

НОВІ МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.787:620.178.162

Гурей І.*, Плахтій Л. **

***Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя,
кафедра верстатно-інструментальних систем автоматизованого виробництва**

****Фізико-механічний інститут імені Г.В.Карпенка НАН України**

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ СІРОГО ЧАВУНУ ПІСЛЯ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ПІД ЧАС ТЕРТЯ БЕЗ МАЩЕННЯ

© Гурей І. *, Плахтій Л. **, 2000

Показано, що фрикційне зміцнення сірого чавуну СЧ 20 суттєво підвищує опір зношуванню під час тертя без мащення. Так, під час тертя пари сірий чавун - сірий чавун підвищення опору зношуванню кілець після фрикційного зміцнення становить 2,6...2,8 разів, а вкладок, які працювали з ними у парі, 1,8...1,9 разів порівняно з незміцненою парою. При питомому навантаженні більше 0,4 МПа незміцнена пара неприцездатна, а зміцнена працює нормально.

It is shown, that the friction hardening of grey cast iron SCh 20 essentially increases the wear resistance under the friction without lubrication. Thus, under the friction a grey cast iron - grey cast iron couple the increase of wear resistance of rings after friction hardening is 2.6...2.8 times, and shells working with them in a couple - 1.8...1.9 times in comparison with nonhardening pair. Nonhardening couple is not serviceable by unit pressure more than 0.4 MPa, and hardening works normally.

Тертя без мащення використовують у вузлах тертя машин текстильної, харчової, хімічної промисловостей, де мастило, щоб не зіпсувати продукції або виходячи з техніки безпеки, недопустиме. Тертя без мащення є найбільш жорстким режимом зношування пар тертя. При цьому найбільш чітко проявляються властивості матеріалів, пов'язані з опором зношуванню. Існує безпосередня взаємодія контактуючих поверхонь між собою. У цьому випадку в зоні контакту локально концентрується енергія, яка сприяє протіканню на поверхнях тертя складних трибохімічних реакцій. Тут формуються вторинні структури, які складаються, в основному, з оксидів заліза і сприятливо впливають на зношування. Вони запобігають схоплюванню контактуючих поверхонь пари тертя, знижують коефіцієнт тертя і зменшують величину зношування.

Застосування технологій поверхневого зміцнення деталей машин з використанням висококонцентрованих потоків енергії призводить до утворення в поверхневих шарах металу складних температурно-фазових перетворень. При цьому в поверхневих шарах відбувається нагрівання з великими швидкостями до температур, вище від точки фазових перетворень, одночасне зсувне деформування і подальше швидкісне охолодження в екстремальних умовах. У поверхневих шарах змінюється структура, фізико-механічні та електрохімічні характеристики металу, які суттєво впливають на працездатність деталей машин і агрегатів під час експлуатації.

Фрикційне зміцнення належить до методів поверхневого зміцнення із застосуванням висококонцентрованих потоків енергії. Такий потік енергії утворюється за рахунок високошвидкісного тертя інструменту – сталевго диска по оброблюваній деталі. При цьому відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування. Поверхневі шари металу нагріваються до температур вище від точки фазових перетворень (A_{c3}). Охолодження поверхневого шару відбувається з великими швидкостями за рахунок тепловідводу вглибину металу і в ньому фіксується стан, при якому із твердого розчину ще не встигають виділитися окремі фази або це виділення не встигло повністю завершитися. При цьому в поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу – білий шар. Структура білого шару – це високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди [1].

Експерименти для визначення опору зношування проводили за схемою «кільце-вкладка» на універсальній установці тертя типу СМЦ-1. Зразок-вкладка був зв'язаний з диференціальним давачем силовимірювача, сигнал з якого подавався на автоматичний самопишучий потенціометр типу КСП-4, який фіксував момент тертя пари. На вкладці закріплювали термоелектричні перетворювачі з термоелектродами діаметром 0,2 мм. Сигнали з термоелектричних перетворювачів подавали на автоматичний самопишучий триканальний потенціометр типу КСП-4. При цьому фіксували інтегральну температуру біля зони тертя на відстані 0,4...0,6 мм.

