Порівняльні випробування нового композиту зі шліфувальних відходів латуні Л63+(6,0−9,0)%$CaF_2$ продемонстрували переваги у антифрикційних властивостях досліджуваного матеріалу порівняно з литою латунню Л63 (табл. 1).

Таблиця 1 – Трибологічні властивості досліджених матеріалів

| Склад, мас.% | Швидкість ковзання, м/с, навантаження 3,0 МПа | | | | | | Примітка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,0 | | 2,0 | | 3,0 | | |
| | Коеф. тертя | Інтенс. зносу, мкм/км | Коеф. тертя | Інтенс. зносу, мкм/км | Коеф. тертя | Інтенс. зносу, мкм/км | |
| Композит Л63+(6,0−9,0) $CaF_2$ | 0,15-0,17 | 47,0-52,0 | 0,18-0,19 | 68,0-74,0 | 0,25-0,26 | 252,0-258,0 | Режим само-змащення, наявні плівки тертя |
| Лита латунь Л63 [1] | 0,35-0,36 | 352,0-366,0 | 0,38-0,39 | 928,0-944,0 | – | | Поверхні не захищені, посилений знос, схоплення |

Новий композит з регенерованих шліф-відходів латуні Л63 з твердим мастилом $CaF_2$, за режимів тертя V до 2,0 м/с, P до 3,0 МПа утворює антизадирну захисну плівку, яка присутня на обох поверхнях контакту. Це мінімізує коефіцієнт тертя і інтенсивність зношування композиту. Аналіз трибологічних властивостей (табл. 1) дозволяє рекомендувати антифрикційний композит на основі промислових шліфувальних відходів латуні Л63 з домішками твердого мастила $CaF_2$ для деталей вузлів друкарських машин трафаретного способу друку, що працюють за умов V до 2,0 м/с, P до 3,0 МПа.

**Список посилань**

1. Roik T.A., Gavrysh O.A., Maistrenko Iu.Iu. Structure and tribological properties of wear-resistant composites produced from brass waste for screen printing machine parts// Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Springer Nature, Switzerland AG, part of Springer Nature 2025, Vol. 64, Nos. 1-2, May, 2025.- P. 27-35. https://link.springer.com/article/10.1007/s11106-025-00503-2

2. Zemlik M., Roik T., Gavrysh O., JamroziakK. Using silumin grinding waste for new self-lubricating antifriction composites for post-printing equipment// Advances in Science and Technology Research Journal, Poland, 2025, 19(12), pp. 129–137, ISSN is 2299-8624. https://doi.org/10.12913/22998624/209742

*УДК 538.95*

**Широкий Ю.В., канд. техн. наук, доцент**
**Семененко О.Д., асистент**
Національний аерокосмічний університет «ХАІ», м. Харків, o.semenenko@khai.edu

## ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ ЗНОШУВАННЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ЗНОСОСТІЙКИМИ ПОКРИТТЯМИ

Сучасні технології механічної обробки вимагають підвищення продуктивності різання, що досягається за рахунок застосування твердосплавного інструменту з зносостійкими покриттями. Період працездатності такого інструменту складається з двох чітко виражених етапів. Перший і основний – це час роботи до моменту руйнування покриття на передній та задній поверхнях. Другий етап – робота інструменту з уже зруйнованим покриттям до досягнення граничної величини фаски зношування по задній поверхні. Саме така двоетапна

природа зношування принципово відрізняє механізм руйнування покритого твердосплавного інструменту від непокритого.

У непокритого твердосплавного інструменту при напівчистовому точінні інтенсивність зношування визначається переважно адгезійно-втомними, окислювальними та дифузійними процесами на контактних поверхнях. У цих умовах деформування різального клина (опускання передньої поверхні та випирання задньої) проявляється незначно. Зовсім інший характер має зношування інструменту з покриттям, особливо при режимах максимальної продуктивності, коли період стійкості обмежується 15–20 хвилинами. У таких умовах швидкості різання зростають до 200–300 м/мін, а розрахункова температура в зоні різання досягає 750–800 °С. Цей температурний рівень є близьким до граничного навіть для сучасних комбінованих нітридних покриттів типу TiAlN та їх модифікацій [1].

Зносостійке покриття суттєво знижує інтенсивність дифузійних, адгезійних та окислювальних процесів у твердосплавній матриці. Завдяки низькій теплопровідності покриття до моменту його прориву основна частина теплоти відводиться в оброблювану заготовку. Однак підвищені температури активізують процес повзучості різального клина, який визначається якістю твердосплавної матриці. Після руйнуванню покриття тепловий потік у інструмент різко зростає, що ще більше інтенсифікує повзучість матриці та загальний знос.

Дослідження Костюка Г.І. та його учнів детально розкрили роль повзучості різального клина як визначального фактору руйнування інструментів з покриттям [2]. Найбільш пластичною складовою твердого сплаву є кобальтова зв’язка, саме її хімічний склад і вміст визначають інтенсивність повзучості. Чим вищий вміст кобальту в сплаві, тим інтенсивніше проявляється повзучість. У межах однієї марки сплаву інтенсивність повзучості залежить від кількості розчиненого вольфраму в кобальтовій зв’язці: чим менше вольфраму, тим вища повзучість.

