

С.О. ЛУЗАН, В.А. БАНТКОВСЬКИЙ

ПІДВИЩЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ШЛЯХОМ ПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ПОКРИТТЯ ПОРОШКОМ ПГ-19М-01 ЗАМІСТЬ ЛИТОЇ БРОНЗОВОЇ ВТУЛКИ

В роботі запропоновано та досліджено антифрикційні властивості плазмонапиленого покриття порошком на основі міді ПГ-19М-01, пропонуваного замість литої бронзової втулки, виготовленої з бронзи 05Ц5С5, що застосовується в сполученні вал-шестерня приводу насосів роздавальної коробки тягача Т-155. Рентгенофазовий аналіз плазмових покриттів з порошку ПГ-19М-01 показав, що основною фазою в покриттях є твердий розчин алюмінію в міді. Мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено, що склад покриття неоднорідний за товщиною. Результати проведеного дослідження та натурних випробувань показали, що плазмове покриття порошком на основі міді марки ПГ-19М-01 має більш високі триботехнічні характеристики порівняно з литою бронзою 05Ц5С5.

Ключові слова: плазмове покриття, бронза, трибологічні властивості, зносостійкість, мікроструктура

S. LUZAN, V. BANTKOVSKIY

INCREASING THE ANTI-FRICTION PROPERTIES OF THE SURFACES OF MACHINE PARTS THROUGH PLASMA SPRAYING OF POWDER COATING PG-19M-01 INSTEAD OF CAST BRONZE BUSHING

The anti-friction properties of the plasma-sprayed powder coating based on copper PG-19M-01, proposed instead of the cast bronze sleeve made of 05Ts5S5 bronze, used in the coupling of the drive shaft and gear of the T-155 transfer case pumps, were proposed and investigated in the paper. X-ray phase analysis of plasma coatings from PG-19M-01 powder showed that the main phase in the coatings is a solid solution of aluminum in copper. X-ray microspectral analysis established that the composition of the coating is heterogeneous in thickness. The results of the conducted research and field tests showed that plasma coating with copper-based powder PG-19M-01 has higher tribotechnical characteristics compared to cast bronze 05Ts5S5.

Key words: plasma coating, bronze, tribological properties, wear resistance, microstructure

Вступ.

Для виготовлення підшипників ковзання (втулок), що працюють у парі зі сталевими валами, у різних галузях промисловості застосовується бронза 05Ц5С5. Однак процес виготовлення та встановлення втулок досить трудомісткий і потребує значної витрати бронзи, оскільки товщина втулок зазвичай становить 4-6 мм. У цій статті запропоновано та досліджено можливість застосування замість бронзових втулок, запресованих у шестірню та працюючих у парі зі сталевими валами, плазмового покриття порошком на основі міді ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96, нанесеного на вал.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

Відомо, що підшипники ковзання були першими антифрикційними вузлами, що використовувалися з давніх часів і відрізнялися простотою конструкції та надійністю в експлуатації. Еволюція підшипників визначалася вдосконаленням їх матеріалів та мастил, що використовуються в підшипниках для зниження тертя.

У сучасній техніці підшипники ковзання використовуються у парових турбінах, відцентрових компресорах, ДВЗ, потужних електродвигунах. Так, підшипник ковзання ДВС є однією з найважливіших деталей двигуна, що забезпечує надійну роботу. Властивості матеріалу підшипника ковзання безпосередньо впливають на продуктивність двигуна. Підшипник ковзання ДВЗ є однією з найважливіших деталей, вимоги до функціональних властивостей яких продовжують підвищуватися, так само як і до самого матеріалу [1, 2]. Перші підшипники ковзання для ДВЗ виготовляли з бабіту – сплаву олова зі свинцем. Як антифрикційні матеріали використовують сплави на мідній основі (бронзи, латуні). Зросло використання алюмінієвих сплавів. Для підвищення стійкості до задирання алюмінієвих

сплавів до їх складу вводять до 30-40% (за масою) олова (алюмінієво-олов'яні сплави) [3, 4].

