



*Some peculiarities of technology and organization of recycling of aluminium and its alloys are examined. Analysis of peculiarities of the melting technology in rotor furnace and organization of aluminium and its alloys recycling shows that modern production provides high efficiency of the process, ensuring high quality of alloys.*

*А. М. ГАЛУШКО, С. П. КОРОЛЕВ, ОДО «ЭВТЕКТИКА», В. Л. ТРИБУШЕВСКИЙ, БНТУ,  
В. М. МИХАЙЛОВСКИЙ, ОДО «ЭВТЕКТИКА», Л. В. ТРИБУШЕВСКИЙ, БНТУ, А. Г. ШЕШКО,  
М. С. КОРОЛЕВ, ОДО «ЭВТЕКТИКА»*

УДК 669.715:621.746

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ РЕЦИКЛИНГА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

В настоящее время в мировой практике образовалась как самостоятельная отрасль промышленности – вторичная металлургия алюминия и его сплавов. Ее целью является промышленная переработка алюминиевого лома и отходов на сортовые сплавы. Это связано с тем, что по сравнению с производством первичного алюминия алюминиевая рециркуляция имеет существенные преимущества, которые заключаются в более низких издержках производства и в значительном снижении потребляемой энергии.

Организация подобного производства крайне необходима в странах с развитой инфраструктурой машиностроения, автомобилестроения, тракторостроения, приборостроения и других отраслей. К таковым относится и Республика Беларусь, в которой уровень развития промышленности требует экспорта металлов, сплавов и сопутствующих материалов. В то же время в республике накапливается до 10–12 тыс. т в год лома и отходов только алюминиевых сплавов. Причем баланс между кусковым ломом и дисперсными окисленными материалами (стружка, фольга и др.) находится в пропорции 70–75 и 30–25% соответственно [1].

Развитие промышленного производства предъявляет к металлургии повышенные требования к качеству литых заготовок, поэтому простой переплав вторичного сырья становится недостаточно эффективным. Проблему переработки вторичных материалов необходимо решать комплексным подходом с применением прогрессивных и наукоемких технологий, обеспечивающих стабильно высокое качество производимых сплавов. Во многих странах уровень рециклинга алюминия и его сплавов поставлен таким образом, что производимые сплавы по качеству не уступают их первичным аналогам.

В связи с этим естественно воспринимаются некоторые ужесточения требований по изменению технических параметров к лому и другим отходам, поступающим к переработчикам, которые нашли отражение в ГОСТ 1639-93. Прежде всего совмещены классы А и Б (класс А – кусковые отходы, класс Б – стружка). Классы разделены на 11 групп по химическому составу и маркам сплавов. Совмещение классов произведено с целью увеличения использования стружки для качественных сплавов. Обращает внимание повышенные требования к металлургическому выходу при переплаве как кускового лома, так и стружки, который должен находиться в пределах 96 и 75% для кускового лома соответственно 1-го и 2-го сорта. Для стружки 2-го и 3-го сорта загрязненность не должна превышать 10 и 25%. Кроме того, в данном ГОСТ (в примечании) указана большая группа сплавов, сбор и заготовка лома и отходов которых производится только по маркам.

Следовательно, в современных условиях производство качественного литья определяется технологией и культурой сбора и сортировки и подготовки вторичного сырья к последующей переработке. Поэтому технологический цикл переработки алюминиевого лома и других отходов разделен на два основных этапа: дометаллургическая подготовка сырья; металлургический передел. Эти основные этапы связаны друг с другом. Без качественного проведения первого этапа неизбежны потери во втором.

