



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22F 1/04 (2019.05); C22C 21/00 (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018140159, 14.11.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.11.2018

Дата регистрации:
06.08.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 14.11.2018

(45) Опубликовано: 06.08.2019 Бюл. № 22

Адрес для переписки:
308036, Белгородская обл., г. Белгород, ул.
Победы, 85, ОИС, Цуриковой Н.Д.

(72) Автор(ы):
Могучева Анна Алексеевна (RU),
Борисова Юлия Игоревна (RU),
Калиненко Александр Андреевич (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: RU 2657678 C1, 14.06.2018. EP 787811
A1, 06.08.1997. US 4082573 A1, 04.04.1978. RU
2480852 C2, 27.04.2013. FR 2996951 A1,
18.04.2014.

(54) Способ получения катанки из термостойкого алюминиевого сплава

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам получения изделий электротехнического назначения на основе алюминия, применяемых для изготовления электротехнической катанки и проводов высоковольтных линий электропередач. Способ включает приготовление расплава, содержащего, мас. %: 0,2-0,4 Zr, 0,2-0,4 Si, 0,6-0,8 Fe, Al – остальное, при температуре 800-900°C, кристаллизацию со скоростью 5 °C/с, получение

катанки путем горячей деформации литой заготовки, намотку катанки в бухты, термическую обработку бухт катанки при температуре 200-600°C в течение не более 24 часов с последующим охлаждением на воздухе. Техническим результатом изобретения является повышение электропроводности катанки без потери оптимального уровня термостойкости и механических свойств. 3 пр., 3 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

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

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22F 1/04 (2019.05); C22C 21/00 (2019.05)

(21)(22) Application: **2018140159, 14.11.2018**

(24) Effective date for property rights:
14.11.2018

Registration date:
06.08.2019

Priority:

(22) Date of filing: **14.11.2018**

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

Mail address:

308036, Belgorodskaya obl., g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, OIS, Tsurikovoj N.D.

(72) Inventor(s):

**Mogucheva Anna Alekseevna (RU),
Borisova Yuliya Igorevna (RU),
Kalinenko Aleksandr Andreevich (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) **METHOD FOR PRODUCTION OF ROD FROM HEAT-RESISTANT ALUMINIUM ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to methods for production of aluminum-based electrotechnical products, used for production of electrotechnical wire and wires of high-voltage power transmission lines. Method involves preparation of a melt containing the following in wt. %: 0.2–0.4 Zr, 0.2–0.4 Si, 0.6–0.8 Fe, Al is rest, at temperature 800–900 °C, crystallisation at rate of 5 °C/s,

production of wire by hot deformation of cast billet, winding of rolled wire into coils, thermal treatment of rolled coils at temperature of 200–600 °C for not more than 24 hours with subsequent cooling in air.

EFFECT: technical result is improved conductivity of wire rod without loss of optimum level of heat resistance and mechanical properties.

1 cl, 3 ex, 3 tbl

RU 2 696 794 C1

RU 2 696 794 C1

Изобретение относится к области металлургии, а именно к способам получения изделий электротехнического назначения на основе алюминия, применяемых для изготовления электротехнической катанки и проводов высоковольтных линий электропередач.

5 В настоящее время низколегированные алюминиевые сплавы системы Al-Fe-Si (сплавы 1XXX серии в международной классификации) широко применяются в изделиях электротехнического назначения, благодаря высокой электропроводности и коррозионной стойкости. Оптимальное сочетание легкого веса и умеренной электропроводности делает эти сплавы предпочтительными для производства проводов
10 высоковольтных воздушных линий электропередач (ЛЭП) по сравнению с медными сплавами.

Механические свойства алюминиевых сплавов системы Al-Fe-Si при растяжении находятся на низком уровне. В настоящее время существует ГОСТ Р МЭК 62004-014, в котором отображены требования для повышения прочности и термической
15 стабильности алюминиевых сплавов, используемых для проводов ЛЭП. Традиционные провода, сделанные из технического алюминия марки А5Е и АВЕ, не удовлетворяют данным требованиям, поскольку они существенно разупрочняются даже после кратковременных нагревов до 100°C. Для решения данной проблемы наиболее перспективным является создание провода, выполненного из низколегированного
20 алюминиевого сплава с добавлением циркония.

Легирование цирконием применяется для повышения прочностных характеристик при комнатной температуре и обеспечения стабильности структуры и улучшения механических свойств при растяжении при повышенных температурах за счет образования частиц Al_3Zr .

