

Відгук

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Гвоздецького Володимира Миколайовича**
«Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробах шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану», представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – Матеріалознавство

1. Актуальність теми дисертації.

Алюмінієві сплави широко використовуються у промисловості завдяки високій конструкційній міцності та задовільній корозійній стійкості у нейтральних водних середовищах. Проте ключовими їх недоліками залишаються низька абразивна зносостійкість та незадовільні трибологічні характеристики. Для їх підвищення на поверхні деталей із алюмінієвих сплавів формують відновні та захисні покриття. Найбільшого поширення набула технологія анодування, плазмо-електролітного оксидування та методи газотермічного нанесення зносостійких покриттів. Однак замала товщина, недостатньо високі твердість і зносостійкість та брак знань про закономірності формування якісних анодованих, плазмо-електролітних та електродугових покриттів на поверхні алюмінієвих сплавів стримують поширення цих технологій для формування на алюмінієвих сплавах поверхневих шарів з наперед заданими функціональними властивостями та суттєво обмежує їх впровадження у промислове виробництво. Звідси зрозуміло, що дисертаційна робота, що спрямована на усунення перелічених недоліків алюмінієвих сплавів, в якій на основі комплексного дослідження і обґрунтованого вирішення металографічних, технологічних і конструктивних аспектів сформульованої проблеми, є актуальною з огляду на її наукову вагомість і беззаперечну практичну цінність.

2. Загальні характеристики дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Гвоздецького В. М. складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку літератури з 348 найменувань. Заг

покриттів на формування їх мікроструктури і функціональні властивості за умов граничного тертя та абразивного зношування

У першому розділі розглянуто та проведено аналіз літературних джерел стосовно класичного та імпульсного твердого анодування, плазмо-електролітного оксидування та газотермічних методів напилювання відновних та зносостійких покриттів. Показано, що методи анодування та плазмо-електролітного оксидування підвищують фізико-механічні характеристики нових деталей із алюмінієвих сплавів проте через малу товщину синтезованих покриттів їх не можна використовувати для відновлення і зміцнення зношених деталей. Поєднання технології газотермічного нанесення покриттів з наступним синтезом на їх поверхні оксидних шарів відкриває шлях для відновлення зношених деталей із алюмінієвих сплавів та сталей. А використання для електродугового напилювання порошкових дротів з спеціально підібраним складом шихти дасть можливість формувати покриття потрібної товщини з необхідними в конкретних експлуатаційних умовах властивостями.

У другому розділі розглянуто методичні підходи використані у роботі для досягнення поставлених завдань. Зокрема, використані стандартні методики визначення абразивної зносостійкості, трибологічних характеристик та рентгенівський фазовий аналіз розроблених покриттів. На етапі проектування шихти порошкових дротів використали термодинамічний аналіз можливих реакцій, що відбуваються в процесі напилювання покриттів та удосконалену під потреби завдань роботи діаграму Сагалевича Потока. Для металографічних досліджень використовували оптичну та електронну мікроскопію.

У третьому розділі досліджено вплив додатків перекису водню до базового сульфатного електроліту, або продування його озоном на фізико-механічні характеристики синтезованих анодованих шарів. Показано, що такі технолог

характеристики анодованого шару. Зокрема, фаза-беміт забезпечує високу мікротвердість та абразивну зносостійкість, а фаза гібсит відповідальна за високі трибологічні характеристики. Встановлено, що знос анодованих шарів з використанням імпульсного режиму синтезу, у парі із сталевією (чи керамічною) кульками зменшився від 2,5...8 разів відносно сплаву Д16 в умовах фрикційних досліджень без мащення чи граничного мащення у мінеральній чи синтетичній оливах. Це беззаперечна його перевага для ширшого використання в практиці виробництва деталей складної геометрії з алюмінієвих сплавів.

