

ДОСЛІДЖЕННЯ РУЙНУВАННЯ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ НАШАРУВАНЬ ЗНОСОСТІЙКИМ СПЛАВОМ

Попов Сергій Миколайович,
доктор філософських наук, професор,
Гребешков Михайло Олександрович,
аспірант,
Національний університет «Запорізька політехніка»,
м. Запоріжжя, Україна

Вступ. Зносостійкі сплави широко застосовуються для підвищення тривалості служби деталей вузлів машин та механізмів, що працюють у важких умовах експлуатації. Однак під дією навантажень, температурних перепадів, агресивних середовищ та механічних контактів відбуваються руйнування та викрошування покриття, що знижує його ефективність. Процеси деградації можуть мати різний характер залежно від складу сплаву, технології нанесення покриття та умов експлуатації. Саме тому важливо розуміти механізми руйнування, щоб розробити більш ефективні та довговічні покриття.

Мета роботи. Вивчення механізмів руйнування поверхонь, покритих зносостійкими сплавами, в умовах різних експлуатаційних навантажень. У роботі проаналізовано мікроструктурні зміни, що відбуваються в покриттях під впливом механічного та хімічного зносу, а також на визначення основних факторів, що впливають на довговічність покриттів. Крім того, дослідження має на меті розробку рекомендацій щодо оптимізації складу та технології нанесення зносостійких сплавів, що дозволить покращити їх експлуатаційні характеристики та підвищити стійкість до руйнування.

Матеріали та методи. Дослідження проводили на зразках, виготовлених із застосуванням зносостійких покриттів на основі Fe-C-B-Cr-Ti, нанесених методами наплавлення. Використовували конструкційну сталь, яка має достатній рівень механічних властивостей і широко застосовується в машинобудуванні. Вивчення механічних властивостей покриття включало тести на твердість методом Віккерса, випробування на абразивне зношування

та оцінку ударної в'язкості.

Результати та обговорення. За результатами дослідження твердості, абразивного зношування та ударної в'язкості можна зробити висновок про вплив мікроструктури, товщини покриття та вмісту боридно-карбідних фаз на експлуатаційні характеристики наплавлених шарів Fe–C–B–Cr–Ti.

Твердість покриттів (таблиця 1) суттєво перевищує твердість звичайних сталей завдяки утворенню великої кількості високоміцних боридів (Fe₂B, CrB) та карбідів (Cr₇C₃, TiC).

Таблиця 1

Результати твердості

Зразок	Товщина покриття, мм	Твердість матриці HV₅₀, ГПа	Твердість включень HV₅₀, ГПа	Примітки
N-1	2,0	7.50 ± 0.25	11.20 ± 0.30	Базовий режим наплавлення
N-2	2,5	7.90 ± 0.20	11.50 ± 0.40	Оптимізований склад присадного дроту
N-3	3,0	8.60 ± 0.25	11.80 ± 0.50	Товстіший шар, більша кількість боридних включень

Вимірювання мікротвердості виявили два яскраво виражені рівні: матриця мала твердість у межах 7–9 ГПа, у той час як включення досягали 11-12 ГПа. Такий контраст є характерним для гетерогенних структур, що формуються внаслідок швидкого охолодження наплавленого металу та насичення його бором, вуглецем і хромом.

Збільшення вмісту боридів і карбідів позитивно впливає на твердість, однак може спричиняти зниження ударної в'язкості та підвищену схильність до утворення тріщин.

Результати випробувань на абразивне зношування (таблиця 2) підтверджують, що висока твердість покриттів забезпечує значне зниження втрат маси у порівнянні зі звичайною конструкційною сталлю.

Результати випробування на абразивне зношування

Зразок	$\Delta M, \text{mg} (\pm\sigma)$	Відносний коефіцієнт зносу	Примітки
N-1	12 ± 2	0,24	Достатньо висока зносостійкість
N-2	10 ± 2	0,20	Покращена структура, мінімум пір і тріщин
N-3	15 ± 3	0,30	Товстіший шар - локальні залишкові напруги, можливі тріщини

Примітка: За 1,0 взято зразок, що мав найбільшу втрату маси (конструкційна сталь без покриття).

Для наочної ілюстрації взаємозв'язку між товщиною покриття, твердістю та зносостійкістю побудовано графік (рис. 1). Як видно, при збільшенні товщини від 2,0 до 2,5 мм твердість та зносостійкість зростають. Однак при товщині 3,0 мм спостерігається зниження зносостійкості, що пояснюється підвищенням внутрішніх напруг та можливим утворенням мікротріщин. Це підтверджує необхідність пошуку оптимальної товщини покриття для досягнення максимальної ефективності.

