

У роботі подана технологія формування зносостійких композиційних електролітичних покриттів (КЕП) на нікелевій основі. КЕП містили наповнювач, що складався з порошків карбиду кремнію різних фракцій і аморфного бору з розміром частинок біля 1 мкм для можливості подальшої термообробки. Проведено випробування отриманих покриттів на їх кавітаційно-ерозійну зносостійкість в середовищах-електролітах

Ключові слова: композиційні електролітичні покриття (КЕП), кавітація, термообробка, корозійно-активні середовища

В работе представлена технология формирования износостойких композиционных электролитических покрытий (КЭП) на никелевой основе. КЭП содержали наполнитель, состоящий из порошков карбида кремния разных фракций и аморфного бора с размером частиц около 1 мкм для возможности последующей термообработки. Проведены испытания полученных покрытий на их кавитационно-эрозионное изнашивание в средах-электролитах

Ключевые слова: композиционные электролитические покрытия (КЭП), кавитация, термообработка, коррозионно-активные среды

КАВИТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ В НЕЙТРАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ю. М. Білик

Асистент

Кафедра машин та апаратів**

E-mail: lvivske55-1@yandex.ru

М. С. Стечишин

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: m-mezon@ukr.net

А. В. Мартинюк

Кандидат технічних наук*

E-mail: m-mezon@ukr.net

*Кафедра машинознавства**

**Хмельницький національний університет

вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

1. Вступ

У загальній проблемі підвищення надійності і довговічності роботи машин та обладнання легкої, хімічної і харчової промисловості важливе значення має підвищення надійності і довговічності роботи деталей, що підлягають кавітаційно-ерозійному зношуванню в корозійно-активних середовищах. Так, для роботи в умовах високих питомих тисків, навантажень, температур, вібрацій і колових і лінійних швидкостей т. ін. потрібні деталі, робочі поверхні яких повинні володіти цілим комплексом фізико-механічних властивостей. Для цього розробляються технології, методи і способи поверхневого зміцнення робочих поверхонь деталей, які дозволяють використовувати порівняно дешеві вуглецеві низьколеговані сталі з властивостями, що порівняні з властивостями високолегованих сталей і сплавів спеціального призначення. Одним з таких способів поверхневого зміцнення є розробка технологій нанесення гетерогенних композиційних електролітичних покриттів (КЕП).

Використання цих покриттів для підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості в агресивних середовищах обмежене через недостатньо вивчені

механізми їх формування, фізико-механічні та експлуатаційні характеристики, а особливо через те, що немає чітко сформульованих вимог до кавітаційно-ерозійних КЕП та способів реалізації цих вимог.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Аналіз робіт [1 – 6] показує, що комбіновані електрохімічні покриття (КЕПи) на основі нікелю з включеннями дисперсних частинок мають високу зносостійкість, корозійну стійкість, підвищують фізико-механічні та втомні характеристики металів та сплавів. У загальному випадку, КЕПи забезпечують підвищення зносостійкості, у порівнянні з чистими гальванічними покриттями в 2,5...5 рази [4]. Порівняльні випробування на зносостійкість вказують на перевагу КЕП на нікелевій основі з включеннями карбідів, боридів, оксидів у порівнянні із загартованими сталями 45, 40Х, 30ХГТ. Включення карбідів в нікелеву матрицю більш суттєво підвищує зносостійкість аніж включення оксидів [2].

Зокрема аналіз КЕП на нікелевій основі [2, 7 – 12] показує широкі технологічні можливості зміни

їх складу і властивостей, але вони мають нижчу зносостійкість порівняно з хромовими покриттями, невисоку міцність зчеплення з підкладкою, пористість. Ці недоліки стараються усунути шляхом термообробки покриттів з метою поліпшення їх фізико-механічних характеристик, зносостійкості, корозійної стійкості і т. ін. Так, автори роботи [13] стверджують, що максимальна міцність зчеплення покриттів Ni-SiC з сплавами алюмінію АК-18, АД-25, АЛ-7 досягається після відпалу при температурі 200 °С протягом 2 год, але дослідження [8, 10, 14] показують пониження твердості при відпалі в інтервалі температур 200...700 °С. Мікротвердість покриттів з включенням оксидів і карбідів зменшилась з 4,8...3,2 ГПа до 3,2...2,0 ГПа. Вплив відпалу на кавітаційну зносостійкість покриттів Ni-SiC також знайти не вдалося.

