

Г.А. РУМЯНЦЕВА,
С.П. ЗАДРУЦКИЙ, канд. техн. наук,
Б.М. НЕМЕНЁНОК, д-р техн. наук,
А.П. БЕЖОК, канд. техн. наук

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАФИНИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НОВЫХ ФЛЮСОВ И ПРЕПАРАТОВ

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. Основными источниками возникновения взвешенных веществ являются флюсы, испаряющихся в процессе плавки и рафинирующей обработки, алюминиевая пыль, образующаяся при завалке шихты, и частицы сажи, получаемой при неполном сгорании некоторых органических веществ в печи.

Необходимо признать, что экологические проблемы в литейном производстве решаются чрезвычайно медленно и отдельные технические решения не сказываются коренным образом на оздоровлении условий труда литейщиков. В этом случае необходим комплексный подход, обеспечивающий как использование пылегазоочистного оборудования, так и совершенствование технологических процессов.

При выборе аспирационных систем и газоочистки необходимо учитывать тот факт, что до настоящего времени не существует универсального способа очистки. Удаление почти каждого из вредных компонентов дымовых газов представляет собой самостоятельную задачу, для решения которой требуются значительные материальные и энергетические ресурсы. Поэтому постоянно ведется поиск низкотоксичных рафинирующих препаратов и флюсов для обработки алюминиевых сплавов.

Исходя из имеющейся информации, для исследований были выбраны рафинирующие препараты, содержащие серу с добавками

Na_2CO_3 и Na_3AlF_6 , а также составы с NaNO_3 в качестве основного рафинирующего средства. При выборе рафинирующих флюсов в качестве основы использовали солевую систему $\text{NaCl-KCl-Na}_3\text{AlF}_6$ с добавками карбонатов, а также флюс на основе SiO_2 (80 % SiO_2 + 9,4 % KCl + 6 % NaCl + 4,6 % Na_3AlF_6) [1] и традиционный рафинирующий флюс (47 % KCl + 30 % NaCl + 23 % Na_3AlF_6). При определении соотношения ингредиентов в рафинирующих препаратах или флюсах исходили из того условия, чтобы при температурах обработки расплавов реагенты находились в жидком состоянии или спокойно разлагались в расплаве.

Для выбора оптимального способа ввода препаратов в расплав оценивали их летучесть при температуре 750 °С в течение 30–120 мин с определением потери массы. Установлено, что флюс с карбонатами имеет более высокую летучесть по сравнению с традиционным флюсом. При этом максимальная потеря массы (10,6 %) обеспечивается в течение первых 30 мин выдержки при 750 °С, что объясняется диссоциацией карбонатов и выделением CO_2 . Анализ летучести рафинирующих препаратов показал, что ее пик обеспечивается также в первые 30 мин, что объясняется испарением из составов серы, криолита и разложением NaNO_3 . Все исследуемые составы, кроме флюса с SiO_2 , плавятся при температуре 750 °С, что будет способствовать их хорошему взаимодействию с расплавом.

Оценку рафинирующего действия выбранных препаратов и определение их оптимальной добавки проводили на сплаве АК9. Рафинирующие составы вводили в расплав в виде флюса или при помощи колокольчика. Анализировали изменение механических свойств, балла пористости по шкале ВИАМ и формозаполняемости по пробе Энглера-Эллерброка, а также визуально оценивали интенсивность бурления, цвет и запах выделяющихся газов. Показатели свойств для оптимальных добавок исследуемых составов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние рафинирующей обработки на свойства сплава АК9

Способ рафинирующей обработки	Оптимальная добавка, %	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	Балл пористости по шкале ВИАМ	Формозаполняемость при 720 °С и напоре металла 110 мм, мм ⁻¹
Исходный расплав	–	190,9	5,2	3,0	1,2
47 % KCl + 30 % NaCl + + 23 % Na ₃ AlF ₆	1,0	193	5,5	2,6	1,5
Флюс с карбонатами	1,0	216,8	7,6	2,0	1,4
Флюс с SiO ₂	1,0	202,5	6,9	2,6	1,1
30 % S + 70 % Na ₂ CO ₃	0,05	220,1	7,0	2,2	1,5
50 % S + 50 % Na ₃ AlF ₆	0,05	190,7	6,3	2,0	1,6
Препарат с NaNO ₃	0,05	210,1	7,6	1,7	1,3

Установлено, что наилучший комплекс свойств обеспечивается при обработке расплава флюсом с карбонатами, рафинирующими препаратами с NaNO_3 и (30 % S + 70 % Na_2CO_3) в количестве 0,05 % от массы расплава. При этом в случае использования двух последних составов наблюдается модифицирование включений эвтектического кремния.

