

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ БОРИДНИМИ ПОКРИТТЯМИ ЗА УЧАСТЮ МІДІ

Исследованы износостойкость боридных покрытий легированных Cu, V, Nb, Cr или Ti соответственно, проведенное в условиях сухого трения – скольжения на воздухе, и установлено, что лучшими покрытиями для этих условий являются боридные слои легированные медью. Легирование медью повышает износостойкость боридных слоев в 3 раза. При легировании боридных слоев ниобием износостойкость возрастает в 2,8 раза, титан в – 2,4 раза, хромом и ванадием – в 1,5 раза по сравнению с нелегированными покрытиями. Износостойкость боридных покрытий в условиях сухого трения – скольжения в 14 раз выше износостойкости бронзы системы Cu – Al – Mn и в 31 раз возрастает износостойкость при применении боридных слоев легированных медью.

We researched of wear resistance of boron coatings alloyed with Cu, V, Nb, Cr or Ti under dry friction – slip in the air, and it was determined that the best coatings are the boride layers alloyed with copper. Alloying with copper increases wear resistance of boride layers in 3 times. When alloying of boride layers with niobium wear resistance increases in 2,8 times, with titanium – in 2,4 times, with chromium and vanadium – in 1,5 times. Wear resistance of boride coatings alloyed with copper under dry friction – slip 14 times higher than wear resistance of bronze of Cu – Al – Mn system and wear resistance increases when applying boride layers alloyed with copper.

Сучасне виробництво ставить високі вимоги до підвищення ресурсу та надійності роботи машин та механізмів. Покращення цих характеристик є можливим за умови використання відповідних конструкційних матеріалів, які б оптимально поєднували високу твердість, пластичність, а відповідно і зносостійкість. Тому однією з важливих задач яка стоїть перед матеріалознавцями – підвищення триботехнічних характеристик існуючих матеріалів та покриттів або створення нових з наперед заданими властивостями.

Поверхнєве насичення сплавів одночасно двома і більш елементами (багатокомпонентне дифузійне насичення) має переваги в порівнянні з насиченням одним елементом. Воно дозволяє поєднувати в отриманому покритті властивості, що створюються окремими елементами, з особливими властивостями їх сполук [1].

Багатокомпонентні дифузійні боридні покриття володіють цілим комплексом фізико – хімічних і механічних властивостей, що обумовлюють високу зносо-, жаро- і корозійну стійкість виробів, підданих хіміко – термічній обробці. Багатокомпонентні дифузійні покриття перевершують однокомпонентні покриття по експлуатаційних властивостях, при цьому технологія їх отримання практично не ускладнюється [2].

Метою роботи є дослідження поведінки легованих боридних покриттів в умовах контактного зношення при сухому терті – ковзанні, а також виявлення як легуючі елементи впливають на показники зносостійкості в цих покриттях. Відомо, що в результаті насичення сталей бором можуть утворитись поверхневі шари з різноманітною структурою і високим комплексом властивостей. У зв'язку з цим, удосконалення процесів поверхневого легування сплавів одночасно В та Сг, В та Cu, В та Nb, В та V, В та Ti при хіміко-термічній обробці у порошкових сумішах є актуальною задачею, яка представляє теоретичний і практичний інтерес.

Дослідження проводилось на зразках із сталі 20 та 45. Їх насичення проводили у боромісткому порошку технічного B_4C з добавками фторопласту, як активатору, та в сумішах порошків бормісткого компонента з легуючими елементами: Cu, V, Nb, Cr, Ti. Застосовували суміші раціональних складів, розроблених на кафедрі металознавства і термообробки Національного технічного університету "Київський політехнічний інститут". Склади сумішей приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Раціональні склади порошкових сумішей для борування сталей

п/п	Склад насичуючої суміші, % по масі при 1% фторопласту	Температура нагріву, °C	Час витримки, год
1	$B_4C + 1\%$ фторопласту	975	3
2	84% $B_4C + 15\%$ Ti		
3	96.5% $B_4C + 2.5\%$ V		
4	95% $B_4C + 4\%$ Cr		
5	86% $B_4C + 9\%$ Cu_3P		
6	95% $B_4C + 4\%$ Nb		

