



(51) МПК  
H01B 5/02 (2006.01)  
(52) СПК  
H01B 5/02 (2022.02)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.05.2022)  
Пошлина: Установленный срок для уплаты пошлины за 3 год: с 13.10.2022 по 12.10.2023. При  
уплате пошлины за 3 год в дополнительный 6-месячный срок с 13.10.2023 по 12.04.2024  
размер пошлины увеличивается на 50%.

(21)(22) Заявка: [2021129794](#), 12.10.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия  
патента:  
12.10.2021

Дата регистрации:  
26.05.2022

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 12.10.2021

(45) Опубликовано: [26.05.2022](#) Бюл. № [15](#)

(56) Список документов, цитированных в  
отчете о поиске: RU 2417468 C1,  
27.04.2011. RU 2285966 C1, 20.10.2006.  
RU 119514 U1, 20.08.2012. US 9597747  
B2, 21.03.2017. US 6470564 B1,  
29.10.2002. US 5106825 A, 21.04.1992. JP  
2009289746 A, 10.12.2009.

Адрес для переписки:  
199034, Санкт-Петербург,  
Университетская наб., 7/9, СПбГУ,  
Главное Управление защиты и  
использования интеллектуальной  
собственности, Матвееву А.А.,  
Матвеевой Т.И.

(72) Автор(ы):

**Мурашкин Максим Юрьевич (RU),  
Смирнов Иван Валерьевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

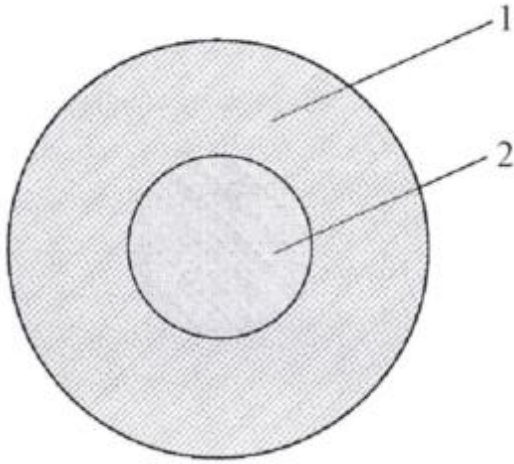
**Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Санкт-Петербургский  
государственный университет"  
(СПбГУ)" (RU)**

(54) Композитный высокопрочный термостойкий провод на основе алюминия

(57) Реферат:

Изобретение относится к области цветной металлургии и электротехники и может быть использовано для производства изделий электротехнического назначения, таких как токопроводящие элементы в виде катанки, проволок, пластин, шин, кабелей (в том числе бортовой проводки транспортных средств), а также проводов воздушных линий электропередачи. В предлагаемом изобретении композитный высокопрочный термостойкий провод содержит сердечник из алюминиевого сплава системы Al-Zr с электропроводностью не менее 58% IACS и оболочку из высокопрочного алюминиевого сплава с

пределом прочности не менее 365 МПа, содержащего легирующие компоненты медь (Cu) и марганец (Mn) при соотношении, в мас. %: 0.4-2.0 Cu; 0.7-2.0 Mn или магний (Mg) и цирконий (Zr) при соотношении, в мас. %: 0.4-1.5 Mg; 0.1-0.4 Zr, причем площадь поперечного сечения оболочки составляет 70-90% от площади сечения провода. Использование данного композитного провода дает возможность повысить надежность и срок службы электротехнических изделий и электросетей, а также снизить их стоимость. Это позволяет отнести заявляемое изобретение к импортозамещающим технологиям. 1 ил.



Изобретение относится к области цветной металлургии и электротехники и может быть использовано для производства изделий электротехнического назначения, таких как токопроводящие элементы, в виде, например, катанки, проволоки, пластин, шин, кабелей (в том числе бортовой проводки транспортных средств), а также проводов воздушных линий электропередачи.

Известно, что алюминий обладает высокой электропроводностью, технологичностью и коррозионной стойкостью. Однако низкая прочность приводит к ограничению его использования в электротехнике в качестве альтернативного меди проводниковому материалу. Методы, основанные на прицелинном легировании для улучшения механической прочности, не в полной мере обеспечивают достижение ее оптимального сочетания с электропроводностью и/или термостойкостью. Например, повышение прочности алюминия достигается за счет введения в его состав магния (Mg) и кремния (Si) в определенных пропорциях, т.е. за счет создания сплавов системы Al-Mg-Si электротехнического назначения [1]. Монометаллические изделия электротехнического назначения, выполненные из данной группы сплавов, демонстрируя предел прочности 245-342 МПа и электропроводность 57.5-52.0% IACS [2], не обладают высокой термостойкостью. Их температура эксплуатации ограничена 90°C.

