



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22C 21/00 (2022.08); H01B 1/02 (2022.08)

(21)(22) Заявка: 2022117130, 24.06.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.06.2022

Дата регистрации:
05.09.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.06.2022

(45) Опубликовано: 05.09.2022 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Борисова Юлия Игоревна (RU),
Могучева Анна Алексеевна (RU),
Ткачев Евгений Сергеевич (RU),
Борисов Сергей Игоревич (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 2686797 C2, 06.08.2019. AU
6910474 A, 20.11.1975. EP 0787811 A1, 06.08.1997.
GB 2121435 B, 28.08.1986. SU 1746737 A1,
30.11.1994.

(54) **Алюминиевый сплав**

(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.

Алюминиевый сплав содержит, мас. %: 0,15-0,3 Мо, 0,1-0,18 Zr, 0,07-0,08 Si, 0,09-0,13 Fe, Al – остальное. Полученный сплав имеет комплекс высоких эксплуатационных характеристик, а именно повышенную прочность и высокую электропроводность. 2 пр.

C 1
2 7 7 9 2 6 4
R U

R U
2 7 7 9 2 6 4
C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22C 21/00 (2022.08); H01B 1/02 (2022.08)

(21)(22) Application: **2022117130, 24.06.2022**

(24) Effective date for property rights:
24.06.2022

Registration date:
05.09.2022

Priority:

(22) Date of filing: **24.06.2022**

(45) Date of publication: **05.09.2022** Bull. № 25

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Borisova Yuliya Igorevna (RU),
Mogucheva Anna Alekseevna (RU),
Tkachev Evgenij Sergeevich (RU),
Borisov Sergej Igorevich (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) **ALUMINIUM ALLOY**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metallurgy, and in particular to methods for producing electrical products based on aluminum used for the manufacture of electrical wire rod and wires of high-voltage power lines. The aluminum alloy contains,

wt. %: 0.15-0.3 Mo, 0.1-0.18 Zr, 0.07-0.08 Si, 0.09-0.13 Fe, Al - the rest.

EFFECT: resulting alloy has a set of high performance characteristics, namely increased strength and high electrical conductivity.

1 cl, 2 ex

RU 2 779 264 C1

RU 2 779 264 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 Алюминиевые сплавы широко применяют в изделиях электротехнического назначения, благодаря высокой электропроводности и коррозионной стойкости. Оптимальное сочетание легкого веса и умеренной электропроводности делает эти сплавы предпочтительными для производства проводов высоковольтных воздушных
10 линий электропередач (ЛЭП) по сравнению с медными сплавами. Поэтому алюминиевая продукция отечественного производства является востребованным продуктом на российском рынке.

Для модернизации существующей электроэнергетической инфраструктуры необходимо применение новых термостабильных материалов, которые сочетают высокую электропроводность и достаточную прочность. В качестве алюминиевого
15 сплава электротехнического назначения применяется преимущественно технический чистый алюминий. Известно, что рабочая температура электропроводов из алюминиевых сплавов обычно не превышает 100°C. Данные сплавы должны сочетать низкое электросопротивление, близкое к электрическому сопротивлению чистого
20 алюминия и достаточную прочность при повышенных температурах, сохраняющуюся после нагревов вплоть до 250°C. Последнее требование исключает использование традиционных проводов из технического алюминия и сплавов типа АВЕ (сплавы с химическим составом в масс. %: 0,4 - 0,7 Fe, 0,45 - 0,6 Si, до 0,05 Cu, 0,45 - 0,6 Mg, до 0,05
25 Zn, Ti+V+Mn+Cr <0.015, Al – остальное), поскольку даже кратковременный нагрев свыше 200-250°C приводит к их сильному разупрочнению. Для решения этой проблемы наиболее перспективными являются алюминиевые сплавы, легированные цирконием. Легирование цирконием применяется для повышения прочности при комнатной температуре и обеспечения стабильности структуры и свойств при растяжении при
повышенных температурах из-за образования дисперсных частиц.

Известен алюминиевый сплав, раскрытый в патенте RU 2544331 публ. 23.01.2014.
30 Согласно данному патенту сплав на основе алюминия содержит компоненты в масс. %: цирконий 0,15-0,40, кремний 0,03-0,15, железо 0,15-0,35, магний 0,01-0,60, медь 0,005-0,01, цинк 0,005-0,02, бор 0,001-0,003, сумму примесей титана, хрома, ванадия, марганца до 0,030, алюминий - остальное. Сплав может быть использован преимущественно для
35 изготовления катанки электротехнического назначения, а также деформированных полуфабрикатов, используемых в строительстве, машиностроении и других областях народного хозяйства.

