

УДК 621.74.699

С. П. Задруцкий, А. А. Пивоварчик, Б. М. Неменёнок, Г. В. Довнар

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СИЛУМИНОВ ДИСПЕРСНЫМ КАРБОНАТОМ СТРОНЦИЯ

Целью данной работы является исследование возможности модифицирования алюминиевого расплава при использовании в качестве модификатора мелкодисперсного порошка стронция. Научная новизна работы состоит в исследовании возможности модифицирования алюминиевого расплава дисперсным порошком карбоната стронция в реальных производственных условиях при различных технологических режимах. Во введении содержится краткая информация по материалам, используемым в качестве модификаторов на этапе технологии модифицирования расплава с целью повышения технологических свойств получаемых отливок. Описаны достоинства и недостатки использования таких модифицирующих материалов, как хлор, фтор, натрий и стронций. В основной части изложена методика проведения исследований по определению рациональных технологических параметров модифицирующей обработки расплава алюминия с использованием дисперсного карбоната стронция. Выбор рационального способа ввода порошкообразного карбоната стронция в расплав силумина определяли при температуре расплава 993 К и количестве вводимого  $\text{SrCO}_3$  0,5 % от массы обрабатываемого металла. Установлено, что полностью модифицированную структуру эвтектического кремния при температуре обработки металла 943 К обеспечивает ручное замешивание в расплав при помощи шумовки порошка  $\text{SrCO}_3$  дисперсностью 20 и 60 мкм в течение 2 и 6 мин соответственно, а для температуры обработки металла 1143 К данные показатели составляют 1 и 4 мин. Показано, что использование в качестве модифицирующего препарата карбоната стронция является с экологической точки зрения более предпочтительным, чем применение хлор- и фторсодержащих композиций. Результаты исследований будут полезны технологам при выборе модифицирующих материалов, применяемых в качестве модификаторов при обработке алюминиевого расплава, с целью повышения механических свойств отливок, получаемых литьем под низким давлением, а также при выборе технологии модифицирования алюминиевого расплава дисперсным карбонатом стронция.

**Ключевые слова:** алюминиевые сплавы, модифицирование, расплав, карбонат стронция, структура, лигатура.

**Введение.** Получение качественного, конкурентоспособного литья из силуминов зачастую невозможно без получения модифицированной структуры литых заготовок. Преимущественно модифицирование алюминиевых сплавов проводят смесью солей фтористого калия и хлористого калия совместно с фтористым натрием и/или натриевым криолитом в количестве 2–3 % от массы расплава [1]. В силуминах с содержанием кремния около 11 %, особенно при литье отливок под низким давлением, в качестве модификатора целесообразно использовать стронций [1–3], преимущественно в виде лигатуры. Отличие стронция от ряда модификаторов, в том числе и натрия, состоит в том, что он значительно меньше выгорает из расплава. Стронций, как правило, добавляют в расплав в количестве 0,014–0,040 % от объема расплава. Модифицирование стронцием, как правило, проводят на стадии производства чушки из соответствующих сплавов, поэтому на литейном предприятии модифицирование уже не производят. При этом при низких скоростях охлаждения отливок модифицирование стронцием

---

*Задруцкий Сергей Петрович*, канд. техн. наук, доц. каф. металлургии литейных сплавов БНТУ (Беларусь).

*Адрес для корреспонденции:* пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: zadrutskij@bntu.by

*Пивоварчик Александр Антонович*, канд. техн. наук, доц., доц. каф. машиноведения и технической эксплуатации автомобилей ГрГУ им. Янки Купалы (Беларусь).

*Адрес для корреспонденции:* ул. Ожешко, 22, 230023, г. Гродно, Беларусь; e-mail: Pivovarchik\_AA@grsu.by

*Неменёнок Болеслав Мечеславович*, д-р техн. наук, проф., зав. каф. металлургии литейных сплавов БНТУ (Беларусь).

