



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C22C 21/00 (2013.01)

(21)(22) Заявка: 2017134719, 04.10.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.10.2017

Дата регистрации:  
06.08.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.10.2017

(43) Дата публикации заявки: 09.04.2019 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 06.08.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

308015, Белгородская обл., г. Белгород, ул.  
Победы, 85, НИУ "БелГУ", ОИС, Цуриковой  
Н.Д.

(72) Автор(ы):

Морозова Анна Игоревна (RU),  
Могучева Анна Алексеевна (RU),  
Тагиров Дамир Вагизович (RU),  
Кайбышев Рустам Оскарович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Белгородский государственный  
национальный исследовательский  
университет" (НИУ "БелГУ") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: JP 02299706 A, 12.12.1990. RU 2541263  
C2, 10.02.2015. RU 2441090 C2, 27.01.2012. US  
20020162607 A1, 07.11.2002. EP 2929061 B1,  
22.02.2017.

(54) **Алюминиево-циркониевый сплав**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к алюминиевым сплавам, используемым в качестве электротехнической катанки и проводов для линий электропередач. Алюминиево-циркониевый сплав содержит, мас. %: 0,22-0,4 Zr, 0,2-0,4 Si, 0,62-

0,8 Fe, алюминий – остальное, при соотношении кремний/железо, равном 0,3-0,5. Полученный сплав имеет комплекс высоких эксплуатационных характеристик, а именно повышенную прочность, высокую электропроводность и термостойкость. 1 табл., 1 ил.

RU 2 696 797 C 2

RU 2 696 797 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C22C 21/00 (2013.01)*

(21)(22) Application: **2017134719, 04.10.2017**

(24) Effective date for property rights:  
**04.10.2017**

Registration date:  
**06.08.2019**

Priority:

(22) Date of filing: **04.10.2017**

(43) Application published: **09.04.2019** Bull. № 10

(45) Date of publication: **06.08.2019** Bull. № 22

Mail address:

**308015, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul.  
Pobedy, 85, NIU "BelGU", OIS, Tsurikovoj N.D.**

(72) Inventor(s):

**Morozova Anna Igorevna (RU),  
Mogucheva Anna Alekseevna (RU),  
Tagirov Damir Vagizovich (RU),  
Kajbyshev Rustam Oskarovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniya "Belgorodskij gosudarstvennyj  
natsionalnyj issledovatel'skij universitet" (NIU  
"BelGU") (RU)**

(54) **ALUMINUM-ZIRCONIUM ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, particularly, to aluminium alloys used as electrotechnical wire and wires for power transmission lines. Aluminium-zirconium alloy contains, wt. %: 0.22–0.4 Zr, 0.2–0.4 Si, 0.62–0.8 Fe, aluminium - the

rest, with ratio of silicon / iron equal to 0.3-0.5.

EFFECT: obtained alloy has a complex of high operational characteristics, namely increased strength, high electric conductivity and heat resistance.

1 cl, 1 tbl, 1 dwg

**C 2**  
**7 9 6 7 9 7**  
**R U**

**R U**  
**2 6 9 6 7 9 7**  
**C 2**

Изобретение относится к области металлургии, в частности к алюминиевым сплавам, используемым в качестве электротехнической катанки и проводов для линий электропередач.

Низколегированные алюминиевые сплавы, благодаря высокой удельной прочности, хорошей электропроводности, высокой коррозионной стойкости и низкой цене находят свое применение в качестве проводов различных кабелей и линий электропередач (ЛЭП). Существует европейский стандарт IEC 62004 и его русский аналог ГОСТ Р МЭК 62004— 014, в котором обозначены требования к проволоке из термостойкого алюминиевого сплава для провода ЛЭП. Однако получение сплавов низкой себестоимости, которые бы соответствовали требованиям этих стандартов, сталкивается с трудностями получения комплекса высоких эксплуатационных свойств: высокой прочности и термостойкости при сохранении электропроводности. Основной путь повышения прочности и термостойкости – легирование цирконием, однако верхний предел добавки циркония ограничен 0,3-0,4% в связи с выделением грубых первичных частиц  $Al_3Zr$ , снижающих технологическую пластичность сплавов и проводящих к растрескиванию заготовки при деформации. Уровень прочностных характеристик, обеспеченный дисперсионным упрочнением алюминиевых сплавов частицами  $Al_3Zr$ , не соответствует существующим требованиям. Повышение прочности и термической стабильности при сохранении электропроводности за счет оптимизации химического состава алюминиевых сплавов позволит как уменьшить расход сплава на единицу длины провода, снизив его себестоимость, так и увеличить срок эксплуатации готовых изделий.