Аналіз літературних джерел [2, 8, 10] показує, що термообробка КЕП може бути ефективною лише при введенні в склад покриття при його формуванні речовин або сполук, які при наступній термообробці змінюють структуру, фазовий склад покриття. Так, при введенні в покриття аморфного бору в системі Ni-B при температурі 1060...1080 °С утворюється евтектика. Дослідження також показали, що відпал КЕП системи Ni-Cr₇C₃-B при температурі 200 °С тривалістю 1...2 год достатній для початку утворення боридів та отримання боридних композиційних покриттів [15]. Відпал композиційні види Ni - Cr і Fe - Cr приводить до формування покриття типу нержавіючої сталі [8]. Крім того, термічну обробку КЕП проводять за допомогою лазера, струмами високої частоти, які забезпечують високі швидкості нагрівання і охолодження, локальність і дискретність обробки [10, 16], але ці способи достатньо дорогі і недостатньо досліджені.

Використання цих покриттів для підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості в агресивних середовищах дуже обмежене через те, що недостатньо вивчені механізми їх формування, фізико-механічні та експлуатаційні характеристики, а особливо через те, що немає чітко сформульованих вимог до кавітаційно-зносостійких КЕП, способів реалізації цих вимог. Відсутні дані про співвідношення частки твердих включень і металевої основи, складу, форми і геометричних розмірів частинок зміцнювальних фаз, їх об'ємного вмісту в матриці, що суттєво обмежує можливості цілеспрямованого керування процесом формування комплексу протизносних властивостей КЕП. Тому актуальною задачею є дослідження та систематизація кавітаційно-ерозійних, корозійних і електрохімічних характеристик КЕП, особливостей формування їх структури, впливу термообробки на зносостійкість покриттів і можливостей цілеспрямованої зміни характеристик покриття залежно від умов зовнішнього мікроударного навантаження, корозійної активності середовища, умов експлуатації робочих поверхонь деталей. Тому актуальною задачею є дослідження та систематизація кавітаційно-ерозійних, корозійних і електрохімічних характеристик КЕП, особливостей формування їх структури, впливу термообробки на зносостійкість покриттів і можливостей цілеспрямованої зміни характеристик покриття залежно від умов зовнішнього мікроударного навантаження, корозійної активності середовища, умов експлуатації робочих поверхонь деталей.

3. Цілі та задачі досліджень

Метою даної роботи є дослідження та систематизація кавітаційно-ерозійних характеристик КЕП в середовищах-електролітах, особливостей формування їх структури, впливу термообробки на зносостійкість покриттів і можливостей цілеспрямованої зміни характеристик покриття залежно від умов зовнішнього мікроударного навантаження, корозійної активності середовища.

4. Методика проведення досліджень

Для реалізації поставленої мети була створена установка для формування КЕП в широкому діапазоні технологічних параметрів електролізу як на горизонтальному, так і на вертикальному катоді [17].

У якості матриці для КЕП вибрано нікель. Нікель має спорідненість до більшості частинок, які використовуються як друга фаза, високі механічні характеристики, корозійну стійкість. Для формування КЕП використовували хлористі електроліти, які забезпечують швидкість осаджування нікелю 90...100 мкм/год, прості та стабільні в процесі електролізу [2, 3, 11, 18]. В роботі використано хлористий електроліт нікелювання наступного складу: 300 г/л NiCl₂ · 6H₂O і 40 г/л H₃BO₃ з рН 3...4, а також додатково вводили ПАР – лаурисульфат натрію в кількості 0,01...0,02 г/л, який полегшує включення частинок SiC в нікелеву матрицю та стабілізує хімічний склад електроліту в процесі електролізу [14].

