

УДК 621,787:620.178.16

І.В. Гурей, Т.А. ГурейНаціональний університет «Львівська політехніка»
Тел. +38(032) 2582501; E-mail: ihurey@bigmir.net**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ СТАЛІ ПРИ ТЕРТІ КОЧЕННЯ З
ПРОКОВЗУВАННЯМ ФРИКЦІЙНИМ ЗМІЦНЕННЯМ**

Показано, що фрикційне зміцнення суттєво підвищує опір зношуванню при терті ковзання з проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі. Максимальний ефект отримано при терті обох зміцнених кілець. Підвищення зносостійкості не залежить від структурного стану вихідного металу.

Ключові слова: фрикційне зміцнення, тертя кочення з проковзуванням, білий шар, зносостійкість.

1. Вступ

Довговічність багатьох деталей машин визначається опором руйнуванню поверхневих шарів при терті кочення з проковзуванням і попаданням у зону контакту абразиву. У таких умовах працюють зуби шестерень, ходові колеса пересувних кранів, залізничні колеса, опорні котки і інші. Поверхневі шари деталей у процесі роботи сприймають складне навантаження і не всі існуючі, досить ефективні методи зміцнення, які формують різний структурно-напружений стан металу, придатні для підвищення їх працездатності. Методи поверхневого зміцнення деталей машин і механізмів висококонцентрованими потоками енергії є ефективними методами підвищення їх довговічності. При фрикційному зміцненні висококонцентрований потік енергії утворюється за рахунок високошвидкісного тертя зміцнюючого диска по оброблюваній деталі. У поверхневому шарі деталі утворюється специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар, який представляє собою дрібно голковий мартенсит, карбіди високої дисперсності і залишковий аустеніт [1]. Часто виникають сумніви про працездатність білого шару при високих контактних напруженнях. Деякі автори припускають, що білі шари, маючи підвищену твердість і відносно невелику товщину при високих контактних напруженнях повинні відшаровуватися, викришуватися і тим самим знижувати працездатність контактуючих деталей [2, 3]. У зв'язку з цим нами були проведені дослідження впливу фрикційного зміцнення на опір зношуванню при терті кочення з проковзуванням контактуючих пар сталь - сталь, чавун - сталь.

2. Основний зміст і результати роботи

Для імітації роботи підшипників кочення, катків, шестерень та інших аналогічних вузлів були проведені випробування на тертя кочення з проковзуванням на установці СМЦ-1. Зразки-кільця виготовляли зі сталей 40Х та 40ХН у загартованому і низько- (ГНВ) та високовідпущеному станах (ГВВ). Зовнішній діаметр зразків складав 40 мм, ширина контакту складала 3 мм. Верхнє кільце оберталося зі швидкістю $V = 1,62$ м/с, нижнє - $V = 1,8$ м/с, що забезпечувало проковзування 10 %. Випробування проводили у мастильно-абразивному середовищі (мастило "Індустріальне-50А" + 0,1 % абразиву по масі дисперсністю 10-20 мкм). При обертанні кілець мастильно-абразивна суміш інтенсивно перемішувалася і подавалася в зону контакту нижнім кільцем, яке частково занурювалося у ванну з мастилом. Навантаження на зразки становило $F = 100$ Н на 1 мм лінії контакту, що відповідало питомому навантаженню $P = 336$ МПа і створювало кон-

тактне напруження $\sigma = 430$ МПа у сталі та $\sigma = 384$ МПа у чавуні. Контактні напруження у поверхневих шарах зубів шестерень, виготовлених із загартованої та високовідпущеної сталі 40ХН досягають приблизно $\sigma = 450-500$ МПа [4]. За критерій довговічності було прийнято величину зношування кілець за 1000 м шляху тертя кочення. Для отримання достовірних і відтворюваних результатів, заміну мастила з абразивом проводили після кожного заміру.