Важливо підкреслити, що процес зношування покриття та повзучість матриці відбуваються паралельно в часі. На перший погляд може здатися, що до моменту руйнування покриття інструмент практично не зношується. Однак мікрошліфи різальних кромок спростовують цю думку. Так, уже через 3 хвилини різання на твердосплавному інструменті покриттям TiC (V = 100 м/мін, S = 0,3 мм/об, t = 1,5 мм) по задній поверхні покриття ще повністю збережене, фаска зношування відсутня, але чітко спостерігається опускання передньої поверхні та випирання задньої – класичні ознаки повзучості матриці. На передній поверхні одночасно фіксується зародження лунки зношування та початкова стадія прориву покриття.

Схема деформування різального клина (рис. 1) ілюструє, що через смугу повзучості відбувається «протаскування» об’ємів твердого сплаву в напрямку задньої поверхні. Узагальненими характеристиками повзучості є величина опускання передньої поверхні та розмір контактної площадки по задній поверхні.

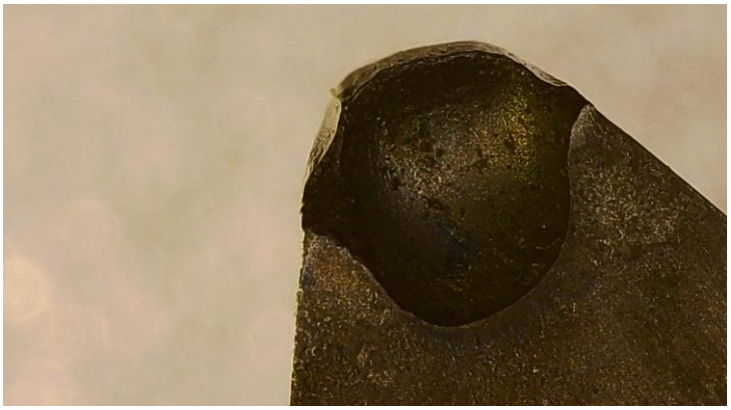

Рис. 1 – Деформування різальної частини твердосплавного інструменту

Деякі автори вважають, що працездатність покриття не залежить від марки твердосплавної матриці та визначається лише хімічним складом, товщиною та кількістю шарів покриття. Не заперечуючи впливу параметрів покриття, слід зазначити, що така незалежність можлива лише за умови ідеальної та стабільної якості матриць, що важко забезпечити через особливості технології спікання. Насправді між зношуванням покриття та повзучістю матриці існує тісний взаємозв'язок: опускання передньої поверхні створює додаткові розтягувальні напруження в покритті, що прискорює його руйнування.

Покриття виконує двоїсту роль у механізмі зношування. З одного боку, воно підвищує стійкість інструменту. З другого – утворена під час роботи мережа тріщин призводить до відшарування фрагментів покриття, які втягуються в рух оброблюваним матеріалом і «пропахують» матрицю, спричиняючи додаткові пошкодження. Тому критичним є вибір раціональних режимів різання, що відповідають оптимальній температурі в контактній зоні.

Отже, працездатність твердосплавного інструменту з покриттям визначається сукупністю двох взаємопов'язаних факторів: зносостійкістю самого покриття та якістю (опором повзучості) твердосплавної матриці. Ці процеси протікають паралельно, і їх інтенсивність у конкретних умовах металообробки остаточно визначає ресурс інструменту.

Перспективи вдосконалення технології полягають не лише в оптимізації хімічного складу та структури покриттів, але й у суттєвому підвищенні якості твердосплавної матриці – насамперед її здатності протистояти повзучості при високих температурах різання. При розробці методів оперативної діагностики різальних властивостей такого інструменту обов'язково необхідно враховувати як властивості покриття, так і характеристики матриці.

**Список посилань**

1. Широкий Ю. В. Підвищення ефективності деталей машин та різального інструменту комбінованими методами обробки / Ю. В. Широкий, Ю. О. Сисоєв, О. Д. Семененко, О. В. Торосян // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – 2025. – № 106. – С. 84–107.

2. Kostyuk G. I. Influence of the method of setting thermophysical and thermomechanical characteristics of B3 hard alloy on the nature and efficiency of nanostructure formation / G. I. Kostyuk, O. D. Semenenko // Вісник НТУ «ХПІ». – 2018. – № 34 (1310). – С. 40–46.

*УДК 621.371*

**Філатов Ю.Д., докт. техн. наук, професор**
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, filatov2045@gmail.com
**Сідорко В.І., докт. техн. наук, доцент**
ДП "Інженерно-виробничий центр АЛКОН" НАН України, sidorko@ism.kiev.ua
**Ковальов С.В., канд. техн. наук**
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, skovalyov2@gmail.com
**Ковальов В.А., канд. техн. наук, доцент**
**Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент**
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, urchyshynoks@ukr.net

## УТВОРЕННЯ НАЛЬОТУ НА РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ ПРИТИРА ПІД ЧАС ПОЛІРУВАННЯ МІДІ

Підвищення якості деталей оптотехніки з міді можливе лише за удосконалення технології їх полірування та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу швидкість зняття оброблюваного матеріалу і необхідні точність форми і шорсткість полірованої поверхні за відсутності нальоту на поверхні притира, що спричиняє зниження показників полірування [1]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей розсіювання наночастинок зносу оброблюваного матеріалу (шламу) і наночастинок зносу полірувального порошку під час полірування міді та утворення нальоту з цих наночастинок на поверхні притира.