

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **033930**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2019.12.11

(51) Int. Cl. **C22C 21/00 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201800392

(22) Дата подачи заявки
2017.04.17

(54) ПРОВОДНИКОВЫЙ АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ И ИЗДЕЛИЕ ИЗ НЕГО

(31) **2016121619**

(56) US-B2-9099218
US-A1-20120121456
RU-A-2007114603
RU-C1-2258094
US-A1-20080060723

(32) **2016.05.31**

(33) **RU**

(43) **2018.12.28**

(86) **PCT/RU2017/000238**

(87) **WO 2017/209646 2017.12.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"ОБЪЕДИНЕННАЯ КОМПАНИЯ
РУСАЛ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Крохин Александр Юрьевич, Алабин
Александр Николаевич, Зайцев
Антон Сергеевич, Фролов Виктор
Федорович, Трифоненков Леонид
Петрович, Стрелов Александр
Владимирович (RU)**

(57) Изобретение относится к области металлургии, в частности к сплаву на основе алюминия, а также изделию из указанного сплава, и может быть использовано при получении изделий электротехнического назначения при производстве кабельно-проводниковой продукции для электропроводки зданий и сооружений. Техническим результатом является увеличение технологической пластичности проволоки, полученной из предложенного сплава за счет образования компактных частиц железосодержащих фаз эвтектического происхождения. Сплав содержит железо и кремний, при этом он дополнительно содержит по меньшей мере один элемент из группы, включающей никель и медь при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 0,3-1,0; кремний 0,04-0,15; никель 0,005-0,2; медь 0,1-0,3; 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 меди в сплаве не превышает 0,35 мас. %.

B1**033930****033930****B1**

Область техники, к которой относится изобретение

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

Уровень техники

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 (Алиева С.Г., Альтман М.Б. и др. "Промышленные алюминиевые сплавы", М., Металлургия, 1984, 528 с). 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 8xxx серии типа 8030 и 8176 (Алиева С.Г., Альтман М.Б. и др. "Промышленные алюминиевые сплавы", М., Металлургия, 1984, 528 с), предназначенные для применения в кабельно-проводниковой продукции и содержащие (мас.%) 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 прожилок 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, раскрытое в патенте RU 2550063, МПК C22C 21/00, C22C 1/03, C23F 1/04, C22C 1/06, B22D 24/04, опубликован 10.05.2015, где предложен материал и способ его получения для кабеля на основе алюминиевого сплава с высоким относительным удлинением. Материал содержит 0,30-1,20% Fe, Si 0,03-0,10%, редкоземельные элементы (Ce и La) 0,01-0,30%, а оставшуюся часть составляют Al и неизбежные примеси. Среди недостатков данного сплава является: 1) необходимость легирования сплава быстро окисляемыми на воздухе редкоземельными металлами, 2) приготовление расплава таких сплавов приводит к увеличенному шлакообразованию.

Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является создание нового проводникового сплава на основе алюминия, характеризующегося сочетанием высокого уровня механических свойств (не ниже 75 МПа) и высокого уровня значений удельной электрической проводимости (не ниже 60% IACS).

Техническим результатом является увеличение 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 содержит железо и кремний, при этом он дополнительно содержит по меньшей мере один металл, выбранный из группы, включающей никель и медь, при следующем соотношении компонентов:

Железо	0,3-1,0
Кремний	0,04-0,15
Никель	0,005-0,2
Медь	0,1-0,3
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 кремния и меди в сплаве не превышает 0,35 мас.%.

В одном предпочтительном варианте осуществления изобретения достижение технического результата обеспечивается тем, что предложенный сплав на основе алюминия содержит железо и кремний, при этом он дополнительно содержит по меньшей мере один металл, выбранный из группы, включающей никель и медь, при следующем соотношении компонентов:

Железо	0,4-0,5
Кремний	0,04-0,08
Никель	0,005-0,1
Медь	0,1-0,2
Алюминий	остальное.

В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения достижение технического результата обеспечивается тем, что предложенный сплав на основе алюминия характеризуется следующим соотношением компонентов:

Железо	0,5-1,0
Кремний	0,04-0,15
Никель	0,005-0,2
Алюминий	остальное.

В другом предпочтительном варианте осуществления изобретения достижение технического результата обеспечивается тем, что предложенный сплав на основе алюминия характеризуется следующим соотношением компонентов:

Железо	0,3-1,0
Кремний	0,04-0,07
Медь	0,1-0,3
Алюминий	остальное.