У п'ятому розділі досліджено структуру та трибологічні характеристики плазмо-електролітних шарів, синтезованих на напилених газотермічних алюмінієвих покриттях, легованих Mg, Cu, Ni та Ti. Встановлено, що в процесі синтезу в плазмо-електролітних шарах утворюються легкоплавкі та рідкотекучі евтектики із суміші оксидів ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{NiO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CuO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$), які повніше (порівняно з тугоплавким оксидом Al_2O_3) заповнюють розрядні канали. При цьому поруватість синтезованого шару зменшується від 8-10 до 2-3%, вміст корунду у ньому зростає від 30 до 70%, а його твердість збільшується від 1400 до 1800 $\text{HV}_{0,3}$. Розкрито механізм зношування контртіла за фрикційної взаємодії з ПЕО шаром. За твердості контртіла до 300 $\text{HV}_{0,3}$ зношування відбувалося за рахунок стирання поверхні контртіла виступами на поверхні ПЕО шару як різцями. За твердості контртіла 300-1000 $\text{HV}_{0,3}$ зношування відбувалося внаслідок багаторазової пружної або пружнопластичної деформації поверхні самого контртіла.

схильність покриттів до розтріскування за цим показником була нижчою за їх напилювання надзвуковим повітряним струменем та за нанесення покриття на алюмінієву підкладку порівняно із сталевую.

У висновках узагальнені найважливіші результати роботи, які чітко і лаконічно сформульовані, дають уявлення про вагомість і підтверджують наукову цінність дисертаційної роботи.

У додатках наведені документи, що підтверджують: економічну доцільність впровадження розроблених електродних матеріалів і технологічних підходів у різних галузях виробництва, акти впровадження, технологічний регламент відновлення деталей типу «вал» та отримані патенти України на корисну модель.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність.

Достовірність та обґрунтованість представлених у роботі результатів підтверджується: застосуванням комплексу сучасних і добре апробованих методів і методик досліджень, необхідних для атестації властивостей отриманих покриттів (серед них такі як оптична та електронна мікроскопія, рентгенофазовий та мікрорентгеноспектральний аналізи, комплекс механічних випробувань на твердість, абразивну зносостійкість та фрикційний знос); достатньо великим обсягом експериментальних даних, якими обґрунтовано висновки за результатами проведених досліджень; не суперечливістю зроблених за результатами досліджень висновків базовим уявленням сучасного матеріалознавства; наявністю значної кількості публікацій у фахових вітчизняних і рецензованих міжнародних наукових виданнях та апробацією основних результатів роботи на престижних всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях; відповідністю наведених у роботі формулювань, наукових положень, висновків і рекомендацій вимогам МОН України щодо оформлення дисертаційних робіт.

</

3. Вперше показано, що під час плазмоелектролітного оксидування поверхні газотермічних покриттів систем Al+Mg, Al+Ni, Al+Cu, Al+Ti, утворюються легкоплавкі та рідкотекучі евтектики із сумішей оксидів ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NiO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CuO}$), ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$), які легше ніж тугоплавкий оксид Al_2O_3 заповнюють розрядні канали, завдяки чому вдалось зменшити поруватість синтезованих шарів (від 8...10 до 2...3%), підвищити вміст корунду у них (від 30 до 70%), їх мікротвердість (на 300...500 HV_{0,3}) і абразивну зносостійкість (у 4...6 разів).
4. Вперше виявлено закономірності фрикційної взаємодії між плазмоелектролітним оксидним шаром на поверхні електродугового покриття на сплаві Д16 за його тертя з різнотипними контртілами (бабіт, бронза, чавун, сталь, покриття з гальванічно нанесеним хромом) в середовищі мінеральної оливи та показано, що із підвищенням мікротвердості контртіл знижуються і їх коефіцієнт тертя, і температура трибо розігріву, і втрата маси.
5. Вперше термодинамічно обґрунтовано можливість протікання реакцій під час напилювання електродугових покриттів із порошкових дротів для забезпечення їх бажаного фазового складу і на цій основі розроблено склади шихти порошкових дротів системи легування Fe-Cr-Si-Mn-B-C з екзотермічною шихтою для формування зносостійких покриттів методом надзвукового електродугового напилювання. У структурі покриттів виявлено нанорозмірні (50...150 нм) часточки боридів титану, хрому та заліза, які забезпечили покриттям високу

напиленних покриттів та оптимізовано низкою дослідно-промислових перевірок з використанням реально відновлених деталей з геометрією типу «вал» різного призначення, призначених для експлуатації як без доступу абразиву, так і за його потрапляння в зону контакту елементів тертя.

