

СЕРЕДА Б.П., д.т.н., професор
СЕРЕДА Д.Б., к.т.н., ст. викл.
БАБКО І.О., аспірант
ЗИМА І.Е., магістр
БІЛОЗОР І.В., магістр

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ОТРИМАННЯ БОРОВАНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ САМОРОЗПОВСЮДЖУВАЛЬНОГО ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗУ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНОГО МЕХАНІЗМУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ АВТОМОБІЛІВ

Вступ. На сьогоднішній день серед методів поверхневого зміцнення широке застосування знаходять боровані покриття, отримані різними методами хіміко-термічної обробки (ХТО). Такі покриття застосовуються для захисту деталей в автомобільному транспорті, в металургійному виробництві, машинобудуванні, для роботи в екстремальних умовах дії агресивного високотемпературного окислювального газового середовища, а також в сільському господарстві. Висока зносостійкість матеріалів з покриттями широко застосовується для деталей, що працюють в умовах зношування. Однак поряд з високими фізико-механічними властивостями сталей вони мають низьку зносостійкість.

Постановка задачі. Відомо, що деталі газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згорання працює під великими навантаженнями та в умовах сильного нагріву, тому виникає необхідність захисту конструкційних матеріалів багатокомпонентними легованими борованими покриттями. Однак всі відомі методи енергоємні і тривалі. У зв'язку з цим для України є актуальною розробка нових способів ХТО, що дозволяє регулювати склад і структуру захисних покриттів, забезпечувати необхідні експлуатаційні характеристики при мінімальному часі їх формування. Такі технології базуються на явищі саморозповсюджувального високотемпературного синтезу (СВС) [1-8].

Результати роботи. У якості досліджуваного матеріалу обрано сталь 45.

Як реакційною насичуючою середовища використовувалися суміші порошків дисперсністю 250-400 мкм наступних матеріалів:

- 1 – Cr_2O_3 – оксид хрому (III) (ТУ 6-09-4272-84) – джерело хрому в покриття;
- 2 – Al_2O_3 – оксид алюмінію (III) (ТУ 6-09-426-75) – інертна добавка;
- 3 – Al – алюміній марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82) – відновник оксидів, джерело алюмінію в покриття;
- 4 – В – бор технічний (ТУ 6-08-374-77) – джерело бору в покриття;
- 5 – NH_4F – фтористий амоній (ГОСТ 4463-76) – активатор процесу ХТО.

Для процесу хіміко-термічної обробки, що проводяться в умовах СВС, використовували реактиви класифікації «ч» і «чда».

Основними критеріями при визначенні оптимальних технологічних параметрів одержання захисних покриттів в режимі теплового самозаймання є товщина дифузійного шару (h , мкм), розподіл концентрації дифузійного елемента по товщині шару, фазовий склад і властивості шару (жаростійкість, адгезійна міцність, корозійна стійкість, зносостійкість). Будова поверхневих шарів істотно залежить від складу насичуючої суміші, вибору режиму нанесення покриттів, температури і тривалості процесу. Основними технологічними параметрами, що впливають на процеси формування покриттів в

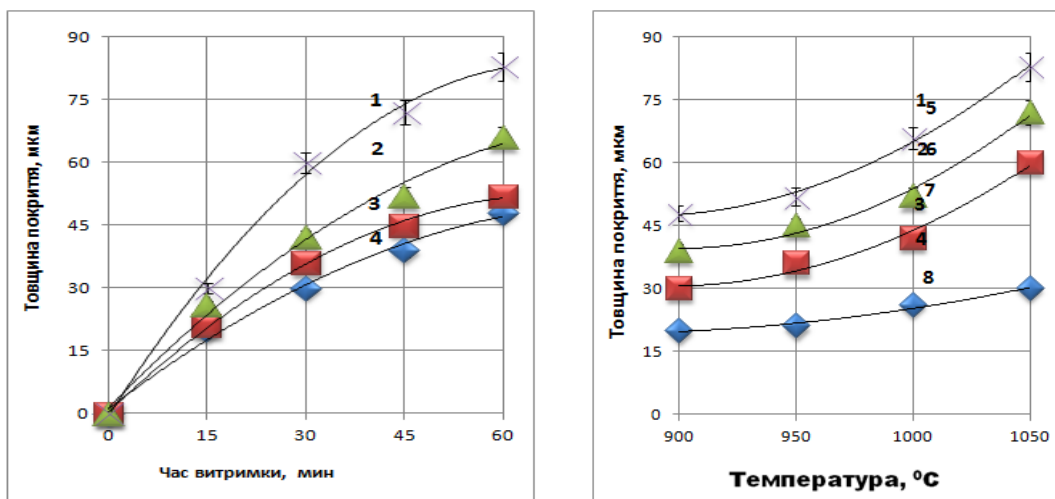
режимі теплового самозаймання, ϵ : температура займання (t^* , C), максимальна температура (t_m , C), температура ізотермічної витримки (t_τ , °C), час ізотермічної витримки (t , хв.) і темп нагріву (v , C/хв.) [9-17].