Эффективность процесса рафинирования характеризуется также и остаточным содержанием в отливках оксида алюминия. Для его определения в алюминиевых сплавах наиболее широко применяют методы химического анализа. Содержание оксида алюминия оценивают купрумдихлоридным или бромметаноловым методом, но первый из них, не отличающийся высокой точностью, используют сравнительно редко [2, 3]. Поэтому в исследованиях использовали бромметаноловый метод для определения содержания Al_2O_3 в разрывных образцах. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Как следует из представленных результатов, наиболее эффективное удаление Al_2O_3 отмечается при обработке расплава флюсами с карбонатами. Рафинирование препаратами, вводимыми при помощи колокольчика, оказывает положительное влияние на качество расплава и обеспечивает остаточное содержание Al_2O_3 на уровне традиционного рафинирующего флюса.

Таблица 2 – Влияние способов рафинирующей обработки на содержание Al_2O_3 из сплава АК9

Способ рафинирующей обработки	Величина добавки, %	Содержание Al_2O_3 , %
До рафинирования	–	0,043
30 % S + 70 % Na_2CO_3	0,05	0,035
50 % S + 50 % Na_3AlF_6	0,05	0,038
Препарат с NaNO_3	0,05	0,033
Флюс с SiO_2	2,0	0,040
47 % KCl + 30 % NaCl + + 23 % Na_3AlF_6	1,0	0,037
Флюс с карбонатами	1,0	0,028

При использовании любого из методов определения содержания оксидов следует иметь в виду, что некоторые частицы оксидов могут быть больших размеров и не попадать в объем пробы, а если же

попадут в него, то существенно повлияют на результаты от средне-взвешенного содержания оксидов в сплаве. Поэтому считают [3], что воспроизводимые результаты определения содержания оксидов относятся только к частицам очень малых размеров и статистически однородно распределенным в любом объеме металла. При определении содержания оксидов следует учитывать, что не только по составу, но и по количеству полученные результаты нельзя рассматривать как абсолютно достоверные для всей плавки. Результаты справедливы только для объема отобранной пробы. Поэтому для более объективной оценки рафинирующей способности флюсов исследовали их адсорбционную способность по методике, изложенной в работе [4]. Под адсорбционной способностью флюсов следует понимать максимально возможное насыщение расплавленных флюсов различными неметаллическими включениями, при котором флюсы еще не утрачивают своего положительного влияния на плавку [5]. Адсорбционную способность флюсов определяли по отношению к оксиду алюминия, так как последний является основной составляющей твердых неметаллических включений, образующихся при плавке алюминиевых сплавов. Для изучения адсорбционной способности флюсов стружку сплава АК5М2 массой 20 г помещали в алундовый тигель и на ее поверхность насыпали 70 г флюса с таким расчетом, чтобы сплав во время всего опыта был изолирован от воздуха. Тигель устанавливали в нагретую до 900 °С печь и выдерживали в течение двух часов без перемешивания. Опыты проводили без добавления к флюсам оксида алюминия и с добавкой последнего в количестве 1, 3, 5, 7 и 10 % по массе. По окончании выдержки тигель с расплавом охлаждали, разбивали, отделяли переплавленный сплав от флюса и взвешивали полученные продукты. Это позволило установить выход годного при плавке в зависимости от насыщения расплава оксидами. Наиболее высокий выход годного при максимальном содержании во флюсе оксида алюминия указывал на лучшую адсорбционную способность флюса. Визуальное исследование слитков позволило судить об отделяемости расплава от оксидов в зависимости от химического состава флюсов и содержания в них адсорбированных твердых неметаллических частиц. Результаты исследований (рисунок 1) показывают, что максимальный выход сплава АК5М2 обеспечивается при использовании традиционного флюса системы $KCl-NaCl-Na_3AlF_6$ и данный показатель практически не зависит от добавок к флюсу оксида алюминия.

При этом основная масса металла (от 91,0 % до 87,5 %) формируется в виде компактного слитка с гладкой поверхностью, который располагается на дне тигля. Даже при 10 % Al_2O_3 флюс обладает ещё достаточно хорошей адсорбционной способностью.

