

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039327**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.01.13

(51) Int. Cl. **C22C 21/00** (2006.01)
C22F 1/04 (2006.01)

(21) Номер заявки
202092076

(22) Дата подачи заявки
2020.10.01

(54) АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

(31) 2020102035

(32) 2020.01.20

(33) RU

(43) 2021.07.31

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"ОБЪЕДИНЕННАЯ КОМПАНИЯ
РУСАЛ ИНЖЕНЕРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР" (RU)**

(56) RU-C1-2458151
JPS-A-558428
RU-C2-2541263
JPS-A-5864363
JPS-A-59226156
RU-C2-2696797

(72) Изобретатель:

**Крохин Александр Юрьевич, Зайцев
Антон Сергеевич, Трифоненков
Леонид Петрович, Сальников
Александр Владимирович, Алабин
Александр Николаевич (RU)**

(74) Представитель:

Панова С.А. (RU)

(57) Изобретение относится к области металлургии проводниковых алюминиевых сплавов и может быть использовано для изготовления изделий электротехнического назначения, в частности гибких кабелей или экранов силовых кабелей. Проводниковый алюминиевый сплав содержит, мас. %: железо - 0,40-0,60; цирконий - 0,05-0,10; кремний - до 0,07; по меньшей мере один примесный элемент, выбранный из группы титан, хром, ванадий, марганец, - до 0,015; алюминий и неизбежные примеси - остальное, при этом сплав имеет структуру, состоящую из алюминиевой матрицы, вторичных выделений и эвтектической фазы, причем алюминиевая матрица содержит кремний и цирконий, а эвтектическая фаза - по меньшей мере один элемент из группы, содержащей кремний и железо, со средним поперечным размером не более 3 мкм. Техническим результатом изобретения является повышение технологичности катанки из сплава при волочении в проволоку малых диаметров, а также расширение арсенала проводниковых алюминиевых сплавов системы Al-Fe с добавкой циркония и кремния, обладающих высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью и прочностью, в том числе после высокотемпературных нагревов.

B1

039327

039327

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к области металлургии проводниковых алюминиевых сплавов и может быть использовано для изготовления изделий электротехнического назначения, в частности гибких кабелей или экранов силовых кабелей.

Уровень техники

Известны марки алюминия и алюминиевых сплавов, широко применяемых при производстве изделий электротехнического назначения. В частности, технически чистый алюминий марки А5Е и А7Е с содержанием алюминия 99,5 и 99,7 мас.% соответственно используется для изготовления токопроводящих жил кабелей и проводов ЛЭП. Проводниковый алюминий марок А5Е и А7Е имеет достаточно высокие значения электропроводности, средний уровень механической прочности и хорошую коррозионную стойкость. В кабельной промышленности используется также алюминиевый сплав марки АВЕ системы Al-Si-Mg, который имеет повышенную механическую прочность, но по сравнению с алюминием марок А5Е и А7Е, значительно более низкую электропроводность и плохую коррозионную стойкость.

Общим недостатком алюминия марки А5Е, А7Е и алюминиевого сплава АВЕ является их низкая термическая стабильность из-за сильного разупрочнения при нагревах выше 100°C. Свойства сплава АВЕ сильно изменяются при нагревах, и он не технологичен при волочении проволок диаметром менее 1,0 мм. Существенного повышения термической стабильности проводниковых алюминиевых сплавов можно добиться за счет введения переходных металлов, в первую очередь повышая содержание железа и добавляя в сплавы цирконий. Известны проводниковые алюминиевые сплавы, содержащие цирконий и редкоземельные металлы с высоким уровнем прочностных характеристик, в том числе при повышенных температурах (патент РФ № 2441090, С22С 21/00, опубл. 27.01.2012 г. и патент РФ № 2659546, С22С 21/00, С22F 1/04, опубл. 02.07.2018 г.). Однако все эти сплавы обладают низкой технологичностью при получении проволок диаметром менее 1,0 мм.

Известен алюминиевый сплав (патент РФ № 2636548, С22С 21/00, опубл. 23.11.2017 г.), содержащий, мас.-%: цирконий - 0,2-0,32; железо - 0,15-0,42; кремний - 0,02-0,1; титан, хром, ванадий, марганец в сумме - 0,01-0,04; магний, медь, цинк в сумме - 0,01-0,07; никель - 0,005-0,1; бор - 0,001-0,01; один из редких или редкоземельных металлов из группы, включающей ниобий, церий, иттрий, скандий, - 0,005-0,2; алюминий - остальное. Основным недостатком этого сплава - низкая технологичность сплава при волочении тонких проволок и высокое удельное электрическое сопротивление, что требует использования продолжительных выдержек при термической обработке.

