

УДК 621.793

В.І. Похмурський, д-р техн. наук, М.М. Студент, д-р техн. наук, В.М. Гвоздецький, інж., Т.Р. Ступницький, інж.

Фізико-механічний інститут імені Г.В. Карпенка

О.Й. Мажейка, канд. техн. наук, С.І. Маркович, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Вплив складу шихти порошкових дротів на механічні властивості електродугових покриттів

В статті досліджено залежність механічних характеристик електродугових покриттів від сомо організаційних процесів, що відбуваються при їх формуванні під впливом елементного складу шихти порошкових дротів.

порошкові дрони, шихта, електродугові покриття, когезійна міцність, напруження розтягу

Метод електродугового напилення покриттів (ЕДП) знайшов широке застосування в різних областях промисловості. Значне використання його можливостей досягається застосуванням спеціальних порошкових електродних дротів (ПД) для напилення, які дозволяють підвищити адгезійну міцність, твердість, зносостійкість, триботехнічні і антикорозійні властивості покриттів до рівня плазмових покриттів, але при набагато менших затратах [1...7]. Однак недостатня вивченість процесів формування ЕДП із ПД та їх впливу на структурно-фазовий склад і механічні характеристики стримує їх використання. В даній роботі досліджено впливу складу шихти на когезію покриттів із ПД.

1. Методика експерименту

ПД виготовляли в одношаровому виконанні. Для оболонки ПД використали стрічку з мало вуглецевої сталі 08пс (0,05...0,11 % С, не більше 0,02 % S, 0,025...0,5 % Mn, 0,04 % P).

Хімічний склад порошків, які додавали до складу шихти ПД наведено у табл. 1. Коефіцієнт заповнення ПД визначали згідно формули:

$$K_z = G_{\text{пор}} / G_{\text{дроту}} = G_{\text{пор}} / (G_{\text{пор}} + G_{\text{об}}), \quad (1)$$

де $G_{\text{пор}}$, $G_{\text{об}}$ – відповідно вага порошкового наповнювача та оболонки;

$G_{\text{дроту}}$ - загальна вага дроту.

ЕДП наносили на зразки з вуглецевої сталі 20 шляхом розпилення електродних дротів за допомогою електродугового металізатора з модифікованою системою розпилювання, за якої електрична дуга горить в каналі розпилювальної головки, що дає змогу одержувати дрібнодисперсні покриття [8].

Таблиця 1 - Матеріали, використані під час виготовлення ПД

Назва матеріалу	Марка	ГОСТ
ферохром високо вуглецевий	ФХ-800	4757-85
феромарганець	ФМн 05	4755-80
феротитан	ФТИ-40А	4761-80
Феромолібден	ФМО-60	4756-77
Феровольфрам	ФВ70	
порошок алюмінію	ПА-40	
хром металевий	Х99А	5905-79
порошок нікелю	ПИК-1Л5	9722-79
лігатура залізохромбор	ФХБ-2	ТУ 14-5-106-73

Для очищення стисненого повітря від твердих частинок, води і мінерального мастила використали фільтр (23–25–4–4ХЛ4).

Процес нанесення ЕДП на зразок передбачає наступні операції: знежирення зразка, його струминне оброблення корундом, напилування та контроль його якості і нарешті шліфування зразка.

Параметри напилування зразків після дробоструминного оброблення: сила струму 150 А, робоча напруга 32 В, віддаль від сопла до поверхні напилування - 150мм, тиск стисненого повітря 0,65 МПа.

Для визначення напружень першого роду у покриттях визначали за методикою, розробленою для біметалевих кілець [9], у яких відношення радіусів центральної лінії до радіальної товщини кільця не менше 10. Формула 2 для визначення напружень враховує модулі пружності і сталевого кільця-підкладки, і напиленого шару:

$$\sigma_{\text{кол}} = (2 \cdot E_1 / D_t^2) \cdot [(0,5 \cdot (t_2^2 \cdot c + t_1^2 + 2 \cdot t_1 \cdot t_2 \cdot c) / (t_2 \cdot c + t_1) - (a + da))] \cdot \Delta D, \quad (2)$$

де D – діаметр кільця;

t_1 – товщина кільця;

t_2 – товщина нанесеного покриття;

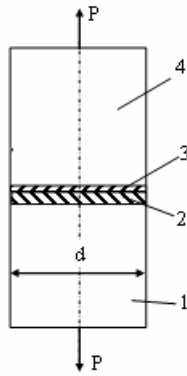
t – товщина кільця разом з нанесеним ЕДП;

c – коефіцієнт, визначений зі співвідношення: $c = E_1 / E_2$, E_1 , E_2 - модулі пружності сталі та напиленого ЕДП;

a – відстань від поверхні нанесеного покриття до досліджуваного елементарного шару da ; da – товщина досліджуваного елементарного шару.

