

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНИХ ДЕТОНАЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА

У статті розглянуті структура та властивості шаруватих аморфізованих покриттів, отриманих в умовах газотермічного напилення. Наведено порівняльний аналіз покриттів зі сплавів на основі заліза. Показано фактори, що впливають на утворення аморфної структури в детонаційних покриттях з металевих сплавів. Експериментально показано вплив структури покриттів на зносостійкість та витривалість відновлених деталей.

Ключові слова: шаруваті аморфізовані покриття, аморфна структура, детонаційні покриття

В статье рассмотрены структура и свойства слоистых аморфизированных покрытий, полученных в условиях газотермического напыления. Приведен сравнительный анализ покрытий из сплавов на основе железа. Показаны факторы, которые влияют на образование аморфной структуры в детонационных покрытиях из металлических сплавов. Экспериментально показано влияние структуры покрытий на износостойкость и выносливость восстановленных деталей.

Ключевые слова: слоистые аморфизированные покрытия, аморфная структура, детонационные покрытия

The structure and properties of the stratified amorphous coatings obtained in the conditions of thermal spraying are considered in the article. The comparative analysis of coatings from iron-based alloys is presented. The factors influencing the formation of amorphous structure in detonation coatings from metallic alloys are shown. The influence of structure of coatings upon the wear resistance and endurance of the recovered details is experimentally shown.

Keywords: stratified amorphous coatings, amorphous structure, detonation coatings

Відновлення деталей рухомого складу є необхідною складовою ремонтного виробництва залізниці. У той же час є необхідним не тільки відновлювати зношені деталі, а добиватися збільшення їх ресурсу по відношенню до нових. Одним із таких шляхів є відновлення деталей газотермічним напиленням, а саме детонаційним, шаруватим, аморфним покриттів.

Аморфний стан газотермічних покриттів із сплавів, що містять бор на основі заліза привертає до себе увагу завдяки високому рівню експлуатаційних характеристик. Висока міцність зчеплення, твердість, зносостійкість при низькій вартості дозволяють розглядати їх як перспективні матеріали для отримання зносостійких покриттів на зношених деталях рухомого складу [1, 2].

У даній роботі представлені результати дослідження структури та деяких властивостей детонаційних покриттів з $Fe_{61}B_{27}C_2$ і сплаву аналогічного складу з добавкою титану. Дані сплави схилі до аморфізації при надшвидкому охолодженні з розплавленого стану [1].

Для напилення застосовували порошок розміром 5...40, 50...63, 63...100 і 100...160 мкм. Покриття наносили на зразки із сталі 45 на автоматичному детонаційному комплексі «ПЕРУН-С» [3] із застосуванням ацетилен-кисневої і пропан-бутан-кисневої сумішей. Витрату напилюваного матеріалу на кожен пост-

ріл підтримували у всіх дослідах постійним (товщина за постріл складала 8...10 мкм). Напилення та дослідження покриттів проводили в інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.

Фазовий склад покриттів визначали рентгенографічним методом на установці ДРОН-1.5 у випромінюванні $Fe_{K\alpha,\beta}$ без фільтру. Аналіз металографії шліфів проводили на мікроскопі «Неофот-32» та «МІМ-8», мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,49 Н. Міцність зчеплення покриттів (товщиною 400...500 мкм) з основою визначали за методикою конусного штифта.

Триботехнічне випробування покриттів проводили в умовах граничного тертя з обмеженим мастилом [4] при швидкості ковзання 1 м/с і питомих навантаженнях 5,1 та 10,2 МПа. Матеріалом контртіла служила сталь 40Х.

Наведені в табл. 1 дані відбивають зміну характеристик покриттів залежно від складу детонаційної суміші.

З таблиці видно, що використання ацетилен-кисневої суміші, що має вищі енергетичні характеристики (температуру нагріву та швидкість їх руху [4]) забезпечують підвищення ступеня деформації напилюваного матеріалу, і відповідно, приводить до збільшення аморфної фази.

На рис. 1 для випадку напильня при стехіометричних співвідношеннях двох типів детонаційної суміші показано вплив розміру часток на

кількість аморфної фази, що утворилася.

