

М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук,
С.І. Маркович, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу вмісту легуючих елементів в шихті порошкового дроту на придатність до обробки електродугових покриттів

В статті приведено результати дослідження впливу легуючих елементів в шихті порошкового дроту на вміст кисню в електродуговому покритті та його придатність до обробки лезовим інструментом. **електродугове напилення, порошкові дроти, фазовий склад, придатність до обробки**

Стан проблеми та постановка задачі. Електродугові покриття (ЕДП) характеризуються високою твердістю, пористістю, схильністю до тріщиноутворення, наявністю включень карбідів та боридів, що створює значні труднощі при механічній обробці лезовим інструментом [1,2]. Особливо актуальна ця проблема при відновленні внутрішніх поверхонь корпусних деталей сільськогосподарських машин. На відміну від суцільних матеріалів де оброблюваність лезовим інструментом залежить від твердості матеріалу, оброблюваність напилених покриттів залежить також і від вмісту оксидної фази у покриттях [3,4]. Так як процес електродугового напилення проходить у повітряній атмосфері, то краплини, які утворюються при диспергуванні стиснутим повітрям, піддаються значному окисленню (рис. 1)

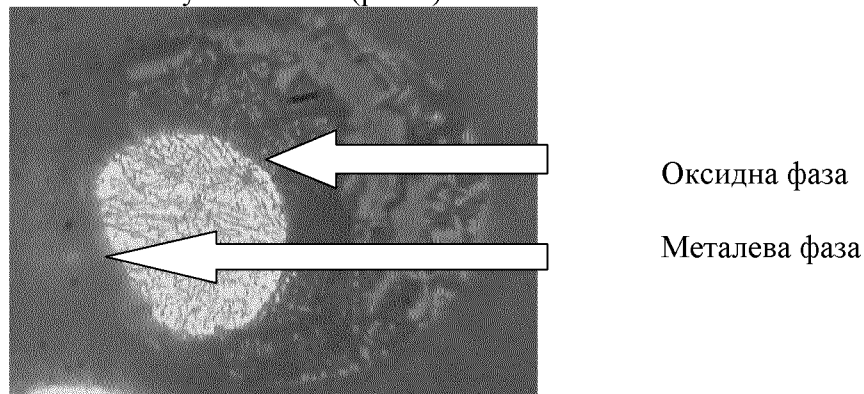


Рисунок 1 - Вигляд краплини вловленої у снігову мішень при електродуговому розпиленні дроту 08Св.

В роботах [3] відзначено що в залежності від режимів нанесення ЕДП вміст оксидної фази в ньому коливається від 30 до 60% [3]. ЕДП із збільшеним вмістом оксидної фази не піддаються лезовій механічній обробці. При цьому не достатньо вивчено вплив легуючих елементів в шихті порошкових дротів (ПД) на кількість кисню в покритті та його придатність до обробки

Мета дослідження: визначити залежність між кількістю оксидної фази в ЕДП і їх придатністю до механічної обробки від наявності легуючих елементів в шихті ПД.