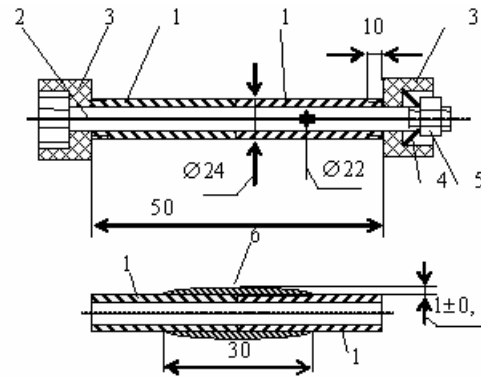
Адгезію ЕДП до сталюї основи [10] визначали клеєвим методом: поверхню покриття 2 на зразку циліндричної форми 1 діаметром 20 мм. через епоксидний клей 3 з'єднували з шайбою 4 (рис. 1). Після цього зразок розривали і фіксували зусилля.

Міцність ЕДП за розтягу (когезію) визначали, використавши зразок, складений з двох трубок (рис. 2). Через дві половинки зразка 1 пропускали штифт 2, яким стягували їх разом, використавши захисні шайби 3, пружину 4 та гайку 5. На бічну поверхню зібраного таким чином зразка по периметру стику двох його частин наносили ЕДП. Після цього зразок звільняли від оправки і розтягували, фіксуючи зусилля в момент руйнування покриття в місці стику двох частин трубок.



1 – зразок; 2 – покриття; 3 – прошарок клею;
4 – шайба

Рисунок 1 – Зразок для визначення міцності зчеплення ЕДП з поверхню напилювання за методикою склеювання



1 – дві частини зразка; 2 – штифт; 3 – захисні шайби;
4 – пружина; 5 – гайка; 6 – покриття

Рисунок 2 – Схема пристрою для нанесення покриття на зразок для визначення когезії ЕДП за розтягу

Модуль пружності ЕДП визначали методом прогину та розрахунок проводили за наступним виразом (3) [11].

$$E = \frac{Lv^3 \times (P_2 - P_1)}{4bh^3 (Z_2 - Z_1)}, \quad (3)$$

де Lv – відстань між ножами основи, мм.;

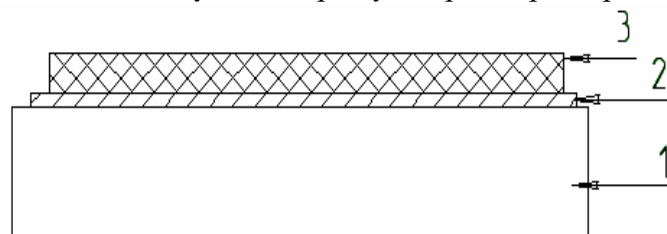
P_1, P_2 – величина навантажень першого та другого, гр.;

b – ширина пластини, мм.;

h – товщина пластини, мм.;

Z_1, Z_2 – покази індикатора при першому та другому навантаженні, мм.

Балочні зразки із матеріалу ЕДП для визначення модуля пружності методом трьох точкового прогину виготовляли наступним чином. Поверхню зразків 1 (рис. 3) 100×20×6 мм. із сталі 20 розміром 150×20 мм. залужували оловом 2 товщиною 40-50 мкм. та піддавали струминній обробці корундом для підготовки залуженої поверхні до напилення. Зразки у кількості 6 од. кріпили на твірній поверхні шестигранника і наносили ЕДП із ПД товщиною 1,5 мм.. Пластини шліфували по напиленій стороні до товщини покриття 1 мм. та з торців до ширини 20 мм.. Підготовлені зразки ставили у нагріту піч, температура якої на 20°C вище температури плавлення олова. При нагріві сталейних пластин із покриттям шар олова розплавлявся, внаслідок чого за рахунок внутрішніх напружень покриття самовільно відшаровувалися. Таким чином отримували зразки балочного типу із матеріалу покриття розмірами 90×20×1 мм.



1 – стальна пластина 2 – залужений шар, 3 – напилене ЕДП
Рисунок 3 – Залужена стальна пластина із напиленням ЕДП

2. Результати та обговорення експериментальних даних

Експериментально встановлено, що за додавання до складу шихти ПД 50X10Г2 до 10 мас. % Мо або Al у чистому вигляді адгезія ЕДП до сталі підвищується в два рази (рис. 4). Разом з тим за їх одночасного додавання до складу шихти ПД проявляється

ефект синергізму від легування. Зокрема, за додавання до складу шихти ПД 10 мас. % Мо та 5 мас. % Al адгезія ЕДП, отриманого з такого ПД, підвищується вже не в два, а в 2,5 рази, порівняно з покриттям із ПД без додавання одного з компонентів.

