

СПЛАВ–ЗВ’ЯЗКА НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА ДЛЯ ПЛАЗМОВО-ПОРОШКОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ СПЛАВІВ, АРМОВАНИХ ЛИТИМИ КАРБІДАМИ ВОЛЬФРАМУ

О.І. Сом

ТОВ фірма «Плазма-Мастер Лтд». 03142, м. Київ, вул. Омеляна Прицака, 3. E-mail: info@plasma-master.com

Проведено дослідження п’яти промислових сплавів на основі заліза з різними системами легування з метою використання їх в якості сплаву–зв’язки для плазово-порошкового наплавлення композиційних сплавів, армованих литими сферичними карбідами вольфраму (релітом). Показано, що тверді та зносостійкі сплави, такі як Сормайт 1 (ПГ–С1) та інші, не дають загального приросту зносостійкості наплавленого металу. Навпаки, вони зменшують її, оскільки погано утримують зерна карбідів вольфраму, які відриваються і разом з матрицею виносяться із зони тертя, не беручи участі у супротиву зношуванню. Не годяться також сплави типу X18N9, які суттєво підвищують свою твердість і тим самим знижують свою пластичність при наплавленні за рахунок додаткового легування вуглецем і вольфрамом. Найкращий результат показав відносно м’який мідно-нікелевий сплав (чавун) «Ni-резист». Бібліогр. 12, табл. 3, рис. 12.

Ключові слова: плазове дугове наплавлення (РТА–наплавлення), сферичні карбіди вольфраму, зв’язуючий сплав (матриця), зносостійкість, твердість, формування металу

Вступ. Сплав–зв’язка відіграє велику роль при наплавленні зносостійких композиційних сплавів на основі литих карбідів вольфраму (реліту). Він повинен надійно утримувати частинки карбідів від відривання та забезпечувати високу зносостійкість наплавленого металу в цілому, особливо в умовах ударно-абразивного зношення. Крім цього, він повинен забезпечувати гарне формування металу, який наплавляється, і стійкість проти утворення тріщин при наплавленні.

На практиці в якості сплаву–зв’язки для плазово-порошкового наплавлення (ППН) композиційних сплавів, армованих карбідами вольфраму, широко використовують легкоплавкі самофлюсуючі сплави на основі нікелю системи Ni–Si–B або Ni–Cr–Si–B–C з різною твердістю [1, 2, 12].

Недоліком використання таких сплавів, особливо при наплавленні з великою продуктивністю (> 3 кг/ч), є набризкування на торець плазмотрона, яке з часом при довготривалому наплавленні засмічує канал подачі порошку і, як наслідок, порушує технологічний процес наплавлення. При використанні плазмотронів з внутрішньою подачею порошку [3] ще швидше відбувається порушення процесу наплавлення із-за появи крапель металу на виході з фокусуєчого сопла.

Виходячи з цього, привабливими з точки зору підвищення стабільності процесу наплавлення, є сплави на основі заліза. Вони мають вищу температуру плавлення і менше схильні до появи крапе-

ль на виході з плазмотрона при наплавленні. Крім цього, вони значно дешевше за нікелеві сплави. Спроби застосування сплавів на основі заліза в якості сплаву–зв’язки були й раніше [4, 5], але вони не мають системного характеру і не дають відповідей і рекомендацій щодо їх вибору.

Мета роботи. Метою цієї роботи є пошук промислового сплаву на основі заліза для використання його в якості зв’язки при ППН композиційних сплавів на базі карбідів вольфраму.

Критеріями відбору є: формування металу, який наплавляється; стійкість наплавленого композиційного металу проти тріщин; стабільність процесу наплавлення, зносостійкість в умовах абразивного зношування; міцність зчеплення наплавленого металу з основою.

Матеріали для досліджень. Для досліджень були вибрані наступні промислові сплави, які на думку автора, можуть бути використані в якості сплаву–зв’язки (табл. 1). Ці сплави виготовляються різними іноземними виробниками у вигляді порошків, придатних для ППН. В експериментах використовували порошки фракції 63...160 мкм.

Для порівняння експлуатаційних характеристик наплавленого металу в експериментах також використовували відомий наплавочний композиційний порошок Durmat 61–РТА виробництва DURUM Verschleißschutz GmbH (Німеччина), який являє собою суміш порошків Durmat 59–РТА (сплав на основі нікелю системи Ni–Si–B твердістю 50 HRC) і дробленого карбіду вольфраму в співвідношенні 40:60 % по масі відповідно. Відібрані сплави сут-

Таблиця 1. Хімічний склад сплавів на основі заліза, використаних в експериментах в якості сплаву–зв’язки

№ сплаву	Тип сплаву–зв’язки (марка порошку)	Вміст хімічних елементів, мас. %								Твердість, HRC
		C	Mn	Si	Cr	Ni	V	Mo	Cu	
1	1. 08X18H9 (ПР–Х18Н9)	0,08	0,7	0,5	18,0	9,5	–	–	–	140 HB
2	2. 270H15Д7Х3С2 (ПР–ЧН15Д7)	2,7	0,8	2,1	2,8	14,8	–	–	6,5	26
3	3. 220Х18Ф7Н3М2 (PMalloy 21)	2,2	0,8	0,7	17,8	2,8	7,1	2,4	–	46
4	4. 300Ф11Х6НМ (Plasweld™FerroV10)	3,0	0,9	0,8	6,0	0,6	10,8	1,4	–	60
5	5. 300Х30Н4С2 (ПГ–С1)	3,0	1,2	3,2	29,8	4,0	–	–	–	54

тево відрізняються між собою хімічним складом, типом наплавленого металу, твердістю та зносостійкістю. Такий широкий набір сплавів дозволяє краще оцінити вплив типу матриці на зварювально–технологічні та службові властивості композиційного наплавленого металу.

