

УДК 620.178:620.191

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ

Т.А. Гурей, доц., к.т.н.,
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Досліджено, що фрикційне зміцнення істотно підвищує зносостійкість пари «сірий чавун СЧ 20 – сірий чавун СЧ 20» при терті з граничним мащенням. Під час фрикційного зміцнення у поверхневих шарах формуються білі шари з нанокристалічною структурою.

Ключові слова: зносостійкість, чавун, фрикційне зміцнення, білий шар, тертя з граничним мащенням, нанокристалічна структура.

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Т.А. Гурей, доц., к.т.н.,
Национальный университет «Львовская политехника»

Аннотация. Исследовано, что фрикционное упрочнение существенно повышает износостойкость пары «серый чугун СЧ 20 – серый чугун СЧ 20» при трении с граничной смазкой. При фрикционном упрочнении в поверхностных слоях формируются белые слои с нанокристаллической структурой.

Ключевые слова: износостойкость, чугун, фрикционное упрочнение, белый слой, трение с граничной смазкой, нанокристаллическая структура.

INCREASE OF WEAR RESISTANCE OF CAST IRON PARTS BY SURFACE HARDENING

T. Hurey, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
National University «Lviv Politechnic»

Abstract. It is shown that the friction hardening significantly increases the wear resistance of the pair cast iron Sch 20 – cast iron Sch 20 at friction with boundary lubrication. A white layer with a nanocrystalline structure is formed in the upper layers at friction hardening.

Key words: wear resistance, cast iron, friction hardening, white layer, friction of boundary lubrication, nanocrystalline structure.

Вступ

Надійність машин полягає у збереженні у заданих межах необхідних експлуатаційних показників протягом усього періоду їх використання, технічного обслуговування, ремонтів тощо. Вона залежить від конструкції машини, використовуваних матеріалів, якості виготовлення деталей і складання вузлів та

агрегатів, способів контролю, від умов та режимів роботи й інших параметрів. Для збереження експлуатаційних характеристик деталей машин необхідно мати чітке уявлення про причини їх зниження і на основі цієї інформації створювати нові технологічні процеси, які зможуть забезпечити впродовж всього періоду роботи необхідні експлуатаційні характеристики деталей машин та елементів конструкцій.

Аналіз публікацій

Для поверхневого зміцнення деталей машин застосовуються технологічні методи з використанням висококонцентрованих джерел енергії [1, 2]. До них відноситься також і фрикційна обробка. Висококонцентрований потік енергії утворюється у зоні контакту «інструмент–оброблювана поверхня» за рахунок взаємного високошвидкісного тертя (60–80 м/с). Поверхневий шар металу в зоні їх контакту нагрівається з великими швидкостями (10^5 – 10^6 К/с) до температур вище точки фазових перетворень, і під час її переміщення, за рахунок тепловідводу у глибину металу, проходить його високошвидкісне охолодження (10^4 – 10^5 К/с).

У зоні контакту під час фрикційної обробки проходить інтенсивне зсувне деформування металу поверхневого шару оброблюваної поверхні. Під час високошвидкісного нагрівання металу і наступного високошвидкісного охолодження у поверхневих шарах деталей формується зміцнений білий шар з нанокристалічною структурою [3].

Для збільшення інтенсивності деформування поверхневого шару металу оброблюваної деталі на робочій поверхні інструмента були нарізані різноспрямовані пази. У момент проходження паза над зоною контакту відбувається її розвантаження, припиняється дія теплового потоку, зсувного деформування. У момент входження у контакт з оброблюваною поверхнею наступної гладкої частини інструмента відбувається ударне навантаження зони контакту, а також проходить додаткове перемінне зсувне деформування у поперечному напрямку за рахунок різноспрямованого нахилу пазів. У зоні контакту виникає складний напружено-деформований стан поверхневого шару металу, який сприяє подрібненню структури та формуванню якісних зміцнених білих шарів.

Експлуатаційні характеристики деталей машин залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей та якості поверхні виробів, які формуються на кінцевих стадіях виготовлення деталей.

Ресурс роботи окремих вузлів і з'єднань обмежується передчасним зношуванням контактуючих деталей, особливо під час тертя з обмеженим мащенням.

Мета і постановка завдання

Метою роботи було дослідження впливу якості зміцнених білих шарів, отриманих на чавунних зразках, на зносостійкість пари «сірий чавун СЧ 20 – сірий чавун СЧ 20» при терті з граничним мащенням.

