



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

(12) **Описание изобретения** К МАЛОМУ ПАТЕНТУ

1

(21) 2101517

(22) 12.03.2021

(46) Бюл. 178, 2022

(71)(73) Холов Ё.Дж. (TJ)

(72) Ганиев И.Н. (TJ); Сафаров А.М. (TJ); Холов Ё.Дж. (TJ); Алиев Ф.А. (TJ); Джайлоев Дж.Х. (TJ); Якубов У.Ш. (TJ); Рашидов А.Р. (TJ);

Ф.С. Давлатзода (TJ); Абдулаков А.П. (TJ)

(54) **АЛЮМИНИЕВЫЙ ПРОВОДНИКОВЫЙ СПЛАВ**

(56) 1. Алиева С.Г., Альтман М.Б. и др. «Промышленные алюминиевые сплавы», М., Металлургия, 1984. 528 с.

2. Патент RU 2550063, МПК C22C 21/00, C22C 1/03, C23F 1/04, C22C 1/06, B22D 24/04, опубликован 10.05.2015.

(57) Изобретение относится к области металлургии, в частности к сплаву на основе алюминия, и может быть использовано при получении изделий электротехнического назначения при производстве

2

кабельно-проводниковой продукции для электропроводки зданий и сооружений. Проводниковый сплав на основе алюминия содержит, в мас. %: железо 0,1-0,5; магний 0,1-0,5; кремний 0,1-0,5; один металл из группы кальций, кадмий, сурьма 0,05-0,5, алюминий - остальное и характеризуется структурой, представляющей собой матрицу, образованную алюминиевым твердым раствором в котором равномерно распределены железосодержащие частицы в количестве не менее 1 об. %, имеющие средний размер не более 3 мкм, при этом суммарное количество кремния и магния в сплаве не превышает 1,0 мас. %. Сплав может быть получен в виде катанки или проволоки. Техническим результатом является увеличение коррозионной стойкости и технологической пластичности катанки или проволоки, полученной из предложенного сплава за счет образования компактных частиц железосодержащих фаз эвтектического происхождения.

Настоящее изобретение относится к области металлургии, в частности к сплаву на основе алюминия, и может быть использовано при получении изделий электротехнического назначения при производстве кабельно-проводниковой продукции для электропроводки зданий и сооружений.

Добавление в алюминий легирующих элементов приводит к снижению электропроводности, поэтому проволоку обычно делают из технического алюминия (А5Е или А7Е) или из низколегированных сплавов, что обеспечивает высокую электропроводность, малую плотность и хорошую коррозионную стойкость. Наибольшее распространение для производства электротехнической проволоки получил технический алюминий марок типа А5Е, в частности, примером применения такой проволоки является изготовление проводов для высоковольтных воздушных ЛЭП. В нагартованном состоянии проволока из технического алюминия обеспечивает удачное сочетание прочностных характеристик, удельного электросопротивления и стоимости проводниковой продукции. Однако ее низкий уровень относительного удлинения в нагартованном состоянии (обычно не превышает 2-4%), низкая стойкость к изгибам и многократным перегибам ограничивает ее широкое использование для внутренней проводки зданий и сооружений. Среди низколегированных сплавов для применения в электротехнике следует также выделить сплавы системы Al-Mg-Si типа АВЕ или 6101 [1]. Сплавы этого типа в виде проволоки в состоянии Т6 обеспечивают высокие значения прочностных характеристик не менее 295 МПа и удовлетворительный уровень относительного удлинения (обычно на уровне 6-8%). Среди недостатков сплавов этого типа следует выделить необходимость использования операции закалки в воду и более высокий уровень значений удельного электрического сопротивления (примерно на 15%) по сравнению с техническим алюминием типа А5Е.

Известны другие низколегированные алюминиевые сплавы серии 8xxx типа 8030 и 8176 [1], предназначенные для применения в кабельно-проводниковой продукции и содержащие (масс. %) 0,3-0,8% Fe; 0,15-0,3% Cu и 0,4-1% Fe; 0,03-0,15% Si, соответственно. К недостаткам указанных сплавов следует отнести то, что на верхнем пределе легирующих элементов, прежде всего по железу, указанные сплавы характеризуются низкой технологичностью при волочении из-за формирования относительно грубых прожилков железистых фаз, что приводит к повышенной обрывности при получении тонкой проволоки, а при низком содержании железа недостаточный уровень прочностных характеристик.