Підвищення адгезивної міцності ЕДП з ПД 50X10Г2М (0...10)Ю(0...10) зумовлене більшою тепловою енергією, яку запасають дисперговані краплини ПД, що містять Мо або Al. Це спричинено протіканням екзотермічних алюмотермічних реакцій та виділенням великої кількості тепла розплавом Мо на поверхні сталевій підкладки.

Експериментально встановлено, що когезивна міцність ЕДП з ПД визначається наступними чинниками:

а) товщиною оксидних плівок, що утворюються між ламелями під час формування ЕДП;

б) рівнем залишкових напружень розтягу у ЕДП.

Найбільше на когезивну міцність ЕДП впливають вуглець і алюміній (рис. 7) та бор (рис. 8а). Зі збільшенням вмісту вуглецю в ЕДП від 0 до 2 мас. % когезивна міцність зростає на ~60 % (від 150 до 245 МПа (рис. 8б)). Позитивний вплив вуглецю зумовлений тим, що під час польоту диспергованих краплин розплаву ПД вуглець реагує з киснем повітря ($2\cdot C + O_2 = CO_2$). Внаслідок цього навколо краплин утворюється захисна атмосфера з вуглекислого газу, яка ускладнює окиснення їх поверхні. При цьому товщина оксидних плівок між ламелями напиленого покриття зменшується і сила зчеплення між ними зростає.

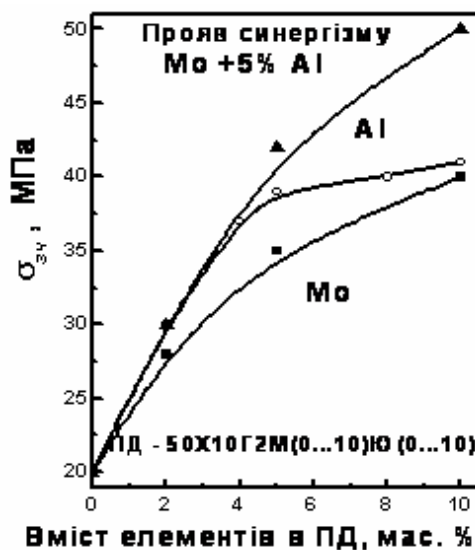


Рисунок 4 – Вплив вмісту елементів легування (Al та Mo) в ПД 50X10Г2М(0...10)Ю(0...10) на адгезивну міцність $\sigma_{зч}$ електродугових покриттів

Зміна вмісту титану та хрому у складі шихти практично не впливає на когезивну міцність ЕДП (рис. 5). Разом з тим за одночасного додавання до складу шихти ПД хрому, титану, алюмінію та вуглецю проявляється синергізм їх впливу, що супроводжується істотним підвищенням (до 300 МПа) когезивної міцності ЕДП (рис. 7).

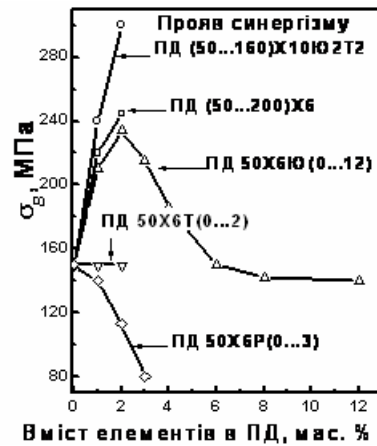
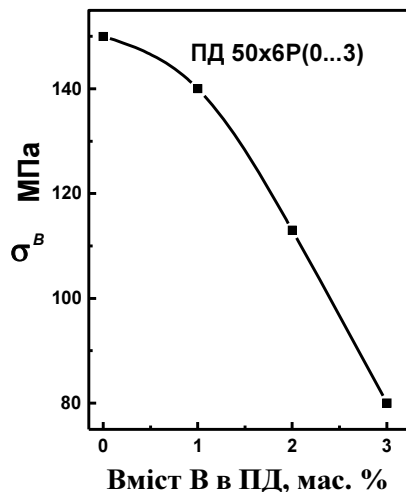


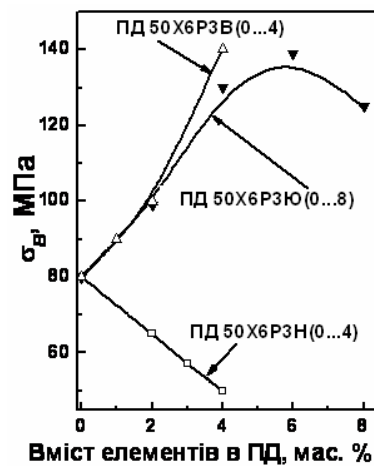
Рисунок 5 – Вплив вмісту елементів Ti, Cr, Al, C та графіту на когезивну міцність σ_v ЕДП отриманих з ПД

Додавання до ПД 1...3 мас. % бору теж зменшує когезивну міцність ЕДП (рис. 6а). Бор, та елементи, що утворюють евтектики, для прикладу нікель, підвищують твердість та знижують МГ покриттів, сприяють зникненню пластичних ламелей в покритті. Релаксація напружень розтягу під час напильовання відбувається тоді шляхом утворення мережі мікротріщин (рис. 7), що суттєво зменшує когезивну міцність ЕДП.

