



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113572** (13) **C2**

(51) МПК (2016.01)

B22D 27/02 (2006.01)**B22D 1/00****C22F 3/00****C22F 3/02** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2015 06871	(72) Винахідник(и): Цуркін Володимир Миколайович (UA), Федченко Наталя Анатоліївна (UA), Іванов Артем Володимирович (UA), Дмитришина Яна Юріївна (UA), Фещук Максим Леонідович (UA), Череповський Сергій Сергійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 10.07.2015	
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.02.2017	
(41) Публікація відомостей про заявку: 10.01.2017, Бюл.№ 1	(73) Власник(и): ІНСТИТУТ ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНОЛОГІЙ НАН УКРАЇНИ, пр. Жовтневий, 43-А, м. Миколаїв, 54018 (UA)
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2017, Бюл.№ 3	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Беклемишев Н.Н. Влияние импульсного тока на конструктивную прочность алюминиевых сплавов/Беклемишев Н.Н., Баранов Ю.В., Васютин А.Н., Доронин Ю.Л., Тананов А.И.//Металловедение и термическая обработка металлов.- 1991. - №3.-С. 15-17 Вернидуб А.Г. Обработка сплава АК7 импульсным электрическим током/Вернидуб А.Г., Волков Г.В., Грабовый В.М., Семенченко А.И., Федченко Н.А., Цуркин В.Н., Шейгам В.Ю., Шеневидько Л.К.//Процессы литья. – 2005.- №1.- С. 64-67 Ердаков И.Н. Влияние импульсного электрического воздействия на кристаллизацию силумина (АК7ч) и стали/Ердаков И.Н., Новокрещенов В.В.//Литейные процессы. Выпуск 9.- 2010.- С. 54-57 UA 57 077 C2, 10.02.2011 UA 101 208 C2, 11.03.2013 UA 95 040 U, 10.12.2014 RU 2 344 900 C2, 27.01.2009 CN 103212697 A, 24.07.2013 CN 103817314 A, 28.05.2014 US 6 132 532 A, 17.10.2000

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ ЗАЕВТЕКТИЧНОГО СИЛУМІНУ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі кольорової металургії, а саме – способу обробки розплаву евтектичного силуміну та виготовлення виробів з ливарних заевтектичних силікоалюмінієвих сплавів (силумінів), переважно поршнів для двигунів внутрішнього згорання. Спосіб обробки заевтектичного силуміну включає введення в розплав модифікаторів та позапічну обробку розплаву імпульсами біполярного струму з частотою проходження імпульсів від 24 до 40 Гц та максимальною амплітудою струму в імпульсі від 800 до 1000 А, при цьому після введення у розплав модифікаторів здійснюють електрогідроімпульсну обробку розплаву в печі при температурі, яка перевищує температуру ліквідусу на 130-140 °С протягом часу та з параметрами, які визначають із співвідношення:

UA 113572 C2

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4},$$

де W_0 - енергія, яка запасується в конденсаторі генератора імпульсних струмів, Дж, f - частота проходження розрядних імпульсів, Гц, τ - час обробки, хвилини, M - маса сплаву, кг, C - швидкість звуку в розплаві, м/с, а обробку розплаву біполярними імпульсами струму здійснюють при застиганні розплаву до температури, що перевищує температуру ліквідусу на величину 20-30°C. Винахід забезпечує гомогенізацію розплаву, його додаткову дегазацію та здрібнення структури і підвищення його механічних властивостей з відповідним підвищенням механічних властивостей виробів з обробленого силуміну.

