



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-88-94>
УДК 669.715

Поступила 14.04.2026
Received 14.04.2026

К ВОПРОСУ РЕЦИКЛИНГА АЛЮМИНИЯ ИЗ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Б. М. НЕМЕНЕНОК, Л. В. ТРИБУШЕВСКИЙ, Г. А. РУМЯНЦЕВА, И. Г. РАКОВ, У. Б. КЛИМЕНОК,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65.
E-mail: nemenenok@bntu.by

В статье изложены основные способы рециклинга алюминия из упаковочных материалов и проведен анализ по этому вопросу в Республике Беларусь. Приведен вариант безотходной технологии рециклинга алюминиевых банок из-под напитков, рассмотрены технологии переработки фольгированных упаковочных материалов с соблюдением экологических требований.

Ключевые слова. Рециклинг, упаковка, гранулы, плазма, экология.

Для цитирования. Немененок, Б. М. К вопросу рециклинга алюминия из упаковочных материалов / Б. М. Немененок, Л. В. Трибушевский, Г. А. Румянцова, И. Г. Раков, У. Б. Клименок // *Литье и металлургия*. 2026. № 2. С. 88–94. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-88-94>.

ON THE ISSUE OF ALUMINUM RECYCLING FROM PACKAGING MATERIALS

B. M. NEMENENOK, L. V. TRIBUSHEVSKIY, H. A. RUMIANTSAVA, I. G. RAKOV, U. B. KLIMENOK,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave. E-mail: nemenenok@bntu.by

The paper outlines the primary methods of aluminum recycling from packaging materials and analyzes the current state of this sector in the Republic of Belarus. A waste-free technology for recycling aluminum beverage cans is proposed, and processing techniques for foil-based packaging materials are examined in accordance with environmental standards.

Keywords. Recycling, packaging, granules, plasma, ecology.

For citation. Nemenenok B. M., Tribushevskiy L. V., Rumiantsava H. A., Rakov I. G., Klimenok U. B. On the issue of aluminum recycling from packaging materials. *Foundry production and metallurgy*, 2026, no. 2, pp. 88–94. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2026-2-88-94>.

В руководстве по металлургии, написанном М. В. Ломоносовым 270 лет назад, отмечается, что человечество достигло совершенства благодаря металлу. Это утверждение справедливо и в наше время. Таким металлом в XXI в. становится алюминий, интерес к которому из-за уникальности его свойств возрастает с каждым годом. Однако более широкое применение алюминия сдерживается высокой энергоемкостью его производства, что подчеркивает важность рециклинга данного металла. Именно рециклинг позволяет сохранить до 95% энергии, необходимой для извлечения алюминия из руды и сократить добычу сырья. При этом существенно сокращаются выбросы парниковых газов и других отходов, попадающих в окружающую среду, а качество металла полностью сохраняется, обеспечивая получение более высокой добавленной стоимости [1].

Для большинства алюминиевых продуктов металл на самом деле не расходуется в течение жизненного цикла изделия, а просто используется с потенциалом для рециклирования без потери присущих ему свойств. Таким образом, жизненный цикл алюминиевого продукта не соответствует традиционной схеме «от колыбели до могилы», а скорее отвечает последовательности «от колыбели до колыбели». Это обеспечивает постоянное накопление алюминия в мире и расширяет из года в год сырьевую базу для его рециклинга. В настоящее время в мире благодаря переработке использованных алюминиевых изделий сокращено более чем на 90 млн. т/год выбросов CO₂ и экономится 100 000 ГВт/год электроэнергии, что эквивалентно годовому потреблению энергии Нидерландами [2].

В развитых странах доля вторичного алюминия в общем потреблении уже превышает 30% и качество рециклированного алюминия во многих случаях уже не уступает первичному металлу, полученному

из бокситов. Увеличение объемов выпуска вторичных сплавов во многом зависит от роста производства изделий и внутреннего потребления алюминия. Основными областями его применения являются производство транспортных средств, упаковка, электротехника, строительство [3]. При этом наибольший прирост потребления алюминия в транспортном машиностроении обеспечивается легковыми автомобилями (за счет увеличения продаж и доли алюминия в каждом автомобиле), изготовлением из алюминиевых сплавов грузовых и пассажирских вагонов, а также высокоскоростных поездов. Если в 2000 г. легковые автомобили содержали 100–120 кг алюминия, то в 2025 г. эта цифра приблизилась к 250 кг. За счет снижения массы транспортных средств ежегодные выбросы CO₂ в атмосферу можно уменьшить на 7,5% с сохранением дизайна и функциональных свойств транспортных средств [2].