Розроблено оригінальну соплову систему металізатора з використанням принципу подвійного сопла Лавалю, яка дала змогу напилювати покриття надзвуковим повітряним струменем, та оформлено технологічний регламент відновлення деталей типу «вал» різної геометрії. Це конструкційне рішення забезпечило отримання покриттів якісно вищого рівня з високою когезивною і адгезивною міцністю, що є важливим для відновлення інтенсивно зношених елементів машин і устаткування та продовження їх ресурсу.

6. Впровадження результатів.

Результати і практичні рекомендації роботи впроваджені і вже широко використовуються для відновлення поверхонь зношених деталей різного призначення, що засвідчено актами про використання розроблених електродних матеріалів і технологічних рішень в різних галузях промисловості.

На основі отриманих в роботі наукових результатів розроблено технологічний регламент, який використовується технологічному процесі виготовлення порошкових дротів із екзотермічною шихтою, необхідних для відновлення деталей типу «вал» в машинах різного призначення.

7. Повнота викладу основних результатів роботи в наукових фахових виданнях.

Основні результати досліджень, отримані під час виконання дисертації, опубліковані в 47 наукових працях, в тому числі у 22 статтях у фахових наукових виданнях (18 з них входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science), у 9 з перелі

роботі чисто технологічних прийомів в інших електролітах дало б можливість додатково підвищити позитивний ефект анодування.

3. В роботі отримані переконливі результати щодо придатності технології твердого анодування для покращення експлуатаційних характеристик алюмінієвих сплавів. Разом з тим, на жаль, не конкретизовано, до яких саме деталей економічно доцільно використовували цю технологію, і яким шляхом найкраще підвищувати твердість синтезованих шарів: додаванням до електроліту пероксиду водню, продуванням озон-повітряною сумішшю чи завершальною термічною обробкою.
4. З наведених в роботі результатів залишилось не зовсім зрозумілим, чому кількість кисню у покриттях, напилених у надзвуковому режимі залишилась незмінною (або навіть меншою) ніж у покриттях, напилених у дозвуковому режимі. Адже розмір краплин у надзвуковому режимі суттєво менший, а значить поверхня їх взаємодії з повітрям мала б бути більшою. Це не зовсім узгоджується з результатами по вмісту кисню у покриттях і потребує пояснення.
5. На рис. 6.10 (с. 244) показано температурні зони, які виникають на різній віддалі від дуги у шихті ПД під час напилювання покриттів. Не зрозуміло, яким чином вдалось визначили цю температуру?
6. Не зовсім зрозумілим залишилось також, чому збільшення вмісту бору у шихті ПД понад 2 мас.% не призводило до підвищення зносостійкості напилених покриттів, оскільки це передбачає формування тугоплавких боридів, зокрема хрому.
7. У реченні: «Для ЕДП напилених надзвуковим струменем повітря на сталю та алюмінієву основу є характерним дисперсніша структура із меншою кількістю пор ніж напилених дозвуковим струменем» не дотримано правило узгодження відмінків (слово характерним слід замінити на характерною, стор. 266).

Разом з тим перелічені недоліки та зауваження не применшують ні з науково

значимістю одержаних результатів та їх новизною дисертаційна робота Гвоздецького Володимира Миколайовича «Наукові засади підвищення зносостійкості покриттів на алюмінієвих та сталевих виробах шляхом керованого формування їх структурно-фазового стану» відповідає вимогам п.п. 7 та 9 Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою № 1197 Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року щодо докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
доцент, доцент кафедри
комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

Прийнято Павло ПРИСЯЖНЮК

*Згідно з доповіддю
посвідчення
проректора*



С. Зісратий

*Отримано
10.09.25 TLF*