В якості наповнювача використовували дисперсні порошки аморфного бору з розміром частинок біля 1 мкм та карбиду кремнію фракцій: близько 50 нм – наночастинки; М5; 28/20; 50/40 мкм. Вибір бору пояснюється можливістю його взаємодії з нікелевою матрицею при наступній термічній обробці з можливістю утворення твердих розчинів, евтектики, дисперсійно-твердого сплаву. Відповідно, в роботі прийнято позначення: Ni-SiC_{нано} – нікелева матриця з наповнювачем аморфним бором і наночастинками SiC розміром 50 нм і т.д. У результаті були сформовані покриття, що склалися лише з нікелевої матриці Ni (необхідні для отримання порівняльних даних); Ni-SiC_{нано}; Ni-SiC₅; Ni-SiC₂₈; Ni-SiC₅₀. Осадження КЕП на зразки із сталі 45 проводили при густині струму 0,4...1 кА/м², температурі 60±2 °С протягом 5...6 год та горизонтальному розміщенні зразка (катод). Товщина покриття знаходилася в межах 0,5...0,6 мм.

Термічну обробку покриттів здійснювали шляхом відпалу зразків у вакуумі при температурі 1097 °С для утворення твердих боридів Ni₃B та евтектики Ni-Ni₃B.

Зносостійкість при мікроударному навантаженні в корозійно-активних середовищах (КАС) визначали на установці з магнітострикційним вібратором (МСВ). Дослідження проводили в жорсткій воді (MgSO₄ · 7H₂O - 0,0343 г і CaCl₂ - 0,51 г на 1л дистильованої), та 3 %-му розчині хлориду натрію.

5. Результати досліджень кавітаційно-ерозійної зносостійкості сформованих КЕП

Аналіз втрат маси зразків з нанесеними КЕП при проведенні кавітаційно-ерозійних випробувань

вказує на те, що втрати маси залежать від складу покриття та виду середовища (рис. 1, 2). Випробування в жорсткій воді показали що, покриття на основі нікелю та КЕП складу Ni-SiC_{нано} і Ni-SiC₅ (криві 2, 3 і 4 на рис. 1) підвищують кавітаційно-ерозійну зносостійкість сталі 45 нормалізованої у жорсткій воді в середньому в 6 разів. Дещо меншу зносостійкість показали КЕП складу Ni-SiC₂₈ і Ni-SiC₅₀. (криві 5, 6 на рис. 1) Разом з тим, криві втрат маси зразків з КЕП мають затухаючий характер, а зношування сталі 45 інтенсифікується в процесі проведення випробування (крива 1 на рис. 1).

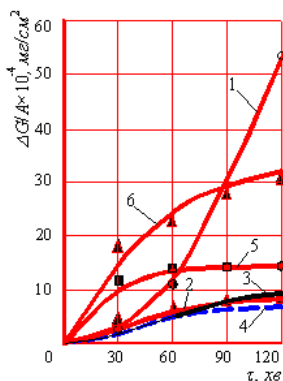


Рис. 1. Кінетика втрат маси ΔG зразків за час проведення випробувань τ при кавітації в жорсткій воді: 1 – сталь нормалізована; 2 – Ni; 3-Ni-SiC_{нано}; 4-Ni-SiC₅; 5-Ni-SiC₂₈; 6-Ni-SiC₅₀

З метою дослідження впливу корозійного фактора руйнування на інтенсивність кавітаційного зношування КЕП випробування проводили також в 3%-му розчині NaCl. Отримані результати (рис. 2) показують, що інтенсивність руйнування поверхонь зразків значно зростає. Так, втрати маси зразків з покриттям Ni зросли, порівняно із втратами маси в жорсткій воді з $8,7 \cdot 10^{-4}$ мг / см² до $64,1 \cdot 10^{-4}$ мг / см².