Перед початком експериментів проводили припрацювання пари тертя до стабілізації моменту тертя і прилягання спряжених поверхонь, які характеризуються слідами тертя на площі не менше 90 % робочої поверхні тертя кожного зразка пари. Площу, зайняту слідами зношування, контролювали візуально оглядом робочих поверхонь після перших 5 хв. тертя, а потім через кожні 20 хв. без зняття зразків. За критерій зношування пари тертя приймали втрату маси зразків після кожного етапу зношування. Втрату маси визначали зважуванням на аналітичній вазі марки ВЛА-200Г-М з точністю $\pm 0,2$ мг. Перед кожним зважуванням зразки ретельно промивали в бензині та ацетоні, а потім висушували на повітрі при кімнатній температурі.

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь зразків-кілець проводили з допомогою спеціальної установки, змонтованої на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20. Як технологічне середовище при зміцненні використовували мінеральне мастило «Індустріальне-30А» з поверхнево активну полімервмісними добавками.

Металографічні дослідження показали, що після фрикційного зміцнення у поверхневих шарах зразків утворилися якісні білі шари. Так, на сталі 40Х товщина білого шару становила $\delta = 200-230$ мкм, на сталі 40ХН - $\delta = 250-270$ мкм та на сірому чавуні СЧ 20 - $\delta = 100-130$ мкм. Мікротвердість білого шару становила на сталі 40Х $H_{\mu} = 8,5-9,1$ ГПа при твердості основної структури $H_{\mu} = 4,7-4,8$ ГПа, на сталі 40ХН - $H_{\mu} = 9,1-9,5$ ГПа при твердості основної структури $H_{\mu} = 5-5,3$ ГПа, та на сірому чавуні СЧ 20 - $H_{\mu} = 8,6-9,1$ ГПа при твердості основної структури $H_{\mu} = 6,1-6,5$ ГПа. Шорсткість робочих поверхонь пар тертя після фрикційного зміцнення становила $R_a = 0,25-0,58$ мкм, після шліфування - $R_a = 0,50-0,63$ мкм.

Як показали наші дослідження, фрикційне зміцнення значно підвищує опір зношуванню при терті кочення з проковзуванням як сталей, так і чавуну в різних структурних станах. Так, зношування кілець з сталі 40Х загартованих і низьковідпущених з білим шаром, що працювали в парі з верхніми кільцями зі сталі 40Х після тієї ж термічної обробки без білого шару зменшилося у 1,7 разів, верхніх - на 30 %, а зношування нижніх загартованих та високовідпущених з білим шаром кілець зменшилося у 3,2 рази, верхніх після гартування з низьким відпуском без білого шару - майже у 2 рази у порівнянні зі зношуванням таких же кілець без білого шару (рис. 1). Зношування кілець з загартованої та високовідпущеної сталі 40ХН з білим шаром у парі з верхніми кільцями з загартованої та високовідпущеної сталі 40ХН без білого шару зменшилося у 2,2 і 3,2 рази відповідно у порівнянні зі зношуванням шліфованих кілець.

Найбільша зносостійкість спостерігається в тих пар тертя, у яких обидві деталі фрикційно зміцнені з утворенням суцільних якісних білих шарів, незалежно від структурного стану їх вихідного металу. Так, наприклад, зношування нижніх кілець з загартованої та високовідпущеної сталі 40ХН з білим шаром зменшилося у 3,2 рази, а зношування нижніх кілець з загартованої та високовідпущеної сталі 40Х з білим шаром у парі з верхніми кільцями із загартованої та низьковідпущеної сталі 40Х з білим шаром зменшилося відповідно у 4,2 і більше 3 рази.

Слід відмітити, що для підвищення зносостійкості при терті ковзанням з проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі достатньо зміцнювати лише одну з ко-

нтактуючих деталей, а інша може бути незміцнена. Якщо зміцнені обидві контактуючі деталі, то спостерігається ще більше підвищення зносостійкості.