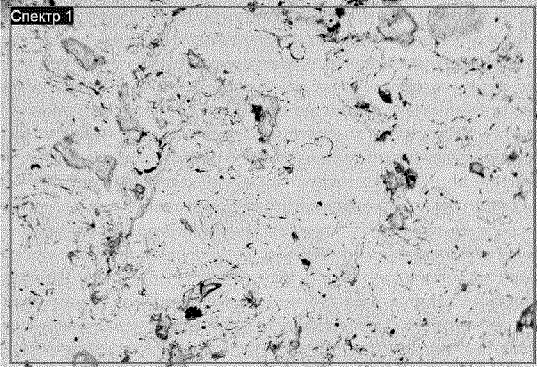
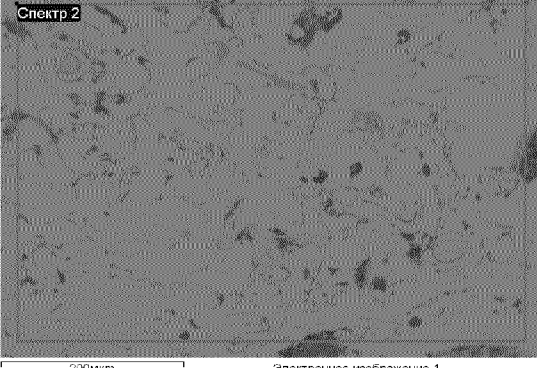
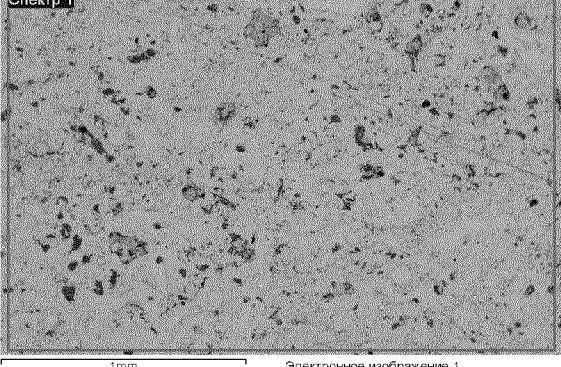
Дослідження виконувались в рамках держбюджетної НДР «Розробка технологічних методів зміцнення та відновлення внутрішніх поверхонь корпусних деталей з дослідженням трибологічних характеристик поверхонь тертя»

Методика дослідження. Дослідження проводили методами оптичної та електронної мікроскопії. Придатність до обробки ЕДП визначали по зносу різців за ваговою методикою.

Результати дослідження. Встановлено, що рівень окиснення ЕДП залежить від вмісту в шихті ПД легуючих елементів - хрому, алюмінію та вуглецю. Результати дослідження відображено в табл. 1 та табл. 2

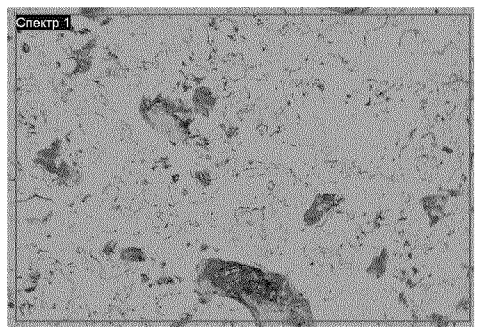
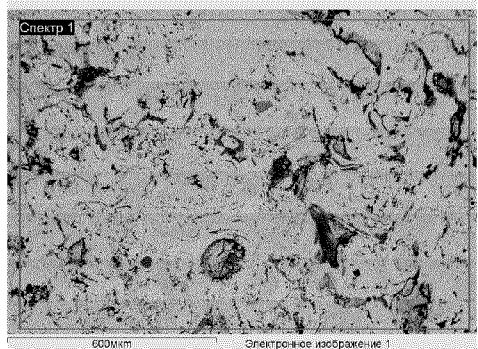
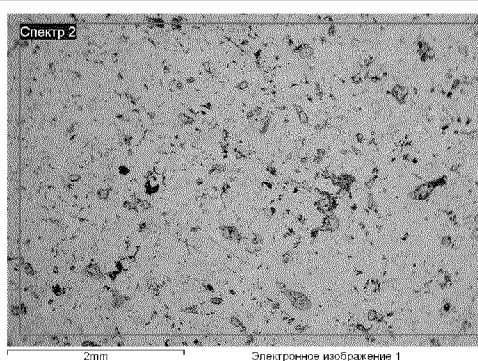
Таблиця 1- Вплив вмісту хрому у покритті на вміст кисню у покритті

Кількість хрому % мас. у покритті з вмістом вуглецю 0,9% мас.	0	6	9	15
Кількість кисню % мас. у покритті	5.0	4,2	4.2	3.0