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

В соответствии с другим аспектом заявленное изобретение относится к изделию, изготовленному из сплава на основе алюминия, который описан выше.

В частном варианте осуществления заявленное изделие может быть получено в виде катанки или проволоки, характеризующихся удельной электрической проводимостью при комнатной температуре не менее 60% IACS и относительным удлинением при комнатной температуре не менее 30%.

В соответствии с другим аспектом заявленное изобретение относится к применению вышеуказанного сплава для получения изделия, представляющего собой катанку или проволоку.

Краткое описание чертежей

На чертеже показана типичная структура сплава, соответствующая составу № 4.

Осуществление изобретения

Для обеспечения достижения высокого уровня механических свойств и низкого уровня значений удельного электрического сопротивления структура проводникового материала должна представлять собой алюминиевый 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 свойств технического алюминия без значимого увеличения удельного электрического сопротивления. 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.

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.

Никель в заявляемых количествах необходим для улучшения морфологии железосодержащих фаз кристаллизационного происхождения, в частности фазы Al_3FeNi , 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 никеля его влияние будет недостаточным для обеспечения требуемой структуры, а повышение содержания выше верхнего

предела не окажет значимого влияния на повышение технологичности при обработке давлением.

Медь в заявляемых количествах необходима для повышения прочностных характеристик за счет твердорастворного упрочнения. При меньших концентрациях меди не будет достигнут требуемый уровень прочностных свойств, а при более высоких концентрациях медь будет оказывать значимое влияние на удельное электрическое сопротивление.

Примеры осуществления изобретения

Пример 1.

Для подтверждения концентрационного диапазона, при котором железо, кремний и никель формируют преимущественно алюминиды эвтектического происхождения с объемной долей не менее 1 об.%, выполнен расчет объемной доли железосодержащих алюминидов эвтектического происхождения, содержащих железо, кремний и никель с использованием программы Thermocalc (база данных TTAL5). Химический состав, фазовые составляющие и расчетная массовая доля Fe-содержащих фаз (Q_m) эвтектического происхождения (Al_6Fe , Al_9FeNi и Al_8Fe_2Si) при температуре окончания кристаллизации приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав экспериментальных сплавов, фазовый состав и расчетная суммарная объемная доля железосодержащих фаз

№	Химический состав, масс. %					Фазовые составляющие	$\Sigma Q_m(Fe)$, масс. %
	Fe	Si	Ni	Cu	Al		
1	0,25	0,20	0,00 1	0,00 1	ост.	(Al), Al_6Fe , Al_8Fe_2Si	0,65
2	0,30	0,05	0,20	-	ост.	(Al), Al_9FeNi	1,39
3	0,33	0,05	-	0,20	ост.	(Al), Al_6Fe	1,03
4	0,45	0,07	0,00 5	-	ост.	(Al), Al_6Fe , Al_9FeNi	1,31
5	1,0	0,15	-	0,1	ост.	(Al), Al_6Fe	3,67
6	0,7	0,04	0,08	0,3	ост.	(Al), Al_6Fe , Al_9FeNi	2,58
7	1,1	0,03	0,22	0,35	ост.	(Al), Al_6Fe , Al_9FeNi	4,33

$\Sigma Q_m(Fe)$ - сумма массовой доли всех Fe-содержащих фаз

Оценку влияния химического состава на проводимость и механические свойства сплава составов 1, 2, 3, 6 и 7 (табл. 1) оценивали на прокатанных листах в отожженном состоянии по значениям удельного электрического сопротивления (ρ), значениям временного сопротивления на разрыв (σ_b) и значениям относительного удлинения (δ). Результаты измерений приведены в табл. 2. Способ получения образцов включал: литье слитков в графитовую изложницу сечением 40×120, прокатку (с начальной температурой заготовки 500°C) со степенью обжатия 97% и термическую обработку листов при 350°C в течение 3 ч.

Таблица 2. Механические свойства и проводимость экспериментальных сплавов

№	ρ , мкОм·мм	IACS, %	σ_b , МПа	δ_{50} , %
1	27,3	63,2	72	44
2	27,2	63,4	75	44
3	27,4	62,9	85	36
6	28,5	60,5	98	46
7	29,3	58,8	109	28

см. табл. 1, 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, %.