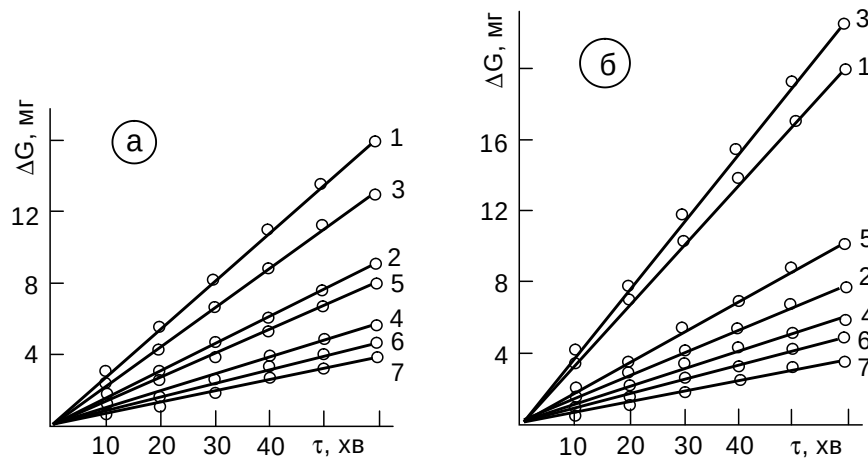


Рис. 1. Вплив фрикційного зміцнення на кінетику зношування пари сталь 40ХН - сталь 40 ХН при терті кочення з 10 % проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі ($P = 300$ Н; $V = 1,8$ м/с): а - нижнє кільце - 1 - ГВВ, ЕШ; 2, 3 - ГНВ, ЕШ; 4, 6, 7 - ГНВ, ФЗ; 5 - ГВВ, ФЗ; б - верхнє кільце - 2, 4 - ГНВ, ЕШ; 1, 3, 5 - ГВВ, ЕШ; 6 - ГВВ, ФЗ; 7 - ГНВ, ФЗ

Аналогічні результати отримані і при зношуванні пари тертя сірий чавун СЧ 20 – сталь 40Х у різному структурному стані (рис. 2). Максимальний ефект отримано при терті обох зміцнених кілець. Так, опір зношуванню чавунних кілець зріс у 8,3 рази, а сталей у загартованому і низьковідпущеному стані – більше, ніж у 5 разів у порівнянні з незміцненою парою. При терті нижнього кільця зі сталі 40Х у загартованому та високівідпущеному стані після фрикційного зміцнення з фрикційно зміцненим кільцем з чавуну СЧ 20 опір зношуванню зріс відповідно у 3,6 та 6,1 рази у порівнянні з такою ж незміцненою парою. Дещо менші ефекти отримані при зношуванні пар тертя, коли зміцненим є лише одне кільце сталєне чи чавунне, аніж при зміцненні обох тіл пари.

Якість білого шару суттєво впливає на опір зношуванню при терті кочення з проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі. Легування сталі хромом і нікелем сприяють утворенню якісного зміцненого шару. Так, інтенсивність зношування білого шару, утвореного на загартованій і низьковідпущеній сталі 40ХН становить $I = 1,9 \cdot 10^{-10}$, на сталі 40Х у тому ж структурному стані - $I = 2,1 \cdot 10^{-10}$, а на загартованій і високівідпущеній сталі 40Х - $I = 2,5 \cdot 10^{-10}$. У той же час інтенсивність зношування білого шару, отриманого на сірому чавуні СЧ 20 становить $I = 7,6 \cdot 10^{-10}$.

Металографічний аналіз поверхні тертя показав, що при терті кочення з 10 %-им проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі загартованих і низьковідпущених кілець проходить абразивне зношування, про що свідчать смуги вздовж твірної кілець. Ці смуги викликані абразивом, що попав у зону тертя (рис. 3). У випадку випробування кілець з пониженою твердістю може мати місце втискування абразиву в метал і утворення раковин. При цьому підвищується зношування деталей пари тертя.

При фрикційному зміцненні у білий шар дифундують вуглець, водень, азот, та інші елементи. Білий шар має підвищену густину дислокацій. Наприклад, на сталі 40Х вона становила $1,4 \cdot 10^{11}$ см⁻² проти $0,2 \cdot 10^{11}$ см⁻² основного металу, збільшена також і кількість залишкового аустеніту.