Потім замість монолітних бабітових вкладок втулок або підшипників стали використовувати багатошарові вкладиші, які являють собою міцну зігнуту сталеву стрічку як тверду підкладку з нанесеної на неї м'якого антифрикційного шару (сплав алюмінію, бронзи та олова або сплав олова та свинцю).

Матеріал підшипника ковзання повинен мати високу несучу здатність та опір втоми. Крім того, сучасні традиційні матеріали на основі міді являють собою смугу зі сплаву міді (Cu) та свинцю (Pb) – наприклад, CuPb20Sn4, CuPb24Sn і т. д., що широко використовуються при підвищеному навантаженні двигуна. Основну проблему є зміст свинцю в матеріалі. Сучасні тенденції застосування матеріалів для ДВЗ зводяться до посилення екологічних норм та переходу до «зелених» технологій у виробництві, оскільки використання свинцю в двигунах автомобілів, що виробляються серійно, заборонено з 2011 року [5].

Набули застосування спечені антифрикційні матеріали, що дозволили вирішити проблему поліпшення експлуатаційних параметрів машин та механізмів, збільшення швидкостей ковзання та навантажень, розширення терміну служби вузлів тертя, а також скорочення витрат та періодів простою для заміни зношених пар тертя.

Металокерамічні підшипники ковзання застосовують у триботехнічних вузлах, де необхідні низький коефіцієнт тертя (0,005-0,02) та висока зносостійкість [6].

Нині найперспективнішими у сфері виробництва підшипників вважаються керамічні підшипники [7]. Керамічні матеріали в результаті їх строго орієнтованих ковалентних зв'язків і щодо низької концентрації та рухливості дефектів кристалічних ґрат не схильні до схоплювання в процесі притирання. Це вигідно відрізняє їхню відмінність від антифрикційних матеріалів на металевій основі. Термостійкість, жароміцність, корозійна стійкість та низька щільність роблять використання таких матеріалів дуже перспективним у високошвидкісних парах тертя, особливо при підвищених температурах [8-11].

Мета та постановка задачі.

Метою даної роботи є дослідження антифрикційних властивостей покриття, напиленого плазмовим способом порошком на основі міді ПГ-19М-01, у порівнянні з литою бронзою 05Ц5С5. Елементом дослідження обрано сполучення вал-шестерня приводу насосів роздавальної коробки тягача Т-155.

Результати досліджень і їх обговорення.

Покриття наносили методом плазмового напилення на установці УПУ-3Д на основу зі сталі 25ХГТ, що пройшла хіміко-термічну обробку (нітроцементацию), що забезпечує твердість 57-65 HRC у поверхневому шарі глибиною 0,8-1,3 мм. Як вихідний матеріал для напилення був використаний порошок марки ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96, що виготовляється ВАТ "Торезтвердосплав". Його хімічний склад: Cu – (85,5-87,5) %, Al – (8,5-10,5) %, Fe – до 4%. Як плазмоутворюючий газ застосовувалася суміш аргону (85%) і азоту (15%). Режими нанесення покриття: сила струму – А 400 А, напруга – 45 В, витрата плазмоутворюючого газу – 4 м³/год, витрата порошку – 3 кг/год, дистанція напилення – 120 мм, кут напилення – 90±10 град.

Триботехнічні властивості плазмових покриттів ПГ-19М-01 та бронзи 05Ц5С5 вивчали на машині тертя МІ за схемою диск-колодка в середовищі індустриальної олії марки І-20 при наступних режимах: середня окружна швидкість ковзання $V=0,42$ м/с, питомий тиск на колодку при нормальному У процесі становило $q=8,0$ МПа, площа поверхні тертя $1,81 \cdot 10^{-4}$ м². Диск виготовлявся із сталі 45 HRC52, колодки із бронзи 05Ц5С5 та сталі 45 з плазмовим покриттям порошком ПГ-19М-01.

