

28. Денисенко М.І. ВСП «Немішайівський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України, с. Немішаєво, Україна. Дев'ятко О.С. Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.

**ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХНЕВО ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ НА СТАЛЯХ МЕТОДАМИ,
ЗАСНОВАНИМИ НА НАСИЧЕННІ БОРОМ**

Вступ. Відомо, що суттєво підвищити терміни експлуатації деталей і елементів машин можливо шляхом формування на їх поверхні шарів або покриттів, що мають високий рівень потрібних

властивостей – твердості, зносостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості. Це пояснюється тим, що поверхневі шари деталей при експлуатації навантажені більш інтенсивніше, ніж серцевина, і, відповідно, утворені напруження на поверхні мають максимальні значення, що призводять до втрати працездатності як поверхневого шару, та всієї деталі. Універсальних технологій зміцнення, на жаль, не існує. У наукових працях українських і закордонних дослідників відмічається ефективність насичення сталі бором сумісно з іншими елементами. Для цих цілей використовується вуглець, титан, хром, магній, молібден, вольфрам. Боровання сталевих деталей військової і цивільної техніки (подвійного призначення) представляє собою дифузійне насичення бором поверхневого шару [1, 2]

Дифузійне насичення бором поділяють за технічними ознаками, температурою проведення процесу, фазовим складом і структурою. Зважаючи на технологічні особливості процесу розрізняють боровання у порошкових сумішах, газових і рідких (електролізне, рідинне без електролізне) середовищах, із паст і суспензій. Як правило, підвищення абразивної зносостійкості деталей вирішується шляхом використання твердосплавного наплавлення або напилювання металокераміки.

Матеріали і методи. Як показує практика, найбільш перспективним і технологічно прийнятним методом зміцнення швидкозношуваних деталей сільськогосподарської техніки і знарядь являється боровання. Процеси боровання використовуються у промисловому виробництві для підвищення зносостійкості деталей і інструментів, працюючих у різноманітних умовах. Щоби представити сучасний стан процесу боровання, необхідно дати класифікацію, яка розглядає процес за різними критеріями:

- механізм утворення насичуючих атомів бору;
- технологічні ознаки, що включають всі відомі розробки;
- фазовий склад і структура;
- температура проведення процесу та його призначення.

Боровані шари на основі боридів можуть бути компактними або некомпактними. Технологія отримання різних за властивостями та цільовим призначенням борованих шарів поділяється на високотемпературне (ВТБ) - 900° - 1100° С, середнє температурне (СТБ) – A_c - 900° С та низькотемпературне (НТБ) - 550° С насичення (де – A_{c1} - довідкова критична температура для конкретної сталі). У кожному інтервалі, як правило, використовуються свої певні склади і технологічні прийоми.

Результати та обговорення. Найбільш перспективним для використання являється процес рідинного без електролізного боровання, котрий дозволяє у широких межах конструювати одно- і багато зонні структури поверхневого шару та надавати задані властивості серцевині (від відпаленого до загартованого стану). Опір поверхні матеріалу впливу зовнішнього середовища при експлуатації залежить від її електрохімічної гетерогенності, від наявності щільних захисних вторинних структур, що утворюються у процесі тертя, і від виду зовнішнього середовища. З точки зору, корозійного впливу борованих шарів з зовнішнім середовищем, найбільш прийнятною являється однофазна структура. З точки зору зношування борованих деталей за абразивного і граничного тертя ковзання кращі властивості мають деталі з компактною структурою (характерною структурою борованих шарів на залізі і сталях на основі фаз $FeB + Fe_2B$ або тільки фази Fe_2B) борованих фаз.

Газове боровання – цей метод вважається більше вдосконалим методом насичення бором. Боровання здійснюється в активному газовому середовищі, і при більш низьких температурах $800-850^{\circ}$ С протягом 2-6 год, і дозволяє отримати борований шар товщиною 50-200 мкм. Газове боровання відбувається за допомогою суміші диборану B_2H_6 і водню, коли зразки нагрівають у струмі водню, і подають у реактор робочу суміш.

