



There is studied the possibility of refining of secondary aluminum alloys for the purpose of injurious iron additives reduction. There are determined the optimal concentrations of infused additive-nonsolvents at manganese and chrome filtration. In the process of carried out experiments there are established the dependence of initial iron and additive-nonsolvents content influence on technicoeconomic coefficients of refining process.

О. Н. КАЛЕНИК, Б. М. НЕМЕНЕНОК, В. Л. ТРИБУШЕВСКИЙ, С. Л. РИМОШЕВСКИЙ,
Белорусский национальный технический университет

УДК 621.74:669.715

РАФИНИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ ПРИМЕСИ ЖЕЛЕЗА

Начиная с 60-х годов XX в., мировое потребление алюминия неуклонно растет, охватывая все новые и новые сферы производства. Это в свою очередь ведет к образованию разного количества алюминиевых отходов. При переработке лома и кусковых отходов с использованием сортировки и входного шихтового контроля возможно получение относительно «чистых» сплавов. Иная ситуация наблюдается при переработке дисперсных и окисленных отходов с повышенным содержанием трудноотделимых металлических примесей (стружка, сьемы, шлаки), образующихся в достаточно большом количестве на территории Республики Беларусь.

В процессе переработки примеси, попадая в расплав, значительно ухудшают качество получаемой продукции. Наиболее вредным элементом, ухудшающим физико-механические и технологические свойства Al-Si сплавов, является железо [1–4].

Все железосодержащие фазы при обычных температурах кристаллизации силуминов имеют грубокристаллическое строение, поэтому они оказывают существенное отрицательное влияние на механические свойства отливок. В определенной степени нейтрализовать вредное влияние железа на прочностные свойства силуминов можно введением элементов-компенсаторов, которые подавляют образование игольчатой фазы β (AlSiFe), переводя ее в более компактную форму. Типичными представителями таких элементов являются Mn, Cr, Mo, V, Ni, Co и другие подобные металлы. Однако данная идеология имеет место при относительно невысоком превышении содержания Fe и позволяет использовать полученные сплавы при неотвественном литье [1].

В настоящее время на предприятиях, перерабатывающих отходы алюминиевых сплавов, осуществляются только операции по удалению газов и неметаллических включений из вторичных алюминиевых сплавов, а рафинирование данных сплавов от железа отсутствует.

В основу всех методов рафинирования положен принцип фазового разделения расплавов. Поэтому в процессе рафинирования необходимо выполнение двух условий: выделение примеси в новую самостоятельную фазу и наиболее полное разделение жидкого металла и фаз. Первое условие может реализовываться с помощью ликвационного, электрохимического и амальгамного методов [5–7].

Основной метод — ликвационный. При его использовании на первой стадии происходит образование интерметаллических соединений в расплаве алюминия с температурой плавления, большей температуры ликвидуса системы для облегчения условий их отделения от жидкой фазы. К ликвационному методу относятся магниевый, цинковый и марганцевый способы рафинирования алюминиевых сплавов от железа. Наиболее распространенным способом очистки является марганцевый [5–10]. С помощью данного способа происходит очистка первичного алюминия, полученного электротермическим методом. Для отделения интерметаллических соединений на второй стадии можно использовать отстаивание расплава, направленную кристаллизацию при отстаивании, наложение магнитного поля при затвердевании. Реализация приведенных выше методов неэффективна, так как влечет за собой увеличение длительности рафинирования, снижение выхода фильтрата и степени рафинирования. Для ускорения процесса разделения жидкой и твердой фазы, различных по плотности, можно использовать центрифугирование, но наиболее эффективным и простым является метод фильтрации [4]. В этом случае отсутствует дополнительное окисление сплава на промежуточных операциях сбора и сплавления частиц алюминия с развитой поверхностью, как при центрифугировании.

В задачу данных исследований входила разработка и внедрение эффективного, недорогого и экологически чистого способа рафинирования вторичных алюминиевых сплавов от железа в

условиях небольших предприятий и цехов по переработке высокодисперсных и окисленных отходов алюминия.