Использование алюминиевых конструкций в строительстве позволяет оптимизировать естественное освещение и тенезащиту, организовать управление энергией в здании и создать для человека наиболее благоприятные условия в окружающей среде. Легкость алюминиевых конструкций уменьшает транспортные и монтажные затраты. Будучи прочными и коррозионно-стойкими, такие конструкции существенно снижают расходы на содержание и обслуживание зданий. В Европе около 95% алюминиевого лома от зданий и сооружений собирают и подвергают рециклингу. Всего же в мире в зданиях содержится свыше 200 млн. т доступного для рециклинга алюминия, который по существу является своеобразным энергетическим банком для будущих поколений. По данным авторов работы [2], стройиндустрия потребляет 34% изделий из алюминия, транспорт – 27%, в том числе автомобилестроение – 16%, машиностроение и энергетика – 28, прочие отрасли – 10%.

Процессам рециклинга алюминия и его сплавов уделяется большое внимание в Республике Беларусь. При этом наиболее активно ведется переработка кускового алюминиевого лома, стружки, шлаков, но мало внимания уделяется алюминиевой упаковке в виде банок для напитков, пищевым контейнерам из фольги, упаковочным материалам, где алюминий в виде тонкой фольги соединен с бумагой, картоном, пластмассами.

Использование легкой алюминиевой упаковки позволяет снижать расход топлива при транспортировке продуктов, способствует сокращению вредных выбросов в атмосферу, улучшает условия обработки продуктов на уровне розничной торговли. Применение пакетов для напитков с алюминиевой фольгой вместо возвратной стеклянной тары позволяет загрузить в грузовик в 2 раза больше товара, так как масса таких пакетов составляет лишь 6% от общей массы груза. Гигиенические и защитные свойства алюминиевой фольги в упаковочном композите обеспечивают надежный барьер против внешних факторов (влаги, бактерий, запахов и т.п.), что делает ее идеальным материалом [2].

В Северной Америке и Европе жизненный цикл алюминиевых банок для напитков, в течение которого их изготавливают, заполняют, потребляют и собирают для переработки, составляет всего 60 дней. Алюминиевая промышленность накопила большой опыт в сборе и утилизации этого ценного вторичного алюминиевого сырья, что и обеспечило наиболее полное рециклирование алюминиевых банок по сравнению с другими фольговыми упаковочными материалами.

В Республике Беларусь отсутствует централизованный сбор алюминиевых банок из-под напитков. Поэтому они попадают в цветной металлолом или в бытовые отходы, которые направляются на 10 мусороперерабатывающих заводов с ручной сортировкой. На теледебатах «Экономическая среда» (телеканал «Беларусь 1») 25.03.2026 было озвучено, что в Республике Беларусь ежегодно образуется на одного человека около 430 кг отходов, которые теперь перерабатываются на 48,4%. К 2040 г. планируется переработку отходов довести до 90%, а количество мусороперерабатывающих заводов увеличить до 29. В процессе сортировки вручную извлекаются видимые металлические предметы, стекло, бумага, пластик. Кашированная фольга, ламинированные фольговые материалы, лекарственные блистеры, многослойные упаковки «ТетраПак», остатки полиэтиленовых пакетов подлежат брикетированию и используются в качестве RDF-топлива на цементных заводах Республики Беларусь. Такой вид топлива позволяет экономить природный газ, но при сжигании RDF-брикетов в окислительной среде происходит образование высокотоксичных диоксинов и фуранов с ПДК $1 \cdot 10^{-7}$ мг/м³.

По оценкам специалистов, содержание мелкого алюминиевого скрапа от упаковки в твердых бытовых отходах, вывозимых для захоронения на подмосковные полигоны, составляет примерно 0,2–0,5%. Если учесть, что в России ежегодно такого мусора вывозится около 40 млн. т, то становится понятным, что большая часть используемой алюминиевой упаковки пока теряется.

