

---

---

## Раздел 5

### ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИИ И ЭКОНОМИКИ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

УДК 669.715

**Л.В. Трибушевский, Б.М. Немененок, Г.А. Румянцева,  
И.А. Горбель**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

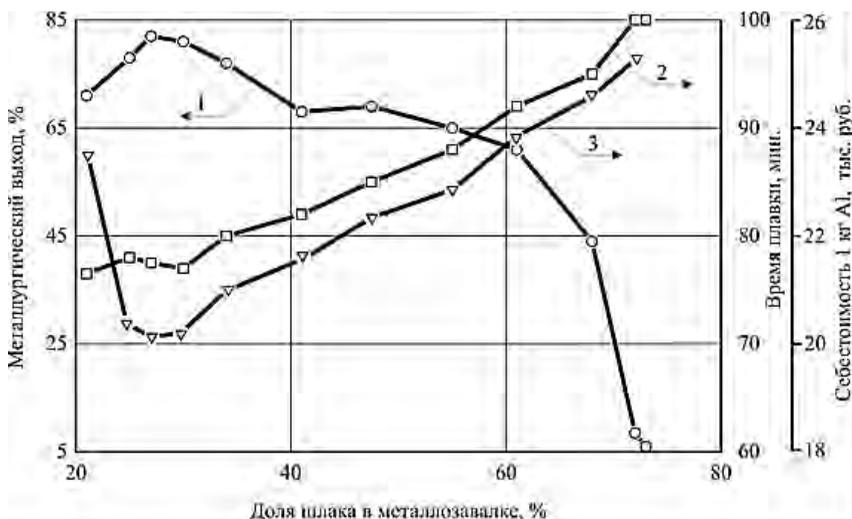
#### **КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ АЛЮМИНИЯ – СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ**

Постоянно растущие цены на энергоносители вместе с ужесточающимися положениями о защите окружающей среды являются движущей силой для разработки современных технологий рециклинга отходов алюминия. Поэтому разработка безотходной технологии рециклинга стружки и шлаков алюминиевых сплавов является актуальной и представляет научный, практический и экономический интерес. В настоящее время во многих странах приоритетными в государственной промышленной политике становятся малоотходные и безотходные технологии, чистые технологические процессы и промышленные производства, обеспечивающие комплексное использование всех видов сырья [1].

Эффективность процессов переработки алюминиевых стружки и шлаков зависит от многих факторов. Для выбора наиболее рациональных параметров технологии плавки в короткопламенной роторной печи, обеспечивающих минимальную себестоимость получаемого алюминиевого сплава, анализировали результаты 180 плавов. При проведении исследований в качестве компонентов шихты использовали алюминиевую стружку с засорённостью 6 и 25 %; алюминиевые шлаки с содержанием 50–68 % алюминия и просев алюминиевого шлака с фракцией более 10 мм. В ходе проведения плавов контролировали состав и массу шихты, засорённость стружки, металлургический выход, химический со-

став получаемого сплава и продолжительность плавки. Массу стружки в ходе плавки варьировали в пределах 140–440 кг, добавку шлака изменяли в пределах 0–360 кг, просев шлака добавляли в количестве 0–160 кг на плавку. Флюс при плавке не использовали.

При расчёте себестоимости получаемого сплава учитывали затраты на топливо, электроэнергию, шихтовые материалы и заработную плату с налогами для бригады плавильщиков. Установлено, что увеличение доли шлака с 22 до 30% в металлозавалке, состоящей из шлака и алюминиевой стружки, приводит к повышению металлургического выхода с 71 до 83 % (см. рисунок).



Влияние доли шлака в металлозавалке на металлургический выход (1), длительность плавки (2), себестоимость получаемого сплава (3)

Длительность плавки при этом изменяется незначительно и находится в пределах 76–78 мин, что можно объяснить условиями хорошей теплопроводности шихты из-за заполнения шлаком промежутков между частицами стружки. С ростом добавки шлака шихта насыщается оксидом алюминия с низкой теплопроводностью, что задерживает процесс нагрева шихты и ее плавления и приводит в результате к увеличению продолжительности плавки. Так, при доле шлака в металлозавалке чуть больше 60 % время плавки составляет 92 мин. С увеличением доли шлака с 30 до 68 % отмечается устойчивое снижение металлургического выхода с 83 до

44 %. При содержании шлака в металлозавалке более 68 % металлургический выход падает до 7 % с увеличением длительности плавки с 95 до 100 мин. Следует отметить, что при таком варианте плавки роль флюса выполняли только соли, которые содержались в шлаке. По мере увеличения доли шлака в шихте происходило накопление тугоплавких оксидов алюминия, вносимых шлаком, что приводило к росту вязкости флюсов и снижению их способности к растворению  $Al_2O_3$ . Это и привело в итоге к снижению металлургического выхода. Такая закономерность установлена при засоренности стружки 25 % [2].