Недостатком данного сплава является недостаточная прочность при высоких проводящих характеристиках и способности сохранять прочность после нагрева до
40 высоких температур. При этом в состав сплава входит большое количество циркония, что обуславливает высокую стоимость конечного продукта.

Известен литейный алюминиевый сплав, раскрытый в патенте SU 1746737 публ. 30.11.1994. Согласно этому патенту данный сплав содержит компоненты в масс. %: медь 4,2 - 6,7, марганец 0,5 - 1,5, никель 0,05 - 2,0, цирконий 0,05 - 0,5, титан 0,05 - 0,5, кадмий 0,01 - 0,25, кобальт 0,05 - 1,0, молибден 0,05 - 0,5, алюминий – остальное.
45 Алюминиевый сплав предназначен для применения в авиационно-космической технике и других отраслях народного хозяйства. Данный сплав после обработки показывает высокие прочностные свойства – предел прочности составляет 430-450 МПа.

Недостатком сплава является проведение дополнительной термической обработки

для получения высоких свойств алюминиевого сплава. Также наблюдается недостаточная прочность после нагрева до высоких температур и низкая пластичность 4-7%.

Известен термостойкий высокопрочный алюминиевый сплав, раскрытый в патенте
 5 EP 0787811 публ. 06.08.1997. Согласно данному патенту сплав на основе алюминия
 содержит: 0,28-0,8 масс. % 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 $750+227\text{C}(Z-0,28)^\circ\text{C}$ (где Z - концентрация
 циркония в сплаве, мас.%); охлаждение со скоростью не ниже чем $0,1^\circ\text{C}/\text{с}$; получение
 10 первичной (литой) заготовки с последующей горячей деформацией; термическую
 обработку при температуре 320-390°C в течение 30-200 часов и холодную деформацию.

К недостаткам данного способа можно отнести:

1. Высокая продолжительность термической обработки (более 100 часов).
2. В способе присутствует дополнительная холодная обработка, что усложняет
 15 технологический процесс получения требуемого уровня характеристик.
3. Низкую электропроводность (ниже 53% IACS) сплава после термомеханической
 обработки.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является алюминиево-циркониевый
 сплав, описанный в патенте RU 2696797 публ. 06.08.2019. Данный сплав содержит, масс.
 20 %: 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.

В способе присутствует дополнительная термомеханическая обработка, что
 усложняет технологический процесс и приводит к увеличению затраченного времени
 на производство, что является нецелесообразным в промышленных условиях. При этом
 25 в состав сплава входит большое количество циркония, что обуславливает высокую
 стоимость конечного продукта.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка алюминиевого сплава,
 обладающего повышенной прочностью, достаточной электропроводностью,
 термостойкостью при низкой себестоимости без дополнительной термомеханической
 30 обработки.

Для решения поставленной задачи предлагается сплав на основе алюминия,
 содержащий молибден, цирконий, кремний, железо со следующим соотношением
 компонентов, масс. %: 0,15-0,3 Mo, 0,1-0,18 Zr, 0,07-0,08 Si, 0,09-0,13 Fe, Al – остальное.

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

	Молибден	0,15-0,3
	Цирконий	0,1-0,18
40	Кремний	0,07-0,08
	Железо	0,09-0,13
	Алюминий	остальное

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

Известно (Alabin, A.N.; Belov, A.N.; Korotkova, N.O.; Samoshina, M.E. Effect of annealing

on the electrical resistivity and strengthening of low-alloy alloys of the Al-Zr-Si system. Metal Sci. Heat Treat. 2016, 58, 527–531; Belov, N.A.; Alabin, A.N.; Prokhorov, A.Y. Effect of zirconium additive on the strength and electrical resistivity of cold-rolled aluminum sheets. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Tsvetn. Met. 2009, 4, 42–47.), что с увеличением количества легирующих элементов снижаются проводящие свойства сплава. Увеличение содержания циркония более 0,3 вес. % в алюминиевых сплавах приводит к выделению первичных включений Al_3Zr , которые уменьшают механические свойства. Поэтому содержание циркония должно быть не более 0,3 вес. %. При этом низкое содержание циркония будет недостаточно для упрочнения при выделении частиц Al_3Zr . Высокое содержание кремния значительно влияет на твердость и электропроводность исследуемых сплавов, в то время как отсутствие кремния приводит к образованию «вредных» игольчатых частиц Al_3Fe после термической обработки. Поэтому оптимальное количество кремния должно быть 0,25-0,50 вес. % из-за образования фазы Al_8Fe_2Si с предпочтительной морфологией пластин.