Температурна залежність зміни товщини шару підпорядковується експоненціальному, а часова – параболічному закону. Дана закономірність характерна для дифузійного процесу. Вплив температури і часу витримки на товщину шару зводиться до того, що чим більші температура і час витримки, тим більший шар, який утворився на заготовці.

Товщини боридних шарів, які формуються в перші хвилини насичення, пояснюються двома факторами: інтенсифікуючою дією фази додаткових компонент і утворенням шару при нагріванні до температури процесу. Причиною уповільнення росту дифузійних шарів при температурах, які перевищують 1200°C, є зниження активності насичувального середовища, обумовлене збідненням її насичувальними елементами, а також підвищенням спікливості сумішей [10].

Легування шарів надає поверхні спеціальні властивості, що значно відрізняються від результатів звичайної хіміко-термічної обробки. Важливо підкреслити, що в умовах СВС вибір елементів шихти не обумовлений матеріалом підкладки, оскільки в процесі нанесення дифузійних шарів формуються карбідні, боридні фази, значно перевищуючі твердість фаз, отриманих в ізотермічних умовах. Крім універсальності даної технології щодо вибору матеріалу, варто сказати про ще одну важливу і істотну властивість СВС-процесу – це формування, окрім поверхневих шарів, ще й додаткового покриття, що є результатом багат шарового, багатокомпонентного дифузійного процесу.

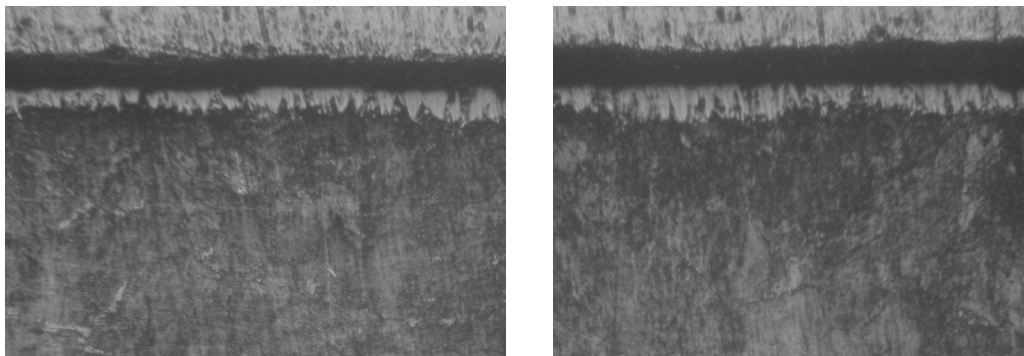
Збільшення кількісного вмісту бору призводить до зменшення t_x . Величиною t_x зобов'язана дії бору як інертного розчинника на стадії займання окису хрому з алюмінієм. Збільшення t_m відбувається завдяки подальшій екзотермічній взаємодії відновленого хрому з бором. Однак таке збільшення відбувається лише в діапазоні вмісту бору, близькому по стехіометрії до відновлюваного хрому, збільшення вмісту бору понад стехіометрії веде до зниження максимальної температури (рис.1).



1 – 1050°C; 2 – 1000°C; 3 – 950°C; 4 – 900°C;
5 – 60 хв., 6 – 45 хв., 7 – 30 хв., 8 – 15 хв.

Рисунок 1 – Вплив температури (t_6) та часу витримки ($\tau_{и.в}$) на товщину легуючого борохромоалітованного покриття (h)

Встановлено, що температурна залежність зміни товщини покриття підкоряється експонентному, а тимчасова – параболічному закону, що характерно для дифузійного процесу. Мікротвердість вимірювали за допомогою приладу ПМТ-3 [11]. Після проведення борохромоалітування шар має характерну голчасту будову. Голки боридів утворюють суцільний шар боридів з включеннями алюмінію. На рис.2 наведено мікроструктуру борохромоалітованного покриття для різного часу витримки, яке складається з фази $(Fe, Cr, Al)_2B$, під якою знаходиться α -твердий розчин Cr, Al та B в залізі.



