



(51) МПК

C22F 1/08 (2006.01)

B21C 1/02 (2006.01)

B21C 23/08 (2006.01)

B21C 37/04 (2006.01)

C22C 9/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22F 1/08 (2025.01); B21C 1/02 (2025.01); B21C 23/08 (2025.01); B21C 37/04 (2025.01); C22C 9/00 (2025.01)

(21)(22) Заявка: 2024134523, 19.11.2024

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.11.2024Дата регистрации:
06.06.2025

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.11.2024

(45) Опубликовано: 06.06.2025 Бюл. № 16

Адрес для переписки:

308015, г.Белгород, ул. Победы, 85, НИУ
"БелГУ", РЦИС, Цурикова Наталья
Дмитриевна

(72) Автор(ы):

Бодякова Анна Игоревна (RU),
Борисов Сергей Игоревич (RU),
Юзбекова Диана Юнусовна (RU),
Тагиров Дамир Вагизович (RU),
Мишнев Роман Владимирович (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 2809878 C1, 19.12.2023. RU
2688005 C1, 17.05.2019. RU 2427665 C1,
27.08.2011. CN 104928603 A, 23.09.2015. CN
105734336 A, 06.07.2016.

(54) Способ изготовления высокопрочного провода из медного сплава

(57) Реферат:

Изобретение относится к металлургии, а именно к способам изготовления высокопрочных проводов из медных сплавов, которые, в частности, могут быть использованы в качестве проводов контактной сети высокоскоростного железнодорожного транспорта. Способ изготовления провода из медного сплава включает плавку сплава, предварительную пластическую деформацию и волочение. В плавильной установке выплавляют медный сплав, содержащий 1,0% Cr и 0,15% Zr, осуществляют пластическую деформацию ковкой при температуре 900°C до истинной степени деформации 1 и охлаждение полученной заготовки до комнатной температуры со скоростью не менее 300°C/с. Далее осуществляют прокатку в калибрах при комнатной температуре

до истинной степени деформации 2,5, производят промежуточный отжиг при температуре 400°C в течение 1 ч, после чего производят волочение при комнатной температуре до истинной степени деформации 1 с последующим промежуточным отжигом при температуре 400°C в течение 1 ч, заключительный этап волочения до истинной степени деформации 1 и старение при температуре 450°C в течение 1 ч. В результате получают провод со следующими характеристиками: временное сопротивление разрушению 570 МПа, относительное удлинение до разрушения 3,7%, электрическое сопротивление 0,024 мкОм*м, что соответствует требованиям ГОСТ Р 55647-2018 для сплавов БрЗ, которые предназначены для проводов высокоскоростных железнодорожных магистралей. 1 ил., 1 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22F 1/08 (2006.01)

B21C 1/02 (2006.01)

B21C 23/08 (2006.01)

B21C 37/04 (2006.01)

C22C 9/00 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

C22F 1/08 (2025.01); B21C 1/02 (2025.01); B21C 23/08 (2025.01); B21C 37/04 (2025.01); C22C 9/00 (2025.01)

(21)(22) Application: 2024134523, 19.11.2024

(24) Effective date for property rights:
19.11.2024

Registration date:
06.06.2025

Priority:

(22) Date of filing: 19.11.2024

(45) Date of publication: 06.06.2025 Bull. № 16

Mail address:

308015, g. Belgorod, ul. Pobedy, 85, NIU "BelGU",
RTSIS, Tsurikova Natalya Dmitrievna

(72) Inventor(s):

Bodiakova Anna Igorevna (RU),
Borisov Sergei Igorevich (RU),
Iuzbekova Diana Iunusovna (RU),
Tagirov Damir Vagizovich (RU),
Mishnev Roman Vladimirovich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia "Belgorodskii gosudarstvennyi
natsionalnyi issledovatel'skii universitet" (NIU
"BelGU") (RU)

