

В. Ф. Балакин /д. т. н./,
В. Е. Машинистов /к. т. н./

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина

Эффективная технология рециклинга радиационно загрязненного металла

Balakin Valeriy /Dr. Sci. (Tech.)/,
Mashinistov Victor /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

The melting of radiation-contaminated metal is the basis of an effective technology for its recycling

Цель. Изложены результаты теоретических исследований, выполненных в НМетАУ, по развитию технологии рециклинга радиационно загрязненного металла, основой которой является его плавление в металлургической печи индукционного типа.

Методика. Выполнен анализ параметров радиационно загрязненного металла, который представляет собой открытый источник ионизирующего излучения. В процессе плавления радиационно загрязненный металл из открытого источника ионизирующего излучения преобразуется в закрытый. В итоге создаются условия для получения из него металла, безопасного в радиационном отношении.

Практическая значимость. Рассмотренная технология характеризуется высокими технико-экономическими показателями процесса рециклинга радиационно загрязненного металла. (Ил. 1. Библиогр.: 5 назв.)

Ключевые слова: радиационно загрязненный металл, рециклинг, дезактивация, плавление, источник излучения, облучение.

Введение. В современных условиях все острее встает вопрос о возвращении в промышленное использование миллиона тонн радиационно загрязненного металла (РЗМ), который является источником опасного для биологических объектов ионизирующего излучения (ИИ).

Успешное решение проблемы рециклинга РЗМ приводит к уменьшению объемов добычи и переработки минерального сырья, что создает условия для предупреждения экологических нарушений, а также обуславливает существенное уменьшение издержек на горнопромышленное производство. С другой стороны, РЗМ представляет собой возобновляемый, причем многократно, источник сырья для металлургической промышленности, что значительно улучшает технико-экономические показатели его работы.

Настоятельная необходимость ускоренного решения данных проблем принуждает к поиску эффективных инновационных технологий переработки РЗМ.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – развитие технологии рециклинга радиационно загрязненного металла, основой которой является его плавление, применимой для широкомасштабного промышленного использования.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ РЗМ как источника облучения отдельного человека;
- исследовать влияние процесса плавления РЗМ на его радиационные параметры;
- разработать критерий радиационной безопасности выплавленного металла;
- разработать предложения по практическому применению предлагаемой технологии рециклинга РЗМ.

Характеристика радиационно загрязненного металла как источника ионизирующего излучения. Загрязнение радионуклидами поверхности металлических изделий (трубы, баки, металлоконструкции и т. п.) происходит в процессе их эксплуатации на производствах, в которых используются радиоактивные вещества. Также загрязнение имеет место, когда на промышленном объекте происходит авария с выбросом радионуклидов в атмосферу, и они оседают на различные объекты, в том числе и на их металлические составляющие. Распад находящихся на поверхности металла радионуклидов сопровождается испусканием ИИ, которое при своем распространении в окружающей среде может контактировать с организмом человека, проникать в него и поражать.

Это облучение является дополнительным к постоянно действующему на человека природному радиационному фону.

В данном случае РЗМ представляет собой индустриальный источник облучения людей. Для того чтобы загрязненный радионуклидами металл можно было повторно использовать в хозяйственной деятельности, необходимо обеспечить его радиационную безопасность. Это означает, что индивидуальная годовая эффективная доза внешнего облучения, создаваемая радионуклидами, которые загрязняют металл, не должна превышать годового лимита дозы, который установлен нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [1].

Суммарная доза облучения от какого-либо конкретного источника ИИ зависит не только от интенсивности ИИ с его поверхности, но и от того, какими путями радиоизотопы и их излучения поступают в организм отдельного конкретного человека. На рис. 1 показана схема потенциальных путей поступления ИИ и радионуклидов к человеку. В качестве источника рассматривается фрагмент металла, поверхность которого загрязнена радионуклидами.

Радионуклиды, загрязняющие металл, являются исходным радиационным фактором в общей схеме путей облучения человека – внешнего и внутреннего.

