



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C22F 1/043 (2022.05); C22C 21/04 (2022.05); C22F 3/00 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2022108420, 29.03.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.03.2022Дата регистрации:
29.08.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.03.2022

(45) Опубликовано: 29.08.2022 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Батракову А.В.

(72) Автор(ы):

Рыгина Мария Евгеньевна (RU),
Иванов Юрий Федорович (RU),
Петрикова Елизавета Алексеевна (RU),
Тересов Антон Дмитриевич (RU),
Воробьев Максим Сергеевич (RU),
Ашурова Камила Тахировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2666817 C2, 12.09.2008. WO
2021168068 A1, 26.08.2021. RU 2746265 C1,
12.04.2021. JP 2009510256 A, 12.03.2009.

(54) Способ модифицирования заэвтектического силумина марки АК20

(57) Реферат:

Изобретение относится к области цветных сплавов, в частности к способам обработки алюминивно-кремниевых сплавов (силуминов). Способ модифицирования силумина включает облучение интенсивным импульсным электронным пучком силумина марки АК20 с энергией электронов 18 кэВ, частотой следования импульсов $f=0,3 \text{ с}^{-1}$, длительностью импульса пучка электронов $\tau=150 \text{ мкс}$, плотностью энергии пучка электронов $E_S=30-70 \text{ Дж/см}^2$ и количеством

импульсов воздействия $n=3$. При этом происходит формирование модифицированного поверхностного слоя с размером кристаллитов до 0,3 мкм в среде аргона при остаточном давлении 0,02 Па. Изобретение направлено на повышение качества получаемого силуминового сплава за счет улучшения его структуры и повышения механических свойств и увеличение модифицированного поверхностного слоя при сохранении процентного содержания кремния. 1 пр., 1 табл., 2 ил.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C22F 1/043 (2006.01)
C22C 21/04 (2006.01)
C22F 3/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C22F 1/043 (2022.05); C22C 21/04 (2022.05); C22F 3/00 (2022.05)(21)(22) Application: **2022108420, 29.03.2022**(24) Effective date for property rights:
29.03.2022Registration date:
29.08.2022

Priority:

(22) Date of filing: **29.03.2022**(45) Date of publication: **29.08.2022** Bull. № 25

Mail address:

**634055, g. Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut
silnotochnoj elektroniki SO RAN, zam. direktora
po NR ISE SO RAN Batrakovu A.V.**

(72) Inventor(s):

**Rygina Mariya Evgenevna (RU),
Ivanov Yuriy Fedorovich (RU),
Petrikova Elizaveta Alekseevna (RU),
Teresov Anton Dmitrievich (RU),
Vorobev Maksim Sergeevich (RU),
Ashurova Kamila Takhirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethnoe
uchrezhdenie nauki Institut silnotochnoj
elektroniki Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj
akademii nauk (ISE SO RAN) (RU)**(54) **METHOD FOR MODIFYING HYPEREUTECTIC SILUMIN GRADE AK20**

(57) Abstract:

FIELD: non-ferrous alloys.

SUBSTANCE: invention relates to the field of non-ferrous alloys, in particular to methods for processing aluminum-silicon alloys (silumins). The method for modifying silumin includes irradiation with an intense pulsed electron beam of AK20 brand silumin with an electron energy of 18 keV, a pulse repetition rate $f=0.3$ s⁻¹, an electron beam pulse duration $\tau=150$ mcs, an electron beam energy density $E_S=30-70$ J/cm² and the

number of impact pulses $n=3$. When this occurs, the formation of a modified surface layer with a crystallite size of up to 0.3 μ m in an argon medium at a residual pressure of 0.02 Pa.

EFFECT: invention is aimed at improving the quality of the obtained silumin alloy by improving its structure and increasing mechanical properties and increasing the modified surface layer while maintaining the percentage of silicon.

1 cl, 1 ex, 1 tbl, 2 dwg

Изобретение относится к области цветных сплавов, в частности, к способам обработки бинарных алюминиевых сплавов (силуминов) и может найти свое применение для модифицирования поверхностного слоя заэвтектического силумина с целью повышения качества материала.