Поверхневе зміцнення зразків зі сталі 45 здійснюється у боровмісних сумішах. Досліджено вплив процесу боровання на структуру та експлуатаційні властивості деталей шарнірних з'єднань пруткових елеваторів, і трясильного механізму картофеле збиральних машин ККУ-2, УКВ-2, КСТ-1,4. Ці деталі в основному визначають експлуатаційну надійність та довговічність машини у цілому. Деталі, що підлягали борованню, були виготовлені зі сталей 20, 35, 40 та чавуну марки СЧ 18-36. Перед борованням деталі підлягали дробо струменевої обробці з ціллю видалення окалини, продуктів корозії.

З усього різноманіття структур борованих шарів [1-3] практичний інтерес викликають однофазні боровані шари (Fe_2B) і двофазні ($FeB + Fe_2B$). В якості боровмісних сумішей були вибрані: 1) 99% ($60\% Al_2O_3 + 40\% [95\% (45\% Al + 55\% B_2O_3) + 5\% Cr_2O_3]$) +1% LiF; Структуру дифузійних шарів визначали шляхом травлення полірованих зміцнених поверхонь 3% розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Мікротвердість борованих шарів і серцевини вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3.

У якості контртіла була швидкоріжуча сталь P8M5 загартована на твердість 65 HRC. Знос борованого покриття визначалася ваговим методом на електронних вагах. Навантаження і швидкість я вибрали за умов реалізації граничного тертя. Дослідження мікроструктури до і після випробувань проводили на мікроскопі NEOFOT – 21; субмікроструктуру вивчали на растровому електронному мікроскопі РЕМ- -1061. Підвищення питомого навантаження у діапазоні 12-25 МПа призводить до істотної зміни коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування, що є відображенням процесів, які розвиваються на контактуючих поверхнях.

У цих умовах тертя на робочих поверхнях двофазного покриття утворюють макро тріщини, що сприяють сколювання їх частинок, які, потрапляючи в зону тертя, стимулюють абразивне зношування в зв'язку з тим, що вони мають високу твердість. Пластичність борованих шарів представляє собою сукупну характеристику, котра залежить від механічних властивостей і взаємодії структурних складових дифузійного шару, від властивостей металу основи.

Так, наприклад, у результаті підвищення твердості під шару з 20 HRC до 42 HRC, зносостійкість борованого шару деталей зростає навіть у 1,5 рази. Особливістю будови дифузійного борованого шару на порошковому матеріалі, являється підвищена поруватість у шарі Fe_2B , і перехідній зоні, що прилягає до нього. Крім того, спостерігається більш глибоке проникнення бору та утворення у перехідній зоні розділених дрібнодисперсних (5 – 10 мкм) борідних фаз.

Перехідна зона на межі з основою представляє собою твердий розчин бору у α -залізі. Її структура, глибина і склад визначають, зокрема, характер розподілення залишкових напружень, міцність зв'язку борованого шару з основним металом, схильність його до крихкого руйнування, умови утворення та розвитку втомних тріщин, можливість продавлювання шару та інші параметри, тому при виборі сталі, і режиму борування, необхідно враховувати особливості формування структура перехідної зони. При насиченні у різних боровмістких середовищах, у залежності від умов насичення утворюються борвані шари, що суттєво відрізняються за своєю будовою. Можливо утворення наступних структурних типів боридів:

- з ізольованими атомами бору – Cr_2B , Ni_2B ;
- з ланцюгами з атомів бору - CrB , FeB , MoB ;
- зі подвійними ланцюгами з атомів бору – Ti_3B_4 , Cr_3B ;
- з сітками з атомів бору – AlB_2 , Mo_2B_5 ;
- з каркасом з атомів бору – CrB_4 .

З'єднання бору, такі як карбід бору, кубічна модифікація нітриду бору (боразон і кубоніт), і гексагональна вюрцитна модифікація нітриду бору (гексаніт), використовуються у промисловості, у якості абразивних матеріалів від їх високої твердості. Для сталей, зокрема, має велике значення, співвідношення глибин зовнішнього шару фази FeB , і внутрішнього, що прилягає до основного металу шару фази Fe_2B (рис.1).