Перед початком дослідів проводили припрацювання пари тертя до стабілізації моменту тертя та прилягання спряжених поверхонь, які характеризувалися слідами тертя на площі не менше 90 % робочої поверхні тертя кожного зразка пари.

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-кільць проводили за допомогою спеціальної установки, змонтованої на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16К20. Як технологічне середовище під час зміцнення використовували мінеральне мастило «Індустріальне-30А» та поверхнево активну полімервмісну мастильно-охолоджуючу рідину типу МХО-64а.

Досліди показали, що під час тертя без мащення значно підвищується зносостійкість пари тертя чавун-чавун після фрикційного зміцнення, особливо при підвищених питомих навантаженнях. Так, під час тертя з питомим навантаженням $P = 0,2$ МПа інтенсивність зношування зміцнених і незміцнених кілець відрізняється несуттєво (у 1,3...1,4 рази). Такий, порівняно низький, ефект від зміцнення при малих навантаженнях можна пояснити тим, що під час тертя незміцненої пари відбувається намащування на контактуючу поверхню вільного графіту і утворюється плівка графітового мастила. Існує окислювальне зношування, поверхні гладкі та темні. При збільшенні питомого навантаження від 0,2 МПа до 0,4 МПа ефект поверхневого зміцнення значно збільшується. Значення зношування кілець після фрикційного зміцнення зменшилося у 2,6 раза, вкладок – у 1,8 раза порівняно зі зношуванням незміцненої пари (рис. 1). Зі збільшенням питомого навантаження від 0,4 МПа до 0,6 МПа для незміцнених кілець переважаючим видом зношування є схоплювання. Незміцнені кільця при питомому навантаженні 0,6 МПа пропрацювали лише 1 год. Після

чого спостерігається інтенсивне зношування з вирином металу з поверхонь пари тертя. Зміцнені кільця в цьому разі працюють нормально з переважанням окислювального зношування.

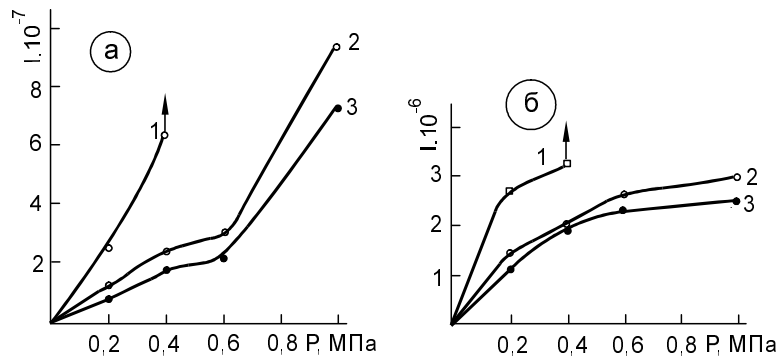


Рис. 1. Вплив питомого навантаження на інтенсивність зношування пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20 при терті без мащення кільця (а) і вкладки (б) ($V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – $\Phi 3$, масло; 3 – $\Phi 3$, МХО-64а.

На значення інтенсивності зношування також суттєво впливає технологічне середовище, яке використовується при фрикційному зміцненні. Так, під час тертя з питомим навантаженням 1 МПа інтенсивність зношування кілець зміцнених з використанням як технологічне середовище МХО-64а у 1,3 раза менша, ніж після фрикційного зміцнення з використанням мінерального мастила. Інтенсивність незміцнених вкладок, які працювали в парі зі зміцненими кільцями, зі збільшенням питомого навантаження незначно зростає. Так, під час збільшення питомого навантаження від 0,2 МПа до 1 МПа інтенсивність зношування збільшилась лише у 2,1...2,2 раза. У разі зміцнення обох деталей пари тертя ефект підвищення опору зношуванню зменшується. Фрикційне зміцнення підвищує опір зношуванню пари тертя в цілому.

