



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **128137** (13) **C2**

(51) МПК (2024.01)

C23C 24/10 (2006.01)**B23K 26/342** (2014.01)**C22C 38/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

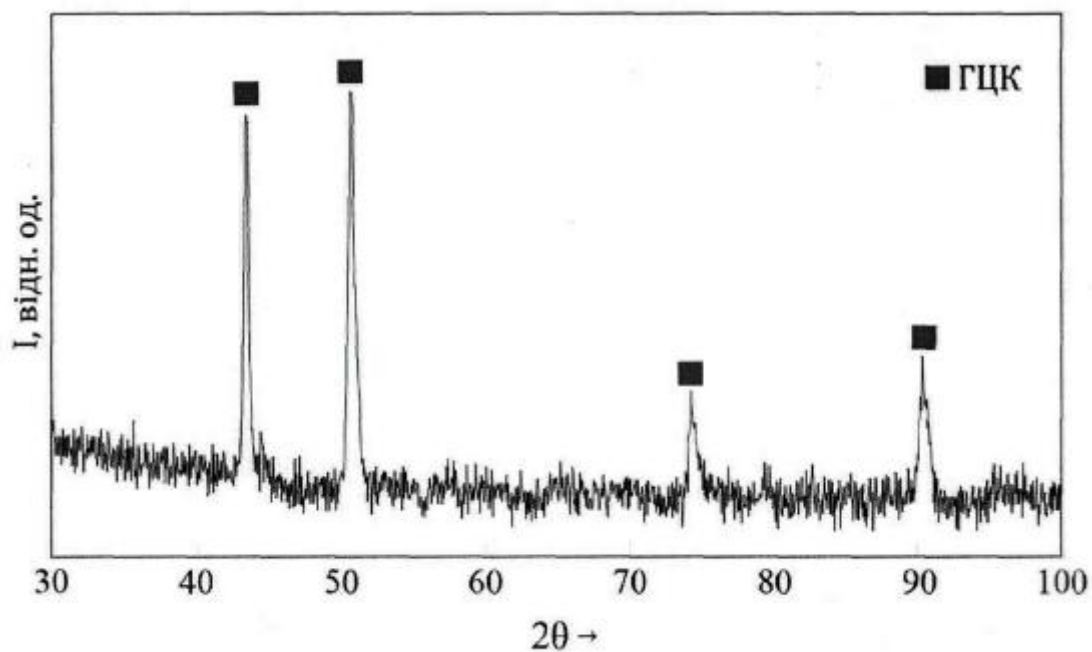
(21) Номер заявки: а 2021 02269	(72) Винахідник(и): Гіржон Василь Васильович (UA), Ємельяненко Владислав Васильович (UA), Смоляков Олександр Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 28.04.2021	(73) Володілець (володільці): ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.04.2024	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 2020362448 A1, 19.11.2020 ЧЕРЕДНИЧЕНКО Д., ДМИТРЕНКО Т.А. Структура поверхневих шарів титану після лазерного легування багатокомпонентною сумішшю // Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2019» : у 5 т. / Запорізький національний університет. - Запоріжжя : ЗНУ, 2019. - Т.1. - С. 19-21 ГИРЖОН В.В., СМОЛЯКОВ А.В., ЗДОРОВЕЦ А.Ф. Лазерное легирование титана переходными металлами группы железа // Металлофизика и новейшие технологии. 2017. Т. 39, № 4. С. 507-515 CN 111534817 A, 14.08.2020 CN 110117789 A, 13.08.2019 US 2007154342 A1, 05.07.2007 US 2002159914 A1, 31.10.2002 CN 112030161 A, 04.12.2020 CN 107740094 A, 27.02.2018 CN 104646660 A, 27.05.2015
(41) Публікація відомостей про заявку: 24.11.2021, Бюл.№ 47	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.04.2024, Бюл.№ 16	

(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ВИСОКОЕНТРОПІЙНОГО ПОКРИТТЯ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі металургії, а саме до методів одержання високоентропійних сплавів. Спосіб одержання високоентропійного покриття включає нанесення на поверхню деталі шару легувальних компонентів та лазерну обробку поверхні. Як легувальні компоненти використовують суміш не менше ніж з трьох порошків чистих перехідних металів групи заліза, до яких додають зв'язувальну речовину. Наносять обмазку товщиною 100÷150 мкм на поверхню деталі. Виконують імпульсну лазерну обробку поверхні з густиною потужності 0.9÷1.1 ГВт/м² з розплавленням легувальних компонентів та частковим розплавленням матричного матеріалу та повторно переплавляють леговану поверхню за допомогою лазера з густиною потужності 0,5÷0,7 ГВт/м² у захисній атмосфері аргону. Винахід дозволяє підвищити механічні

UA 128137 C2

властивості поверхневих шарів матричного матеріалу та забезпечує високу адгезію покриття і матриці, а також забезпечує можливість локального зміцнення наперед вибраних ділянок поверхневих шарів деталей.



