

УДК 621.793

В.М.Коржик, Ю.В.Рябоволик, В.Ю. Шевченко, О.І.Демянов
Інститут електровзарювання ім. Є.О. Патона НАН України**ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ
ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ**

В статті проведено дослідження по обґрунтуванню вибору найбільш оптимального покриття для відновлення деталей пластинчато-роторних вакуумних насосів тваринницьких ферм.

Ключові слова: відновлення, електродугове напилення, порошкові дроти, покриття, вакуумні насоси, триботехнічні властивості.

Постановка проблеми. Важливим резервом підвищення ресурсу роботи деталей сільськогосподарських машин та обладнання, економії матеріальних, паливно-енергетичних і трудових ресурсів являється якісне відновлення зношених деталей.

Одним з основних напрямків підвищення якості відновлення деталей вакуумних насосів тваринницьких ферм являється їх модернізація, тобто покращення геометрії спряжених поверхонь, підвищення твердості і зносостійкості, що дозволить досягти не тільки вихідного ресурсу деталей, але й перевищити його. Це можливо завдяки використанню нових прогресивних технологій ремонту.

Особливе значення при створенні нових технологій і ремонтно-технологічного обладнання повинно приділятися процесам нанесення покриттів, що пояснюється їх визначальним значенням для відновлення [1].

Останнім часом найбільш швидких темпів при відновленні деталей набирають газо термічні методи нанесення покриттів. Встановлено [1,2,3], що для відновлення зношених поверхонь деталей сільськогосподарської техніки найбільш економічним і технологічним являється метод електродугового напилення.

Аналіз літератури [4,5,6] показав, що одним з найбільш перспективних напрямків підвищення якості електродугових покриттів є використання порошкових дротів (ПД).

Використання покриттів з ПД забезпечує різке підвищення зносостійкості відновленої поверхні зношеної деталі, що приводить до значного збільшення її після ремонтного ресурсу [7,8].

При цьому до покриттів ставлять вимоги щодо забезпечення в них низкого рівня пористості, залишкових напружень, тріщиноутворення, оксидної фази, високої твердості і зносостійкості та придатності до механічної обробки лезовим інструментом.

Однак необхідно відмітити, що на даний час недостатньо вивчені триботехнічні властивості одержуваних покриттів при застосуванні їх в конкретних вузлах тертя, зокрема у трибоспряженнях пластинчато-роторних вакуумних насосів сільськогосподарських машин та обладнання. Деталі якого працюють в складних експлуатаційних умовах під впливом абразивного зношування, фретингу та при наявності граничного шару мастила. Тому це питання на сьогодні залишається актуальним.

Мета роботи – вибір найбільш оптимального покриття для відновлення деталей вакуумних насосів тваринницьких ферм, завдяки дослідженню триботехнічних властивостей покриттів.

Методика досліджень.

Виготовлення зразків для досліджень проводили шляхом нанесення покриттів електродуговим металізатором ЕМ-14М на зразки зі сталі 45 при розпиленні ПД діаметром 1,8 мм.

В якості матеріалів для нанесення покриттів, використовували ПД [9] шихта якого містить порошки ферохрому ФХ-800, феромолібдену ФМо-60, феромарганцю ФМн-05, ферокремнію ФС-65, алюмінію ПА-40, заліза Ф. ПД [10] шихта якого містить порошки ферохрому ФХ-800, та алюмінію ПА-40. Та ПД шихта якого містить порошки ферохромбору ФХБ-2 та алюмінію ПА-40.

За оболонку для дроту використали стрічку шириною 12 мм і товщиною 0,4 мм зі сталі 08 кп. Коефіцієнт заповнення дроту становить 22 – 25 %. Режимы нанесення покриттів: 32-40 В, струм дуги 150-180 А. Розпилювальний газ – повітря, тиск повітряного струменю 0,6 МПа. Відстань напилення – 100 мм.