Таблиця 1

Вплив складу детонаційної суміші на характеристики детонаційних покриттів із сплаву

Склад детонаційної суміші	Характеристика покриття	Зміст аморфної фази, %	Міцність зчеплення, МПа	Пористість, %	Мікротвердість, МПа
$C_3H_8 + 3,5O_2$		60	65	1,5	7500
$C_2H_2 + O_2 + N_2$		80	70	1,0	8200

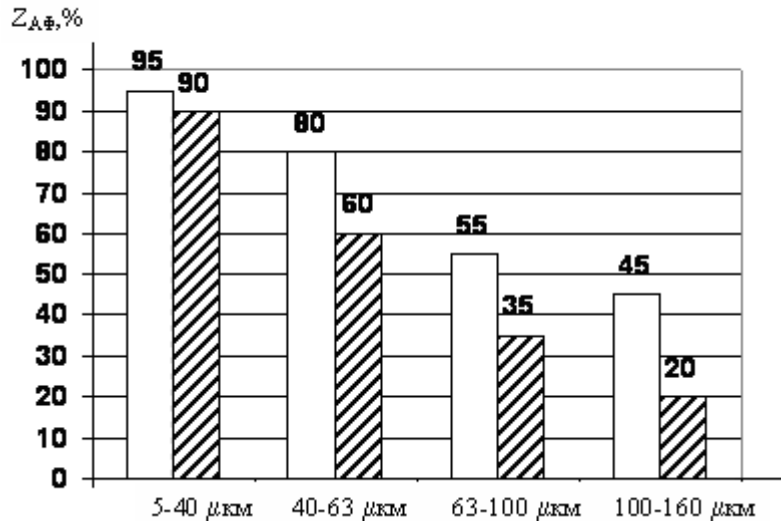


Рис. 1. Вплив розміру частинок порошку із сплаву FeBC на об'ємний зміст аморфної фази під час детонаційного напильня сумішами: □ – ацетилен-кисень; ▨ – пропан-бутан-кисень

Наведені на рис. 1 дані вказують, що з погляду аморфізації покриттів застосування пропан-бутан-кисневої детонаційної суміші ефективно для порошоків з розміром частинок до 40 мкм.

Разом з тим деякі з цих віддзеркалень співпадають з найбільш сильними лініями бороцементата Fe(B,C), що дозволяє припустити його присутність у порошок у дуже малих кількостях.

Напильні покриття з порошоків сплаву Fe₆₁B₃₇C₂ мають аморфно-кристалічну структуру: на рентгенограмі (рис. 2, б) видно два розмиті максимуми характерних для розплавів і аморфних сплавів [2], на фоні яких спостерігаються інтенсивні лінії кристалічних фаз, присутніх в початкових порошках.

Введення в сплав Fe₆₁B₃₇C₂ титану перешкоджає утворенню бориду заліза. На рентгенограмах порошку (рис. 3, а) сплаву Fe₆₇Ti₇B₂₄C₂ ідентифікація FeB, Fe₂B, Fe₃B

ускладнена, при цьому найбільшу інтенсивність мають лінії α-Fe.

На рентгенограмах напильного сплаву Fe₆₇Ti₇B₂₄C₂ (рис. 3, б) також присутні розмиті дифракційні максимуми, на фоні яких розміщені піки кристалічних фаз. На відміну від порошку ідентифікація фаз TiC, B₄C, Ti₂B₅ та графіту ускладнена. В порівнянні з покриттями із сплаву Fe₆₁B₃₇C₂ дифузні максимуми від аморфної фази в даному випадку мають велику інтенсивність. Це свідчить про збільшення об'ємного змісту аморфної фази у разі покриття із сплаву, що містить титан.

Аналіз мікроструктур початкових порошоків та порівняння їх рентгенограм з рентгенограмами напильних покриттів показують, що в результаті напильня в обох сплавах виявляються істотні структурні зміни. На рентгенограмах порошоків сплаву Fe₆₁B₃₇C₂ (рис. 2, а) найбільшу інтенсивність мають лінії монобориду заліза FeB. Рентгенографічні також реєструються лінії α-Fe. Дифракційні віддзеркалення, відповідні

напівбориду заліза Fe_2B , мають слабкішу інтенсивність, на рентгенограмах помітні тільки найбільш сильні його лінії. Слід зазначити, що ряд дифракційних віддзеркалень ідентифікувати складно з-за їх дуже слабкої інтенсивності.

