

- дионенко З.А. и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1985. – № 2. – С. 4–6.
13. Результаты эксплуатации загрузочного устройства с подачей части кокса в осевую зону колошника / Соцкий В.А., Тарасов В.П., Набока В.И. и др. // *Сталь*. – 2001. – № 11. – С. 486–489.

УДК 621.745.56

**С.П. Задруцкий, Г.А. Румянцева, Б.М. Немененок, И.А. Горбель**  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРБОНАТНЫХ ФЛЮСОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВОГО ЛОМА**

Применяемые технологии плавки и рафинирования алюминиевых сплавов определяют уровень негативного воздействия на окружающую среду, который характеризуется существенными объемами и высокой токсичностью выбросов загрязняющих веществ в атмосферу [1].

Существует три основных направления сокращения выбросов загрязняющих веществ при плавке и рафинировании алюминиевых литейных сплавов, комплексная реализация которых обеспечит экологическую безопасность производства:

1. Снижение в составе шихты потенциально опасных для окружающей среды компонентов путем их предварительной подготовки (сушка, прокатка, снятие лакокрасочных покрытий).
2. Совершенствование технологии плавки и рафинирующей обработки с целью уменьшения количества образующихся вредных веществ и объемов отходящих газов.
3. Применение эффективной газоочистки.

Основными источниками возникновения взвешенных веществ являются флюсы, испаряющиеся в процессе плавки и рафинирующей обработки, алюминиевая пыль, образующаяся при завалке шихты, а также углерод (частицы сажи), получаемый при неполном сгорании некоторых органических веществ в печи.

При выборе аспирационных систем и газоочистки необходимо учитывать тот факт, что до настоящего времени не существует

экономичного универсального способа очистки, который обеспечивал бы одновременное удаление из дымовых газов всех вредных примесей.

Так как требования к допустимому содержанию вредных веществ в воздухе населенных пунктов постоянно ужесточаются, то для их соблюдения существующие способы очистки становятся экономически неоправданными и необходимо использовать более сложные и энергоемкие очистные сооружения, потребляемая мощность которых достигает до 6 кВт/ч на 1000 м<sup>3</sup> отходящих газов. На лучших зарубежных предприятиях на охрану окружающей среды уже сегодня приходится от 10 до 20% стоимости производства. Вместе с тем установлено, что при использовании флюса 47% KCl+30% NaCl+23% Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub> в рафинировании активно участвует не более 40% используемого солевого флюса. Остальная его масса, видоизменяя свое агрегатное состояние, испаряется, переходит в шлак и реагирует с футеровкой печи, в целом заметно ухудшая технологические и экологические условия плавки. Кроме того, в известных универсальных флюсах при температуре 720–800°C растворяется всего 0,3–0,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а в ряде оксидных и карбонатных систем – до 6% при 700°C. Поэтому переход на такие рафинирующие составы обеспечит не только более высокое качество расплава, но и позволит отказаться от энергоемких очистных систем [2].

При выплавке чушкового поршневого сплава АК12М2МгН из лома алюминиевых сплавов в пламенных печах для защиты расплава от окисления используют рафинирующие флюсы. При этом следует учитывать, что слой флюса затрудняет передачу тепла от факела сжигаемого топлива к расплаву. В результате взаимодействия флюса с расплавом образуется шлак, который является хорошим теплоизолятором. Так, при толщине шлака 100 мм на плавление алюминия затрачивается на 30% больше энергии, чем при слое шлака в 25 мм [3]. Поэтому с экономической и экологической точек зрения невозможно иметь излишек флюса, поскольку его стоимость увеличивает производственные затраты, как и утилизация солевого шлака, удаляемого из печи в конце плавки [4].

Для проверки эффективности рафинирующих препаратов и оценки объемов пылегазовых выбросов, образующихся при вводе их в расплав, проводили исследования в условиях литейного цеха Научно-производственного общества с ограниченной ответствен-

ностью «Время –  $V$ » при производстве чушкового поршневого сплава АК12М2МгН из лома алюминиевых сплавов. Плавку проводили по принятой на предприятии технологии в пламенной печи ёмкостью 2,0 т. Отличие опытных плавков заключалось только в составе применяемого флюса. По существующей технологии для защиты расплава от окисления использовали флюс 47% KCl+30 % NaCl+23%  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  в количестве 0,5% от массы расплава. Опытные плавки проводили с применением карбонатного флюса (13% KCl+55% NaCl+17%  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ +10%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ +5%  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) в количестве 0,5% от массы расплава.

Предварительный нагрев шихтовых материалов осуществляли жидкотопливными горелками на оплавочном столе для удаления из алюминиевого лома закладных стальных элементов. После расплавления металл стекал в камеру выдержки, где под слоем флюса его нагревали до температуры 700–720°C. Закладные элементы скребком снимали с оплавочного стола, чтобы они не попадали в ванну с расплавом и не насыщали его железом. После отбора пробы на химанализ и корректировки химического состава, расплав перетекал в приемок и далее передавался на фильтрацию для удаления неметаллических включений. Отфильтрованный расплав разливали в изложницы для получения стандартной чушки массой примерно 15 кг.