Коротка характеристика сплавів.

Сплав № 1 – це класична (18–9) хромонікелева нержавка сталь аустенітного класу. Вона характеризується високою корозійною стійкістю і пластичністю, що дуже важливо в умовах абразивного зношування з ударами. При використанні такої сталі в якості сплаву–зв’язки йдеться в [5].

Сплав № 2 – мідно–нікелевий чавун аустенітного класу, відомий під торговою маркою «Ni–резист» [6]. Він також має високу корозійну стійкість і пластичність. Крім цього, він немагнітний, має високі антифрикційні властивості. Високий вміст вуглецю забезпечує йому гарні зварювально–технологічні властивості.

Сплави № 3 і № 4 відносяться до класу зносостійких високованадієвих чавунів, цінними властивостями яких є дрібнозерниста структура та підвищена ударна в’язкість [7]. Головною зносостійкою фазою у них є первинні карбіди ванадію VC. Для експериментів ми відібрали два склади, які відрізняються типом матриці, твердістю та зносостійкістю. Сплав № 3 має аустенітно–мартенситну матрицю з твердістю 44...46 HRC, яка забезпечує йому оптимальне поєднання високої зносостійкості з пластичністю, необхідною для спротиву ударним навантаженням і появі тріщин при наплавленні [8]. Сплав № 4 має мартенситну матрицю з невеликим вмістом аустеніту (6...8 %). Його твердість після ППН наплавки складає 60...62 HRC. У порівнянні зі сплавом № 3 наплавлений метал має більше карбідної фази за рахунок більш високого легування ванадієм і вуглецем.

Сплав № 5 – високохромистий чавун заевтектичного типу, що характеризується високою зносостійкістю в умовах абразивного зношування, відомий як Сормайт 1. Структура наплавленого металу складається з крупних карбідів хрому типу Cr₂₃C₆, карбідної евтектики та залишкового аустеніту [9].

В якості армуючого зносостійкого матеріалу використовували порошок сферичного карбіду вольфраму фракції 100...200 мкм виробництва ТОВ «Ресурс-1 Україна» [10].

Наплавлення виконували на шліфовані пластини зі сталі 20 розміром 120×120×25 мм, використовуючи обладнання фірми «Плазма–Мастер Лтд» з плазмотроном моделі РР–6–03 (рис. 1).

При цьому подачу матричного і армуючого порошків здійснювали окремо з двох живильників у співвідношенні 40:60 % по масі для уникнення їх сепарації і підтримки цього співвідношення постійним за час процесу наплавлення. Порошки поступали в зварювальну ванну у вигляді суміші, яка утворювалася шляхом злиття двох потоків безпосередньо на вході в плазмотрон.

В експериментах було реалізовано декілька варіантів наплавлення. Наплавляли як одиночні, так і подвійні валики з перекриттям (рис. 2). Наплавлення виконували без підігріву зразка, з підігрівом до 300 °С і з використанням підшарку із хромонікелевої аустенітної сталі 08Х18Н9. Попередній підігрів і підшарок використовували як методи боротьби з тріщинами в наплавленому металі. Із



Рис. 1. Установка для плазово–порошкового наплавлення з двома живильниками порошку та плазмотроном РР–6–03

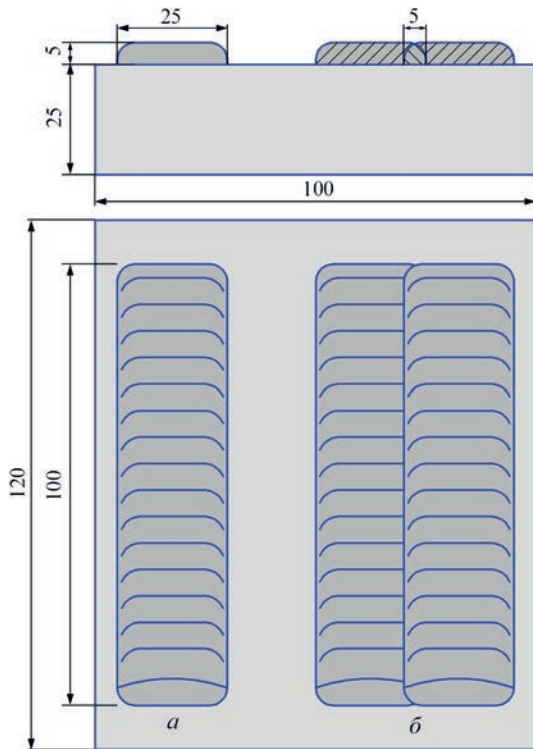


Рис. 2. Схема наплавлення пластин для дослідження формування і стійкості наплавленого металу проти тріщин: а – одиничний валик; б – подвійний валик з перекриттям