Зносостійкість оцінювалася втратою ваги зразка в процесі тертя, яка визначалася на лабораторних вагах моделі ВЛР-200 г з точністю до 10⁻⁴. Тривалість випробувань вибиралася з таким розрахунком, щоб можна було отримати достовірні та добре відтворювані результати (10⁵ циклів або 8,3 години).

Інтенсивність зношування визначалася за виразом:

$$U = \frac{G_1 - G_2}{\gamma \cdot F \cdot t} \quad (1)$$

де G_1 – вага зразка до випробування; G_2 – вага зразка після випробування; γ – щільність; F – площа поверхні тертя зразка; t – час випробування.

Щільність бронзового покриття порошком марки ПГ-19М-01 та бронзи 05Ц5С5 визначалися за ДСТ 25281 методом гідростатичного зважування.

Момент тертя вимірювався на машині тертя типу МІ при середній швидкості ковзання $V = 0,42$ м/с і різних питомих навантажень на колодку ($q_1 = 4,0$ МПа, $q_2 = 6,0$ МПа, $q_3 = 8,0$ МПа, $q_4 = 10,0$ МПа), а коефіцієнт тертя обчислювався за виразом [12]:

$$K_{mp} = \frac{M_{mp}}{q \cdot F \cdot R} \quad (2)$$

де M_{mp} – момент тертя; R – радіус диска; q – питомий тиск на колодку; F – площа поверхні тертя зразка.

Твердість плазмового покриття та литої бронзи визначалися по Брінеллю ДСТ 9012 на приладі для визначення твердості ХП-250 (Німеччина) вдавлюванням сталеві кульки $\varnothing 5$ мм при навантаженні 250 кгс.

Результати досліджень триботехнічних характеристик показали, що коефіцієнт тертя напиленого плазмовим методом покриття порошком ПГ-19М-01 по загартованій сталі 45 у дослідженому діапазоні слабо залежить від питомого навантаження і дещо збільшується від 0,11 до 0,13. Аналогічно поводить ся коефіцієнт тертя у парі бронза 05Ц5С5 – сталь 45, проте його величина в 1,25-1,3 рази більша (рис. 1).

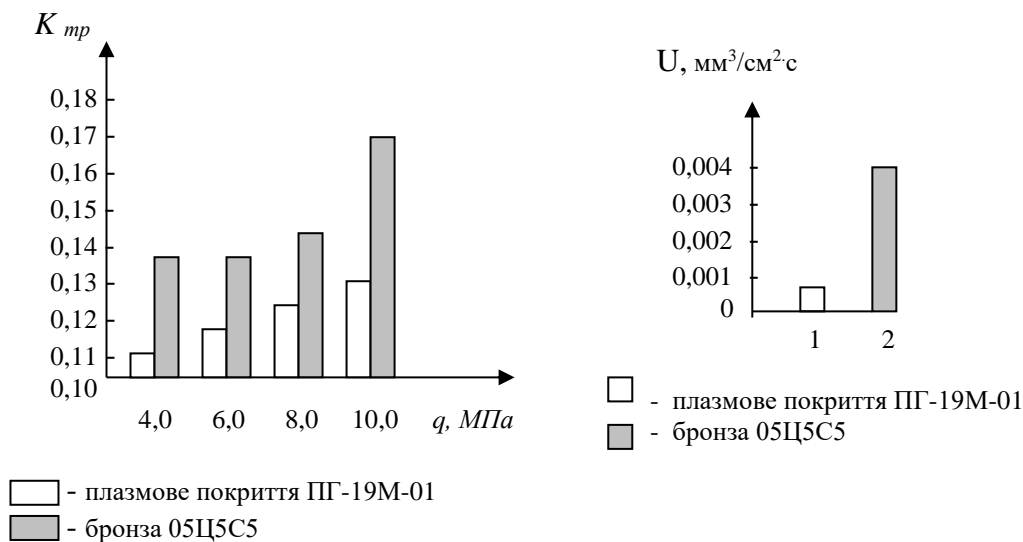


Рис. 1 – Коефіцієнти тертя при нормальному процесі зношування плазмового покриття ПГ-19М-01 та бронзи 05Ц5С5 по сталі 45 HRC52