На рис. 4 представлено структуру покриття із сплаву $Fe_{61}B_{37}C_2$. Чітко виявляється моноборид заліза FeB у вигляді сірих включень округ-

лої форми в матриці α - Fe . Мікротвердість FeB досягає 1650...1700 МПа. Між моноборидом заліза розміщені області фази Fe_2B і мілкодисперсні включення, якими, можливо, є Fe_3B та $Fe_3(B,C)$. Покриття мають шарувату будову, характерну для напилених структур.

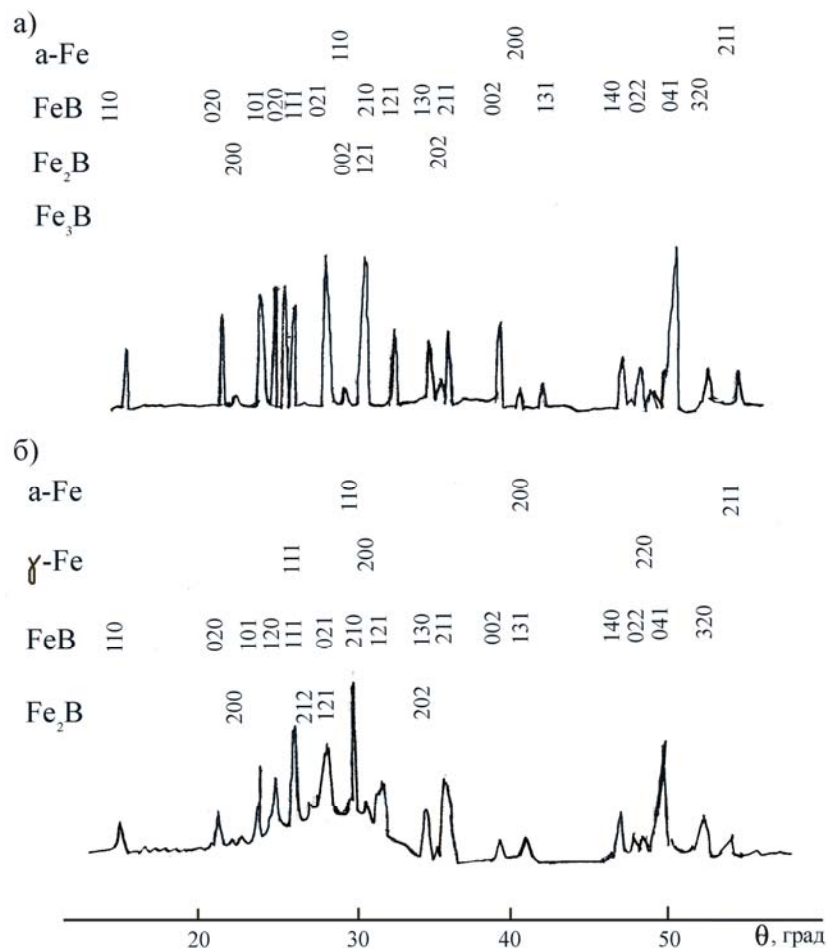


Рис. 2. Рентгенограми порошку (а) і покриття (б) із сплаву $Fe_{61}B_{37}C_2$

Шаруватість структури напиленого покриття із сплаву $Fe_{67}Ti_7B_{24}C_2$ (рис. 4, з) у порівнянні із структурою покриття із сплаву $Fe_{61}B_{37}C_2$ виражена чіткіше. При цьому вона відрізняється меншою пористістю. В межах шарів можна відрізнити дві складові: світла непротравлена матриця (аморфна фаза з включеннями α - Fe) має мікротвердість 11 000...14 000 МПа та виділення, що відносяться в основному до TiB_2 .

На підставі результатів триботехнічних випробувань встановлено, що аморфні детонаційні покриття з евтектичних сплавів на основі заліза нікелю за зносостійкістю в умовах граничного тертя і тертя без мастила істотно перевершують конструкційні та інструментальні

сталі після термічної та хіміко-термічної обробки, а не рідко не поступаються детонаційним покриттям з твердих сплавів типу ВК (WC-Co). Так, наприклад, при терті без мастила і з мастилом при поворотно-поступальному ході на машині торцевого тертя детонаційні покриття із сплавів системи Fe-B-C з переважно аморфною структурою мають в 1,7...2,8 разів менші значення лінійного зносу в порівнянні з цементованою сталлю 20X (рис. 5).

Під час дослідження детонаційних покриттів із евтектичного сплаву системи Fe-B-C, що містять близько 70 % аморфскладаючої, також встановлено [4], що їх зносостійкість близька до такої для сплаву ВК-15.

