой реакционной зоны аппарата. В связи с этим непосредственно перед загрузкой БСМУ подвергали фрагментации. Фрагментацию проводили в боксе, установленном в непосредственной близости с трактом загрузки, под слоем воды с помощью пресса, рабочая часть которого представлена крестообразным ножом. В процессе измельчения под слоем воды газовыделения либо иных признаков реакции визуально не наблюдалось.

Основными проблемами, сопровождавшими промышленный процесс растворения стружки, являлись затруднения в управлении процессом по мере приёма раствора азотной кислоты в аппарат-растворитель. Это выражалось в снижении разрежения в аппарате-растворителе, вызванном интенсивным газообразованием и самопроизвольным повышением температуры. Было установлено, что неконтролируемый саморазогрев раствора начинался при достижении концентрации азотной кислоты приблизительно 2 моль/дм³. Дальнейшее увеличение концентрации кислоты приводило к ещё большей интенсификации процесса, что выражалось в падении разрежения. Таким образом, в дальнейшем на начальных стадиях процесса растворения в аппарате ядернобезопасной геометрии не допускали повышения концентрации азотной кислоты более 2 моль/дм³.

При этом нештатных ситуаций не возникало, растворение протекало полностью, концентрация урана в получаемых растворах составляла от 150 до 250 г/дм³, содержание азотной кислоты — от 3,5 до 5 моль/дм³.

У реализованного процесса всё обнаружено два недостатка:

- проведение операции измельчения БСМУ существенно замедляло процесс;
- из-за ограниченной вместимости аппарата-растворителя масса загружаемого урана на операцию растворения была ограничена.

В связи с этим в дальнейшем операции растворения стали проводить в аппарате неядернобезопасной геометрии, позволяющем загружать БСМУ без предварительной фрагментации и в значительно большем количестве.

Особенностью реализации процесса растворения в этом аппарате являлась необходимость большого объёма водной «подушки», составляющего более 35 % рабочего объёма аппарата. Ещё 30 % рабочего объёма расходуется на закисление получаемого раствора стружки. Цель закисления — создание оптимальной для экстракционного передела концентрации азотной кислоты (от 2,5 до 3 моль/дм³, при этом для закисления используется азотная кислота с максимально разрешённой на заводе РТ-1 концентрацией — 10 моль/дм³).

Таким образом, непосредственно для растворения может использоваться азотная кислота в объёме, не превышающем 35 % рабочего объёма аппарата. С учётом мольных расходных коэффициентов азотной кислоты на растворение урана концентрация урана в этом случае в получаемом растворе не могла превысить 200 г/дм³. Это относительно невысокая концентрация (при растворении оксидного ОЯТ концентрация урана в растворе составляет от 320 до 350 г/дм³). Переработка растворов с невысоким содержанием урана приводит к увеличению объёмов жидких отходов. В связи с этим разрабатываемый процесс должен обеспечивать получение максимально концентрированных по урану растворов. Следовательно, предстояло решить задачу организации управляемого растворения БСМУ в аппарате неядернобезопасной геометрии с получением более концентрированного по урану раствора.

Таким образом, задача фрагментации, как упоминалось выше, потеряла актуальность поскольку габариты оборудования (тракта загрузки и аппарата-растворителя) позволяли загружать поступающие брикеты целиком. Также была снята необходимость непрерывного орошения тракта при загрузке брикетов: для безопасной загрузки было разработано специальное приспособление, позволяющее плавно, без соударений со стенками, опускать брикеты на дно аппарата.

При проработке вариантов реализации процесса был принят во внимание тот факт, что реакция растворения БСМУ начинается при концентрации азотной кислоты 2 моль/дм³.

Для снижения интенсивности процесса было предложено рассмотреть вариант инициирования реакции растворения стружки при более низкой кислотности путём нагревания аппарата-растворителя уже при достижении концентрации азотной кислоты 1 моль/дм³. Установлено, что объём образующейся при этом пены незначительный и не требует принятия специальных мер. Таким образом, была исключена необходимость достижения концентрации азотной кислоты 2 моль/дм³ для начала процесса. Как показал опыт, процесс растворения стружки в режиме постоянного расходования принимаемой кислоты позволил сделать процесс наиболее управляемым.

Другой задачей, которую требовалось решить при реализации процесса, являлось повышение концентрации урана в получаемом растворе. Набор средств для достижения указанной цели был весьма ограничен — использование не водной, а кислотной «подушки» или использование в качестве «подушки» части уранового раствора от предыдущего растворения. Второй вариант был исключён сразу, поскольку противоречил действующим инструкциям по учёту и контролю ядерных материалов. Между тем использование азотнокислой «подушки» с концентрацией 1 моль/дм³ позволило повысить концентрацию урана примерно на 20 г/дм³.

В соответствии с предложенными режимами на заводе РТ-1 производится регулярная и безаварийная переработка урановой стружки. Растворы получаемого при этом урана используются для «зауранивания» экстракционных отделений при их перезапусках, а также для доведения готовой продукции по изотопному составу в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Заключение

Итогом проведённых работ является следующее:

- предложены и успешно апробированы способы безопасной загрузки и растворения мелкодисперсного металлического урана;
- разработан способ контролируемого растворения данных материалов;
- номенклатура перерабатываемых на заводе РТ-1 ядерных материалов расширена.

В таблице обобщены потенциально опасные производственные факторы, характерные для процесса переработки брикетов стружки обеднённого урана, предложенные меры по их нивелированию и достигнутый результат.

Потенциально опасные факторы процесса растворения стружки необлучённого урана,
меры по снижению их влияния и результирующее влияние на технологию

Негативный производственный фактор	Меры по нивелированию	Результат воздействия
Пожароопасность процесса фрагментации	Фрагментация проводится в герметичном боксе под слоем воды	Воспламенений при фрагментации не отмечается
Пожароопасность процесса загрузки	1. Загрузка производится при орошении тракта загрузки водой. 2. Загрузка производится с помощью специального приспособления, исключающего соударение брикетов со стенками оборудования	Воспламенений при загрузке не отмечается
Невозможность управления процессом растворения в азотной кислоте с молярной концентрацией свыше 2 моль/дм ³	Прогрев содержимого аппарата-растворителя для инициирования реакции при пониженной концентрации кислоты. Порционный приём раствора азотной кислоты на загруженное в аппарат-растворитель топливо	В процессе приёма порций азотной кислоты падений разрежения и выбросов раствора из аппарата-растворителя не отмечается, саморазогрев раствора поддаётся управлению (температура раствора снижается при охлаждении)

Информация об авторах

А. И. Широков — инженер-технолог;

В. С. Ермолин — инженер-технолог;

М. В. Логунов — кандидат технических наук, советник генерального директора.

Information about the authors

A. I. Shirokov — Process Engineer;

V. S. Ermolin — Process Engineer;

M. V. Logunov — PhD (Engineering), Advisor to Director General.

Статья поступила в редакцию 08.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 08.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.