Структуру і хімічний склад покриттів та аналіз поверхонь тертя зразків після випробувань досліджували на електронному мікроскопі EVO-40 XVP (Carl Zeiss) з системою мікроаналізу EVO-4XVP. Фазовий склад покриття у вихідному стані та його зміну вивчали на дифрактометрі ДРОН-3 з комп'ютерним записом дифрактограм (випромінювання $\text{CuK}\alpha$, $U = 32 \text{ kV}$, $I = 15 \text{ mA}$). Крок сканування $0,05^\circ$.

Трибологічні дослідження проводили на установці СМЦ-2 за схемою диск-колодка при граничному терті. Контактне навантаження 3-24 МПа, швидкість ковзання $0,67 \text{ м/с}$. В якості змащувального матеріалу застосовувалось автомобільне дизельне масло М10Г2К ГОСТ 8584-78 в яке добавлявся дрібнозернистий електрокорунд нормальний марки 15А ГОСТ 715-84 в кількості 0,5 % від загальної маси. Подача масла здійснювалась крапельним методом з інтервалом падіння краплі 3-5 сек, що дозволило забезпечити граничний режим тертя. Матеріал колодки – текстоліт. Покриття наносили на зразки в вигляді диску (матеріал - сталь 45, HRC 28-30) діаметром 40 мм та шириною 10 мм і шліфували до робочої товщини 1 мм. Еталон зносостійкості – сталь ШХ-15 твердість HRC-62. час випробувань – 10 хв.

Дослідження покриттів на фретингостійкість проводили на установці МФК-1 (ГОСТ 23.211-80) де використовувалась схема контакту трибопар площина-площина. Дослідження виконувались з постійним навантаженням 30 МПа й амплітудою переміщень зразків 175 мкм. Частота коливань становила 30 Гц. База випробувань - $5 \cdot 10^5$ циклів. Температура зразків становила 20° C . випробування здійснювали з вибраними покриттями та чавуном. Контр тіло для випробувань виготовляли із сталі ШХ-15. Вимірювання зносу зразка покриття проводилися за допомогою профілографа-профілометра Калібр-201 моделі 253 по ГОСТ 19300-86 до 50 мкм і оптиметром вертикального тип ІКВ понад 50 мкм, шляхом зняття профілограм з 8 рівносторонніх ділянок робочої поверхні зразка в радіальному напрямі.

Результати дослідження та їх обговорення.

Електродугові покриття нанесені на зразки для випробувань шліфували до необхідного розміру. Шорсткість поверхні шліфованого покриття з ПД значно більша за шорсткість шліфованої сталі ШХ-15 (рис.1а, б), що відповідно може збільшувати знос контртіла при випробуваннях.

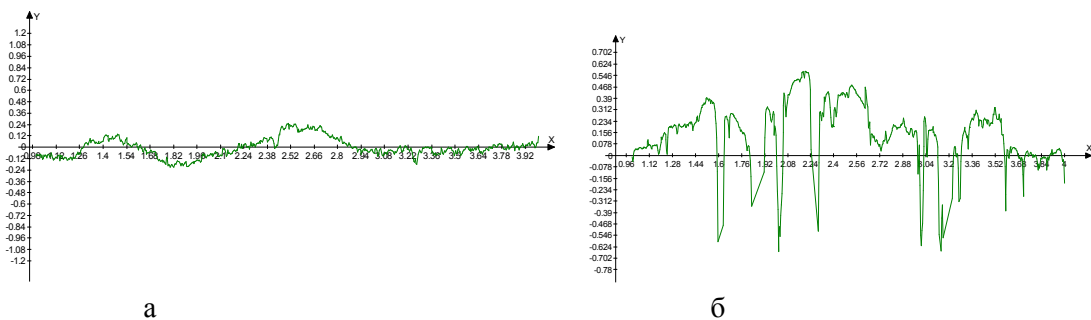


Рис. 1. Шорсткість поверхні зразків зі сталі ШХ-15 (HRC 60-62) (а) та покриття з ПД на основі ферохромбору ФХБ-2 (б) після шліфування та полірування

Це пов'язано з тим, що нанесене покриття за своєю природою є композитом. Структура покриття з ПД має типову ламелярну будову. Краплини, з яких формується покриття при напilenні на металеву поверхню, розділені між собою тонкими оксидними плівками (рис.2). Крім того у покритті увиляді окремих компактних зерен формуються великі оксидні включення (діаметром до 100 мкм) та які слабо пов'язані з суміжними ламелями.

