

ВПЛИВ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СТАЛІ ПРИ ТЕРТІ КОЧЕННЯ З ПРОКОВЗУВАННЯМ

Подано, 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.

Довговічність багатьох деталей машин визначається опором руйнуванню поверхневих шарів при терті кочення з проковзуванням і потраплянням у зону контакту абразиву. У таких умовах працюють зуби шестерень, ходові колеса пересувних кранів, залізничні колеса, опорні котки та інші. Поверхневі шари деталей у процесі роботи сприймають складне навантаження, і не всі відомі, досить ефективні методи зміцнення, що 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 зміцнювального диска по оброблюваній деталі. У поверхневому шарі деталі утворюється специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар, який представляє собою дрібногोलковий мартенсит, карбіди високої дисперсності і залишковий аустеніт [1]. Часто виникають сумніви щодо працездатності білого шару при високих контактних напруженнях. Деякі автори припускають, що білі шари з підвищеною твердістю і відносно невеликою товщиною, при високих контактних напруженнях повинні відшаровуватися, викришуватися і цим знижувати працездатність контактних деталей [2,3]. У зв'язку з цим ми дослідили вплив фрикційного зміцнення на опір зношуванню при терті кочення з проковзуванням контактних пар сталь-сталь, чавун-сталь.

Для імітації роботи підшипників кочення, котків, шестерень та інших аналогічних вузлів виконані випробування на тертя кочення з проковзуванням на установці СМЦ-1. Зразки-кілець виготовляли зі сталей 40Х та 40ХН у загартованому і низько- (ГНВ) та високовідпущеному станах (ГВВ). Зовнішній діаметр зразків становив 40 мм, ширина контакту - 3 мм. Верхнє кільце оберталося зі швидкістю $V = 1,62$ м/с, нижнє - $V = 1,8$ м/с, що забезпечувало проковзування на 10 %. Випробування виконували у мастильно-абразивному середовищі (мастило "Індустріальне-50А" + 0,1 % абразиву за масою дисперсністю 10-20 мкм). При обертанні кілець мастильно-абразивна суміш інтенсивно перемішувалася і подавалася до зони контакту нижнім кільцем, що 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 контактне 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, сягають 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, мастило з абразивом замінювали після кожного замірювання.

Перед початком експериментів припрацьовували пари тертя до стабілізації моменту тертя і прилягання спряжених поверхонь, що характеризуються слідами тертя на площі не менше, ніж 90 % робочої поверхні тертя кожного зразка пари. Площу зі

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 мили в бензині та ацетоні, а потім висушували на повітрі при кімнатній температурі.

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь зразків-кілець виконували за допомогою спеціальної установки, змонтованої на токарно-гвинторізальному верстаті моделі 16К20. Як технологічне середовище при зміцненні використовували мінеральне мастило «Індустріальне-30А» та поверхнево активну полімервмісну мастильно-охолоджувальну рідину МХО-64а.

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, 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 виявили 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 зі 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 раза, верхніх - на 30 %, а зношування нижніх загартованих та високовідпущених з білим шаром кілець зменшилося у 3,2 раза, верхніх після гартування з низьким відпуском без білого шару - майже у 2 рази порівняно 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 раза відповідно порівняно зі зношуванням шліфованих кілець.

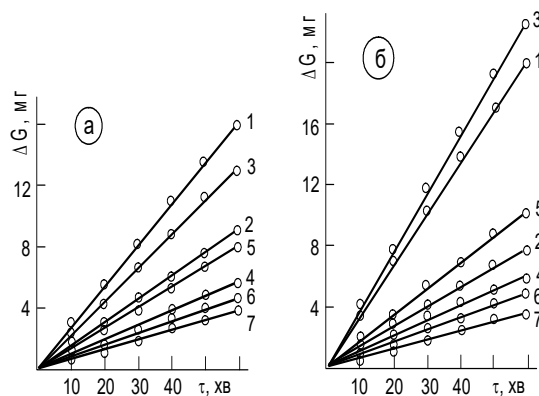


Рис. 1. Вплив фрикційного зміцнення на кінетику зношування пари сталь 40ХН - сталь 40 ХН при терті кочення з 10 % проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі ($P = 300$ Н; $V = 1,8$ м/с):
 а - нижнє кільце - 1 - ГВВ, ЕШ; 2, 3 - ГНВ, ЕШ; 4, 6, 7 - ГНВ, ФЗ; 5 - ГВВ, ФЗ;
 б - верхнє кільце - 2, 4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

Найвищу зносостійкість мають ті пари 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 із загартованої та високовідпущеної сталі 40ХН з білим шаром зменшилося у 3,2 раза, 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 понад 3 рази.

Для підвищення зносостійкості при терті ковзанням з проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі достатньо зміцнювати лише одну з контактних деталей, а інша може бути незміцнена. Якщо зміцнено обидві контактні деталі, то зносостійкість ще вища.

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 раза, а сталевих у загартованому і низьковідпущеному стані – у понад 5 разів порівняно з незміцненою парою. При терті нижнього кільця зі сталі 40Х у загартованому та високовідпущеному стані після фрикційного зміцнення з фрикційно зміцненим кільцем з чавуну СЧ 20 опір зношуванню зріс відповідно у 3,6 та 6,1 раза порівняно з такою ж незміцненою парою. Трохи менші ефекти отримано при зношуванні пар тертя, коли зміцненим є лише одне кільце, сталеве чи чавунне.

Якість білого шару суттєво впливає на опір зношуванню при терті кочення з проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі. Легування сталі хромом і нікелем сприяє 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 високовідпущеній сталі 40Х - $I = 2,5 \cdot 10^{-10}$. У той же час інтенсивність зношування білого шару, отриманого на сірому чавуні СЧ 20, становить $I = 7,6 \cdot 10^{-10}$.