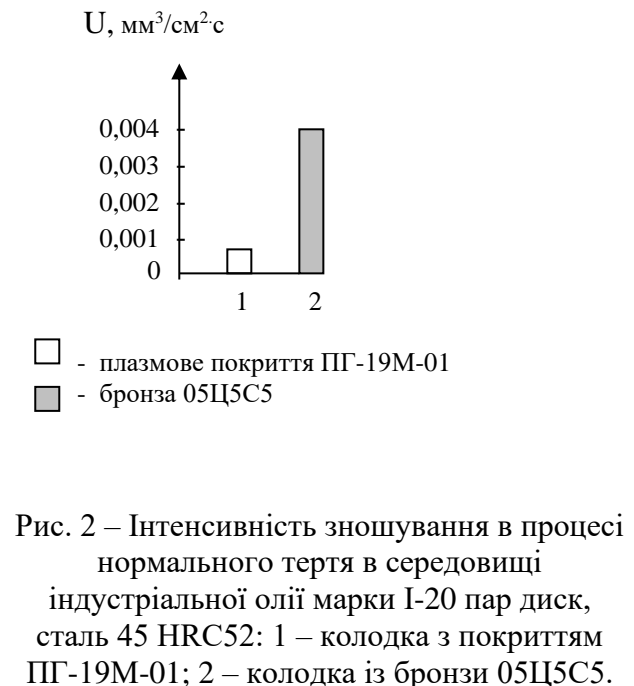


Рис. 2 – Інтенсивність зношування в процесі нормального тертя в середовищі індустріальної олії марки І-20 пар диск, сталь 45 HRC52: 1 – колодка з покриттям ПГ-19М-01; 2 – колодка із бронзи 05Ц5С5.

Результати порівняльних випробувань зносостійкості бронзи 05Ц5С5 та плазмового покриття порошком на основі міді марки ПГ-19М-01 наведено на рис. 2.

Дослідження твердості показали, що твердість напиленого покриття (НВ 107-110) дещо нижча, ніж у бронзи (НВ 110-114).

З метою визначення працездатності та надійності плазмонапиленого покриття було проведено натурні випробування. Для випробувань напиленого покриття вибрали пару вал-шестерня приводу насосів роздавальної коробки тягоча Т-155. У серійному виконанні в

шестірню запресовується втулка, виготовлена з бронзи 05Ц5С5 товщиною 5 мм, за допомогою якої шестерня сполучається з валом (рис. 3).



Рис. 3 – Серійне виконання сполучення вал-шестерня:
а – втулка; б – втулка, запресована у шестірню; в – вал

У дослідному виконанні замість втулки було виготовлено плазмове напилення зовнішньої поверхні валу завтовшки до 2 мм порошком марки ПГ-19М-01 (рис. 4).

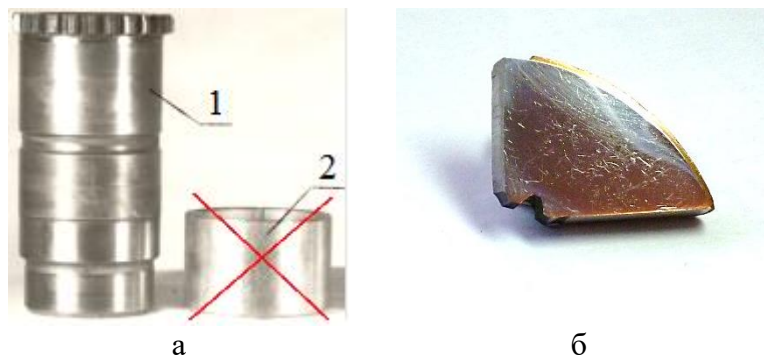


Рис. 4 – Дослідний вал:
а) 1 – плазмове покриття порошком ПГ-19М-01; 2 – серійна втулка;
б) фрагмент валу з плазмовим покриттям порошком ПГ-19М-01

Об'єм випробувань становив 105 км руху в режимі буксирування та 60 запусків двигуна з буксира. Швидкість руху становила 13-15 км/год.

