

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24033**

(13) **С1**

(46) **2023.06.30**

(51) МПК

**С 23С 10/48** (2006.01)

(54) **СМЕСЬ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО НАСЫЩЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ  
МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ**

(21) Номер заявки: а 20210364

(22) 2021.12.24

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Константинов Валерий Михайлович; Дашкевич Владимир Георгиевич; Плетенев Илья Викторович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) SU 885339, 1981.

SU 480777, 1975.

SU 945237, 1982.

SU 836203, 1981.

SU 1438269 A1, 1995.

SU 1477782 A1, 1989.

(57)

Смесь для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов, содержащая алюминий, оксид алюминия и хлористый аммоний, отличающаяся тем, что дополнительно содержит продукт реакции алюминотермического восстановления смеси, содержащей 20 % оксида алюминия, 35 % алюминия, 15 % оксида хрома и 30 % борного ангидрида, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

алюминий	20,0-50,0
оксид алюминия	20,0-40,0
хлористый аммоний	0,1-2,0
продукт реакции алюминотермического восстановления указанной смеси	25,0-50,0.

Изобретение относится к области металлургии, а именно к химико-термической обработке, и может быть использовано для изготовления диффузионно упрочненных алюминием изделий на основе меди и ее сплавов, имеющих повышенную долговечность при эксплуатации в условиях высокотемпературного окисления и коррозии.

Медь и ее сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами, однако не обладают достаточной стойкостью при эксплуатации в условиях повышенных температур, коррозии и интенсивного механического воздействия. Для повышения эксплуатационных свойств изделий из меди и медных сплавов могут применяться различные защитные слои и покрытия.

Одним из наиболее рациональных способов защиты от высокотемпературного окисления и коррозии изделий на основе меди и ее сплавов является диффузионное насыщение их поверхности из специальной порошкообразной смеси на основе алюминия, поскольку сформированный защитный слой при окислении имеет плотные, устойчивые оксидные слои, непроницаемые для агрессивных сред. Получаемый Cu-Al диффузионный

## ВУ 24033 С1 2023.06.30

слой имеет твердость в 1,5-2 раза, износостойкость в 3,5-6,0 раза и жаростойкость в 4,0 раза выше по сравнению с медью [1].

Известны порошкообразные смеси для термодиффузионного насыщения поверхности изделий на основе меди и ее сплавов, преимущественно алюминием, состоящие из насыщающих компонентов, инертного порошка и активатора процесса, который позволяет ускорять перенос активных атомов к поверхности насыщаемого изделия. Смеси различаются содержанием указанных компонентов. Например, известна смесь для насыщения меди, включающая, мас. % [2]:

алюминий	30-40
марганец	20-30
активатор	0,4-0,8
окись алюминия	остальное.

Известные смеси имеют высокую рекомендуемую технологическую температуру насыщения, как правило 900-1000 °С. При наличии, например, припаянных высокотемпературным припоем элементов на медном изделии температура обработки изделий в таком собранном виде неизбежно должна быть низкой, чтобы не повредилось соединение, и находиться в диапазоне температур 550-650 °С.

Недостаток известного уровня технологии и смеси проявляется в том, что при высоких температурах обработки вследствие больших скоростей диффузии не достигается высокое содержание алюминия на поверхности изделия, что сказывается на последующей стойкости.

Выявленная в качестве прототипа по своей технической сущности порошковая смесь для хромоалитирования изделий на основе меди и ее сплавов [3] содержит следующие компоненты, мас. %:

окись алюминия	27-29
алюминий	18-20
окись хрома	25-27
олово	18-20
медь	5-7
хлористый аммоний	1-3.

Технический результат известной смеси проявляется в том, что можно проводить хромоалитирование в порошковой среде в контейнерах с плавким затвором при температурах порядка 700 °С, однако снижение температуры насыщения на 100 °С приводит к резкому уменьшению толщины диффузионного слоя и его качества.

Таким образом, недостаток известного уровня технологии и смесей для упрочнения медных деталей путем термодиффузионного насыщения смесями на основе алюминия характерен тем, что известные порошковые смеси имеют высокую рекомендуемую температуру насыщения в интервале от 700 до 1000 °С.

При промышленном применении известных технологических смесей для температур насыщения 550-650 °С наблюдаются несплошности диффузионного слоя на поверхности обработанных изделий в местах с плохо удаленной оксидной пленкой, которая остается, например, на участках, примыкающих к паяным соединениям.

В основу изобретения поставлена задача разработки состава порошковой смеси для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов на основе алюминия, обладающего высокой насыщающей способностью при низких температурах процесса поверхностного насыщения от 550 °С, что характеризуется технологичностью и снижением энергозатрат.

Исходя из уровня техники, целесообразным является решение технической задачи путем разработки состава смеси для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов на основе алюминия, формирующей термодиффузионный слой с повышенными эксплуатационными характеристиками.

# ВУ 24033 С1 2023.06.30

Техническая задача реализуется техническим результатом, определяющим новое свойство, улучшающее технические характеристики смеси для комплексного насыщения изделий на основе меди и ее сплавов, проявляющиеся при использовании изобретения в виде разработки и создания технологии путем повышения долговечности термодиффузионного слоя при эксплуатации медного или на основе меди и ее сплавов изделия в условиях высокотемпературного окисления и коррозии.