Проводили анализ эффективных присадок-осадителей железа, которые могли бы на ранних стадиях перед затвердеванием расплавов связывать его в нерастворимые соединения, которые можно отделять в процессе фильтрации. Таковыми являются присадки компенсаторов железа в алюминий-кремниевых сплавах — Mn, Cr, V, Ni, Co,

однако их требуется значительно большее количество для полного связывания железа, чем для модифицирования железосодержащих фаз [2]. На выбор присадки-осадителя накладывается ряд условий: минимальные затраты, небольшой расход, высокая температура образования интерметаллического комплекса, высокая степень рафинирования при фильтрации и выход фильтрата. В табл. 1 приведены основные параметры процесса компенсации железа перечисленными элементами-компенсаторами.

Таблица 1. Затраты на компенсацию железа

Требуемое кол-во компенсатора к содержанию железа	Элемент-компенсатор	Температура плавления, °C	Плотность элемента-компенсатора, г/см ³	Стоимость, у.е./кг	Вид интерметаллического соединения
1:2	Mn	1244	7,44	1,45	Глобулярные включения типа китайский шрифт
1:5	Cr	1900	7,19	1,0	Глобулярные включения типа листа папоротника
1:5	V	1917	6,11	14,0	Дисперсные пластинки
1:1,4	Ni	1455	8,9	6,45	То же
1:2,5	Co	1493	8,85	7,5–8,0	Компактные округлые включения четвертной фазы

Расчет затрат на элементы-компенсаторы для нейтрализации вредного влияния железа в сплавах АК12 с содержанием железа 1–5 % представлен на рис. 1. Из рисунка видно, что наиболее дешевыми присадками являются хром и марганец.

Опыты проводили на алюминиевых сплавах АК12, полученных при переработке дисперсных и окисленных отходов в виде шлаков. Исследовали

варианты марганцевой и хромовой фильтрации для сплавов с содержанием железа 2,7 и 4,3%. В сплавы вводили лигатуры Al–Mn и Al–Cr в соотношениях, приведенных в табл. 2.

Выбор температуры фильтрации проводили на основании анализа кривых охлаждения исследуемых сплавов. Параллельно определяли жидкотекучесть по U-образной пробе. За базовую температуру фильтрации была принята температура 650 °C.

Опыты проводили по технологической схеме, включающей расплавление навески металла в силиковой печи; ввод требуемого количества лигатуры Al–Mn (11,6 %) либо Al–Cr (5,9 %) из расчета получения требуемого состава фильтруемого сплава; рафинирование расплава флюсом; интенсивное перемешивание и выдержка при температуре 900 °C; охлаждение сплава до температуры фильтрации; фильтрация расплавов под действием сил гравитации через подогретый фильтр; взвешивание и анализ продуктов фильтрации. Фильтрацию осуществляли через пенокерамические фильтры, которые широко используются для фильтрации алюминиевых сплавов.

Содержание кремния в расплавах поддерживалось на уровне 13%, что отвечает эвтектическому составу. Это необходимо для того, чтобы предотвратить механические потери фильтруемого металла с фильтростатками и соответственно увеличить выход годного. Смещение в ту или иную сторону по Si в зависимости от содержания в сплаве Fe снижает выход фильтрата.

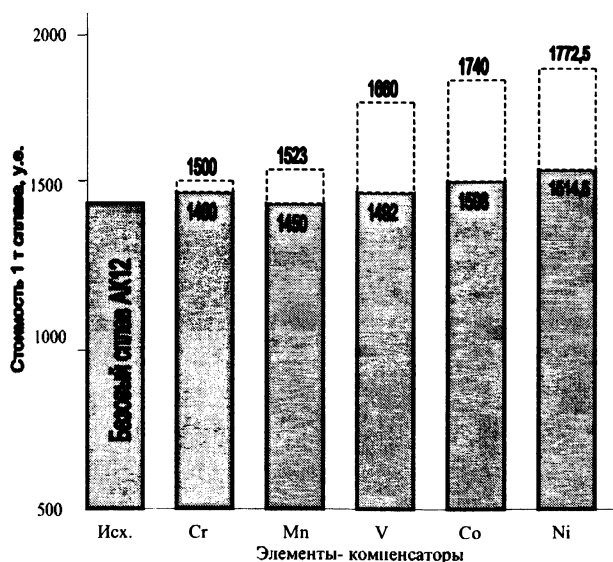


Рис. 1. Влияние добавок элементов-компенсаторов на стоимость сплава АК12 с содержанием железа 1–5%