25 Исходной заготовкой для алюминиевой проволоки, из которой делают провода, является катанка, которую получают способом непрерывного литья и прокатки. Достижение требуемых характеристик, удельного электрического сопротивления и прочности (после нагрева до 250°C), определяется микроструктурой катанки. Термостойкость алюминиевой проволоки зависит от концентрации циркония в сплаве,
30 а также от технологических режимов плавки, литья и термической обработки. Влияние циркония на термостойкость обусловлено частицами Al_3Zr с кристаллической решеткой $L1_2$, формирующимися в катанке в процессе отжига. Растворимость циркония в матрице алюминия незначительна, благодаря чему сплавы Al-Zr могут проявлять высокую
35 прочность, термическую стабильность и электропроводность, одновременно.

Известен проводниковый алюминиевый сплав, раскрытый в патенте FR 2996951 от 18.04.2014, который содержит 0,05-0,5 мас.% Zr и примеси. Способ изготовления проволоки включает в себя следующие этапы: приготовление расплава, содержащего алюминий, цирконий и неизбежные примеси; получение литой заготовки из расплава;
40 прокатку заготовки и последующие отжиги при температуре от 400 до 450°C в течение от 100 до 500 часов.

К недостаткам данного способа можно отнести слишком длительную продолжительность термической обработки (более 100 часов), что является нецелесообразным в промышленных условиях, так как происходит удлинение
45 технологического процесса производства проволоки.

Известен термостойкий высокопрочный алюминиевый сплав, раскрытый в патенте EP 0787811 A1 от 6.08.1997. Согласно данному патенту сплав на основе алюминия содержит: 0,28-0,8 мас.% Zr; 0,1-0,8% Mn; 0,1-0,4% Cu; 0,16-0,3% Si. Способ получения

проволоки из алюминиевого сплава включает следующие стадии: приготовление расплава при температуре не ниже чем $750+227 \times (Z-0,28)^\circ\text{C}$ (где Z - концентрация циркония в сплаве, мас.%); охлаждение со скоростью не ниже чем $0,1^\circ\text{C}/\text{с}$; получение первичной (литой) заготовки с последующей горячей деформацией; термическую
5 обработку при температуре $320-390^\circ\text{C}$ в течение 30-200 часов и холодную деформацию.

К недостаткам данного способа можно отнести:

1. Недостаточная электропроводность (ниже 53% IACS);
2. Длительная продолжительность термической обработки (более 100 часов);
3. В способе присутствует дополнительная холодная обработка, что усложняет
10 технологический процесс получения требуемого уровня характеристик.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому изобретению является способ, изложенный в патенте RU 2657678 C1, публ. 14.06.2018, включающий получение катанки из термостойкого сплава на основе алюминия, характеризующегося электропроводимостью не менее 60% IACS, содержащего цирконий в количестве 0,20-
15 0,52 масс.% и неизбежные примеси. Способ включает в себя следующие операции: получение литой заготовки неограниченной длины путем кристаллизации расплава при температуре на 5°C выше температуры ликвидуса сплава, получение катанки неограниченной длины путем горячей деформации литой заготовки, намотка катанки в бухты мерной длины, термическую обработку бухт катанки при максимальной
20 температуре нагрева 415°C в течение не более 144 часов, при этом скорость нагрева в интервале температур $300-400^\circ\text{C}$ не выше $15^\circ\text{C}/\text{ч}$.

К недостаткам данного способа следует отнести:

1. Наряду с высокими показателями электропроводности наблюдаются низкие значения прочностных свойств, что не позволяет использовать материал для
25 изготовления электротехнической катанки и проводов ЛЭП;
2. Недостаточная температура литья приводит к формированию в структуре литой заготовки первичных кристаллов фазы Al_3Zr с решеткой типа D0_{23} , которые негативно влияют на механические свойства.

Задачей предлагаемого изобретения является создание способа получения катанки
30 из термостойкого алюминиевого сплава легированного цирконием, кремнием и железом, обеспечивающего одновременное достижение значений высокой удельной электропроводности и высокого уровня механических свойств.

Техническим результатом является решение поставленной задачи, в частности повышение электропроводности сплава без потери оптимального уровня
35 термостойкости и механических свойств, после высокотемпературных нагревов без использования длительных временных выдержек.