Результати огляду та мікрометражу після випробувань показали, що задирів, піттингів на поверхні шестерні та валу немає. Зношування внутрішньої поверхні шестерні практично відсутнє, напиленої поверхні валу становить 0,02-0,29 мм і вони придатні до подальшої експлуатації.

Для дослідження покриттів застосовували оптичну (мікроскоп МІМ-8), електронну растрову мікроскопію (мікроскоп JSM-840 з системою мікроаналізаторів LINK 860/500), а також рентгенівський мікроаналізатор MAP-3, спосіб рентгеноструктурного фазового аналізу на дифрактометрі ДРОН-2.

Аналіз мікроструктури поверхні покриття показав, що вона вкрай неоднорідна: гладкі безструктурні ділянки чергуються з частинками різної морфології (рис. 5 та 6). Були виявлені численні порожнини та пори на ділянках взаємодії покриття з основою (рис. 6).

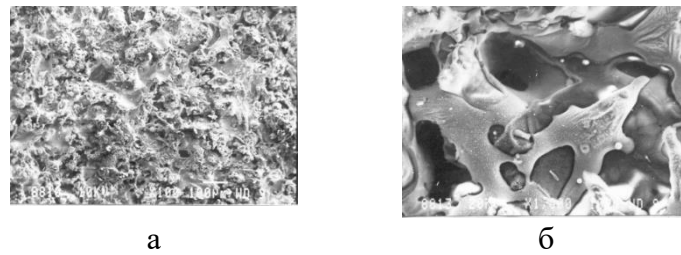


Рис. 5 – Мікроструктура зовнішньої поверхні відокремленого від підкладки покриття:
а – x100; б – x1000

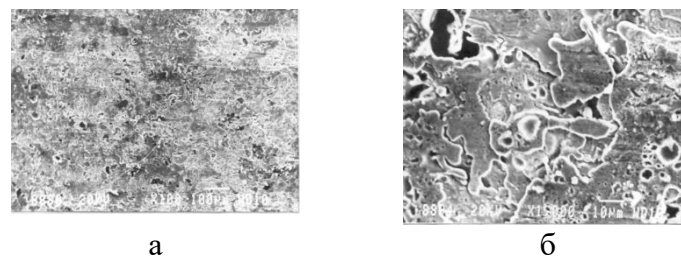


Рис. 6 – Мікроструктура покриття з боку підкладки:
а – x100; б - x1000

Досліджувалися зразки косих шліфів із нітроцементованої сталі 25ХГТ з нанесеним на поверхню покриттям різної товщини із сплаву Cu-Al. Зіставлення мікроструктури досліджених ділянок покриттів товщиною 20 та 30 мкм показало, що вони дещо відрізняються один від одного (рис.7 та 8). Рельєф покриття товщиною 30 мкм грубіший зі слідами оплавлення зерен, що є наслідком більш тривалої дії плазмового струменя.

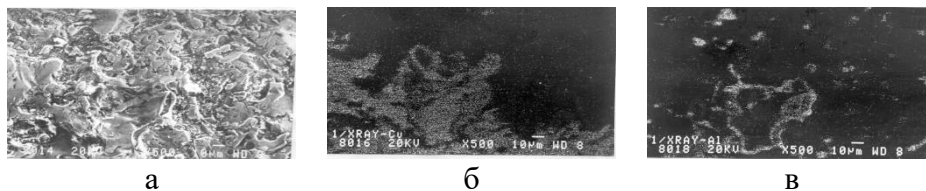


Рис. 7 – Характер розподілу елементів на зовнішній поверхні покриття завтовшки 20 мкм:
а – мікроструктура; б – розподіл Cu; в – розподіл Al