наплавлених пластин методом електроерозійного різання вирізали зразки розміром $16 \times 16 \times 6$ мм (рис. 3, а) для випробовування сплавів на зносостійкість на машині НК (нерухоме кільце) [11], та зразки розміром $50 \times 16 \times 8$ мм для випробовування на відшаровування наплавленого металу при вигині (рис. 3, б). При цьому верхню частину наплавленого шару в обох випадках зішліфували до рівня, при якому частини карбідів вольфраму розподілялись відносно рівномірно по перерізу. Ці ж зразки використовували для металографічних досліджень.

Якість формування наплавленого металу оцінювали візуально, а наявність тріщин – візуально й за допомогою кольорової дефектоскопії.

Схему випробування наплавлених зразків на зносостійкість показано на рис. 4.

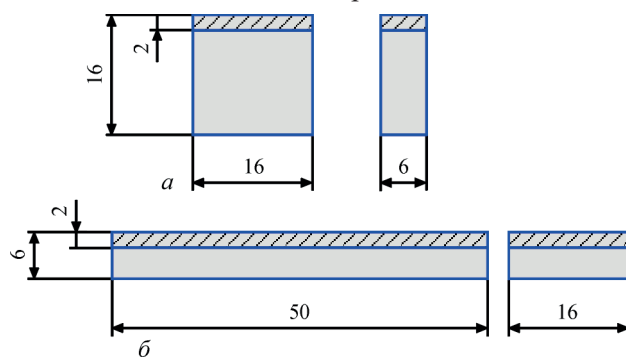


Рис. 3. Зразки для дослідження зносостійкості наплавленого металу на машині «НК» (а) і відшаровування його від основи при вигині (б)

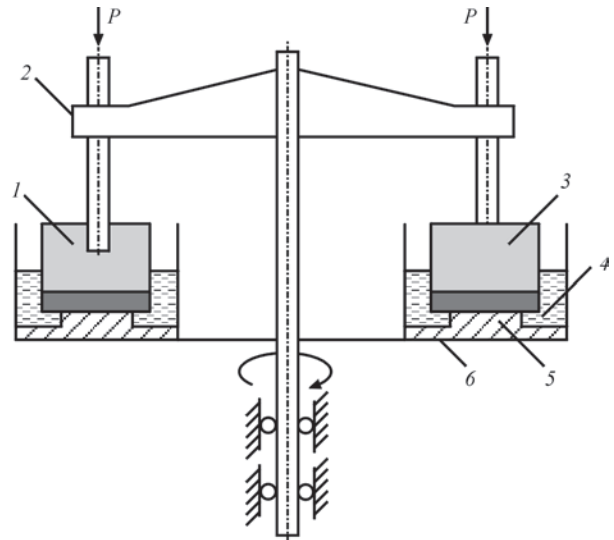


Рис. 4. Схема випробування наплавлених зразків на зносостійкість на машині НК: 1 – дослідний зразок; 2 – обертаюча траверса; 3 – еталон; 4 – абразив з водою; 5 – мідне кільце; 6 – станина

Умови випробування: навантаження на зразок – 3 кг, шлях тертя – 700 м, швидкість ковзання (тертя) – 6 м/с, абразивне середовище – мокрий річковий кварцовий пісок.

Еталон – відпалена сталь 45, який використовували для контролю умов зношування. Довжину шляху тертя вибирали з умови отримання відчутного зношування зразків. Зносостійкість оцінювали за втратою маси зразка, використовуючи ваги з точністю до 0,001 г.

Випробовування зразків на відшарування наплавленого металу від основи виконували при статичному навантаженні на пресі за схемою, показаною на рис. 5. Навантаження прикладали зі сторони основного металу. Кут вигину 150° .

Мікроструктуру наплавленого металу досліджували за допомогою мікроскопа Neophot 21, а мікротвердість вимірювали на приладі Leco M 400.

Аналіз результатів експериментів.

Формування валиків. Усі без винятку композиції, які розглядаються, забезпечують дуже гарне формування наплавленого металу, як при напавленні одиничних, так і подвійних валиків з перекриттям. Валики рівні, чисті, без слідів шлаку. У місцях перекриття валиків при двопрхідному напавленні метал також чистий. При цьому пропавлення основного металу практично відсутнє,

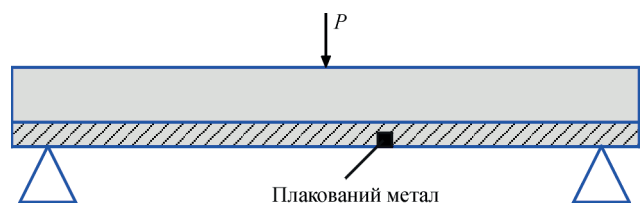


Рис. 5. Схема випробування зразків на відшарування наплавленого металу від основи

