

раховувати, приймати необхідні заходи і прогнозувати довговічність п'ятникових вузлів транспортних засобів існуючих конструкцій як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації вагона.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Нормы для расчетов на прочность и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: Изд. ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319с.
2. Проников А.С. Надежность машин / А.С.Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 591с.
3. Бейгул О.О. Дослідження швидкості ковзання в опорах кузова на візки промислових транспортних засобів / О.О.Бейгул, А.С.Шульга, О.А.Шульга // Збірник наукових праць Дніпродзержинського технічного університету (технічні науки). – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2014. – Вип. 2 (25). – С.86-89.
4. Расчет удельных давлений в пятниковом узле железнодорожного вагона / В.М.Гребеник, А.С.Шульга, П.П.Гонтаровский, В.Ф.Кучеренко // Исследование и конструирование деталей и узлов подвижного состава: труды ДИИЖТ. – Днепропетровск. – 1973. – Вып. 145. – С.119-128.
5. Шульга А.С. Расчет удельных давлений в приработанных подпятниках при несимметричном нагружении / А.С.Шульга // Детали машин: респ. межвед. науч. сб. – Киев. – 1982. – Вып.35. – С.90-95.

*Надійшла до редколегії 20.12.2016.*

УДК 669.136.9

БЕЙГУЛ О.О., д.т.н., професор  
АДАМЧУК С.І., к.т.н., доцент  
СЕРЕДА Д.Б., аспірант  
ШУЛЬГА А.С., к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

### **ОТРИМАННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДЕТАЛЯХ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ**

**Вступ.** У зв'язку із прискореним розвитком техніки вкрай актуальними стали питання підвищення зносостійкості деталей машин, підвищення їхньої якості та ефективності роботи, а також питання економії металів. У зв'язку з розвитком нових виробництв в Україні стало важливим підвищення надійності та довговічності деталей машин, вузлів, агрегатів відповідного призначення, що застосовуються у машинобудуванні. Рішення цих проблем насамперед пов'язане з отриманням захисних покриттів. Використання високоміцних сталей обмежується їх великою чутливістю до концентрації напружень, до різного роду дефектів поверхні, забруднення неметалевими включеннями. Останнім часом все більшого поширення і актуальності набувають деталі з жаростійких та зносостійких конструкційних матеріалів.

**Постановка задачі.** Для вибору захисного покриття для деталей автомобільного транспорту необхідно враховувати всі аспекти його використання безпосередньо в робочих умовах. Колінчасті та розподільні вали працюють в умовах зношування та дина-

мічних навантажень, тому захисні покриття повинні мати низьке значення крихкого руйнування та високу зносостійкість. Формування захисних покриттів повинне проходити при мінімальному терміні їх отримання. Це дозволяє отримувати матеріали з невеликим розміром зерна. Такі технології базуються на явищі високотемпературного саморозповсюджувального синтезу, коли формування захисних покриттів проходить при нестационарних температурних умовах.

На рівні розглянутих робіт невирішеною частиною проблеми є отримання саморозповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС) шихт, що дозволяють формувати хромоалітовані покриття, леговані бором та кремнієм.

**Результати роботи.** Аналіз літературних джерел [1-4, 8-10] свідчить, що нині існує багато методів дифузійного насичення поверхні сталі хромом та алюмінієм. Загальним для них є здійснення процесу насичення при високих температурах, коли запас вільної енергії системи досить великий для проходження дифузії в твердій фазі. Для отримання легованих хромоалітованих покриттів застосовують наступні способи: в розплавлених електролітах, в газовій фазі, за допомогою порошкоподібних мас, в нейтральній або відновлювальній атмосфері [5-8, 10].

Використання СВС для формування захисних покриттів базується на використанні порошкових екзотермічних сумішей і є результатом сильної екзотермічної дії хімічних елементів в конденсованій фазі, яке мимовільно розповсюджується у хвилі горіння [11-14].