Дифузійне насичення вуглецевих сталей в боруючих порошкових сумішах складів приведених в табл.1 призводить до формування боридних фаз FeB та Fe_2B товщиною 120 – 140 мкм. Легуючі елементи утворюють відповідні тверді розчини заміщені в решітці заліза (Fe, Me)B, (Fe, Me) $_2$ B. Наприклад, введення в насичуюче середовище порошку хрому раціонального складу приводить до легування боридних фаз: (Fe, Cr)B, (Fe, Cr) $_2$ B. При

цьому спостерігається зміна періодів кристалічних ґраток боридних фаз. Легування боридів заліза хромом приводить до зменшення об'єму ромбічної комірки, що зв'язано з розчиненням хрому в боридних фазах до 0,3 – 1,2% ат. При цьому мінімальний об'єм ромбічної комірки фази FeB, отриманої на сталі 45 відповідає 4% мас. Cr у насичуючому середовищі і складає $65,763 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^3$, тоді як об'єм вихідної фази FeB дорівнює $65,899 \cdot 10^{-3} \text{ нм}^3$. Основний внесок у зменшення об'єму елементарної ромбічної комірки вносить зміна параметра «С». Зіставлення результатів виміру об'єму елементарних ромбічних ґраток фази FeB і її мікротвердості в залежності від вмісту хрому в насичуючому середовищі виявило зворотню залежність між цими характеристиками. Максимальному значенню мікротвердості відповідає мінімальне значення об'єму елементарної комірки ромбічних ґраток фази FeB при 4% мас. Cr у порошковому середовищі, при борохромованні сталі 45. Максимальні значення мікротвердості дифузійних шарів досягаються при 4-6% мас. хрому і складають для фази FeB 21,20 ГПа, а для фази Fe₂B 21,150 ГПа на сталі 20, на сталі 45 – 21,00 ГПа і на сталі У8 – 18,4 ГПа. Пошаровий фазовий рентгенівський аналіз боридного покриття дозволив ідентифікувати на поверхні шару фази FeB, а під нею фази Fe₂B. Найбільш інтенсивні відбиття від площин фази Fe₂B мали рефлекси (002), (112), (004) при зйомці вихідного зразка. Судячи з інтенсивності індексів зареєстрованих піків, фаза Fe₂B знаходиться в текстурованому стані. Фіксується зменшення значень періодів ромбічних кристалічних ґраток a, b, c фази FeB з ростом вмісту хрому в насичуючому середовищі. При цьому найбільш інтенсивно зменшується період «С» до мінімального значення 0,40575 нм фази FeB при 4% Cr у суміші, що відповідає максимальному відхиленню значення періоду «С» (рівного 0,0005 нм) у порівнянні з нелегованою фазою FeB. Таким чином, введення легуючих металів призводить до зміни параметрів кристалічної структури боридних фаз і, як наслідок, змінюються мікротвердість, тріщиностійкість, пористість, розподіл залишкових напружень та інші властивості та характеристики боридних фаз.

Підготовка зразків до випробування на зносостійкість включала декілька етапів. Спочатку шляхом обробки за допомогою миючих засобів видаляли всі мастильні забруднення. В кінці підготовки зразки знежирювали етиловим спиртом [3].

Випробування зносостійкості проводили на машині тертя. Основною частиною установки є вузол тертя 11 (рис. 1), розміщений на станині (2) установки.