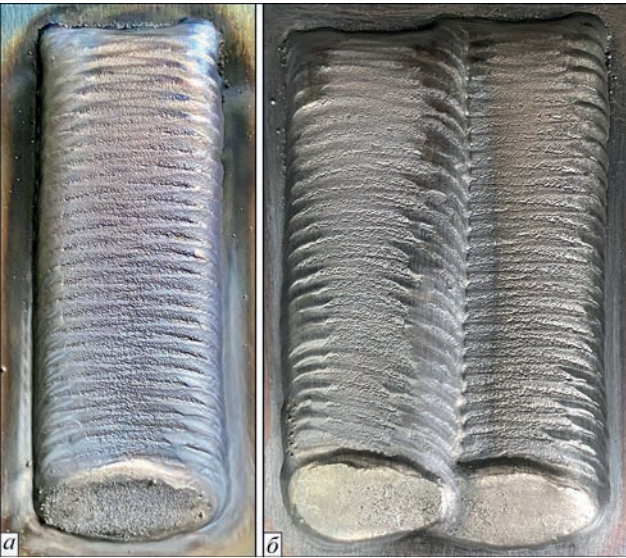


Рис. 6. Зовнішній вигляд валиків, наплавлених композиційним сплавом зі зв’язкою № 2 (270Н15Д7Х3С2): а – одиночний валик; б – подвійний валик з перекриттям

що підтверджує оптимальне збалансування параметрів режиму наплавлення. На рис. 6 в якості прикладу показаний зовнішній вигляд валиків, наплавлених композиційним сплавом зі зв’язкою № 2 (270Н15Д7Х3С2).

Тріщини в наплавленому металі. Візуальний розгляд і кольорова дефектоскопія показали, що в деяких наплавлених валиках мають місце тріщини. При напавленні одиночних валиків без підігріву тріщини помічені в композиціях № 1 і № 5 (табл. 2). Вони розташовувались поперек валиків з мінімальним розкриттям. Для варіанту № 1 це певною мірою несподівано, маючи на увазі м’яку аустенітну матрицю. Однак, як показують металографічні дослідження, вона м’яка тільки при напавленні без карбідів вольфраму (табл. 2). У присутності карбідів вольфраму її твердість HV_{01} суттєво підвищується з 150 до 600. Це відбуваєть-

ся за рахунок додаткового легування матриці вуглецем і вольфрамом внаслідок часткового розчинення зерен карбідів вольфраму при напавленні, що підтверджується мікрорентгеноспектральним аналізом. З підвищенням твердості матриці, природньо, падає її пластичність, що призводить до появи тріщин у наплавленому металі. При напавленні з підігрівом тріщини в композиції № 1 більше не було помічено, а в композиції № 5 їх кількість значно зменшилась. Вони повністю зникли при напавленні з підігрівом на підшарок (табл. 2).

Ситуація з тріщинами суттєво погіршується при напавленні валиків з перекриттям без підігріву зразка. Такий варіант має місце при суцільному напавленні великих поверхонь (наприклад, бронеплити) і при напавленні замкнутих кільцевих валиків. Тріщини спостерігаються як у першому, так і в наступних валиках. В різних сплавах вони мають різний характер. У композиціях № 1 і

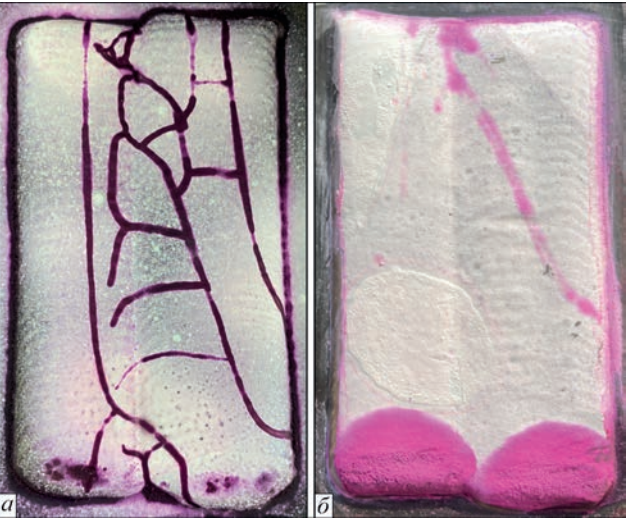


Рис. 7. Тріщини в наплавлених композиціях: а – 08X18H9 + карбіди вольфраму; б – 220X18Ф7Н3М2 + карбіди вольфраму

Таблиця 2. Результати дослідження стійкості експериментальних композиційних сплавів проти тріщин при напавленні