На первом этапе производится сбор и сортировка лома по классам и группам, что в дальнейшем упрощает управление технологией выплавки сплава нужного химического состава. Крупногабаритный лом подвергается операции разделки

с целью приведения его к соответствующей массе и размерам, пригодным для использования в имеющихся плавильных печах. Данная операция производится с использованием гильотинных ножниц, а также бензорезов, керосинорезов и автогенных аппаратов. Использование процесса шредирования цветного лома должно стать обязательной операцией. Наряду с отделением магнитной составляющей шредерная установка позволяет добиться разделения лома с чистотой фракции 99%. Алюминиевую ленту, полосу и фольгу целесообразно брикетировать. Для переработки упаковочных материалов, отходов фольги, узлов промышленной и бытовой электроники, металлопластиковых материалов и других необходимо использовать технологии, исключающие термическое воздействие на перерабатываемые отходы.

Особое внимание уделяется подготовке стружки и других дисперсных окисленных отходов к плавке. Для этих целей необходимо оборудование, как правило, объединяют в единый комплекс, где выполняют следующие операции: разделение сыпучей и вьюнообразной стружки, ее дробление, удаления масла и эмульсии, сушка стружки, удаление магнитной составляющей и сортировка по сплавам. Для удаления масла и эмульсии используют промывку стружки, обработку сухим паром или центрифугирование.

Металлургический передел следует проводить только после дометаллургической подготовки сырья, так как иначе не избежать больших безвозвратных потерь металла. Подготовленные таким образом металлосодержащие шихтовые материалы направляют на плавку. Одной из задач переплава вторичных материалов, т. е. рециклинга алюминийсодержащих отходов, является максимальное извлечение металла с обеспечением необходимых технических требований.

С целью определения степени извлечения металла при плавке во многих странах наряду с металлургическим выходом используют термин «металлургическое восстановление», который определяют, как процент металла, полученный от металлического содержания отходов. Например, если засоренность отходов 10%, а произведенный металл составляет 890 кг из 1 т металлической шихты, то металлургический выход составляет 89% (890/1000), при этом металлургическое восстановление находится на уровне 98,9% (890/900). Во вторичной металлургии алюминия данные термины имеют крайне важное значение. Это обстоятельство необходимо учитывать при переработке дисперсных отходов, имеющих высокое отношение площади поверхности к объему или массе ча-

стиц. Более полное извлечение металла осуществляют путем правильного выбора технологии металлургического передела и грамотного подбора флюса.

Согласно ГОСТ 28053-89, для определения металлургического выхода из стружки алюминия рекомендуется использовать флюс из NaCl и KCl в соотношении 1:1. Однако применение этого флюса на практике показало, что значительная часть королек металла находится во флюсе и затем удаляется вместе со шлаком. Как видно из рис. 1, только капельки размером более 5 мм переходят из флюса в расплав, а корольки меньшего диаметра не имеют достаточной энергии для этого. Подобное явление отмечено в работе [2]. Известно, что двойной флюс в практике литейного производства используют только в качестве покровного, так как он хорошо смачивает расплав алюминия и его оксид [3]. Следовательно, рекомендуемый ГОСТ 28053-89 флюс, определяющий металлургический выход алюминия из стружки, является неоптимальным. Важно, чтобы в состав флюса входили компоненты, к которым оксиды и другие твердые включения, находящиеся в расплаве, обладали бы высокой работой адгезии [4]. Схема физической модели удаления оксидов и неметаллических включений приведена на рис. 2.

Как правило, в качестве одного из таких компонентов флюса используется криолит. Из теории металлургии алюминия следует, что криолит растворяет глинозем и имеет пониженные значения смачиваемости алюминия [5]. Из практики литья алюминиевых сплавов известно, что криолит растворяет оксид алюминия, однако этот процесс достаточно сложен. Количество растворенного оксида алюминия составляет небольшую величину. Рафинирующее действие флюса, содержащего криолит, определяется адсорбционными способностями  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Смачивающую и растворяющую роль флюса по отношению к  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повышает также  $\text{CaF}_2$ , который вводит в состав флюса, как правило, в количестве 3–5%.