Из представленных выше табл. 1 и 2 видно, что только составы 2-6, соответствующие заявленному диапазону количественного содержания компонентов, обеспечивают требуемые значения массовой доли железистых составляющих, проводимости и механических свойств на разрыв. Сплав состава 1 не удовлетворяет заявленным требованиям по значению временного сопротивления на разрыв, а сплав состава 7 не удовлетворяет требованиям по значениям удельного электрического сопротивления и относительного удлинения.

Пример 2.

Из сплавов составов 3 и 4 в промышленных условиях предприятия ИркАЗ было выполнено опытно-промышленное производство алюминиевой катанки. Термическая обработка бухт катанки состава 3 выполнена при температуре 550°C с выдержкой в течение 12 ч (550°C, 12 ч), а катанки состава 4 выполнена при температуре 390°C с выдержкой в течение 15 ч (390°C, 15 ч). Результаты измерения удельного электрического сопротивления и механических свойств катанки для нагартованного состояния (Н) и отожженного приведены в табл. 3.

Таблица 3. Характеристики катанки в отожженном состоянии

№ ¹	Обозначение состояния	ρ , мкОм·мм	IACS, %	σ_b , МПа	δ_{200} , %
3	H	28,5	60,5	135	11,5
	550 °C, 12 ч	27,9	61,8	85	34
4	H	28,4	61,6	131	12,3
	390 °C, 15 ч	27,5	62,6	80	39

см. табл. 1, где

H - нагартованное состояние;

ρ - удельное электрическое сопротивление, мкОм·мм;

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

σ_b - временное сопротивление разрыву, МПа;

δ_{200} - относительное удлинение на расчетной длине 200 мм, %.

Пример 3.

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 табл. 4. Высокая технологическая пластичность обеспечивается большой объемной долей эвтектических фаз с размером не более 3 мкм. Типичная структура сплава состава № 4 приведена на фиг. 1.

Таблица 4. Количество двойных перегибов проволоки до разрушения

№ ¹	Число перегибов
3	10
4	14
А5Е	5

см. табл. 1.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Сплав на основе алюминия, содержащий железо и кремний, при этом он дополнительно содержит по меньшей мере один металл из группы, включающей никель и медь, при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 0,3-1,0, кремний 0,04-0,15, никель 0,005-0,2, медь 0,1-0,3, 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 меди в сплаве не превышает 0,35 мас. %.

2. Сплав по п.1, характеризующийся следующим соотношением компонентов, мас. %: железо 0,4-0,5, кремний 0,04-0,08, никель 0,005-0,1, медь 0,1-0,2, алюминий - остальное.

3. Сплав по п.1, содержащий железо и кремний, при этом он дополнительно содержит никель, при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 0,5-1,0, кремний 0,04-0,15, никель 0,005-0,2, алюминий - остальное.

4. Сплав по п.1, содержащий железо и кремний, при этом он дополнительно содержит медь, при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 0,3-1,0, кремний 0,04-0,07, медь 0,1-0,3, алюминий - остальное.

5. Сплав по п.1, характеризующийся значением удельной электрической проводимости при комнатной температуре не менее 60% IACS.

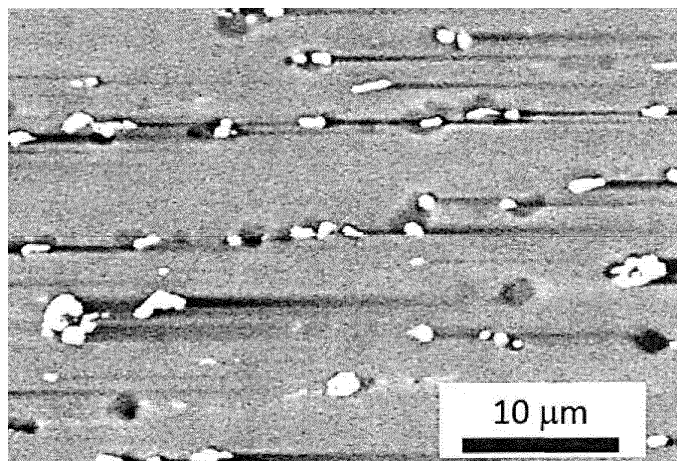
6. Сплав по п.1, характеризующийся значением относительного удлинения при комнатной температуре не менее 30%.

7. Изделие из сплава на основе алюминия, характеризующееся тем, что оно изготовлено из сплава по любому из пп.1-3.

8. Изделие по п.7, характеризующееся тем, что оно выбрано из группы, включающей катанку и проволоку.

9. Применение сплава по любому из пп.1-6 для получения изделия, выбранного из группы, включающей катанку и проволоку.

033930



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
