

УДК 669.715.018

## ЭФФЕКТИВНЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ РАФИНИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

**Б. М. НЕМЕНЁНОК**, д-р техн. наук, **Г. В. ДОВНАР**, канд. техн. наук,  
**Г. А. РУМЯНЦЕВА**, канд. техн. наук  
Белорусский национальный технический университет,  
**С. П. ЗАДРУЦКИЙ**, канд. техн. наук  
ОДО «Политег-Мет»

*В работе приведены результаты исследований по испытанию рафинирующих препаратов, содержащих серу. Показано, что при испарении серы после ввода ее в расплав повышается плотность литья, увеличивается жидкотекучесть расплава и снижается содержание в алюминии примесей щелочных и щелочноземельных металлов. Интенсивность испарения серы зависит от количества и вида наполнителя в составе препарата для рафинирующей обработки.*

***Ключевые слова:** рафинирующие препараты, сера, примеси щелочных и щелочноземельных металлов, экология*

## EFFECTIVE PREPARATIONS FOR REFINING PROCESSING OF ALUMINUM ALLOYS

**B. M. NEMENENOK**, Dr. of Engineering Sciences, **G. V. DOVNAR**, Ph. D. in Technical Sciences, **G. A. RUMIANTSEVA**, Ph. D. in Technical Sciences  
Belarussian National Technical University  
**S. P. ZADRUTSKY**, Ph. D. in Technical Sciences  
ODO "Polyteg-Met"

*The paper presents the results of studies on testing refining preparations containing sulfur. It is shown that when sulfur evaporates after its introduction into the melt, the density of the casting increases, the fluidity of the melt increases, and the content of alkali and alkaline earth metal impurities in aluminum decreases. The intensity of sulfur evaporation depends on the amount and type of filler in the composition of the preparation for refining treatment.*

*Keywords: refining agents, sulfur, alkali and alkaline earth metal impurities, ecology*

Важное место в промышленности занимают отливки из алюминиевых сплавов, масштабы производства которых во всем мире постоянно увеличиваются. В настоящее время в Республике Беларусь имеется более 40 цветнолитейных цехов и участков, которые относятся к категории производств с повышенной опасностью и включают в себя гамму факторов, вредно воздействующих на окружающую среду и здоровье работающих.

Одним из мощных источников загрязнения атмосферы является общепринятая технология приготовления алюминиевых сплавов, предусматривающая рафинирование и модифицирование расплава реагентами, включающими хлор- и фторсодержащие соли, и их комплексные соединения. Широкое применение обусловлено их высокой эффективностью. Поэтому специалисты не акцентировали внимание на негативных сторонах использования этих реагентов (высокая летучесть, способность образовывать тонкодисперсные аэрозоли). Наиболее отрицательный вклад вносят алюминий хлористый ( $\text{AlCl}_3$ ), марганец хлористый ( $\text{MnCl}_2$ ), продукты деструкции гексахлорэтана ( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ), натрий фтористый ( $\text{NaF}$ ) и т. д. Расход этих компонентов при плавке колеблется от 0,2–0,5 % до 2,0–3,0 % от массы жидкого металла. При контакте с расплавом эти соли ( $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{C}_2\text{Cl}_6$ ) переходят в газообразное состояние, другая часть ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaF}$ ,  $\text{MgCl}_2$  и др.) попадает в шлак. Газообразные продукты в вентиляционной системе охлаждаются, конденсируются в тонкодисперсные аэрозоли и практически в полном объеме выбрасываются в атмосферу.

При плавке в индукционных печах ИАТ-6 выделяется до 3 кг вредных выбросов на тонну расплава силумина, в которых преобладают оксиды алюминия, гексахлорбензол, соли фтора и хлора. В процессе рафинирования гексахлорэтаном и другими хлорсодержащими соединениями происходит выброс паров гексахлорбензола в количестве около 1,2 кг на тонну расплава, которые затем конденсируются на пыли [1]. Следует также отметить, что в случае применения для обработки алюминиевых сплавов жидких универсальных флюсов из флюсоплавильной установки выделяются высокотоксичные газы (хлор и фтор). При таком варианте рафинирования и мо-

дифицирования объемы газовых выбросов в атмосферу цеха еще выше, чем при использовании сухих флюсов.

Учитывая, что экологические проблемы в значительной степени являются определяющими в развитии новых технологий в литейном производстве и получение качественных отливок из большинства алюминиевых сплавов невозможно без рафинирования и модифицирования расплава, следует более внимательно подходить к их выбору.