Сущность изобретения выражается новой совокупностью признаков, необходимых и достаточных для осуществления изобретения с достижением указанного технического результата, и реализована тем, что в смесь для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов, которая содержит алюминий, оксид алюминия и хлористый аммоний, дополнительно введен продукт реакции алюминотермического восстановления смеси, содержащей 20 % оксида алюминия, 35 % алюминия, 15 % оксида хрома, 30 % борного ангидрида, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

алюминий	20,0-50,0
оксид алюминия	20,0-40,0
хлористый аммоний	0,1-2,0
продукт реакции алюминотермического восстановления указанной смеси	25,0-50,0.

Технический результат изобретения характеризуется применением продукта реакции алюминотермического восстановления оксидов  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{B}_2\text{O}_3$  путем повышения долговечности термодиффузионного слоя при эксплуатации медного или на основе меди и ее сплавов изделия, а также снижением энергетических затрат при процессе термодиффузионного насыщения, следствием чего наблюдается увеличение выхода годного и повышение эксплуатационных свойств изделий.

Установлено, что заявленное техническое решение не следует явным образом из известного уровня техники. Следовательно, заявленное изобретение соответствует критерию "изобретательский уровень".

Новый состав смеси для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов по изобретению позволяет проводить процесс объемного комплексного насыщения поверхности при низких температурах от 550 °С. За счет дополнительного участия хрома и бора в составе порошковой смеси обеспечиваются более высокие показатели жаростойкости и коррозионной стойкости изделий. Кроме этого, активный бор способствует лучшему растворению окислов меди на поверхности изделия при начальных стадиях химикотермической обработки (ХТО), способствуя повышению качества процесса и снижению дефектности. Продукт реакции после алюминотермического восстановления представляет собой конгломерат фаз ( $\text{Al}_2\text{B}$ , аморфный бор и др.) и после размола и просеивания имеет развитую поверхность, повышая при этом газопроницаемость насыщающей среды, меняет кинетику формирования диффузионных покрытий, при этом количество активных атомов алюминия у поверхности максимально, следовательно, увеличивается содержание алюминия в слое, что приводит к увеличению микротвердости и повышению эксплуатационных характеристик.

## **Пример.**

Образцы изделий из меди марки М1 (опыты 1-5, 7) и сплава Бр А5 (ГОСТ 18175-78) размерами 70 × 10 × 2 мм засыпали тщательно перемешанной смесью заявленных компонентов, помещали в печь с температурой 560 °С и выдерживали 4 ч, после чего их подвергали исследованиям по определению толщины и отсутствия поверхностных дефектов. Результаты сравнительных исследований представлены в таблице.

## ВУ 24033 С1 2023.06.30

№ опыта	Состав смеси, мас. %				Толщина диффузионного слоя, %	Наличие дефектов на поверхности
	алюминий	оксид алюминия	хлористый аммоний	продукт реакции алюминотермического восстановления: 20 % окись алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + 35 % алюминий (Al) + 30 % борный ангидрид (B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + 15 % окись хрома (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
1	20	40	2	38	110	нет
2	29,9	30	0,1	50	125	нет
3	49	20	1	30	140	нет
4	15	29,05	0,05	55	65	участки с окислением поверхности
5	55	20	2,5	22,5	145 экономически невыгодно	неоднородность толщины диффузионного слоя, припекание частиц
6	50	24,5	0,5	25	130	нет
7	Прототип: окись алюминия - 28 %, алюминий - 20 %, окись хрома - 25 %, олово - 20 %, медь - 5 %, хлористый аммоний - 2 %				100	неоднородность диффузионного слоя, пятнистость

Как следует из экспериментальных данных, приведенных в таблице, новая технология термодиффузионного насыщения путем применения продукта реакции алюминотермического восстановления оксидов Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> превосходит прототип и известный уровень техники.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют, что при использовании заявленного состава смеси для комплексного насыщения медных изделий по изобретению (опыты 1-3) после ХТО в условиях, одинаковых с прототипом, обеспечивается прирост диффузионного слоя по толщине на 10-40 %. При этом заметно улучшается качество термодиффузионного слоя, его однородность и сплошность, следствием чего реализуется повышение стойкости до 15-20 % медных или на основе меди и ее сплавов изделий, в том числе за счет реализации многокомпонентного диффузионного легирования.

Насыщение в смеси с малым содержанием активатора (опыт 4) приводит к недостаточному эффекту защиты от кислорода воздуха в контейнере с образцами, он с недостаточной степенью удаляется и, как следствие, формирует окисленные участки поверхности, что затормаживает последующую диффузию элементов вглубь изделия. Насыщение в богатой по алюминию и активатору смеси (опыт 5) приводит к ухудшению качества поверхности, появляются припекшиеся частицы смеси, резко повышается шероховатость поверхности. Насыщение бронзы марки Бр А5 (опыт 6) сплава на медной основе обеспечивает получение однородного диффузионного слоя толщиной 130 мкм, поверхностных дефектов не наблюдалось.

При использовании смеси, принятой за прототип (опыт 7), наблюдается неоднородность диффузионного слоя, пятнистость.

Разработанная смесь для комплексного насыщения изделий из меди и ее сплавов на основе алюминия с применением продукта реакции алюминотермического восстановления оксидов Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показала свою эффективность и может быть с успехом применена на производстве в рамках стандартных процессов химико-термической (термодиффузионной) обработки. Процесс может быть реализован в единичном, мелкосе-

# ВУ 24033 С1 2023.06.30

рийном и массовом производстве на территории Беларуси и стран СНГ без значительных капитальных затрат и при использовании стандартного термического оборудования.

Источники информации:

1. УКРАИНЦЕВ А.Е. Разработка составов и создание на меди диффузионных слоев электродуговой металлизацией с последующей термообработкой: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.06; Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. Москва, 2010, 22 с.

2. SU 480777, 1975.

3. SU 885339, 1981.