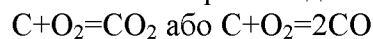
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О К</td> <td>4.18</td> <td>13.15</td> </tr> <tr> <td>Cr К</td> <td>5.83</td> <td>5.64</td> </tr> <tr> <td>Mn К</td> <td>3.94</td> <td>3.61</td> </tr> <tr> <td>Fe К</td> <td>86.05</td> <td>77.60</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О К	4.18	13.15	Cr К	5.83	5.64	Mn К	3.94	3.61	Fe К	86.05	77.60	Всього	100.00	
Елемент	Ваговий %	Атомний %																	
О К	4.18	13.15																	
Cr К	5.83	5.64																	
Mn К	3.94	3.61																	
Fe К	86.05	77.60																	
Всього	100.00																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О К</td> <td>2.29</td> <td>7.23</td> </tr> <tr> <td>Al К</td> <td>0.93</td> <td>1.76</td> </tr> <tr> <td>Cr L</td> <td>9.13</td> <td>8.86</td> </tr> <tr> <td>Fe L</td> <td>87.65</td> <td>83.14</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О К	2.29	7.23	Al К	0.93	1.76	Cr L	9.13	8.86	Fe L	87.65	83.14	Всього	100.00	
Елемент	Ваговий %	Атомний %																	
О К	2.29	7.23																	
Al К	0.93	1.76																	
Cr L	9.13	8.86																	
Fe L	87.65	83.14																	
Всього	100.00																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О К</td> <td>3.34</td> <td>10.57</td> </tr> <tr> <td>Al К</td> <td>0.94</td> <td>1.76</td> </tr> <tr> <td>Cr L</td> <td>15.11</td> <td>14.69</td> </tr> <tr> <td>Fe L</td> <td>80.61</td> <td>72.98</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О К	3.34	10.57	Al К	0.94	1.76	Cr L	15.11	14.69	Fe L	80.61	72.98	Всього	100.00	
Елемент	Ваговий %	Атомний %																	
О К	3.34	10.57																	
Al К	0.94	1.76																	
Cr L	15.11	14.69																	
Fe L	80.61	72.98																	
Всього	100.00																		

Таблиця 2 - Вплив вмісту алюмінію у покритті на вміст кисню у покритті

Кількість алюмінію у покритті з вмістом вуглецю у покритті 0,9 % мас. та хрому 6 % мас.	0	5	6.5	11
Кількість кисню % мас. у покритті	4.2	3	2.1	2.7

	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О K</td> <td>3.04</td> <td>9.28</td> </tr> <tr> <td>Al K</td> <td>5.05</td> <td>9.14</td> </tr> <tr> <td>Cr K</td> <td>6.20</td> <td>5.83</td> </tr> <tr> <td>Fe K</td> <td>85.72</td> <td>83.15</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О K	3.04	9.28	Al K	5.05	9.14	Cr K	6.20	5.83	Fe K	85.72	83.15	Всього	100.00				
Елемент	Ваговий %	Атомний %																				
О K	3.04	9.28																				
Al K	5.05	9.14																				
Cr K	6.20	5.83																				
Fe K	85.72	83.15																				
Всього	100.00																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О K</td> <td>2.08</td> <td>6.43</td> </tr> <tr> <td>Al K</td> <td>6.42</td> <td>11.76</td> </tr> <tr> <td>Si K</td> <td>0.54</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>Cr K</td> <td>5.93</td> <td>5.64</td> </tr> <tr> <td>Fe K</td> <td>85.02</td> <td>75.22</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О K	2.08	6.43	Al K	6.42	11.76	Si K	0.54	0.96	Cr K	5.93	5.64	Fe K	85.02	75.22	Всього	100.00	
Елемент	Ваговий %	Атомний %																				
О K	2.08	6.43																				
Al K	6.42	11.76																				
Si K	0.54	0.96																				
Cr K	5.93	5.64																				
Fe K	85.02	75.22																				
Всього	100.00																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Елемент</th> <th>Ваговий %</th> <th>Атомний %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>О K</td> <td>2.70</td> <td>6.98</td> </tr> <tr> <td>Al K</td> <td>11.66</td> <td>17.87</td> </tr> <tr> <td>Si K</td> <td>0.67</td> <td>0.98</td> </tr> <tr> <td>Cr K</td> <td>4.94</td> <td>3.92</td> </tr> <tr> <td>Fe K</td> <td>80.03</td> <td>70.25</td> </tr> <tr> <td>Всього</td> <td>100.00</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Елемент	Ваговий %	Атомний %	О K	2.70	6.98	Al K	11.66	17.87	Si K	0.67	0.98	Cr K	4.94	3.92	Fe K	80.03	70.25	Всього	100.00	
Елемент	Ваговий %	Атомний %																				
О K	2.70	6.98																				
Al K	11.66	17.87																				
Si K	0.67	0.98																				
Cr K	4.94	3.92																				
Fe K	80.03	70.25																				
Всього	100.00																					