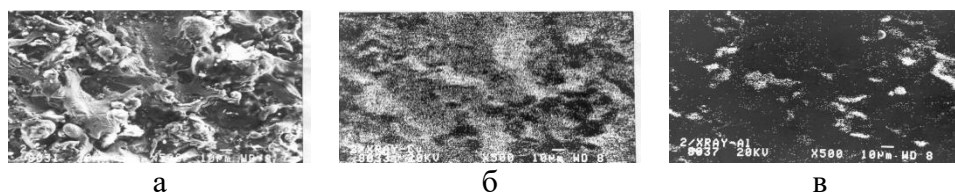


Рис. 8 – Характер розподілу елементів на зовнішній поверхні покриття товщиною 30 мкм:
а – мікроструктура; б – розподіл Cu; в – розподіл Al

Встановлено, що Cu і Al розподілені в обох покриттях нерівномірно (рис. 7 б, рис. 8 б, в). При дослідженні покриттів у характеристичному випромінюванні вищезгаданих елементів виявлено ділянки локально збагачені Cu та Fe.

Триботехнічні властивості плазмових покриттів також вивчали на машині тертя, що дозволяє здійснювати зворотно-поступальний рух напівсферичного індентора плоскою поверхнею зразків. Напівсферичний індентор радіусом 4 мм зі сплаву ВК-8 дозволяв отримати

в зоні тертя контактну напругу 1000 МПа при нормальному навантаженні 9,8 Н сталі 25ХГТ товщиною 20 та 30 мкм. Швидкість ковзання становила 0,018 м/с, шлях тертя – 100 м (5000 циклів) за нормальної температури 20⁰С. Випробування проводили серед мінерального масла МС-20. Ступінь зношування зразків визначали за втратою ваги.

Зношування покриттів на шляху тертя 100 м не перевищувало 0,1 мг, а лінійне зношування (глибина доріжок тертя) склало близько 10 мкм. Коефіцієнт тертя у процесі випробувань дорівнював $k=0,1$ і залежав від товщини покриття. В умовах сухого тертя спостерігалось практично монотонне зростання коефіцієнта тертя від початкового значення $k=0,15$ до максимального $k=0,3$ наприкінці періоду випробувань.

Дослідження зносостійкості сталі 25ХГТ без покриття показали, що в результаті сухого тертя на шляху тертя 100 м відбувається збільшення коефіцієнта тертя від початкового значення $k=0,15$ до $k=0,8$. При терті у середовищі олії МС-20 коефіцієнт тертя протягом усього часу випробувань мав постійну величину $k=0,15$.

Дослідження доріжок тертя показали суттєву відмінність характеру зношування плазмових покриттів для випадків сухого та граничного тертя. При сухому терті, крім пластичної деформації частинок покриття, спостерігався процес мікрорізання, що призводив до утворення подряпин на дні доріжки тертя. Останнє зумовлено схоплюванням частинок зносу з матеріалом індентора та пошкодженням поверхні покриття. Наявність мастила в зоні тертя перешкоджає протіканню процесу схоплювання і практично виключає мікрорізання. Втомне руйнування зерен покриття призводить до утворення дрібнодисперсних частинок зносу розміром близько 1 мкм. Поверхня частинок, що утворилися, інактивується мастилом, що запобігає подальшому схоплюванню як з покриттям, так і з індентором.

Загальну пористість визначали на відокремлених від підкладки покриттях відповідно до ДСТ 18898. Загальна пористість покриттів досягає 46-48%. Це переважно відкрита пористість. Для тонких покриттів 20-30 мкм вона становить 30-35%. Пори у досліджених покриттях характеризуються вираженою полідисперсністю. Основний об'ємний внесок вносять макро-і мікропори розміром від кількох до сотень мікронів. Об'ємна частка субмікропор розміром 1-300 нм не перевищує 10%, їх розмір становить 72-98 нм. Пористість неоднорідна за товщиною покриттів. Загальний обсяг і середній розмір пір знижується в глиб від приповерхневої зони покриття до його основи. Відкрита пористість переважає у поверхневій з боку напилення зоні глибиною 25-30 мкм при товщині покриття 125 мкм. У тонших покриттях формується пориста структура, що має лабіринтний характер, і переважають пори, що мають відкритий вихід назовні.