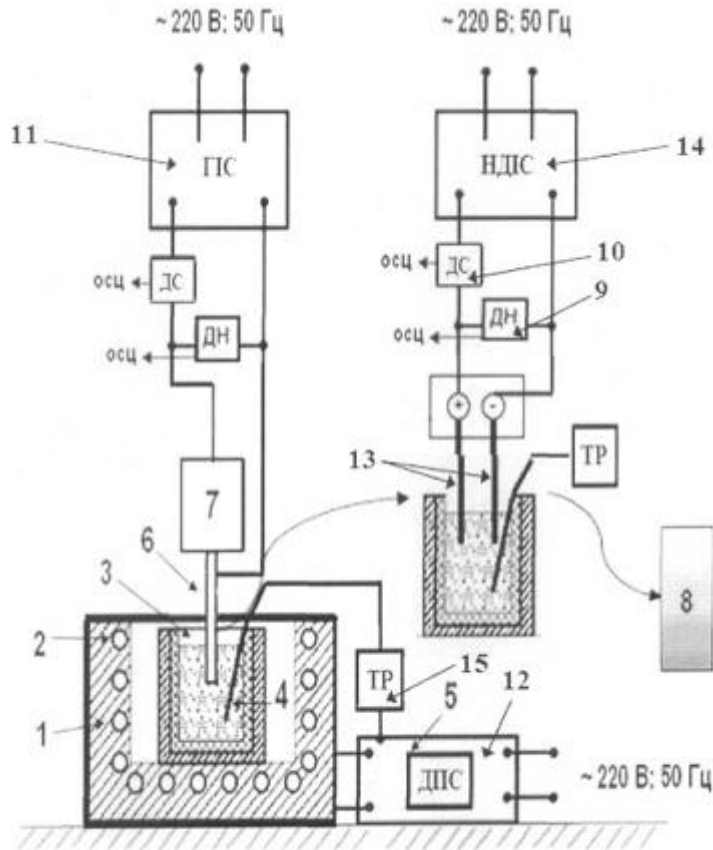


Fig. 1

Винахід належить до галузі кольорової металургії, а саме – до способу обробки евтектичного силуміну і, відповідно, виготовлення виробів з ливарних заевтектичних силікоалюмінієвих сплавів (силумінів), переважно поршнів для двигунів внутрішнього згорання.

Найбільшою проблемою таких сплавів є виділення кристалів первинного кремнію Si_1 при кристалізації у вигляді поліедричних кристалів з розміром, який досягає 100 мкм та навіть більше. Кремній в евтектиці Si_e має морфологію голчастих частинок (тобто не є модифікованим) з розміром десятки мкм. Така структура твердого стану характеризується концентраторами напружень, тому пластичність таких матеріалів має низький рівень. Підвищення показників механічних властивостей заевтектичних силумінів досягається за рахунок здрібнення кристалів Si_1 та модифікування Si_e відповідно до розмірів 20 мкм та 10 мкм.

Аналогом способу, що заявляється, є спосіб виробництва силумінів (Пат. № 101208, Україна, МПК (2013.01) B22D 1/00, C22B 9/00, C222F 3/00, опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5), що включає виплавку силікоалюмінію, корегування хімічного складу розплаву алюмінієм і легуючими елементами, модифікування розплаву флюсом, оброблення розплаву силуміну однополярним імпульсним електричним струмом з частотою імпульсів від 100 до 5000 Гц і густиною струму від 7 до 20 А/см².

Ознаками, які збігаються з суттєвими ознаками винаходу, що заявляється, є введення в розплав модифікаторів та пропускання через розплав імпульсів електричного струму з заданими параметрами.

Причиною, що перешкоджає одержанню очікуваного технічного результату, є те, що спосіб передбачає ефективне використання тільки для обробки доевтектичних силумінів.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до способу, що заявляється, є спосіб обробки розплаву заевтектичного силуміну (Пат. № 95040, Україна, МПК (2014.01) B22D 27/02, C22F 3/00, опубл. 10.12.2014, Бюл. № 23), що включає введення в розплав модифікаторів та пропускання через розплав біполярних імпульсів електричного струму з частотою проходження імпульсів (f) від 24 до 1600 Гц та максимальною амплітудою струму в імпульсі (I) від 120 до 1000 А при температурі розплаву, що перевищує температуру ліквідусу на величину 100-160 °С, при цьому зберігають залежність $I^2 f \geq 25,0 \cdot 10^6 \text{ A} \cdot \text{с}^{-1}$.

Ознаками, які збігаються з суттєвими ознаками винаходу, що заявляється, є введення у розплав модифікаторів та позапічну обробку розплаву імпульсами біполярного струму з частотою проходження імпульсів від 24 до 40 Гц та максимальною амплітудою струму в імпульсі від 800 до 1000 А.