Заметное повышение прочности электротехнического материала на основе алюминия также возможно за счет введения в его состав таких легирующих элементов, как медь (Cu), марганец (Mn), цирконий (Zr), кремний (Si) и железо (Fe) [3]. В таком монометаллическом материале, полученном в виде проволоки, достигается предел прочности 434 МПа. Однако его электропроводность весьма на низком уровне -44.3% IACS.

Известны конструкции композитных проводов на основе алюминия, позволяющие повысить их механическую прочность при сохранении удовлетворительной электропроводности.

Известна конструкция композитного провода, полученного из алюминиевого сплава и стали [4]. Он состоит из сердечника,

выполненного из нержавеющей аустенитной стали марки 316L, и оболочки из термически упрочняемого сплава системы Al-Mg-Si марки AA6201. Установленное рациональное соотношение: площадь сечения стального сердечника составляет 25% от общей площади сечения провода. Данная конструкция позволила, в зависимости от условий обработки, достичь в указанном проводнике диаметром 10 мм условного предела текучести 424 МПа и электропроводности в диапазоне 42.97% IACS. Присутствие в композитном проводнике стального сердечника обеспечивает высокий уровень прочности, но не обеспечивает электропроводность на приемлемом уровне  $\geq 50\%$  IACS. Кроме того, присутствие в предложенной конструкции стали нивелирует преимущество в погонной массе/погонном весе композитного проводника, содержащего алюминий, в сравнении с проводниками, выполненными исключительно из меди и сплавов на ее основе.

Известна конструкция композитного провода, полученного из алюминия, покрытого медью [5]. Провод с медным покрытием с содержанием меди в количестве 15 об.% имеет сердечник, выполненный из алюминиевого сплава. Электропроводность данного композитного провода составляет 62% IACS, а предел прочности 252 МПа.

При достаточно высоких значениях электропроводности композитный провод из алюминиевого сплава в медной оболочке не обладает достаточной прочностью. Кроме этого существует опасность образования очагов коррозии в торцах и местах соединения таких проводов из-за возможного нарушения тонкой медной оболочки при проведении монтажных работ.

Известна конструкция композитного провода с медью, используемой в качестве проволоки, повитой в виде спирали, встроенной в алюминиевую матрицу - основу провода [6]. Образец данного композитного провода из технически чистого алюминия со спиральной «арматурой» из чистой меди с долей около 15 об.% демонстрирует повышенную несущую способность. Однако композитный провод предложенной конструкции из-за большой протяженности межфазной поверхности алюминиевой основы с «арматурой» из меди содержит прослойки, образованные интерметаллидными фазами  $\theta$ -Al<sub>2</sub>Cu,  $\gamma$ -Al<sub>4</sub>Cu<sub>9</sub> и  $\xi$ -Al<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub>, суммарная толщина которых составляет  $\geq 100$  мкм. Из-за своей низкой электропроводности прослойки данных фаз заметно снижают итоговую электропроводность провода. Также выполнение наружной оболочки композитного провода из мягкого чистого алюминия не обеспечивает возможности его использования в условиях приложенных сильных внешних механических воздействий, вызванных например, эоловыми вибрациями, представляющими собой основную причину усталостного разрушения проводов воздушных линий электропередачи.

Известна конструкция композитного провода, выполненного на основе алюминия [7], имеющая общий с заявляемым устройством принцип действия конструкции по сочетанию комбинации проводящего сердечника и высокопрочной оболочки. Провод состоит из сердечника, выполненного из технически чистого алюминия марки AA1350, и оболочки из термически упрочняемого сплава системы Al-Mg-Si марки AA6201. Площадь сечения сердечника составляет 40% от площади сечения композитного провода. Экспериментальное значение предела прочности указанного композитного материала в виде

проволоки диаметром 1 мм составляет 150 МПа, а электропроводности 56.5% IACS.

Достигнутый уровень прочности в данном проводе является недостаточным для конкурирования в применении, например, с проводниками из меди марки М1 (предел прочности от 340 до 450 МПа) [8] или с проводниками из термически упрочняемых сплавов системы Al-Mg-Si (предел прочности от 245 до 342 МПа) [2]. Кроме того предложенный композитный провод не является термостойким, так как температура длительной эксплуатации обоих материалов, входящих в его конструкцию, не превышает 90°C.