№ ком- пози- ції	Композиція	Кількість тріщин на 100 мм довжини наплавленого валика						Середня мікротвердість матриці, HV_{01}	
		Напавлення одиночного валика			Напавлення двох валиків з пере- криттям				
		Без піді- гріву	З піді- грівом 300 °С	З підігрівом на підша- рок 300 °С	Без піді- гріву	З піді- грівом 300 °С	З підігрівом на підшарок 300 °С	Чистої (без карбідів вольфраму)	З карбідами вольфраму
1	1. 08X18H9 + карбі- ди вольфраму	1	0	0	Сітка тріщин	1	0	150	600
2	2. 270H15D7X3C2 + карбіди вольфраму	0	0	0	1	0	0	270	400
3	3. 220X18Ф7H3M2 + карбіди вольфраму	0	0	0	2	1	0	440	460
4	4. 300Ф11Х6НМ + карбіди вольфраму	0	0	0	4	1	0	690	720
5	5. 300X30H4C2 + карбіди вольфраму	3	1	0	Сітка тріщин	2	1	580	610
6	6. Ni-Si-B + карбіди вольфраму	0	0	0	2	1	0	—	600

Таблиця 3. Результати випробувань наплавлених сплавів на зносостійкість

№ сплаву–зв’язки	Тип сплаву–зв’язки	Втрати маси зразка, г		Твердість сплаву–зв’язки, HRC
		Чистий сплав–зв’язка	Композиційний сплав (сплав–зв’язка + карбіди вольфраму)	
1	1. 08X18H9	0,412	0,221	140 HB
2	2. 270H15Д7Х3С2	0,382	0,018	26
3	3. 220Х18Ф7Н3М2	0,048	0,028	46
4	4. 300Ф11Х6НМ	0,068	0,092	60
5	5. 300Х30Н4С2	0,072	0,062	54
6	6. Ni–Si–B–C	–	0,055	50

№ 5 (табл. 2) вони мають вигляд сітки (рис. 7, а), а в композиціях № 3, 4 і 6 – вигляд поодиноких тріщин, розташованих приблизно по нормалі до кристалізаційних шарів. У композиції № 2 виявлено лише одну тріщину (рис. 7, б).

Причиною появи додаткових тріщин є тепловий вплив на попередній валик, який має високий рівень внутрішніх напружень, а також підвищення жорсткості з’єднаних валиків.

Попередній підігрів помітно зменшує кількість тріщин у наплавленому металі, а наявність підшарку із аустенітної хромонікелевої сталі ще більше сприяє їх зменшенню (табл. 2). Уникнути тріщин не вдалося тільки при наплавленні композиції № 5 зі сплавом–зв’язкою 300Х30Н4С2 (Сормайт 1).

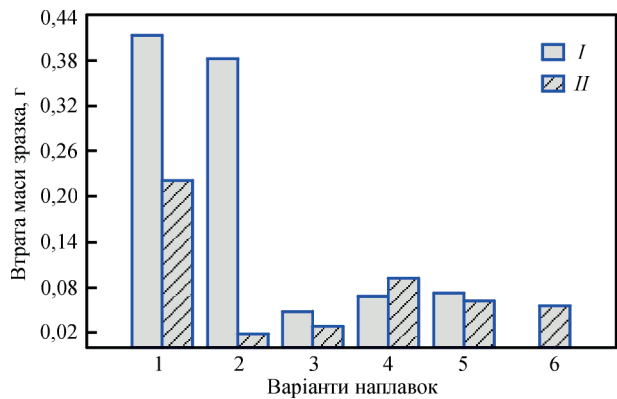


Рис. 8. Діаграма зносостійкості випробуваних варіантів наплавного металу на машині «НК»: I – чистий сплав–зв’язка; II – композиційний сплав з карбідами вольфраму

Зносостійкість наплавленого металу. Як було сказано раніше, зносостійкість наплавлених зразків проводили на лабораторній машині «НК». Результати наведені в табл. 3 і на рис. 8.

Для кращого розуміння впливу матриці на зносостійкість композиційних сплавів було окремо проведено дослідження зносостійкості самих матриць без карбідів вольфраму. Результати наведені там само.

Із наведених результатів дослідження добре видно, що найвищу зносостійкість в умовах абразивного зношування має композиція, в якій в якості сплаву–зв’язки використано відносно м’який мідно–нікелевий аустенітний чавун «Ni-резист» (№ 2). У порівнянні з чистим сплавом зносостійкість наплавленого металу при додаванні до нього карбідів вольфраму виросла більш ніж у 20 разів. Це завдяки тому, що даний сплав дуже добре утримує зерна карбідів вольфраму в матриці, змушуючи їх брати на себе всю енергію зношування. Зерна карбідів вольфраму, які знаходяться на поверхні тертя, зношуються відносно рівномірно, зберігаючи плоску округлу форму (рис. 9).

