

творов (исходного и промывного) позволит выбрать режим кристаллизации при совместном выделении соединений урана и плутония.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Takahiro Ch., Toshiaki K., Atsuhiro Sh. e.a.** Batch crystallization of uranyl nitrate. — J. Nucl. Sci. Technol., 2008, v. 45, № 6, p. 582—587.
2. **Kouichi Oh., Kimihiko Y., Shigehico M. e.a.** Experimental study on U—Pu Co-crystallization for new reprocessing process. — In: Conf. Global-2005. Japan, 2005, pap. № 452.
3. **Волк В.И., Арсеев Л.В., Веселов С.Н и др.** Физико-химические основы процесса кристаллизационного выделения и очистки урана в виде плава гексагидрата нитрата уранила. Тезисы докл. конф. «Радиохимия-2009». М., 2009, с. 221.

УДК 621.039.33

РАБОТЫ АО «ВНИИНМ им. А.А. БОЧВАРА» В ОБЛАСТИ ИЗОТОПОВ ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Иванов Б.В., Семенов А.А., Лизунов А.В.

Менее 100 лет прошло со времени, когда человек научился разделять изотопы. Гипотеза о существовании изотопов водорода возникла лишь в 1919 г., и еще 12 лет потребовалось, чтобы открыть первый из них — дейтерий. В 1931 г. американский ученый Г. Юри с группой своих учеников сумел обнаружить линии дейтерия в спектре остатка от испарения жидкого водорода. На выделение дейтерия в виде оксида — тяжелой воды потребовалось еще несколько лет в связи с близостью его свойств со свойствами обычного водорода. После этого открыли и сверхтяжелый изотоп водорода — тритий, который был получен искусственно и оказался радиоактивным. Можно сказать, что эра изотопов легких элементов началась с этих двух знаменательных событий. В скором времени физики установили, что тяжелая вода перспективна в качестве замедлителя и отражателя нейтронов в реакторе для наработки плутония из урана, тритий в смеси с дейтерием может участвовать в реакции термоядерного синтеза с колоссальным выходом энергии. Так изотопы водорода оказались связаны с перспективой создания новых видов оружия небывалой мощности, причем как ядерного, так и термоядерного.

Со времени своего создания ВНИИНМ (ранее НИИ-9) был ведущей организацией в технологиях получения и применения специальных неядерных материалов, в числе которых на первом месте стоят изотопы водорода. Показательно, что первая в СССР монография о методах разделения изотопов была написана работником нашего предприятия А.М. Розеном, который

одним из первых руководил и непосредственно участвовал в работах по созданию колонных аппаратов для выделения дейтерия из природной смеси изотопов. Многие годы наше предприятие совместно с РХТУ им. Д.И. Менделеева и другими организациями занималось исследованиями в области разделения изотопов водорода, получения дейтерия и тяжелой воды с высокой химической и изотопной чистотой.

Тритий из-за его чрезвычайно малого содержания в природе требовал для своего получения совершенно другого подхода. Его предстояло нарабатывать реакторным путем из другого изотопа — ${}^6\text{Li}$. Решение так называемой «газовой проблемы» также было поручено специалистам НИИ-9 К.А. Большакову и З.В. Ершовой, которая затем руководила этим направлением работ более 20 лет. Под ее руководством был создан коллектив, состоящий из физиков-экспериментаторов и теоретиков, химиков-технологов и радиохимиков, аналитиков различных направлений и специалистов по вакуумной технике.

«Тритиевая проблема» с помощью работников нашего предприятия была успешно решена, причем в рекордно короткие сроки. Специалистами ВНИИНМ были опробованы различные технологии получения трития, из которых были выбраны наилучшие. К существенным этапам становления тритиевых технологий следует отнести подбор наиболее термо- и радиационно-стойких соединений лития для облучения в реакторе, разработку специальных литиевых материалов и конструкции блоков для наработки

трития, а также технологии его извлечения из облученного материала, разработку методов анализа трития, методов изотопной и химической очистки трития, определение закономерностей диффузионного поведения трития. На одном из этапов работ на площадке ВНИИНМ была создана полупромышленная установка получения трития из облученных литиевых блоков. Следует упомянуть специалистов, внесших значительный вклад в становление тритиевых технологий: А.Д. Бычкова, Н.К. Виноградова, В.Н. Введенский, М.В. Владимирова, П.Л. Володин, Л.К. Головкин, Е.Г. Грачева, Т.И. Дмитриевская, Е.М. Дюжиков, Э.Г. Казаков, Н.Ф. Ларионов, В.П. Пешков, С.Ш. Мухамет-Галеева, И.Е. Нахутин, Н.А. Нилов, Ф.В. Раузен, Г.А. Тягунов, Б.В. Шулятиков и Л.Г. Шулятикова.

После разработки основной технологии получения трития продолжалась большая работа по ее усовершенствованию. Так, внедрение в ПО «Маяк» разработанных во ВНИИНМ индукционной печи и специальных вакуумных насосов позволило существенно сократить потери трития, уменьшить объемы твердых и газообразных отходов, сократить длительность процесса. Реакторные испытания различных вариантов исполнения блоков для наработки трития позволили довести до совершенства процесс их изготовления и облучения, исключив аварии и потери ценного продукта. Оригинальность этих работ подтверждена многими авторскими свидетельствами. В испытаниях и внедрении новых и усовершенствованных технологий активное участие принимали Н.К. Виноградова, Е.П. Старшин, М.И. Беляков, Д.И. Торубаров, В.В. Демидов и другие.