*Адрес для корреспонденции:* пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: nemenenok@tut.by

*Довнар Геннадий Витольдович*, канд. техн. наук, доц. каф. металлургии литейных сплавов БНТУ (Беларусь).

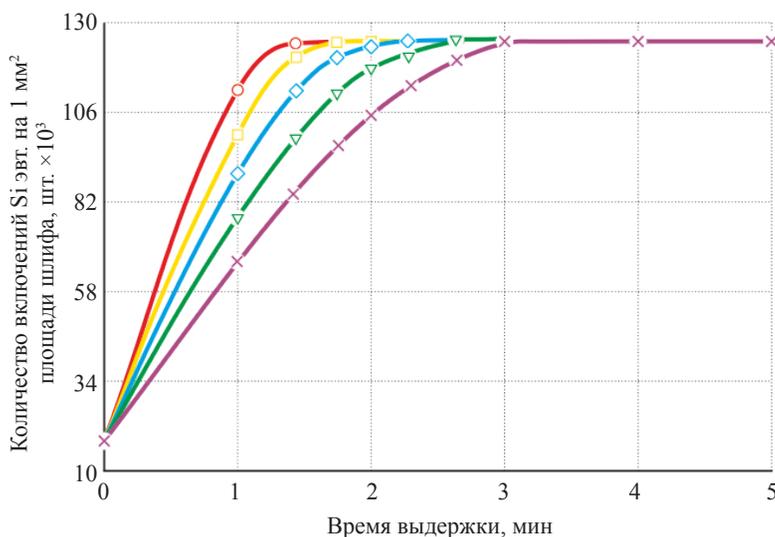
*Адрес для корреспонденции:* пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь; e-mail: gvdoynar@bntu.by

значительно менее эффективно и поэтому оно не рекомендуется к применению, например, при литье в песчаные формы [2].

Целью данной работы является исследование возможности модифицирования алюминиевого расплава при использовании в качестве модификатора мелкодисперсного порошка стронция с размером частиц от 20 до 60 мкм.

**Экспериментальная часть.** Определение рациональных технологических параметров модифицирующей обработки расплава алюминия карбонатом стронция проводили экспериментальным путем. Выбор рационального способа ввода порошкообразного карбоната стронция в расплав силумина определяли при температуре расплава 993 К и количестве вводимого  $\text{SrCO}_3$  0,5 % от массы обрабатываемого металла. Карбонат стронция интенсивно замешивали в расплав при помощи импеллера и вручную шумовкой, кроме того, его засыпали на зеркало расплава и вводили в расплав погружным колокольчиком на глубину 1 м. После окончания обработки расплав подвергали 15-минутной изотермической выдержке, после чего скачивали образовавшийся шлак, расплав перемешивали для устранения ликвационных явлений, после чего отбирали пробы образцов с целью проведения микроанализа.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты экспериментов свидетельствуют об эффективности интенсивного замешивания в расплав силумина порошка карбоната стронция при помощи импеллера или шумовкой. Следует отметить, что при использовании импеллера усвоение стронция происходит быстрее, чем при замешивании шумовкой. Так, получение полностью модифицированной структуры эвтектического кремния наблюдается после замешивания в расплав порошка карбоната стронция с размером частиц 60 мкм в количестве 0,5 % от массы обрабатываемого металла импеллером и вручную шумовкой в течение 3 и 5,4 мин соответственно. Модифицирование силумина путем ввода карбоната стронция на зеркало расплава нецелесообразно из-за низкой кинетики процесса. Так, после 30-минутной выдержки структура эвтектического кремния является частично модифицированной, причем с увеличением времени выдержки интенсивность перехода стронция в расплав снижается, что, вероятно, связано с утолщением оксидной пленки, являющейся изолятором на границе  $\text{SrCO}_3\text{-Al}$  (рисунки 1 и 2).



Пояснения: размер включений, мкм: —○— 20; —□— 30; —◇— 40; —▽— 50; —×— 60.