Зносостійкість під час тертя з граничним мащенням

Дослідження показали, що на формування якісних зміцнених білих шарів, отриманих на сірих чавунах, впливають режими фрикційної обробки, використовуване технологічне середовище і форма робочої поверхні зміцнювального інструмента. Так, після зміцнення інструментом із гладкою робочою частиною на чавунах формується білий шар товщиною 90–100 мкм з мікротвердістю 6,5 ГПа. Використовуючи інструмент із нарізаними на його робочій частині різноспрямованими пазами, вдалося досягти збільшення білого шару до 120–130 мкм, а також підвищилась його мікротвердість до 8,5 ГПа за твердості основного металу 2,2 ГПа.

Розділення поверхонь тертя рідким або консистентним мастилом є одним із методів підвищення зносостійкості. За недостатнього введення кількості мастильного матеріалу спостерігається тертя із граничним мащенням. Під граничним тертям розуміється тертя, при якому тверді тіла відділені одне від одного дуже тонким шаром мастила, яке знаходиться під дією молекулярних сил металу. Наявність граничного шару мастила товщиною 0,1–0,5 мкм знижує сили тертя, зменшує зношування, у порівнянні з тертям без мащення [4].

Дослідження зносостійкості чавунних пар при терті ковзанням із граничним мащенням проводили на установці СМЦ-1 за схемою «кільце – вкладка» за питомих навантажень від 0,2 МПа до 1 МПа і швидкостей ковзання від 0,5 м/с до 1,8 м/с. Час випробувань пари тертя на одному етапі складав $t = 110$ год. Мастило «Індустріальне-30А» подавали у зону тертя у кількості 15–20 крапель за хвилину.

Нерухомий зразок-вкладка був з'єднаний з диференціальним давачем силовимірювача. Сигнал із нього записувався потенціометром типу КСП-4, який фіксував момент тертя. За моментом обчислювали коефіцієнт тертя. На

вкладках в отворах закріплювали термометричні перетворювачі з термоелектродами діаметром 0,2 мм. Сигнали з термоелектричних перетворювачів подавалися на триканальний потенціометр типу КСП-4, який фіксував інтегральну температуру на глибині 0,3–0,5 мм від поверхні тертя.

Перед початком випробувань усі пари тертя припрацьовували до стабілізації моменту тертя і прилягання спряжених поверхонь, яке оцінювали за наявністю слідів зношування на площі не менше 90 % робочої поверхні тертя кожного зразка.

За критерій величини зношування було взято втрату маси зразків після 20 год тертя, яку визначали зважуванням на аналітичних вагах марки ВЛА-200Г-М з точністю $\pm 0,2$ мг. Після цього визначали інтенсивність зношування.

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь кілець виконували на спеціальній установці, змонтованій на базі токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20. За кінематикою процес фрикційної обробки є подібним до процесу шліфування, тільки замість абразивного круга використовується металевий інструмент–диск. Інструмент виготовляли із гладкою робочою поверхнею (ГРП) та з нарізними на ній різноспрямованими пазами (РНП). Як технологічне середовище використовували мінеральне мастило з поверхнево активною полімервмісною добавкою.

Зразки досліджуваних пар тертя виготовляли із сірого чавуну СЧ 20 після штучного старіння. Фрикційно зміцнювали тільки робочі поверхні зразків–кілець, вкладки – були лише шліфовані електрокорундовим кругом. При зміцненні обох тіл пари тертя ефект підвищення зносостійкості нівелюється. Для порівняння використовували незміцнену пару тертя. Шорсткість робочих поверхонь після фрикційного зміцнення становила $R_a = 0,25$ – $0,50$ мкм, після електрокорундового шліфування – $R_a = 0,50$ – $0,63$ мкм.

Досліди показали, що фрикційне зміцнення суттєво підвищує зносостійкість пари тертя «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20». Так, при терті фрикційно зміцнених інструментом із гладкою робочою частиною чавунних кілець у парі з незміцненими вкладками за питомого навантаження $P = 2$ МПа величина їх зно-

шування зменшилася майже у 5 разів, а вкладок – у 4 рази. Після зміцнення інструментом з нахиленими пазами величина зношування кілець зменшилася майже у 8 разів, а вкладок – у 6,4 рази у порівнянні з незміцненою парою тертя (рис. 1).