Спосіб належить до галузі металургії, а саме до методів одержання високоентропійних сплавів.

Відомий спосіб одержання покриття із високоентропійного сплаву за допомогою лазерного наплавлення (Patent 110117789 CN, МПК C23C 24/10. High-entropy alloy preparation method and device based on laser cladding deposition / Zhang Hang, Chen Zihao, Li Qingyu, Li Dichen, Zhao Yizhen, Wang-Xing Lixiang; applicants Xi'an Jiaotong university, № 201910453567.7; application date 28.05.2019; publication date 13.08.2019). Спосіб полягає у приготуванні двох порошків (А і В), їхньому подальшому змішуванні, попередньому нагріванні підкладки до температури 600 °С та лазерному наплавленні на поверхню підкладки одержаної суміші порошків. Порошок А складається з двох-шести компонентів (вольфрам, ніобій, молібден, тантал, цирконій і реній), які змішані у рівних атомних частках, розмір фракції складає 45-105 мкм, чистота компонентів - вище 99,5 мас. %. Порошок В є або чистим порошком титану, ванадію чи гафнію або сумішшю декількох із цих порошків.

Недоліками цього способу є:

значна вартість компонентів сплаву;

необхідність попереднього підігрівання матриці;

попереднє виготовлення порошків із багатокомпонентних сплавів. Ознаками, спільними з рішенням, що заявляється, є: використання

лазерного випромінювання та легувальних компонентів у вигляді порошків металів.

Відомий спосіб одержання високоентропійного сплаву $\text{Al}_x\text{TiCrMnCu}$ за допомогою лазерного наплавлення (Patent 11534817 CN, МПК C23C 24/10, C22C 30/02, C22C 1/04, B22F 9/04. Method for preparing $\text{Al}_x\text{TiCrMnCu}$ high-entropy alloy by laser deposition / Hu Yong, Wang Dahao, Zhao Longzhi, Tang Yanchuan, Liu Dejie, Shen Mingxue, Zhao Huoping, Jiao Haitao; applicants East China Jiaotong university, . № 202010570187.4; application date 21.06.2020; publication date 14.08.2020).

Спосіб полягає у підготовці п'яти порошків металевих елементів з Al, Ti, Cr, Mn та Cu в атомному співвідношенні (від 0 до 1,5): 1: 1: 1: 1: 1, їхньому подальшому тривалому перемішуванні за допомогою кульового млина та лазерному наплавленні. Багатопротичне та багатопроцесне лазерне нанесення виконується на підкладці шляхом коаксіальної подачі порошку. Швидкість подачі порошку складає 15 г/хв., потужність лазера 600 Вт, швидкість лазерного сканування 250 мм/хв, діаметр лазерної плями 1,5 мм.

Недоліками способу є тривалий процес перемішування порошків за допомогою кульового млина.

Ознаками, спільними з рішенням, що заявляється, є нанесення на поверхню деталі шару легувальних компонентів та лазерна обробка поверхні.

В основу винаходу, що заявляється, поставлено задачу розробити спосіб одержання високоентропійного покриття, який шляхом нанесення на поверхню шару легувальних компонентів у вигляді обмазки, що складається з суміші чистих порошків і зв'язувальної речовини та подальшого лазерного оплавлення, що дозволяє підвищувати механічні властивості поверхневих шарів матричного матеріалу та забезпечує високу адгезію покриття і матриці.

Суттєвими ознаками винаходу, що заявляється є:

виготовлення суміші не менше ніж з трьох порошків чистих перехідних металів групи заліза у еквіатомному співвідношенні, що відповідає стехіометрії високоентропійного сплаву;

додавання до цієї суміші зв'язувальної речовини;

нанесення обмазки на поверхню залізної підкладки;

імпульсна лазерна обробка поверхні в захисній атмосфері аргону з розплавленням легувальних компонентів та частковим розплавленням матричного матеріалу;

переплавлення легованої поверхні у захисній атмосфері аргону.

Відмінними від найближчого аналога ознаками є:

використання як легувальних компонентів суміші не менше трьох порошків чистих перехідних металів групи заліза;

додавання до цієї суміші зв'язувальної речовини;

попереднє нанесення обмазки на поверхню деталі;

імпульсна лазерна обробка поверхні в захисній атмосфері аргону, з розплавленням легувальних компонентів та частковим розплавленням матричного матеріалу;

переплавлення легованої поверхні у захисній атмосфері аргону.