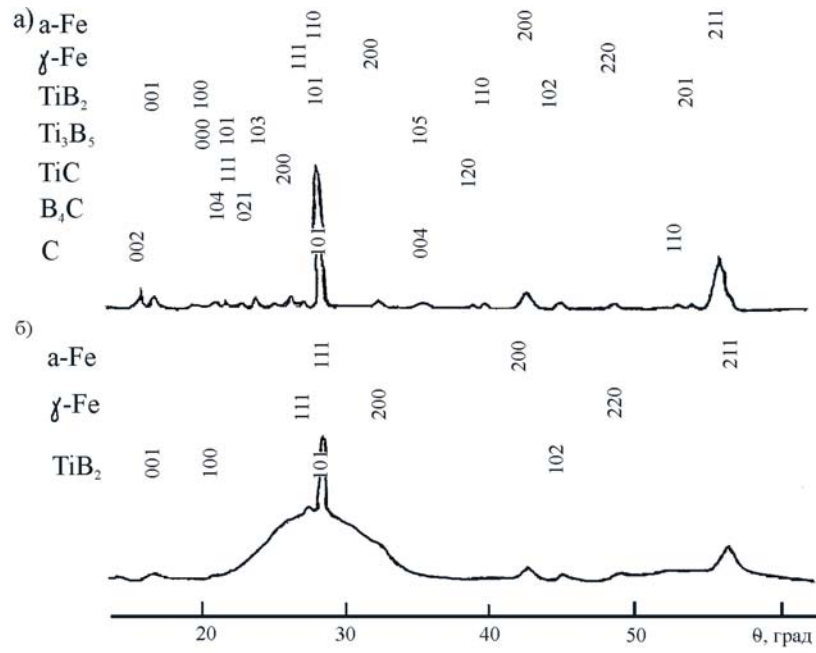


Рис. 3. Рентгенограми порошку (а) та покриття (б) із сплаву Fe₆₇Ti₇B₂₄C₂

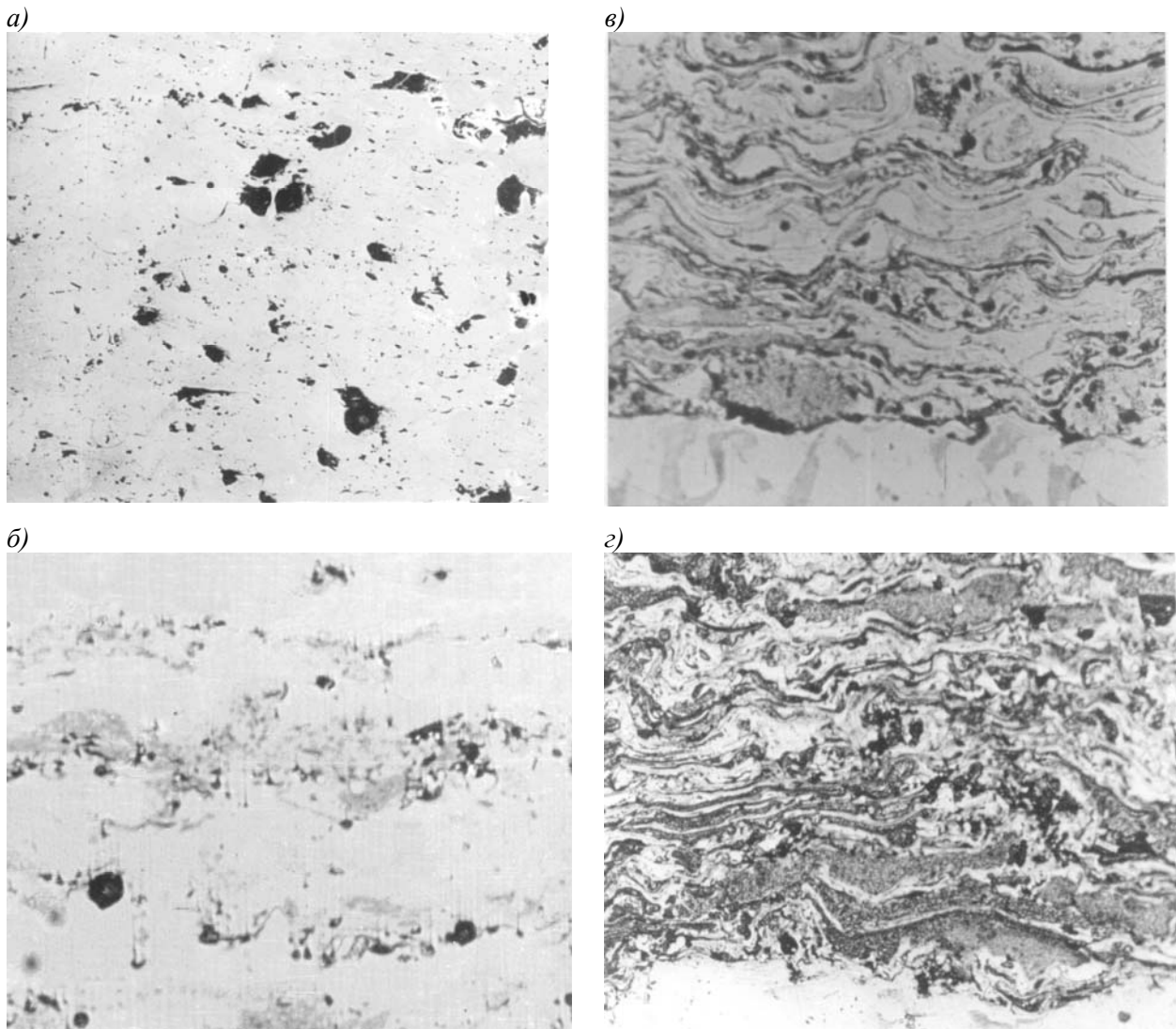


Рис. 4. Мікроструктура покриття із сплаву Fe₆₁B₃₇C₂ (а, в) та сплаву Fe₆₇Ti₇B₂₄C₂ (б, г)

Характерною особливістю аморфних детонаційних покриттів є той факт, що вони сприяють підвищенню межі витривалості основи в обмеженому та необмеженому діапазонах. Цей факт представляє інтерес у зв'язку з тим, що в більшості випадків газотермічні покриття призводять до зниження цієї характеристики. Випробування зразків конструкційних сталей з аморфними детонаційними покриттями із спла-