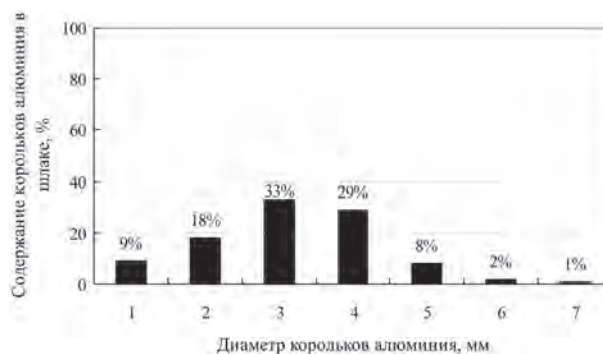


Рис. 1. Зависимость распределения королек алюминия в шлаке от диаметра

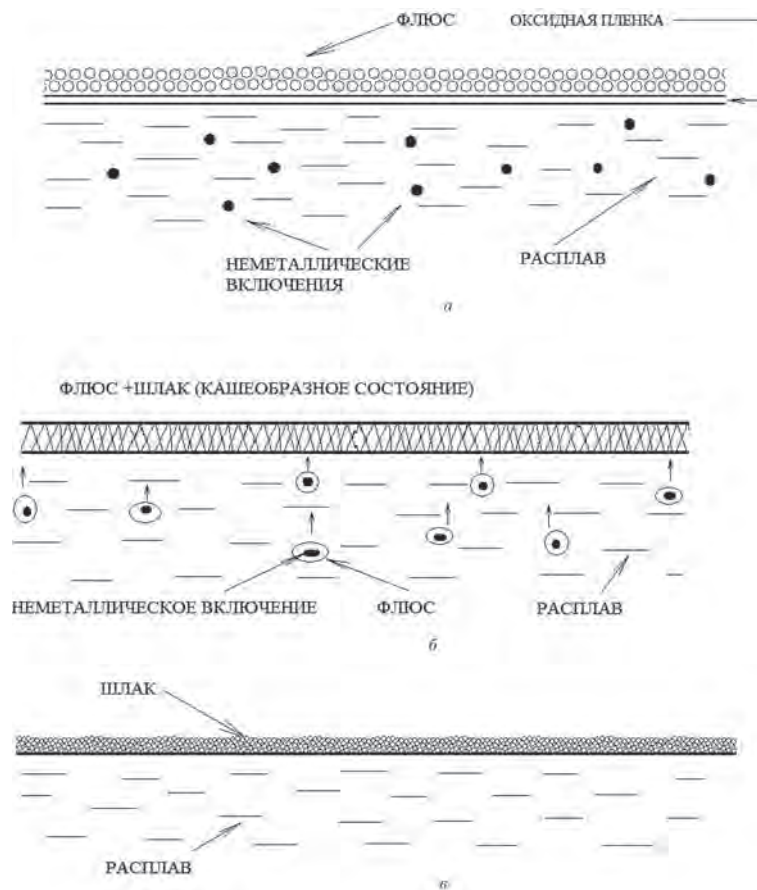


Рис. 2. Схема взаимодействия флюса при обработке жидкого расплава: а – засыпка флюса на поверхность жидкого металла; б – взаимодействие флюса и расплава; в – завершение работы флюса

Важным техническим этапом переработки вторичных ресурсов является выбор плавильного агрегата, определяющий технологический регламент всего процесса рециклинга вторичных материалов. Надежность технологии плавки, операций рафинирования, дегазации, фильтрования расплава в сочетании с оптимальной скоростью расплавления позволяют получать максимально положительные результаты при переработке разнообразных шихтовых материалов. Учитывая необходимость обеспечения максимального металлургического выхода, приближающегося к металлургическому восстановлению и получения высокого качества выплавляемого сплава, плавку проводят дуплекс-процессом: плавильная печь – миксер. В плавильной печи должно осуществляться максимальное извлечение металла из шихты. Миксер используется для доводки сплавов до требуемых параметров согласно существующим ГОСТ на отливки.