(54) METHOD OF MANUFACTURING HIGH-STRENGTH WIRE FROM COPPER ALLOY

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to metallurgy, namely to methods of high-strength wires manufacturing from copper alloys, which, in particular, can be used as overhead system wires of high-speed railway transport. Method of manufacturing wire from copper alloy includes alloy melting, preliminary plastic deformation and drawing. Copper alloy containing 1.0 % of Cr and 0.15 % of Zr is melted in a melting unit, plastic deformation is performed by forging at temperature 900 °C to true deformation degree 1 and cooling obtained workpiece to room temperature at a rate of not less than 300 °C/s. Further, method includes rolling in gages at room temperature to true deformation degree 2.5, performing intermediate annealing at

temperature 400 °C for 1 hour, after which drawing is carried out at room temperature to true deformation degree 1, followed by intermediate annealing at temperature 400 °C for 1 hour, final stage of drawing to true degree of deformation 1 and aging at temperature 450 °C for 1 hour.

EFFECT: as a result, a wire is obtained with the following characteristics: ultimate resistance to destruction of 570 MPa, relative elongation to destruction of 3_7 %, electrical resistance of 0_024 mcohm*m, which corresponds to the requirements of GOST R 55647-2018 for Br3 alloys, which are intended for wires of high-speed railway lines.

1 cl, 1 dwg, 1 tbl

Изобретение относится к металлургии, а именно к способам изготовления высокопрочных проводов из медных сплавов, которые, в частности, могут быть использованы в качестве проводов контактной сети высокоскоростного железнодорожного транспорта.

- 5 Требования высокой прочности и электрической проводимости контактного провода обусловлены повышенным натяжением провода при движении высокоскоростных поездов. При этом напряжения, возникающие в проводе при движении составов со скоростями более 100 км/ч, могут достигать 200 МПа (Гершман И.С., Миронос Н.В. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного
- 10 транспорта // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2011. - № 3. - с. 13-17; Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах железнодорожного транспорта. Москва: Интекст, 2005. 408 с.). Поэтому ГОСТ Р 55647-2018 «Национальный стандарт Российской Федерации. Провода контактные из меди и ее сплавов для электрифицированных железных дорог.
- 15 Технические условия» предъявляет требования по временному сопротивлению при растяжении для проводов из бронзы 2 группы не менее 475 МПа при относительном удлинении от 3 до 10% и удельном электрическом сопротивлении не более 0,0278 мкОм*м, для бронз 3 группы: временное сопротивление - не менее 545 МПа, относительное удлинение - 3 - 10%, удельное электрическое сопротивление - не более
- 20 0,0314 мкОм*м. Отметим, что химический состав бронз не регламентируем ГОСТ. При этом способ обработки провода должен быть технологичен, т.е. при деформационно-термической обработки желательно ограничиваться имеющимся на кабельных заводах оборудованием, в частности, прокатными станами, волочильными машинами и печами. В связи с этим использование в производственном цикле
- 25 перспективного метода обработки равноканальное угловое прессование по схеме «Конформ» (РКУП-Конформ) (Рааб Г.И., Валиев Р.З. Равноканальное угловое прессование по схеме “Конформ” длинномерных наноструктурных полуфабрикатов из титана // Кузнечно-штамповое производство. Обработка металлов давлением. - 2008. -Т. 1. - с. 21-27; Нестеров К.М., Исламгалиев Р.К., Валиев Р.З. Прочность и
- 30 электропроводность ультрамелкозернистого медного сплава системы Cu-Cr // Вестник УГАТУ Машиностроение. - 2012. - Т. 16, № 8 (53). - с. 110-117) представляется затруднительным. Несмотря на то, что РКУП-Конформ обеспечивает формирование в сплаве ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры и высокую плотность дислокаций, обеспечивающих высокую прочность, на сегодняшний день данная технология не
- 35 нашла распространения в кабельной промышленности из-за необходимости осуществления многопроходного процесса с переворотом заготовки для эффективного формирования УМЗ структуры, что представляет технические трудности. Поэтому способы деформационно-термической обработки, включающие РКУП или РКУП-Конформ непригодны для промышленной обработки медных сплавов для самонесущих
- 40 проводов и кабелей.