**Рисунок 1 – Зависимость количества включений эвтектического кремния на 1 мм² площади шлифа сплава АК12оч от времени замешивания импеллером порошка карбоната стронция различной степени дисперсности**

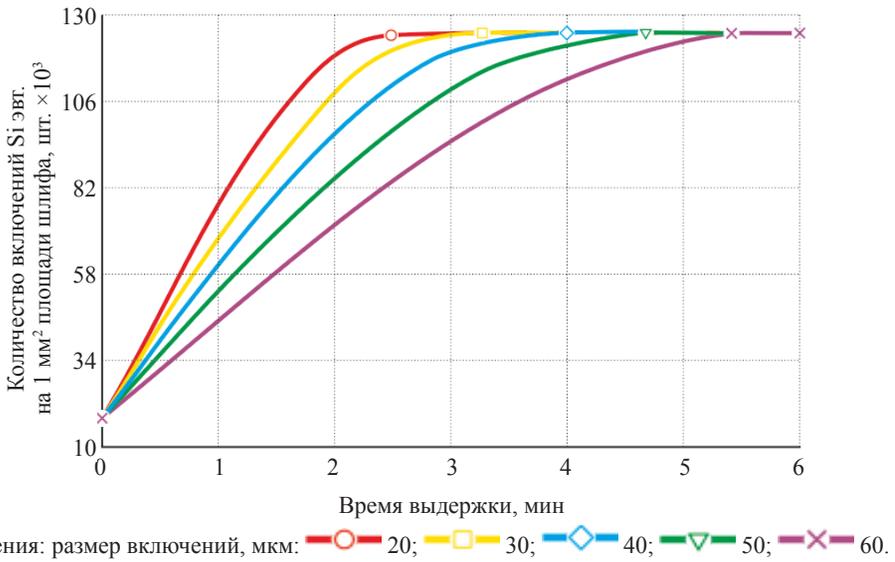


Рисунок 2 – Зависимость количества включений эвтектического кремния на 1 мм<sup>2</sup> площади шлифа сплава АК120ч от времени замешивания шумовой порошка карбоната стронция различной степени дисперсности

При вводе карбоната стронция в расплав с помощью погружного колокольчика наблюдается очень слабый барботаж, что говорит о низкой кинетике реакции  $2\text{SrCO}_3 + 2\text{Al} = 2\text{Sr} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CO} + \text{CO}_2$ . Данное явление, вероятно, связано с накоплением в полости колокольчика в объеме порошка  $\text{SrCO}_3$  продуктов реакции  $\text{SrCO}_3$  с  $\text{Al}$ , что, согласно принципу Ле-Шателье, сдвигает равновесие указанной реакции влево. При перемещении колокольчика в плоскости дна тигля из него всплывает на зеркало расплава порошок  $\text{SrCO}_3$ . При этом площадь контакта  $\text{SrCO}_3$ - $\text{Al}$  увеличивается, что интенсифицирует переход  $\text{Sr}$  в расплав при обработке жидкого металла карбонатом стронция с помощью колокольчика по сравнению с вводом карбоната стронция на зеркало расплава (рисунки 3 и 4).