СВС є одним з високотемпературних процесів горіння ( $t_r = 800-4000^\circ\text{C}$ ). В залежності від агрегатного стану елементів у маємо три типи СВС-процесів:

- 1) горіння сумішей порошків у вакуумі або в інертному газовому середовищі (отримання карбідів, боридів, силіцидів);
- 2) горіння порошків у газовому середовищі (отримання нітридів при горінні металів в азоті);
- 3) горіння порошків у рідкому середовищі (отримання нітридів при горінні металів в рідкому азоті).

У роботі для отримання захисних покриттів використовували сталь 50 та У8А, хіміко-термічну обробку проводили в реакторі контейнерного типу в інтервалі температур  $900-1050^\circ\text{C}$ . В якості насиченого середовища використовували порошкові шихти, що мали наступні матеріали:

- 1 –  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – оксид хрому (III) (ТУ 6-09-4272-84) – джерело хрому в покритті;
- 2 –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – оксид алюмінію (III) (ТУ 6-09-426-75) – інертний матеріал;
- 3 – Al – алюміній марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82) – відновлював оксидів, джерело алюмінію в покритті;
- 4 – В – бор технічний (ТУ 6-08-374-77) – джерело бору в покритті;
- 5 – Si – кремній марки Кр1 (ТУ 48-4-174-77) – джерело кремнію в покритті;
- 6 – Ti – титан марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83) – джерело титану в покритті;
- 7 –  $\text{I}_2$  – йод металевий (ГОСТ 4159-79) – активатор процесу насичення;
- 8 –  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – хлористий амоній (ТУ 6-09-1147-79) – активатор процесу насичення.

У результаті оптимізації отримано склади СВС-шихт, що вміщують 10% В, 7% Si, 20% Ti.

Досліджувані зразки із сталі 50 в режимі теплового самозаймання при температурі  $1000^\circ\text{C}$ , час витримки дорівнював 60 хв.

Після насичення сталі 50 вона піддавалася загартуванню та низькому відпуску. Для порівняння використовувалися зразки із сталі 50, оброблені в ізотермічних умовах. Час випробувань дорівнював 5 годин.

Захисні покриття на сталі 50 знаходять широке застосування як антифрикційний матеріал для деталей автомобільних двигунів. Висока твердість цього покриття та здатність утримувати на поверхні мастило призводить до збільшення стійкості деталей кривошипно-шатунного механізму до зношування. Результати випробування сталевих зразків на знос в умовах тертя ковзання на машині тертя СМТ-1 наведено на рис. 1.

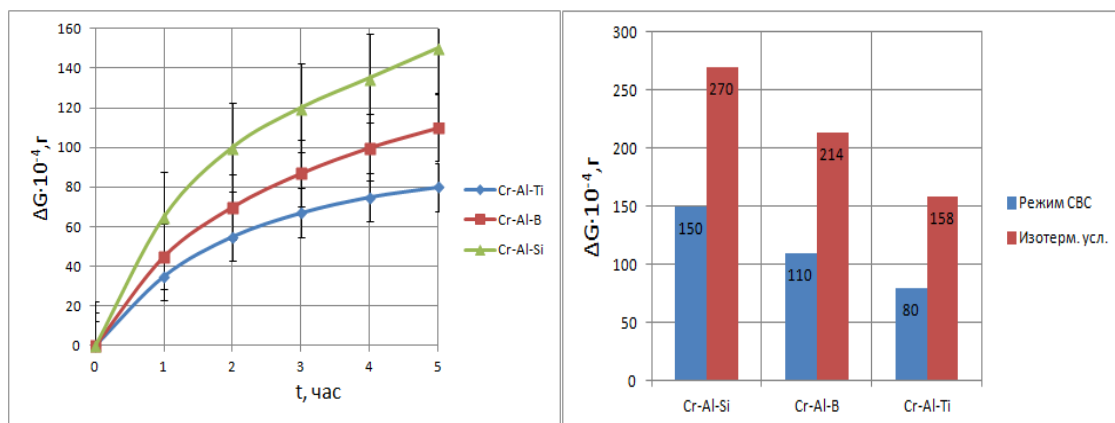


Рисунок 1 – Вплив часу досліджень на зносостійкість захисних покриттів на сталі 50 при дослідженні на машині тертя СМТ-1

Отриманий результат корелює з твердістю зміцнених зон. З підвищенням твердості збільшується зносостійкість.

