



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ
ВЕДОМСТВО

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

1

(21) 2201653
(22) 17.03.2022
(46) Бюл. 192, 2023
(71)(73) Государственное научное учреждение "Физико-технический институт им. С.У. Умарова" Национальной академии наук Таджикистана (TJ)
(72) Ганиев И.Н. (TJ); Шокиров Ф.Ш. (TJ); Холмуродов Ф. (TJ); Файзуллоев Р.Дж. (TJ); Ботуров К. (TJ); Сафаров А.Г. (TJ); Зокиров Ф.Ш. (TJ); Якубов У.Ш. (TJ); Рашидов А.Р. (TJ)
(54) **АЛЮМИНИЕВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ СПЛАВ**
(56) [1] Патент РФ № 2441090, C22C21/00, опубл. 27.01.2012г.
[2] Патент РФ №2659546, C22C21/00, C22F1/04, опубл. 02.07.2018г.
[3] Патент РФ № 2636548, C22C21/00, опубл. 23.11.2017г.
[4] ГОСТ Р 58019-2017.

(57) Изобретение относится к области металлургии алюминиевых электротехнических сплавов и может быть использовано для изготовления изделий электротехнического назначения, в частности гибких кабелей или экранов и оболочек силовых кабелей. Алюминиевый электротехнический сплав содержит, мас. %:

2

железо - 0.40-0.60
титан - 0.05-0.10
кремний до - 0.10
один из металлов группы кальций, стронций и барий - 0.05-0.10
алюминий и неизбежные примеси - остальное.
Предложенный сплав имеет структуру, состоящую из алюминиевой матрицы и вторичных выделений и эвтектической фазы, причем алюминиевая матрица содержит кремний и титан, 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 коррозионной стойкости и технологичности катанки из сплава при волочении в проволоку малых диаметров, а также расширение арсенала электротехнических алюминиевых сплавов системы Al-Fe с добавкой титана, кремния и щелочноземельных металлов обладающих высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью и прочностью, в том числе после высокотемпературных нагревов.

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

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 линий электропередач 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 свыше 100 °С. 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 титан. Известны проводниковые алюминиевые сплавы, содержащие цирконий и редкоземельные металлы с высоким уровнем прочностных характеристик, в том числе при повышенных температурах [1, 2]. Однако все эти сплавы обладают низкой технологичностью при получении проволок диаметром менее 1,0 мм.

Известен алюминиевый сплав [3], содержащий, мас. %: цирконий 0.2-0.32; железо 0.15-0.42; кремний 0.02-0.1; титан, хром, ванадий, марганца 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; 0.005-0.2 одного из редких или редкоземельных металлов из группы, включающей ниобий, церий, иттрий, скандий, алюминий - остальное. Основными недостатками 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 [4]. Сплав 8176 в качестве легирующего элемента содержит железо в диапазоне 0.40-0.50 мас.%, силиций – 0,07, сумму примесей титана, хрома, ванадия и марганца до 0,015, а остальное алюминий и неизбежные примеси. Основной недостаток этого сплава - низкая коррозионная стойкость и технологичность сплава при волочении проволок диаметрами менее 1,0 мм.

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 титана и кремния, обладающих высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью и прочностью, в том числе после высокотемпературных нагревов.

Технический результат достигается тем, что электротехнический алюминиевый сплав, содержащий железо, кремний и титан дополнительно содержит один из металлов группы кальций, стронций, барий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

железо - 0.40-0.60

титан - 0.05-0.10

кремний до - 0.10

один из металлов группы кальций, стронций, барий - 0.05-0.10

алюминий и неизбежные примеси - остальное.

При этом сплав имеет структуру, состоящую из алюминиевой матрицы и вторичных выделений и эвтектической фазы, причем алюминиевая матрица содержит кремний и титан, 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: 1) не менее 30% от общего количества титана в сплаве представлено в виде вторичных выделений фазы Al_3Ti с решеткой типа $L1_2$ с размером не более 20 нм. 2) 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 изделие изготовлено из указанного алюминиевого сплава. В частных исполнениях: изделие изготовлено в виде катанки или проволоки диаметром менее 1,0 мм.

Сущность изобретения заключается в том, что железо (в диапазоне 0.40-0.60 мас.%) в присутствии кремния (до 0.1 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) повышает прочностные свойства и термостойкость алюминиевого сплава и снижает 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 0.10 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 ухудшение технологичности при волочении.

Выбор титана обусловлен его значимым влиянием на термостойкость алюминиевых сплавов, сравнительно доступной стоимостью. Добавки тита

на в алюминиевые сплавы обеспечивают образование вторичных выделений фазы Al_3Ti . Наличие вторичных выделений фазы Al_3Ti с решеткой типа $L1_2$ и размером не более 20 нм благоприятно сказывается на повышении термостойкости, повышении прочностных характеристик, за счет повышения стойкости к процессам возврата и рекристаллизации, снижается ползучесть, уменьшаются окислительные процессы (коррозия) под действием электрического тока высокого напряжения. Избыток титана (>0.10 мас.%) приводит к снижению относительного удлинения и электропроводности сплава, а его недостаток (<0.05 мас.%) к снижению термостойкости и прочности.