Для решения поставленной задачи предложен способ получения катанки из термостойкого алюминиевого сплава, содержащего 0,2-0,4 мас.% Zr, 0,2-0,4% Si, 0,6-0,8% Fe, Al – остальное, включающий приготовление расплава, получение литой
40 заготовки с последующей кристаллизацией, получение катанки путем горячей деформации литой заготовки, намотку катанки в бухты, термическую обработку бухт, причем, приготовление расплава осуществляют при температуре $800-900^\circ\text{C}$ с последующей кристаллизацией со скоростью $5^\circ\text{C}/\text{с}$, получение катанки осуществляют путем горячей деформации литой заготовки при температуре 300°C со степенью обжатия
45 70%, а термическую обработку бухт катанки осуществляют при температуре $200-600^\circ\text{C}$ в течение не более 24 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Для обеспечения оптимального сочетания свойств электропроводности, механических свойств и термостойкости, даже после высокотемпературных нагревов, структура

проводникового материала должна представлять собой нелегированный твердый раствор алюминия с однородно распределенными в нем частицами Al_3Zr с кристаллической решеткой $L1_2$ и средним размером не более 25 нм.

5 Перегрев расплава на $5^\circ C$ выше температуры ликвидуса алюминиевого сплава и скорости кристаллизации $40 K/c$ ($^\circ C/c$) может привести к образованию грубых первичных частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$ и снижению концентрации циркония в твердом растворе, что приведет к потере прочностных свойств при дальнейшей обработке.

10 Температурный интервал литья от 800 до $900^\circ C$ позволяет достичь требуемой структуры литой заготовки. Содержание циркония свыше $0,3$ мас. % приводит к выделению грубых первичных частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$, которые снижают свойства катанки. Однако низкое содержание циркония будет недостаточным для упрочнения при выделении вторичных частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой
15 $L1_2$. Поэтому для полного растворения циркония в расплаве необходимо повысить температуру литья и увеличить скорость кристаллизации. При недостаточно быстром затвердевании могут образовываться грубые первичные кристаллы фазы Al_3Zr , что сопровождается снижением концентрации циркония в Al , поэтому рекомендуемая
20 скорость кристаллизации не менее $5^\circ C/c$ (Белов Н. А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов. – 2010). С повышением скорости кристаллизации расширяется концентрационная область алюминиевого твердого раствора, что позволяет получить структуру без первичных частиц Al_3Zr . Затвердевание в этой концентрационной области осуществляется по принципу твердых растворов, при этом наблюдается переход
25 области первичной кристаллизации фазы Al_3Zr непосредственно в область кристаллизации алюминиевого твердого раствора.

Согласно патенту RU 2657678 горячая деформация при температуре свыше $300^\circ C$ может привести к неравномерному распаду алюминиевого твердого раствора с образованием вторичных выделений фазы Al_3Zr с кристаллической решеткой $L1_2$, что
30 негативно отразится на механических свойствах.

Легирование железом и кремнием необходимо для значительного повышения прочностных характеристик при сохранении электропроводности на приемлемом уровне (Золоторевский В. С., Белов Н. А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – МИСиС, 2005). При этом соотношение кремний/железо= $0,3-0,5$ обеспечивает
35 формирование после отжига частиц Al_3Fe_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 процесс выделение частиц Al_3Zr и тем самым сокращает время термической обработке
40 (Alabin, A. N., Belov, N. A., Korotkova, N. O., Samoshinal, M. E. Effect of Annealing on the Electrical Resistivity and Strengthening of Low-Alloy Alloys of the Al–Zr–Si System //Metal Science and Heat Treatment. – 2017. – Т. 58. – №. 9-10. – С. 527-531), что позволяет оптимизировать технологический процесс, сократить затраты на электроэнергию и
45 снизить себестоимость готового изделия. Отсутствие Si приводит к образованию вредных игольчатых частиц Al_3Fe в микроструктуре алюминиевого сплава после отжига, которые снижают пластичность. Поэтому оптимальное количество кремния должно быть $0,25-0,50$ мас. % из-за образования фазы Al_3Fe_2Si с предпочтительной морфологией пластин.

Легирование кремнием и железом выше заявленных пределов влечет сильное снижение электропроводящих свойств.

Примеры осуществления.

Пример 1. Для подтверждения концентрационного диапазона, при котором структура сплава представлена в виде алюминиевого твердого раствора циркония и некоторого количества железосодержащих фаз эвтектического происхождения, были отлиты 3 состава сплава (табл. 1). Температура литья заготовок измерялась непосредственно перед заливкой в форму, обеспечивая скорость кристаллизации 5 °С/с. Химический состав сплавов, температуры литья и параметры структуры сплавов приведены в

таблице 1. Методом сканирующей электронной микроскопии была проанализирована микроструктура алюминиевого сплава на предмет наличия или отсутствия первичных частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$.

Таблица 1.