Рентгенівськими та рентгеноструктурними дослідженнями було встановлено, що нітороцементовані поверхні зразків складаються в основному з γ -Fe, але є також лінії мартенситу та ряд слабких рефлексів, положення яких досить близьке до ліній оксидів заліза та хрому. За зміною положення лінії (222) α - Fe при різних кутах нахилу площин, що відбивають, до площини поверхні були оцінені напруги в поверхневому шарі товщиною 2-3 мкм, що склали величину – 300 МПа [13].

Рентгенофазовий аналіз плазмових покриттів з порошку ПГ-19М-01 показав, що основною фазою в покриттях є твердий розчин алюмінію в міді з періодом решітки $a=3,6479 \text{ \AA}$ значно перевищує період решітки чистої міді $a=3,61479 \text{ \AA}$. Згідно з літературними даними виміряна величина періоду ГЦК решітки α -твердого розчину Cu_3Al відповідає концентрації алюмінію $C=17 \text{ ат.}\%$. Крім того, виявлено дуже слабкі лінії фази Cu_2Al .

Методами рентгенівської тензометрії за положенням лінії (420) α -твердого розчину Cu_3Al встановлено, що покриття товщиною 20 мкм відповідають розтягуючі напруги величиною 235 МПа, що діють у відбитому шарі (шарі, що формує картину дифракції) товщиною до 5 мкм. Для розрахунку напруг за вимірюваною деформацією решітки використовувалося значення модуля пружності $11,8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

У покритті товщиною 30 мкм величина напруг, що розтягують, в 2,5 рази менше і становить 93 МПа, а в покритті товщиною 0,5 мм, відокремленому від основи, залишкові

напруги відповідають 103 МПа на товщині дифракційного шару.

Мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено, що склад покриття неоднорідний за товщиною. Зовнішня частина покриття містить міді 60 ат.%, алюмінію 37 ат.%, з боку підкладки вміст міді становить 80,6 ат.%, а алюмінію – 15,6 ат.%. Вміст заліза як зовнішньої поверхні покриття, так і з боку основи було приблизно однаковим і становило близько 3 ат.%.
 Таким чином, проведені дослідження свідчать, що застосування методу плазмового напилення порошком на основі міді марки ПГ-19М-01 дозволяє отримувати антифрикційні покриття з більш високими триботехнічними характеристиками порівняно з литою бронзою 05Ц5С5, забезпечуючи при цьому значну економію металу.

Висновки.

1. Результати проведеного дослідження показали, що плазмове покриття порошком на основі міді марки ПГ-19М-01 має більш високі триботехнічні характеристики порівняно з литою бронзою 05Ц5С5.

2. На основі отриманих результатів можна рекомендувати застосування у конструкціях транспортних засобів замість бронзових втулок, що працюють у парі зі сталевими валами, плазмове покриття порошком ПГ-19М-01 ТУ У 322-19-004-96, нанесене на вал.

Список літератури

1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. Київ : Техника, 1970. 396 с.
2. Лузан С.О. Комплексна оцінка номенклатури деталей, які визначають ресурс мобільної техніки та її безпеку // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків: 2014. Вип. 148. С. 478-485.
3. Yves Pauleau B.C. Materials surface processing by directed energy techniques // *Europea materials research society series*. 2006. 722 p.
4. Недайборщ С.Д., Щепетов В.В. Повышение эксплуатационных характеристик при восстановлении деталей авиационной техники // Проблемы техники. 2011. №1. С.145-148.
5. Бондаренко В.П. Триботехнические композиты. Київ.: Наукова думка. 1987. 232 с.
6. Трефилов В.И., Моисеев В.Ф. Дисперсные частицы в тугоплавких металлах. Київ : Наукова думка. 1978. 240 с.
7. Tyagi A., Banerijee S. Materials under extreme conditions recent trends and future prospects edited. BARC.: Mumbai, India. 2017. 841 p.
8. Mellor B.G. Surface coating for protection against wear. CRC Press: Boca Raton Boston New York Washington, DC. 2006. 430 p.
9. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I. Gradient composite coating for working surfaces of braking devices // *Science and Technology Journal*. 2018. № 1. pp. 1-8.
10. Технологія ремонту машин та обладнання : курс лекцій / О.І. Сідашенко та ін. Харків : ХНТУСГ, 2017. 361 с.
11. Sidashenko O. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. / O. Sidashenko and others. Kharkiv: KhNTUA, 2017. 340 p.
12. Лузан С.А., Ефименко Н.Г. Исследование структуры и свойств плазменного покрытия из сплава на основе меди // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХП». 2003. Вип.2 (7). С. 57-62.
13. Лузан С.А. Исследования триботехнических характеристик плазменного бронзового покрытия и литой бронзы // Труды 4-ой Международной конференции ОТТОМ-4. Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов. Часть 2. Харьков : НИЦ ХФТИ, ИПЦ “Контраст”, 2003. С. 140-141.