Исследованиями, выполненными на кафедре «Металлургия черных и цветных сплавов» БНТУ, установлено рафинирующее действие серы в расплаве алюминия. Сера относится к 4 классу опасности и ее ПДК составляет  $6 \text{ мг/м}^3$ . Температура кипения серы составляет  $445 \text{ }^\circ\text{C}$ , поэтому при вводе ее в расплав она переходит в газообразное состояние и реализуется классическая схема адсорбционного рафинирования. Кроме того, сера оказывает значительное влияние на механические и технологические свойства алюминия и его сплавов за счет рафинирования расплава, повышения жидкотекучести, изменения габитуса железосодержащих фаз и измельчения включений первичного кремния.

Вместе с тем, необходимо отметить, что использование серы в виде порошка не обеспечивает устойчивого модифицирующего эффекта ввиду ее интенсивного испарения при температуре ввода с образованием в расплаве концентрированных газовых пузырей [2]. Кроме того, такая технология представляет опасность с точки зрения травмирования обслуживающего персонала выбросами металла.

Для повышения эффективности рафинирующего действия серы ее следует вводить вместе с наполнителями, которые, во-первых, будут задерживать ее испарение и обеспечивать выделение газообразной серы в виде пузырьков небольшого размера, а во-вторых, оказывать модифицирующее действие на другие составляющие сплава. При этом желательно, чтобы наполнители не оказывали негативного воздействия на окружающую среду, имели небольшую стоимость и не способствовали загрязнению расплава.

При разработке таблетированного препарата низкой токсичности многоцелевого назначения в качестве наполнителя использовали компоненты  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ . Концентрацию наполнителя выби-

рали опытным путем для обеспечения спокойного разложения таблетки.

Испытание дегазирующей таблетки с наполнителем  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  проводили в условиях АО «АВТОВАЗ» на сплаве АК6М2 в раздаточном ковше емкостью 900 кг по алюминию. Сплав выплавляли в газовой печи «Линдберг» AP-60000 и обрабатывали по заводской технологии жидким флюсом МХЗ. На втором этапе рафинирования расплава сравнивали эффективность действия предложенного таблетированного препарата и таблеток «Дегазер» производства ОАО Средне-Волжский завод химикатов» (г. Чапаевск). Оценивали балл пористости по шкале ВИАМ и механические свойства. Результаты опытных плавов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительных испытаний

Вид обработки расплава	Балл пористости	Механические свойства		
		$\sigma_{в}$ , МПа	$\delta$ , %	НВ, МПа
Без обработки	3	210	3,8	763
МХЗ + «Дегазер»	2	220	4,6	771
МХЗ + таблетированный препарат	1–2	230	5,2	779

Из данных таблицы 1 очевидно, что предложенный препарат имеет более высокую эффективность при времени активного барботажа 3–4 мин.

По результатам анализов воздушной среды, выполненных лабораторией промсанитарии на рабочем месте, выделения вредных веществ, а именно сернистого ангидрида ( $\text{SO}_2$ ) и оксида углерода (СО) не обнаружено.

Испытание дегазирующих таблеток с наполнителем  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  было проведено также на сплаве АК18 в условиях ОАО «Мотордеталь» (г. Кострома). Результаты металлографического анализа показали, что после обработки расплава предложенным составом обеспечивается высокая плотность поршней (I–II балл пористости) и наблюдается модифицирование эвтектики, что не допускается для жаропрочных поршневых сплавов. Для сплавов такого типа был предложен состав с наполнителем  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , который также показал

высокую рафинирующую способность без модифицирующего воздействия на эвтектику. Сравнительные испытания дегазирующих препаратов на основе серы с наполнителями  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  подтвердили свою высокую эффективность на ряде производств алюминиевого литья в Российской Федерации и показали свою конкурентоспособность по отношению к препарату «Дегазер» (г. Чапаевск), Probatt Fluss и Evtektal (SCHAFER, Германия).

В практике цветнолитейного производства важным является количество и состав шлака, образующегося в процессе рафинирующей обработки. Учитывая значимость этого показателя, в условиях ОАО «Мотордеталь» (г. Кострома) были проведены опытные плавки на поршневом сплаве АК18 с различными вариантами рафинирующей обработки в раздаточном ковше емкостью 400 кг. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние способа рафинирования на количество образующегося шлака

№	Способ рафинирования и величина добавки	Количество образующегося шлака, %
1	Без рафинирования	2,1
2	0,5 % универсального флюса	3,7
3	0,5 % покровного флюса системы $\text{NaCl-KCl-Na}_3\text{AlF}_6$	3,3
4	0,3 % препарата (30 % S + 70 % $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )	5,9
5	0,07 % препарата (70 % $\text{Na}_2\text{CO}_3$ + 30 % S)	5,1
6	0,05 % препарата (70 % $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ + 30 % S)	4,4
7	0,05 % препарата (40 % $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ + 50 % S + 10 % $\text{AlF}_3$ )	5,4
8	0,05 % препарата (50 % S + 50 % $\text{AlF}_3$ )	5,8
9	0,5 % универсального флюса + 0,1 % препарата (30 % S + 70 % $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )	7,4

Как следует из данных таблицы 2, без рафинирующей обработки в раздаточном ковше образуется 2,1 % шлака от массы расплава. После рафинирующей обработки количество шлака возрастает до 3,3–7,4 %. При этом варианты № 5, 6 по данному показателю значительно уступают покровному флюсу. Параллельно были опробова-

ны и рафинирующие препараты на основе серы с использованием в качестве наполнителей  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ .