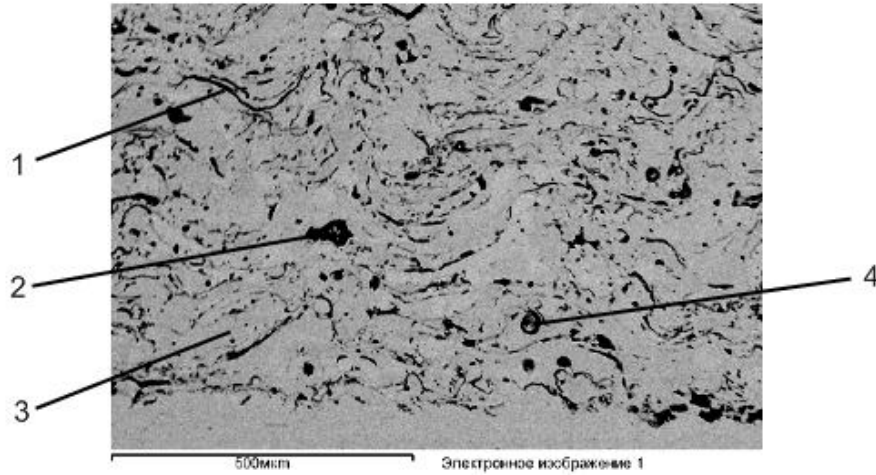


Рис. 2. Структура покриття з ПД: 1 – оксидні плівки; 2 – оксидні включення; 3 – ламелі з яких формується покриття; 4 – пори

Мікроспектральний аналіз досліджуваних типів покриттів показав, що за хімічним складом мікроставупи на поверхні покриття можуть утворюватись оксидом алюмінію з невеликими домішками кремнію, хрому, марганцю або заліза. Крім включень з оксиду алюмінію трапляються великі включення оксиду заліза, легованого незначною кількістю алюмінію, молібдену, хрому та кремнію.

Проведений аналіз поверхонь покриттів в роботах [11,12] показав, що найменше мікроставупів містить покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C матрична фаза якого має структуру мартенситу. Що відповідно повинно здійснювати позитивний вплив на знос контртіла.

Суттєвий вплив на триботехнічні властивості покриттів також мають внутрішні напруження. Відомо [13], що після нанесення електродугових покриттів з ПД у них виникають значні напруження розтягу. Під час шліфування у покриттях виникають мікро тріщини, які потім виконують роль різців. При взаємодії поверхонь такі різці знімають стружку з контртіла, що призводить до його катастрофічного зношування. Дослідженнями [12] встановлено, що найбільші залишкові напруження розтягу (150 МПа) виникають у покриттях, матричною фазою у яких є аустеніт. Якщо у покритті матричною фазою є ферит, то напруження розтягу знижуються до 70 МПа. Найменші напруження розтягу виникають у покриттях, матричною фазою у яких є мартенсит (40 МПа). Наявність у покритті дисперсних включень зумовлює зростання напружень розтягу.

Дослідження зносостійкості покриттів в умовах граничного тертя. Так як при випробуваннях контртілом слугував текстоліт, то поверхня покриття зношувалась незначно і знос визначити було неможливо. Перевірку працездатності покриття за різних умов навантаження оцінювали за зміною коефіцієнта тертя (рис. 3, 4).