Радиоактивные вещества, вынесенные ветровым потоком с поверхности металла в атмосферу, распространяются на значительные расстояния. Находящиеся в ней радионуклиды могут быть источниками внешнего облучения человека гамма-излучением, поступать ингаляционным путем в организм человека, а также выпадать на поверхность земли. Под действием дождя радиоактивные вещества могут попадать на земную поверхность, а с нее ветровым потоком выносятся опять в атмосферу, переходить в почву, воду, растительность и быть источником внешнего облучения человека.

При обмене радионуклидами между почвой, водой и растительностью происходит загрязнение ими продуктов питания и воды. Их потребление приводит к внутреннему облучению человека дозой $D_{внут}$. Гамма-излучение с поверхности РЗМ, земной поверхности и радиоактивно загрязненной атмосферой формирует дозу внешнего облучения $D_{внеш}$.

Дополнительная эффективная годовая доза облучения отдельного человека от конкретного источника радиоактивного излучения равна сумме эффективной дозы внешнего облучения, накопленной за календарный год, и ожидаемой эффективной дозы внутреннего облучения за этот же период $D_{доп} = D_{внеш} + D_{внут}$.

В соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) основным критерием радиационной безопасности РЗМ, как техногенного источника ИИ, является индивидуальная годовая эффективная доза внешнего облучения человека, находящегося в зоне действия этого излучения, которая не должна превышать предельного значения $1 \text{ м}^3/\text{год}$ [1]. Это расчетная величина, и она не может быть определена путем прямых измерений. Поэтому на основе ряда принятых допущений, условий, экспериментальных данных, моделирования используются производные величины для оценки уровня облучения человека. Допустимые значения этих величин соответствуют предельному значению основного критерия в рассматриваемом случае. К ним относятся, в соответствии с [1]:

- допустимая мощность дозы внешнего облучения;
- допустимые концентрации радионуклида в воздухе и питьевой воде.

Из рис. 1 видно, что ИИ, создаваемое загрязняющими РЗМ радионуклидами, достигает тканей организма человека и воздействует на них двумя

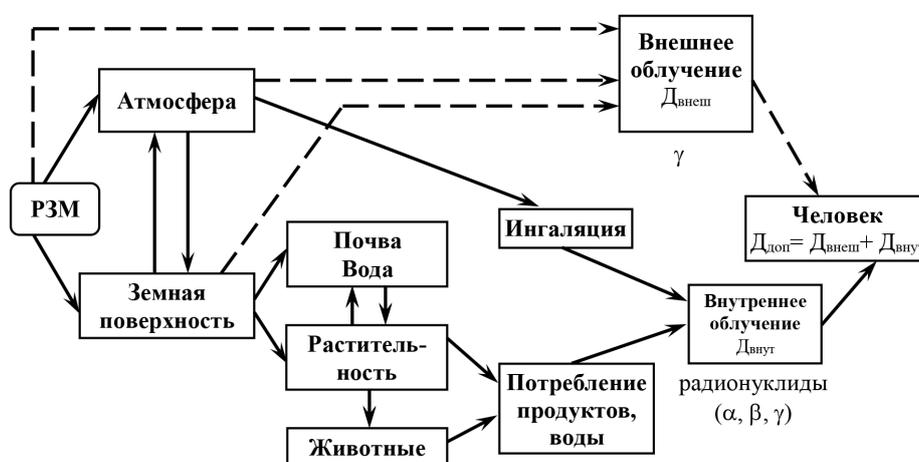


Рис. 1 Общая схема потенциальных путей поступления к человеку ионизирующего излучения и радионуклидов от радиационно загрязненного металла (- - - - - γ -излучение; — - - - - радионуклиды)

различными путями – внешним и внутренним. Поскольку механизмы радиационного поражения, обусловленные этими путями, существенно разнятся, то и меры защиты от воздействия внешнего облучения в корне отличаются от мер, препятствующих внутреннему облучению.