Алюминиевые банки для напитков, извлекаемые из мусора, прессуются в брикеты и используются в шихте при выплавке простых алюминиево-кремниевых сплавов типа АК5М2 и АК5М4. Следует

отметить, что алюминиевые банки для напитков изготавливают из пищевого алюминия высокой степени чистоты, поэтому необходимы технологии рециклинга с возможностью его дальнейшего использования. На ООО «НПФ «Металлон» (г. Осиповичи) используется безотходная технология переработки отходов алюминия 4-го сорта класса «Г». Основой отходов данного класса являются продукты сортировки мусороперерабатывающих заводов в виде банок из-под напитков, бутылочных дозаторов и пробок, оберточной фольги. Технология включает в себя многостадийную подготовку таких материалов к плавке. На первой стадии их подвергают обработке в молотковой дробилке для отбивки стекла. В дальнейшем полимерно-металлический концентрат проходит магнитную сепарацию на установке с постоянными магнитами и отсортированную магнитную составляющую используют в составе шихты при производстве чушкового раскислителя. Немагнитная часть отходов поступает в шредерную установку для измельчения до фракции 10–15 мм, которую в дальнейшем подвергают магнитной и вихретоковой сепарации. Вихретоковая сепарация позволяет отделить алюминий от неметаллической фракции. Она состоит преимущественно из пластика, который подлежит переработке с получением гранул вторичного пластика, реализуемого потребителю [4].

Полученный алюминиевый скрап расплавляют в короткопламенной роторной печи и передают дальше в печь-дозатор «KROWNМATIC», откуда после 3-часовой выдержки по подогреваемому лотку направляют на установку «СЕНТАУР» для получения алюминиевых гранул по «сухой» технологии. Схема подготовки и переработки отходов алюминия 4-го сорта класса «Г» приведена на рис. 1. Такая технология позволяет использовать все материалы, полученные в процессе подготовки и переработки отходов [4].