Техническим результатом изобретения является расширение области применения проводов на основе алюминия и замещение существующих более дорогих проводов, выполненных на основе меди, за счет достижения высокой прочности и термостойкости проводника при удовлетворительной электропроводности.

Для достижения указанного технического результата композитный высокопрочный, термостойкий провод содержит сердечник из алюминиевого термостойкого сплава системы Al-Zr с электропроводностью не менее 58% IACS (IACS - Международный Стандарт Отожженной Меди, где  $100\% \text{ IACS} = 0,017241 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ) и оболочку из высокопрочного алюминиевого сплава с пределом прочности не менее 365 МПа, содержащего легирующие компоненты медь (Cu) и марганец (Mn) при соотношении, в мас. %: 0.4-2.0 Cr; 0.7-2.0 Mn или магний (Mg) и цирконий (Zr) при соотношении, в мас. %: 0.4-1.5 Mg; 0.1-0.4 Zr, причем площадь поперечного сечения оболочки составляет 70-90% от площади сечения провода.

При площади поперечного сечения оболочки более 90% от площади поперечного сечения провода необходимый уровень электропроводности ( $\geq 50\% \text{ IACS}$ ) не достигается.

При площади поперечного сечения оболочки менее 70% от площади поперечного сечения провода необходимый уровень механической прочности (предел прочности  $\geq 340 \text{ МПа}$ ) не достигается.

Экспериментально было установлено, что оптимальное сочетание прочности, электропроводности и термостойкости в материале на основе алюминия достигается при содержании меди 0.2-2.0 мас. % и марганца 0.7-2.0 мас. %. При этом медь и марганец за счет частичного сохранения заданной концентрации в твердом растворе, а также за счет образования интерметаллидных фаз  $\text{Al}_6\text{Mn}$  и  $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ , приводят к повышению прочности, электропроводности и термостойкости сплава. Также экспериментально было установлено, что оптимальное сочетание прочности, электропроводности и термостойкости в материале на основе алюминия достигается при содержании магния 0.4-1.5 мас. % и циркония 0.1-0.4 мас. %. При этом магний и цирконий за счет частичного сохранения заданной концентрации в твердом растворе, а также за счет образования интерметаллидной фазы  $\text{Al}_3\text{Zr}$ , приводят к повышению прочности, электропроводности и термостойкости сплава.

Сущность изобретения поясняется рисунком (Фиг. ), на котором представлено изображение поперечного сечения композитного термостойкого провода повышенной прочности, где:

1 - расположенной вдоль оси провода сердечник из термостойкого сплава системы Al-Zr;

2 - оболочка, выполненная из алюминиевого сплава, содержащего легирующие элементы, обеспечивающие высокую прочность, термостойкость и удовлетворительную электропроводность, площадь

поперечного сечения которой составляет 70-90% от площади поперечного сечения провода.

Примеры осуществления изобретения.

Пример 1. Для получения композитного провода в качестве материала оболочки использовали высокопрочный термостойкий сплав Al-2.0Cu-1.7 Mn (мас.%) в виде трубной заготовки диаметром 16 мм. В качестве материала сердечника использовали сплав Al-0.4Zr (мас.%) в виде цилиндрического прутка диаметром 7.15 мм. Площадь поперечного сечения оболочки (трубной заготовки) составляла 80% от общей площади композитного провода. В трубную заготовку (оболочку) помещали цилиндрический пруток (сердечник). Композитную заготовку провода из данных материалов подвергали горячей и холодной деформации до диаметра 10 мм, отжигу и деформационной обработке до диаметра 4.2 мм.

Из полученного композитного провода в виде проволоки были изготовлены образцы для исследований механических свойств, электропроводности и термостойкости.

Механические испытания образцов осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 10446-80 [9]. Удельное электрическое сопротивление образцов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 7229-76 [10]. Термостойкость образцов оценивали по требованиям IEC 62004:2007 [11].

Для данного композитного провода диаметром 4.2 мм предел прочности составил 410 МПа, электропроводность - 51% IACS и температура длительной эксплуатации (36 лет) - 150°C.

Пример 2. Для получения композитного провода в качестве материала оболочки использовали высокопрочный термостойкий сплав Al-1.17Mg-0.35 Zr (мас.%) в виде трубной заготовки диаметром 22 мм. В качестве материала сердечника использовали сплав Al-0.4 Zr (мас.%) в виде цилиндрического прутка диаметром 9,2 мм. Площадь поперечного сечения оболочки (трубной заготовки), составляла 83% от общей площади композитного провода. В трубную заготовку (оболочку) помещали цилиндрический пруток (сердечник). Композитную заготовку из данных материалов подвергали горячей и холодной деформации до диаметра 9 мм, отжигу и деформационной обработке до диаметра 3.2 мм.

