



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
C22C 1/08 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021138076, 21.12.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.12.2021

Дата регистрации:
15.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2021

(45) Опубликовано: 15.08.2022 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Бодякова Анна Игоревна (RU),
Пилипенко Арина Геннадьевна (RU),
Луговская Анна Сергеевна (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 2688005 C1, 17.12.2018. RU
2610998 C1, 17.02.2017. CN 100398682 C,
02.07.2008. US 10773286 B1, 15.09.2020. RU
2685842 C1, 23.04.2019.

(54) Способ термомеханической обработки перспективных медных сплавов

(57) Реферат:

Изобретение относится к термомеханической обработке медных сплавов, предназначенных для электротехнических изделий, в частности для контактных проводов сети высокоскоростного железнодорожного транспорта, высокопрочных медных проводов и кабелей для нужд автомобильной и авиапромышленности. Способ термомеханической обработки низколегированных медных сплавов включает прокатку, равноканальное угловое прессование и волочение, при этом горячую прокатку проводят при температуре 700°C до степени деформации 0,5-2, непрерывное равноканальное угловое прессование осуществляют до истинной

степени деформации 1-2 при температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической рекристаллизации с деформационным старением, операцию волочения осуществляют до истинной степени деформации 1-2 при температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической рекристаллизации с деформационным старением. Использование предложенной обработки в производственном цикле провода позволит получить изделие с комплексом высоких характеристик, а именно: прочности, электропроводности, термостойкости и технологичности. 1 табл., 1 пр.

RU 2 778 130 C1

RU 2 778 130 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
C22C 1/08 (2022.05)

(21)(22) Application: **2021138076, 21.12.2021**

(24) Effective date for property rights:
21.12.2021

Registration date:
15.08.2022

Priority:

(22) Date of filing: **21.12.2021**

(45) Date of publication: **15.08.2022** Bull. № 23

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Bodyakova Anna Igorevna (RU),
Pilipenko Arina Gennadevna (RU),
Lugovskaya Anna Sergeevna (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 THERMOMECHANICAL PROCESSING OF PROMISING COPPER ALLOYS**

(57) Abstract:

FIELD: non-ferrous metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the thermomechanical processing of copper alloys intended for electrical products, in particular for contact wires of a high-speed rail network, high-strength copper wires and cables for the needs of the automotive and aviation industries. The method for thermomechanical processing of copper low alloys includes rolling, equal-channel angular pressing and drawing, while hot rolling is carried out at a temperature of 700°C to a degree of deformation of 0.5-2, continuous equal-channel angular pressing is carried out to a true degree of deformation

1-2 at a temperature corresponding to the development of continuous dynamic recrystallization with deformation aging, the drawing operation is carried out to a true degree deformations 1-2 at temperature, corresponding to the development of continuous dynamic recrystallization with deformation aging.

EFFECT: use of the proposed processing in the production cycle of the wire will make it possible to obtain a product with a complex of high characteristics, namely: strength, electrical conductivity, heat resistance and manufacturability.

1 cl, 1 tbl, 1 ex

RU 2 778 130 C1

RU 2 778 130 C1

Изобретение относится к термомеханической обработке медных сплавов, предназначенных для электротехнических изделий, в частности для контактных проводов сети высокоскоростного железнодорожного транспорта, высокопрочных медных проводов и кабелей для нужд автомобильной и авиапромышленности.

5 К материалам для контактной сети высокоскоростного железнодорожного транспорта, автомобильной и авиапромышленности предъявляют следующие требования: а) прочность не менее 600 МПа, б) электрическая проводимость не менее 80 % от электрической проводимости чистой меди (% IACS), в) устойчивость микроструктуры и свойств к нагревам до 300°C (трестойкость), г) технологичность.

10 Требование к высокой прочности проводов связано с необходимостью надежной работы провода при растягивающих напряжениях до 200 МПа в случае контактного провода или сокращением массы (сечения) проводов для нужд авто- и авиатранспорта. Высокая электрическая проводимость необходима для снижения энергетических потерь. Требование к термостойкости обусловлено перегревом контактной сети в случаях

15 перегрузок. Под технологичностью понимается способность к производству проводов длиной более 1 км. (Гершман И.С., Миронос Н.В. Требования к контактным проводам для высокоскоростного железнодорожного транспорта // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2011. – № 3. – с. 13–17; Берент В.Я. Материалы и свойства электрических контактов в устройствах

20 железнодорожного транспорта. Москва: Интекст, 2005. 408 с.).