При проведении опытных плавков анализировали балл пористости по шкале ВИАМ, химический состав сплава АК12М2МгН на соответствие ГОСТу 1583-93, количество и состав образующегося шлака, металлургический выход, количество и состав пылегазовых выбросов, выделяющихся в процессе плавки. Замер пылегазовых выбросов проводили на горизонтальном участке системы вытяжной вентиляции при температуре отходящих газов 80°C и скорости 9,6 м/с. Динамическое давление составляло 72 Па. Усредненные значения по результатам трех опытных плавков приведены в табл. 1, 2 в сравнении с существующей на предприятии технологией. Из табл. 1 следует, что использование предлагаемого состава флюса обеспечивает увеличение металлургического выхода на 2,2%, снижение количества образующегося шлака на 0,73% при уменьшении алюминия в нем на 3,08% и практически постоянном извлечении закладных элементов из черных сплавов. При этом пористость по шкале ВИАМ соответствовала 2 баллу для всех плавков.

Таблица 1

Результаты опытных и серийных плавок сплава АК12М2МгН  
в отражательной пламенной печи в НПООО «Время-V»

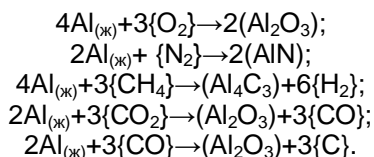
Варианты технологий	Балл пористости по шкале ВИАМ	Металлургический выход, %	Количество образующего шлака, %	Содержание алюминия в шлаке, %	Количество извлеченных закладных, %
Серийная	2	87,3	1,77	9,23	0,45
Опытная	2	89,5	1,04	6,15	0,46

Таблица 2

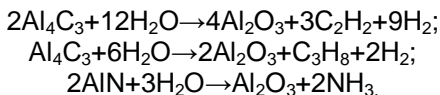
Результаты анализа пылегазовых выбросов при плавке сплава  
АК12М2МгН в отражательной пламенной печи  
в НПООО «Время-V»

Варианты технологий	Расход флюса, %	Средняя концентрация пыли, г/м <sup>3</sup>	Удельный выброс пыли, кг/т	Хлориды, кг/т	Фториды, кг/т	СО, кг/т	NO <sub>x</sub> , кг/т
Серийная	0,5	2,247	3,81	0,25	0,12	3,77	0,48
Опытная	0,5	1,811	3,07	0,18	0,09	3,82	0,47

В процессе плавления алюминиевого сплава и выдержки его в пламенной печи он вступает в реакции с компонентами воздуха и печной атмосферы:



Из реакции следует, что для расплавленного алюминия не существует защитной атмосферы и при рабочих температурах ведения плавки происходит образование нитрида алюминия при взаимодействии с азотом печной атмосферы, который при нормальных условиях считается инертным газом [3]. Наличие значительного количества нитрида алюминия установлено при рентгеноструктурном анализе шлаков, при этом его содержание составляет около трети неметаллических включений шлака. Кроме нитрида алюминия в нерастворимой части шлаков обнаружены  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  в сумме около 23 %. На практике наличие нитрида алюминия в алюминиевых шлаках подтверждается резким запахом аммиака в дождливую погоду, а присутствие карбидов дает специфический запах ацетилена или пропана в результате протекания реакций:



Поскольку данные реакции протекают с выделением большого количества тепла и нагревом шлака [3], то это приводит к значительным безвозвратным потерям алюминия. Поэтому важно минимизировать содержание алюминия в шлаке. т.к. в случае его содержания менее 11 % переработка алюминиевых шлаков становится нерентабельной и они подлежат захоронению как отвальные шлаки на специальных полигонах. Данные отходы имеют 4 класс опасности и при их захоронении уплачивается соответствующий экологический налог.

Учитывая, что алюминий хорошо смачивает оксиды, при съеме шлака вместе с ними замешивается большое количество металла (от 50 до 70%). Отделение алюминия от шлака производится с помощью флюса, который в жидком виде смачивает шлак и увеличивает поверхностное натяжение между алюминием и шлаком. В результате облегчается коалесценция капель алюминия с помощью фтористой оставляющей флюса ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) и отделение алюминия от шлака.

Наличие в составе оптимизированного флюса оксида натрия, образующегося в результате диссоциации соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), приводит к повышению его химической активности и более эффективному растворению оксида алюминия [2, 5], что и облегчает про-

цесс отделения капель алюминия и слияния их с расплавом. В результате содержание алюминия в шлаке по сравнению с серийной технологией снижается на 33%, а металлургический выход увеличивается на 2,2% (см. табл. 1).

Анализ пылегазовых выбросов показывает, что при проведении опытных плавов значительно снизились выбросы хлоридов и фторидов, а концентрация СО изменилась незначительно в связи с догоранием его в рабочем пространстве печи. По удельным выбросам пыли также произошло значительное снижение (почти на 20%).

Использование карбонатного флюса при выплавке годового объема сплава АК12М2МгН позволит получить годовой экономический эффект около 165 млн бел. руб. за счет изменения затрат на флюсовую обработку, снижения расхода шихтовых материалов в связи с увеличением металлургического выхода, изменения величины экологического налога на образующиеся пылегазовые выбросы и уменьшения расходов на захоронение отвального шлака в связи с сокращением его объемов.

#### Список литературы

1. Повышение экологической безопасности процессов плавки и рафинирования алюминиевых сплавов / С.П.Задруцкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 231 с.
2. Задруцкий С.П., Румянцева Г.А., Немененок Б.М. О рафинирующей способности и экологической безопасности новых флюсов и препаратов // Литейное производство. – 2013. – № 5. – С. 10-12.
3. Пискарев Д.В., Казаков П.В., Ульянов Д.С. Флюсовая обработка – просто и доступно // Цветные металлы. – 2010. – № 12. – С. 64-68
4. Шмитц К., Домагала Й., Хааг П. Рециклинг алюминия. Справочное руководство. – М.: Алюсил МВиТ, 2008. – 528 с.
5. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В. Курдюмов [и др.]. – М.: МИСиС, 1996. – 504 с.