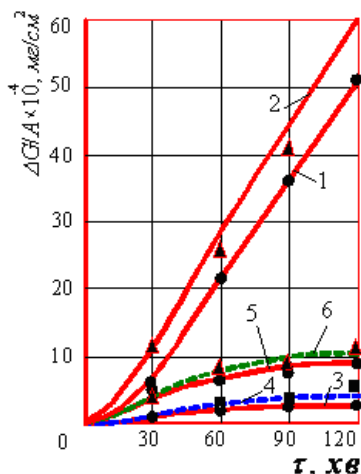


Рис. 2. Кінетика втрат маси ΔG зразків за час проведення випробувань τ при кавітації в 3%-вому розчині NaCl: 1-сталь нормалізована; 2- Ni; 3-Ni-SiC_{нано}; 4-Ni-SiC₅; 5-Ni-SiC₂₈; 6-Ni-SiC₅₀

Отже, за втратами маси в жорсткій воді сформовані КЕП можна розташувати в наступній послідовності (за зростанням втрат маси): Ni-SiC₅; Ni; Ni-SiC_{нано}; Ni-SiC₂₈; Ni-SiC₅₀, а аналогічний ряд в 3 %-му розчині NaCl має вид: Ni-SiC_{нано}; Ni-SiC₅; Ni-SiC₂₈; Ni-SiC₅₀; сталь 45 нормалізована; Ni.

Проведені нами дослідження, підтвердили ефективність включень SiC_{нано} і SiC₅ для підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості КЕП.

Для підвищення комплексу фізико-механічних та електрохімічних властивостей поверхонь з одночасним підвищенням їх кавітаційно-ерозійної зносостійкості було проведено термічну обробку КЕП.

Аналіз діаграм стану Ni-SiC показує, що карбід кремнію плавиться при температурі 2150 °C і не взаємодіє з нікелем. Отже, при термічній обробці КЕП складу Ni-SiC відбувається лише рекристалізація матриці та часткове зменшення залишкових напружень. В той же час, в системі Ni-V утворюється евтектика при масовому вмісті V в кількості 4,2 % [19]. Температура утворення евтектики 1060...1080 °C.

Вакуумний дифузійний відпал КЕП Ni-V при температурах, які не перевищують температуру утворення евтектики, приводить до отримання рівномірно розподілених по об'єму матриці боридів нікелю Ni₃B. Так, витримка протягом 1...2 год при температурі 200 °C вже достатня для початку утворення боридів і отримання боридних композиційних покриттів [2]. Нагрів покриттів до температури утворення евтектики дозволяє отримати доевтектичну структуру. Евтектика Ni-Ni₃B утворює своєрідний твердий каркас, в проміжках якого розміщена м'яка складова [2, 11].

При введенні частинок аморфного бору в нікелеву матрицю дещо підвищується її мікротвердість до $H_{\mu} = 3,2...3,6$ ГПа. КЕП в яких крім частинок бору присутні також частинки карбиду кремнію, мають вищу мікротвердість $H_{\mu} = 3,8...4,6$ ГПа, що пояснюється більшими спотвореннями ґратки, збільшенням густини дислокацій з одночасним дисперсним зміцненням нікелю частинками бору, які блокують рух дислокацій в покритті.

Термічний відпал в муфельній печі при температурі 400 °C протягом 1...2 год приводить до підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості композиції Ni-SiC_{нано} приблизно на 20 % у жорсткій воді і біля 30 % в 3 %-му розчині NaCl [20], що пояснюється зменшенням і вирівнюванням внутрішніх напружень в покритті, зменшенням гетерогенності структури (рис. 3).

Температура відпалу вибрана з тих міркувань, що необоротні перетворення і евтектичні утворення проходять в області температур 120...220; 300...350 і 370...450 °C [19].

Вакуумний відпал з оплавленням поверхні покриття проводили на установці ОКБ 8086 при температурах 1085...1090 °C. Після витримки в печі зразки охолоджували разом з піччю.

В зв'язку з тим, що аналіз кінетики втрат маси зразків які містили частинки SiC₂₈ показав незначну їх різницю в зносостійкості при випробуваннях в 3 %-му розчині NaCl (рис. 2) і дещо більшу різницю зносостійкості при випробуваннях в жорсткій воді (рис. 1) по відношенню до зразків SiC₅ і SiC_{нано} були проведені додаткові дослідження зносостійкості КЕП з частинками SiC₂₈ в жорсткій воді. Вміст частинок на-

повнювача SiC₂₈ становив 6,3; 15,7; 25,0; 30,0 об %. Результати проведення випробувань показані на рис. 3.