5 Известен способ модифицирования заэвтектических силуминов при помощи циклического воздействия импульсов электрического тока на фазовый состав и свойства расплава (Пригунова А.Г., Петров С.С., Кошелев М.В. Получение мелкокристаллических заэвтектических силуминов воздействием на расплав импульсным электрическим током / *Металлознавство а термічна обробка металів.* - 2017. - Т. 2. - №77. - сс. 48-57). Жидкие
10 фазы у сплавов Al - (15,0...18,5)% Si обрабатывали импульсами электрического тока низких, средних и высоких частот, периодичность переключения импульса составляла (0,5-1) с. После обработки расплава по специально разработанным режимам его охлаждали с контролируемой скоростью 0,3 К/с. Наиболее значительные результаты достигаются при высоких частотах, при которых размер дендритов составляет 2 мкм
15 и до 300 нм в поперечном сечении.

Недостатком способа является ограничение в объеме жидкой фазы при обработке импульсным электрическим током.

Лазерное легирование - один из известных способов модификации (Kisina Yu.B., Barsukov A.D, Shlyapina I.R. Laser surface alloying of silumin // *Metal Science and Heat Treatment.* - 1995. - V. 37. - pp. 59-61). При легировании заэвтектического силумина Al30 (содержание кремния 11,23 вес.%) сплавом PG-12N-01 и железом, в виде порошка (размер частиц 40 мкм), происходит увеличение твердости до 160 ± 10 Н и 180 ± 12 Н,
20 соответственно, что больше в 1,8 и 1,6 раза по сравнению с исходным.

Недостатком данного способа является необходимость использования легирующих
25 материалов, приводящая к увеличению стоимости конечного изделия.

Известно получение заэвтектического силумина методом закалочного затвердевания (Gusakova O.V., Shepelevich V.G., Alexandrov D.V., Starodumov I.O. Structure Formation in the Melt-Quenched Al-12.2Si-0.2Fe Alloys // *Russian Metallurgy (Metally).* - 2020. - V. - No. 8. - pp. 885-892). Объемные образцы эвтектического состава Al-12,2 Si-0,2 Fe были получены
30 методом кристаллизации в графитовой изложнице 3×6 мм². Скорость охлаждения составила 10^2 К/с. Фольга была получена распылением на внутреннюю поверхность полого медного цилиндра. Толщина фольги составляла 50-60 мкм. Скорость охлаждения составила 10^5 К/с. Структура объемных образцов имеет зоны неоднородного состава.
35 Структурные элементы фольги лежат в микронном диапазоне размера и характеризуются равномерным распределением элементов. В результате разложения перенасыщенного твердого раствора образуются нановключения кремния и фазы Al-FeSi, в слое, прилегающем к пресс-форме. Затвердевание в слое на свободной стороне образца протекает с образованием дендритов, богатых кремнием (0,4 ат.%), твердого
40 раствора α -Al и эвтектической смеси в междендритном пространстве. Размеры дендритов не превышают 3 мкм.

Недостатком данного способа является ограничение по размерам получаемых образцов.

Известен способ нанесения износостойких покрытий на основе алюминия и оксида иттрия на силумин (RU 2727376 C1, 21.07.2020). На первом этапе композиционное
45 покрытие Y_2O_3 -Al наносится методом электровзрывного легирования. Второй этап обработки заключается в воздействии интенсивным импульсным электронным пучком на получившееся многокомпонентное покрытие. Поверхность модифицирована по

режиму с энергией электронов 17 кэВ, количеством импульсов $N=3$ имп, с длительностью импульса пучка электронов $\tau=140-160$ мкс, с плотностью энергии пучка электронов $E_S=25-35$ Дж/см². Что приводит к легированию поверхности материала и увеличению механических характеристик.

Основным недостатком данной технологии является использование легирующего элемента и метод его напыления, что добавляет дополнительную технологическую операцию и приводит к удорожанию технологии.

Известен способ модификации структуры заэвтектического силумина (Al-44Si) путем воздействия компрессионными плазменными потоками (В.И. Шиманский, А. Евдокимов, В.В. Углов, Н.Н. Черенда, В.М. Асташинский, А.М. Кузьмицкий, Н.В. Бибик, Е.А. Петрикова. Модификация структуры заэвтектического сплава силумина Al-44Si при воздействии компрессионных плазменных потоков // Плазмохимические способы получения и обработки материалов. - 2021. - №1. - С. 40-50). Образцы заэвтектического силумина, с содержанием кремния 44 ат.% обрабатывались с помощью магнитоплазменного компрессора компактной геометрии в остаточной атмосфере азота (давление остаточной атмосферы 400 Па). Размер кристаллитов кремния составлял 0,3 мкм.