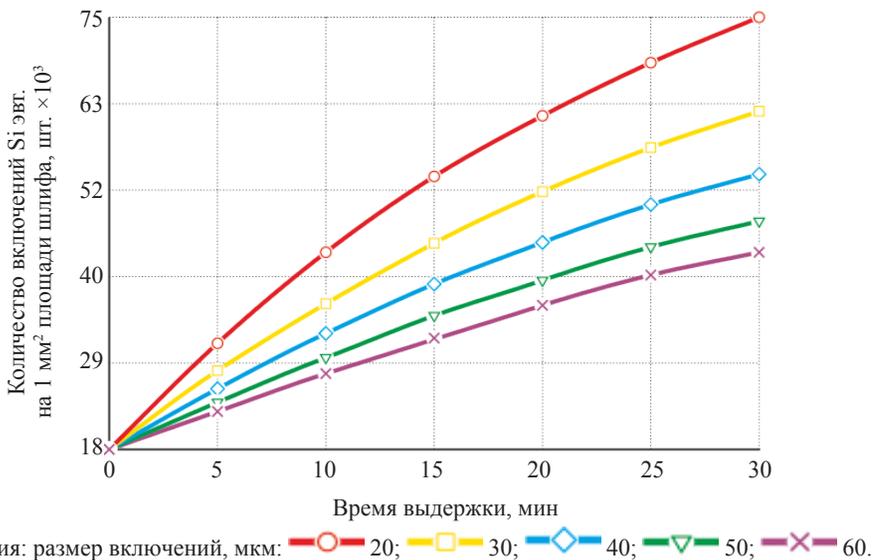
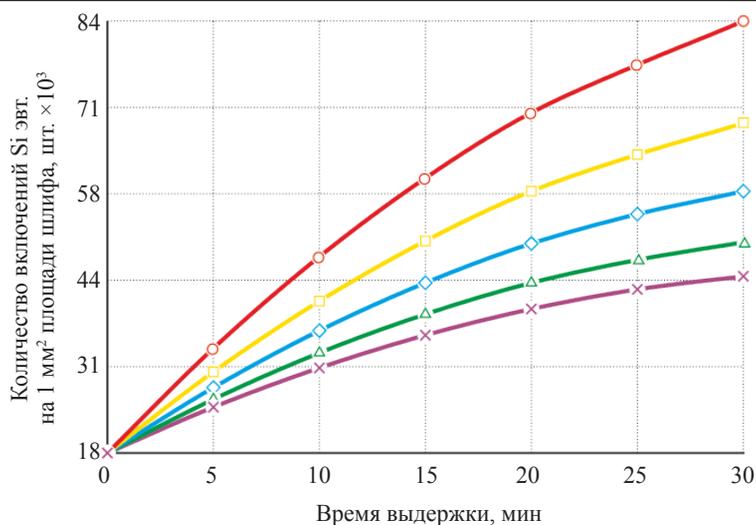


Рисунок 3 – Зависимость количества включений эвтектического кремния на 1 мм<sup>2</sup> площади шлифа сплава АК120ч от времени выдержки под слоем порошка карбоната стронция различной степени дисперсности



Пояснения: размер включений, мкм: —○— 20; —□— 30; —◇— 40; —▽— 50; —×— 60.

**Рисунок 4 – Зависимость количества включений эвтектического кремния на 1 мм² площади шлифа сплава АК120ч от времени обработки расплава порошком карбоната стронция различной степени дисперсности при вводе его погружным колокольчиком**

Необходимо отметить, что, независимо от способа ввода карбоната стронция в расплав, с уменьшением размеров частиц порошка  $\text{SrCO}_3$  кинетика процесса модифицирования эвтектического кремния повышается, что, вероятно, связано с увеличением границы раздела  $\text{SrCO}_3\text{-Al}$ .

Замешивание карбоната стронция в расплав вручную с помощью шумовки не требует дорогостоящего оборудования, легко вписывается в технологическую цепочку практически любого действующего литейного производства, а результаты модифицирования при этом близки по эффективности к показателям, полученным при использовании импеллера. Потому в дальнейших исследованиях порошок  $\text{SrCO}_3$  вводили в расплав путем замешивания. Для определения рационального расхода карбоната стронция при различной дисперсности модифицирование силумина осуществляли при расходных характеристиках  $\text{SrCO}_3$  0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 1,0 % от массы обрабатываемого металла и размерах частиц порошка  $\text{SrCO}_3$  20, 30, 40, 50, 60 мкм. Обработку осуществляли в печи типа ИАТ-1 емкостью 1 т по алюминию при температурах металла 943, 993, 1043, 1093, 1143 К. После скачивания шлака на зеркало металла наносили с последующим интенсивным замешиванием в расплав шумовкой в течение 6 мин порошок карбоната стронция.

