

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО**(12) Описание изобретения**
К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2602220

(22) 29.01.2026

(46) Бюл. 232, 2026

(71) Джураев Т. (ТJ); Муродов С.И. (ТJ); Рахимов Ф.К. (ТJ); Газизова Э.Р. (ТJ); Тошев М.Т. (ТJ); Муслимов И.Ш. (ТJ); Халимова М.И. (ТJ); Нимонов Р.А. (ТJ)

(72) Джураев Т. (ТJ); Муродов С.И. (ТJ); Рахимов Ф.К. (ТJ); Газизова Э.Р. (ТJ); Тошев М.Т. (ТJ); Муслимов И.Ш. (ТJ); Халимова М.И. (ТJ); Нимонов Р.А. (ТJ)

(73) Джураев Т. (ТJ); Муродов С.И. (ТJ); Рахимов Ф.К. (ТJ); Газизова Э.Р. (ТJ); Тошев М.Т. (ТJ); Муслимов И.Ш. (ТJ); Халимова М.И. (ТJ); Нимонов Р.А. (ТJ)

(54) **МОДИФИКАТОР НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

(56)

1. Авторское свидетельство СССР № 719156, кл. C22. C35/00, 1978.

2. Джураев Т. Д., Тошев М.Т., Газизова Э. Р., Хакдод М. М. Элементы- создатели наследственных признаков и их влияние на свойства металлов и сплавов. Душанбе: ИО ТТУ. 2020. 132с.

2

(57) Изобретение относится к области модифицирования сплавов цветных и черных металлов, которые используются для изготовления различных узлов и деталей машин.

Целью изобретения является снижение себестоимости модификаторов и улучшение механико-технологических свойств при модифицировании алюминиевых сплавов.

Сущность изобретения заключается в том, что предложенный модификатор на основе алюминия включает кальций, железо, кремний и магний при следующем соотношении компонентов, масс. %:

кальций	-	0.10-45.0
железо	-	0.10-1.0
кремний	-	0.10-1.0
магний	-	0.10-1.0
алюминий	-	остальное

Изобретение относится к области модифицирования сплавов цветных и черных металлов, используемых для изготовления различных узлов и деталей машин.

Модификаторы на основе алюминия – это специальные добавки, которые вводят в расплав алюминиевых сплавов для изменения структуры и улучшения свойств, целью которого является измельчение структурные составляющие сплава, например, выделения α -твёрдого раствора кремния в алюминии.

В качестве прототипа выбран модификатор следующего состава, % (по массе) [1]:

кальций	0.5-30.0
стронций	0.5-30.0
барий	0.5-30.0
железо	0.1-1.0
кремний	0.1-1.0
алюминий	остальное

Известная лигатура в основном предназначена для улучшения свойств сплавов черных и цветных металлов.

К недостаткам прототипа следует отнести относительно высокую стоимость, обусловленную содержанием в нем большого количества щелочноземельных металлов (ЩЗМ) — кальция, стронция и бария, в диапазоне от 0,5 до 30 % по массе. Это значительно увеличивает стоимость модификаторов.

Целью изобретения является снижение себестоимости модификаторов и улучшение механических свойств (прочности, жидкотекучести, формозаполняемости и др.) алюминиевых сплавов, в частности сплава АЛ9.

Поставленная цель достигается тем, что предложенный модификатор на основе алюминия содержит кальций, железо, кремний и магний в следующем соотношении компонентов, масс. %:

кальций	-	0.10-45.0
железо	-	0.10-1.0
кремний	-	0.10-1.0
магний	-	0.10-1.0
алюминий	-	остальное

О влиянии кальция

Уже в лигатуре от влияния кальция присутствуют две фазы: измельченный α Al-твердый раствор и дисперсная структурообразующая фаза CaAl_4 , имеющая алмазную структуру. Она является центром кристаллизации.

О влиянии железа и кремния

Обычно для увеличения жаропрочности алюминиевого сплава его легируют никелем, кремнием, железом, скандием, кобальтом и иттрием. Из этих элементов для легирования мы выбрали железо и кремний, являющиеся наиболее дешевыми

CaAl_4 имеет алмазную кристаллическую решетку [2] и является структурообразующим элементом, то есть центром кристаллизации в сплавах. Благодаря этому предложенные лигатуры обладают высокими прочностными, коррозионными и литейными

и доступными среди вышеперечисленных металлов. Кроме того, при существующих требованиях к жаропрочности алюминиевого сплава, соответствующей более 1320°C, этому условию идеально отвечают кремний и железо, т.к. температура плавления кремния равна 1414°C, а железа 1539°C.