Високоентропійними сплавами (ВЕСами), зазвичай, вважають сплави що містять від 5 до 13 елементів, кількість кожного з них змінюється в межах 5...35 атомних відсотків (еквіатомна або близька до еквіатомної концентрація елементів). Характерною особливістю ВЕСів є наявність у їх фазовому складі одного або декількох багатокомпонентних твердих розчинів заміщення на

основі об'ємноцентрованої кубічної (ОЦК), граєцентрованої кубічної (ГЦК) або гексагональної щільно упакованої (ГЦУ) ґраток. Утворення таких твердих розчинів пояснюється високими значеннями ентропії змішування у порівнянні з традиційними сплавами.

Зазвичай ВЕСи отримують методами вакуумно-дугової плавки або плавки у атмосфері аргону. Проте у промисловості більш перспективним є створення не об'ємних виробів, а локальне зміцнення поверхневих ділянок деталей, що піддаються підвищеним механічним навантаженням, тобто створення захисних покриттів. Серед відомих способів одержання означених покриттів лазерне легування є одним із найбільш перспективних, зважаючи на високу технологічність процесу. Особливістю вказаного способу є участь матеріалу матриці в процесі структуроутворення покриття, що необхідно враховувати при виборі режимів для одержання покриттів з близьким до еквіатомного співвідношенням компонентів.

Спосіб здійснюють так:

готують суміш не менше трьох порошків чистих перехідних металів групи заліза з еквіатомним співвідношенням компонентів;

до одержаної суміші порошків додають зв'язувальну речовину, наприклад клей на органічній основі;

наносять одержану обмазку на вибрану поверхню деталі товщиною $100 \div 150$ мкм;

виконують імпульсну лазерну обробку поверхні з густиною потужності $0.9 \div 1.1$ ГВт/м², тривалістю дії імпульсу $2 \div 4$ мс та $30 \div 50$ % перекриттям лазерних плям у захисній атмосфері аргону;

переплавляють леговану поверхню за допомогою лазера з густиною потужності $0,5 \div 0,7$ ГВт/м² у захисній атмосфері аргону.

Приклад конкретного виконання.

Відомо, що в системі Co-Cr-Fe-Ni є можливим формування високоентропійного сплаву на основі ГЦК ґратки, тому за матрицю було вибрано зразки низьковуглецевої сталі розміром $5 \times 5 \times 5$ мм, а як легувальний матеріал - порошки кобальту, хрому та нікелю, взяті у еквіатомному співвідношенні. За зв'язувальну речовину було вибрано клей БФ-6. Легувальні елементи наносили на поверхню зразків у вигляді обмазки, співвідношення масових часток клею до суміші порошків становило 1:10. Товщина обмазки складала (150 ± 5) мкм. Лазерне легування виконували на імпульсному YAG- лазері ($\lambda = 1,06$ мкм) з густиною потужності 1 ГВт/м² у захисній атмосфері аргону при 30 % перекритті плям. Після легування одержану поверхню переплавляли з густиною потужності $0,5$ ГВт/м² у захисній атмосфері аргону. Структурно-фазовий склад поверхневих шарів зразків після лазерного легування досліджували методами рентгеноструктурного аналізу (Cu-K α - випромінювання).

Рентгенографічно встановлено, що легування з вказаними вище режимами забезпечило формування у легованих шарах високоентропійного сплаву на основі ГЦК - фази (на креслені).

Отже, запропонований спосіб дозволяє створювати високоентропійне покриття з підвищеними експлуатаційними властивостями (мікротвердість, зносостійкість тощо), на попередньо вибраних локальних ділянках поверхневих шарів деталей, що виготовлені із низьковуглецевих сталей.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб одержання високоентропійного покриття, що включає нанесення на поверхню деталі шару легувальних компонентів та лазерну обробку поверхні, який **відрізняється** тим, що як легувальні компоненти використовують суміш не менше ніж з трьох порошків чистих перехідних металів групи заліза, до яких додають зв'язувальну речовину, наносять обмазку товщиною $100 \div 150$ мкм на поверхню деталі, виконують імпульсну лазерну обробку поверхні з густиною потужності $0,9 \div 1,1$ ГВт/м² з розплавленням легувальних компонентів та частковим розплавленням матричного матеріалу та повторно переплавляють леговану поверхню за допомогою лазера з густиною потужності $0,5 \div 0,7$ ГВт/м² у захисній атмосфері аргону.