Плавку вторичных алюминиевых материалов проводят в стационарных камерных печах с электро- или газовым обогревом, индукционных тигельных печах, стационарных печах с МГД-устройствами и установками типа «LOTUS» для механической загрузки шихтовых материалов под зерка-

ло металла, роторных печах с горизонтальной и наклонной осью вращения [6].

В передовых европейских странах широкое распространение получили роторные (барабанные) плавильные печи с наклонной осью вращения для переработки отходов цветных металлов в качестве первичных плавильных агрегатов (рис. 3).

Вследствие вращения корпуса печи дисперсные отходы алюминия практически сразу после загрузки покрываются слоем жидкого металла и флюса, что позволяет минимизировать безвозвратные потери сплава. В Республике Беларусь первой была запущена и по настоящее время успешно работает короткопламенная роторная печь, созданная специалистами ООО «НПФ Металлон» (г. Осиповичи) [7].

Эффективность процесса переработки алюминийсодержащих вторичных материалов в роторных печах обеспечивается возможностью управлять механизмом шлакообразования, растворения оксидной пленки, каплеобразования алюминиевого сплава, т. е. способностью максимально приблизить металлургический выход к металлургическому восстановлению. Основная роль в этих процессах – правильный выбор флюса. Для увеличения металлургического выхода при плавке необходимо