После 15-минутной изотермической выдержки образовавшийся шлак скачивали, расплав доводили до температуры 993 К, перемешивали, после чего заливались образцы на микроструктуру, в которых определялось количество включений эвтектического кремния  $\text{Si}_{\text{эвт}}$  на 1 мм² площади шлифа ( $N$ , шт.). В процессе затвердевания образцов при помощи термоанализа фиксировали переохладение при кристаллизации ( $\Delta T$ , К). Результаты микроанализа и термического анализа приведены в таблицах 1 и 2.

Из таблицы 1 видно, что дисперсность карбоната стронция и температура обработки расплава в исследуемом диапазоне не оказывают влияния на модифицирующую способность  $\text{SrCO}_3$ . Полностью модифицированная структура эвтектики, соответствующая  $125 \times 10^3$  включений эвтектического кремния на 1 мм² площади шлифа и переохладению при кристаллизации 7,5 К, наблюдается при добавках порошкообразного  $\text{SrCO}_3$  с размером частиц от 20 до 60 мкм в количестве 0,5 % и выше от массы обрабатываемого расплава для всех рассмотренных температур. Таким образом, рациональным расходом дисперсного карбоната стронция для модифицирования включений эвтектического кремния является расход 0,5 % от массы обрабатываемого расплава.



Таблица 2 – Влияние времени замешивания SrCO<sub>3</sub> в расплав на величину переохлаждения при кристаллизации и дисперсность эвтектического кремния после обработки АК120ч при различных температурах порошкообразным карбонатом стронция различной дисперсности

Температура, К	Размер частиц порошка SrCO <sub>3</sub> , мкм	Без обработки	Время замешивания порошка SrCO <sub>3</sub> , мин																	
			1		2		3		4		5		6							
			ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт	ΔТ, К	N, шт				
943	20	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	82 × 10 <sup>3</sup>	6,4	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>												
	30	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	53 × 10 <sup>3</sup>	5,5	77 × 10 <sup>3</sup>	6,3	120 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>										
	40	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	34 × 10 <sup>3</sup>	4,6	53 × 10 <sup>3</sup>	5,5	79 × 10 <sup>3</sup>	6,3	122 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	50	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	25 × 10 <sup>3</sup>	3,8	39 × 10 <sup>3</sup>	4,9	56 × 10 <sup>3</sup>	5,6	84 × 10 <sup>3</sup>	6,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						
	60	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	21 × 10 <sup>3</sup>	3,2	27 × 10 <sup>3</sup>	4,0	36 × 10 <sup>3</sup>	4,7	51 × 10 <sup>3</sup>	5,4	94 × 10 <sup>3</sup>	6,8	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>
	993	20	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	90 × 10 <sup>3</sup>	6,7	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5												
	30	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	60 × 10 <sup>3</sup>	5,7	85 × 10 <sup>3</sup>	6,4	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>										
	40	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	40 × 10 <sup>3</sup>	4,9	60 × 10 <sup>3</sup>	5,7	87 × 10 <sup>3</sup>	6,6	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	50	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	30 × 10 <sup>3</sup>	4,3	45 × 10 <sup>3</sup>	5,2	63 × 10 <sup>3</sup>	5,8	92 × 10 <sup>3</sup>	6,8	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						
	60	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	25 × 10 <sup>3</sup>	3,8	32 × 10 <sup>3</sup>	4,5	42 × 10 <sup>3</sup>	5,0	58 × 10 <sup>3</sup>	5,6	102 × 10 <sup>3</sup>	7,0	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>
1043	20	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	99 × 10 <sup>3</sup>	6,9	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>												
	30	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	68 × 10 <sup>3</sup>	6,0	94 × 10 <sup>3</sup>	6,8	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>										
	40	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	47 × 10 <sup>3</sup>	5,3	68 × 10 <sup>3</sup>	6,0	96 × 10 <sup>3</sup>	6,9	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	50	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	36 × 10 <sup>3</sup>	4,7	52 × 10 <sup>3</sup>	5,4	71 × 10 <sup>3</sup>	6,1	101 × 10 <sup>3</sup>	7,1	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						
	60	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	30 × 10 <sup>3</sup>	4,3	38 × 10 <sup>3</sup>	4,8	49 × 10 <sup>3</sup>	5,3	66 × 10 <sup>3</sup>	5,9	111 × 10 <sup>3</sup>	7,2	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>
	1093	20	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	109 × 10 <sup>3</sup>	7,2	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5												
	30	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	77 × 10 <sup>3</sup>	6,3	104 × 10 <sup>3</sup>	7,1	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>										
	40	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	55 × 10 <sup>3</sup>	5,5	77 × 10 <sup>3</sup>	6,3	106 × 10 <sup>3</sup>	7,1	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	50	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	43 × 10 <sup>3</sup>	5,1	60 × 10 <sup>3</sup>	5,7	80 × 10 <sup>3</sup>	6,4	121 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	60	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	36 × 10 <sup>3</sup>	4,7	45 × 10 <sup>3</sup>	5,2	57 × 10 <sup>3</sup>	5,6	75 × 10 <sup>3</sup>	6,2	121 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						
1143	20	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	120 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>														
	30	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	87 × 10 <sup>3</sup>	6,6	115 × 10 <sup>3</sup>	7,3	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>										
	40	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	64 × 10 <sup>3</sup>	5,8	87 × 10 <sup>3</sup>	6,6	117 × 10 <sup>3</sup>	7,4	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>								
	50	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	51 × 10 <sup>3</sup>	5,4	69 × 10 <sup>3</sup>	6,0	90 × 10 <sup>3</sup>	6,7	125 × 10 <sup>3</sup>	6,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						
	60	18 × 10 <sup>3</sup>	3,0	43 × 10 <sup>3</sup>	5,1	53 × 10 <sup>3</sup>	5,5	66 × 10 <sup>3</sup>	5,9	85 × 10 <sup>3</sup>	6,5	125 × 10 <sup>3</sup>	7,5	125 × 10 <sup>3</sup>						