Традиционным путем уменьшения уровня ИИ, поступающего в организм человека как внешним, так и внутренним путем, является дезактивация поверхности РЗМ разными способами. Однако, как показывает практика, это неэффективный и не единственный путь получения радиационно безопасного металла из загрязненного.

Как следует из рис. 1, уменьшать уровень ИИ, который создается радионуклидами, загрязняющими металл, можно не только путем их удаления с загрязненной поверхности, но и воздействием на пути поступления радионуклидов и ИИ к людям. Поскольку конечной целью дезактивации какого-либо объекта является исключение или уменьшение уровня ИИ, исходящего от радионуклидов, загрязняющих этот объект, на организм человека, то всю совокупность действий по достижению данной цели можно объединить единым понятием «дезактивация».

Оба эти пути уменьшения уровня действующего на человека ИИ реализуются при плавлении РЗМ, являющегося источником этого излучения.

Плавление РЗМ, не прошедшего этап его предварительной дезактивации, является основным отличительным элементом технологии его рециклинга, суть которой изложена в [4]. При плавлении радионуклиды, которые находились на поверхности металла, переходят в расплав и распределяются в его объеме равномерно. Таким же остается это распределение и в выплавленном слитке. В результате процесс плавления приводит к преобразованию открытого источника ИИ, каким был РЗМ, в закрытый, из которого радионуклиды не могут попасть в окружающую среду, распространяться в ней и попасть внутрь организма человека. Как это видно из рис. 1, при этом полностью исключается внутренний путь облучения человека. Что касается пути внешнего облучения, то из всех видов ИИ за пределы слитка может выходить гамма-излучение только тех радионуклидов, которые находятся у поверхности металла в слое толщиной в несколько сантиметров. Гамма-излучение всех остальных радионуклидов поглощается в металле полностью. Альфа-излучение и бета-излучение не выходит за пределы металлического слитка совсем и не может воздействовать на биологические объекты, поскольку полностью в нем поглощается. При плавлении часть радионуклидов переходит в шлаковую и в осаждаемую на фильтрах составляющие продуктов плавки, что также существен-

но уменьшает количество оставшихся в металле радионуклидов. Поскольку плавление РЗМ привело к существенному уменьшению мощности ИИ с его поверхности, то этот процесс так же, как и удаление радионуклидов с поверхности РЗМ, по сути, является его дезактивацией. При этом уменьшение уровня ИИ за счет его поглощения в металле, в котором оно распространяется, можно рассматривать как эффект самодезактивации.

Никакие процессы обработки изделий из выплавленного металла не могут повысить уровень их радиационной опасности для биологических объектов. Безопасные уровни гамма-излучения с поверхности готовой продукции достигаются при настолько низких концентрациях радионуклидов, что они никак не влияют на изменение физических и химических свойств металлов. Таким образом, процесс плавления создает условия для получения из РЗМ металла, пригодного для использования без каких-либо ограничений. Эти условия возникают как за счет уменьшения количества радионуклидов, оставшихся в металле, так и за счет изменения структуры путей поступления ИИ и радионуклидов в организм человека.

Обоснование и выбор критерия радиационной безопасности выходной металлопродукции. На основе рекомендаций Европейской комиссии во многих странах принят критерий радиационной безопасности, который регламентирует содержание радионуклидов, как естественных, так и техногенных, в твердых материалах, в том числе и в металле. К неограниченному использованию допускаются металлические изделия, содержащие радионуклиды, в зависимости от их вида, с удельной активностью не более 370–1000 Бк/кг [2].

Однако надо иметь в виду, что активность радиоактивного изотопа указывает только на число его распадов в секунду, и никак не свидетельствует о степени создаваемой ею радиационной опасности для биологических объектов. Степень поражения разных биологических тканей неодинакова при одинаковой активности различных радиоактивных элементов, а также зависит от вида и энергии создаваемого ими ИИ.