Підвищення когезивної міцності ЕДП з ПД за додавання до складу їх шихти до 2 мас. % Al (рис. 5) спричинене зростанням мікрогетерогенності покриттів та теплової енергії, що виділяється в краплинах внаслідок протікання алюмотермічних реакцій. Обидва чинники сприяють зниженню залишкових напружень розтягу у покриттях. Із збільшенням вмісту Al у шихті ПД на поверхні краплин, що формують покриття, утворюється тугоплавка оксидна плівка Al_2O_3 , яка знижує когезивний зв'язок між ламелями (рис. 8).



а



б

Рисунок 6 – Вплив вмісту В в ПД 50Х6 (а) та Al, Ni, W (б) в ПД Х6РЗ на когезивну міцність σ_v електродугових покриттів

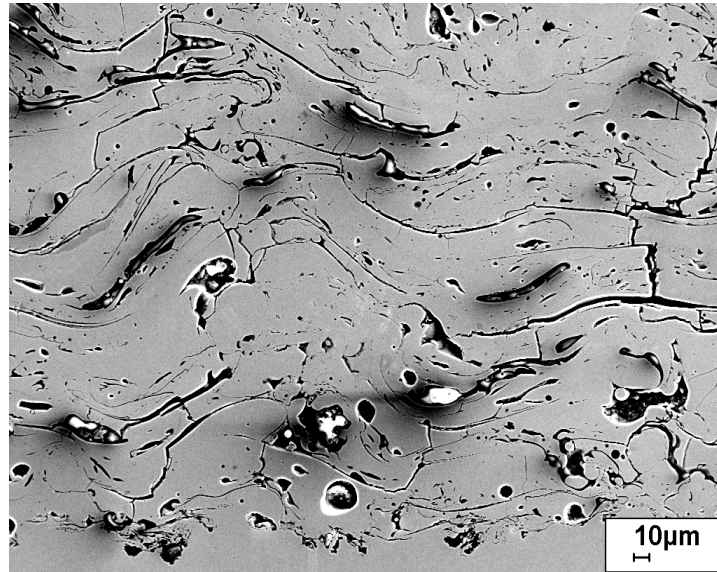
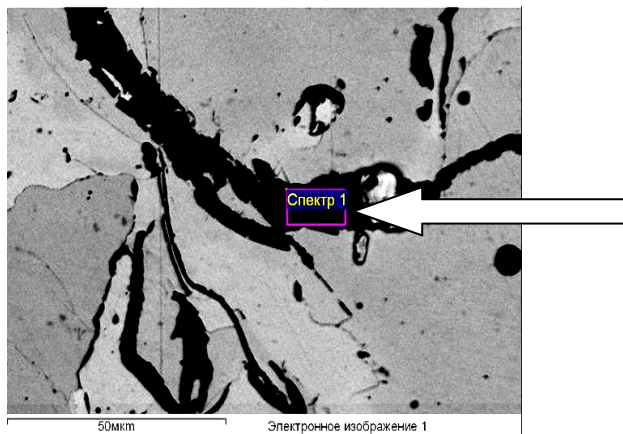


Рисунок 7 – Релаксація напружень розтягу шляхом формування мережі мікротріщин у покритті під час його напилювання з ПДХ6Р3Ю2

Додавання до шихти ПД титану сприяє утворенню на поверхні краплин, що формують покриття, менш тугоплавкої плівки $\text{TiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, а вуглець, утворивши захисну атмосферу навколо краплин, зменшує її товщину.



Елемент	Ваговий %
O	36.47
Al	42.16
Cr	0.79
Fe	20,58
Разом	100.00

Рисунок 8 – Хімічний склад оксидних фаз вздовж меж розділу ламелей у покритті з ПД Х6Р3Ю12

Вплив фазового стану ЕДП на рівень залишкових напружень

Встановлено, що, найвищі залишкові напруження розтягу (165 МПа) виникають у покриттях із матричною фазою стабільного або залишкового аустеніту, нижчі (105 МПа) – із матричною фазою стабільного фериту, ще нижчі (70 МПа) – із матричною фазою фериту, в якому відбувається поліморфне перетворення, і найнижчі (12 МПа) – із матричною фазою мартенситу (рис. 9). Така велика різниця за рівнем залишкових напружень зумовлена відмінністю за КТР і, як наслідок, різною зміною об'єму під час охолодження покриттів на поверхні підкладки та фазових перетворень, що проходять із збільшенням об'єму під час протікання перетворень (рис. 10). Найбільше (на 2 %) об'єм покриття зростає під час перетворення аустеніту в мартенсит.