Данные, представленные в таблице 2, позволяют определить рациональное время замешивания  $\text{SrCO}_3$  в расплав силумина для конкретных температуры обработки металла и размера частиц порошка  $\text{SrCO}_3$ . Так, полностью модифицированную структуру эвтектического кремния при температуре обработки металла 943 К обеспечивает ручное замешивание в расплав при помощи шумовки порошка  $\text{SrCO}_3$  дисперсностью 20 и 60 мкм в течение 2 и 6 мин соответственно, а для температуры обработки металла 1143 К соответствующие показатели составят 1 и 4 мин. Необходимо заметить, что ручное замешивание шумовкой в расплав силумина порошка  $\text{SrCO}_3$  в течение 6 мин обеспечивает получение полностью модифицированной структуры эвтектического кремния во всем исследуемом диапазоне температур модифицирующей обработки расплава и дисперсностей порошка  $\text{SrCO}_3$ . Таким образом, для дальнейших исследований за рациональные параметры модифицирующей обработки расплава силумина порошкообразным карбонатом стронция были приняты: размер частиц порошка  $\text{SrCO}_3$  – 60 мкм (марка Ап (ТУ 95-2326-91), в состоянии поставки), расход  $\text{SrCO}_3$  – 0,5 % от массы обрабатываемого металла, температура обработки расплава – 993 К (обычная температура рафинирования силумина), время замешивания порошка  $\text{SrCO}_3$  в расплав шумовкой составляло 6 мин.

Представляло интерес изучение сравнительной эффективности модифицирующего действия карбоната стронция и широко используемых в настоящее время препаратов аналогичного назначения: тройного модификатора 62,5 % NaCl + 12,5 % KCl + 25,0 % NaF и лигатуры Al – 10 % Sr (таблица 3).