Известен сплав с химическим составом 0,6-1,5% Cu, 1,2-1,8% Mn, 0,2-0,8% Zr, 0,05-0,25% Si, 0,1-0,4% Fe, 0,01-0,3% Cr предназначенный для изделий, в частности проволоки, работающих при высоких температурах (RU 2534170, публ. 06.12.2012). Данный сплав после обработки показывает высокие прочностные свойства: временное сопротивление разрыву более 300 МПа и хорошую термостойкость вплоть до высоких температур.

Недостатком данного сплава является низкая электропроводность – менее 55% IACS (электропроводности чистой меди), что является недостаточным для использования данных материалов в проводах ЛЭП.

Известен сплав для изделий электротехнического назначения, в частности проводов высоковольтных ЛЭП в районах со сложными климатическими условиями (RU № 2441090 публ. 01.03.2010). Сплав имеет следующий химический состав: 0,3-0,7% Zr, 0,1-0,6% Fe, 0,04-0,2% Si, 0,005-0,2 % Ce. Алюминиевый сплав характеризуется высокими проводящими свойствами и достаточной термостойкостью.

Недостатком сплава является пониженная прочность: временное сопротивление разрыву составляет около 160 МПа. Кроме того добавка редкоземельного элемента увеличивает себестоимость провода и снижает экономическую целесообразность его производства.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является сплав на основе алюминия, содержащий 0,15-0,40% Zr, 0,03-0,15% Si, 0,15-0,35% Fe, 0,01-0,60% Mg, 0,005-0,01% Cu, 0,005-0,02% Zn, 0,001-0,003% B, сумму примесей Ti, Cr, V, Mn до 0,030% (RU 2544331, публ. 23.01.2014). Сплав может быть использован преимущественно для изготовления катанки электротехнического назначения, а также деформированных полуфабрикатов, используемых в строительстве, машиностроении и других областях народного хозяйства.

Недостатком сплава является недостаточная прочность при высоких проводящих характеристиках и способности сохранять прочность после нагрева до высоких температур.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка сплава, обладающего повышенной прочностью, достаточной электропроводностью, термостойкостью при низкой себестоимости.

Для решения поставленной задачи предлагается сплав на основе алюминия, содержащий цирконий, кремний, железо со следующим соотношением компонентов, мас. %: 0,22-0,4 Zr, 0,2-0,4 Si, 0,62-0,8 Fe, алюминий - остальное, при соотношении кремний/железо=0,3-0,5.

Предложенный сплав отличается от прототипа тем, что содержит следующие компоненты в мас. %:

10	Цирконий	0,22-0,4
	Кремний	0,2-0,4
	Железо	0,62-0,8
	Алюминий	остальное,

при этом соотношение кремний/железо=0,3-0,5.

15 Техническим результатом изобретения является сплав, обладающий повышенной прочностью, достаточной электропроводностью, термостойкостью за счет полученного химического состава, что позволит применять его в качестве материалов электротехнического назначения, в частности, в качестве алюминиевой катанки и материала для ЛЭП.

20 В составе сплава компоненты проявляют себя следующим образом.