При польоті краплини від дуги до напилюваної деталі вуглець, який знаходиться в краплині, горить та утворює з киснем повітря оксиди за реакцією



Вуглекислий газ утворює навколо краплини захисну атмосферу, яка захищає розплавлену краплину від окиснення. В свою чергу, чадний газ CO може відновлювати оксиди заліза до чистого заліза. Однак, при цьому інтенсивно вигоряє вуглець із покриття і його вміст залежить від тиску диспергуючого струменю повітря. Із збільшенням тиску повітря інтенсивність вигорання вуглецю із краплин посилюється. Так, якщо у складі порошкового дроту знаходиться вуглець то в покритті його вміст суттєво зменшується та залежить від тиску повітряного струменю. Збільшення вмісту вуглецю в порошковому дроті від 0,08% мас. до 2% мас. зменшує вміст оксидної фази від 10 % мас до 5% мас. Як показує фазовий аналіз, у напилених покриттях з

порошкових дротів переважно утворюються оксиди заліза Fe_2O_3 (вюститу) легованого легувальними елементами, що знаходяться у шихті порошкового дроту. Тому вміст кисню у покритті, який визначається спектральним аналізом, визначає і вміст оксидів у покритті. Твердість оксидів заліза є достатньо високою 700-800 HV, а легованих хромом та алюмінієм ще вище. Наявність твердих оксидів заліза значно зменшує стійкість лезового інструменту при точінні деталей з ЕДП. Так наявність 10% оксидів у покритті зменшує стійкість лезового інструменту на порядок (рис.2). Додаток хрому до 15% мас. у склад порошкового дроту додатково зменшує вміст кисню у напиленому покритті табл. 1 з 5% мас. до 3% мас.

Однак, збільшення вмісту вуглецю у покритті підвищує його твердість. Так, збільшення вмісту вуглецю від 0,08 % мас. до 1,3 % мас. підвищує твердість покриття із 150 HV до HV 800. Покриття із підвищеним вмістом вуглецю також важко обробляються лезовим інструментом.

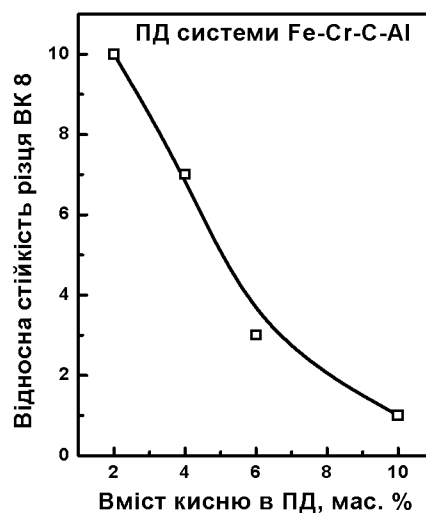
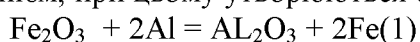


Рисунок 2 - Вплив вмісту кисню у покритті на стійкість лезового інструменту при точінні покриттів