Наилучшим подходом, который на сегодняшний день способен решить все производственные и эксплуатационные проблемы, представляется перспективный метод обработки равноканальное угловое прессование по схеме «Конформ» (РКУП-Конформ) (Рааб Г.И., Валиев Р.З. Равноканальное угловое прессование по схеме

25 «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 электропроводность ультрамелкозернистого медного сплава системы Cu–Cr // Вестник УГАТУ

30 Машиностроение. – 2012. – Т. 16, № 8 (53). – с. 110–117). РКУП-Конформ обеспечивает формирование в сплаве ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры и высокую плотность дислокаций, обеспечивающих высокую прочность. Кроме того данный метод позволяет осуществлять непрерывный цикл прессования и производить длинномерные заготовки. Термостойкость и высокая электрическая проводимость такой структуры может быть

35 получена за счет легирования меди элементами, которые имеют низкий предел растворимости в твердом растворе и при термообработке выделяются в виде дисперсных частицы (Murashkin M.Y. et al. Nanostructured Al and Cu alloys with superior strength and electrical conductivity // J. Mater. Sci. – 2016. – Vol. 51, № 1. – P. 33–49; Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура, свойства. Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.).

40 Из уровня техники известен способ обработки сплавов, включающий РКУП-Конформ (патент РФ 2484175 С1, от 24.10.2011). Изобретение относится к области получения УМЗ материалов с высокой прочностью и электропроводностью, предназначенных для изделий, работающих при воздействии высоких температур и значительных нагрузок. Способ обработки заключается в закалке, деформации и старении. Для закалки материал нагревают до температуры 1020-1050°C, выдерживают 0,5-1 ч и затем охлаждают в

45 воде. Далее проводят пластическую деформацию при температуре 200-300°C до истинной степени не менее 3 и последующее старение при температуре 400-500°C. Изобретение позволяет изготовить медный сплав с пределом прочности более 550 МПа,

электропроводностью не менее 85% от электропроводности чистой меди и термической стабильностью до температуры 500°C. Недостатком данной обработки является чрезмерно высокая температура закалки 1020-1050 °С, которая приводит к ускорению укрупнения зерен. Исходно крупное зерно замедляет процесс формирования УМЗ
5 структуры при РКУП-Конформ и требует большего числа проходов, что увеличивает стоимость изделия, снижает технологичность обработки и способствует износу оборудования.

Способ деформационно-термической обработки медных материалов, который описан в патенте РФ 2610998 от 20.10.2015, заключается в нагреве медного сплава в интервале
10 температур 850-980°C и выдержке от 0,5 до 2 ч с последующей закалкой, старении в интервале температур 350–650°C в течение от 2 до 8 ч, интенсивной пластической деформации методом непрерывного равноканального углового прессования в интервале температур 350–450°C до истинной степени деформации не более 2 с последующей прокаткой при комнатной температуре со степенью обжатия не менее 20%. Способ
15 позволяет получить полуфабрикат из медных сплавов с улучшенным комплексом физико-механических свойств, т.е. с высокой прочностью и высокой электропроводностью. Основным недостатком данной обработки – низкая прочность (330-350 МПа) и электрическая проводимость (57-62% от электропроводности чистой меди), недостаточные для того, чтобы надежно работать при высоких механических
20 нагрузках.

Наиболее близким к предлагаемой технологии является способ деформационно-термической обработки низколегированных медных сплавов, описанный в патенте RU № 2688005 от 17.12.2018, включающий гомогенизационный отжиг, прокатку и
25 непрерывное равноканальное угловое прессование, отжиг и волочение. Существенным недостатком данного способа является большое количество дорогостоящих технологических операций, которые удорожают процесс и увеличивают себестоимость провода.

Задачей предлагаемого изобретения является разработка термомеханической обработки низколегированных медных сплавов, которая обеспечит производство
30 провода, который будет обладать высокой электропроводностью, прочностью и термостойкостью.

Для решения поставленной задачи предлагается способ комплексной обработки низколегированных медных сплавов, включающий прокатку, равноканальное угловое
35 прессование и волочение. Для получения достаточной технологической пластичности, необходимой для проведения волочения, РКУП-Конформ и волочение предложено проводить при повышенной температуре.

Предложенная обработка включает прокатку, равноканальное угловое прессование, волочение и отличается от прототипа тем, что операция горячей прокатки происходит при температуре 700°C до истинной степени деформации 0,5-2, далее заготовка
40 подвергается непрерывному равноканальному угловому прессованию при повышенной температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической рекристаллизации с деформационным старением до степени деформации 1-2, окончательной операцией деформационно-термической обработки является волочение, которое осуществляется при повышенной температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической
45 рекристаллизации с деформационным старением до истинной степени деформации 1-2.