вів Fe-B-C та Fe-Ti-B-C, в умовах скручування на вигин, показали підвищення межі витривалості в порівнянні із сталлю без покриття в середньому на 25...45 % залежно від складу покриття та його товщини. Детонаційний метод порівняно з іншими методами газотермічного наплення забезпечує найбільш високий рівень межі витривалості (рис. 6) [2].

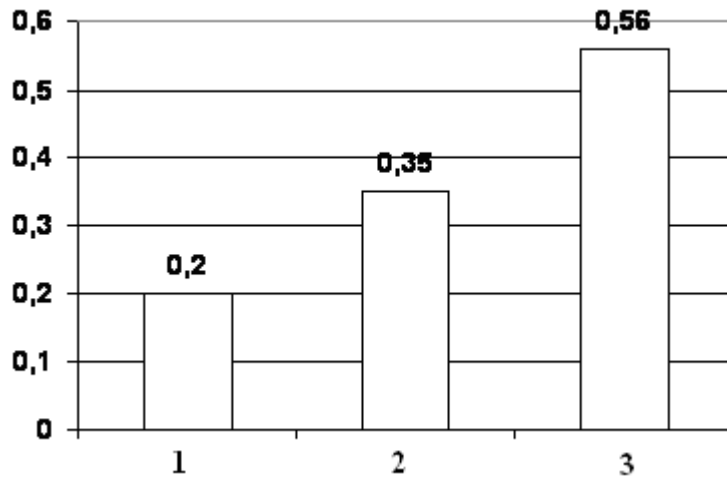


Рис. 5. Інтенсивність зношування аморфних покриттів із сплавів системи Fe-B-C (1-2) і цементованої сталі 20X (3) при терті з обмеженим мастилом (поворотно-поступальний хід, амплітуда 61 мм, швидкість ковзання – 0,023 м/с, питоме навантаження – 110 МПа, контргіло – цементована сталь 20X):
1 – Fe-B-C; 2 – Fe-Ti-B-C, 3 – сталь 20X