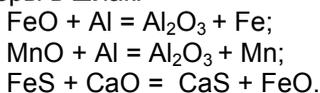
С одной стороны, при увеличении длительности плавки металлургический выход должен повыситься из-за лучшего отделения капель металла от шлака, но одновременно протекают и окислительные процессы, которые способствуют угару металла и его выносу вместе с дымовыми газами, учитывая конструктивные особенности плавильной печи. При этом растут затраты на топливо, электроэнергию для воздухоподувки и заработную плату. Себестоимость получаемого сплава является интегральной характеристикой, зависящей от ряда факторов: качества и стоимости сырья, длительности плавки и металлургического выхода. Поэтому зависимость себестоимости алюминиевого сплава от состава металлозавалки имеет экстремум, приходящийся на содержание шлака в шихте, соответствующее 25–30 % (см. рисунок). Увеличение доли шлака сверх указанного или её уменьшение в составе металлозавалки приводит к росту себестоимости.

Анализ проведенных плавок показывает, что состав шихты существенно влияет на металлургический выход, длительность плавки и себестоимость получаемого сплава [2, 3]. При этом результирующий показатель (себестоимость) получается минимальным на уровне 20,0–20,2 тыс. руб. при доле шлака в металлозавалке 25–30 % и отношении шлака к стружке 35–45 %.

Следует отметить, что максимальный диапазон изменения себестоимости получаемого сплава в зависимости от исследованных вариантов состава шихты составляет 3–5 тыс. руб. за 1 кг без учета затрат на экологический налог и захоронение образующихся вторичных шлаков. Дальнейшее снижение себестоимости возможно при реализации безотходной или малоотходной технологии плавки, которая предусматривает не захоронение образующихся отходов от вторичной плавки, а использование их для производства нового товарного продукта, востребованного в металлургии или других производственных сферах.

В качестве такого продукта была выбрана алюминиевая раскислительная смесь (АРС). Согласно техническим условиям на данный материал в нём должно содержаться: 20–24 % Al, 50–65 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1,5–7 % С, 4–6 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 6 % (Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O), 4–6 % CaO, 4–6 % MgO. Для получения данной смеси использовали измельчённый вторичный шлак, полученный при плавке в короткопламенной роторной печи, в качестве отхода. К нему добавляли отсев алюминиевой стружки для получения необходимой концентрации по алюминию. Данные компоненты в требуемой пропорции смешивали и расфасовывали в полиэтиленовые мешки по 20 кг. Расфасованную смесь упаковывали в контейнеры типа «Биг-Бег» и направляли на Белорусский металлургический завод для раскисления стали на установке «печь-ковш».

При плавке стали в большегрузных электродуговых печах удаление серы из расплава стали проводится за пределами плавильного агрегата на установке «печь-ковш». Необходимыми условиями для удаления серы из расплава в шлак являются высокая основность шлака и его низкая окисленность. Высокая основность шлака обеспечивается добавками извести в сталеразливочный ковш, а для обеспечения низкой окисленности шлака проводят его обработку раскислительными смесями типа АРС. Алюминий, содержащийся в АРСе, в количестве 20–24 % взаимодействует с оксидами железа и марганца и тем самым снижает окисленность шлака. Таким образом, создаются благоприятные условия для удаления серы в шлак:



Присадку алюминиевой раскислительной смеси осуществляли сразу после выпуска стали из электродуговой печи в сталеразливочный ковш и при дальнейшей обработке металла на установке печь-ковш. Расход АРС составлял 40–120 кг на плавку. Цвет шлака в стальковше в ходе обработки в зависимости от окисленности шлака (суммы оксидов FeO и MnO) изменялся с чёрного до светло серого и белого. Белый цвет рафинирующего шлака характеризует низкое содержание в нём FeO и MnO. Химический состав шлака до и после обработки представлен в табл. 1.