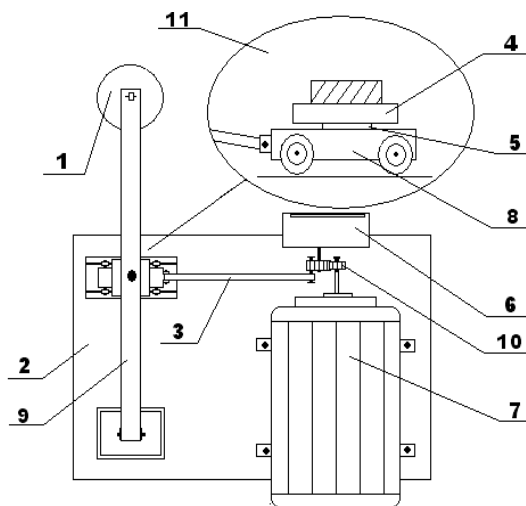


Рис. 1. Схема машини тертя:

1 – гиря; 2 – станина; 3 – шатун; 4 – контртіло; 5 – зразок; 6 – датчик для реєстрації обертів; 7 – електродвигун; 8 – платформа; 9 – ричаг; 10 – зубчаста передача, 11 – вузол тертя

Робота здійснюється наступним чином. Обертання від двигуна постійного струму (7) передається за допомогою зубчастої передачі (10) на шатун 3 та одночасно на датчик для реєстрації обертів 6. Шатун переміщує за зворотно-поступальним механізмом рухому платформу 8. Вона рухається на шарнірах по направляючих. На платформі знаходиться фіксуєчий механізм, в який поміщується зразок для випробування (5). Зразок контактує з контртілом 4 за допомогою навантажувального механізму, що складається з ричага 9 та гирі 1. Контртіло фіксується на ричазі.

В дослідженні як матеріал контртіла була використана загартована та відпущена сталь У8, випробуванню підлягали зразки розміром 10x20x5мм зі сталі 45 після борування із добавкою легуючих металів відповідно хрому, ванадію, титану, молібдену, чи міді.

Величину зносу оцінювали гравіметричним методом, шляхом зважування зразка до і після випробування. Оцінку зміни маси зразка проводили на аналітичних терезах ВАЛ – 200Г з точністю до п'ятого знаку через кожні 10 хвилин зношування при нарузці 49Н (5кгс). Термін зношування для кожного зразка становив 300 хвилин. Після проведення

випробувань поверхню тертя зразків досліджували металографічним та рентгеноспектральним методами аналізу. За втратою маси знаходили показник зносостійкості досліджених покриттів, кг/м^2 :

$$I = \Delta m / S, \quad (1)$$

де Δm – втрата маси, кг; S – площа поверхні тертя зразка, м^2 .

За величиною показника зносостійкості будували графіки в залежності від тривалості зношування та від пройденого шляху. Шлях визначали, знаючи кількість обертів за той чи інший період часу. За один оберт пройдений шлях складав 4 см (оскільки довжина зразка становить 2 см).

Кінетичні криві зношування боридних покриттів без легування та легуваних відповідно V, Cr, Ti чи Cu в умовах сухого тертя – ковзання представлено на рис. 2.

Так, швидкість зношування боридних покриттів легуваних хромом за першу годину зношування становила $2,08 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$, Ti – $1,18 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$, V – $1,88 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$, Cu – $0,972 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$, а без легування $5,06 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сек.}$ З приведених даних видно, що найменша швидкість зношування по завершенню періоду

припрацювання властива боридним покриттям легованим Cu при цьому швидкість зношування боридів заліза легованих міддю в 2 рази менша ніж легованих V та Cr і в 5,2 рази менша за боридні шари без легування.