Толщина переплавленного слоя составила до 60 мкм. Выявлено снижение содержания кремния в поверхностном слое до 15-16 ат.%.

Недостатком способа является низкий уровень повторяемости результатов модифицирования, являющийся следствием слабо контролируемого изменения параметров плазмы при данном способе обработки.

Прототипом изобретения является способ модифицирования силумина марки АК12 импульсным электронным пучком с энергией 18 кэВ, частотой следования импульсов 0,3 Гц, длительностью импульса пучка электронов 150 мкс, плотностью энергии пучка электронов 10-25 Дж/см² и количеством импульсов воздействия 1-5, при этом цель является обработка трещин (RU 2666817 C1, 10.04.2018).

Недостатком данного способа является малая толщина модифицированного слоя, которая составляет до 50 мкм, что не дает возможность устранения микротрещин, залегающих на более глубоких толщинах поверхностного слоя. Нет возможности спрогнозировать сохранения эффекта при увеличении содержания кремния.

Задачей изобретения является повышение качества силуминового сплава за счет улучшения структуры поверхностного слоя.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является увеличение модифицированного поверхностного слоя заэвтектического силумина с конечной целью повышения его твердости, износостойкости и снижения коэффициента трения при сохранении процентного содержания кремния.

Заявленное технологическое решение осуществляется за счет обработки поверхности заэвтектического силумина марки АК20 импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия с энергией ускоренных электронов 18 кэВ плотностью энергии пучка электронов 30-70 Дж/см², частотой следования импульсов 0,3 с⁻¹, длительностью импульсов воздействия пучка электронов 150 мкс, количеством импульсов облучения 3, в остаточной атмосфере аргона при давлении 0,02 Па.

Обработка импульсным электронным пучком приводит к высокоскоростному плавлению поверхностного слоя, формированию, на стадии охлаждения, структуры высокоскоростной кристаллизации ячеистого типа, размер ячеек соответствует размеру кристаллитов до 0,3 мкм, изменению морфологии кремния от хрупкой пластинчатой

к глобулярной, а также позволяет достигнуть толщину модифицированного слоя до 130 мкм.

Пример выполнения заявленного изобретения.

В качестве испытуемого материала был выбран заэвтектический силумин АК20 (Al-20 вес.% Si). В качестве источника генерации электронов был предложен плазменный катод с сеточной стабилизацией. Облучение поверхности силумина АК20 происходило при энергии ускоренных электронов 18 кэВ, плотности энергии пучка электронов 30-70 Дж/см², частоте следования импульсов 0,3 с⁻¹, длительности воздействия пучка электронов 150 мкс, количестве импульсов облучения 3. Облучение производили в аргоне при остаточном давлении 0,02 Па.

После обработки поверхности силумина импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия за счет высоких скоростей нагрева и охлаждения происходит измельчение первичных зерен кремния и их переплав, структура становится однородной. Содержание кремния в поверхностном слое остается постоянным и составляет 20 вес.%.

На фиг. 1 показано электронно-микроскопическое изображение структуры включений кремния силумина в литом состоянии (а, б) и после облучения импульсным электронным пучком (30 Дж/см², 150 мкс, 0,3 с⁻¹, 3 имп) (в); б, в - изображения, полученные в характеристическом рентгеновском излучении атомов кремния. Просвечивающая электронная микроскопия (метод STEM анализа). Выявлено преобразование кремния пластинчатой морфологии в глобулярную, образование структуры ячеистой кристаллизации твердого раствора на основе алюминия (размер ячеек до 300 нм). По границам ячеек располагаются частицы наноразмерного кремния.

На фиг. 2 показано изменение толщины модифицированного слоя в зависимости от плотности энергии электронов. Толщина модифицированного слоя изменяется от 40 до 130 мкм.

Элементный анализ участка фольги показал, что химический состав модифицируемого материала остается постоянным до и после обработки импульсным электронным пучком (таблица 1).