Важливим параметром під час зношування є температура в зоні тертя. Підвищення температури може призвести до місцевого розм'ягчення, розплавлення металу і схоплювання. На практиці трапляються випадки, коли при важких режимах тертя після зняття навантаження відбувається приварювання (схоплювання) однієї деталі до іншої. Такий випадок може супроводжуватися заклинюванням і аварією.

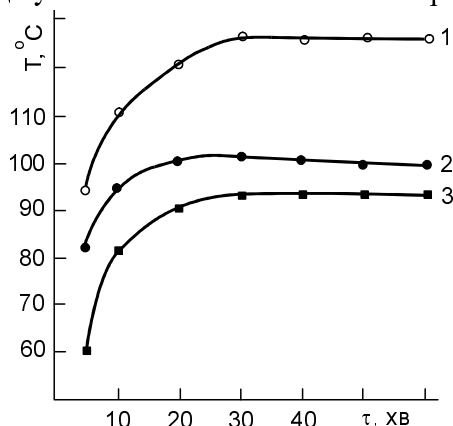


Рис. 2. Кінетика температури в зоні контакту пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 під час тертя без мащення ($P = 0,4$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 - ЕШ; 2 - $\Phi 3$, масло; 3 - $\Phi 3$, МХО-64а.

Під час тертя без мащення чавуну СЧ 20 на початку тертя температура різко зростає, через 15...20 хв доходить до максимуму і далі стабілізується (рис. 2). Мінімальне значення усталеної температури в зоні тертя зареєстровано після зміцнення з використання МХО-64а,

а максимальне – на шліфованих зразках. Зі збільшенням питомого навантаження та швидкості тертя температура в зоні контакту підвищується (рис. 3).

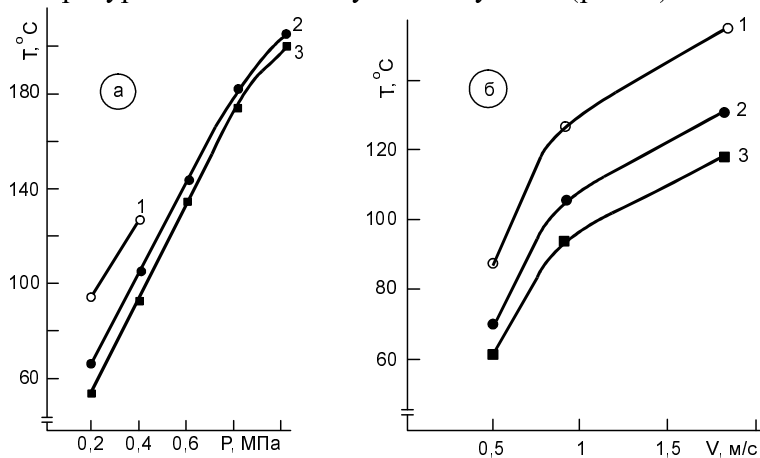


Рис. 3. Вплив питомого навантаження ($V = 0,9 \text{ МПа}$) (а) і швидкості ковзання ($P = 0,4 \text{ МПа}$) (б) на температуру в зоні контакту пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20 під час тертя без мащення:
1 - ЕШ; 2 - ФЗ, масло; 3 - ФЗ, МХО-64а.

У початковий період тертя пари чавун – чавун значення коефіцієнта тертя різко зростає і досягає максимального значення, далі тертя стабілізується і коефіцієнт тертя дещо знижується (рис. 4). За цей час на поверхні тертя деталей утворюються вторинні структури. Відбувається структурна пристосовуваність пари тертя, що призводить до постійного значення коефіцієнта тертя. Таке різке збільшення коефіцієнта тертя в початковий період є наслідком того, що контактуючі поверхні прилягають не по всій площі, а в окремих точках і на плямах контакту виникає високе питоме навантаження, а відповідно і температури, відбувається зрізання виступів, з'являються тверді частинки зношування, які попадають у зону тертя як абразиви, підвищуючи значення коефіцієнта тертя. Якщо зусилля, необхідне для зсуву окремих точок контактуючих деталей, менше від зусилля міжмолекулярного зчеплення, то відбувається згладжування поверхні тертя і утворення вторинних структур, якщо зусилля міжатомного зчеплення менше, то має місце виривання металу з поверхні і настає аварійне зношення.