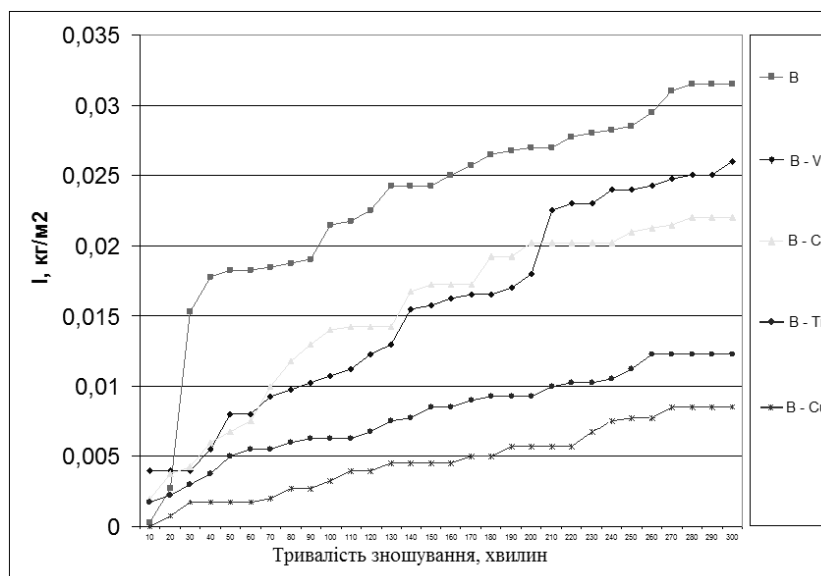


Рис. 2. Кінетичні криві зношування боридних покриттів, легованих V, Cr, Ti, чи Cu, в залежності від тривалості випробування

Так, швидкість зношування боридних покриттів легованих хромом за першу годину зношування становила $2,08 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Ti – $1,18 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., V – $1,88 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Cu – $0,972 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., а без легування $5,06 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек. З приведених даних видно, що найменша швидкість зношування по завершенню періоду припрацювання властива боридним покриттям легованим Cu при цьому швидкість зношування боридів заліза легованих міддю в 2 рази менша ніж легованих V та Cr і в 5,2 рази менша за боридні шари без легування. Подовження зношування до 2-х годин показало, що швидкість спрацювання боридних шарів за цей термін становила без легування $3,13 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., при легуванні Ti – $0,763 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., V – $1,88 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Cr – $1,98 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Cu – $0,659 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек. На етапі зношування 5 годин швидкість спрацювання дифузійних шарів була відповідно без легування $1,75 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., при легуванні V – $1,54 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Cr – $1,29 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек., Cu – $0,847 \cdot 10^{-6}$ кг/м² · сек.

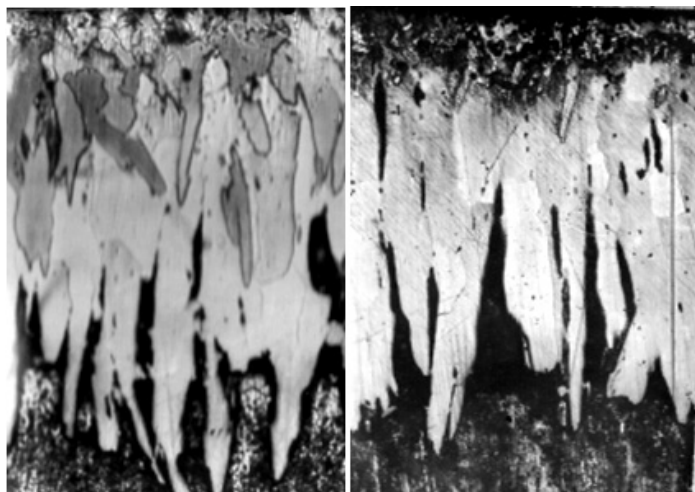
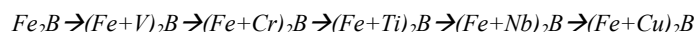


Рис. 3. Мікроструктури боридного покриття (а) та боридного покриття легованого міддю (б) на сталі 20 (x 320)

На всіх етапах зношування найменша швидкість спрацювання виявлена в боридних шарах легованих міддю (рис. 2). Збільшення тривалості зношування зразків із боридними шарами показало, як впливають легуючі елементи на лінійний участок зношування. Проведені дослідження показали, що найкращу зносостійкість в умовах сухого тертя - ковзання мають боридні фази леговані міддю. При цьому встановлено, що боридні покриття леговані міддю, із меншою твердістю 14,5 ГПа, показали в 2 рази кращу зносостійкість порівняно з дослідженими легованими боридними шарами та без легування. Це пояснюється тим, що в структурі боридних шарів виявлені окремі вкраплення міді (рис. 5), які виконують роль твердого мастила. Якщо досліджувані зразки поставити в ряд в порядку збільшення зносостійкості, то він матиме наступний вигляд:



На рис. 3 представлена мікроструктура боридного покриття без легування та покриття легованого міддю. Топографії поверхні зношування боридних покриттів легованих міддю представлено на рис. 4, з якого видно, що зношування має дискретний характер. В місцях контакту зразка з контргілом утворюються мікротріщини і починається їх руйнування.

Порівняння зношування боридних фаз з бронзами БР АМц 10 – 2 показало, що зносостійкість боридних фаз переважає над бронзами в 30 разів при легуванні міддю, а без легування в 15 раз (рис. 6).

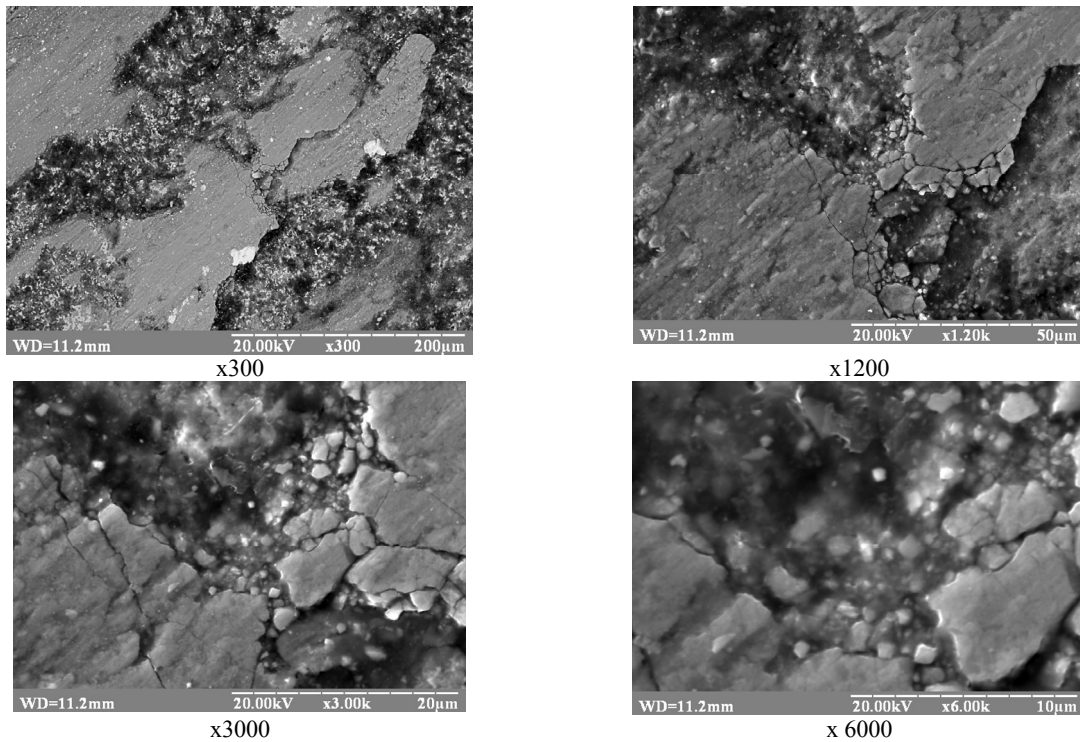


Рис. 4. Топографія поверхні зношування боридних покриттів легованих міддю на сталі 20