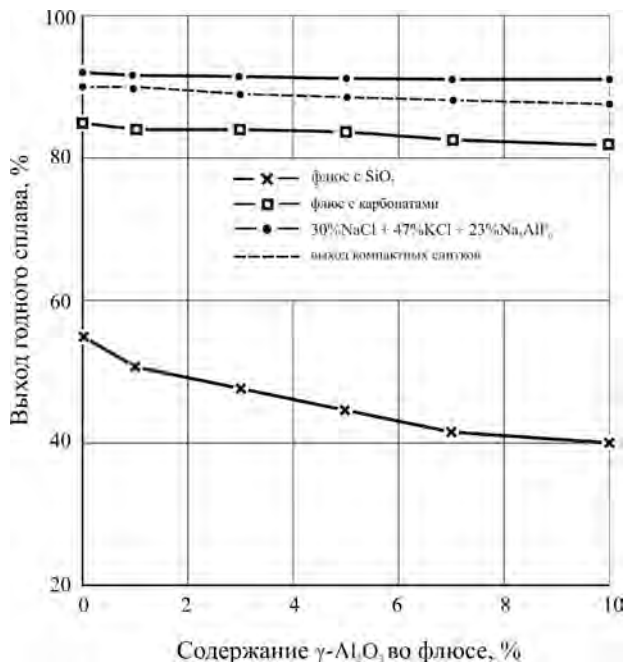


Рисунок 1 – Выход сплава АК5М2 в зависимости от содержания оксида алюминия во флюсах

Для оценки объемов пылегазовых выбросов, образующихся при обработке расплава, были проведены исследования в условиях литейного участка на печах сопротивления емкостью 100 кг при плавке сплава АК5М2. Пробы выбросов отбирали в течение 2 мин на горизонтальном участке вытяжной вентиляции с диаметром воздуховода 0,15 м при динамическом давлении 90 Па. Скорость отходящих газов составляла 9,5 м/с с температурой 80 °С. Все исследуемые флюсы и препараты в количестве 0,5 кг высыпали на зеркало металла массой 80 кг и замешивали в расплав, что соответствовало добавке 0,6 % от массы расплава. Результаты замеров приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Объемы пылегазовых выбросов при рафинировании сплава АК5М2

Способ рафинирующей обработки	Результаты замеров при добавке 0,6 %		Расчетные значения для оптимальных добавок рафинирующих средств		
	Средняя концентрация пыли, г/м ³	Выброс пыли в процессе обработки, г	Величина добавки, %	Средняя концентрация пыли, г/м ³	Выброс пыли в процессе обработки, г
47 % KCl, 30 % NaCl, 23 % Na ₃ AlF ₆	1,283	10,010	1,0	2,053	16,033
Флюс с карбонатами	0,383	2,990	1,0	0,613	4,787
Флюс с SiO ₂	0,278	2,171	1,0	0,445	3,475
30 % S + +70 % Na ₂ CO ₃	0,212	3,302	0,05	0,017	0,133
50 % S + + 50 % Na ₃ AlF ₆	1,134	17,693	0,05	0,091	0,711
Препарат с NaNO ₃	0,847	13,208	0,05	0,068	0,531

Установлено, что минимальные выбросы пыли наблюдаются при использовании флюсов с карбонатами и на основе SiO_2 , а также рафинирующего препарата (30 % S + 70 % Na_2CO_3). Составы с NaNO_3 и Na_3AlF_6 характеризуются более высоким пылевыделением, что хорошо согласуется с их летучестью.

При пересчете на оптимальную концентрацию рафинирующих препаратов минимальные выбросы пыли в процессе обработки характерны для флюсов с SiO_2 и карбонатами, а также для препарата, содержащего 30 % S + 70 % Na_2CO_3 . Если флюсы с карбонатами и с SiO_2 снижают объем выделяющейся при обработке пыли по сравнению с традиционным флюсом в 4,6 и 3,3 раз соответственно, то рафинирующие препараты с NaNO_3 и смесь серы с криолитом уменьшают данный показатель в 22,5–30 раз, а серы с Na_2CO_3 – в 120 раз.

Таким образом, использование разработанных рафинирующих составов позволяет не только обеспечивать высокие показатели механических и технологических свойств силуминов, но и существенно улучшить экологическую обстановку на плавильных и заливочных участках в цехах алюминиевого литья.

Литература

1. **Бранчуков, Д.Н.** О новых комбинированных флюсах для рафинирования алюминиевых сплавов / Д.Н. Бранчуков, А.В. Панфилов // Литейное производство. – 2009. – № 1. – С. 2–5.
2. **Плавка** и литье алюминиевых сплавов / М.Б.Альтман [и др.]. – М.: Metallurgia, 1983. – 352 с.
3. **Газы** и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах / В.И. Добаткин [и др.]. – М.: Metallurgia, 1976. – 264 с.
4. **Альтман, М.Б.** Неметаллические включения в алюминиевых сплавах / М.Б. Альтман. – М.: Metallurgia, 1965. – 126 с.
5. **Беляев, А.И.** Поверхностные явления в металлургических процессах / А.И. Беляев, Е.А. Жемчужина. – М.: Metallurgizdat, 1952. – 144 с.