Из полученного композитного провода в виде проволоки были изготовлены образцы для исследований механических свойств, электропроводности и термостойкости.

Механические испытания образцов осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 10446-80 [9]. Удельное электрическое сопротивление образцов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 7229-76 [10]. Термостойкость образцов оценивали по требованиям IEC 62004:2007 [11].

Для данного композитного провода в виде проволоки диаметром 3.2 мм предел прочности составил 354 МПа, электропроводность - 51,2% IACS и температура длительной эксплуатации (36 лет) - 150°C.

Технико-экономическая эффективность заявленного изобретения, как показывают результаты апробации, состоит в возможности получения электротехнического материала в виде композитного провода на основе алюминия, обладающего повышенной прочностью и термостойкостью. Композитный термостойкий провод повышенной прочности на основе алюминия с заявленным уровнем свойств может быть использован для производства изделий электротехнического назначения, эксплуатируемых в условиях повышенных механических

нагрузок и температур, а внедрение данного композитного провода дает возможность повысить надежность и срок службы электротехнических изделий и электросетей, а также снизить их стоимость. Это позволяет отнести заявляемое изобретение к импортозамещающим технологиям.

Список используемых источников информации

1. Воронцова Л.А., Маслов В.В., Пешков И.Б. Алюминий и алюминиевые сплавы в электротехнических изделиях. М.: «Энергия», 1971. 224 с. (С. 29).
2. EN50183 (2002), Overhead power line conductors - Bare conductors of aluminium alloy with magnesium and silicon content.
3. N.A. Belov, N.O. Korotkova, T.K. Akopyan, A.M. Pesin, Phase composition and mechanical properties of Al 1.5% Cu 1.5% Mn 0.35% Zr (Fe, Si) wire alloy // Journal of Alloys and Compounds 782(2019)735-746.
4. Yu. Qi, R. Lapovok and Yu. Estrin, Microstructure and electrical conductivity of aluminium/steel bimetallic rods processed by severe plastic deformation // Journal Materials Science 51 (2016) 6860-6875.
5. Y. Koiwa, M. Sugawara, and M. Fukuhara, Copper-Clad aluminum wire DCCA for speakers on mobile devices // SEI Technical Review 90 (2020) 27-30.
6. R. Lapovok, V.V. Popov, Y. Qi, et al. Architected hybrid conductors: Aluminium with embedded copper helix // Materials and Design 187 (2020) 108398.
7. C. Yang, N. Masquellier, C. Gandiolle, X. Sauvage, Multifunctional properties of composition graded Al wires // Scripta Materialia 189 (2020) 21-24 (общий с заявляемым устройством принцип действия конструкции).
8. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки. Справочник. М.: Машиностроение, 2003 336 с. (С. 21).
9. ГОСТ 10446-80 «Проволока. Метод испытания на растяжение».
10. ГОСТ 7229-76 «Кабели, провода и шнуры, метод определения электрического сопротивления токопроводящих жил и проводников».
11. IEC62004: 2007 «Thermal resistant aluminum alloy wire for overhead line conductors».

Учтены также источники патентной информации, близкие по МПК: H01B 1/00, H01B 5/02:

- патент РФ №RU2417468 C1;
- патент РФ №RU119514 U1
- патент США №US20150290738 A1;
- патент США №US6470564 B1;
- патент Японии №JP2009289746 A;
- патент Китая №CN203038693 U;
- патент Китая №CN 102420024 B;
- патент Китая №CN102103906 A;
- патент Китая №CN202352363 U;
- патент Китая №CN 104900300 B;

#### Формула изобретения

Композитный высокопрочный термостойкий провод на основе алюминия, выполненный по принципу конструкции из комбинации проводящего сердечника и высокопрочной оболочки и содержащий сердечник из алюминиевого сплава системы Al-Zr с электропроводностью не менее 58% IACS и оболочку из высокопрочного алюминиевого сплава с пределом прочности не менее 365 МПа, содержащего легирующие компоненты медь и марганец при соотношении, мас. %: 0.4-2.0 Cu; 0.7-2.0 Mn или магний и цирконий при

соотношении, мас. %: 0.4-1.5 Mg; 0.1-0.4 Zr, причем площадь поперечного сечения оболочки составляет 70-90% от площади сечения провода.