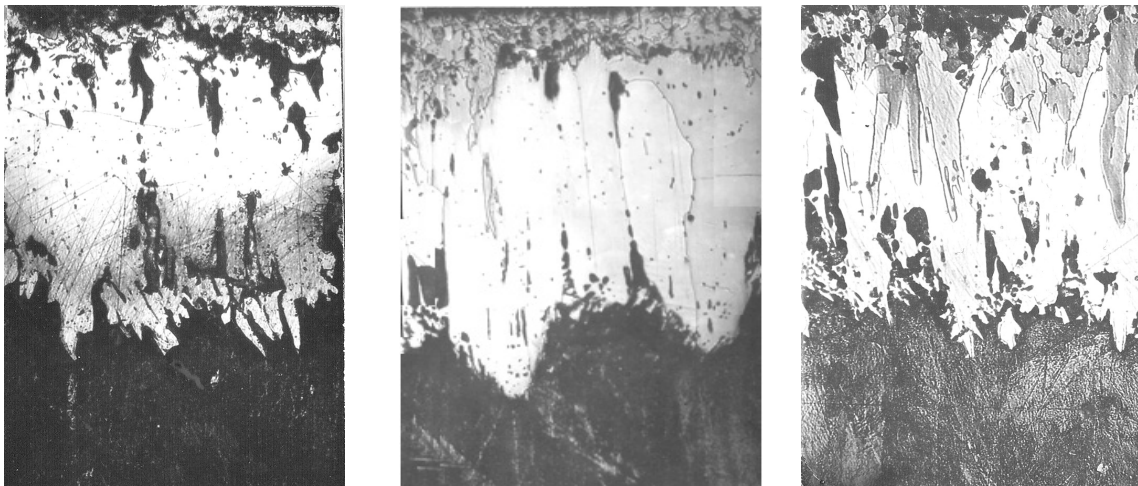


Рис. 5. Мікроструктури боридного покриття легованого міддю (Cu), відповідно 5%, 10% і 15%