Зменшення коефіцієнта тертя зі збільшенням питомого навантаження можна пояснити більш інтенсивним розвитком окислювальних процесів зі зростанням тиску внаслідок підвищення температури в зоні контакту, яка сприяє утворенню якісних вторинних структур, що своєю чергою зменшує значення схоплювання.

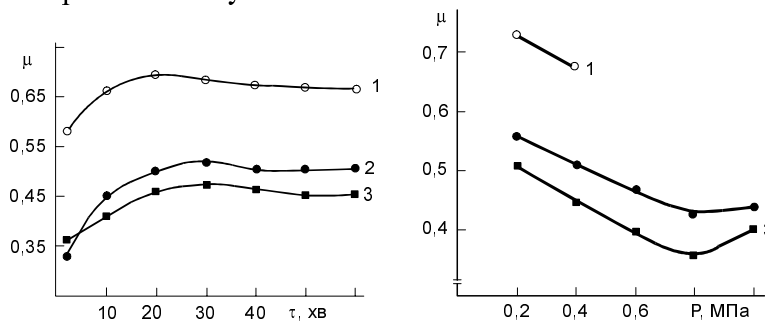


Рис. 4. Зміна коефіцієнта тертя залежно від часу ($P = 0,4 \text{ МПа}$; $V = 0,9 \text{ м/с}$) (а) і питомого навантаження (б) під час тертя ковзання без мащення пари чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20 ($V = 0,9 \text{ м/с}$): 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, масло; 3 - ФЗ, МХО-64а.

Окислювальне зношування можна розділити на декілька стадій: адсорбція і дифузія кисню на поверхні тертя; утворення вторинних структур та їх руйнування. Адсорбція і дифузія кисню на поверхні і в поверхневих шарах пари тертя є головними чинниками, які впливають на властивості вторинних структур. Внаслідок багатократного навантаження і наявності внутрішніх напружень у вторинних структурах зароджуються і розвиваються мікротріщини, а на поверхні розподілу плівки і основного металу проходить послаблення зв'язків і відшарування цих плівок. Час, необхідний для руйнування оксидної плівки, залежить від міцності її зчеплення з підкладкою і контактних напружень, що при цьому діють. Зчеплення буде тим вищим, чим менше відношення питомих об'ємів оксиду і основного металу. За малих контактних навантажень і низьких швидкостей ковзання вторинні структури в основному складаються з оксиду Fe_2O_3 , а при більш жорстких умовах тертя – з Fe_3O_4 [2].

Швидкість ковзання та питоме навантаження суттєво впливають на температурно-силові параметри в зоні контакту і, як наслідок, на тип оксидної плівки. При невеликих значеннях цих параметрів проходить лише зношування плівки Fe_2O_3 , оскільки її товщина вища від критичної, тобто швидкість утворення плівки більша від швидкості її руйнування. При збільшенні температурно-силових параметрів проходить зношування плівки Fe_2O_3 і основного металу, причому швидкість зношування останнього значно перевищує зношування плівки. При підвищених температурах у зоні контакту на поверхнях контакту виникає оксид Fe_3O_4 і починається його зношування, а також частково і основного металу. З подальшим збільшенням температурно-силових параметрів спостерігається тільки зношування плівки Fe_3O_4 [3].

Кінетика механо-хімічного зношування суттєво залежить від процесів, які відбуваються у дуже тонких шарах під впливом високих локальних температур, тисків і деформацій. Ці високошвидкісні процеси можуть спричиняти великі зміни хімічного складу активних приповерхневих шарів. Один з механізмів акумулювання енергії, яка підводиться до металу при його механічному деформуванні, складається з накопичення її у вигляді енергії дислокацій. Ця енергія забезпечує протікання трибохімічних реакцій [4]. Переважна частина механічної роботи, яка витрачається під час тертя, перетворюється в теплоту, яка постійно відводиться з зони тертя за допомогою теплопровідності, конвекції або випромінювання. Енергія дислокацій концентрується у тонкому поверхневому шарі і є важливим джерелом для протікання вказаних хімічних реакцій.