Таким образом, предложенный способ позволяет получить субмикрористаллическую структуру поверхностного слоя с размером кристаллитов не более 300 нм, увеличить толщину модифицированного слоя до 130 мкм с сохранением концентрации кремния.

Способ модифицирования заэвтектического силумина марки АК20

Табл. 1

Элемент	Исходный образец		После модификации	
	Mass., %	Error, %	Mass., %	Error, %
Mg	0,5	0,20	0,84	0,19
Al	74,69	0,23	71,66	0,24
Si	20,1	0,30	20,57	0,29
Mn	0,31	0,35	0,19	0,29
Fe	1,86	0,35	1,8	0,27
Cu	1,12	0,39	2,64	0,40
Zn	1,42	0,48	2,3	0,44
Total	100		100	

(57) Формула изобретения

Способ модифицирования заэвтектического силумина марки АК20, включающий высокоскоростное плавление поверхностного слоя образца импульсным электронным пучком энергией ускоренных электронов 18 кэВ, частотой следования импульсов 0,3 с⁻¹ и длительностью воздействия импульса пучка электронов 150 мкс, в количестве импульсов облучения 3 в остаточной атмосфере аргона при давлении 0,02 Па, отличающийся тем, что плавление проводят пучком электронов с плотностью энергии пучка 30-70 Дж/см².

10

15

20

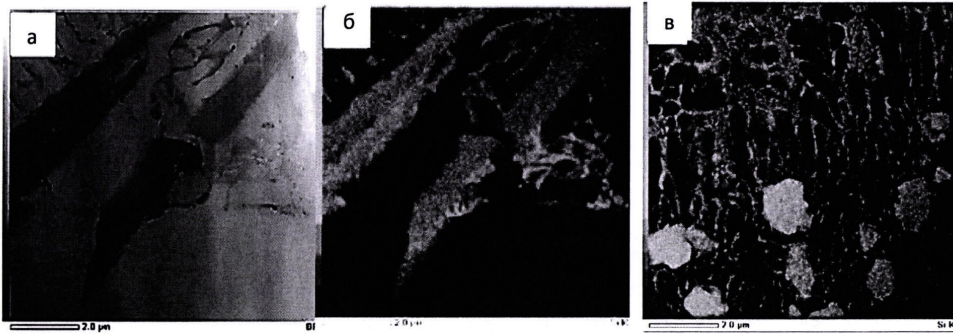
25

30

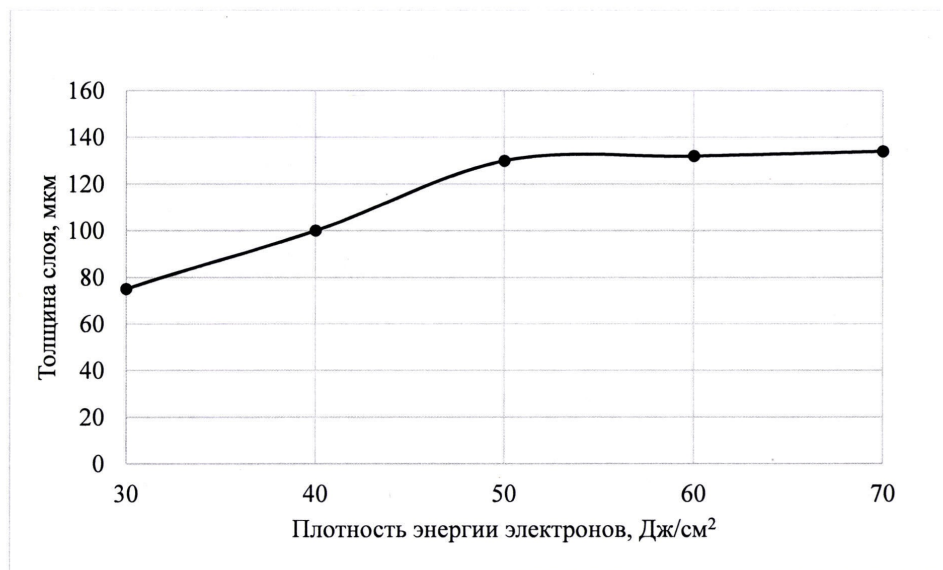
35

40

45



Фиг.1



Фиг.2