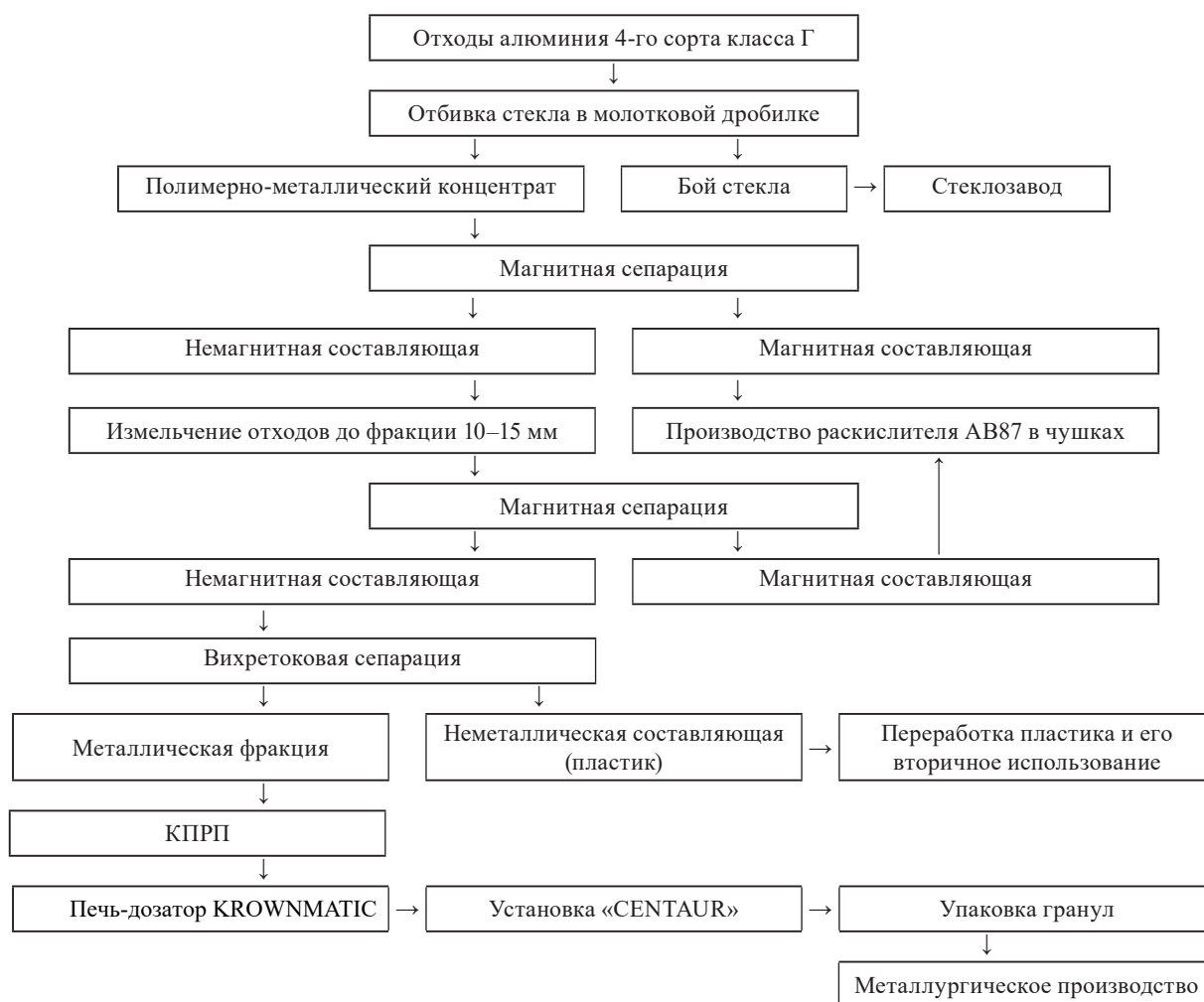


Рис. 1. Схема подготовки и переработки отходов алюминия 4-го сорта класса «Г»

Американская компания «Magnetic Separations Systems Inc.» в начале XXI в. предложила схему процесса электропневматической сепарации алюминия из бытовых отходов. Отходы, прошедшие предварительную магнитную сепарацию, но содержащие немагнитный металл (преимущественно это алюминиевый скрап

в виде банок, баллончиков, тубиков, колпачков, крышек, картонной и бумажной упаковки с фольгой и т. п.), перемещаются по вибрационному желобу. Проходя через зону электронных датчиков вихревых токов, металл вызывает соответствующий массе куска импульс воздушного потока, отделяющий его от остальных отходов. Степень извлечения алюминия превышает 98% при производительности установок 1–2 т/ч. Схема процесса электропневматической сепарации алюминия из бытовых отходов показана на рис. 2 [3].

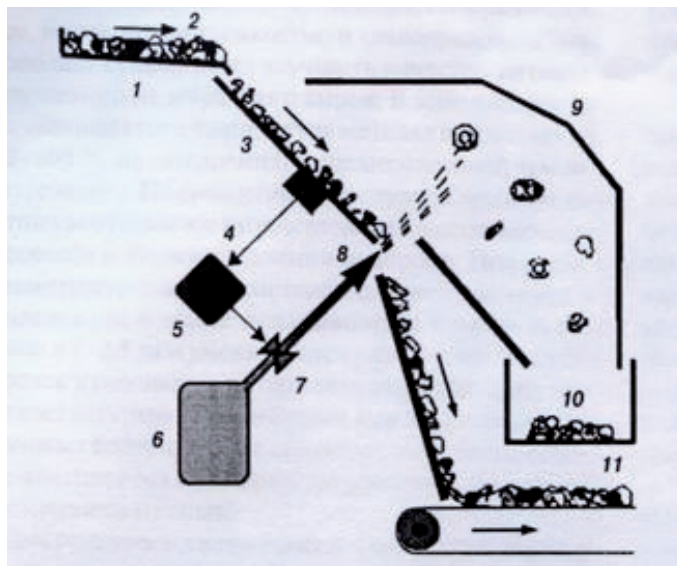


Рис. 2. Схема процесса электропневматической сепарации алюминия из бытовых отходов [3]:
 1 – вибрационный питатель; 2 – смешанные отходы; 3 – желоб; 4 – детекторы металла;
 5 – управляющий компьютер; 6 – сжатый воздух; 7 – соленоидный клапан; 8 – воздушная струя;
 9 – разделительная камера; 10 – алюминиевый скрап; 11 – пластик

В настоящее время утилизация многослойных алюминиевых упаковочных материалов стала глобальной экологической проблемой, так как на полигонах они занимают по объему до 40%, а по массе лишь до 7%. Одна из причин надвигающегося «мусорного» кризиса состоит именно в этом [5].