Как видно из табл. 1 добавка раскислительной смеси приводит к снижению окисленности шлака с 1,61 до 0,53 и увеличению в нём содержания серы с 0,375 до 0,608 %. В результате такой обработки снижается содержание серы и в обрабатываемой стали.

Таблица 1

Влияние добавок раскислительной смеси (АРС) на состав шлаков установки «печь-ковш»

| Компоненты шлака   | Содержание компонентов, % |                   |
|--|---------------------------|-------------------|
|  | Исходный шлак             | После добавки АРС |
| CaO  | 55,45                     | 59,84             |
| SiO <sub>2</sub>   | 18,66                     | 16,30             |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                 | 13,86                     | 17,58             |
| MgO  | 9,89                      | 5,01              |
| MnO  | 0,84                      | 0,30              |
| FeO  | 0,77                      | 0,23              |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                  | 0,064                     | 0,066             |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                 | 0,091                     | 0,066             |
| S  | 0,375                     | 0,608             |
| (FeO+ MnO)   | 1,61                      | 0,53              |
| (CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 2,0                       | 1,91              |

В табл. 2 приведены данные по степени десульфурации стали при её обработке на установке «печь-ковш».

Таблица 2

Степень десульфурации стали на установке «печь-ковш» при проведении опытных плавов

| Марка стали | Содержание серы в пробе, масс. % |                                      | Степень десульфурации, % |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
|             | до обработки (C <sub>S1</sub> )  | после добавки АРС (C <sub>S2</sub> ) |                          |
| Ст 3 сп     | 0,045                            | 0,027                                | 40,0                     |
| Ст 3 сп     | 0,054                            | 0,029                                | 46,3                     |
| Ст 3 сп     | 0,047                            | 0,027                                | 42,6                     |
| Ст 3 сп     | 0,058                            | 0,032                                | 44,8                     |
| BST 500S    | 0,045                            | 0,021                                | 53,3                     |
| BST 500S    | 0,051                            | 0,029                                | 43,1                     |
| SAE 1008    | 0,042                            | 0,016                                | 61,9                     |
| 25Г2С       | 0,047                            | 0,026                                | 44,7                     |
| В 500 В     | 0,046                            | 0,026                                | 43,5                     |

Независимо от марки стали степень десульфурации колеблется от 40 до 61,9 %. Средние значения по степени десульфурации составили 43,35 %, что несколько выше сравнительных плавов

с использованием стандартных раскислительных смесей (39,6 %). Высокая степень десульфурации объясняется взаимодействием СаО рафинирующего шлака с серой, содержащейся в расплаве, и частичным взаимодействием с ней алюминия, который входит в состав АРС. Термодинамические расчёты подтвердили возможность взаимодействия алюминия с серой. Проведенные опытные плавки показали возможность использования опытной раскислительной смеси, полученной на основе вторичного алюминиевого шлака, для раскисления стали на установке «печь-ковш». Основываясь на результатах исследований, была предложена схема безотходной технологии переработки алюминиевой стружки и шлаков. Реализация данной схемы переработки алюминиевой стружки и шлаков позволяет получать чушковые марочные сплавы типа АК5М2 и АВ87, а также раскислительные смеси для сталеплавильного производства. При этом отпадает необходимость в захоронении вторичных алюминиевых шлаков и уплате экологического налога, повышается рентабельность производств, связанных с переработкой отходов алюминия.

#### Список литературы

1. Гогин В.Б., Шадаев Д.А. Современные направления развития технологии рециклинга алюминия (по материалам 3-й конференции «Рециклинг алюминия», Москва 29–31 марта 2006 г.) // Технология легких сплавов. – 2006. – № 4. – С. 101–118.
2. Влияние состава шихты на себестоимость получаемого сплава при плавке в короткопламенной роторной печи / Л. В. Трибушевский [и др.] // Металлургия: Респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск: БНТУ, 2015. – № 36. – С. 151-158.
3. Выбор рационального состава шихты при плавке алюминиевой стружки и шлака в короткопламенной роторной печи / Л.В. Трибушевский [и др.] // Литьё 2015: материалы XI междунар. науч.-практ. конф. / Запорож. торг. пром. пал.: редкол.: О.И. Пономаренко. – Запорожье, 2015. – С. 130–131.