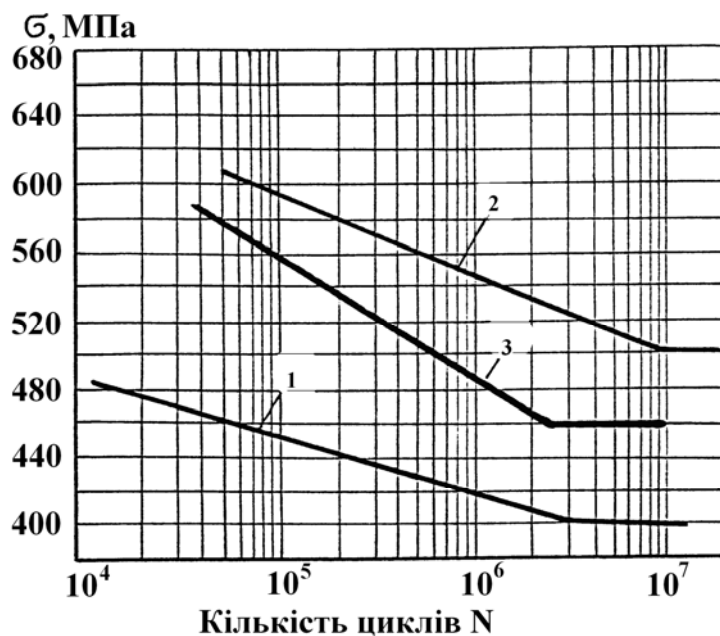


Рис. 6. Графіки Велера для сталі 45 (1) з аморфними детонаційними (2) та плазмовими (3) покриттями із сплаву Fe-B-C

Таким чином, в результаті дослідження зносостійкості аморфізованих покриттів встановлено, що найбільш переважним варіантом покриття з погляду забезпечення максимальної

зносостійкості можуть бути щільні однорідні покриття, структура яких представлена аморфною матрицею з незначними мікрокристалічними включеннями твердих фаз.

Що стосується досягнення максимальної міцності зчеплення при детонаційному напilenні, то очевидно, вона відповідає режиму, що забезпечує максимальний зміст аморфної фази і мінімальному змісту розчинених газів.

Висновки:

1. Дані приведені на рис. 1 указують, що з погляду аморфізації покриттів застосування пропан-бутан-кисневої детонаційної суміші ефективне для порошків з розміром частинок до 40 мкм.

2. На підставі результатів триботехнічних випробувань в умовах поворотно-поступального ходу встановлено, що аморфізовані покриття із сплавів на основі заліза та нікелю за зносостійкістю при граничному терті та терті без мастила істотно перевершують конструкційні й інструментальні сталі після термічної та хіміко-термічної обробки, а у багатьох випадках також не поступаються детонаційним покриттям з твердих сплавів типу ВК WC-Co. Так, наприклад, при терті без мастила та з мастилом на машині торцевого тертя детонаційне покриття із сплавів системи Fe-Ti-B-C переважно з аморфною структурою мають у 1,7...2,8 рази менше значення лінійного зносу в порівнянні з цементованою сталлю 20Х.

3. Встановлено, що аморфні детонаційні покриття сприяють підвищенню межі витривалості основи. Випробування зразків конструкційних сталей з аморфними детонаційними покриттями із сплавів Fe-Cr-B-Ni-C, Fe-Ni-B, Fe-Ni-Cr-Mo-B, Fe-Cr-Mo-B, проведені на втомній машині Schenck типу Punn в умовах скручування на вигин, показали підвищення межі витривалості порівняно зі сталлю без покриття на 20...25 % залежно від складу покриття та його товщини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Куницкий, Ю. А. Некристаллические металлические материалы и покрытия в технике [Текст] / Ю. А. Куницкий, В. И. Коржик, Ю. С. Борисов. – К., Техника, 1988, – 198 с.
2. Егоров, М. Д. Исследование структуры и свойств борсодержащих сплавов [Текст] / М. Д. Егоров, Ю. Л. Сапожников, Р. М. Кацель, Ю. В. Шахазаров // Композиционные покрытия: Тезисы 3й науч.-техн. конф. – Житомир: Житомирский фил. КПИ, 1985. – С. 36-37.
3. Астахов Е. А. Детонационный комплекс «Перун-С» для нанесения защитных покрытий [Текст] / Е. А. Астахов // Автоматическая сварка. – 2003. – С. 38-43.
4. Астахов, Е. А. Детонационное напыление аморфных и микрокристаллических покрытий [Текст] / Е. А. Астахов, В. И. Коржик, А. В. Чернышев. – К. Брошюра общества «Знание», УССР, 1990. – 20 с.

Надійшла до редколегії 11.10.2010.

Прийнята до друку 14.10.2010.