Максимальна зносостійкість КЕП в жорсткій воді з частинками SiC₂₈ досягається при їх вмісті в матриці біля 25 % (рис. 4).

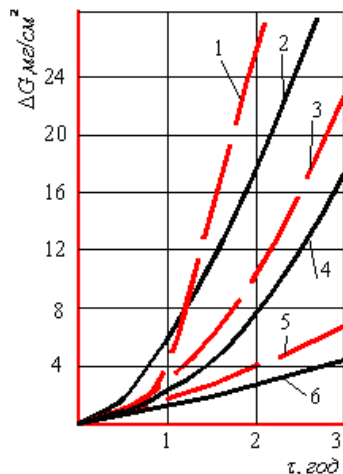


Рис. 3. Кінетика втрат маси ΔG за час τ, проведення випробувань при мікроударному навантаженні: 1, 2-сталь 45 нормалізована, відповідно, в 3 %-му розчині NaCl і жорсткій воді; 3, 4- КЕП Ni-SiC₂₈ в 3 %-му розчині NaCl і жорсткій воді; 5, 6- КЕП Ni-SiC₂₈ після відпалу у вакуумі в 3 %-му розчині NaCl і жорсткій воді

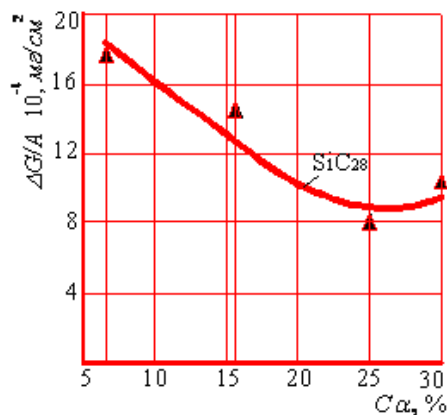


Рис. 4. Кінетика втрат маси ΔG КЕП складу Ni-SiC₂₈ залежно від об'ємного вмісту Ca, % частинок в жорсткій воді

Тому більші втрати маси в жорсткій воді порівняно з втратами маси в 3%-му розчині NaCl (рис. 1, 2) можна пояснити далеко неоптимальним вмістом частинок SiC₂₈ (C_a ≈ 15,6%) в КЕП при необхідному їх вмісті C_a ≈ 25%.

На рис. 5, а показана мікроструктура покриття Ni-SiC₂₈-В без термообробки, на якому крупними частинками є включення SiC₂₈, а дрібними – частинки бору. Після термічної обробки мікроструктура утворює каркас, що складається з евтектики Ni-Ni₃B та боридів Ni₃B (рис. 5, б) твердістю H_μ = 6,6...7,4 ГПа.

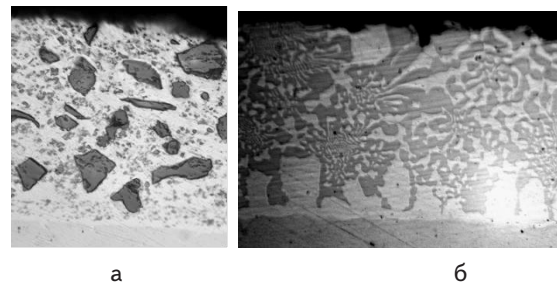


Рис. 5. Мікроструктура покриття Ni-SiC₂₈-В: а – вихідний стан; б – після вакуумного відпалу

Проведений рентгеноструктурний аналіз показав наявність в КЕП нікелю в кількості 67,63 і бориду Ni₃B в кількості 32,37 мас. % відповідно.

Кавітаційно-ерозійні випробування КЕП Ni-SiC₂₈-В після вакуумного відпалу в жорсткій воді показали (рис. 6), що зносостійкість за 2 год випробувань збільшується (крива 3), порівняно з КЕП без вакуумного відпалу (крива 1) в 2 рази.