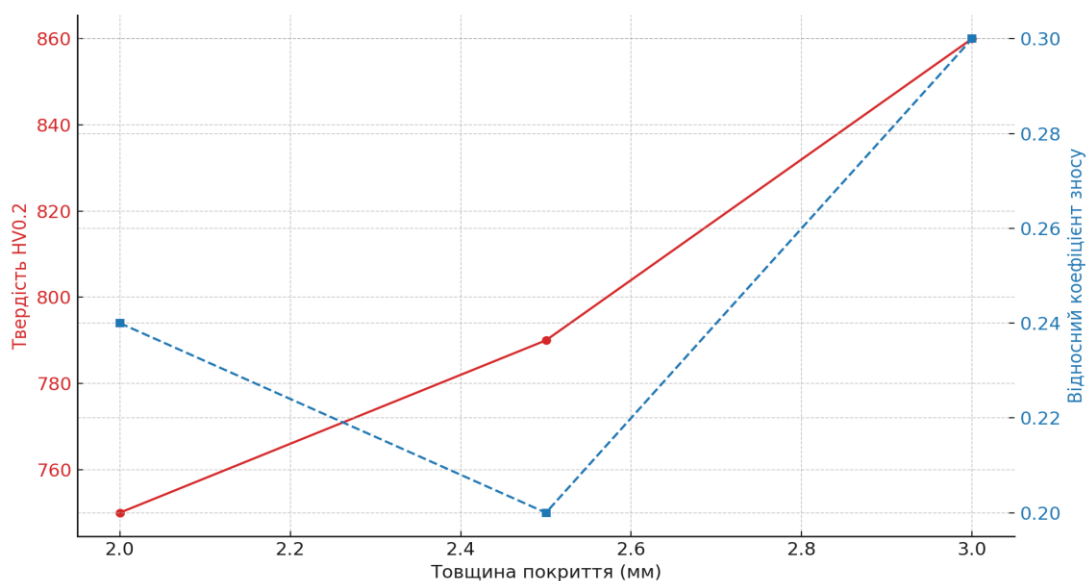


Рис. 1. Взаємозв'язок між товщиною покриття, твердістю та зносостійкістю

Для базових режимів наплавлення (зразок N-1) втрата маси під час тесту «сухий пісок – гумове колесо» перебувала на рівні 12 ± 2 мг, тоді як у деяких контрольних сталей без покриття цей показник може перевищувати 40–50 мг. При оптимізованих режимах наплавлення (N-2) зменшення втрат маси ще більш виражене, що свідчить про важливість ретельного підбору складу та технології наплавлення. Водночас у випадку найтовстішого шару (N-3) спостерігалось незначне зростання втрати маси порівняно з N-2, що може пояснюватися частковим утворенням тріщин або залишкових напруг у більш масивному шарі.

Ударна в'язкість (KCV) (таблиця 3) продемонструвала зворотний взаємозв'язок із твердістю та вмістом твердих крихких фаз.

Таблиця 3

Оцінка ударної в'язкості

Зразок	KCV, Дж/см² ($\pm\sigma$)	Примітки
N-1	12 ± 1	Добра металургійна зчіпка; помірна товщина шару
N-2	10 ± 1	Більше боридних фаз - вище твердість, однак дещо нижча в'язкість
N-3	8 ± 2	Товстіший шар; підвищений ризик гарячих тріщин, що спричиняє зниження ударної в'язкості.

Порівняно з основним металом (конструкційна сталь), показники ударної в'язкості наплавлених покриттів є нижчими, що пов'язано зі зростанням обсягу боридів і карбідів, які, хоч і підвищують твердість та зносостійкість, одночасно зменшують пластичність. Так, при збільшенні товщини покриття від 2,0 мм (N-1) до 3,0 мм (N-3) ударна в'язкість знизилася приблизно з 12 Дж/см² до 8 Дж/см². Цей факт підтверджує, що в реальних умовах експлуатації, де існують ударні та циклічні навантаження, дуже товсті покриття можуть бути більш схильними до руйнування. Тому необхідно шукати оптимальний компроміс між жорсткістю (твердістю) та в'язкістю, орієнтуючись на конкретні

умови роботи деталі.

Загалом, отримані результати демонструють, що наплавленні шари Fe–C–B–Cr–Ti є високоефективними для підвищення абразивної зносостійкості та можуть застосовуватися для відновлення й зміцнення деталей, які працюють за умов інтенсивного зносу. З іншого боку, збільшення кількості твердої (боридно-карбідної) фази та товщини покриття хоч і посилює опір абразивному зношуванню, проте знижує ударну в'язкість і може ускладнювати експлуатацію у випадках динамічних або ударних навантажень. Таким чином, у кожному конкретному випадку варто застосовувати комплексний підхід до вибору складу, технології нанесення та необхідної товщини покриття, щоб досягти максимальної ефективності та надійності в робочих умовах.

Висновки. Зносостійкі сплави є ефективним способом підвищення експлуатаційної довговічності деталей, проте їхній склад та структура мають бути ретельно оптимізовані для конкретних умов навантаження. Проведене дослідження показало, що модифікація складу сплаву та оптимізація технології нанесення покриття можуть значно покращити їхню ефективність. Оптимальна товщина покриття становить 2,5 мм, оскільки при більшій товщині (3,0 мм) спостерігається зростання залишкових напруг і зниження ударної в'язкості. Подальші дослідження у цьому напрямку дозволять розробити нові покоління зносостійких покриттів з покращеними механічними властивостями та підвищеною стійкістю до руйнування.