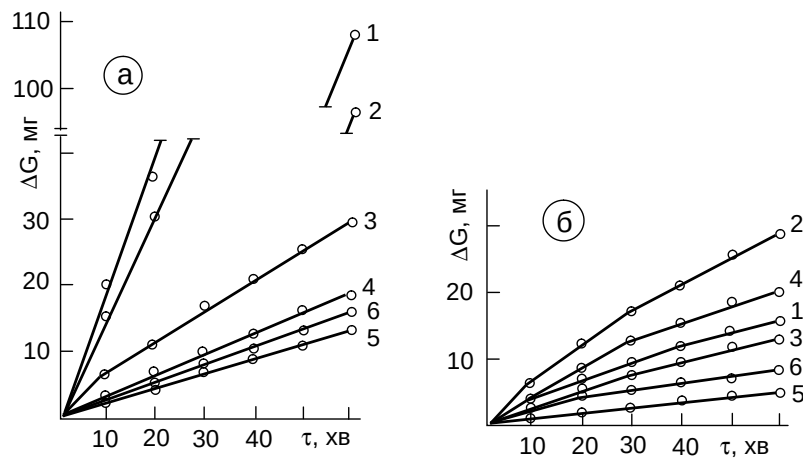


Рис. 2. Вплив фрикційного зміцнення на кінетику зношування пари чавун - сталь при терті кочення з 10 % проковзуванням в мастильно-абразивному середовищі ($P = 300$ Н; $V = 1,8$ м/с): а - нижнє кільце з чавуну СЧ 20 - 1, 2 - ЕШ; 3, 4, 5, 6 - ФЗ; б - верхнє кільце зі сталі 40Х - 1, 3 - ГНВ, ЕШ; 2, 4 - ГВВ, ЕШ; 5 - ГНВ, ФЗ; 6 - ГВВ, ФЗ