На рис. 10 показано мікроструктуру цього композиційного наплавленого металу, на якій добре видно форму та розподіл сферичних зерен карбідів вольфраму в матриці. Як бачимо, вони добре зберігаються без помітного оплавлення й розчинення. Сама матриця має дрібнозернисту евтектичну структуру, що складається з твердого роз-

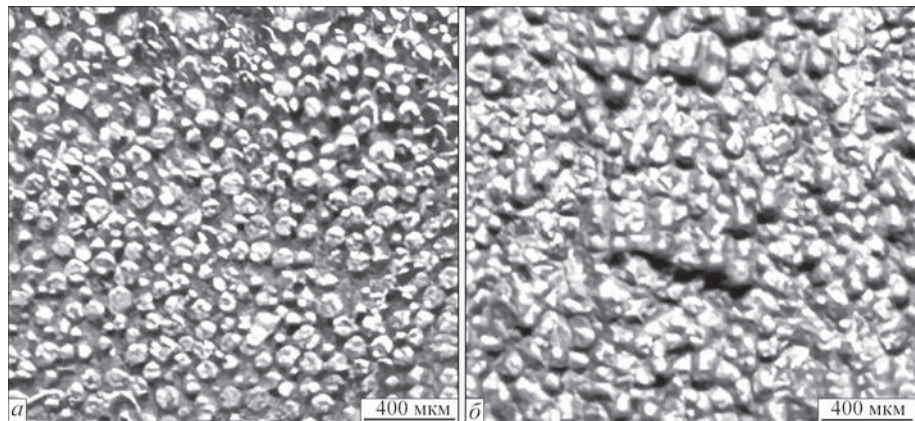


Рис. 9. Текстура поверхонь тертя наплавлених композиційних сплавів після випробування: а – 270H15Д7Х3С2 (№ 2) + карбіди вольфраму; б – 300Ф11Х6НМ (№ 4) + карбіди вольфраму

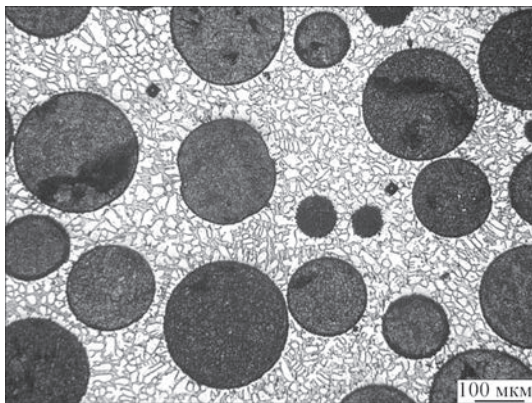


Рис. 10. Мікроструктура наплавленого металу

чину на базі заліза і карбідів цементичного типу $(\text{Fe, Cr})_3\text{C}$. Вільного графіту не видно.

Трохи гірший результат показав варіант з аустенітно-мартенситною матрицею 220Х18Ф7Н3М2 (№ 3) (рис. 8). При цьому варто зазначити, що зносостійкість цієї композиції при додаванні карбідів вольфраму виросла в порівнянні з чистим сплавом не набагато, всього в 1,7 рази. Сам сплав без карбідів вольфраму добре чинить опір зношуванню, завдяки присутності в його структурі до 70 % метастабільного легованого аустеніту і великої кількості твердих первинних карбідів ванадію VC [8]. У процесі тертя такий аустеніт перетворюється в мартенсит деформації, поглинаючи при цьому енергію руйнування.

Не справдилась надія на високу зносостійкість композиції зі сплавом-зв'язкою 300Ф11Х6НМ (№ 4). Не дивлячись на високу твердість сплаву-зв'язки (60 HRC) і велику кількість в ньому карбідів ванадію, її зносостійкість в цілому не висока (рис. 8). Парадоксально, але вона нижче, чим у чистого сплаву. Поясненням цього може бути те, що тверда мартенситна матриця погано утримує зерна карбідів вольфраму, які в таких умовах просто вибиваються й виносяться з зони тертя разом з матрицею, і таким чином знижується зносостійкість. Це добре видно на текстурі поверхні тертя (рис. 9). Оскільки щільність карбідів вольфраму значно вища від матриці, то його вплив на загальну втрату маси зразка в цьому випадку помітніше.

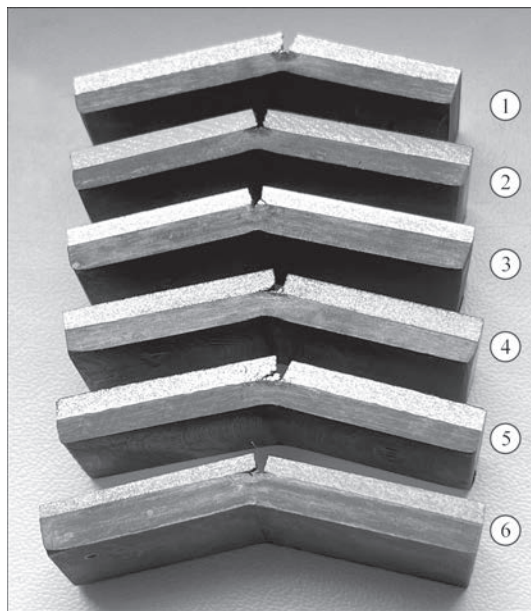


Рис. 11. Наплавлені зразки після випробування на відшарування наплавленого металу від основи при вигині. Нумерація зразків згідно з табл. № 2

Не підвищується помітно зносостійкість і в композиції № 5 на базі 300Х30Н4С2 (Сормайт 1), всього на 12...15 %. Тут також відіграє роль міцність закріплення зерен карбідів вольфраму з матрицею.

Композиція № 6 (Durmat 61-РТА) на базі нікелевого сплаву системи Ni-Si-B показала непоганий результат (рис. 8), хоча помітно поступається композиціям № 2 і № 3. З цього можна зробити висновок, що останні можуть бути хорошою заміною для неї.