Причиною, що перешкоджає одержанню очікуваного результату є те, що спосіб визначає тільки умови здрібнення Si_1 та модифікування Si_e , що не завжди відповідає умові одночасного збільшення величини міцності та величини відносного подовження. За такого способу обробки розплаву не досягається ефект повного засвоєння хімічних модифікаторів за рахунок впливу електромагнітного поля на розплав та не досягається рівномірний розподіл структурних складових багатокомпонентної рідкометалевої системи. Крім того, використання широкого набору хімічних модифікаторів (фосфор, титан, бор, карбід кремнію) збільшує собівартість литої металопродукції через те, що вартість лігатури з модифікаторами може складати до 50 % вартості поршня (виробу).

В основу винаходу, що заявляється, поставлено задачу вдосконалення способу обробки розплаву заевтектичного силуміну шляхом введення нової операції дії на розплав та визначення оптимальних параметрів цієї обробки, що дозволить здійснити гомогенізацію розплаву, його додаткову дегазацію та забезпечити більш активне засвоювання розплавом модифікаторів (Na та P), і за рахунок цього отримати високі показники якості литого металу (здрібнену структуру та гарантовано підвищені механічні властивості). Спосіб дозволить зменшити собівартість ливарної продукції та підвищити її конкурентоздатність.

Суть винаходу полягає в тому, що в способі обробки заевтектичного силуміну, який включає введення в розплав модифікаторів та позапічну обробку розплаву імпульсами біполярного струму з частотою проходження імпульсів від 24 до 40 Гц та максимальною амплітудою струму в імпульсі від 800 до 1000 А, згідно з винаходом, після введення у розплав модифікаторів здійснюють електрогідроімпульсну обробку розплаву в печі при температурі, яка перевищує температуру ліквідусу на 130-140 °С протягом часу та з параметрами, які визначають із співвідношення:

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4},$$

де W_0 - енергія, яка запасується в конденсаторі генератора імпульсних струмів, Дж; f - частота проходження розрядних імпульсів, Гц; τ - час обробки, хвилини; M - маса сплаву, кг; C - швидкість звуку в розплаві, м/с, а обробку розплаву біполярними імпульсами струму здійснюють при застиганні розплаву до температури, що перевищує температуру ліквідусу на величину 20-30 °С.

Розкриваючи причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками винаходу, що заявляється, і технічним результатом, необхідно відзначити наступне.

Ознаки "після введення у розплав модифікаторів здійснюють електрогідроімпульсну обробку розплаву в печі при температурі, яка перевищує температуру ліквідусу на 130-140 °С протягом часу та з параметрами, які визначають із співвідношення:

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4},$$

а обробку біполярними імпульсами струму здійснюють при застиганні розплаву до температури, що перевищує температуру ліквідусу на величину 20-30 °С" дозволять провести гомогенізацію розплаву, його додаткову дегазацію та забезпечити більш активне засвоєння розплавом модифікаторів (Na та P) і за рахунок цього досягати модифікування у заевтектичному силуміні складових кремнію до рівня 20 мкм для Si_1 і 10 мкм для Si_e , а також гарантованого підвищення механічних властивостей литого металу, у першу чергу збільшення відносного подовження над величиною 1 %.

Суть винаходу пояснюється кресленнями, де на Фіг. 1 представлено блок-схему установки, що використовується для реалізації способу, на Фіг. 2 репрезентовано зображення мікроструктури литого заевтектичного силуміну з використанням тільки модифікуванням фосфором, а на Фіг. 3 - з використанням обробки розплаву згідно зі способом, що заявляється.

Установка для реалізації способу містить термopіч 1 з нагрівальними елементами 2, тигель з розплавом 3, термopару 4, блок управління і контролю термopічю 5, хвилевід 6 електророзрядного генератора пружних коливань 7, форму для заливки 8, датчик напруги 9, датчик струму 10, генератор імпульсних струмів 11, джерело постійного струму 12, електроди 13, низьковольтне джерело імпульсного струму 14, терморегулятор 15.

Спосіб здійснюється таким чином.