Таблица 3 – Различные варианты модифицирующей обработки сплава

Номер варианта обработки (далее по тексту)	Модифицирующий препарат	Расход, % от массы расплава	Температура обработки, К
Вариант 1	Исходный сплав (без обработки)	–	993
Вариант 2	Тройной модификатор 62,5 % NaCl + 12,5 % KCl + 25,0 % NaF	2,0	993
Вариант 3	Лигатура Al – 10 % Sr	0,6	993
Вариант 4	Порошок $\text{SrCO}_3$	0,5	993

Результаты микроанализа и термического анализа сплава после обработки по указанным выше вариантам представлены в таблице 4.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой модифицирующей эффективности  $\text{SrCO}_3$  и позволяют сделать вывод об идентичности модифицирующего действия стронция, восстановленного из карбоната и стронция из лигатуры Al – 10 % Sr. Необходимо также отметить длительное сохранение модифицирующего эффекта – не менее 6 ч после обработки расплава стронцийсодержащими препаратами в отличие от обработки расплава натрийсодержащим тройным модификатором, после которой модифицирующий эффект начинает снижаться уже после 30-минутной выдержки.

Анализ отбора проб, выделяющихся в процессе обработки газов в пересчете на 1 т расплава АК12оч, приведен в таблице 5.

Обработка расплава АК12оч карбонатом стронция сопровождается выделением углекислого газа в количестве 14,0 мг/м<sup>3</sup>, относящегося к 4-му классу опасности. Отсутствие угарного газа в печной атмосфере связано, вероятно, с окислением выделяющегося СО при контакте с кислородом над зеркалом расплава до СО<sub>2</sub>. Использование в качестве модифицирующей присадки 62,5 % NaCl + 12,5 % KCl + 25,0 % NaF сопровождается выделением хлоридов и фторидов металлов в количестве 5,9 мг/м<sup>3</sup> и 0,50 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Данные соединения относятся к 2-му классу опасности. Использование в качестве модифицирующего препарата карбоната стронция является с экологической точки зрения более предпочтительным, чем примене-

ние хлор- и фторсодержащих композиций, в частности тройного модификатора 62,5 % NaCl + 12,5 % KCl + 25,0 % NaF.

Таблица 4 – Влияние времени изотермической выдержки расплава АК12оч после модифицирования на величину переохлаждения при кристаллизации и дисперсность эвтектического кремния при различных вариантах модифицирующей обработки

Вариант модифицирующей обработки		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	
Время изотермической выдержки, мин	0	N, шт	$18 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	8,5	7,5	7,5
	15	N, шт	$18 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	8,5	7,5	7,5
	30	N, шт	$18 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	8,5	7,5	7,5
	45	N, шт	$18 \times 10^3$	$101 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	7,8	7,5	7,5
	60	N, шт	$18 \times 10^3$	$82 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	7,2	7,5	7,5
	75	N, шт	$18 \times 10^3$	$66 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	6,6	7,5	7,5
	90	N, шт	$18 \times 10^3$	$53 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	6,0	7,5	7,5
	105	N, шт	$18 \times 10^3$	$42 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	5,3	7,5	7,5
	120	N, шт	$18 \times 10^3$	$32 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	4,5	7,5	7,5
	360	N, шт	$18 \times 10^3$	$18 \times 10^3$	$125 \times 10^3$	$125 \times 10^3$
		$\Delta T$ , К	3,0	3,0	7,5	7,5

Таблица 5 – Количество и состав газов, выделяющихся в процессе обработки 1 т расплава АК12оч

Вариант обработки	Количество газов, мг/м <sup>3</sup>				
	Cl <sub>2</sub>	Хлориды металлов в пересчете на Cl-ионы	Фториды металлов в пересчете на F-ионы	CO <sub>2</sub>	CO
Вариант 2	–	5,9	0,5	–	–
Вариант 3	–	–	–	–	–
Вариант 4	–	–	–	14,0	–

Таким образом, порошок карбоната стронция является высокоэффективной, высокотехнологичной, экологически безвредной модифицирующей добавкой для обработки сплавов системы алюминий-кремний.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бежок, А. П. Совершенствование технологии модифицирования силуминов стронцием : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.16.04 / А. П. Бежок ; Бел. гос. политехн. акад. – Минск, 1999. – 19 с.
2. Проблемы пористости при модифицировании силуминов стронцием / Б. М. Неменёнок [и др.] // Литье Украины. – 2014. – № 3. – С. 13–17.
3. Карбонаты – перспективные материалы для изготовления рафинирующих присадок для силуминов / Н. В. Чайкина [и др.] // Литье и металлургия. – 2010. – № 3 (57). – С. 33–39.