References (transliterated)

1. Kostetskyi B.Y. Trenye, smazka y yznos v mashynakh. Kyiv : Tekhnyka, 1970. 396 s.
2. Luzan S.O. Kompleksna otsinka nomenklatury detalei, yaki vyznachaiut resurs mobilnoi tekhniki ta ii bezpeku // Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Kharkiv: 2014. Vyp. 148. S. 478-485.
3. Yves Pauleau B.C. Materials surface processing by directed energy techniques // *Europea materials research society series*. 2006. 722 p.
4. Nedaiborshch S.D., Shchepetov V.V. Povyshenye ekspluatatsyonnykh kharakterystyk pry vosstanovlenyy detalei avyatsyonnoi tekhniky // Problemy tekhniki. 2011. №1. S.145-148.
5. Bondarenko V.P. Trybotekhnicheskye kompozyty. Kyiv.: Naukova dumka. 1987. 232 s.
6. Trefylov V.Y., Moyshev V.F. Dyspersnye chastytsy v tuhoplavkykh metallakh. Kyiv : Naukova dumka. 1978. 240 s.
7. Tyagi A., Banerijee S. Materials under extreme conditions recent trends and future prospects edited. BARC.: Mumbai, India. 2017. 841 p.

8. Mellor B.G. Surface coating for protection against wear. CRC Press: Boca Raton Boston New York Washington, DC. 2006. 430 p.
9. Pashechko M., Kindrachuk M., Humeniuk I. Gradient composite coating for working surfaces of braking devices // Science and Technology Journal. 2018. № 1. rr. 1-8.
10. Tekhnolohiia remontu mashyn ta obladnannia : kurs lektsii / O.I. Sidashenko ta in. Kharkiv : KhNTUSH, 2017. 361 s.
11. Sidashenko O. Repair Technology of Machinery and Equipment. Lecture course. / O. Sidashenko and others. Kharkiv: KhNTUA, 2017. 340 p.
12. Luzan S.A., Efyomenko N.H. Yssledovanye struktury y svoystv plazmennoho pokrytyia yz splava na osnove medy // Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni: Zbirnyk naukovykh prats NTU "KhPI". 2003. Vyp.2 (7). S. 57-62.
13. Luzan S.A. Yssledovanyia trybotekhnicheskyykh kharakterystyk plazmennoho bronzovoho pokrytyia y lytoi bronzы // Trudy 4-oi Mezhdunarodnoi konferentsyy OTTOM-4. Oborudovanye y tekhnolohyy termicheskoi obrabotky metallov y splavov. Chast 2. Kharkov : NNTs KhFTY, YPTs "Kontrast", 2003. S. 140-141.

Надійшла (received) 19.05.2023 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Лужан Сергій Олексійович (Luzan Sergii) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри зварювання, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4808-0017>; e-mail: khadi.luzan@gmail.com

Бантківський Вячеслав Анатолійович (Bantkovskiy Vyacheslav) – доцент, Державний біотехнологічний університет, доцент кафедри «Технологічні системи ремонтного виробництва та технологія матеріалів», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0275-4848>; e-mail: bantkovskiy@ukr.net