Таблица 2. Параметры исследуемых сплавов

Содержание железа в сплаве, %	Соотношение вводимой присадки-осадителя к железу			
	0,5:1,0	1,0:1,0	1,5:1,0	2,0:1,0
2,7	0,5:1,0	1,0:1,0	1,5:1,0	2,0:1,0
4,3	0,5:1,0	1,0:1,0	1,5:1,0	2,0:1,0

Результаты экспериментов показаны на рис. 2, 3. Из рисунков видно, что для серии опытов с содержанием железа 2,7 и 4,3 % метод хромовой фильтрации обеспечивает большую степень удаления железа по сравнению с методом марганцевой фильтрации. Однако для серии сплавов с содержанием железа 2,7 % наблюдается несколько меньший выход фильтрата. Проведя технико-экономические расчеты, установили, что наиболее выгодно использовать рафинирование распла-

вов от железа при максимальном его содержании до 3 %, так как превышение этого предела в значительной степени уменьшает выход фильтрата. Кроме того, при соотношении $Mn:Fe = 1,5:1,0$ достигается такой же выход годного (65 %) и степень удаления железа до 1,3 % как при соотношении $Cr:Fe = 1:1$. Фактически хрома требуется в 1,3–1,5 раза меньше по сравнению с марганцем при меньшей стоимости хрома. Полученные результаты удовлетворяют требованиям ГОСТ 1583-93 по содержанию железа в силуминах.

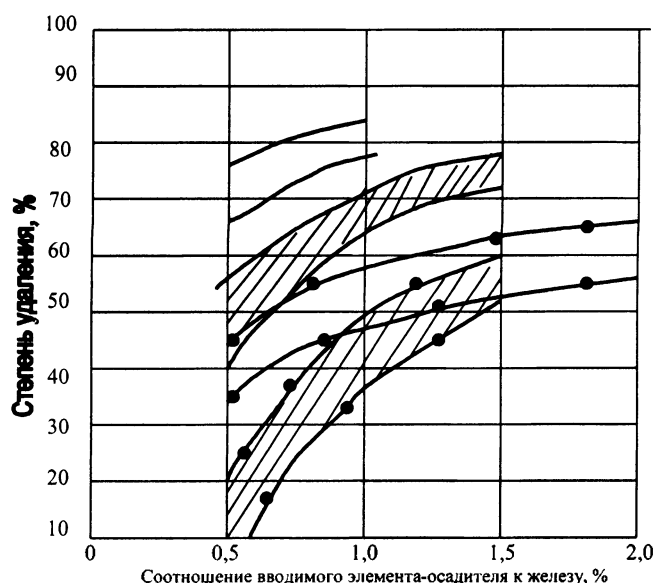


Рис. 2. Зависимость степени удаления железа из сплава АК12 с исходным содержанием 2,7 и 4,3 % железа при марганцевой и хромовой фильтрации: – марганцевая фильтрация; – хромовая фильтрация; – сплав с 2,7% железа; – сплав с 4,3% железа

При содержании в исходном сплаве железа больше 3 % необходимо его разбавление чистыми шихтовыми материалами до более низкой его концентрации с последующей фильтрацией либо прямое получение раскислителя типа АВ. На рис. 4 представлена предлагаемая технологическая схема рафинирования вторичных алюминиевых сплавов от железа.

В результате проведенных исследований выбрана оптимальная присадка-осадитель для железа – хром. Экспериментально установлено, что хром в 1,3–1,5 раза эффективнее марганца связывает железо. Вероятнее всего, хром образует более тугоплавкие интерметаллические комплексы, так как они имеют температуру плавления более высокую, чем у марганца (1900 и 1244 °С).

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением в фильтруемом сплаве железа