Поступила в редакцию 19.01.17.

“Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science”  
Vol. 7, No. 1, 2017, pp. 15–23  
© Yanka Kupala State University of Grodno, 2017

## Modification technology of silumins by dispersed strontium carbonate

S. P. Zadrutski <sup>1</sup>, A. A. Pivovarchik <sup>2</sup>, B. M. Nemenenok <sup>3</sup>, G. V. Dovnar <sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Belarusian National Technical University (Belarus)*

Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus; e-mail: zadrutskij@bntu.by

<sup>2</sup> *Yanka Kupala State University of Grodno (Belarus)*

Ozheshko St., 22, 230023, Grodno, Belarus; e-mail: Pivovarchik\_AA@grsu.by

<sup>3</sup> *Belarusian National Technical University (Belarus)*

Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus; e-mail: nemenenok@tut.by

<sup>4</sup> *Belarusian National Technical University (Belarus)*

Nezavisimosti Ave., 65, 220013, Minsk, Belarus; e-mail: gvdoynar@bntu.by

**Abstract.** The aim of this research is to investigate the possibility of modifying the aluminum melt when the fine powder of strontium is used as a modifier. The scientific novelty of this work is to study the possibility of modifying the aluminum melt by dispersed powder of strontium carbonate in actual production conditions at different technological modes. In the introduction the brief information on the materials used as modifiers to modify the melt phase technology in order to improve the technological properties of the resulting castings is shown. It is described the advantages and disadvantages of using such modifying materials as chlorine, fluorine, sodium and strontium. In the main part it is represented the methodology for conducting studies to determine the rational technological parameters modifying aluminum melt processing using dispersed strontium carbonate. The selection of the short cut input method of powdered strontium carbonate in the silumin melt is determined at the temperature melt of 993 K and the amount of injected SrCO<sub>3</sub> is 0.5 % of the treated metal weight. It is found that the fully modified structure of eutectic silicon at the processing temperature of the metal 943 K provides manual mixing into the melt by means of skimmers powder SrCO<sub>3</sub> dispersity of 20 microns and 60 microns for 2 and 6 minutes respectively, and for the temperature treatment of metal 1143 K corresponding figures are 1 and 4 min. It is shown that the use of strontium carbonate as a modifying agent is environmentally more advantageous than the use of the compositions containing chlorine and fluorine. The results will be useful for technologists in selecting of modifier materials useful as modifiers in the processing of the aluminum melt in order to improve the mechanical properties of castings produced by casting under low pressure, and the selection of the aluminum melt modification technology by dispersed strontium carbonate.

**Keywords:** aluminum alloys, modification, melt, strontium carbonate, structure, ligature.

## References

1. Bezhok A. P. Improving the technology of modification of strontium by silumins [*Sovershenstvovanie tekhnologii modifitsirovaniia siluminov strontsiem : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*]. Minsk, 1999, 19 p.
2. Nemenenok B. M. [et al.]. Porosity problems with modification of strontium by silumins [*Problemy poristosti pri modifitsirovanii siluminov strontsiem*]. *Foundry production of Ukraine*, 2014, No. 3, pp. 13-17.
3. Chaikina N. V. [et al.]. Carbonates - promising materials for the manufacture of refining additives for silumins [*Karbonaty - perspektivnye materialy dlia izgotovleniia rafiniruiushchikh prisadok dlia siluminov*]. *Foundry production and metallurgy*, 2010, No. 3 (57), pp. 33-39.