Наиболее близким к предложенному изобретению является сплав типа 8176 по ГОСТ Р 58019-2017. Сплав 8176 в качестве легирующего элемента содержит железо в диапазоне 0,40-0,50 мас.%, а остальное - алюминий и неизбежные примеси. Основным недостатком этого сплава - низкая технологичность сплава при волочении проволок диаметрами менее 1,0 мм.

Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является повышение технологичности катанки из сплава при волочении в проволоку малых диаметров, а также расширение арсенала проводниковых алюминиевых сплавов системы Al-Fe с добавкой циркония и кремния, обладающих высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью и прочностью, в том числе после высокотемпературных нагревов.

Технический результат изобретения заключается в реализации поставленной задачи.

Технический результат достигается за счет того, что в проводниковом алюминиевом сплаве, содержащем железо, цирконий и кремний, новым является то, что сплав содержит компоненты в следующем соотношении, мас.-%: железо - 0,40-0,60; цирконий - 0,05-0,10; кремний - до 0,07; по меньшей мере один примесный элемент, выбранный из группы титан, хром, ванадий, марганец, - до 0,015; алюминий и неизбежные примеси - остальное, при этом сплав имеет структуру, состоящую из алюминиевой матрицы, вторичных выделений и эвтектической фазы, причем алюминиевая матрица содержит цирконий, а эвтектическая фаза - по меньшей мере один элемент из группы, содержащей кремний и железо, со средним поперечным размером не более 3 мкм.

В частных исполнениях

не менее 30% от общего количества циркония в сплаве представлено в виде вторичных выделений фазы Al_3Zr с решеткой типа $L1_2$ с размером не более 20 нм;

железо перераспределяется между по меньшей мере одной эвтектической фазой типа Al_8Fe_2Si и/или Al_6Fe .

Технический результат достигается также за счет того, что катаное изделие выполнено из указанного алюминиевого сплава.

В частных исполнениях

изделие изготовлено в виде катанки или проволоки диаметром менее 1,0 мм.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 показана типичная микроструктура катанки и характерный вид железосодержащих фаз типа Al_8Fe_2Si .

На фиг. 2 показан характерный вид включений Al_3Zr типа $L1_2$ в микроструктуре катанки.

Сущность изобретения

Железо (в диапазоне 0,40-0,60 мас.%) в присутствии кремния (до 0,07 мас.%) необходимы для обеспечения в структуре эвтектических фаз в виде компактных частиц, преимущественно фазы Al_8Fe_2Si и/или Al_6Fe . Наличие эвтектических фаз благоприятно сказывается на технологичности при литье заготовки при производстве катанки и волочении в проволоку малых диаметров. При этом высокая объемная доля эвтектических фаз и их малый размер (не более 3 мкм в поперечном направлении) повышают прочностные свойства и термостойкость алюминиевого сплава и снижают его ползучесть. Избыток железа (>0,60 мас.%) приводит к снижению коррозионной стойкости и электропроводности, а его недостаток (<0,40 мас.%) - к снижению прочности и технологичности. Избыток кремния выше 0,07 мас.% будет снижать проводимость. При этом избыток железа увеличивает склонность к формированию ликватов, что может приводить к увеличению максимального поперечного размера эвтектических фаз, содержащих по меньшей мере один элемент из группы кремний и железо, и, как следствие, ухудшению технологичности при волочении.

Выбор циркония обусловлен его значимым влиянием на термостойкость алюминиевых сплавов и сравнительно доступной стоимостью. Добавки циркония в алюминиевые сплавы обеспечивают образование вторичных выделений фазы Al_3Zr . Наличие вторичных выделений фазы Al_3Zr с решеткой типа $L1_2$ и размером не более 20 нм благоприятно сказывается на повышении термостойкости, повышении прочностных характеристик, а за счет повышения стойкости к процессам возврата и рекристаллизации снижается ползучесть, а также уменьшаются окислительные процессы (коррозия) под действием электрического тока высокого напряжения. Избыток циркония (>0,10 мас.%) приводит к снижению относительно удлинения и электропроводности сплава, а его недостаток (<0,05 мас.%) - к снижению термостойкости и прочности.

Содержание железа и циркония в заявленных пределах в сочетании с требуемой структурой позволяет обеспечить достаточную термостойкость сплава до 150°C.