Таким чином режимами напилювання ЕДП та їх фазовим станом можна мінімізувати залишкові напруження розтягу в них.

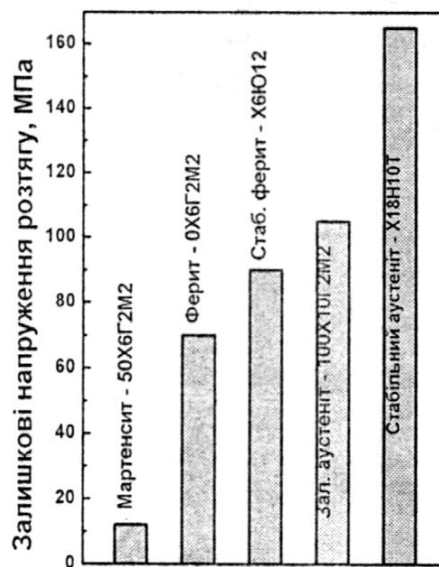


Рисунок 9 – Порівняння ЕДП за рівнем залишкових напружень розтягу $\sigma_{\text{кол}}^{\text{max}}$ в них, спричинених їх відмінністю за фазовим складом

3. Синергізм впливу напилювання різномірними ПД на механічні властивості ЕДП

Високі механічні характеристики, особливо для ЕДП з високою мікротвердістю 700-900 HV, які схильні до розтріскування вже в процесі нанесення на підкладку, можна забезпечити при використанні для напилення ЕДП двох різномірних дротів. Склад шихти одного з ПД повинен створювати передумови для формування у покритті мартенситної структури, яка забезпечуватиме низький рівень залишкових напружень розтягу. Шихта іншого ПД повинна містити значну кількість алюмінію. Під час формування покриттів на межах розділу краплин розплавленого металу з обох різномірних дротів відбувається екзотермічна реакція, яка забезпечує зварювання ламелей між собою на мікрорівні. Це спричиняє суттєве підвищення когезивної міцності ЕДП (підвищення досягає 300 %).

Зокрема, синергізм впливу складу шихти ПД на когезивну міцність ЕДП можна проілюструвати на прикладі ЕДП, отриманого розпилюванням різномірних дротів (рис. 10) [12].

До складу шихти одного з них (ПД системи Fe-Cr-B-Al) додається значна кількість алюмінію (6...12 мас. %) і бору (3...4 мас. %). Цим забезпечується висока твердість ($HV_{0,3} = 800...1200$) ЕДП. Шихта іншого ПД не повинна містити Al і повинна забезпечити утворення в ЕДП мартенситної матриці з низьким рівнем залишкових напружень (зокрема ПД системи Fe-Cr-Mo).

За одночасного використання різномірних ПД (ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2) когезивна міцність ЕДП практично втричі вища, ніж для ЕДП отриманого розпилюванням двох однакових ПД Х6РЗЮ12 і на 33 % вища, ніж властива ЕДП з двох однакових ПД 50Х6Г2М2. Причому адгезивна міцність ЕДП з різномірних дротів і залишкові напруження у ньому знаходяться між відповідними рівнями для ЕДП, отриманими з використанням однакових ПД (рис. 10).

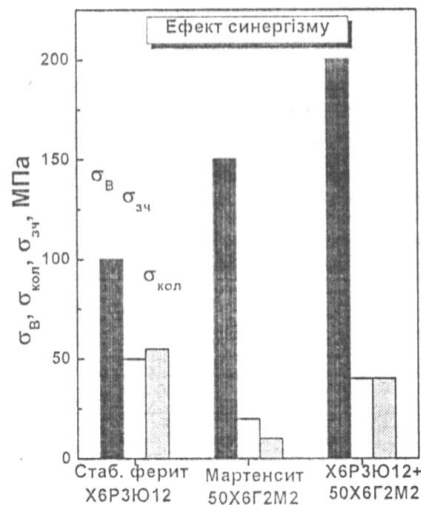
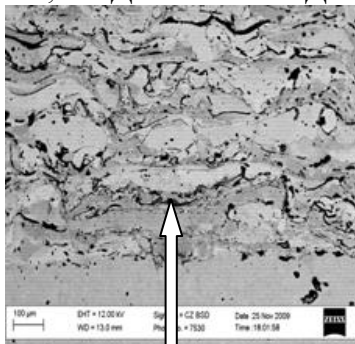


Рисунок 10 – Зміна механічних властивостей (когезивної $\sigma_{\text{в}}$ та адгезивної $\sigma_{\text{зч}}$ міцностей та залишкових колових напружень $\sigma_{\text{кол}}$) ЕДП, отриманих електродуговим напилюванням однаковими (або ПД Х6РЗЮ12, або ПД 50Х6Г2М2), або різнорідними дротами одночасно (ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2)