Відшаровування наплавленого металу. Результати випробування наплавлених зразків на відшаровування наплавленого металу показані на рис. 11. Як бачимо, у всіх композиціях руйнування наплавленого шару крихке, без вигину. Усі зразки мають по одній тріщині в місці прикладання навантаження. При цьому відшаровування від основного металу не помічено. Це дає підставу стверджувати, що зчеплення наплавленого металу з основою у всіх варіантах композицій міцне і в реальних умовах наявність в ньому тріщин не повинно помітно вплинути на його загальну працездатність.

Таким чином, аналіз лабораторних досліджень показав, що є сплави на основі заліза, які не можна



Рис. 12. Приклади ефективного застосування плазово-порошкового наплавлення композиційного сплаву з використанням сплаву-зв'язки 270Н15Д7Х3С2: а – різець тангенціальний; б – калібратор; в – клапан вирівнювальний доменної печі

використовувати в якості сплаву–зв’язки для плазмово-порошкового наплавлення композиційних сплавів на базі карбідів вольфраму, і є сплави, які дуже перспективні для цієї цілі, наприклад № 2 і № 3 (табл. 1).

Для промислового випробування був вибраний сплав № 2 (270H15D7X3C2), який показав найкращу зносостійкість і гарне формування наплавленого металу.

На рис. 12 показано приклади ефективного застосування плазмово-порошкового наплавлення композиційного сплаву з використанням даного сплаву–зв’язки.

Висновки

1. Сплави на основі заліза можуть успішно використовуватись в якості сплаву–зв’язки для плазмово-порошкового наплавлення карбідів вольфраму. Однак не слід брати сплави, які в купі з карбідами вольфраму при напавленні значно підвищують свою твердість, знижуючи при цьому пластичність. Висока твердість погіршує утримання зерен карбідів вольфраму, вони відриваються, внаслідок чого висока зносостійкість наплавленого металу не досягається.

2. Зносостійкі сплави з високою твердістю при використанні їх в якості сплаву–зв’язки не дають помітного приросту загальної зносостійкості наплавленого металу.

3. Найкращий результат в якості сплаву–зв’язки показав відносно м’який мідно-нікелевий аустенітний чавун «Ni-резист». Він забезпечує прекрасне формування металу що наплавляється, високу зносостійкість і не дуже схильний до утворення тріщин. Цей сплав можна рекомендувати для широкого застосування в якості сплаву–зв’язки для плазмово-порошкового наплавлення композиційних матеріалів на базі карбідів вольфраму.

Список літератури

1. Harper, D., Gill, M., Hart, K.W.D., Anderson M. (2002) Plasma transferred arc overlays reduce operating costs in oil sand processing. *YTSC 2002. Intern. Spray conf.*, Essen, Germany, May, 278–283.
2. Bouaifi, B., Reichmann, B. (1998) New areas of application through the development of the high-productivity plasma-arc powder surfacing process. *Welding and Cutting*, **50**, 12, 236–237.
3. Сом А.И. (1999) Новые плазмотроны для плазменно-порошковой наплавки. *Автоматическая сварка*, **7**, 44–48.
4. Сом А.И. (2004) Плазменно-порошковая наплавка композиционных сплавов на базе литых карбидов вольфрама. *Автоматическая сварка*, **10**, 49–53.
5. Remyue Yuan, Xuewei Bai, Haozhe Li et al. (2021) Effect of WC content on microstructure, hardness, and wear properties of plasma clad Fe–Cr–C–WC coating. *Materials Research Express*, Vol. **8**, 6, 066302. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac0b79>
6. Dr. Fischer, J. (2022) Properties and applications of Ni-Resist and ductile Ni-Resist alloys. *Caum Nickel Institute*, Canada,

- # 11018, Second edition. [www: https://nickelinstitute.org/media/8da7c3cd6014c9b/11018_properties_and_applications_of_ni-resist_alloys.pdf](http://www.nickelinstitute.org/media/8da7c3cd6014c9b/11018_properties_and_applications_of_ni-resist_alloys.pdf)
7. Переpletчиков Е.Ф., Рябцев И.А., Гордань Г.М. (2003) Высокотермостойкие сплавы для плазменно-порошковой наплавки инструментов. *Автоматическая сварка*, **3**, 21–25.
8. Сом А.И. (2016) Сплав на основе железа для плазменно-порошковой наплавки шнеков экструдеров и термопластавтоматов. *Автоматическая сварка*, **7**, 22–27.
9. Фрумин И.И. (1977) Современные типы наплавленного металла и их классификация. *Теоретические и технологические основы наплавки. Наплавленный металл*. Киев, Наукова думка, 3–17.
10. Жудра А.П. (2014) Наплавочные материалы на основе карбидов вольфрама. *Автоматическая сварка*, **6-7**, 69–74.
11. Юзвенко Ю.А., Гавриш В.А., Марченко В.Ю. (1979) Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла. *Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла*. Киев, ИЭС им. Е. О. Патона, 23–27.
12. Augustine Nana Sekyi Appiah, Oktawian Bialas, Artur Czupryński, Marcin Adamiak (2022) Powder Plasma Transferred Arc Welding of Ni–Si–B+60 wt%WC and Ni–Cr–Si–B+45 wt%WC for Surface Cladding of Structural Steel. *Materials*, **15**(14), 4956. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15144956>