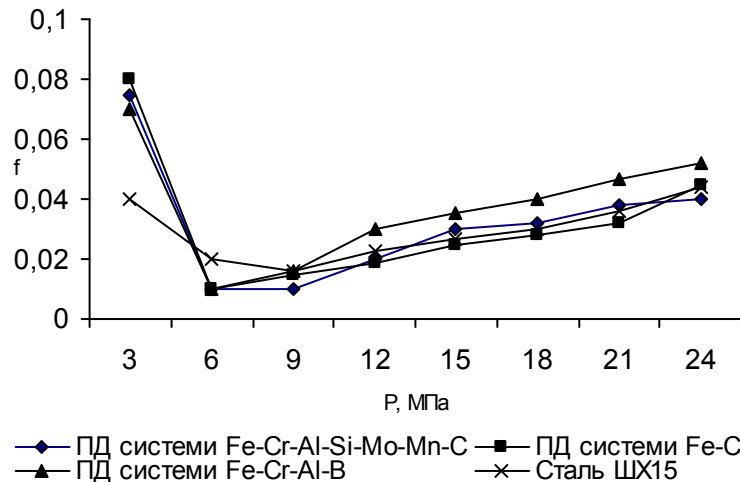


Рис.3. Залежність зміни коефіцієнта тертя трибоспряження покриття-текстоліт в мастилі М10Г2 ГОСТ 8581-78 від навантаження

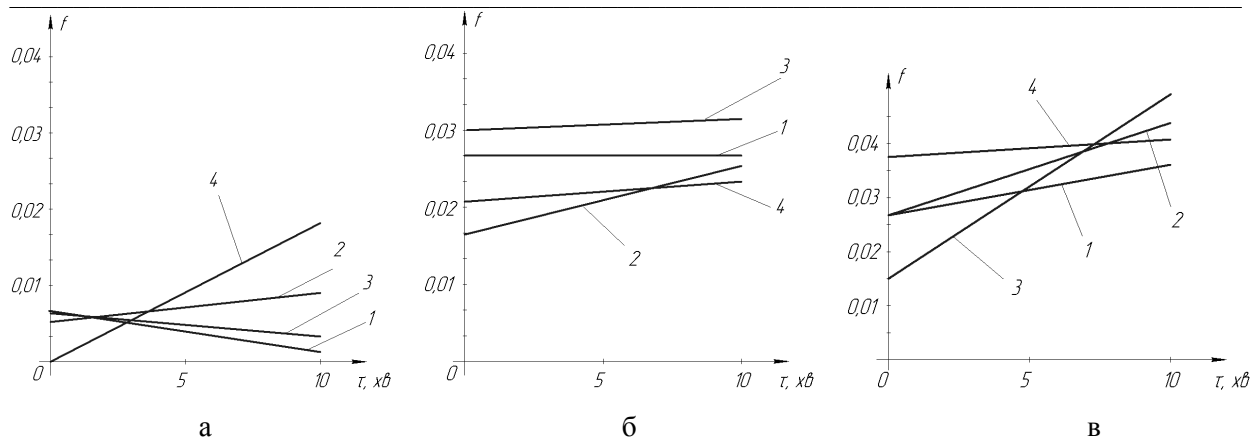


Рис. 4. Залежність зміни коефіцієнта тертя трибоспряження покриття-текстоліт від часу випробувань при: а – $P=6$ МПа; б – $P=15$ МПа; в – $P=24$ МПа; 1 – покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C; 2 - покриття системи Fe-Cr-Al-C; 3 - покриття системи Fe-Cr-Al-B; 4 – сталь ШХ-15.

При зростанні питомого навантаження від 3 до 6 МПа коефіцієнт тертя зменшується, а потім, при збільшенні питомого навантаження до 24 МПа монотонно зростає, як для покриттів так і для сталі (рис.3). Покриття із ПД системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C та системи Fe-Cr-Al-C мають менший коефіцієнт тертя (на рівні зі сталлю ШХ-15) ніж покриття із ПД системи Fe-Cr-Al-B. Очевидно це пов'язано із більшою шорсткістю покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-B, що виникає під час механічної обробки.

В залежності від часу випробувань покриттів при питомому навантаженні 6 МПа (рис.4а) коефіцієнт тертя трибоспряження текстоліт-покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C поступово зменшується на відміну від інших покриттів з ПД та сталі. При навантаженні 15 МПа (рис. 4б) коефіцієнт тертя трибоспряження текстоліт-покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C та сталі практично не змінювався на відміну від інших покриттів з ПД. А при навантаженні 24 МПа (рис. 4в) покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C показало найкращу працездатність.