Додаток алюмінію у шихту порошкового дроту також зменшує вміст кисню а значить і кількість оксидної фази за рахунок підвищення жаростійкості розплавлених краплин. Так, додаток алюмінію до 6,5 % мас. зменшує вміст кисню у покритті від 4,2% мас. до 2,1% мас. Дальше збільшення вмісту алюмінію у склад порошкового дроту вже не зменшує вмісту кисню у покритті. Додаток алюмінію у шихту порошкового дроту не тільки зменшує вміст кисню у покритті, а також міняє фазовий склад оксидної фази. При наявності алюмінію у шихті ПД у покритті появляються також оксиди алюмінію. Їхня поява у покритті зумовлена наявністю у шихті порошкового дроту внутрішнього повітря а отже і кисню, що знаходиться у порожнинах між частинками шихти. При напиленні покриттів із порошкового дроту внутрішній кисень інтенсивно вступає в реакцією з тими шихтовими матеріалами в яких є мало легувальних елементів або із внутрішньою поверхнею сталльної трубки порошкового дроту та утворює оксиди заліза здебільшого вюститу. При наявності у шихті порошкового дроту алюмінію вже при температурі вище 7000°C проходить алюмотермічна реакція відновлення оксиду заліза алюмінієм, при цьому утворюються оксид алюмінію (1).



При збільшенні вмісту алюмінію у шихті порошкового дроту, зменшенні розмірів шихтових матеріалів та збільшенні степені обтиску при формуванні порошкового дроту (протягуванні через філери) вміст внутрішнього кисню у шихті

порошкового дроту зменшується, і, як наслідок, зменшується вміст оксидів алюмінію у покритті.

При напиленні покриттів з порошкових дротів, які мають підвищений вміст вуглецю, одержуються покриття з матричною фазою мартенситу з високою твердістю, що затрудняє або унеможливує лезову обробку покриттів. Додаток алюмінію у склад шихти порошкового дроту (як елемент що стабілізує ферит) зменшує вміст мартенситу та збільшує вміст легованого алюмінієм фериту твердість якого не перевищує 300 HV (рис. 3). Таким чином, додаток алюмінію у шихту порошкового дроту не тільки зменшує вміст оксидної фази у покритті, а також зменшує кількість мартенситу та збільшує вміст фериту у покритті. Таким чином, змінюючи вміст алюмінію у шихті порошкового дроту можна ефективно регулювати твердість покриттів та вміст оксидної фази у покритті. Як наслідок, при збільшенні вмісту алюмінію у складі покриттів покращуються умови для проведення лезової обробки покриттів, при цьому зростає стійкість лезового інструменту із твердого сплаву ВК8 до п'яти раз (рис. 4).

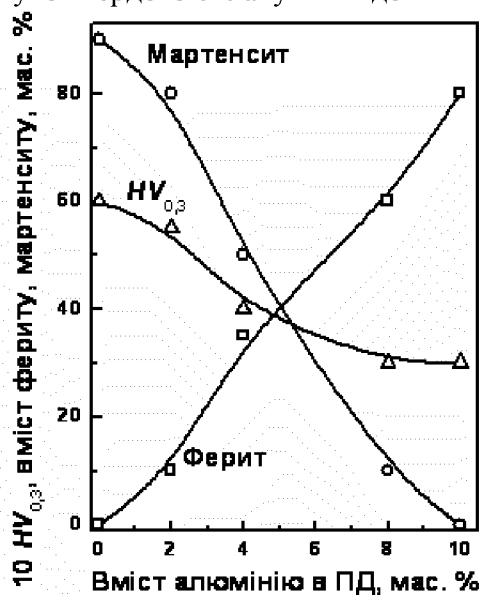


Рисунок 3 - Вплив вмісту алюмінію у порошковому дроті на фазовий склад та твердість покриттів із порошкового дроту із вмістом вуглецю 0.8% мас. та хрому 6 % мас.