Многослойная упаковка «ТетраПак» широко используется для упаковки жидких и твердых пищевых продуктов (молочные продукты, соки и др.). В состав упаковки входят крафт-бумага (75%), пластик (20%) и алюминий (5%). Использованная упаковка собирается во всем мире как вторичное сырье с целью уменьшения объема отходов, удаляемых на свалки, и поиска возможности использования в качестве вторичного сырья. Волокна бумаги, содержащиеся в упаковке, могут быть отделены путем водной экстракции от смеси алюминия с пластиком. Эта технология достаточно хорошо освоена в промышленном масштабе.

В результате отделения и повторного использования бумаги ежегодно образуется более 100 тыс. т отходов пластика и алюминия, которые необходимо также использовать как вторичное сырье.

По информации экологической службы компании «ТетраПак», только в Европе в 2004 г. было произведено больше миллиона тонн упаковки, из них переработано только 29% с получением различного вида продукции, а на сжигание направлено 30%. В целом в Европе свыше 50% отходов «ТетраПак» утилизируется с применением различных технологий, все остальное складывается и захоранивается на свалках и полигонах. Что касается стран СНГ, то достоверная информация по обращению с отходами «ТетраПак» вообще отсутствует. Нет информации о количестве образующихся отходов, не освоена в достаточной степени технология их сбора и разделения.

В России начала работать пилотная установка по переработке отходов «ТетраПак» методом гидроразбивания мощностью 1,5–2 тыс. т в год. Гидроразбивание – пока основной метод переработки упаковки, в процессе реализации которого получают целлюлозу и полиалюминиевую смесь. Эта технология находит достаточно широкое применение в разных странах, но полиалюминиевая смесь, получаемая в процессе разбивания, не разделяется и используется только в производстве пластмассовых изделий и строительных материалов. Можно предположить, что другая, вероятно значительная часть отходов сжигается (например, в Москве около 15% производимой упаковки). И хотя их теплотворная способность достаточно велика – 25–39 МДж/кг, уничтожение алюминия и пластика приводит к потере ценного и высококачественного вторичного сырья, а также не способствует улучшению экологической обстановки [6].

Ассоциация партнерства бразильских фирм Klabin, TetraPak, Alcoa и TSL Ambiental разработала уникальный процесс для переработки смеси пластика и алюминия с использованием низкотемпературной плазмы. Ионизированный газ (как правило, аргон или азот) при отсутствии кислорода и температуре до 1500 °С создает идеальные условия для извлечения алюминия из упаковочных материалов, где он используется в виде тонкой фольги, соединенной с бумагой, картоном, пластмассами. В этом процессе алюминий расплавляется без доступа воздуха и сливается в специальные формы, где формируется в виде слитков. Пластик (в основном полиэтилен) подвергается плавлению, испарению и термическому разложению, с последующей внешней конденсацией в специальном устройстве на выходе из реактора, где восстанавливается в виде парафинового компаунда. Полученные продукты процесса – парафин и алюминий – весьма высокого качества и могут непосредственно использоваться в различных отраслях промышленности. Чистота алюминия, полученного на пилотной установке, достигает 98,5%. Плазменная установка для извлечения алюминия из упаковочных материалов перерабатывает 32 тыс. т упаковочных (в основном композиции алюминий-пластик) материалов и извлекает при этом 8 тыс. т алюминия, который возвращается в производство фольги. Раньше подобные материалы сжигали с к.п.д. 20% и значительными выделениями диоксинов и фуранов [3]. На рис. 3 приведена принципиальная схема и материальный баланс процесса переработки сухих материалов упаковки «ТетраПак».