В ході експериментів на зношування абразивом в мастилі, покриття та текстоліт поглинають мастило, тому знос текстоліту визначали по ширині лунки, яка виникає під час тертя (табл.1).

Таблиця 1

Визначення зносу лунки текстоліту при терті з покриттями та сталлю

Система ПД	Ширина лунки, мм
Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C	3,1
Fe-Cr-Al-C	3,6
Fe-Cr-Al-B	5,3
Сталь ШХ-15	3,1

Встановлено що найменше зношує текстоліт сталь та покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C, а найбільше покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-B. Очевидно що в даному випадку зносостійкість текстоліту корелює із шорсткістю покриття. Чим менша шорсткість покриття тим менше зношується контртіло із текстоліту.

Зносостійкість покриттів в умовах фретингу.

Найбільше значення зносу має покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-C (Рис.5). Це пояснюється тим, що під час контакту покриття з контртілом зі сталі ШХ-15 утворюється оксид алюмінію Al_2O_3 , який дуже активно й інтенсивно сприяє зносу цих поверхонь. У цьому випадку знос у 1,5 рази більший, ніж при взаємодії контртіла зі сталі з чавунним зразком, який є базовим, так як деталі насоса виготовляються з чавуну.

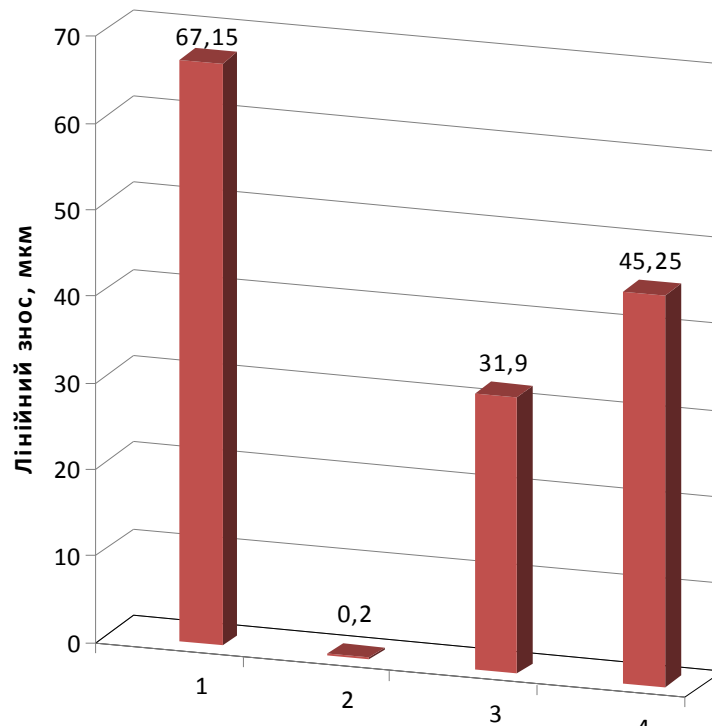


Рис. 5. Знос покриттів при дослідженні на фретинг-зношування: 1- покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-C; 2 - покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C; 3 - покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-B; 4 – чавун.

Найкращі зносостійкі характеристики має покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C. Його знос у 67 разів менший ніж знос покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-C, у 31 раз менший ніж знос покриття з ПД системи Fe-Cr-Al-B і 45 разів менший ніж знос чавуну. Це пояснюється тим, що покриття є достатньо гомогенним та має низьку пористість, на який рівень залишкових напружень. А також у результаті контакту сталі ШХ-15 з поверхнею покриття утворюється оксид заліза Fe_2O_3 , який менш активно і інтенсивно впливає на знос поверхонь і може слугувати, як тверде мастило.