Критерии радиационной безопасности людей устанавливаются на основе данных о биологическом действии радиационных факторов [3]. Как показано выше, для металла таким действующим фактором является гамма-излучение с его поверхности. В соответствии с методическими указаниями, радиационный контроль металлопродукции проводится путем измерения мощности дозы ИИ с ее поверхности дозиметрами-радиометрами на расстоянии не более 2 см от нее. Решение о соответствии металла установленным требованиям

принимается, если результат измерения не превышает значения 0,26 мкГр/ч [5].

Таким образом, измерение мощности дозы внешнего гамма-излучения с поверхности готовой металлопродукции, выплавленной из РЗМ, средствами объективного контроля позволяет оценить степень соблюдения норм и правил о радиационной безопасности.

Выводы. Результаты теоретических исследований по развитию технологии рециклинга радиационно загрязненного металла, основанной на его плавлении в металлургической печи, свидетельствуют, что данный подход может быть использован для широкомасштабного промышленного рециклинга РЗМ.

Показано, что процесс плавления приводит к преобразованию источника ионизирующего излучения открытого типа, каким является металл, на поверхности которого находятся радионуклиды, в источник закрытого типа. Слиток и изделия из него, полученные из РЗМ, являются источником только гамма-излучения.

Обоснован и выбран критерий радиационной безопасности продукции, полученной из РЗМ. Таким критерием является максимальное значение мощности дозы гамма-излучения с поверхности металла, при котором обеспечивается превышение основных дозовых лимитов, установленных НРБУ [3].

Применение данной технологии позволит вернуть в промышленное производство миллионы тонн накопившегося радиационно загрязненного металла и создает условия для предупреждения экологических нарушений.

Библиографический список/References

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Украины от 01.12.97 г., № 62.

Normy radiatsiynoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). Utverzhdeny postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Ukrainy ot 01.12.97, no. 62.

2. Перспективы развития за рубежом регенерации металлов из радиоактивного матааллического скрапа методом плавления / Н. А. Шульга //

Атомная техника за рубежом. – 1994. – № 6. – С. 10–17.

Shul'ga N. A. *Perspektivy rozvitiya za rubezhom regeneratsii metallov iz radioaktivnogo matallicheskogo skrapa metodom plavleniya*. Atomnaya tekhnika za rubezhom. 1994, no. 6, pp. 10-17.

3. Радиационная гигиена: учебник для вузов / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010.

Il'in L. A., Kirillov V. F., Korenkov I. P. *Radiatsionnaya gigiena*. Moscow, GEOTAR-Media, 2010.

4. Technology of recycling radioactively contaminated metal by the method of melting / V. Balakin, V. Mashinistov, O. Galkin, K. Bilan // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 4/5 (82). – P. 31–37.

Balakin V., Mashinistov V., Galkin O., Bilan K. *Technology of recycling radioactively contaminated metal by the method of melting*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016, no. 4/5 (82), pp. 31-37.

5. Державні санітарно-екологічні норми і правила з радіаційної безпеки при проведенні операцій з металобрухтом. ДСЕНіП 6.6.1–0,79/211.3.9001-02.

Derzhavni sanitarno-ekologichni normi i pravila z radiatsiynoi bezpeki pri provedenni operatsiy z metalobrukhtom. DSENiP 6.6.1–0,79/211.3.9001-02.

Purpose. The results of theoretical studies carried out in NMetAU, on the development of recycling technology for radiation-contaminated metal, by melting it in an induction-type metallurgical furnace, are presented in this paper.

Methodology. The analysis of parameters of radiation-contaminated metal, which is an open source of ionizing radiation, is performed. During the melting process, the radiation-contaminated metal from an open source of ionizing radiation is transformed into a closed one. As a result conditions are created for obtaining a metal that is safe from radiation.

Practical value. The technology considered is characterized by high technical and economic indicators of the process of recycling of radiation-contaminated metal.

Key words: radiation-contaminated metal, recycling, decontamination, melting, radiation source, irradiation.

Поступила 25.07.2017