

Винахід стосується зварювального виробництва, а саме складу порошкового дроту для виготовлення спеціальних високоентропійних сплавів з використанням адитивного виробництва дуговим зварюванням (АВДЗ). Винахід може бути використаний також при наплавленні робочих поверхонь парамагнітним, корозійностійким, високої твердості та термічної стабільності високоентропійним сплавом.

Адитивне виробництво та дугове зварювання займають важливе місце у сучасній промисловості, дозволяючи виготовляти складні металеві вироби з високою ефективністю. Однак, для досягнення високої твердості та механічної міцності виробленого сплаву, потрібен особливий підхід до складу матеріалу.

Високоентропійні сплави, які складаються з чотирьох або більше компонентів, демонструють особливі властивості, такі як парамагнітність, високу твердість, стійкість до зношування та корозійну стійкість, а також високу міцність при підвищених температурах. Щоб отримати такі сплави необхідно розплавити легуючі компоненти складу та нанести розплав на робочу поверхню. Разом з тим, існуючі складні високоентропійні сплави та методи їх нанесення на поверхню мають певні недоліки: вони не завжди забезпечують необхідний рівень твердості, міцності та зносостійкості наплавленого металу, не забезпечують парамагнітних властивостей металу наплавлення.

Так відомий, чотирьохкомпонентний сплав Fe-Co-Ni-Al з ефектом пам'яті форми та високою термічною стабільністю (Tanaka, Y., Kainuma, R., Otori, T. And Ishida, K., 2015. Alloy design for Fe-Ni-Co-Al-based superelastic alloys. Materials Today: Proceedings, 2, pp.S485-S492). Цей сплав виготовляється з суміші порошків легуючих металів індукційним плавленням у атмосфері аргону. Недоліком цього процесу є великі значення струму необхідного при індукційній плавці, та як наслідок тривале перебування металу при високій температурі, що суттєво знижує можливість отримання потрібних властивостей, є великі необхідні

Також відомо створення багатокомпонентного сплаву системи легування CoCrFeNiTa з шихтових порошкових матеріалів шляхом вакуумного плавлення (Ai, C, Wang, G., Liu" L., Guo, ML, He, F., Zhou, J., Chen, Y., Wang, Z. And Gan, B., 2020. Effect of Ta addition on solidification characteristics of CoCrFeNiTa high entropy alloys. Intermetallics, 120, p. 106769),

Поряд з позитивним досвідом використання переплавлення в середовищі вакууму шихти, в складі якої присутні елементи з високою спорідненістю до кисню є певні недоліки. Так це торкається підготовки дуже точного та однорідного по розміру гранул багатокомпонентного складу. Сам процес створення сплаву у цьому випадку є довготривалим та має значні економічні затрати при виготовленні невеликих об'ємів.

Відомо також склад порошкового дроту для зварювання броньових сталей, що являє собою оболонку з низьковуглецевої сталі та шихти, що містить компоненти у наступному співвідношенні, в мас, %:

хром	40-50
марганець	30-40
ферромолібден	2,0-6,0
ферросиліцій	1,5-3,5
ферротитан	7,0-11,0
алюмоцерієвалігатура	0,2-1,5
мідь	2,5-5,0
мармур	0,8-2,5
флюоритовий концентрат	2,0-5,0
польовий шпат	1,0-3,0.

Див. авторське свідоцтво СССР № 130474 від 03.07.1978р. МПК В23К 35/368.

Як показує досвід, наплавлений порошковим дротом такого складу метал забезпечує достатню корозійну стійкість та парамагнітність і по цим показникам задовольняє вимоги для високоентропійного сплаву. Однак даний дріт має певні недоліки. Шихта порошкового дроту для забезпечення доволі високої корозійної стійкості має в своєму складі мідь, однак при такій її кількості при непереривному наплавленні це призводить до утворення тріщин в наплавленому металі такого складу.

Крім того, досить високий вміст шлакових компонентів таких як мармур, флюоритовий концентрат, польовий шпат при непереривному процесі зварювання зварюванням призводить до нестабільності процесу зварювання. Шлак на поверхні наплавки за рахунок накопичення призводить до дефектів у вигляді зашлаковок та пустот в металі конструкції. Метал наплавлення порошковим дротом з таким рівнем легування має достатньо невисокі показники твердості та міцності.