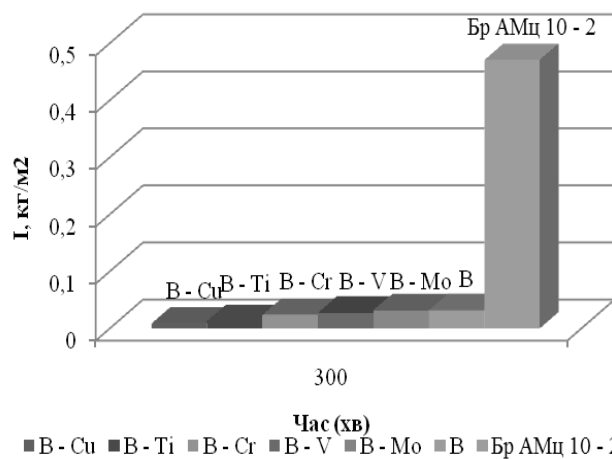


Рис. 6. Інтенсивність зношування покриттів за 300 хвилин сухого тертя ковзання

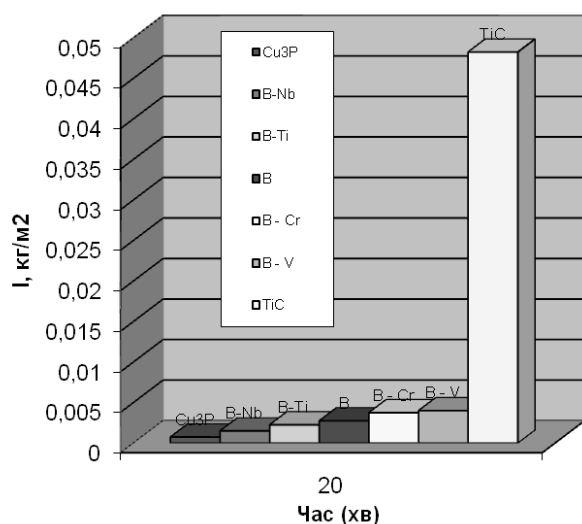


Рис.7. Інтенсивність зношування покриттів за 20 хвилин сухого тертя ковзання

Порівняння зношування боридних фаз легованих Cu, V, Nb, Cr, Ti та карбідних покриттів на основі титану на сталі 45 приведено на рис. 7 та 8. На рис. 8 представлено кінетичні криві зношування для боридних та карбідного покриттів. Карбідні покриття на основі титану на сталі 45 без термічної обробки мали твердість 30 ГПа, та товщину дифузійного шару 12 – 13 мкм. Дифузійне карбідне покриття на основі титану повністю зносилося після 20 хвилин випробувань. Це пов'язано з малою товщиною дифузійного шару та низькою міцністю матриці, яку не піддавали термічній обробці після нанесення дифузійних карбідних покриттів. Дифузійні карбідні шари в умовах тертя – ковзання продавлювались в м'яку пластичну матрицю при зношуванні. Додаткова термічна обробка призводить до перерозподілу залишкових напружень в дифузійних шарах [4], а в карбідних покриттях може обумовлювати формування тріщин в дифузійному шарі, тому додаткову термічну обробку сталі 45 з карбідним покриттям не проводили [5].

В роботі показано, що в прийнятих жорстких умовах сухого тертя – ковзання хіміко термічна обробка борування переважає над тонкими карбідними покриттями, які можуть мати в 1,5 раза вищу мікротвердість, але на порядок меншу товщину шару.

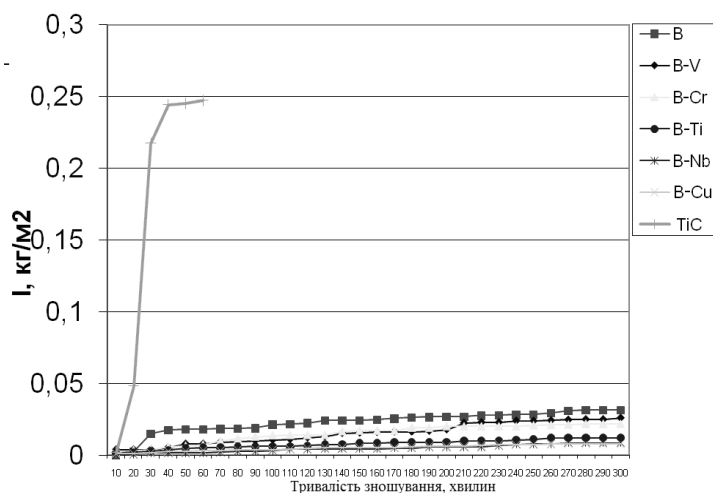


Рис. 8. Кінетичні криві зношування для боридних та карбідного покриття в залежності від тривалості випробування

Висновок. Досліджено зносостійкість в умовах сухого тертя – ковзання на повітрі боридних покриттів легованих Cu, Ti, Cr, V, Nb та карбідних покриттів на основі Ti на сталі 45. Встановлено, що найкращими покриттями в умовах сухого тертя – зношування є боридні фази FeB та Fe₂B леговані міддю, які підвищують зносостійкість боридних шарів без легування в 3 рази. Тоді, як карбідні покриття в умовах сухого тертя – ковзання на повітрі зносились вже через 20 хвилин досліджень. Зносостійкість боридних шарів в 30 разів вища за зносостійкість бронзи.

Список літератури

1. Износостойкие боридные покрытия / В. Ф. Лабунец, Л. Г. Ворошин, М. В. Киндрачук. – К.: Техника, 1989. – 158 с.
2. Федоренкова Л. И. Физико – химические процессы в прикатодном слое /Л. И. Федоренкова, И. М. Спиридонова // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. – 1999. – №5. – С. 34. Надійшла до редколегії 12.09.08 105
3. Чернега С.М. Кавитационное разрушение дифузионных легированных боридных покрытий на сталях// Изв. Вуз. Черная металлургия. – 2000. – №7. – 50с.
4. Чернега С.М. Влияние коррозии на кавитационный износ диффузионных покрытий// Изв. Вуз. Черная металлургия. 2000 № 5 с. 31–36 с.
5. Чернега С.М. Комплексное насыщение углеродистых сталей бором и хромом в активированной среде// Изв. Вуз. Черная металлургия. – 1999. – №1. – 58с.