При дослідженні в умовах тертя ковзання кращу зносостійкість мають зразки при хромоалітуванні та хромоалюмоборюванні. Їх зносостійкість вища в 1,8-2,1 рази, ніж у покриттів, отриманих при ізотермічних умовах. Це можна пояснити збільшеною мікротвердістю, яка складає 14000-14500 МПа для покриттів, отриманих в ізотермічних умовах, при хромоалюмоборюванні складає 14000-14500 МПа, при хромоалюмотитануванні – 15000-15500 МПа, а в умовах СВС сягає при хромоалюмоборюванні 15000-16000 МПа, при хромоалюмосиліціюванні – 13500-14500 МПа, при хромоалюмотитануванні – 16500-17500 МПа.

Дослідження мікротвердості виявило, що зі збільшенням складу вуглецю в сталях мікротвердість поверхневого прошарку збільшується. Так при хромоалюмоборюванні вона складає 15000 МПа, а на сталі У8А – 16000 МПа (фази  $(Fe,Cr,Al)_2B$ ). При хромоалюмосиліціюванні  $(Fe,Cr,Al)_3Si = 13500$ , а на сталі У8А – 14500 МПа, при хромоалюмотитануванні – 16500 МПа, а на сталі У8А – 17500 МПа, фази  $(FeCr)_{23}C_6$ ,  $(FeCr)_7C_3$  леговані Al та Ti, α твердий розчин Cr в залізі.

**Висновки.** Таким чином, отримано та обґрунтовано склад СВС-шихт, що дозволяють отримати зносостійкі покриття при нестационарних температурних умовах з використанням явища саморозповсюджувального високотемпературного синтезу. В порівнянні з технологіями, що базуються на отриманні захисних покриттів в ізотермічних умовах, термін проведення хіміко-термічної обробки зменшився в 2,5-4 рази. Це дозволяє зменшити енергозатрати при проведенні процесу хіміко-термічної обробки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М.Лахтин, Б.Н.Арзамасов // М.: Металлургия, 1985. – 256с.
2. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Лахтин Ю.М. // М.: Металлургия, 1994. – 494с.

3. Сыркин В.Г. CVD-метод. Химическое парофазное осаждение / Сыркин В.Г. // М.: Наука, 2000. – 496с.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов: справочник / [Борисенко Г.В., Васильев Л.А., Ворошнин Л.Г. и др.]. // М.: Metallurgy, 1981. – 424с.
5. Sereda B. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology-2016. – Salt Lake City, Utah USA, 2016. – 1339p. – P.945-948.
6. Sereda B. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology-2016. – Salt Lake City, Utah USA, 2016. – 1339p. – P.931-934.
7. Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis / Sereda D., Sereda B. // Material science and technology-2016. – Salt Lake City, Utah USA, 2016. – 1339p. – P.825-829.
8. Лахтин Ю.М. Поверхностное упрочнение сталей и сплавов / Ю.М.Лахтин // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. – 1988. – № 11. – С.14-25.
9. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента / Я.Д.Коган // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv. – 1993. – № 8. – С.5-9.
10. Ворошнин Л.Г. Борирование промышленных сталей и чугунов: справочное пособие / Ворошнин Л.Г. – Мн.: Беларусь, 1981. – 205с.
11. Серета Б.П. Поверхневе зміцнення матеріалів: монографія / Серета Б.П., Калініна Н.Є., Кругляк І.В. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, – 2004. – 230с.
12. Мержанов А.Г. Твердо-пламенное горение / Мержанов А.Г. – Черноголовка: ИСМАН, 2000. – 244с.
13. СВС дисперсных алюминидов никеля и защитные покрытия на их основе / Б.М.Вольпе, В.В.Евтстигнеев, И.В.Милюков [и др.] // Физика и химия обраб. материалов. – 1996. – №1. – С.50-54.
14. СВС дисперсных материалов Ti-Al и защитные покрытия на их основе / Б.М.Вольпе, В.В.Евтстигнеев, И.В.Милюков [и др.] // Физика и химия обраб. материалов. – 1995. – №2. – С.73-79.

*Надійшла до редколегії 15.05.2017.*