Попередньо первинну шихту заевтектичного силуміну розплавляють в печі 1, наприклад, в тигельній печі опору, до температури 750 °С. Потім проводять операцію рафінування додаванням у розплав солі NaCl у кількості 1 % від маси сплаву, розплав перемішують титановим імпелером протягом від 10 до 20 секунд, після чого проводять ізотермічну витримку розплаву протягом 10 хвилин, вводять у розплав подрібнену лігатуру AlCu2,5P3 за допомогою дзвоників у кількості, що відповідає вмісту P 0,025 % від маси розплаву; розплав знову перемішують протягом від 5 до 10 секунд. Температуру розплаву доводять до 850 °С, за якої проводять його ізотермічну витримку протягом 10 хвилин. Після цього у розплав вводять хвилевід 6 електророзрядного генератора пружних коливань 7 і при подачі імпульсів високої напруги від генератора імпульсних струмів 11 здійснюють електрогідроімпульсну обробку розплаву в печі 1 при температурі, яка перевищує температуру ліквідусу на 130-140 °С протягом часу та з параметрами, які визначають із співвідношення:

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4}.$$

Після чого хвилевід 6 відводять з розплаву, ківш (тигель) 3 з розплавом витягають із печі 1, у розплав вводять електроди 13, які підключені до низьковольтного джерела імпульсного струму 14, та здійснюють обробку біполярними імпульсами струму при застиганні розплаву *in situ* зі швидкістю від 1 до 5 К/с до температури, що перевищує температуру ліквідусу на величину 20-30 °С. Далі здійснюють наступне розливання розплаву. В результаті такої комплексної обробки за рахунок введення у розплав солі NaCl проводиться попередня операція рафінування та модифікування Si_e , за рахунок введення лігатури AlCu2,5P3 проводиться модифікування Si_1 , дія акустичних імпульсів при електрогідроімпульсній обробці та дія електромагнітного поля при електроімпульсній обробці додатково впливають на рафінування розплаву, повне засвоєння Na та P розплавом для завершення операції модифікування структури. Таким чином комплексна обробка розплаву дозволяє здійснити гомогенізацію і додаткову дегазацію розплаву та забезпечити практично повне засвоєння розплавом модифікаторів (Na та P), і за рахунок цього отримати високі показники якості литого металу (здрібнену структуру та гарантовано підвищені механічні властивості).

Приклад. Здійснювали обробку заевтектичного силуміну з наступним хімічним складом: Si (18,5 мас. %), Cu (1,9 мас. %), Mn (0,01 мас. %), Ti (0,2 мас. %), Fe (0,4 мас. %), його температури ліквідусу та солідусу дорівнюють відповідно 715 °C та 574 °C.

Процедура комплексної обробки була наступною. Первинну шихту виплавляли у тигельній печі опору при температурі 750 °C, провели операцію рафінування введенням у розплав NaCl, ввели лігатуру AlCu2,5P3, довели температуру до 850 °C, ввели хвилевід електророзрядного генератора пружних коливань та протягом $\tau = 1$ хвилини провели електрогідроімпульсну обробку розплаву при енергії в імпульсі $W_0 = 625$ Дж та частоті чередування імпульсів $f = 2$ Гц. Перелічені параметри визначені із співвідношення:

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4}.$$

Після електрогідроімпульсної обробки розплаву ківш з розплавом дістали з печі та провели обробку розплаву біполярними імпульсами струму з амплітудою 800 А та частотою чергування імпульсів 40 Гц при застиганні розплаву до температури 740 °C. Оброблений розплав залили у форму. Фіг. 2 та Фіг. 3 демонструють якісну різницю мікроструктури литого металу, обробленого тільки NaCl та AlCu2,5P3 (Фіг. 2), та обробленого по описаній процедурі, що заявляється (Фіг. 3). Результати металографічного аналізу показали, що параметри Si_1 та Si_e у литому виробі, який отримано за допомогою способу, що заявляється, склали відповідно 20 мкм та 10 мкм. Відповідно до ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. М.: 1985 було проведено дослідження механічних властивостей зразків, яким відповідають структури Фіг. 2 та Фіг. 3. У зразків, що отримані за допомогою способу, що заявляється, межа міцності σ_s підвищена на 14 %, а відносне подовження δ зросло у 3,75 разу і склало величину 3 %. Питома споживана енергія при електрогідроімпульсній обробці розплаву склала величину 1,8 кВт·год./т, а при обробці імпульсами струму 0,1 кВт·год./т.