Металографічні дослідження показали, що після фрикційного зміцнення у поверхневих шарах зразків утворюється білий шар. Товщина білого шару після зміцнення з використанням мінерального мастила становила $\delta = 90 \dots 110$ мкм, а у МХО-6а – $\delta = 130 \dots 150$ мкм. Мікротвердість білого шару становила $H_u = 6,5$ ГПа та $H_u = 8,6$ ГПа відповідно при мікротвердості основного металу $H_u = 2,0$ ГПа. Густина дислокацій у білому шарі становить $2,7 \dots 2,8 \cdot 10^{11}$ см⁻² проти $0,1 \dots 0,2 \cdot 10^{11}$ см⁻² основної структури. У залишковому аустеніті кількість вуглецю досягає 1,7...1,8 % проти 0,8 % – в основній структурі. Структура білого шару на 3...4 бали дисперсніша від основної структури. Залишковий аустеніт як м'який прошарок збільшує в'язкість поверхневого шару при одночасному підвищенні його твердості за рахунок дрібнодисперсності мартенситу. У цьому разі підвищується також опір пластичному деформуванню. Підвищена кількість дислокацій активує поверхню, збільшує

швидкість дифузії і хімічних реакцій, прискорює формування оксидних плівок. У той же час дислокації у білому шарі блокуються, ускладнюється їх переміщення і гальмується зародження тріщин, а значить і зменшується кількість продуктів зношування.

Отже, фрикційне зміцнення сірого чавуну, особливо з використанням як технологічне середовище поверхнево активної полімервмісної мастильно-охолоджуючої рідини типу МХО-64а, суттєво підвищує опір зношуванню під час тертя ковзання без мащення. При цьому треба зміцнювати лише одну деталь пари тертя, більш технологічну.

1. Гурей І.В. Вплив імпульсного зміцнення на малоциклову втому сталей у корозійних середовищах // Вісник ТДТУ. 1998. 3. № 4. С. 124-129. 2. Крагельський І.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М., 1977. 3. Польцер Г., Майсснер Ф. Основы трения и изнашивания / Пер. с нем. О.Н. Озерского, В.Н. Пальянова; Под ред. М.Н. Добычина. М., 1984.

УДК 669.14.018

Дусягіна З.А.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра “Фізика металів та матеріалознавство”

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СТАНУ ПОВЕРХНІ НЕРЖАВІЮЧИХ СТАЛЕЙ ЛАЗЕРНИМ ЛЕГУВАННЯМ

©Дусягіна З.А., 2000

Проаналізовано вплив теплофізичних параметрів випромінювання під час лазерного легування на формування оптимальної структури поверхні нержавіючих сталей.

The effect of irradiation thermophysical parameters on for-ming the stainless steel optimum structure under laser doping had been considered.

Метою роботи було встановити закономірності формування певної структури поверхневих шарів нержавіючих сталей, які одержували внаслідок лазерного легування, та оцінити фазовий стан поверхні. Це дасть можливість простежити кінетичні особливості структуроутворення для розробки механізму одержання шарів з заданою наперед морфологією поверхні, що забезпечуватиме необхідний комплекс об'ємних властивостей матеріалу.

Об'єктом дослідження вибрані нержавіючі сталі різних структурних класів, марок 12Х13, 12Х17, 14Х17Н2, 12Х18Н19Т, 04Х16Н11М3Т, 07Х13АГ20, хімічний склад яких наведено в табл. 1.

Для підвищення корозійно-механічної стійкості цих конструкційних матеріалів їх поверхневі шари піддавали лазерному легуванню цирконієм та ніобієм. Нанесення цих елементів проводили на лазерній установці ЛНГ-702 "Кардамон" з довжиною хвилі безперервного лазерного випромінювання 10,6 мкм при вихідній потужності 800 Вт із швидкістю горизонтального переміщення 400 мм/хвил.