Отже, вакуумний відпал при температурі утворення евтектики дозволяє отримувати щільні, гладкі покриття з високою кавітаційно-ерозійною зносостійкістю.

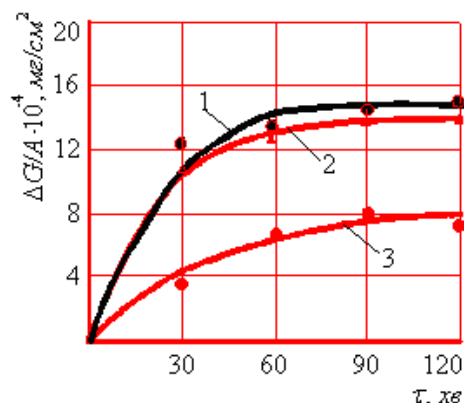


Рис. 6. Втрати маси ΔG за час τ проведення випробувань при кавітації КЕП складу Ni-SiC₂₈-В в жорсткій воді: 1 – без термообробки; 2 – після відпалу і 3 – після оплавлення у вакуумі

Результати виробничих випробувань робочих коліс і кришок насосів зміцнених електроосадуваним композиційним електролітичних покриттів на основі нікелю з включенням частинок SiC₂₈ на деталях із сталі 45, проведених на ТДВ Чернівецьке спеціалізоване управління «Мясомолмонтаж» показали, що при перекачці соляних розчинів термін їх служби збільшується приблизно в 11, а при перекачці водопровідної води в 6 разів.

6. Висновки

- Отже, за кавітаційно-ерозійною зносостійкістю в жорсткій воді та в 3 %-му розчині NaCl за критеріями втрат маси ΔG/A сформовані

- КЕП можна розділити на 2 групи: група I – КЕП складу $\text{Ni-SiC}_{\text{нано}}$ і Ni-SiC_5 і група II – КЕП складу Ni-SiC_{28} і Ni-SiC_{50} .
2. Таким чином, для підвищення кавітаційно-ерозійної зносостійкості деталей, які експлуатуються в розчинах хлориду натрію і, зокрема в морській воді (3 %-ий розчин NaCl), найбільш ефективними є КЕП складу $\text{Ni-SiC}_{\text{нано}}$ і Ni-SiC_5 (I група).
 3. Термічний відпал при температурі 400°C протягом 1...2 год підвищує кавітаційну зносостійкість КЕП $\text{Ni-SiC}_{\text{нано}}$ на 20 % в жорсткій воді і на 30 % в розчині NaCl , що пояснюється підвищенням мікротвердості та вирівнюванням внутрішніх напружень покриття і підвищенням корозійної стійкості внаслідок зменшення електрохімічної гетерогенності
 4. Вакуумний відпал КЕП з частинками карбиду кремнію і бору при $1080-1090^\circ\text{C}$ дозволяє отримувати щільні і гладкі покриття кавітаційна зносостійкість яких підвищується в середньому більше як в 2 рази внаслідок утворення твердого каркасу з евтектики $\text{Ni-Ni}_3\text{B}$ та боридів Ni_3B .