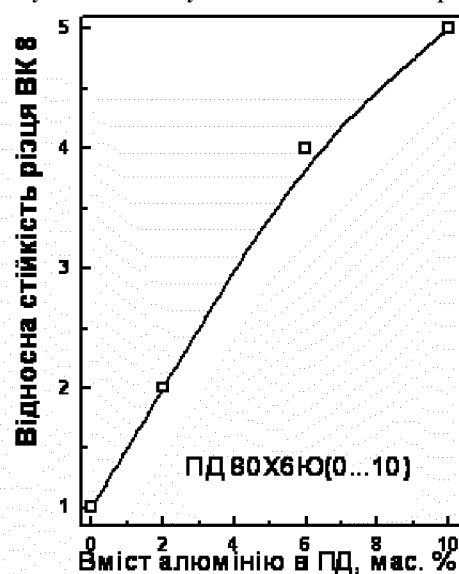


Рисунок 4 - Вплив алюмінію на відносну стійкість різця із твердого сплаву ВК8 при точінні на токарному верстаті покриттів із порошкового дроту 0.8% мас. та хрому 6 % мас.

Для визначення фазового складу ЕДП застосовували методику визначення складу зварювального шва згідно діаграми Шефлера (рис.5).

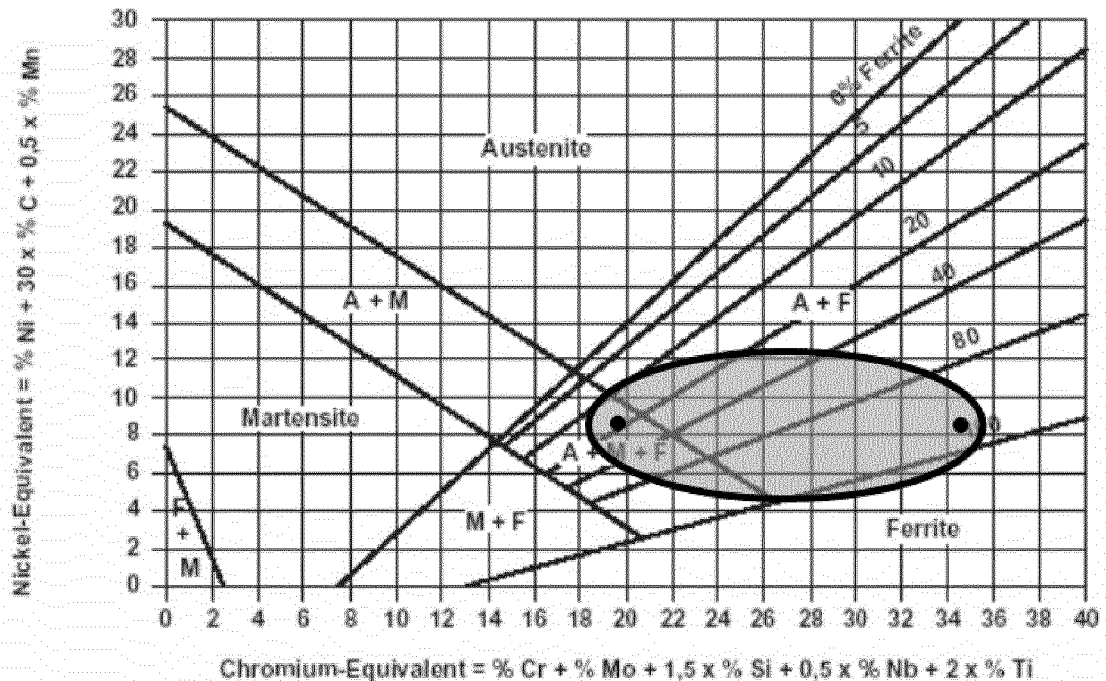


Рисунок 5 - Визначення фазового складу ЕДП в залежності від вмісту шихти ПД по діаграмі Шефлера

Один з найпоширеніших у вітчизняній інженерній практиці варіант розрахунку еквівалентів хрому та нікелю має вигляд:

$$Ni_{екв} = Ni + 30C + 30N + 0,5Mn + 10B,$$

$$Cr_{екв} = Cr + 2Mo + 1,5Si + 5Ti + 2Nb + 2Al + 1,5W + V.$$

Для визначення фазового складу металу шва необхідно за відомим хімічним складом розрахувати $Cr_{екв}$ та $Ni_{екв}$ і з відповідних точок на ординатних осях провести перпендикулярні прямі. Точка перетину перпендикулярів вкаже на фазовий склад ЕДП.