О влиянии магния

Магний, являясь химически активным металлом, действует как легирующий элемент в составе модификатора. Имея большое сродство к кислороду, сере, фосфору и водороду, усиливает рафинирующее действие кальция и увеличивает эффект модифицирования по времени.

Поэтому предложенный модификатор на основе алюминия обладает высокими прочностными, коррозионностойкими и литейными свойствами, которые, являясь структурно чувствительными характеристиками, передаются по наследству модифицируемым сплавам.

Основным преимуществом заявляемого модификатора является высокое содержание кальция (от 0,10 до 45,0 % по массе), поскольку кальций является одним из наиболее распространенных и дешевых металлов. Его использование значительно снижает себестоимость предложенного модификатора.

Модификатор, указанный выше, получают алюмотермическим методом. Исходными компонентами могут быть карбонаты и азотнокислые соли кальция, а также первичный алюминиевый порошок. Лигатуру синтезируют также методом раздельной плавки в вакууме.

Состав предложенного модификатора соответствует двум видам сплавов: Первый вид включает низкотемпературные сплавы системы Al-Ca, которые плавятся при температурах в пределах 616–635 °C. Эти сплавы состоят из двухфазных доэвтектических, эвтектических и заэвтектических структур, таких как (α -Al + CaAl_4). Второй вид представляет собой высокотемпературную фазу CaAl_2 , с температурой плавления 1079 °C.

Низкотемпературные лигатуры предназначены для модифицирования алюминиевых сплавов, в то время как лигатура с фазой CaAl_2 используется для сплавов черных металлов. Таким образом, предложенная лигатура является комплексной и универсальной для различных типов сплавов.

В предложенном модификаторе присутствует дисперсная эвтектика системы алюминий-кальций, которая состоит из твердого раствора α -Al и интерметаллического соединения CaAl_4 , образующегося по перитектической реакции при температуре 700 °C. Объемная доля CaAl_4 в эвтектике составляет от 15 до 33 % объемных. Фаза

свойствами, которые передаются модифицируемым алюминиевым сплавам.

Для приготовления предлагаемого модификатора был оптимизирован химический состав каждой лигатуры в соответствии с температурами их плавления, которые представлены

в таблице 1. Лигатуру следует вводить в расплав при непрерывном перемешивании с использованием колокольчика при температуре 700–720 °С. При этом содержание кальция в расплаве силумина должно составлять не менее 0,05% для доэвтектических сплавов, а для эвтектических и заэвтектических – не более 0,10% (по массе). После введения лигатуры расплав выдерживается не менее 15 минут, после чего его разливают в металлические формы. Результаты испытаний и сравнительная оценка характеристик модифицированного сплава АЛ9, полученного с использованием заявляемых составов и прототипа, приводятся в табл. 2 и 3.

Способ приготовления и изучения механических свойств сплавов системы алюминий-кремний марки АЛ9. Сплавы готовили в плавильной печи сопротивления типа НН-М01 в корундовых тиглях под слоем флюса из искусственного карналлита, состоящего из 35% $MgCl_2$, 47% KCl и 18% $NaCl$. В отдельных случаях плавка проводилась в атмосфере инертного газа при температуре в интервале 650–720 °С. Шихтовка сплавов выполнялась с учетом угара металлов. Химический состав полученных сплавов контролировался с помощью современного спектрального квантометра SpectroLab M, а также взвешиванием металлов до и после плавления.

Для приготовления сплавов использовался кальций металлический марки КМ1 (ГОСТ 40393-74) с суммарным содержанием примесей 0,02% (по массе) и алюминий марки А995 (ГОСТ 11069-74). После плавки из полученных сплавов отливали образцы в графитовые изложницы с круглым сечением диаметром 10 мм и длиной 15–20 мм для механических испытаний. Жидкотекучесть сплавов определялась методом спиральной пробы в соответствии с ГОСТ 16438-70 по результатам трех заливок при температуре 790 °С в металлические формы.

К преимуществам предлагаемого модификатора следует отнести:

1. Комплексность состава: Предлагаемый модификатор включает два вида лигатур, что делает его комплексным.

2. Улучшение механических и литейных свойств: после его применения улучшаются не только механические свойства (твердость, предел прочности на разрыв и относительное удлинение), но и литейные характеристики, такие как однородность, жидкотекучесть и формозаполняемость алюминиевых сплавов (см. табл. 2).