Найближчим аналогом по створенню високоентропійного сплаву дуговим способом з високою твердістю, корозійної стійкістю та парамагнітними властивостями є склад порошкового дроту для зварювання броньових сталей, що являє собою оболонку з низьковуглецевої сталі та шихту, що містить компоненти у наступному співвідношенні, в мас. %:

хром	50-58
нікель	34-30

ферротитан	2,5-5,0
марганець	2,5-6,0
ферросиліцій	0,5-2,5
рутиловий концентрат	2,5-4,0
флюоритовий концентрат	2,0-4,0
магнезит	1,0-2,0
окис хрому	0,8-1,5
металургійний шлак	0,5-2,0
силікокальцій	0,25-1,6.

Див. Авторське свідоцтво СССР № 290472 від 31.05.1988р. МПК В23К 35/368.

Дугове механізованого зварювання броньових сталей цим дротом виконується у середовищі вуглецевого газу.

Як показує досвід наплавлений порошковим дротом такого складу метал в ряду випадків забезпечує достатню корозійну стійкість і по цьому показнику задовольняє вимоги для високоентропійного сплаву. Однак даний дріт має те ж недоліки, що і вищенаведений.

Як показали наші дослідження високий вміст шлакових компонентів таких як рутиловий концентрат, флюоритовий концентрат, магнезит, окис хрому при неперервному процесі зварювання для створення конструкцій з використанням адитивного виробництва дуговим зварюванням (АВДЗ) призводить до нестабільності процесу зварювання. Шлак на поверхні наплавки за рахунок накопичення призводить до дефектів у вигляді зашлаковок та пустот в металі конструкції. Крім того, метал наплавлення при достатньо високої тріщиностійкості в разі зварюванні в розробку з видаленням шлаку пошарово та парамагнітності, має досить невисокі показники твердості та міцності. Низькі показники міцності знижують зносостійкість наплавленого металу цим дротом.

Задачею винаходу, що заявляється, є підвищення твердості та міцності наплавленого металу, стабільності його якості, забезпечення високої корозійної стійкості та парамагнітних властивостей при адитивному наплавленні з використанням порошкового дроту що заявляється, який дозволить отримати широкий спектр прогнозованого хімічного складу високоентропійного багатшарового наплавлення.

Рішення цієї задачі досягається за рахунок вибору легуючої основи шихти порошкового дроту з оптимальним вмістом компонентів.

Забезпечення корозійної стійкості, підвищені показники міцності, пов'язана з ними зносостійкість та достатньо високі парамагнітні властивості наплавленого металу досягаються за рахунок оптимальної кількості в шихті кобальту, нікелю, алюмінію, танталу" Вибір такого легування шихти дозволяє отримати метал з подрібненою аустенітною структурою з рівномірно розташованими у неї дрібнодисперсних евтектичних сполук танталу та алюмінію розподіленому у твердому розчині. Метал, наплавлений таким дротом має достатньо високу твердість і міцність металу та необхідні показники в'язкості та тріщиностійкості при адитивному наплавленні»

Вказані властивості складу шихти порошкового дроту, що заявляється отримуються при вмісті в її шихті компонентів в наступному співвідношенні, в мас. %:

кобальт	18,0-24,0
нікель	18,0-24,0
тантал	3,0-6,0
алюміній	4,0-6,0
стальна оболонка	решта.

Для виготовлення порошкового дроту діаметром 2,2 та 2,4мм, що заявляється, використовується стрічка з низьковуглецевої сталі 08пс розміром 0,4×10 або 0,5×12 мм, коефіцієнт заповнення дроту при цьому 50...60 %, конструкція дроту одношарова.

Введення до складу шихти дроту кобальту, нікелю, танталу, алюмінію забезпечує в результаті зварювання високоентропійний адитивний сплав з заданими характеристиками.

Для виконання наплавлення при виготовленні високоентропійного сплаву з використанням адитивних технологій може бути використано, наприклад порошковий дріт з шихтою наступних складів, що наведені у таблиці 1

Таблица 1

Компоненти шихти	Склад шихти, мас. %					
	I	II	III	IV	V	VI
Кобальт	19,0	20,0	22,0	25,5	15,5	16,5
Нікель	24,0	20,0	18,0	24,5	17,5	16,5
Тантал	3,0	4,5	4,0	1,0	9,5	12,5
Алюміній	4,0	5,5	6,0	2,0	7,5	3,5

Стальна оболонка	50,0	50,0	50,0	53,0	50,0	50,0
------------------	------	------	------	------	------	------

Кобальт та нікель в кількості більше ніж межа, що заявляється, знижує твердість наплавленого металу, а нижче призводить до зниження пластичності та в'язкості наплавленого металу.