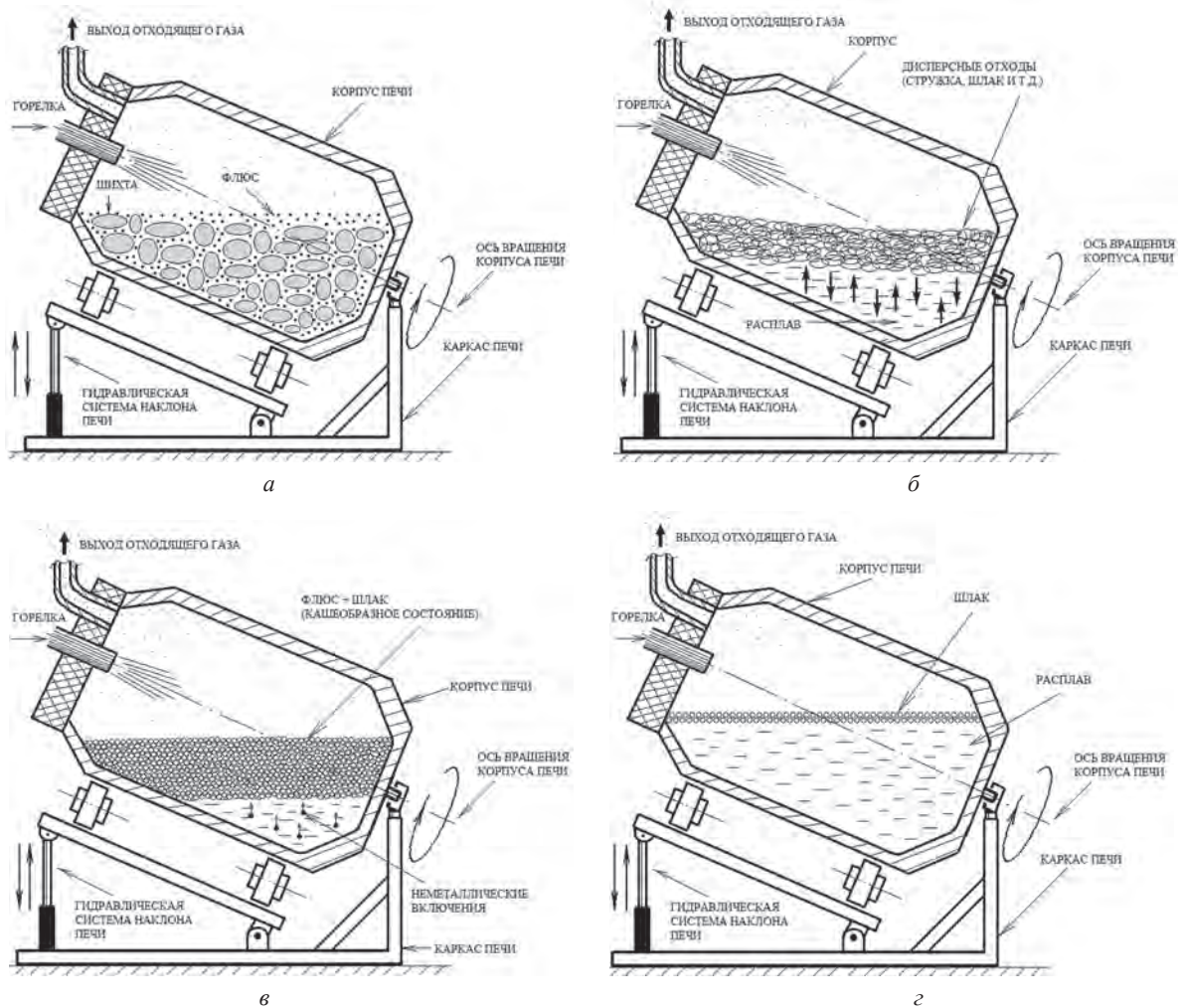


Рис. 3. Схема процесса плавки Al-содержащих отходов в роторной печи с наклонной осью вращения: а – начало плавки (флюс и крупногабаритная шихта; б – введение стружки, шлака или других дисперсных отходов; в – стадия доводки расплава по температуре перед выпуском, адсорбция флюсом неметаллических включений; г – расплав готов к выпуску

подобрать компонентный состав флюса таким образом, чтобы при взаимодействии с расплавом он переходил в жидкое состояние, а затем продукты реакции становились сыпучими, свободными от капелек металла и легкокачиваемыми с зеркала жидкого сплава.

Для осуществления операции обработки расплава либо создают участки по приготовлению флюсов (рафинирующих, покровных, модифицирующих

и т. д.), либо приобретают необходимые препараты у специализированных производителей, таких, как научно-производственное предприятие ОДО «Эвтектика» (г. Минск), выпускающее высокоэффективные материалы, более 40 наименований флюсов, таблетированных препаратов, технологических покрытий, смазок, красок, модификаторов и т. д., которые потребляются ведущими заводами Российской Федерации, Украины, Беларуси и дальнего зарубежья.



а



б

Рис. 4. Плавка алюминийсодержащих отходов в роторной печи: а – начало плавки; б – окончание плавки

Исследования протекания встречных химических реакции при обработке расплава алюминия различными рафинирующими веществами позволили определить оптимальный компонентный состав соединений для создания флюсовой композиции. Вместе с тем, учитывая способность криолита увеличивать вязкость флюса, а также провоцировать самовозгорание шлаковой фазы, в компонентный состав флюсовой композиции вводили вещества, стабилизирующие его негативные факторы [8].

Практическая отработка технологического регламента плавки в роторной печи и флюсовая обработка расплава проводились в рамках сотрудничества с одним из известнейших производителей в Западной Европе качественных вторичных алюминиевых сплавов METALL WERKE BENDER (Германия) (рис. 4, а, б) и предприятием в поселке Алексеевка Самарской обл., входящим в компанию «РУСАЛ» (Россия).

Доводку сплава до требуемого химического состава, рафинирование от твердых неметаллических включений и газов, а также модифицирование при необходимости проводили в миксере. После доводки сплав, отвечающий требованиям ГОСТ или другого нормативного документа, направляли на разливку.

Разработанный регламент переработки вторичных отходов на основе алюминия показал свою эффективность в условиях современного производства и обеспечил высокое качество сплавов, достигнув значительной экономии энергоресурсов, времени плавки и, как результат, повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции. Полученные результаты раскрывают

перспективу освоения технологических процессов переплава отходов алюминия в роторных печах с использованием «Композиции флюсовой комплексной» ТУ РБ 100354447.055-2004, позволяющей удешевлять стоимость качественных сплавов и металлопродукции в целом, что особенно важно в сегодняшней экономической ситуации.