Таким чином, спосіб обробки розплаву заевтектичного силуміну дозволить здійснити гомогенізацію розплаву, його додаткову дегазацію та забезпечити більш активне засвоєння розплавом модифікаторів (Na та P), і за рахунок цього отримати високі показники якості литого металу (здрібнену структуру та гарантовано підвищені механічні властивості).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб обробки розплаву заевтектичного силуміну, що включає введення в розплав модифікаторів та позапічну обробку розплаву імпульсами біполярного струму з частотою проходження імпульсів від 24 до 40 Гц та максимальною амплітудою струму в імпульсі від 800 до 1000 А, який **відрізняється** тим, що після введення у розплав модифікаторів здійснюють електрогідроімпульсну обробку розплаву в печі при температурі, яка перевищує температуру ліквідусу на 130-140 °C протягом часу та з параметрами, які визначають зі співвідношення:

$$10^{-3} \geq \frac{W_0 \cdot f \cdot \tau}{M \cdot C^2} \geq 10^{-4},$$

де W_0 - енергія, яка запасастся в конденсаторі генератора імпульсних струмів, Дж,

f - частота проходження розрядних імпульсів, Гц,

τ - час обробки, хвилини,

M - маса сплаву, кг,

C - швидкість звуку в розплаві, м/с,

а обробку розплаву біполярними імпульсами струму здійснюють при застиганні розплаву до температури, що перевищує температуру ліквідусу на величину 20-30 °C.

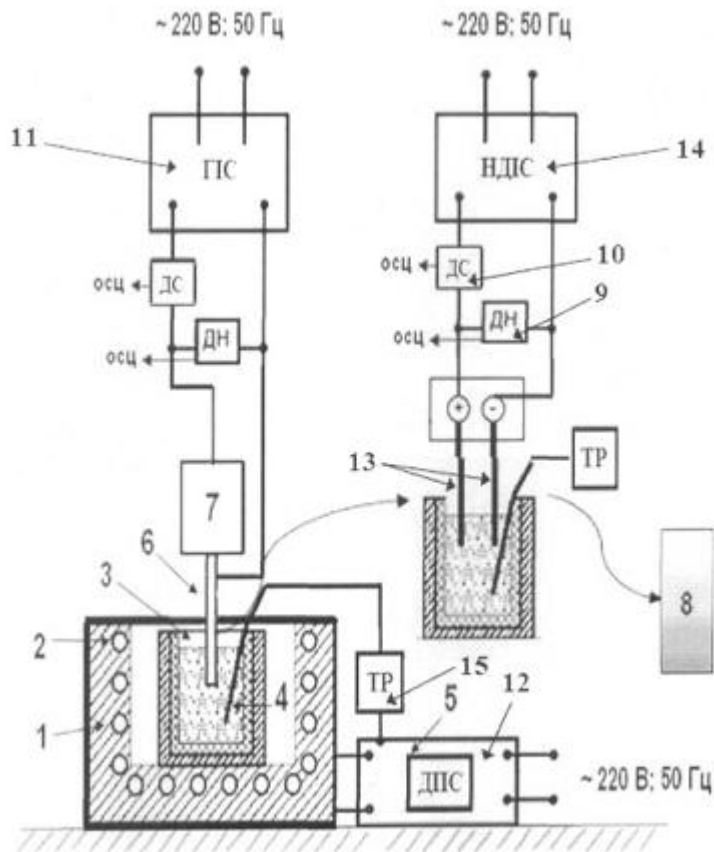


Fig. 1

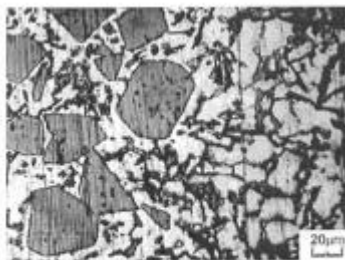


Fig. 2

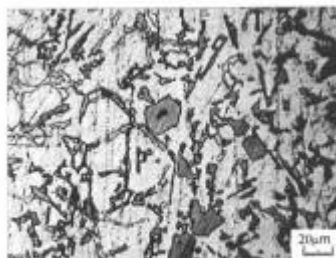


Fig. 3

Комп'ютерна верстка О. Рябо

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601