В сумме тяжелые металлы: титан, хром, ванадий и марганец - должны находиться в типичных пределах для электротехнических материалов и не превышать 0,015 мас.%. Избыток суммы тяжелых металлов (>0,015 мас.%) приводит к снижению электропроводности сплава.

Исходной заготовкой для получения проволоки из алюминиевого сплава является катанка диаметром 8-16 мм, получаемая либо на прокатном стане, либо из расплавленного металла совмещенными методами непрерывного литья и прокатки-прессования, либо совмещенными способами из твердой заготовки по схеме прокатка-прессование, либо с использованием любых других установок, работающих по схемам с интенсивной пластической деформацией.

Примеры реализации изобретения

Для определения оптимального химического состава было приготовлено несколько вариантов алюминиевого сплава с разным содержанием железа, циркония и кремния. Химический состав в мас.% приведен в табл. 1. На участке между миксером и кристаллизатором в раздаточный желоб для измельчения структуры литой заготовки подавали лигатурный пруток марки Al-5%Ti-1%B.

Таблица 1

Варианты сплава	Основные компоненты			Примеси	Прочие примеси	
	Fe	Zr	Si	Сумма Ti, V, Cr, Mn	каждый	сумма
1	0,35	0,03	0,10	0,013	0,02	0,15
2	0,40	0,10	0,07	0,013	0,02	0,15
3	0,50	0,08	0,05	0,014	0,02	0,15
4	0,60	0,05	0,01	0,015	0,02	0,15
5	0,65	0,12	0,05	0,016	0,02	0,15

Из разных вариантов химического состава сплава (табл. 1) была изготовлена катанка на прокатном стане, представляющем собой одну непрерывную линию, на входе в которую подается годный по химическому составу жидкий расплав, а на выходе получается катанка диаметром 9,5 мм, упакованная в бухты весом до 2 т. Параметры структуры катанки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты сплава	Максимальный поперечный размер эвтектических фаз, мкм	Эвтектические фазы	Размер вторичных выделений Al_3Zr $L1_2$	Доля циркония*, %
1	2,1	Al_8Fe_2Si и Al_6Fe	-	0
2	2,2	Al_8Fe_2Si и Al_6Fe	16	39
3	2,4	Al_8Fe_2Si и Al_6Fe	19	33
4	3,0	Al_6Fe	20	30
5	4,1	Al_8Fe_2Si и Al_6Fe	30	21

* - доля от общего количества циркония в сплаве, представленного в виде вторичных выделений фазы Al_3Zr .

Для повышения технологичности при волочении бухты катанки отжигали в электрических печах

садового типа по специальным режимам. В табл. 3 приведены физико-механические свойства катанки, полученной из сплавов с различными химическими составами.

Таблица 3

Варианты сплава	Вид полуфабриката	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Удельное электрическое сопротивление, Ом*мм ² /м	Термостойкость при 150°С	Технологичность при волочении на проволоку Ø 0,6 мм
1	катанка Ø 9,5 мм	66,0	44,0	0,0280	неудовлетворительная	неудовлетворительная
2	катанка Ø 9,5 мм	81	34,0	0,0286	хорошая	хорошая
3	катанка Ø 9,5 мм	82	34,0	0,0286	хорошая	хорошая
4	катанка Ø 9,5 мм	84	33,0	0,0284	хорошая	хорошая
5	катанка Ø 9,5 мм	102	12,0	0,0290	неудовлетворительная	неудовлетворительная

Временное сопротивление разрыву и относительное удлинение катанки определяли по ГОСТ 1497-84. Удельное электрическое сопротивление катанки (обратная величина электропроводности) определяли по ГОСТ 7229-76. Термостойкость катанки определяли при температуре 150°С в соответствии с требованиями ИЕС 62004. Технологичность катанки определяли при волочении проволоки на диаметр 0,6 мм. Для оценки коррозионной стойкости образцов проволоки, полученной из катанки, использовали камеру с нейтральным солевым раствором, где проводили испытания в соответствии с ГОСТ 30630.2.5-2013. Результаты физико-механических свойств проволок, полученных из катанки с различными вариантами химического состава, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Варианты сплава	Вид полуфабриката	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Удельное электрическое сопротивление, Ом*мм ² /м	Коррозионная стойкость
1	проволока Ø 0,6 мм	144	8,0	0,0284	неудовлетворительная
2	проволока Ø 0,6 мм	168	6,0	0,0289	хорошая
3	проволока Ø 0,6 мм	166	6,0	0,0289	хорошая
4	проволока Ø 0,6 мм	170	5,0	0,0288	хорошая
5	проволока Ø 0,6 мм	181	1,0	0,0298	неудовлетворительная

Из полученных результатов следует, что только составы сплава 2-4 удовлетворяют требованиям по технологичности и удельному сопротивлению. Состав сплава 1 содержит низкую концентрацию циркония, что не позволило сформировать в структуре требуемое количество вторичных частиц для обеспечения требуемой термостойкости. Сплав состава 5 показал низкую технологичность ввиду большого количества грубых частиц с поперечным размером более 3 мкм, при этом размер частиц превышал 20 нм, что не позволило обеспечить требуемую термостойкость.