Наиболее близким аналогом к предложенному изобретению является техническое решение материал и способ его получения для кабеля на основе алюминиевого сплава с высоким относительным удлинением [2]. Материал содержит 0,30-1,20% Fe; 0,03-0,10% Si; 0,01-0,30% редкоземельные элементы (Ce

и La), а оставшуюся часть составляют алюминий и неизбежные примеси.

Среди недостатков данного сплава:

1) необходимость легирования сплава быстро окисляемыми на воздухе редкоземельными металлами,

2) приготовление расплава таких сплавов приводит к увеличенному шлакообразованию.

Задачей настоящего изобретения является создание нового проводникового сплава на основе алюминия, характеризующегося сочетанием высокого уровня коррозионной стойкости и высокого уровня значений удельной электрической проводимости не ниже 60% IACS -проводимость в % от проводимости меди (медь принять за 100%).

Техническим результатом является увеличение коррозионной стойкости и технологической пластичности проволоки, полученной из предложенного сплава за счет образования компактных частиц железосодержащих фаз эвтектического происхождения.

В соответствии с одним аспектом изобретения достижение указанного технического результата обеспечивается тем, что предложенный сплав на основе алюминия, содержащий железо, магний и кремний, при этом он дополнительно содержит, по меньшей мере, один металл, выбранный из группы, включающей кальций, кадмий, сурьма, при следующем соотношении компонентов:

Железо	0,1-0,5
Магний	0,1-0,5
Кремний	0,1-0,5
Один металл из группы кальций, кадмий, сурьма	0,05-0,5
Алюминий	Остальное

При этом структура сплава представляет собой матрицу, образованную алюминиевым твердым раствором, в котором равномерно распределены железосодержащие частицы в количестве не менее 1 об %, имеющие средний размер не более 3 мкм, при этом суммарное количество магния и кремния, одного металла из группы кальций, кадмий, сурьма в сплаве не превышает 1,0 мас. %.

Заявленный сплав предпочтительно характеризуется удельной электрической проводимостью при комнатной температуре не менее 60% IACS, а также относительным удлинением при комнатной температуре не менее 30%.

Для обеспечения достижения высокого уровня коррозионной стойкости и низкого уровня значений удельного электрического сопротивления структура проводникового материала должна представлять собой алюминиевый твердый раствор и компактные частицы эвтектических железосодержащих фаз. Обоснование заявляемых количеств легирующих компонентов, обеспечивающих достижение заданной структуры, в данном сплаве приведено ниже.

Железо в заявляемых количествах необходимо для повышения общего уровня механических

При содержании железа выше заявленного значения этот элемент будет оказывать значимое негативное влияние на удельное электрическое сопротивление сплава за счет снижения объемной доли алюминиевого раствора. Минимальное содержание железа соответствует достижению минимального уровня прочностных характеристик.

Магний в составе заявляемого сплава образует интерметаллид состава Mg_2Si , который в процессе термической обработки сплава и его отпуска, повышает механические свойства сплава.

Кремний в заявленном концентрационном диапазоне обеспечивает улучшение морфологии железосодержащих фаз кристаллизационного происхождения, при этом концентрация кремния обеспечивает его минимальное количество в алюминиевом твердом растворе и максимальное количество фазы Al_8Fe_2Si . При содержании кремния выше заявленного значения этот элемент будет оказывать значимое негативное влияние на удельное электрическое сопротивление сплава. Минимальное содержание кремния соответствует уровню примеси.

Кальций, кадмий, сурьма в заявляемых количествах необходим для улучшения морфологии железосодержащих фаз кристаллизационного происхождения, в частности фазы Al_8Fe_2Si , формирующихся в структуре при заданном содержании железа, без ухудшения других эксплуатационных характеристик, прежде всего, электропроводности. Такая структура будет обеспечивать высокую технологичность при прокатке литой заготовки до катанки и волочении катанки в проволоку. При меньших концентрациях одного элемента из группы кальций,

кадмий, сурьма их влияние будет недостаточным для обеспечения требуемой структуры, а повышение содержания выше верхнего предела не окажет значимого влияния на повышение технологичности при обработке давлением.