Висновки

Покриття, матричною фазою яких є мартенсит мають найбільш кращі триботехнічні показники в парі тертя з текстолітом за умов граничного тертя при навантаженні від 3 до 24 МПа та фретингу. Значення коефіцієнта тертя для досліджуваних покриттів показують що покриття системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C має суттєво менший коефіцієнт тертя при всіх досліджених питомих навантаженнях. Низький коефіцієнт тертя викликаний насамперед високою гомогенністю покриття низьким рівнем залишкових напружень, пористості та відсутністю мікротріщин у покритті.

Це покриття за умов фретингу практично не зношується при навантаженні до 40 МПа та амплітуді до 175 мкм і у 67 і 31 разів відповідно перевищує зносостійкість інших покриттів з ПД та у 45 разів – чавун.

Тому для ефективного підвищення ресурсу деталей сільськогосподарських машин та обладнання більш прийнятно використання покриттів системи Fe-Cr-Al-Si-Mo-Mn-C матрична фаза яких має мартенситну структуру.

1. Черноиванов В. И. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин / Черноиванов В.И., Андреев В. П. – М.: Колос, 1983. – 288 с.
2. Черновол М. И. Повышение качества восстановления деталей машин/ Черновол М. И., Посдинок С.Е., Степанов Н.Е. – К.: Техника, 1989.- 168 с.
3. Рябоволик Ю.В. Розробка технології відновлення корпусів пластинчато-роторних насосів / Ю.В. Рябоволик // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40. – Част. II. – С. 101-106.

4. Хасуй А. Техніка наплення / Хасуй А. – М. : Машиностроение, 1975. – 288 с.
5. Троицкий А.Ф. Основы металлизации распылением / Троицкий А.Ф. – Ташкент : Госиздат УзССР. 1960. – 205 с.
6. Похмурский В.И. Основы формирования защитных и восстановительных покрытий электродуговым напылением / В.И. Похмурский, М.М. Студент, В.С. Пих // Физико-химическая механика материалов. – 1986. - № 6. – С.11-16.
7. Авдеев М.В. Технология ремонта машин и оборудования / Авдеев М.В., Воловик Е.Л., Ульман И.Е. – М.: Агропромиздат, 1986. – 247 с.
8. Клейман А.Ш. Восстановление деталей сельскохозяйственной техники электрометаллизационными покрытиями из порошковых проволок на основе ферросплавов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Эксплуатация, восстановление и ремонт сельскохозяйственной техники" – Кишинев, 1990. – 19 с.
9. Пат. 45820 Україна, МПК (2009) С23С 4/00. Порошковий дріт для одержання зносостійких электродугових покриттів, придатних до обробки лезовим інструментом / Похмурський В. І., Студент М.М., Маркович С. І., Мажейка О. Й., Рябоволик Ю. В.; заявник і патентоодержувач Кіровоградський національний технічний університет, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. - № u 200906443; заявл. 19.06.2009; опубл. 25.11.2009, Бюл. № 22. 2009р.
10. Пат. 42414 Україна, МПК (2009) В23К 35/24. Порошковий дріт для одержання відновних электродугових покриттів, придатних до обробки лезовим інструментом / Похмурський В. І., Студент М.М., Маркович С. І., Мажейка О. Й., Рябоволик Ю. В.; заявник і патентоодержувач Кіровоградський національний технічний університет, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. - № u 200813016; заявл. 10.11.2008; опубл. 10.07.2009, Бюл. № 13. 2009р.
11. Мажейка О. Й. Методологія формування і трибологічні характеристики электродугових покриттів для зміцнення внутрішніх поверхонь / О.Й. Мажейка, С.І. Маркович, Ю.В. Рябоволик, М.М. Студент // Проблеми тертя та зношування : наук. – техн. зб. – 2010. – Вип. 54 – С.154 – 162.
12. Студент М. Особливості топографії поверхні электродугових покриттів із порошкових дротів після шліфування та полірування / М. Студент // Вісник тернопільського державного технічного університету. – 2009. – Том 14. – № 3 – С. 72-80.
13. Похмурский В.И. Возникновение и перераспределение внутренних напряжений в электродуговых покрытиях во время формирования / В.И.Похмурский, М.М.Студент, И.А.Рябцев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. - № 10. – С. 15-20.