- Известен способ деформационно-термической обработки низколегированных медных сплавов, описанный в патенте «Способ деформационно-термической обработки низколегированных медных сплавов» (RU № 2688005, публ. 2019.05.17), включающий
- 45 гомогенизационный отжиг, прокатку и непрерывное равноканальное угловое прессование, отжиг и волочение, обеспечивающий изготовление высокопрочного медного провода. Существенным недостатком данного способа является большое количество дорогостоящих технологических операций, в том числе РКУП, которые являются нетехнологичными и существенно удорожают процесс и увеличивают

себестоимость провода.

Известен способ изготовления электроконтактного провода из термоупрочняемого сплава на основе меди (RU № 2741873, публ. 2021.01.29), которые включает подачу сплава в кристаллизатор, кристаллизацию сплава в виде непрерывнолитой заготовки, деформацию упомянутой заготовки на катанку, закалку, формирование провода контактного с фасонным профилем при последовательном комбинировании в одной операции равноканального углового прессования по схеме Конформ и прессования профиля провода при температуре не выше 500°C, старение при 400-500°C, при этом деформацию на катанку проводят в непрерывном цикле сначала прокаткой со снижением температуры до 300°C и последующим многостадийным знакопеременным изгибом в роликах при температуре 300-400°C с суммарной накопленной степенью деформации поверхностных слоев катанки $\epsilon \geq 2$. По второму варианту способ включает подачу сплава в кристаллизатор, кристаллизацию сплава в виде непрерывнолитой заготовки, деформацию заготовки на катанку, закалку, формирование провода контактного с фасонным профилем, старение при 400-500°C, при этом деформацию на катанку проводят в непрерывном цикле сначала прокаткой со снижением температуры до 300°C и последующим многостадийным знакопеременным изгибом в роликах при температуре 300-400°C с суммарной накопленной степенью деформации поверхностных слоев катанки $\epsilon \geq 2$, а формирование провода с фасонным профилем в условиях непрерывной обработки осуществляют профильными приводными валками. Недостатком технологии является использование нетехнологичного процесса РКУП.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является «Способ изготовления контактного провода из медного сплава» (RU 2809878, публ. 2023.12.19). Изобретение относится к изготовлению контактных фасонных проводов из медных сплавов. Осуществляют предварительную плавку и рафинирование шихтового материала из меди в тигельной плавильной установке индукционного типа с получением расплава с содержанием меди не менее 99,91 мас.%. Производят легирование расплава в тигельной плавильной установке оловом или магнием под слоем угля или графита. Осуществляют вытяжку заготовки из расплава в установке непрерывного вертикального литья и намотку заготовки на приемное устройство. Осуществляют экструзию полученной непрерывнолитой заготовки при температуре 400-650°C на установке Conform с получением прутка с мелкозернистой структурой диаметром не более диаметра непрерывнолитой заготовки. Производят волочение прутка на волочильной машине с диаметром тяговых колес не менее 800 мм в контактный фасонный провод с обеспечением степени обжатия прутка после каждой фильеры от 8 до 22% и суммарной степени обжатия от 48 до 65%. Существенным недостатком данной технологии является невозможность изготовления проводов для контактного провода, соответствующего требованиям к сплавам БрЗ.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка способа изготовления высокопрочного провода из медного сплава, позволяющего производить длинномерные провода с низким электросопротивлением, высокой прочностью и достаточной пластичностью, соответствующие требованиям ГОСТ 55647-2018 для сплавов БрЗ, без использования сложных технологических операций по типу машин РКУП.

Поставленная задача решается с помощью предлагаемого способа изготовления высокопрочного провода из медного сплава, включающего плавку, предварительную пластическую деформацию и волочение, причем вначале в плавильной установке получают сплав, содержащий 1,0% Cr и 0,15% Zr, далее осуществляют горячую обработку давлением при температуре 900°C до истинной деформации 1 и быстрое охлаждение

заготовки до комнатной температуры со скоростью не менее 300°C/с, затем осуществляют прокатку в калибрах при комнатной температуре до истинной деформации 2,5, производят промежуточный отжиг при температуре 400°C в течение 1 ч после чего производят волочение при комнатной температуре до истинной деформации 1 с последующим промежуточным отжигом при температуре 400°C в течение 1 ч и заключительный этап волочения до истинной деформации 1 со старением при температуре 450°C в течение 1 ч.