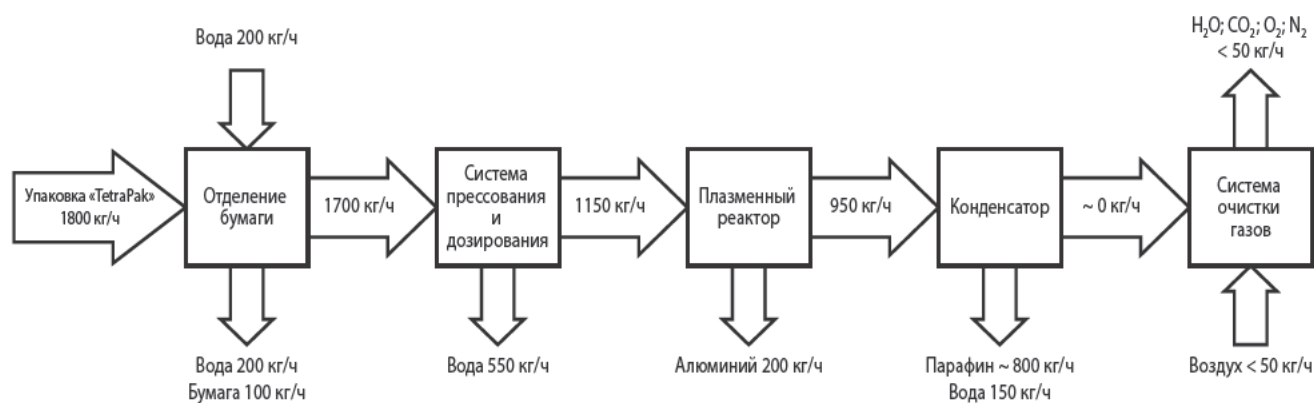


Рис. 3. Принципиальная схема и материальный баланс технологического процесса переработки сухих материалов упаковки «ТетраПак» [6]. Вход: 1800 кг/ч упаковки «ТетраПак», 200 кг/ч – вода; выход: 100 кг/ч – бумага, 200 кг/ч – алюминий, 800 кг/ч – парафин, 900 кг/ч – вода

Авторы работы [5] предлагают проводить процесс химического разделения алюминиевой фольги от полиэтиленовых слоев многослойных алюминиевых материалов за счет реакции образования солей ацетата алюминия в уксусной кислоте. В результате такого разделения возможно образование следующих солей: $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$, $\text{AlOH}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot (\text{CH}_3\text{COO})$. Установлено, что разделение слоев упаковки «ТетраПак» происходит в достаточно узком диапазоне параметров процесса и только в присутствии жидкой нейтральной соли, так как при образовании геля $\text{AlOH}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ или возникновении между ними твердой фазы $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot (\text{CH}_3\text{COO})$ процесс разделения не происходит. При этом реакция идет как через пористую полиэтиленовую пленку, так и с торца слоя. Производительность установки по исходному материалу 300 кг/ч [5].

В работе [7] приводится информация о целесообразности переработки ламината – гибкой трехслойной пластиковой упаковки, содержащей во внутреннем слое 10% алюминия с применением микроволнового излучения, вызывающего быстрый нагрев и пиролиз пластика с превращением его в гранулы углерода и жидкий продукт. Освобожденный от пластика алюминий подвергается последующему переплаву. Процесс разработан в Кембриджском университете и реализован на заводе компании в Alconbury, где ежегодно перерабатывается 2000 т ламината. Окупаемость процесса при этом составила 3 года [7].

В практике упаковочных технологий широко используется кашированная фольга [8], которая может быть нескольких видов, различающихся сортом бумаги и клея, скрепляющего их:

1. Бумага сульфитная плотностью 40 г/м², клей крахмальный; фольга содержит 50 мас. % алюминия.
2. Бумага пергаментная плотностью 40 г/м², клей – микровоск МЦП-4П; фольга содержит 50 мас. % алюминия.
3. Бумага чайная плотностью 90 г/м², клей крахмальный; фольга содержит 30 мас. % алюминия.