Однако, немаловажным недостатком в ключе технологического применения легирующей добавки циркония является его высокая себестоимость. Одним из возможных вариантов оптимизации является его частичная замена молибденом. Эффективность использования молибдена в качестве легирующей добавки в рассматриваемом контексте производства стабильных высокопрочных алюминиевых сплавов представляет существенный интерес. Низкая диффузионная подвижность атомов молибдена в алюминии, составляющая $2,3 \times 10^{-26} \text{ м}^2/\text{с}$ при температуре 300°C в совокупности с его ограниченной растворимостью в твердом растворе алюминия, равной 0,25 вес. % при температуре 660°C , резко снижается с уменьшением температуры, что способствует образованию частиц молибдена в алюминии. При комнатной температуре молибден имеет незначительную растворимость в алюминии. После литья и термической обработки микротвердость, предел текучести увеличиваются с увеличением содержания молибдена и достигают пиковых значений при 0,3 масс. % с последующим выходом на плато. При оптимальном содержании молибдена (0,3 масс. %), объемная доля частиц увеличивается, в то время как объемная доля зоны, свободной от частиц, значительно снижается по сравнению с основным сплавом, не содержащим молибден, что приводит к значительному увеличению прочности при повышенных температурах. 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.

Примеры осуществления.

Пример 1. Алюминиевый сплав, содержащий не более 0,35 масс. % циркония и молибдена, выплавлен в тигельной печи под флюсом. Перед литьем производилась чистка тигля плавильной печи, переливного корыта и кристаллизатора алюминием. В качестве основы использовался алюминий марки A995 и сплавы $AlZr10$ и $AlMo5$ в соотношении 1:1. Выплавку проводили в тигельных печах под флюсом при температуре 760°C и скорости охлаждения $10^\circ\text{C}/\text{сек}$. Температура литья заготовок измерялась непосредственно перед заливкой в форму. Скорость литья составила 120 мм/мин, а скорость охлаждения кристаллизатора – $8 \text{ м}^3/\text{ч}$. В соответствии с предложенным способом получен сплав следующего химического состава в мас. %: Al - 0,18 Zr - 0,15 Mo – 0,08 Si – 0,09 Fe.

Способ обеспечивает одновременное достижение хорошей удельной

электропроводимости (IACS) и механических свойств: предела прочности и относительного удлинения до разрушения из алюминиевого сплава в литом состоянии.

Полученный алюминиевый сплав в литом состоянии обладает высокой удельной электропроводимостью составляющей 52% IACS и микротвердостью по Виккерсу равной 23 HV. В литом состоянии предел прочности составляет 62 МПа, а относительное удлинение до разрушения составляет 26,5%.

Пример 2. Алюминиевый сплав, содержащий не более 0,4 масс. % циркония и молибдена, был выплавлен в тигельной печи под флюсом. В качестве основы использовался алюминий марки А995 и сплавы AlZr10 и AlMo5 в соотношении 1:4. Выплавку проводили в тигельных печах под флюсом при температуре 760°C и скорости охлаждения 10°C/сек. Скорость литья составила 120 мм/мин. Диаметр кристаллизатора равен 145 мм, а скорость охлаждения кристаллизатора – 8 м³/ч. В соответствии с осуществленным способом получен сплав следующего химического состава в мас. %: Al - 0,10 Zr - 0,26 Mo – 0,07 Si – 0,13 Fe.

Способ обеспечивает одновременное достижение комплекса физико-механических свойств. Алюминиевый сплав в литом состоянии обладает хорошей удельной электропроводимостью равной 51% IACS и микротвердостью по Виккерсу равной 22 HV. В литом состоянии предел прочности составляет 62 МПа при относительном удлинении до разрушения 28,0%.

(57) Формула изобретения

Алюминиевый сплав, содержащий цирконий, кремний, железо и алюминий, отличающийся тем, что он дополнительно содержит молибден, при следующем соотношении компонентов, мас. %: 0,15-0,3 Mo, 0,1-0,18 Zr, 0,07-0,08 Si, 0,09-0,13 Fe, Al – остальное.

30

35

40

45