Предложенный сплав позволяет изготавливать из него токопроводящие жилы проводов и экраны силовых кабелей предпочтительно диаметром менее 1,0 мм. Кроме того, способность сплава к обработке волочением расширяет возможности изготовления из него деформируемых изделий различного диаметра с высокими коэффициентами использования материала и низкой себестоимостью.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Проводниковый алюминиевый сплав, содержащий железо, цирконий и кремний, отличающийся тем, что он содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: железо - 0,40-0,60; цирконий - 0,05-0,10; кремний - до 0,07; по меньшей мере один примесный элемент, выбранный из группы титан, хром, ванадий, марганец, - до 0,015; алюминий и неизбежные примеси - остальное, при этом сплав имеет структуру, состоящую из алюминиевой матрицы, вторичных выделений и эвтектической фазы, причем алюминиевая матрица содержит кремний и цирконий, а эвтектическая фаза - по меньшей мере один элемент из группы, содержащей кремний и железо, со средним поперечным размером не более 3 мкм.

2. Сплав по п.1, отличающийся тем, что не менее 30% от общего количества циркония находится в сплаве в виде вторичных выделений фазы Al₃Zr с решеткой типа L1₂ с размером не более 20 нм.

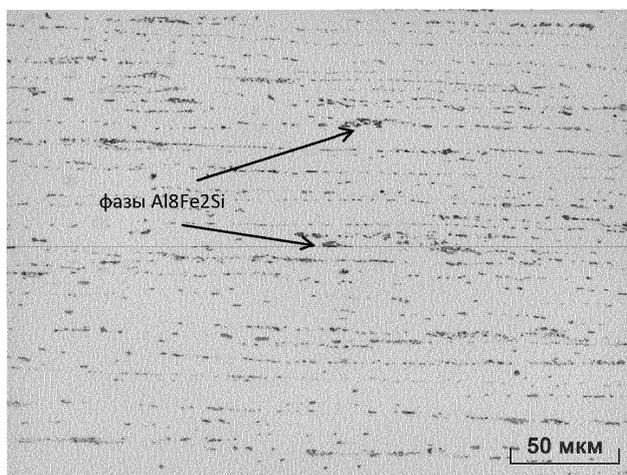
3. Сплав по п.1, отличающийся тем, что железо перераспределяется между по меньшей мере одной эвтектической фазой типа Al_8Fe_2Si и/или Al_6Fe .

4. Катаное изделие из проводникового алюминиевого сплава, отличающееся тем, что оно выполнено из алюминиевого сплава по любому из пп.1-3.

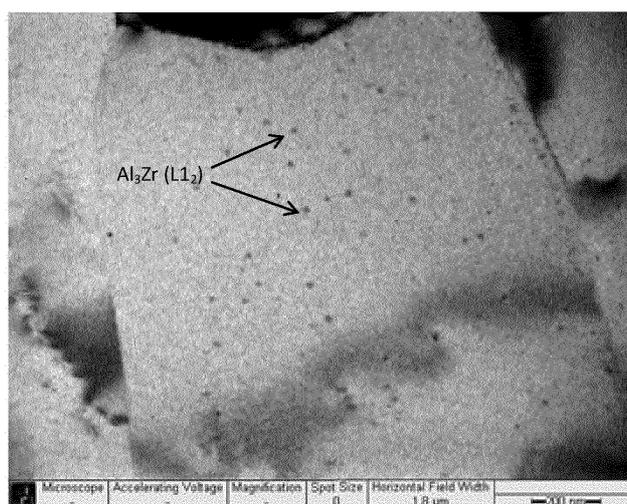
5. Изделие по п.4, отличающееся тем, что оно изготовлено в виде катанки.

6. Изделие по п.4, отличающееся тем, что оно изготовлено в виде проволоки.

7. Изделие по п.6, отличающееся тем, что оно изготовлено в виде проволоки диаметром менее 1,0 мм.



Фиг. 1



Фиг. 2

