

Анализ процесса накопления стронция при модифицировании силуминов

Студенты гр. 10405220 Оленцевич А.А., Микулич А.Д.
 Научные руководители Бежок А.П., Неменёнок Б.М.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Развитие техники требует создания и использования алюминиевых сплавов с повышенными механическими свойствами. Известно, что увеличение их прочности и твердости можно обеспечить дополнительным легированием α -твердого раствора кремния и меди в алюминии, а также термической обработкой и рафинированием расплава от твердых и газообразных неметаллических включений. Увеличение пластических свойств сплава достигается снижением содержания в сплаве железа и за счет удаления из расплава неметаллических включений. Наиболее эффективным способом достижения поставленной цели является модифицирование включений эвтектического кремния. Известно около 40 элементов, оказывающих модифицирующее действие на структурные составляющие силуминов. Из модификаторов эвтектики заслуживает внимание стронций, обеспечивающий длительный модифицирующий эффект, что позволяет автоматизировать процесс заливки расплава в литейные формы с использованием дозаторов. Однако малый угар стронция из расплава таит в себе опасность его накопления в возврате, что может в итоге привести к нежелательным последствиям, связанным с образованием газоусадочной пористости в отливках. Влияние переплавов на поведение стронция и его накопление в возврате исследовали на сплаве АК12оч.

Исходная концентрация стронция в расплаве была увеличена до 0,1%. Рафинирование расплава не производили. При температуре 720-730 °С брали пробу на химический анализ, а остаток сплава заливали в плоскую металлическую изложницу. После затвердевания слитка его расплавляли, при 720-730 °С брали пробу на химический анализ и вновь отливали слиток. Было проведено три переплава. Если в исходном сплаве содержалось 0,1 % стронция, то после первого переплава его, концентрация снизилась до 0,07 %; после второго - до 0,027 %, и после третьего - до 0,007 %.

Проведенный эксперимент показал, что в результате однократного переплава потери стронция составляют только 1/3 от его исходной концентрации. Поэтому необходимо провести расчет возможной предельной концентрации стронция в силуминах при многократном использовании в составе шихты возврата собственного производства.

В расчете принимали следующие условия:

- исходная плавка проводится на чистой шихте с вводом 0,03 % стронция;
- рафинирование модифицированного сплава производится азотом и потерями стронция после этой операции пренебрегаем;
- первую плавку проводили с использованием m (кг) собственного возврата, содержащего K (%) стронция;
- расчет стронция по шихтовке производится на полную массу плавки.

Введем следующие условные обозначения, принятые в расчете:

C – количество вводимого в расплав стронция по шихтовке, %;

M – полная масса плавки вместе с отходами, кг;

a – количество отходов в плавке, %;

c_n – остаточная концентрация стронция в отливках, %.

При проведении первой плавки с отходами количество стронция, вносимого отходами, составит $\frac{K \cdot m}{100}$, кг, а количество вновь введенного стронция по шихтовке будет равно $\frac{C \cdot M}{100}$, кг.

Общее количество стронция в плавке в процентах составит:

$$C_1 = \left(\frac{K \cdot m}{100} + \frac{C \cdot M}{100} \right) \cdot \frac{100}{M} = \frac{K \cdot m}{M} + C;$$

При проведении второй плавки с отходами в шихту вносится $(\frac{K \cdot m}{100} + C) \cdot \frac{m}{100}$ кг стронция и $\frac{C \cdot M}{100}$ кг – вносится стронция по шихтовке.

В итоге процентное содержание стронция в шихте составит:

$$C_2 = [(\frac{K \cdot m}{M} + C) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100}] \cdot \frac{100}{M} = K \cdot (\frac{m}{M})^2 + C \cdot \frac{m}{M} + C.$$

Для третьей плавки, проводимой с использованием собственных отходов, концентрация стронция в шихте составит

$$C_3 = [(K \frac{m^2}{M^2} + \frac{C \cdot m}{M} + C) \cdot \frac{m}{100} + \frac{C \cdot M}{100}] \cdot \frac{100}{M} = K \cdot (\frac{m}{M})^3 + C \cdot (\frac{m}{M})^2 + C \cdot (\frac{m}{M}) + C.$$

Для n-й плавки с отходами содержание стронция в шихте будет равно

$$C_n = K \cdot (\frac{m}{M})^n + C \cdot (\frac{m}{M})^{n-1} + C \cdot (\frac{m}{M})^{n-2} + \dots + C \cdot (\frac{m}{M}) + C.$$

Учитывая, что $a = (\frac{m}{M}) \cdot 100$ и $\frac{m}{M} = \frac{a}{100}$, то

$$C_n = K \cdot (\frac{a}{100})^n + C \cdot [1 + (\frac{a}{100}) + (\frac{a}{100})^2 + \dots + (\frac{a}{100})^{n-1}].$$

Принимая во внимание, что отношение $\frac{a}{100} < 1$, то первое слагаемое $K \cdot (\frac{a}{100})^n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$, а в квадратных скобках второе слагаемое представляет убывающую геометрическую прогрессию с знаменателем $q = \frac{a}{100}$ и первым членом $C_1 = 1$.

Для убывающей геометрической прогрессии сумма всех членов равна:

$$\lim S_n = \frac{a_1}{1 - q} = \frac{100}{100 - a}, n \rightarrow \infty$$

тогда $C_n = C \cdot \frac{100}{100 - a} = \frac{100 \cdot C}{100 - a}$

Считая, что $a=40\%$, а $C=0,03\%$ получим $C_n = 0,05\%$.

Следовательно, при введении в состав шихты 40 % возврата и модифицировании расплава 0,03 % стронция максимальное содержание стронция в отливках не превышает 0,05 %. При увеличении первоначальной добавки стронция до 0,04 % остаточное его содержание в отливках может вырасти до 0,067 %. Необходимо учитывать также, что на ряде цветнолитейных предприятий доля возврата в составе шихты составляет до 60 %. В этом случае даже при вводе 0,03 % стронция в отливках может накопиться до 0,075 % стронция. В таких случаях следует рассчитывать количество вводимого модификатора исходя из 0,03-0,04 % стронция от массы свежих шихтовых материалов. Это позволит обеспечить стабильный модифицирующий эффект, исключить избыточное накопление стронция в расплаве и снизить вероятность развития газоусадочной пористости.