References

1. Harper, D., Gill, M., Hart, K.W.D., Anderson, M. (2002) Plasma transferred arc overlays reduce operating costs in oil sand processing. In: *Proc. of Inter. Spray Conf. on YTSC 2002, Essen, Germany, May*, 278–283.
2. Bouaifi, B., Reichmann, B. (1998) New areas of application through the development of the high-productivity plasma-arc powder surfacing process. *Welding and Cutting*, **50**(12), 236e–237e.
3. Som, A.I. (1999) New plasmotrons for plasma-powder surfacing. *Avtomaticheskaya Svarka*, **7**, 44–48.
4. Som, A.I. (2004) Plasma-powder surfacing of composite alloys based on cast tungsten carbides. *The Paton Welding J.*, **10**, 43–47.
5. Remyue Yuan, Xuewei Bai, Haozhe Li et al. (2021) Effect of WC content on microstructure, hardness, and wear properties of plasma clad Fe–Cr–C–WC coating. *Materials Research Express*, **8**(6), 066302. DOI: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac0b79>
6. Fischer, J. (2022) Properties and applications of Ni-resist and ductile Ni-resist alloys. 2nd Edition. [www: https://nickelinstitute.org/media/8da7c3cd6014c9b/11018_properties_and_applications_of_ni-resist_alloys.pdf](http://www.nickelinstitute.org/media/8da7c3cd6014c9b/11018_properties_and_applications_of_ni-resist_alloys.pdf)
7. Pereplyotchikov, E.F., Ryabtsev, I.A., Gordan, G.M. (2003) High-vanadium alloys for plasma-powder cladding of tools. *The Paton Welding J.*, **3**, 14–17.
8. Som, A.I. (2016) Iron-based alloy for plasma-powder surfacing of screw conveyors of extruders and injection molding machines. *The Paton Welding J.*, **7**, 21–25. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.07.04>
9. Frumin, I.I. (1977) Modern types of clad metal and their classification. In: *Theoretical and technological fundamentals of cladding. Clad metal*. Kyiv, Naukova Dumka, 3–17.
10. Zhudra, A.P. (2014) Tungsten carbide based cladding materials. *The Paton Welding J.*, **6-7**, 66–71. DOI: <https://doi.org/10.15407/tpwj2014.06.14>
11. Yuzvenko, Yu.A., Gavriush, V.A., Marienko, V.Yu. (1979) Laboratory units for assessment of wear resistance of clad metal. In: *Theoretical and technological fundamentals of cladding. Properties and tests of clad metal*. Kyiv, PWI, 23–27.
12. Augustine Nana Sekyi Appiah, Oktawian Bialas, Artur Czupryński, Marcin Adamiak (2022) Powder plasma transferred arc welding of Ni–Si–B+60 wt% WC and Ni–Cr–Si–B+45 wt% WC for surface cladding of structural steel. *Materials*, **15**(14), 4956. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15144956>

IRON-BASED BINDER ALLOY FOR PLASMA TRANSFERRED-ARC SURFACING OF COMPOSITE ALLOYS REINFORCED WITH CAST TUNGSTEN CARBIDES

O.I. Som

Plasma-Master Co., Ltd. 3 Omelian Pritsak Str., 03142, Kyiv, Ukraine. E-mail: info@plasma-master.com

Five iron-based industrial alloys with different alloying systems have been studied for the purpose of using them as a binder alloy for plasma-transferred arc surfacing of composite alloys, reinforced with cast spherical tungsten carbides (relite). It is shown that hard and wear-resistant alloys, such as Sormite-1 (PG-S1) and others do not provide an overall increase in the deposited metal wear resistance. On the contrary, they reduce it, as they poorly hold the tungsten carbide grains, which break away and are removed from the friction zone together with the matrix, not contributing to the resistance to wear. Alloys of Kh18N9 type are not suitable either, as they significantly increase their hardness and thus lower their ductility during surfacing due to additional alloying with carbon and tungsten. The best result was shown by a relatively soft copper-nickel alloy (cast iron) Ni-Resist. 12 Ref., 3 Tabl., 12 Fig.

Keywords: plasma transferred-arc surfacing (PTA surfacing), spherical tungsten carbides, binder alloy (matrix), wear resistance, hardness, metal formation

Отримано 02.10.2025

Отримано у переглянутому вигляді 06.11.2025

Прийнято 17.12.2025



IX Міжнародна спеціалізована виставка технологій, обладнання та матеріалів для аддитивного виробництва та 3D друку



Addit EXPO 3D



Актуально
для 3D стоматології

26-28 травня 2026



Місце проведення:
МВЦ, м. Київ,
Броварський пр-т, 15,
станція метро «Лівобережна»



+38 (095) 268-05-87



helen@iec-expo.com.ua



www.iec-expo.com.ua