Введення танталу нижче ніж межи, що заявляється підвищує в структурі наплавленого металу кількість мартенситної фази несприятливої форми, що знижує пластичність та в'язкість. Введення танталу вище межи, що заявляється призводить до окрихчення наплавленого металу за рахунок формування стійких фаз Лавеса у вигляді розгалуженої сітки.

Вміст алюмінію в шихті нижче межи, що заявляється призводить до підвищення нестабільності процесу зварювання і, як наслідок, більшого як необхідно розбризування металу у процесі зварювання. А при підвищенні вмісту алюмінію вище межи, що заявляється, призводить до суттєвого зниження пластичності та в'язкості наплавленого металу за рахунок виникнення у ньому несприятливих інтерметалідних з'єднань,

В таблиці 2 приведені результати випробувань дослідних порошкових дротів $\varnothing$ 2,4 мм с шихтою складу, що пропонується (склади I-III), а також с шихтою, що вміщує компоненти по складам, які виходять за межі граничних значень (склади IV-VI). Для порівняння в цієї таблиці наведено результати випробувань металу, що був наплавлений відомим порошковим дротом такого ж діаметра безперервним процесом. Випробування виконувались при механізованому наплавленні в суміші захисних газів Ar та CO₂ на сталь марки 3 на режимі, що забезпечує стабільне горіння дуги: Ізв=320...350А; Ud=28...30В; Vzв=12...15м/год., Багатошарове наплавлення виконувалося безперервно.

Твердість за Віккерсом визначали при навантаженні по діагоналі відбитка діамантової пірамідки при навантаженні 1Н. Зварювально-технологічні характеристики оцінювались за зовнішнім виглядом формування валиків та коефіцієнту розбризування електродного металу. Міцність та пластичність наплавленого металу визначалась за результатами випробувань плоских зразків МИ-96 на розтяг. Зразки виготовлювали з металу багатошарових наплавлень, які були виконані порошковими дротами складів I-VI.

Таблиця 2

Склад шихти	Твердість наплавленого металу, НВ	Міцність наплавленого металу σ_b , МПа	В'язкість наплавленого металу δ_5 , %	Коефіцієнт розбризування електродного металу %%	Наявність тріщин, мм
I	480	980	11	1,5	немає
II	500	1350	15	1,2	немає
III	490	1180	10	1,1	немає
IV	280	750	20	3,5	15
V	490	1280	6,5	1,1	21
VI	460	1080	8	2,5	немає
Порошковий дріт - прототип. Авторське свідоцтво СССР Xs 290472 від 31.05.1988р.	190	620	38	4,1	12

Дані наведені в таблиці 2 показують, що порошковий дріт с шихтою складу, що пропонується, забезпечує отримання наплавленого металу, який має порівняно більш високі показники твердості при наявності хороших зварювально-технологічних характеристик, особливо в частині розбризування електродного металу. При цьому відносно велика твердість наплавленого металу забезпечується при його високій міцності та при сприятливій в'язкості.

Порошковий дріт с шихтою, що пропонується пройшов всебічні порівняльні дослідження в лабораторних умовах та дослідну перевірку при виготовленні високоентропійного сплаву з використанням адитивного виробництва дуговим зварюванням. Випробування показали, що порошковий дріт в достатньо широкому діапазоні забезпечує стабільні зварювально-технологічні характеристики і дозволяє отримати багатошарове наплавлення без тріщин та зашлаковок при мінімально можливому рівні розбризування електродного металу. Крім того, дослідження також показали, що наплавлений цим дротом метал має достатньо високу міцність та показники твердості при виготовленні високоентропійного сплаву.

В той же час при використанні відомого дроту (прототипу) для вказаної цілі процес наплавлення

був менш стабільний з частим перериванням, за рахунок цього в багат шаровому наплавленому металі були виявлені зашлаковки та пов'язані з ними тріщини. Крім того, наплавлений метал має доволі низькі показники міцності та твердості.

Застосування порошкового дроту при виготовленні високоентропійного сплаву з використанням адитивного виробництва дуговим зварюванням з таким складом шихти дозволить при відносно низьких витратах отримати наплавлений метал з заданими характеристиками та отримати за рахунок цього значний економічний ефект.