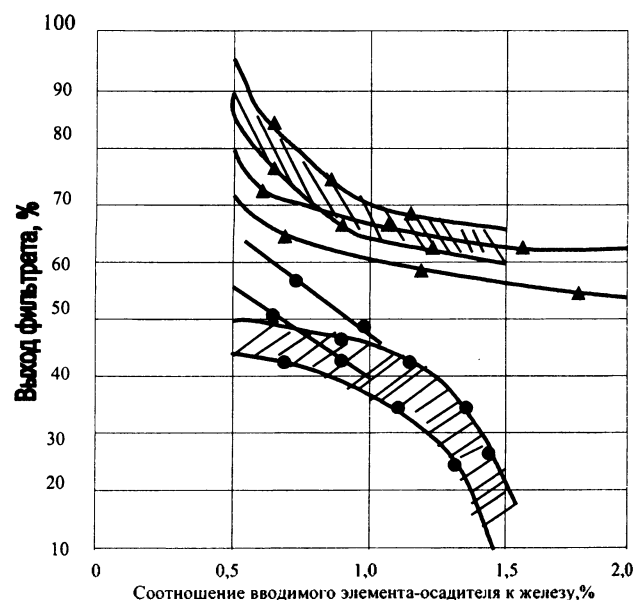


Рис. 3. Зависимость выхода фильтрата из сплава АК12 с содержанием 2,7 и 4,3 % железа при марганцевой и хромовой фильтрации. Обозначения те же, что на рис. 2

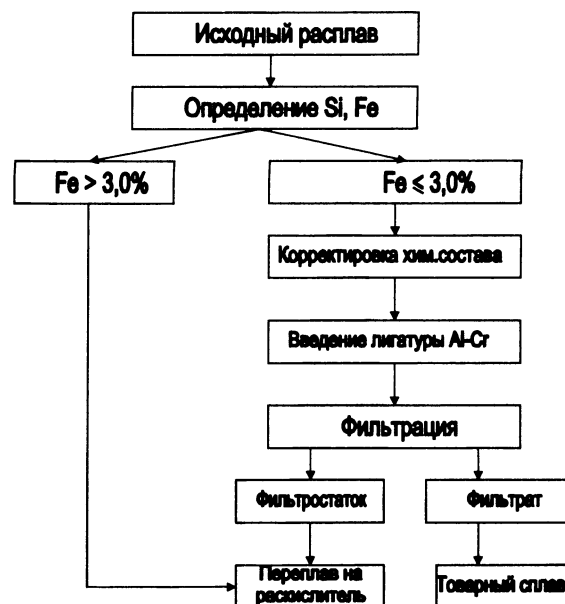


Рис. 4. Схема рафинирования вторичных алюминиевых сплавов от Fe

резко уменьшается выход фильтрата. Наиболее экономически выгоднее фильтровать вторичные алюминиевые сплавы методом хромовой фильтрации (Cr:Fe = 1:1) с содержанием железа не более 3 %.

Остаточный хром в товарном сплаве оказывает положительное влияние на увеличение жаропрочности и коррозионной стойкости. Кроме того, фильтрация способствует удалению не только металлической примеси железа, но и растворенных газов, оксидных плен и шлаковых включений. Использование метода хромовой фильтрации через пенокерамический фильтр в установке изотермической фильтрации позволяет получать сплавы с наименьшими затратами и приемлемой степенью удаления железа и выходом фильтрата. Данный метод рафинирования экологически безопасен и может быть рекомендован к использованию в условиях предприятий по переработке дисперсных и окисленных отходов алюминия.

Литература

1. Белов Н. Л., Золоторевский В. С., Гусев А. Ю. Структура и механические свойства вторичных силуминов, легированных железом // Цветные металлы. 1990. № 6. С. 99–100.
2. Немененок Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов. Мн.: Технопринт, 1999.
3. Карпачев В. М., Баланаева Н. А. Влияние повышенного содержания железа и марганца на свойства вторичного литейного сплава АК5М2 // Цветные металлы. 1992. № 6. С. 55–57.
4. Кечин В. А., Скитович С. В. Ликвационное рафинирование алюминиевых расплавов от железа // Литейное производство. 1998. № 8. С. 6–7.
5. Худяков И. Ф. Технология вторичных цветных металлов. М.: Металлургия, 1984.
6. Беляев А. И. Металлургия легких металлов. М.: Металлургия, 1970.
7. Справочник металлурга по цветным металлам. Производство алюминия. М.: Металлургия, 1971.
8. Рагулина Р. И., Емлин Б. И. Электротермия кремния и силумина. М.: Металлургия, 1972.
9. Чельцов В. М., Карпов Б. И., Черняховский Л. В. Очистка разбавленного алюминиево-кремниевого сплава от железа и титана // Цветные металлы. 1977. № 1. С. 43–45.
10. Веригин В. Н., Чельцов В. М., Григорьева Н. В. Переработка электротермического Al-Si сплава на силумин способом фильтрации // Тр. ВАМИ. 1971. № 76. С. 99–108.

1. Белов Н. Л., Золоторевский В. С., Гусев А. Ю. Структура и механические свойства вторичных силуми-