Содержание железа и титана в заявленных пределах в сочетании с требуемой структурой позволяет обеспечить достаточную термостойкость сплава до $150^\circ C$.

Добавки щелочноземельных металлов - кальция, стронция и бария в пределах 0.05-0.10 мас.% играя роль модификатора структуры алюминиевых сплавов способствуют глобуляризации выделений фазы Al_3Ti и эвтектических выделений железосодержащих фаз Al_8Fe_2Si и/или Al_6Fe и тем самым способствуют росту коррозионной стойкости сплава. Избыток щелочноземельных металлов (более 0,10 мас.%) приводит к снижению электропроводности сплава.

Химический состав и электрохимические характеристики исследованных сплавов приведены в таблице. Исследование коррозионно-электрохимического поведения алюминиевых сплавов, легированных кальцием, стронцием и барием проводилось в растворе хлорида натрия с концентрацией 0.03%, с помощью потенциостата ПИ-50.1.1 с выходом на программатор ПР-8 и самописцем ЛКД-4. Температура раствора в ячейке поддерживалась постоянная ($20^\circ C$) с помощью термостата МЛШ-8. Электродом сравнения служил хлорид-серебряный, вспомогательным – платиновый электрод.

Исследование проводилось в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с. Электроды потенциодинамически анодно поляризовали от установившегося значения стационарного потенциала до резкого возрастания тока (до постоянного значения тока 2 А), затем в обратном направлении до значения потенциала -1.2 В, при котором происходит восстановление оксидной пленки. Затем образцы снова поляризовали в положительном направлении до потенциала питтингообразования. Из полученных потенциодинамических кривых определяли основные электрохимические характеристики сплавов: потенциал коррозии $E_{кор.}$ и ток коррозии $i_{кор.}$, потенциалы питтингообразования $E_{п.о.}$ и репассивации $E_{реп.}$.

Величину $E_{реп.}$ определяли графически как потенциал, при котором наблюдается первый перегиб на обратном ходе анодной кривой, или как потенциал, при котором происходит пересечение прямого и обратного хода анодной поляризационной кривой. Скорость коррозии определялся по формуле: $K = i_{кор.} \cdot k$, где k – электрохимический эквивалент, численное значение которого для алюминия составляет 0.335 г/А·час. Воспроизводимость измерения электрохимических потенциалов равнялся $\pm 5 \div \pm 10$ мВ, а плотность тока коррозии составляла $(0.05 - 0.10) \cdot 10^{-2}$ А/м².

Исследованный алюминиевый сплав $AlTi0.1$, модифицированный щелочноземельными металлами, имея потенциал свободной коррозии $0.685 \div 0.611$ В, характеризуются меньшим значением скорости коррозии на $20 \pm 30\%$ (таблица).

Снижение скорости коррозии сплава в результате легирования кальцием, стронцием и барием позволяет уменьшить металлоемкость изготавливаемых из него деталей и получить солидного экономического эффекта.

Таблица

Химический состав и коррозионно-электрохимические свойства заявляемого сплава и прототипа, в среде электролита 0.03%-ного NaCl

№ п/п	Химический состав сплавов, мас.%	Скорость коррозии $K \cdot 10^3$, г/м ² ·час	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)	
			- $E_{св.кор.}$	- $E_{п.о.}$
1	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Ca – 0.05; Al и примеси – остальное	14,7	0,659	0,590
2	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Ca – 0.1; Al и примеси – остальное	14,0	0,650	0,579
3	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Sr – 0.05; Al и примеси – остальное	14,0	0,642	0,575
4	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Sr – 0.1; Al и примеси – остальное	13,4	0,633	0,564
5	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Ba – 0.05; Al и примеси – остальное	13,0	0,620	0,558
6	Fe – 0.4; Si – 0.1; Ti – 0.08; Ba – 0.1; Al и примеси – остальное	12,3	0,611	0,549
7	Известный сплав типа 8176 (прототип): Fe – 0.4; Si – 0.07; Al и примеси – остальное по ГОСТ Р 58019-2017	16,0	0,685	0,610

Формула изобретения

Алюминиевый электротехнический сплав, содержащий железо, кремний и титан, *отличающийся тем*, что дополнительно содержит один из металлов группы кальций, стронций и барий, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

железо	-	0.40-0.60
--------	---	-----------

титан	-	0.05-0.10
кремний до - 0.10		
один из металлов группы кальций, стронций, барий	-	0.05-0.10
алюминий и неизбежные примеси	-	остальное.

Компьютерный набор: Нигораи А.