ЕДП має мартенситну матричну структуру з невеликою кількістю залишкового аустеніту та 20% фериту згідно діаграми Шефлера. Так як вуглецю в порошковому дроті є 0,4%, а при напиленні він інтенсивно вигоряє, то в покритті залишається не більше 0,3% - 0,25%. Тобто мартенсит мало вуглецевий, твердість якого на перевищує 350 МПа. Покриття з ПД, який містить велику кількість алюмінію, мають практично чисто феритну матричну структуру, так як алюміній є елементом який стабілізує ферит. Ферит який легований хромом та алюмінієм має підвищену твердість, однак вона не перевищує величини 300-350 МПа. Тобто в області обмеженій еліпсом на структурній діаграмі Шефлера всі покриття будуть мати інтегральну твердість не вище 350 МПа і будуть легко оброблятися лезовим інструментом.

Висновки.

1. Встановлено що вміст вуглецю в ПД від 0,08% мас. до 2% мас. зменшує вміст оксидної фази в ЕДП від 10 % мас. до 5% мас., додаток хрому до 15% мас. зменшує вміст кисню з 5% мас. до 3% мас., додаток алюмінію до 6,5 % мас. зменшує вміст кисню у покритті від 4,2% мас. до 2,1% мас.

2. Наявність 10% оксидів у покритті зменшує стійкість лезового інструменту на порядок. Додаток алюмінію зменшує кількість мартенситу та збільшує вміст фериту у покритті, і, таким чином, ефективно регулює твердість ЕДП та вміст оксидної фази, підвищуючи стійкість лезового інструменту із твердого сплаву ВК8 до п'яти разів.

3. Застосування діаграми Шефлера дозволяє ефективно спрогнозувати придатність до обробки ЕДП.

Список літератури

1. Хасуи А. Наплавка и напыление/ А.Хасуи , О. Моригаки - М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
2. Кречмер З. Напыление металлов, керамики и пластмасс/З.Кречмер.-М.: Машиностроение.1966. - 432 с.
3. Похмурський В.І. Електродугові відновні та захисні покриття /В.І. Похмурський , М.М. Студент , В.М. Довгунік, Г.В. Похмурська, І.Й. Сидорак. – Львів: Фізико-механічний інститут ім Г.В.Карпенка НАН України. – 2005. – 190 с.
4. Мажейка О.Й. Розробка та виготовлення порошкових дротів для нанесення внутрішніх електродугових покриттів, придатних до обробки лезовим інструментом / О.Й.Мажейка, С.І.Маркович, Ю.В.Рябоволик // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ - Вип. 20 - Кіровоград: КНТУ, 2008. – С.262-266.

М. Черновол, А. Мажейка, С. Маркович

Исследование влияния содержания легирующих элементов в шихте порошковой проволоки на пригодность к обработке электродуговых покрытий

В статье приведены методика и результаты исследования влияния С, Cr и Al в шихте порошковой проволоки на фазовый состав и пригодность к механической обработке лезвийным инструментом электродуговых покрытий. Дана методика определения пригодности к обработке по составу проволоки согласно диаграммы Шефлера.

M. Chernovol, O. Mazheyka, S. Markovich

Research of influence of maintenance of alloying elements in the charge of powder-like wire on a fitness to treatment of coverages

In the article a method and results of research of influence is resulted C, Cr and Al in the charge of powder-like wire on composition and fitness to tooling of coverages. The method of determination of fitness is given to treatment on composition of powder-like wire.

Одержано 18.10.11