Оптимальное содержание циркония в пределах 0,22-0,4% необходимо для формирования когерентных частиц  $Al_3Zr$  с решеткой  $L1_2$  размером менее 20 нм. Частицы обеспечивают хорошую термостойкость и препятствуют развитию рекристаллизационных процессов при повышенных температурах. Завышенное содержание циркония приводит к выделению грубых первичных частиц  $Al_3Zr$  в литом состоянии, которые не влияют на прочностные характеристики сплава и на стабильность структуры при повышенных температурах. Первичные частицы  $Al_3Zr$  имеют размер 3-10 мкм и характерную форму иероглифа. Наличие в сплаве таких частиц снижает технологическую пластичность отливки и приводит к растрескиванию материала в процессе дальнейшей деформации. Легирование сплава цирконием менее 0,22% приводит к ухудшению термостойкости и снижению прочностных свойств. Добавка железа с кремнием необходима для значительного повышения прочностных характеристик при сохранении электропроводности на приемлемом уровне. При этом соотношение кремний/железо=0,3-0,5 обеспечивает формирование после отжига частиц  $Al_8Fe_2Si$  и  $Al_5FeSi$  сферической формы размером менее 3 мкм. Частицы являются препятствиями для движения дислокаций при повышенной температуре и препятствуют разупрочнению сплава при нагреве. Кроме того легирование кремнием приводит к повышению диффузии циркония, ускоряет выделение частиц  $Al_3Zr$  и тем самым сокращает время термической обработки, что позволяет оптимизировать технологический процесс, сократить затраты на электроэнергию и снизить себестоимость готового изделия. Легирование кремнием и железом выше заявленных пределов влечет сильное снижение проводящих свойств. Завышенное в сравнении с аналогом содержание кремния и железа не приводит к значительному увеличению себестоимости изделия, однако позволяет повысить прочностные характеристики при сохранении электропроводности на высоком уровне.

Пример осуществления.

Выплавку проводят в тигельных печах под флюсом при температуре 800-900°C и

скорости охлаждения  $10^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ . Далее сплав подвергают горячей прокатке при температуре  $400^{\circ}\text{C}$  со степенью обжатия 78 % после чего проводят ступенчатый отжиг деформированной заготовки в интервале  $200\text{--}450^{\circ}\text{C}$  с шагом  $50^{\circ}\text{C}$  и выдержкой на каждом этапе 3 ч. Охлаждение заготовки осуществляется на воздухе.

5 Полученную заготовку подвергли испытаниям на растяжение при комнатной температуре и после отжига при температуре  $400^{\circ}\text{C}$  1 ч для определения предела текучести, предела прочности, относительного удлинения и термостойкости. Кроме того была измерена электропроводность сплава при комнатной температуре.

Фазовый состав термостойкого алюминий-циркониевого сплава после ступенчатого отжига литой заготовки в интервале  $200\text{--}450^{\circ}\text{C}$  с шагом  $50^{\circ}\text{C}$  и выдержкой на каждом этапе 3 ч представлен крупными железистыми частицами преимущественно  $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$  и  $\text{Al}_5\text{FeSi}$  размером 1-3 мкм выделившихся по границам первоначальных дендритных ячеек. Анализ тонкой структуры выявляет частицы  $\text{Al}_3\text{Zr}$ , равномерно распределенных в теле зерен, размером 10 нм с решеткой  $\text{L1}_2$ . Тонкая структура термостойкого алюминий-циркониевого сплава и соответствующая структуре дифракционная картина представлена на фиг.1. Частицы имеют кубическую решетку с периодом  $a=4,09$ , и выделяются в соответствии с ориентационным соотношением куб-куб с матрицей:  $(020)_{\text{Al}} \parallel (020)_{\text{Al}_3\text{Zr}}$ ,  $(002)_{\text{Al}} \parallel (002)_{\text{Al}_3\text{Zr}}$ ,  $[022]_{\text{Al}} \parallel [022]_{\text{Al}_3\text{Zr}}$ .

15 Химический состав и физико-механические характеристики аналогов, прототипа и предложенного сплава представлены в сравнительной таблице 1 (фиг.2).

Пример 1. В соответствии с предложенным способом получен сплав следующего химического состава: Al – 0,24 % Zr, 0,22 % Si, 0,65% Fe при соотношении кремний/железо= 0,33. После термомеханической обработки временное сопротивление разрыву составило 220 МПа, относительное удлинение – 17%, электропроводность – 59,8 % IACS.