3. Устойчивость и удобство эксплуатации: Модификатор намного устойчивее на открытом воздухе, удобен в хранении и эксплуатации.

4. Долговечность эффекта модифицирования: Эффект модифицирования сохраняется более 10 часов при выдержке расплава перед заливкой в формы, а также сохраняется даже после переплава.

5. Рационализация с газами и улучшение качества сплавов: Кальций, входящий в состав модификатора (см. табл. 1), взаимодействует в алюминиевых расплавах с серой, водородом и другими газами, что способствует их рафинированию. Например, образующийся в результате взаимодействия кальция с водородом экзотермический твердый гидрид CaH_2 выводится в шлак, освобождая алюминиевый сплав от «водородной хрупкости». В результате этого снижается пористость отливок и увеличивается их плотность (см. табл. 2).

6. Рафинирование сплавов черных металлов: Кальций (45% по массе), входящий в состав модификатора, взаимодействуя с алюминием, образует интерметаллическое соединение $CaAl_2$ с температурой плавления 1079°С. Это соединение рекомендуется для раскисления, дегазации, модифицирования и рафинирования сплавов черных металлов. Соединение $CaAl_2$ имеет структуру типа фаз Лавеса с кристаллической решеткой алмаза [2] и используется в качестве упрочняющей фазы при производстве жаропрочных и износостойких сталей и чугунов.

Формула изобретения

Модификатор, на основе алюминия, содержащий кальций, железо и кремний, отличающийся тем, что, дополнительно содержит магний при следующем соотношении компонентов, мас. %:

кальций	-	0.10-45.0
железо	-	0.10-1.0
кремний	-	0.10-1.0
магний	-	0.10-1.0
алюминий	-	остальное

Таблица 1

Химический состав модификаторов, % (по массе)

№ п/п	Ca	Фазы в сплавах	Fe	Si	Mg	Al	Тпл., °С
1.	3.5	(α -Al + CaAl ₄)	0.10	0.25	0.5	Остальное	625
2.	5.3	(α -Al + CaAl ₄)	0.20	0.35	0.7	Тоже	616
3.	7.5	(α -Al + CaAl ₄)	0.40	0.50	0.9	Тоже	630
4.	10.0	(α -Al + CaAl ₄)	1.00	1.00	1.0	Тоже	635

Примечание: фазы в сплавах, вызывающие эффект модифицирования:

1 – доэвтектическая; 2 – эвтектическая; 3 и 4 – заэвтектические.

Таблица 2

Механические и технологические свойства модифицированного сплава АЛ9 различными лигатурами (см. табл.1, условия процесса: литьё в кокиль, режим термообработки Т5)

№ лигатуры	Предел прочности, σ_b (МПа) при		Относительное удлинение, δ (%)	Твердость, НВ, (МПа)	Жидко-теку-честь, мм	Пористость, балл	Плотность, ρ (г/см ³)
	20°C	100°C					
0	310	250	6.0	80	365	2.50	-
1	345	325	7.0	110	650	1.50	2.70
2	365	330	7.2	118	685	1.70	2.76
3	350	335	7.0	115	688	1.80	2.80
4	357	325	7.1	110	690	1.80	2.74

Примечание: 0 – модифицированный сплав лигатурой прототипа №2

9

1740

10

Таблица 3.

Сравнительные характеристики сплава АЛ9, модифицированного различными лигатурами (условия процесса: литьё в кокиль, режим термообработки Т5)

№ лига- туры	Предел прочности, $\sigma_{\text{в}}$ (МПа) при		Относительное удлинение, δ (%)	Твердость, НВ,(МПа)	Жидко- теку-честь, мм	Порис- тость, балл	Плот- ность, ρ (г/см ³)
	20°С	100°С					
Предложенное							
1	345	325	7.0	110	650	1.50	2.70
2	365	330	7.2	118	685	1.70	2.76
3	350	335	7.0	115	688	1.80	2.80
4	357	325	7.1	110	690	1.80	2.74

Оптимальное							
2	365	330	7.2	118	685	1.70	2.76
3	350	335	7.0	115	688	1.80	2.80
Известное							
2	310	250	6.0	80	365	2.50	-

Компьютерный набор: Газиев М.

Заказ	Тираж	Подписное
Национальный патентно-информационный центр РТ 734042, г. Душанбе, ул. Айни, 14а		