Наличие/отсутствие частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$ для экспериментальных сплавов при температуре литья 800-900°С

№	Алюминиевый сплав, масс. %	Температура литья, °С		
		800	840	900
1	Al-0,24Zr-0,22Si-0,65Fe	-	-	-
2	Al-0,27Zr-0,23Si-0,69Fe	-	-	-
3	Al-0,37Zr-0,36Si-0,75Fe	+	-	-

где «-» отсутствие в структуре сплава частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$, «+» наличие в структуре сплава частиц Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$.

Из результатов, представленных в таблице 1, следует, что при температуре литья в интервале 800-900°С и скорости кристаллизации 5 °С/с формируется структура без первичных частиц в Al_3Zr с кристаллической решеткой $D0_{23}$.

Данная структура литой заготовки является допустимой для последующей термомеханической обработки.

Пример 2. Из сплава состава 2 (табл. 1) была получена литая заготовка путем непрерывного литья при температуре 840°С и скорости кристаллизации 5°С/с. Горячую деформацию литой заготовки проводят при температуре 300°С на прокатном стане, что приводит к получению катанки с конечным диаметром 9,5 мм. Термическую обработку бухт катанки осуществляют в интервале температур 200-600°С в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Как видно из таблицы 2, только при температуре отжига 400°С обеспечивается одновременное достижение высокой удельной электропроводимости (IACS) и высокого уровня механических свойств (σ_B , δ) катанки из алюминиевого сплава.

Таблица 2.

Свойства термостойкого алюминиевого сплава после термической обработке при температуре 200-600°С в течение 3 часов.

Температура отжига, °С	IACS, %	σ_B , МПа	δ , %	Термостойкость, °С
200	46,0	175,1	5,7	<250
250	46,2	174,7	6,0	<250
300	47,2	170,2	7,1	<250
350	52,0	160,8	9,5	250
400	56,1	162,1	12,1	\geq 250
450	56,4	140,9	15,2	>250
500	57,3	121,5	16,8	>250
550	58,0	110,3	21,1	>250
600	59,1	105,6	25,2	>250

Пример 3. Из термостойкого алюминиевого сплава с химическим составом 2, предложенным в примере 1, путем непрерывного литья при температуре 840°С и скорости кристаллизации 5°С/с была получена литая заготовка. Горячую деформацию литой заготовки проводят при температуре 300°С на прокатном стане, что приводит к получению катанки с конечным диаметром 9,5 мм. Термическую обработку бухт катанки осуществляют в интервале температур 200-600°С в течение 24 часов с последующим охлаждением на воздухе.

Таблица 3.

Свойства термостойкого алюминиевого сплава после термической обработке при температуре 200-600°С в течение 24 часов.

Температура отжига, °С	IACS, %	σ_B , МПа	δ , %	Термостойкость, °С
200	47,9	180,1	6,0	<250
250	48,4	179,1	6,5	<250
300	50,5	176,9	6,7	<250
350	55,1	171,3	10,6	250
400	57,2	169,6	15,3	\geq 250
450	58,6	160,6	17,8	>250
500	59,3	140,9	25,3	>250
550	60,1	120,8	30,1	>250
600	60,3	117,3	30,6	>250

Как видно из таблицы 3, только при температуре отжига 400-450°С обеспечивается заданная электропроводность с сохранением комплекса высоких эксплуатационных характеристик, а именно высокая прочность и термостойкость.

Предложенный способ получения катанки является экономически целесообразным в промышленных условиях по сравнению со способами, предложенными в патентах FR 2996951 и EP 0787811. Данные в таблице показывают, что разработанный способ производства катанки из термостойкого алюминиевого сплава обеспечивает комплекс высоких эксплуатационных свойств, превышающие свойства в патенте RU 2657678.

Физико-механические характеристики разработанного способа отвечают требованиям 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 рубежом.

(57) Формула изобретения

Способ получения катанки из термостойкого алюминиевого сплава, содержащего, мас. %: 0,2-0,4 Zr, 0,2-0,4 Si, 0,6-0,8 Fe, Al – остальное, включающий приготовление расплава, получение литой заготовки с последующей кристаллизацией, получение катанки путем горячей деформации литой заготовки, намотку катанки в бухты, термическую обработку бухт, отличающийся тем, что приготовление расплава

осуществляют при температуре 800-900°C со скоростью кристаллизации 5 °C/с, термическую обработку бухт катанки осуществляют при температуре 200-600°C в течение не более 24 часов с последующим охлаждением на воздухе.

5

10

15

20

25

30

35

40

45