Техническим результатом изобретения является полученный способ изготовления высокопрочных проводов из медных сплавов, позволяющий производить длинномерные провода с низким электросопротивлением, высокой прочностью и достаточной пластичностью, отвечающий требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 55647-2018 к сплавам БрЗ, а именно:

- получение длинномерного провода прокаткой, волочением, промежуточными отжигами между циклами деформации и заключительным старением,
- достижении удельного электросопротивления не более 0,0314 мкОм*м,
- достижении высокой прочности не менее 545 МПа,
- достижении пластичности 3-10%.

Технический результат достигается за счет применения в процессе изготовления многоступенчатой деформационно-термической обработки, включающей горячую обработку давлением, прокатку в калибрах, волочение, промежуточные отжиги между циклами деформации и заключительное старение. Высокая технологичность обработки обеспечивается операциями, которые могут быть выполнены на стандартном оборудовании кабельных заводов и включены в непрерывный цикл производства.

Сущность изобретения поясняется чертежом.

Фиг. 1 - Влияние ступеней обработки на временное сопротивление разрушению, относительное удлинение (а, б) и электросопротивление (в) медных сплавов).

Способ осуществляют следующим образом. Сг до 0,1% и Zr до 0,1% недостаточно для обеспечения прочностных свойств, соответствующих требованиям ГОСТ 55647-2018 к сплавам БрЗ. Повышение содержания хрома позволяет увеличить прочностные свойства без значительного повышения электросопротивления и снижения пластичности. Горячая обработка давлением (ГП) с последующим быстрым охлаждением позволяет сформировать зерно порядка 30-50 мкм и обеспечить формирование пересыщенного твердого раствора. Прокатка в калибрах (ХП) при комнатной температуре с последующим промежуточным отжигом сопровождается развитием фрагментации, формированием структуры с размером зерен менее 5 мкм и выделением небольшой объемной доли дисперсных частиц. Волочение при комнатной температуре приводит к вытягиванию зерен вдоль течения металла, формированию структуры со средним размером менее 1 мкм и дополнительному повышению плотности дислокаций до $\sim 10^{14} \text{ м}^{-2}$, прочности и позволяет сформировать изделие с высоким качеством поверхности и стабильности геометрических параметров поперечного сечения. Промежуточные отжиги снимают наклеп между циклами деформации и обеспечивают повышение технологической пластичности. Окончательное старение обеспечивает низкое электросопротивление и дополнительное дисперсионное упрочнение за счет выделения частиц вторых фаз.

Пример осуществления изобретения.

Пример 1. Сплав химического состава Cu-1,0%Cr- 0,15%Zr был отлит в изложнице и подвержен горячей ковке при температуре 900°C до степени деформации 1 с охлаждением в воду, а также прокатке в калибрах при комнатной температуре до истинной

деформации 2,5 с промежуточным отжигом при температуре 400°C в течение 1 ч, волочению при комнатной температуре до степени деформации 1 с промежуточным отжигом при температуре 400°C в течение 1 ч и волочению при комнатной температуре до степени деформации 1 с последующим старением при температуре 450°C в течение 1 ч.

В таблице 1 приведены свойства сплава после обработки. Испытания на одноосное растяжение были проведены при комнатной температуре в соответствии с ГОСТ 25018-81 на испытательной машине «Instron 5882» с целью определения временного сопротивления разрушению и относительного удлинения до разрушения.

Электросопротивление было измерено 2-х зондовым методом измерения электросопротивления в соответствии с ГОСТ 7229-76. Технологичность была оценена по наличию трещин и литейных дефектов с помощью визуального наблюдения и дефектоскопии с использованием вихретокового дефектоскопа ВД-70 (НПК ЛУЧ), соответственно.