Техническим результатом изобретения является полученный способ деформационно-термической обработки медных сплавов, позволяющий производить провода с высокой электропроводностью, прочностью и термической стабильностью.

Технический результат заключается в:

- получение длинномерного провода,
- сохранении электропроводности на уровне более 80 % от электрической проводимости чистой меди,
- 5 - достижении высокой прочности более 600 МПа,
- достаточной термостойкости при температуре 300°C.

Задача изобретения решается за счет применения комбинированной термомеханической обработки, включающей горячую прокатку, РКУП-Конформ и волочение при повышенной температуре. Высокая технологичность обработки
10 обеспечивается операциями, которые могут быть включены в непрерывный цикл производства.

Сущность изобретения раскрывает таблица 1. Прокатка в калибрах при температуре 700°C сопровождается развитием динамической рекристаллизации и формированием структуры с размером зерен менее 10 мкм. Повышение температуры прокатки приведет
15 к формированию более крупных зерен, что нежелательно с точки зрения дальнейшего измельчения зеренной структуры. Понижение температуры будет способствовать наклепу медных сплавов и снижению их технологической пластичности. Деформация методом РКУП-Конформ при повышенной температуре обеспечит формирование структуры с высокой плотностью большеуговых границ ($\approx 50\%$) и дисперсными
20 частицами. Размер структурных элементов составляет 0,5-5 мкм, плотность дислокаций 10^{14} м^{-2} .

Увеличение числа проходов РКУП свыше 2 нецелесообразно в связи со слабым влиянием на прочностные свойства и резким ухудшением технологической пластичности. Температура деформации соответствует развитию непрерывной динамической
25 рекристаллизации с деформационным старением и определяется по резкому увеличению электрической проводимости в процессе деформации. Волочение при повышенной температуре до истинной степени деформации 1-2 приводит к дополнительному повышению плотности дислокаций до 10^{15} м^{-2} , обеспечению повышенной прочности
30 и позволяет сформировать изделие с высоким качеством поверхности и стабильности геометрических параметров поперечного сечения.

Пример осуществления

Сплав химического состава Cu-0,3%Cr-0,5%Zr был подвержен горячей прокатки при температуре 700°C до степени деформации 1,95, а также 2 проходам равноканального
35 углового прессования по схеме РКУП-Конформ при температуре 400°C с последующим волочением при температуре 400°C до степени деформации 1,7. Температура волочения 400°C была выбрана в связи с тем, что в процессе деформации при данной температуре развивается непрерывная динамическая рекристаллизация, сопровождающаяся выделением дисперсных частиц. В результате, происходит рост проводящих
40 характеристик за счет распада пересыщенного твердого раствора и рост прочностных свойств за счет измельчения зерен и повышения плотности дислокаций.

В таблице 1 приведены свойства сплава после обработки. Испытания на одноосное растяжение были проведены при комнатной температуре в соответствии с ГОСТ 1497-84 на испытательной машине «Instron 5882» с целью определения предела прочности
45 (σ_B). Электропроводность была рассчитана вихретоковым методом в соответствии с ГОСТ 27333-87. Электропроводность определялась в % от электропроводности чистой меди (% IACS). Термическая стойкость была оценена по размягчению после часового отжига при температуре 300°C. 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	Состояние	σ_B , МПа	Электропроводность, % IACS	Термостойкость	Технологичность
Cu-0,3%Cr-0,5%Zr	Образец до ДТО	270	35	хорошая	хорошая
	Образец после ДТО	650	82	хорошая	хорошая

Медный сплав после деформационно-термической обработки имеет высокую прочность и электропроводность, которые в несколько раз выше свойств в исходном состоянии. Термомеханическая обработка обеспечивает достаточную стабильность механических свойств после отжига и технологичность. Предложенная термомеханическая обработка может быть применена для изготовления контактного провода для высокоскоростного железнодорожного транспорта, который может развивать скорость движения до 300 км/ч, а также для кабелей авто- и авиатранспорта.

(57) Формула изобретения

Способ термомеханической обработки низколегированных медных сплавов, включающий прокатку, равноканальное угловое прессование и волочение, отличающийся тем, что горячую прокатку проводят при температуре 700°C до степени деформации 0,5-2, непрерывное равноканальное угловое прессование осуществляют до истинной степени деформации 1-2 при температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической рекристаллизации с деформационным старением, операцию волочения осуществляют до истинной степени деформации 1-2 при температуре, соответствующей развитию непрерывной динамической рекристаллизации с деформационным старением.