Пример 2.

Получен сплав следующего химического состава: Al – 0,37% Zr, 0,36% Si, 0,75% Fe при соотношении кремний/железо= 0,33. В отличие от примера 1, данный сплав имеет более высокое содержание легирующих элементов. Как следует из таблицы 1, заявленный материал обладает повышенной прочностью и достаточную электропроводность: временное сопротивление разрыву составляет 250 МПа, относительное удлинение – 15%, электропроводность – 56,7 % IACS.

Оптимальное содержание легирующих элементов в предложенном сплаве обеспечит повышенную прочность, высокую электропроводность и термостойкость. Данные в таблице показывают, что разработанный сплав имеет прочность выше, чем сплавы, предложенные в патентах RU № 2441090 и RU № 2544331, лучшую электропроводность в сравнении с патентом RU № 2534170. Пониженное содержание дорогого легирующего элемента циркония и завышенное недорогих элементов железа и кремния в сравнении с другими сплавами обеспечивает низкую себестоимость материала, поэтому производство термостойкой катанки и проводов из предлагаемого сплава представляется экономически целесообразным. Физико-механические характеристики разработанного сплава отвечают требованиям ИЕС 62004 и ГОСТ Р МЭК 62004— 014, поэтому производство катанки из данного материала, возможно реализовать не только в рамках программы импортозамещения, но и в рамках расширения экспортных поставок отечественной продукции за рубеж.

(57) Формула изобретения

Алюминиево-циркониевый сплав, содержащий цирконий, кремний, железо и алюминий, отличающийся тем, что он содержит компоненты в следующем соотношении, мас. %: 0,22-0,4 Zr, 0,2-0,4 Si, 0,62-0,8 Fe, алюминий – остальное, при соотношении кремний/железо, равном 0,3-0,5.

5

10

15

20

25

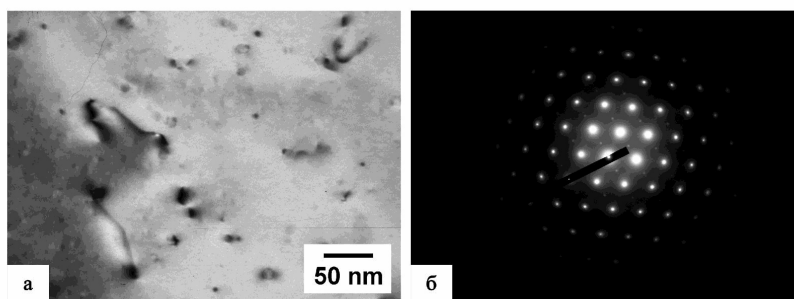
30

35

40

45

Алюминиево-циркониевый сплав



Фиг. 1

Алюминиево-циркониевый сплав

Основные характеристики создаваемой продукции/ технологии	Отечественные аналоги продукции / технологии				
	Патент № RU 2534170 от 6.12.2012	Патент № RU 2441090 от 1.03.2010	Патент № RU 2544331 от 23.01.2014	Изобретение	
				Пример 1	Пример 2
Химический состав	Al – 0,6-1,5% Cu-1,2-1,8% Mn-0,2-0,6% Zr – 0,05-0,25% Si – 0,1-0,4% Fe-0,01-0,3% Cr	Al – 0,3-0,7% Zr – 0,04-0,2% Si – 0,1-0,6% Fe – 0,005-0,2 Ce	Al – 0,15-0,40% Zr, 0,03-0,15% Si – 0,15-0,35% Fe-0,1-0,6% Mg	Al – 0,24 % Zr, 0,22 % Si, 0,65% Fe при соотношении кремний/железо= =0,33	Al – 0,37% Zr, 0,36% Si, 0,75% Fe при соотношении кремний/железо= =0,48
Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , МПа	>300	190-210	170-190	220	250
Относительное удлинение до разрушения $\delta$ , %	4-9	5-6	-	17	15
Термостойкость	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая	хорошая
Электропроводность, % IACS	53-55	59,3	59,9	59,8	56,7

Фиг. 2