Технологическая схема-алгоритм процесса рециклинга алюминия и его сплавов приведена на рис. 5.

На рисунке показано движение алюминийсодержащего сырья на двух основных этапах (дометаллургическая подготовка сырья и металлургический передел). Естественно, что данное производство должно включать соответствующие участки переработки отходов, снабженные системой газоочистки.

С учетом разделения процесса рециклинга алюминия на два этапа его дометаллургическую подготовку производят на участке разделки и сортировки. Затем более чистый по алюминию лом направляют на участок плавки, оснащенный роторной печью. Неразделанный лом с железными приделками подвергают переплаву в оплавочной печи. Как правило, оплавочная печь по вместимости значительно меньше основного плавильного агрегата.

На заключительных стадиях металлургического передела из плавильных печей металл направляют в миксер, в котором выполняют операции по доводке до требуемого химического состава, рафинированию и модифицированию алюминиевого расплава. Химический состав корректируют с помощью лигатур. На практике широко используют следующие лигатуры на алюминиевой основе: Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Ni и др. Содержание легирующих элементов в них составляет 30–50, 7–12, 18–20, 6–10% соответственно. При организации производства лигатур в условиях действующего производства их готовят, как правило, в электрических индукционных тигельных печах. Возможно использование таблетированных смесевых композиций типа Fe-Al, Mn-Al, Cu-Al.

Для рафинирования расплава обязательна флюсовая обработка, продувка металла инертным газом – аргоном или азотом. Разливку готового (сортового) сплава целесообразно проводить через керамические, пенокерамические или стекловолоконные фильтры.

Анализ особенностей технологии плавки в роторной печи и организации рециклинга алюминия и его сплавов показывает, что современное производство обеспечивает высокую эффективность процесса, гарантируя высокое качество сплавов при экономии энергоресурсов и снижении себестоимости.



Рис. 5. Технологическая схема-алгоритм процесса рециклинга алюминия и его сплавов

сти продукции. Однако рециклинг алюминия выдвигает определенные требования к пониманию физико-химических процессов, протекающих при плавке.

ОДО «Эвтектика» накопила определенный опыт работы с аналогичным производством на предприятиях Германии, Украины, России и наряду с по-

ставкой рафинирующих, модифицирующих и других препаратов приглашает к конструктивному сотрудничеству и окажет техническую и технологическую помощь в усовершенствовании процесса рециклинга алюминия в роторных печах для получения максимально эффективного результата в производстве.

### Литература

1. Довнар Г. В., Андриц А. А., Степанюк А. Н. Структура и анализ сырьевой базы цветных металлов Республики Беларусь // *Литье и металлургия*. 2005. № 2. Ч. 1. С. 124–126.
2. Андриц А. А. Металлургическая переработка неразделанного лома и дисперсных отходов на основе алюминия: Дис. ... канд. тех. наук. Мн., 19 с.
3. Курдюмов А. В., Пикуннов М. В., Чурсин В. М., Бибииков Е. Л. Производство отливок из сплавов цветных металлов. М.: МИСИС, 1996.
4. Чурсин В. М., Бидуля П. Н. Технология цветного литья. М.: Металлургия, 1967.
5. Севрюков Н. М. Металлургия цветных металлов. М.: Металлургия, 1969.
6. Фомин Б. А., Москвитин В. И., Махов С. В. Металлургия вторичного алюминия. М.: Экомет, 2004.
7. Пат. 3717С1ВУ: МКИ С22С1/02. Способ выплавки алюминиевых сплавов / С. Н. Леках, В. Л. Трибушевский, В. А. Шейнерт, С. Е. Шуранков, 2000.
8. Дворников Н. А., Новичков С. Б. Моделирование химических процессов при взаимодействии алюминия с окислами шихты и флюсом // *Цветная металлургия*. 2004. № 1. С. 14–20.