Более 18 лет одна из групп изотопного отдела ВНИИНМ под руководством Е.П. Старшина и Н.А. Родионовой изготавливала мишени нейтронных генераторов, насыщая их тритием в соответствии с технологическими требованиями заказчика — ВНИИА им. Н.Л. Духова. Один из нейтронных генераторов, мишени которого были насыщены во ВНИИНМ, в настоящее время находится на марсоходе НАСА «Curiosity» и служит для химического анализа атмосферы и горных пород.

Наше предприятие принимало активное участие в разработке тритиевых технологий для управляемого термоядерного синтеза. На международном уровне ВНИИНМ по этому направ-

лению долгие годы представлял В.К. Капышев. Это направление работ не потеряло актуальности до наших дней. Международный термоядерный реактор ИТЭР, который создается во Франции, требует разработки новых подходов к проблеме тритиевой безопасности.

За последние 20 лет из специалистов ВНИИНМ в области тритиевых технологий, внесших значительный научный вклад, следует отметить Л.А. Ривкиса, который сумел создать и развить новое направление исследований. Л.А. Ривкису удалось достичь успехов в области исследований взаимодействия трития с конструкционными материалами и разработки методов его удаления из металлов и сплавов, а также в области утилизации тритийсодержащих отходов. Эти работы были проведены по заказу организаций из Великобритании и США в обеспечение работ на термоядерных реакторах JET и ИТЭР. В последние годы Л.А. Ривкис совместно со специалистами РХТУ им. Д.И. Менделеева принимает участие в разработке методов удаления трития из воздуха рабочих помещений методом фазового изотопного обмена. При проведении исследований удалось достичь очистки воздуха от трития более чем в 100 тыс. раз. Эта работа имеет перспективу развития, так как крупномасштабную колонную установку по заказу ИТЭР планируется разместить на площадке ВНИИНМ.

Из учеников З.В. Ершовой и ее легендарных коллег, заложивших основы отечественных тритиевых технологий, дольше всех в штате изотопного отдела ВНИИНМ проработали Л.А. Ривкис, М.И. Беляков и В.В. Александров. Даже после ухода на пенсию они продолжают принимать участие в научной деятельности своего направления, консультируя и участвуя в совместных разработках.

В 2013 г. во ВНИИНМ был создан Центр научных компетенций по получению изотопов легких элементов и продукции на их основе, предназначенный для координации работ в области разделения и кондиционирования изотопов, а также производства изотопной продукции. Кроме изотопов водорода, в круг научных интересов специалистов ВНИИНМ входят также изотопы лития, азота, углерода, кислорода, но в первую очередь — изотоп бора ^{10}B , крайне важный для атомной промышленности как поглотитель

тель нейтронов. ВНИИНМ долгое время руководил работой по созданию колонной установки для разделения изотопов бора в Радиевом институте им. В.Г. Хлопина, в настоящее время инициирует работы по восстановлению отечественного производства этого важного изотопа.

В конце прошлого десятилетия наметилось сотрудничество ВНИИНМ с Экспертно-криминалистическим центром МВД РФ и разработчиками масс-спектрометрической аппаратуры в области проведения экспертизы контрафактной продукции методами масс-спектрометрии стабильных изотопов легких элементов. В частности, была установлена взаимосвязь изотопного состава водорода, кислорода и углерода в объектах экспертизы с их географическим и биологическим происхождением.

В перспективе изотопного направления ВНИИНМ — участие в разработке радиоизотопных элементов питания на базе трития, решение проблем безопасности при работе с тритием на крупномасштабных исследовательских установках, создание производства химических соединений, меченных тритием, разработка инновационных технологических подходов в разделение изотопов бора, азота и других легких элементов, участие в разработке изотопных масс-спектрометров.

При написании статьи авторами был использован сборник статей к 100-летию со дня рождения З.В. Ершовой «Первая леди советской атомной науки» (Москва, 2004 г.). Авторы благодарны М.И. Белякову и Л.А. Ривкису за помощь в подборе материала.

УДК 62-761

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АТОМНОЙ ТЕХНИКИ

Тумов А.О.

Поверхность материала является определяющей допустимые условия эксплуатации и ресурс системы материал—рабочая среда. Это предопределяет высокую значимость разработки методов и технологий модификации поверхностных слоев изделий. Эффективным методом направленной модификации является нанесение функциональных покрытий на рабочие поверхности изделий и деталей.

В настоящее время АО «ВНИИНМ» является одним из разработчиков технологии и оборудования для нанесения защитных и функциональных покрытий, позволяющих выпускать изделия нового поколения с улучшенным соотношением цена/качество. Проект создания на базе передовых инновационных разработок АО «ВНИИНМ» современного промышленного производства функциональных наноструктурированных покрытий с использованием разнообразных материалов покрытий, технологий и оборудования для их нанесения находится сейчас в стадии рассмотрения.

В АО «ВНИИНМ» в настоящее время для конверсионного применения разработаны следующие технологии модифицирования поверх-

ностей образцов и изделий с нанесением функциональных покрытий:

холодное газодинамическое напыление, электроискровое легирование, микродуговое оксидирование, химико-термическая обработка в специальных средах, струйно- и магнитоабразивная обработка, обработка холодом;

вакуумное высокоскоростное ионно-плазменное магнетронное и катодное распыление, газопламенная обработка в инертных средах.

Холодное газодинамическое или сверхзвуковое воздушно-порошковое напыление, которое основано на эффекте закрепления на поверхности при соударении с ней движущихся со сверхзвуковой скоростью твердых частиц, является одним из эффективных методов нанесения функциональных или износостойких покрытий на новые изделия, а также восстановления изношенных деталей [1—4]. В качестве материалов используются порошки металлов, сплавов или их механические смеси с керамическими порошками. Технология позволяет их наносить не только на металлы, но и на стекло, керамику, камень, бетон, плотные органические материалы — углепластик, вакуумную резину, пласт-