Из кашированной фольги делают обертки пачек папирос, чая, конфет и другой пищевой продукции. При ее производстве получается много обрезки. При обычной плавке такая фольга окисляется полностью, поэтому ее отходы сразу сжигают.

При нагревании на воздухе в печи до температуры плавления алюминиевая фольга интенсивно окисляется и металл не получается. Если даже оплавленные корольки металла появляются, то вследствие большой массы окисляющейся бумаги не слипаются и сгорают вместе с бумагой. Для предотвращения окисления алюминия в момент плавки и ускорения процесса оплавления переработку фольги надо вести в слое солевого расплава с меньшей, чем у алюминия плотностью [8].

Поскольку фольга – это чистый алюминий и других примесей, кроме углерода (в составе бумаги), нет, то целесообразно организовать процесс таким образом, чтобы плавящийся металл стекал на дно плавильного агрегата, а бумага окислялась в верхнем слое солевого расплава и на его поверхности. Для ускорения окисления бумаги и сажи необходимо перемешивание расплава. В целях предотвращения загустевания расплава фольгу загружают малыми порциями (т.е. отношение массы расплава к массе загружаемых брикетов фольги должно быть от 10:1 до 20:1). При длительном перемешивании в лабораторных опытах углеродистая часть выгорала, а солевой расплав становился прозрачным и жидкотекучим. Металл оседал на дне тигля в виде сплошного слоя. Условия опытов и составы солей приведены в таблице.

Результаты переработки отходов кашированной фольги [8]

Номер опыта	Расплав, мас %	T, °C	Фольга	Масса фольги, г	Масса полученного алюминия, г	Расчетная масса алюминия, г	Выход металла, %
1	KCl (38,8) – NaCl (47,7) – Na ₃ AlF ₆ (13,5)	870	Сульфитная	124	45	62	73,2
2	BaCl ₂ ·2H ₂ O (22,7) – NaCl (77,3)	840	Подпергаментная	113,4	30	56,7	53,0
3	KCl (48,8) – NaCl (37,7) – Na ₃ AlF ₆ (13,5)	940	Подпергаментная	162	32	81	39,0
4	KCl (48,8) – NaCl (37,7) – Na ₃ AlF ₆ (13,5)	920	Чайная	105,7	19,8	31,8	62,5
5	KCl (48,8) – NaCl (37,7) – Na ₃ AlF ₆ (13,5)	900	Сульфитная	106,8	46	53,4	87

Фольгу всех видов предварительно брикетировали на ручном прессе в брикеты диаметром 30 и высотой 25–30 мм.

Порядок опытов: в солевой расплав загружали один брикет, выдерживали до тех пор, пока расплав не просветлеет, и бумага почти вся не выгорит, затем загружали следующий брикет фольги.

При короткой выдержке на дне образовывались маленькие корольки металла, при длительной – компактный единый королек. Объединение металла в единый слиток зависело от количества фторидов. При содержании криолита или NaF менее 5 мас. % единого королька не получалось.

Сульфитную фольгу можно перерабатывать с выходом металла 78–87% от теоретически возможного. Хуже перерабатывается чайная фольга, еще хуже – пергаментная (выход металла составляет 40–50% от теоретически возможного) [8]. Надо отметить, что при плавке получается большое количество сажи-стых возгонов в виде технического углерода (сажи), поэтому необходима хорошая газоочистка. Наиболее благоприятные условия переработки кашированной фольги: расплав солей KCl (48,8%)–NaCl (37,7%) – Na₃AlF₆ (13,5%), температура процесса 870–920 °C.

Полупромышленные испытания переработки бытовых отходов, содержащих фольгу (тюбики из-под пасты и парфюмерных изделий, обертки конфет, пробки от бутылок), подтвердили высокий процент извлечения и качество металла (98,8–99,5%) [8].