а) – 5 хв.

б) – 15 хв.

Рисунок 2 – Мікроструктура борохромоалітованного покриття (x100)

Мікротвердість вимірювали за допомогою приладу ПМТ-3 з навантаженням 100 г, розподіл мікротвердості показано на рис.3. Максимальна мікротвердість боридного шару в межах $15-17 \cdot 10^3$ МПа. Аналіз механічних властивостей, дозволяє застосовувати борохромоалітування для підвищення зносостійкості деталей газорозподільного механізму.

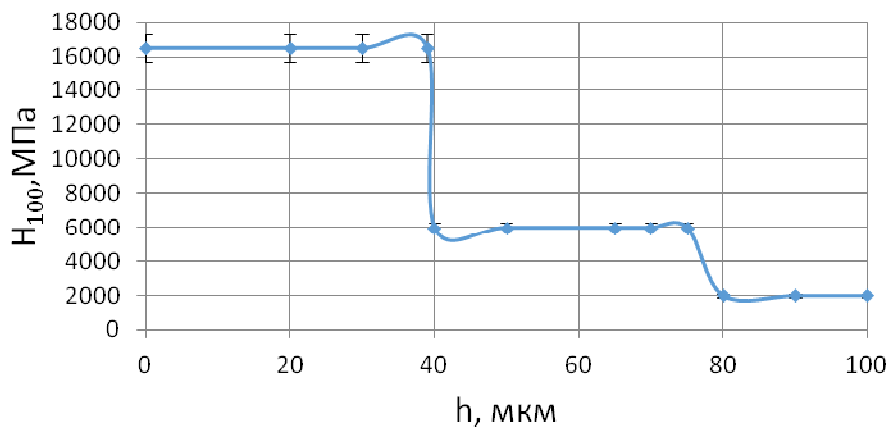


Рисунок 3 – Характер розподілу мікротвердості по товщині захисного шару на сталі 45

Дослідження показують що, борований шар глибиною 95 мкм має поверхневу мікротвердість 15-17 МПа.

Дослідження захисних шарів на зносостійкість проводили на машині тертя СМТ-1 [12], зношування захисних покриттів – на матеріалі сталь 45. Випробування проводили згідно з ГОСТом 23.224-86 в умовах граничного тертя ковзання зі змащуванням автотракторним мастилом (ГОСТ 8581-78 без присадок) за схемою ролик-колодка при швидкості обертання контртіла (ролик) 500 об/хв. Контртіло виготовлено зі сталі У8А з наступним загартуванням і низьким відпуском до твердості 61-63 НRC.

Покриття наносили на випробуваний зразок із сталі 45. Після нанесення покриття зразок гартували з температури $t_3 = 820^\circ\text{C}$ у воду і відпускали при $t_{\text{від}} = 180^\circ\text{C}$.

Навантаження на випробуваний нерухомих зразок складо $P = 500$ Н. Протягом перших 30 хв. здійснювалася попереднє припрацювання зразків, а потім проводилися випробування протягом 5 годин. Через кожну годину випробувань зразок і контртіло знімали, промивали в бензині (ГОСТ 443-76), потім в ацетоні (ГОСТ 2603-79), просушували на повітрі і зважували на аналітичних терезах ВЛР-200 з точністю до 10^{-4} г. Результати випробувань на машині тертя СМТ-1 наведено на рис.4.

Величина зносу покриття становить $155-175 \cdot 10^{-4}$ г/м², а без покриття – $220-240 \cdot 10^{-4}$ г/м², що в 1,5-1,7 разів більше.

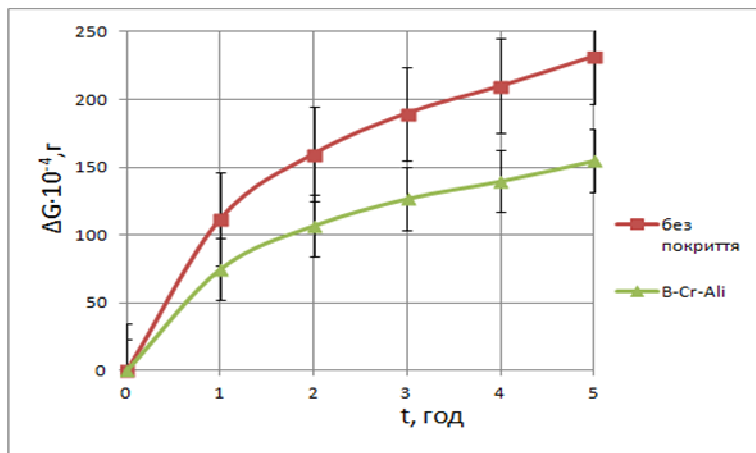


Рисунок 4 – Результати випробувань на машині тертя СМТ-1

При випробуваннях на машині тертя МТ-5 знос двофазного боридного покриття на 35-60% менший, ніж нелегованого.