Сплавы для исследования получают путём расплавления алюминия марок А5Е или А7Е при температуре 750-800 °С и его легирования кристаллическим кремнием из расчёта 0.1-0.5 мас.%, лигатурой алюминия с железом (2.18%Fe) и одним элементом из группы кальций, кадмий, сурьма. Содержание железа в сплаве составляет 0.1-0.5 мас.%, одного элемента из группы кальций, кадмий, сурьма 0.05-0.5%.

Далее вводят металлической магний из расчёта 0.1-0.5 мас.% заворачивая его в алюминиевой фольге. Далее расплав перемешивают до полного расплавления компонентов сплава. Затем удаляют шлак с поверхности и отливают пробы для анализа и исследований свойств сплавов.

Пример 1

Для подтверждения концентрационного диапазона, при котором железо, магний, кремний и один элемент из группы кальций, кадмий, сурьма формируют преимущественно алюминиды эвтектического происхождения с объемной долей не менее 1 об. %, выполнен расчёт объемной доли железосодержащих алюминидов эвтектического происхождения.

Химический состав, фазовые составляющие сплавов эвтектического происхождения при температуре окончания кристаллизации приведены в таблице 1.

Химический и фазовый состав экспериментальных сплавов

Таблица 1.

№ п/п	Химический состав, мас.%						Фазовые составляющие
	Fe	Si	Mg	Ca	Cd	Sb	
1	0.35	0.5	0.5	—	—	—	(Al), Al_6Fe , Al_8Fe_2Si
2	0.30	0.5	0.5	0.5	—	—	(Al), Al_6Fe , Al_8Fe_2Si
3	0.45	0.5	0.5	—	0.5	—	(Al), Al_6Fe
4	0.45	0.5	0.5	—	—	0.5	(Al), Al_6Fe
5	1.1	0.5	0.5	—	—	—	(Al), Al_6Fe , Al_8Fe_2Si

В таблице 2 приведены механические свойства и электропроводность заявляемых сплавов.

Механические свойства и проводимость экспериментальных сплавов

Таблица 2.

№	$K \cdot 10^3$, г/м ² ·час	ρ , мкОм·мм	IACS, %	σ , МПа	δ , %
1	27,40	27,4	63,4	71	43
2	23,78	26,9	63,5	75	47
3	22,44	26,8	64,4	86	46
4	21,75	28,1	63,8	93	48
5	27,49	28,9	59,1	110	30

где:

ρ - удельное электрическое сопротивление, мкОм·мм;

IACS - проводимость, в % от содержания меди (медь принята за 100%);

σ_b - временное сопротивление разрыву, МПа;

δ_{50} - относительное удлинение на расчетной длине 50 мм, %.

$K \cdot 10^3$ - скорость коррозии сплавов, в среде электролита 3%-ного NaCl, г/м²·час.

Из представленных выше в таблице 2 данных видно, что только сплавы состава 2-4, соответствующие заявленному диапазону количественного содержания компонентов, обеспечивают требуемые значения массовой доли железистых составляющих, проводимости, коррозионной стойкости и механических свойств на разрыв. Сплав состава 1 не удовле-

творяет заявленным требованиям по значению временного сопротивления на разрыв, а сплав состава 5 не удовлетворяет требованиям по значениям удельного электрического сопротивления и относительно удлинения.

ПРИМЕР 2

Проволока диаметром 1,8 мм, полученная из катанки сплава составов 3 и 4, испытана на стойкость к перегибам в сравнении с проволокой, полученной из технического алюминия марки А5Е (ГОСТ 11069-2001). Испытание заключалось в многократном двойном перегибе на угол 90° от вертикального положения образца проволоки в обе стороны до разрушения. Результаты испытаний приведены в таблице 3. Высокая технологическая пластичность обеспечивается большой объемной долей эвтектических фаз с размером не более 3 мкм.

Таблица 3- Количество двойных перегибов проволоки до разрушения

№	Число перегибов
3	11
4	14
А5Е	5

Формула изобретения

Алюминиевый проводниковый сплав, содержащий железо, магний и кремний, *отличающийся тем, что* он дополнительно содержит один металл из группы кальций, кадмий, сурьма, при следующем соотношении компонентов, в мас. %:

железо - 0,1-0,5

магний - 0,1-0,5
 кремний - 0,1-0,5
 один металл из группы кальций, кадмий, сурьма - 0,05-0,5
 алюминий - остальное

Компьютерный набор: Нигораи А.