Высокая химическая активность серы по отношению к щелочным и щелочноземельным металлам была использована для рафинирования от этих нежелательных примесей технического алюминия марок А5 и А5Е в условиях ОАО «Кандалакшский алюминиевый завод». Испытание таблеток с наполнителем  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  проводили в 2-тонных раздаточных ковшах и в 10-тонном миксере. Расход препарата составлял 0,05 % от массы расплава. Время барботажа составов длилось соответственно 4–6 и 10–12 мин в зависимости от количества криолита. Оба состава показали хорошую рафинирующую способность по очистке расплава от шлаковых и неметаллических включений, снизили газовую пористость и содержание вредных примесей (магния на 30–40 %, лития – на 50–60 %), что значительно эффективнее применяемых на заводе рафинирующих составов PROBAT FLUSS AL224 фирмы SCHAFER, добавляемых в расплав в количестве 0,1 % от массы расплава.

Для производственных условий также является важным количество и состав образующихся при рафинировании газовых выбросов. В условиях ОАО «Кандалакшский алюминиевый завод» были оценены газовые выбросы в рабочей зоне при испытании различных рафинирующих реагентов. В таблице 3 приведены данные по замерам газовых выбросов на рабочем месте и ПДК выделяющихся газов. Видно, что все предлагаемые составы (1, 3–5) имеют газовые выбросы значительно ниже предельно допустимых для рабочей зоны. Так содержание серы составляет 0,2 мг/м<sup>3</sup> против допустимого 6 мг/м<sup>3</sup>; концентрация  $\text{AlF}_3$  составляет 5–12 мг/м<sup>3</sup> при допустимой 20 мг/м<sup>3</sup>; содержание  $\text{SO}_2$  достигало 3,4–5,0 мг/м<sup>3</sup> при допустимом значении 10 мг/м<sup>3</sup>. При этом снижается и общий объем валовых выбросов по сравнению с использованием серы совместно с гексахлорэтаном.

Исследования показали, что предложенные составы дегазирующих препаратов могут использоваться на различных предприятиях, связанных с производством алюминия и его сплавов.

Таблица 3 – Газовые выбросы при рафинирующей обработке алюминия

Состав и количество рафинирующей добавки, %	Содержание газов в рабочей зоне, мг/м <sup>3</sup>					ПДК, мг/м <sup>3</sup>				
	CO	SO <sub>2</sub>	S	AlF <sub>3</sub>	AlCl <sub>3</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	S	AlF <sub>3</sub>	AlCl <sub>3</sub>
0,07 % препарата (30 % S + 70 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	2,0	5,0	–	–	–	20,0	10,0	6,0	20,0	30,0
0,3 % препарата (30 % S + 70 % C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> )	–	8,5	0,03	–	24					
0,05 % препарата (50 % S + 50 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> )	–	4,0	–	5,0	–					
0,05 % препарата (50 % S + 50 % AlF <sub>3</sub> )	–	3,6	0,02	12,0	–					
0,05 % препарата (50 % S + 40 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> + 10 % AlF <sub>3</sub> )	–	3,4	0,02	9,0	–					

Составы таблетированных низкотоксичных препаратов имеют гигиенические паспорта Республики Беларусь и Российской Федерации и в настоящее время используются более чем на 50 промышленных предприятиях России и Республики Беларусь.

### Список литературы

- 1. Повышение** экологической безопасности процессов плавки и рафинирования алюминиевых сплавов / С. П. Задруцкий [и др.]. – Минск: БНТУ, 2012. – 231 с.
- 2. Неменёнок Б. М.** Теория и практика комплексного модифицирования силуминов. – Минск: Технопринт, 1999. – 282 с.

### References

- 1. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti processov plavki i rafinirovaniya alyuminievyh splavov** [Increasing the environmental safety of smelting and refining processes of aluminum alloys] / S. P. Zadruckij [et al.]. – Minsk: BNTU Publ., 2012. – 231 p.

**2. Nemenenok B. M.** *Teoriya i praktika kompleksnogo modifitsirovaniya siluminov* [Theory and practice of complex modification of silumins] / B. M. Nemenenok. – Minsk: Tekhnoprint Publ., 1999. – 282 p.

*Поступила 06.11.2024*

*Received 06.11.2024*