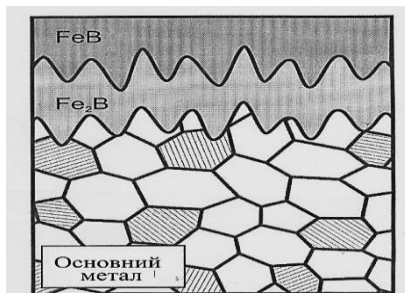


Рис. 1. Будова борованого шару, сформованого за дифузійним механізмом.

Найбільш часто при боруванні утворюються шари двох типів: однофазні (Fe_2B) і двофазні ($FeB + Fe_2B$). В однофазних покриттях, що складаються з бориду Fe_2B , розподілення мікро напружень найбільш сприятливе, тоді як у двофазних покриттях ($FeB + Fe_2B$) можливо різкий перепад напружень на між фазній границі. Причому напруження, що утворюються у фазі FeB , являються розтягненими, тоді як у фазі Fe_2B – стискуючими. Властивості борованих покриттів слабо залежать від способу, за котрим вони отримані, але у значному ступені визначаються основними технологічними параметрами процесу: активністю насичуючого середовища, температурою та тривалістю насичення, швидкістю охолодження після борування. Дифузія бору у поверхню сталі призводить до утворення шару зі зазубреною границею, яка з'єднується з основним металом або перехідною зоною.

Висновки. Результати випробувань показують чотирьох кратне підвищення абразивної зносостійкості борованих шарів у порівнянні з загартованими, азотованими, і після карбонітрації. Це

пояснюється тим, що твердість борованого шару $HV > 2200$ вище твердості абразивних часток Al_2O_3 ($HV = 1850 - 1950$) [4]. Зношування борованої поверхні відбувається повільно за механізмом ковзання. Проведені дослідження абразивного зношування борованих шарів з різною структурою показали, що максимальну зносостійкість мають дво фазові шари, а мінімальну – шари з псевдо евтектичною структурою, що узгоджується з їх твердістю.

Список використаних джерел

1. М.І.Денисенко Дослідження механізму зношування боридних покриттів в умовах граничного тертя / М.І.Денисенко. Науково-технічний журнал. Проблеми тертя та зношування. Київ. НАУ.2018, №3 (80). С. 36-40

2. Лабунець В.Ф. Триботехнические характеристики порошковых материалов на основе железа после борирования / В.Ф.Лабунец, Н.И.Денисенко, Г.Г.Голембиевский: Київ. НАУ. 2017, №3 (76). С.81-86.

3. Лабунец В.Ф. Износостойкие боридные покрытия / В.Ф.Лабунец, Л.Г.Ворошнини, М.В.Киндрачук. – К.: Техніка, 1989. – 158 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ



ЗБІРНИК ТЕЗ

XI Міжнародної науково-практичної конференції
**«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій
та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»**

<https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>



11 квітня 2025 року
м. Житомир

<https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>

УДК 631.2:621.017:615.281:340(477)

Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. PTDSTSAMT-2025» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія». 11 квітня 2025 року. МОН України. Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. 2025. 333 с. <https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>.

Рекомендовано до друку методичною радою Житомирського агротехнічного фахового коледжу МОН України (протокол від 10.04.2025 р. № 6)

Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference "Prospects and Trends in Development of Structures and Technical Service of Agricultural Machinery and Tools. PTDSTSAMT-2025." on occasion of the 30th anniversary of the initiation of the preparation of the Bachelor's Entity in the specialty "AgroEngineering". April 11, 2025. Ministry of Education and Science of Ukraine. Zhytomyr Agrotechnical Professional College. Zhytomyr. 2025. 333 p. <https://doi.org/10.64165/proceeding-ptdstsamt.2025>.

В збірнику представлені тези доповідей науково-педагогічних працівників, наукових співробітників, аспірантів та студентів Житомирського агротехнічного фахового коледжу, провідних вітчизняних і закордонних закладів вищої освіти та наукових установ, в яких розглядаються завершені етапи розробок.

The collection presents abstracts of reports by scientific and pedagogical workers, researchers, postgraduates and students of the Zhytomyr Agrotechnical Professional College, leading domestic and foreign higher educational institutions and scientific institutions, which consider the completed stages of development.

Передрук або інше відтворення в будь-якій формі в цілому або частково матеріалів, опублікованих у цьому віданні, дозволено лише за посиланням на джерело і дотриманням вимог законодавства