Проведенный анализ показывает, что в случае раздельного сбора алюминийсодержащей упаковки возможна высокая степень извлечения алюминия и его дальнейшее использование. При сортировке бытовых отходов следует применять электропневматическую и вихретоковую сепарацию для отделения алюминия от бумаги, картона и пластика. Не следует использовать марки пищевых алюминиевых

сплавов для производства алюминиевокремниевых чушек АК5М2 и АК5М4. Алюминий, рециклированный из упаковочных материалов, пригоден для получения алюминиевых гранул по сухой технологии и может быть предметом экспорта в страны ЕС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Локшин, М.З. 3-я международная конференция и выставка «Рециклинг алюминия» / М.З. Локшин // Цветные металлы. – 2006. – № 8. – С. 111–112.
2. Бейлис, К. Роль рециклинга в устойчивом развитии рынка алюминия / К. Бейлис, К. Цесмелис // Цветные металлы. – 2014. – № 5. – С. 71–75.
3. Макаров, Г.С. Высокие технологии в рециклинге алюминия: возможности и перспективы / Г.С. Макаров // Цветные металлы. – 2006. – № 8. – С. 112–117.
4. Инновационные технологии переработки окисленных отходов алюминия / Л.В. Трибушевский, В.Л. Трибушевский, Б.М. Немеенок, Г.А. Румянцева. – Минск: БНТУ, 2023. – 139 с.
5. Гонопольский, А.А. Комплексная утилизация многослойных алюминиевых упаковочных материалов / А.А. Гонопольский // Экология и промышленность России. – 2013. – Июнь. – С. 9–11.
6. Мосэ, А.Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А.Л. Мосэ, В.В. Савчин. – Минск: Белорусская наука, 2015. – 411 с.
7. Макаров, Г.С. Состояние и проблемы вторичного алюминия в России (по материалам 7-й международной конференции «Алюминий-21 / Рециклинг») / Г.С. Макаров // Цветные металлы. – 2019. – № 2. – С. 79–84.
8. Переработка лома и отходов цветных металлов в ионных расплавах / Г.Ф. Казанцев [и др.]. – Екатеринбург: УрОРАН, 2005. – 210 с.

REFERENCES

1. Lakshin M. Z. 3-ya mezhdunarodnaya konferentsiya i vystavka «Retsikling alyuminiya» [3rd International Conference and Exhibition «Aluminum Recycling»]. *Tsvetnyye metally = Non-ferrous Metals*, 2006, no. 8, pp. 111–112.
2. Beylis K., Tseemelis K. Rol' retsiklinga v ustoychivom razvitii rynka alyuminiya [The role of recycling in the sustainable development of the aluminum market]. *Tsvetnyye metally = Non-ferrous Metals*, 2014, no. 5, pp. 71–75.
3. Makarov G.S. Vysokiye tekhnologii v retsiklinge alyuminiya: vozmozhnosti i perspektivy [High technologies in aluminum recycling: possibilities and prospects]. *Tsvetnyye metally = Non-ferrous Metals*, 2006. – no. 58, pp. 112–117.
4. Tribushevskiy L.V., Tribushevskiy V.L., Nemenenok B.M., Rumiantseva H.A. *Innovatsionnyye tekhnologii pererabotki okislennykh otkhodov alyuminiya* [Innovative technologies for processing oxidized aluminum waste]. Minsk, BNTU Publ., 2023, 139 p.
5. Gonopol'skiy A.A. Kompleksnaya utilizatsiya mnogosloynnykh alyuminiyevykh upakovochnykh materialov [Complex recycling of multilayer aluminum packaging materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and industry of Russia*, 2013, iyun', pp. 9–11.
6. Mosse A.L., Savchin V.V. *Plazmennyye tekhnologii i ustroystva dlya pererabotki otkhodov* [Plasma technologies and devices for waste processing]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2015, 411 p.
7. Makarov G.S. Sostoyaniye i problemy vtorichnogo alyuminiya v Rossii (po materialam 7-y mezhdunarodnoy konferentsii «Alyuminiy-21 / Retsikling») [State and problems of secondary aluminum in Russia (based on the materials of the 7th international conference «Aluminum-21 / Recycling»)]. *Tsvetnyye metally = Non-ferrous Metals*, 2019, no. 2, pp. 79–84.
8. Kazantsev G.F., Barbin N.M., Bradova I.G. [et al.]. *Pererabotka loma i otkhodov tsvetnykh metallov v ionnykh rasplavakh* [Processing of scrap and waste of non-ferrous metals in ionic melts]. – Yekaterinburg, UrORAN Publ., 2005, 210 p.