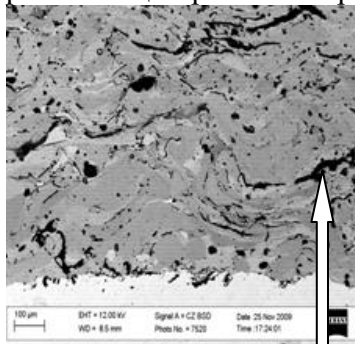
На поверхнях краплин, які утворюються під час розпилювання ПД Fe-Cr-Mo, формується переважно плівка із оксидів заліза Fe_nO_m (рис. 13), а на поверхнях краплин з ПД Fe-Cr-B-Al – плівка на основі Al_2O_3 (рис. 8., рис.12). Структура ЕДП з двох різнорідних ПД (Х6РЗЮ12 + 50Х6Г2М2) характеризується високою мікрогетерогенністю (рис. 13).

На границях між різнорідними ламелями практично відсутні оксидні плівки. Це зумовлено мікрозварюванням різнорідних ламелей внаслідок протікання на їх межах екзотермічних алюмотермічної реакції (рис. 14), $2/3 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4/3 \text{Al} = 4/3 \text{Fe} + 2/3 \text{Al}_2\text{O}_3 + 3,50 \text{кДж/г}$ шихти ПД при кристалізації краплин в процесі напилення ЕДП.



Fe_nO_m

Рисунок 11 – Структура та хімічний склад оксидних фаз на межах розділу ламелей у ЕДП з ПД 50Х6Г2М2



Al_2O_3

Рисунок 12 – Структура та хімічний склад оксидних фаз на межах розділу ламелей у ЕДП з ПД Х6РЗЮ12

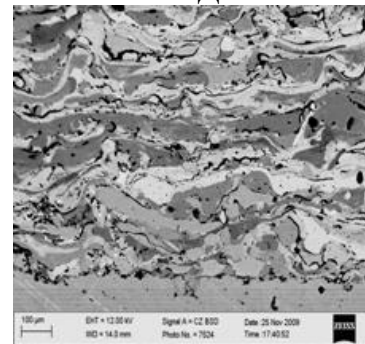
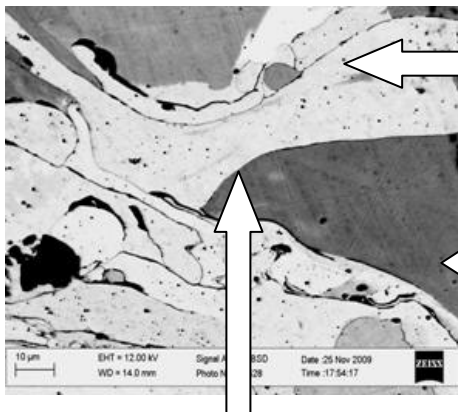


Рисунок 13 – Структура покриття, напиленого двома різнорідними дротами: ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2

4. Зміна механічних характеристик ЕДП із ПД системи легування Fe-Cr-B-Al за підвищених температур

Під час тривалих експозицій за температури випробовувань 600°C , внаслідок росту дисперсних фаз – зміцнювальної фази - боридів FeCr_2B , твердість всіх ЕДП зменшується і стабілізується на рівні 500..550 HV (рис. 15a). Так, згідно

металографічного аналізу, після напилення розмір боридів не перевищує 50 нм, а після витримки 5000 год. 600⁰С їх розмір зростає до 300..500 нм.



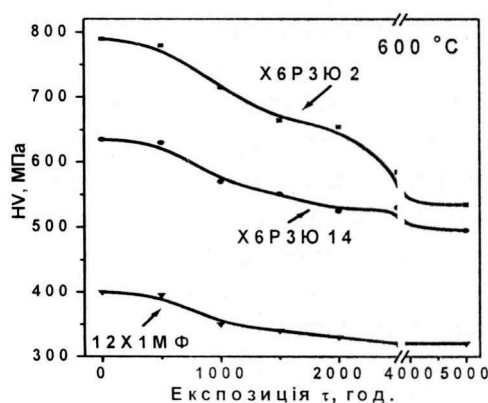
Елемент	Ваговий %
Ti	0,4
Cr	6,5
Mn	1,3
Fe	90,0
Mo	1,8
Разом	100.00

Елемент	Ваговий %
Al	10.6
Cr	5.6
Fe	83.8
Разом	100.0

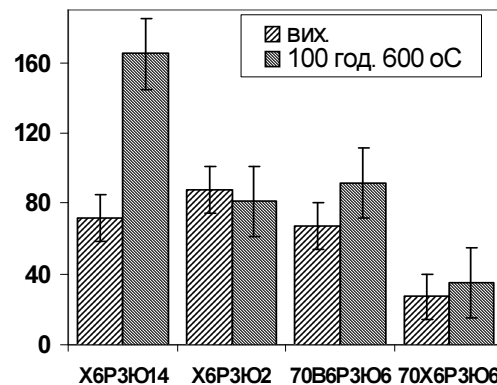
Мікрозварювання різнорідних краплин

Рисунок 14 – Структура та хімічний склад ламелей ЕДП, напиленого двома різнорідними дротами: ПД Х6РЗЮ12 і ПД 50Х6Г2М2

Проте гаряча мікротвердість за температури випробовувань 600⁰С зменшується не суттєво та становить 450...500 НВ. Впродовж тривалих експозицій за температури випробовувань 600⁰С когезивна міцність покриттів суттєво зростає (рис. 15б).