Таблица 1

Сплав	Временное сопротивление при растяжении, МПа	Электросопротивление, мкОм*м	Относительное удлинение, %	Технологичность	Соответствие группе по ГОСТ Р 55647-2018
Cu-1,0%Cr-0,15%Zr	570	0,0240	3,7	хорошая	Бр3
Прототип Патент RU 2809878	502	0,0257	-	хорошая	Бр2
Требования ГОСТ 55647-2018	545	0,0314	3-10	-	Бр3

Медный сплав после деформационно-термической обработки имеет высокую прочность и низкое электросопротивление. Обработка обеспечивает достаточную стабильность механических свойств после отжига и технологичность. Легирование 1% Cr позволяет сформировать в ходе деформационно-термической обработки наноразмерные частицы, которые обеспечивают высокое дисперсионное упрочнение порядка 150 МПа (Bodyakova A. et al. Effect of chromium content on precipitation in Cu-Cr-Zr alloys //Journal of Materials Science. - 2022. - Т. 57. - №. 27. - С. 13043-13059).

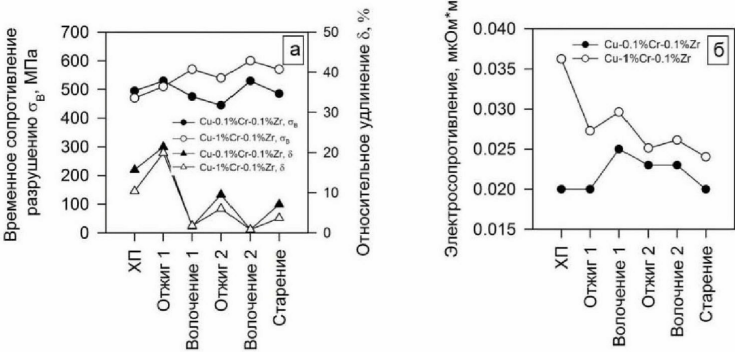
Деформационно-термическая обработка, сочетающая холодную деформацию и промежуточные отжиги, позволяет сформировать мелкие зерна с поперечным размером 0,85 мкм и плотностью дислокаций около $8 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$, что обеспечивает высокое зернограницное (130 МПа) и дислокационное упрочнение (220 МПа) (Sabirov I. et al. Bulk nanostructured materials with multifunctional properties. - Berlin, Germany: : Springer International Publishing, 2015. - Т. 118). Кроме того, промежуточные отжиги позволяют повысить пластичность, что обеспечивает синергетический эффект в формировании высокопрочного состояния с достаточным относительным удлинением, удовлетворяющим требованиям ГОСТ 55647-2018 для сплавов Бр3. Постепенное выделение дисперсных частиц в процессе деформационно-термической обработки

способствует снижению электросопротивления от операции к операции. Несмотря на добавление большего количества легирующих элементов к меди в сплаве Cu-1,0%Cr-0,15%Zr в сравнении с прототипом, выделение дисперсных частиц в медной матрице, свободной от атомов замещения, способствует более эффективному снижению электросопротивления в сравнении со сплавом-прототипом Cu-Mg, в котором легирующие элементы равномерно растворены в меди в качестве атомов замещения (Осинцев О. Е., Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. - Машиностроение, 2004).

Предложенный способ может быть применен для изготовления контактного провода для железнодорожного транспорта. Свойства провода соответствуют требованиям ГОСТ Р 55647-2018 для сплавов БрЗ, которые предназначены для проводов высокоскоростных железнодорожных магистралей.

(57) Формула изобретения

Способ изготовления провода из медного сплава, включающий плавку сплава, предварительную пластическую деформацию и волочение, отличающийся тем, что в плавильной установке выплавляют медный сплав, содержащий 1,0% Cr и 0,15% Zr, осуществляют пластическую деформацию ковкой при температуре 900°C до истинной степени деформации 1 и охлаждение полученной заготовки до комнатной температуры со скоростью не менее 300°C/с, далее осуществляют прокатку в калибрах при комнатной температуре до истинной степени деформации 2,5, производят промежуточный отжиг при температуре 400°C в течение 1 ч, после чего производят волочение при комнатной температуре до истинной степени деформации 1 с последующим промежуточным отжигом при температуре 400°C в течение 1 ч, заключительный этап волочения до истинной степени деформации 1 и старение при температуре 450°C в течение 1 ч.



Фиг. 1