Висновки.

1. Проведено дослідження на дослідно-промисловій установці, яка складається з наступних основних функціональних систем: реакційного обладнання, газопостачання, контролю і регулювання технологічними параметрами.

2. Досліджено кінетику формування борохромоалітованих покриттів.

При температурі процесу 1050°C за 60 хв. отримано борохромоалітовані покриття товщиною 45-80 мкм з мікротвердістю $15-17 \cdot 10^3$ МПа.

3. В результаті проведення дослідження на машині тертя СМТ-1 за 5 годин експерименту встановлено, що зразки з різним типом покриття мають знос $155-175 \cdot 10^{-4}$ г/м².

ЛІТЕРАТУРА

1. Середя Б.П., Калініна Н.Є., Кругляк І.В. Поверхнєве зміцнення матеріалів: монографія. Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2004. 230с.
2. Середя Д.Б., Середя Б.П., Палехова І.В. Применение процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для поверхностного упрочнения конструкционных сталей титаном и бором. *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении*: научный журнал. ЗНТУ: Запорожье, 2015. № 1. С.38-42.
3. Sereda D., Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. *Material science and technology - 2015*. Columbus, OH, USA. 1821p. P.229-232.
4. Sereda D., Sereda B. Aluminized Multifunctional Coating on Steel in SHS Condition. *Material science and technology - 2014*. Pittsburgh. Pennsylvania USA. 2224p. P.482-486.
5. Sereda D., Sereda B. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts. *Material science and technology - 2016*. Salt Lake City, Utah USA, 2016. 1339p. P.945-948.

6. Середя Б.П., Палехова И.В. Получение многокомпонентных защитных покрытий методом газотранспортной СВС-технологии. *Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении*: научный журнал. Запорожье: ЗНТУ, 2016. № 2. С.66-74.
7. Sereda D., Sereda B. Kinetics formation of aluminized multifunctional coating on steel in SHS condition. *Material science and technology - 2011. Conference and Exhibition. Columbus, Ohio USA, 2011.* 1741p. P.1667-1671.
8. Середя Д.Б. Алюмирование сталей в условиях СВС. *10-я Всероссийская с международным участием школа-семинар по структурной макрокинетике для молодых ученых*: сб. тезисов. Черноголовка: ИСМАН, 2012. 182с. С.55-58.
9. Середя Б.П. Металознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2007. 300с.
10. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1980. 493с.
11. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 328с.
12. Кристалл М.А. Механизм диффузии в железных сплавах. М.: Металлургия, 1972. 400с.
13. Sereda D., Sereda B. Obtaining of Boride Coatings under SHS Conditions for Car Parts. *Material science and technology - 2016. Salt Lake City, Utah USA, 2016.* 1339p. P.945-948.
14. Sereda D., Sereda B. Development of Protective Coatings Formulations Based on Boron for Units Operating at High Temperatures in Metallurgy. *Material science and technology - 2016. Salt Lake City, Utah USA, 2016.* 1339p. P.931-934.
15. Sereda D., Sereda B. Corrosion Resistance and Mechanical Properties Zinc Coating Sheet Steels, Received in Conditions of Self-propagating High Temperature Synthesis. *Material science and technology - 2016. Salt Lake City, Utah USA, 2016.* 1339p. P.825-829.
16. Sereda D., Sereda B. Increased Strength Multi-phase Steels as a Result of Heat Treatment of Automobile Wheels. *Material science and technology - 2016. Salt Lake City, Utah USA, 2016.* 1339p. P.1055-1060.
17. Sereda D., Sereda B. Advanced Chromoaluminizing Coatings for Wear and Heat-resistance on Composite Materials under SHS. *Material science and technology - 2015. Columbus, OH, USA, 2015.* 1821p. P.229-232.

Надійшла до редколегії 02.04.2019.