а



б

Рисунок 15 – Вплив експозиції за температури 600⁰С на механічні характеристики електродугових покриттів, а – мікротвердість, б – когезивну міцність, 100 год

Такий ефект зумовлений армуванням структури ЕДП тонкими оксидними плівками. При цьому ЕДП запозичує композитну структуру.

Найбільше зміцнення спостерігається для ЕДП із ПД Х6РЗЮ14, що зумовлено армуванням плівками на основі оксиду алюмінію. Встановлено, що модуль пружності ЕДП зростає при підвищенні температури випробовувань вище 350⁰С (рис. 16а) і далі зростає при збільшенні тривалості експозицій (рис. 16б).

Так за експозиції в 1000 год. за температури випробовувань 600⁰С модуль пружності ЕДП із ПД 70В6РЗЮ6 зростає майже у три рази, а для ЕДП із ПД Х6РЗЮ14 на 70%. З'ясовано, що зростання модуля пружності зумовлено внутрішнім міжламелярним окисненням та прямо пропорційно кількості оксидної фази у ЕДП.

Тривалі експозиції зразків за температури 600⁰С приводять до зменшення напружень розтягу у ЕДП. Визначено два часові етапи 1, 2 (рис. 17) та два механізми за якими відбувається зменшення напружень розтягу у покриттях.

Так на першому етапі, що триває до 20 год. за температури 600°C , зменшення напружень відбувається за рахунок розпаду аустеніту у структурі ЕДП, що збільшує об'єм ЕДП (рис. 17, етап - 1).

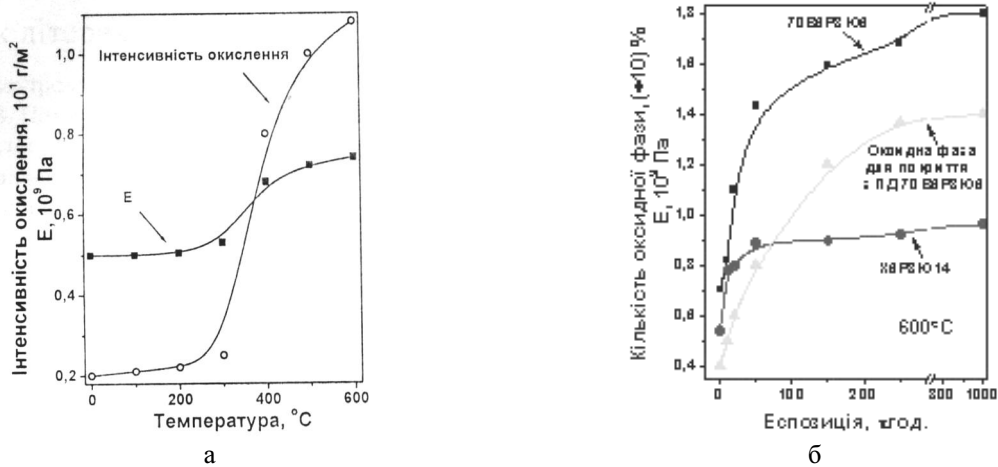


Рисунок 16 – Вплив температури (ПД Х6РЗЮ14) а) та експозиції б) на зміну модуля пружності ЕДП

На другому етапі із збільшенням експозиції, напруження стиску зростають внаслідок проходження процесу внутрішньоламелярного окиснення ЕДП, і як наслідок збільшення кількості оксидної фази, що суттєво збільшує об'єм ЕДП (рис. 17, етап - 2).

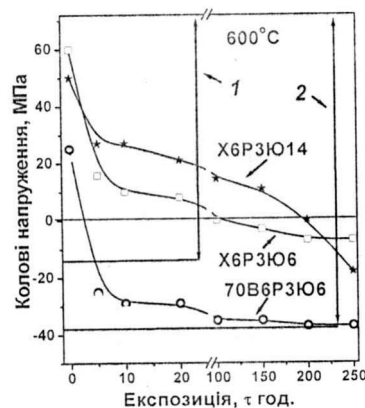


Рисунок 17 – Вплив експозиції на рівень напружень у ЕДП за температури випробувань 600°C

5. Висновки:

1. Встановлено кореляційні залежності між компонентним складом шихти ПД та механічними властивостями отриманих ЕДП. З'ясовано, що максимальна когезивна міцність забезпечується за наявності у складі шихти ПД вуглецю, алюмінію та титану. При цьому вздовж меж ламелей формуються оксидні плівки мінімальної товщини. Під час утворення та польоту краплин розплаву ПД присутній в них вуглець вигоряє з утворенням вуглекислого газу і формує навколо крапель захисну атмосферу. Алюміній та титан забезпечують мінімальну кількість оксидів на поверхні краплин.