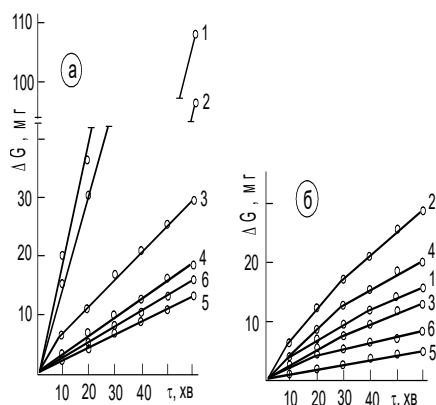


Рис. 2. Вплив фрикційного зміцнення на кінетику зношування пари чавун - сталь при терті кочення з 10 % проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі ($P = 300$ Н; $V = 1,8$ м/с):
 а - нижнє кільце з чавуну СЧ 20 - 1, 2 - ЕШ; 3, 4, 5, 6 - ФЗ;
 б - верхнє кільце зі сталі 40Х - 1, 3 - ГНВ, ЕШ; 2, 4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

Металографічний аналіз поверхні тертя показав, що при терті коченням з 10%-им проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі загартованих і низьковідпущених кілець відбувається абразивне зношування, про що свідчать смуги вздовж твірної кілець. Ці смуги викликані абразивом, що потрапив до зони тертя (рис. 3). При випробуванні кілець із зниженою твердістю абразив може втискуватися в

метал і утворюватимуться раковини. 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 40X вона становила $1,4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ проти $0,2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$ основного металу, більша також і кількість залишкового аустеніту.

На площадках контакту за рахунок абразиву, який є у мастилі, відбувається пружна і пластична деформація металу. Абразив втискується у поверхню і порушується цілість мастильної плівки. Опір рухові при ковзанні складається з опору зсуву граничного шару і опору продряпуванню поверхонь втисненими об'ємами.

Дисперсність мартенситу, залишкового аустеніту і карбідів у білому шарі 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. Підвищується також опір пластичному деформуванню. Підвищена кількість дислокацій активує поверхню, збільшує швидкість дифузії і хімічних реакцій, прискорює утворення якісних вторинних структур. Поряд з цим дислокації у білому шарі блокуються, ускладнюється їх переміщення та утворення макротріщин і, відповідно, продуктів зношування.

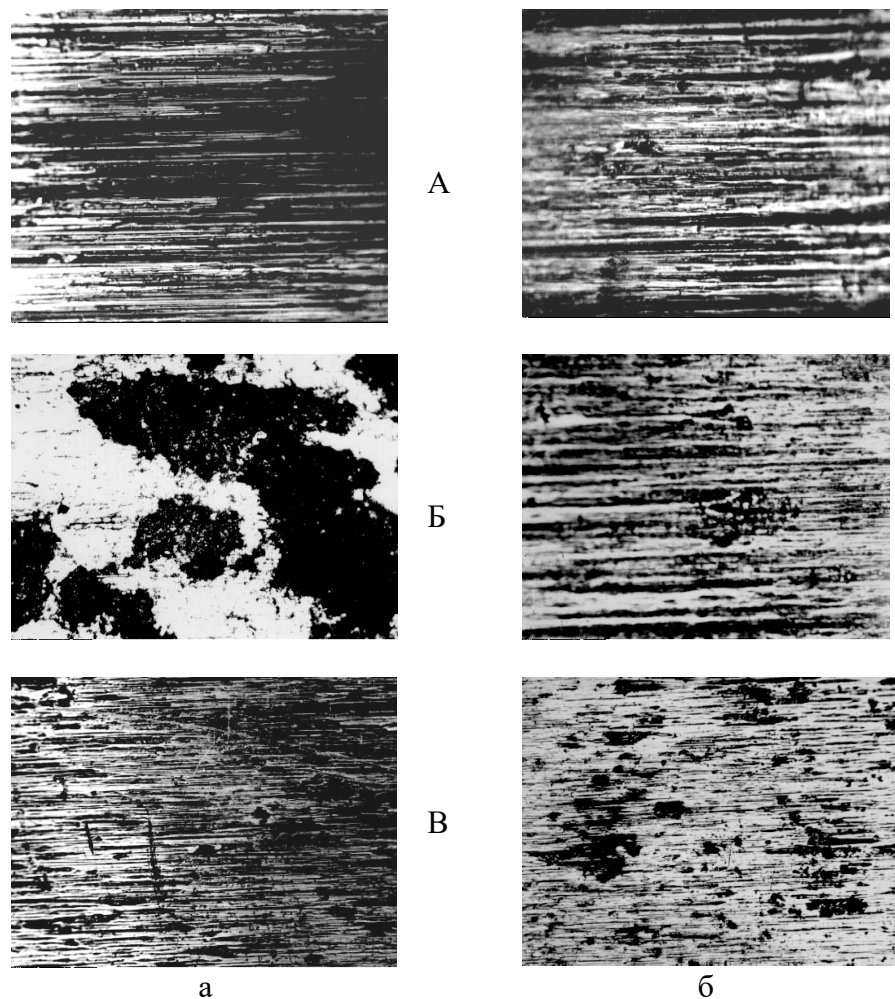


Рис. 3. Вид поверхонь кілець після тертя коченням з 10 % проковзуванням у мастильно-абразивному середовищі (а - нижнє кільце (НК) зі сталі 40ХН; б - верхнє кільце (ВК) зі сталі 40Х):

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.

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

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.

Література

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.
3. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механо-химические процессы при граничном трении. - М.: Наука, 1972.
4. Постников С.Н. Электрические явления при трении и резании. - Горький, 1975.

Одержано 10.03.2000 р.