Література

1. Jelinek, T. W. Fortschritte in der Galvanotechnik. Eine Auswertung der internationalen Fachliteratur 2003 2004. [Текст] / T. W. Jelinek // Galvanotechnik. -2005.-Bd. 96, № 1. - S. 42 - 71.
2. Лучка, М. В. Износостойкие диффузионно-легированные композиционные покрытия. [Текст] / М. В. Лучка, М. В. Киндрачук, П. И. Мельник ; - К. : Техніка, 1993. -143 с.
3. Антропов, Л. И. Композиционные электрохимические покрытия и материалы [Текст] / Л. И. Антропов, Ю. Н. Лебединский ; - К.: Техника. 1983. – 200 с.
4. Бородин, И. Н. Порошковая гальванотехника [Текст]/ И.Н. Бородин – М.: Машиностроение, 1990. – 240 с.
5. Tseluikin, V. N. Composite coatings with fullerene C60: Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials [Текст]/ V. N. Tseluikin, I. V. Tolstova, O. G. Nevernaya // IX International Conference ICHMS. – Kiev: ADEF. 2005. - S. 520 – 523.
6. Wagner, E. An electrochemical investigation of corrosive wear of as-plated and heat-treated Ni and Ni-SiC coatings [Текст] / E. Wagner, E. Broszeit // Wear. – 1979. – Vol. 55, № 2. – P. 235–244.
7. White, C. A study of Particle-cathode adhesion during the formation of Electrodeposited composite coatings [Текст] / C. White, Y. Foster // Transactions of the Institute of Metall Finishing. 1978. – P. 56.92-95.
8. Сайфуллин, Р. С. Композиционные покрытия и материалы [Текст] / Р. С. Сайфуллин // - М. : Химия, 1977. – 272 с.
9. Metzger, W. Ber. VIII Kongresses der Intern. Union fur Galvanotechnik und Oberflächenbehandlung [Текст] / W. Metzger, T. Brik // Zurich. 1973. – 67p.
10. Гуслиенко, Ю. Н. Исследования процессов получения износостойких композиционных покрытий на основе никеля и железа и изучение их свойств: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.04 [Текст] / Ю. Н. Гуслиенко // –К., 1975. – 18 с.
11. Корнієнко, А. О. Формування триботехнічних властивостей композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю створенням градієнтних структур: автореф. дис... канд. техн. наук : 05.02.04 [Текст] / А. О. Корнієнко – К., 2007. - 21с.
12. Kampschulte, G. Adscheidung von nickel-schichten mit modulierten Staomen. [Текст] / G. Kampschulte, J. Mann // Metall. 37. 10. 1006-1012.
13. Фролова Ф. П., Причины сцепления никель-карбид кремния покрытий с алюминиевым сплавом [Текст] / Ф. П. Фролова, И. И. Житкевич, Е. С. Михайленец // Тр. АН Лит. СССР, 1975. - №5 (114). – С. 21-28.
14. Wagner, E. An electrochemical investigation of corrosive wear of as-plated and heat-treated and Ni-SiC coatings. [Текст] / E. Wagner, E. Broszeit // Wear.1.55. 2. 235-244p.
15. Гуслиенко, Ю. А. Структура и свойства композиционных электрохимических покрытий никель-диборид хрома [Текст] / Ю. А. Гуслиенко, М.В. Лучка, В.Н. Яненский и др. // Порошковая металлургия. -1989. - №3. – С. 54-59.
16. Гуслиенко, Ю. А. Получение композиционных боридных покрытий поверхностным нагревом концентрированными источниками энергии [Текст] / Ю.А. Гуслиенко, Т.Н. Тихонович, В.П. Стеценко и др. // Защитные покрытия на металлах. -1993. – Вып.27. – С. 35-39.
17. Стечишин, М. С. Установка для нанесения композиційних електролітичних покриттів [Текст] / М. С. Стечишин, Ю. М. Білик, А. В. Мартинюк // Вісник ХНУ. Технічні науки. – Хмельницький. – 2008. - №2. – С. 196–199.
18. Яворський, В. Т. Електрохімічне нанесення металевих, конверсійних та композиційних покриттів [Текст] / В. Т. Яворський, О. І. Кунтій, М. С. Хома // –Львів : Державний університет «Львівська політехніка», 2000. - 216 с.
19. Стечишин, М. С. Формування композиційних електролітичних покриттів на нікелевій основі для підвищення корозійно-механічної зносостійкості конструкційних сталей [Текст] / М.С. Стечишин, Ю.М. Білик, М.В. Кіндрачук // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи їх діагностування і прогнозування: Праці міжн. наук.-техн. конф, 21-24 вересня, Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – С. 240-245.
20. Стечишин, М. С. Кавітаційна стійкість комплексних електролітичних покриттів в корозійно-активних середовищах [Текст] / М. С. Стечишин, Ю. М. Білик, В. М. Педан // Матеріали міжнар. Наук.-техн. конф. «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій». – Тернопіль: ТНТУ, 2010. – С. 100-101.