2. Встановлено можливість прояву синергічного підвищення когезійної міцності покриттів при використанні для напилення ЕДП двох різнорідних дрітків. Синергізм у зростанні когезивної міцності ЕДП забезпечується протіканням алюмотермічних реакцій на межах різнорідних краплин під час їх формування.

3. Встановлено закономірності зміни модуля пружності ЕДП системи Fe-Cr-B-Al з підвищенням температури. Показано, що при підвищенні температури випробувань вище 400°C, внаслідок внутрішнього окиснення, модуль пружності зростає у 1,5-2,5 рази, що прямо пропорційно вмісту в них міжламельних оксидів.

4. Досліджено механізм зниження напружень розтягу у ЕДП за температури 500-700°C і показано, що він відбувається внаслідок збільшення об'єму ЕДП за рахунок внутрішнього міжламельного окиснення.

Список літератури

7. Електродугові відновні та захисні покриття / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2005. – 190
8. Застосування електродугової металізації порошковими дротами системи Fe-Cr-C-Al для відновлення деталей машин / В.І. Похмурський, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак // Машинознавство. – 1999. – № 1. – С. 13-18
9. Tribological properties of arc sprayed coatings obtained from FeCrB and FeCr based powder wires / A. Pokhmurska, M. Student, E. Bielanska, E. Beltowska, V. Dovhunyk // Surface & Coating Technology. – 2002. – V. 151-152. – P. 490-494
10. Порошковые проволоки систем FeCrB+Al и FeCr+Al+C для восстановительных электрометаллизационных покрытий / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, И.И. Сидорак // Автомат. сварка. – 2002. – № 3. – С. 32-35.
11. Структура и трибологические свойства покрытий, полученных методом электродуговой металлизации / В.И. Похмурский, М.М. Студент, И.И. Сидорак, Ю.М. Кусков, И.И. Рябцев, В.М. Довгунік // Автомат. сварка. – 2003. – № 8. – С. 13-17.
12. Возникновение и перераспределение внутренних напряжений в электродуговых покрытиях во время формирования. / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.М. Довгунік, І.Й. Сидорак, Ю.В. Дзьоба, И.А. Рябцев // Там же. – 2006. – № 10. – С.15-20.
13. Effect of high-temperature corrosion on the gas-abrasive resistance of electric-arc coatings / М.М. Студент, Н. В. Pokhmurs'ka, V.V. Hvozdet's'kyi, M.Ya. Holovchuk, M.S. Romaniv // Materials Science. – 2009. – 45, N 4. – P. 481-489.
14. А.с. №1657230 СССР, МКИ В05 В7/22. Распылительная головка к электрометаллизатору / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.С. Пих, М.А. Тыхан. Оpubл. 23.06.91 Бюл. №23. – 3 с.
15. [Бабичев М. А. Методы определения внутренних напряжений в деталях машин. М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 132 с.](#)
16. ГОСТ 9.304-87. Единая система от коррозии и старения. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля. – Введ. 18.12.87. – М.: Госкомстандарт СССР, 1987. – 13 с.
17. Тушинский Л.И. Исследование структур и физико-механических свойств покрытий. / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 197 с.
18. Пат. № 40721 У України, МПК (2009) C23C 4/00, B22F 7/00, B32B 15/00. Порошковий дріт для одержання зносостійких електродугових покриттів / В.І.Похмурський, М.М.Студент, Ю.В.Дзьоба, І.Й.Сидорак; заявник і патентовласник ФМІ НАН України. – U2008 12842; заявл. 03.11.2008; опубл. 27.04.2009, Бюл. № 8.

В. Похмурський, М. Студент, В. Гвоздецький, Т. Ступницький, О. Мажейка, С. Маркович

Влияние состава шихты порошковых проволок на механические свойства электродуговых покрытий

В статье исследовано зависимость механических характеристик электродуговых покрытий от сомоорганизационных процессов, которые происходят при их формировании под воздействием элементного состава шихты порошковых проволок.

V. Pokhmurskiy, M. Student, V. Gvozdeckiy, T. Stupnickiy, O. Mazheyka, S. Markovich

Influence of composition of charge powder-like wires on mechanical properties of elektrometal coverages

The results of research of dependence of mechanical properties of elektrometal coverage are resulted from processes which take a place at their forming under act of element composition of powder-like wires.

Одержано 30.07.12