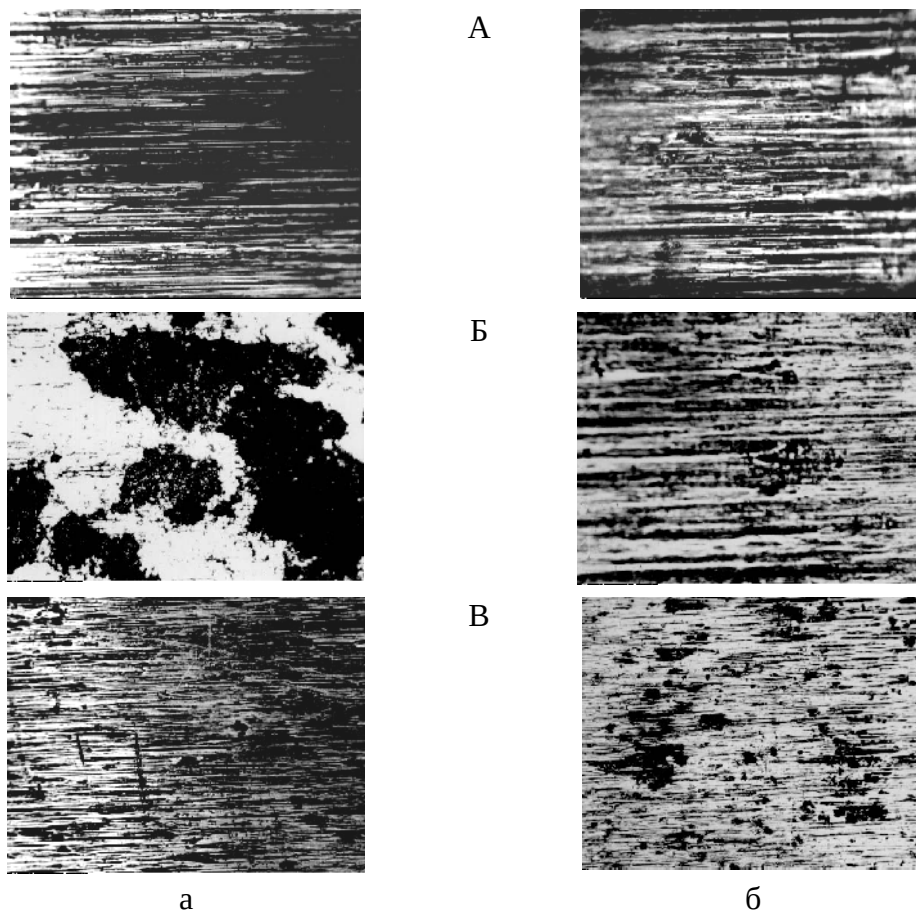


Рис. 3. Вид поверхонь кілець після тертя кочення з 10 %-им проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі (а – нижнє кільце (НК) зі сталі 40ХН; б – верхнє кільце (ВК) зі сталі 40Х): А – НК ГНВ, ЕШ в парі з ВК ГНВ, ЕШ; Б – НК, ГВВ, ЕШ в парі з ВК, ГНВ, ЕШ; В – НК, ГВВ, ФЗ в парі з ВК, ГВВ, ФЗ

На площадках контакту за рахунок абразиву, який є у мастилі, протікає пружна і пластична деформація металу. На них проходить втиснення абразиву у поверхні та порушується цілісність мастильної плівки. Опір рухові при ковзанні складається з опору зсуву граничного шару і опору процарапуванню поверхонь втисненими об'ємами.

Дисперсність мартенситу, залишкового аустеніту і карбідів у білому шарі є набагато більша, ніж у сталі після гартування і низького відпуску. Залишковий аустеніт збільшує в'язкість поверхневого шару при одночасному підвищенні його твердості за рахунок дрібнодисперсності мартенситу. У цьому випадку підвищується також опір пластичному деформуванню. Підвищена кількість дислокацій активує поверхню, збільшує швидкість дифузії і хімічних реакцій, прискорює утворення якісних вторинних структур. У той же час дислокації у білому шарі блокуються, утруднюється їх переміщення та утворення макротріщин і, відповідно, утворення продуктів зношування.

3. Заключение

Білий шар з підвищеною твердістю і в'язкістю приводить до більш інтенсивного розмелювання абразиву і вигладжування поверхні контакту. У зв'язку з цим стає зрозумілим чому максимальна зносостійкість спостерігається у пар тертя з білим шаром незалежно від структури металу, а найнижча у випадку тертя сталі у стані постачання і покращання. Таким чином, фрикційне зміцнення може служити одним з ефективних технологічних методів покращання робочих поверхонь деталей машин, які працюють в умовах тертя кочення з проковзуванням не лише в мастильному, але і в мастильно-абразивному середовищах. Слід відмітити, що підвищення зносостійкості в обох випадках майже не залежить від структурного стану вихідного металу.

Список літератури:

1. Гурей І.В. Вплив технологічних середовищ та матеріалу інструменту на параметри фрикційного зміцнення // Машинознавство - 1998. - № 11/12. – С.30-34.
2. Крагельський І.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М. : Машиностроение, 1977. - 526 с.
3. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механо-химические процессы при граничном трении, - М.: Наука, 1972. - 170 с.
4. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / Смелянский В.М. – М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.

Надійшла до редколегії 18.06.2012 р.

И.В.Гурей, Т.А.Гурей ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛИ ПРИ ТРЕНИИ КАЧЕНИЯ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ ФРИКЦИОННЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Показано, что фрикционное упрочнение существенно повышает сопротивление изнашиванию при трении скольжения с проскальзыванием в масляно-абразивной среде. Максимальный эффект получен при трении обеих упрочненных колец. Повышение износостойкости не зависит от структурного состояния исходного металла.

Ключевые слова: фрикционное упрочнение, трение качения с проскальзыванием, белый слой, износостойкость.

I. Hurey, T.Hurey INCREASE THE WEAR RESISTENCE OF STEEL UNDER THE FRICTION OF SLIDING AND ROLLING BY THE PROCESS OF FRICTION HARDENING

It is shown that the friction hardening is essentially increases the wear resistance in the sliding friction with a slippage with oil and abrasive lubrication. Maximum of wear resistance receives by friction hardening pair. The increase of wear resistance not depends on the structure of the primary metal.

Key words: friction hardening, friction of sliding and rolling, white layer, wear resistance.