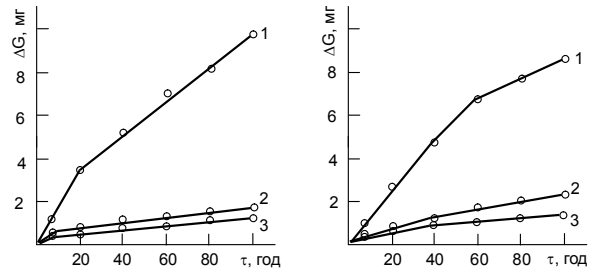


Рис. 1. Кінетика зношування пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20» ($P = 2,0$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ΦЗ, ГРП; 3 – ΦЗ, РНП

Збільшення питомого навантаження призводить до підвищення інтенсивності зношування. Максимальне збільшення інтенсивності зношування спостерігається за питомого навантаження в межах $P = 0$ – $0,75$ МПа. Збільшення питомого навантаження від $0,75$ до 2 МПа приводить до зменшення інтенсивності зношування. Проходить окислювальний процес зношування. Зі збільшенням питомих навантажень більше 2 МПа переважаючим видом зношування для незміцненої шліфованої пари є захоплення. При зношуванні незміцненої пари з питомим навантаженням $4,5$ МПа через 4–5 годин тертя відбувається різке зростання температури, руйнування мастильної плівки, з'являються подряпини та починається патологічне зношування, що призводить до інтенсивного захоплення. Незміцнена пара тертя стає неприцездатною (рис. 2). Збільшення питомого навантаження у 6 разів, тобто від $0,75$ МПа до $4,5$ МПа, при терті фрикційно зміцнених кілець привело до збільшення їх інтенсивності зношування тільки у 1,8–2,3 разів, а вкладок, які працювали з ними у парі, – у 2,6–3,3 рази. Слід зауважити, що у даному випадку вкладки були незміцненими.

Як показали досліди, білий шар істотно впливає на температуру, яка виникає в зоні тертя (рис. 3). У початковий період тертя температура різко зростає й досягає максимального значення. Збільшення температури в зоні тертя сприяє утворенню на поверхні тертя деталей якісних вторинних структур.

Утворені вторинні структури збільшують площу контакту і знижують фактичне питоме навантаження, що приводить до поступового зниження температури до встановленого значення. При зношуванні зміцненої пари зі збільшенням питомого навантаження спостерігається менш інтенсивне підвищення температури в зоні контакту.

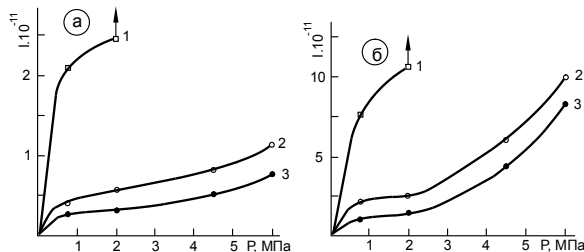


Рис. 2. Вплив питомого навантаження на інтенсивність зношування пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20» кільця (а) та вкладки (б) ($V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГРП; 3 – ФЗ, РНП

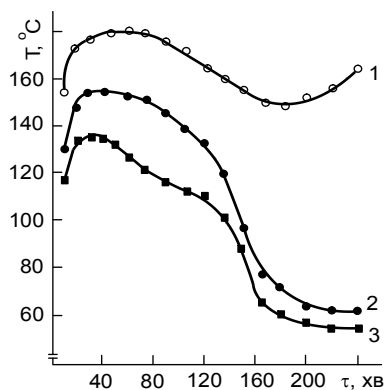


Рис. 3. Кінетика температури в зоні контакту пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20» ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГРП; 3 – ФЗ, РНП

Збільшення питомого навантаження приводить до інтенсивного зростання температури в зоні тертя (рис. 4). Значно менше підвищення температури зі збільшенням питомого навантаження спостерігається на фрикційно зміцнених зразках.

Так, при зношуванні пари тертя у діапазоні навантажень $P = 0,75$ – $4,5$ МПа відбувається нормальний окислювальний процес тертя. Збільшення питомого навантаження більше $4,5$ МПа приводить до різкого підвищення температури. Незміцнена пара при цьому стає непрацездатною, а фрикційно зміцнена пара працює нормально.

Збільшення швидкості ковзання також приводить до підвищення температури в зоні тертя. Зростання величини швидкості ковзання від $0,5$ м/с до $0,9$ м/с несуттєво підвищує температуру в зоні контакту. Зі збільшенням швидкості ковзання вище $0,9$ м/с температура в зоні тертя різко зростає. Це свідчить про інтенсивну зміну фазового і структурного стану металу в зоні тертя. Мінімальна температура в зоні тертя, при всіх досліджуваних швидкостях ковзання, зареєстрована на зразках, які було піддано фрикційному зміцненню інструментом з нарізаними різноспрямованими пазами, максимальна – на незміцнених, шліфованих.

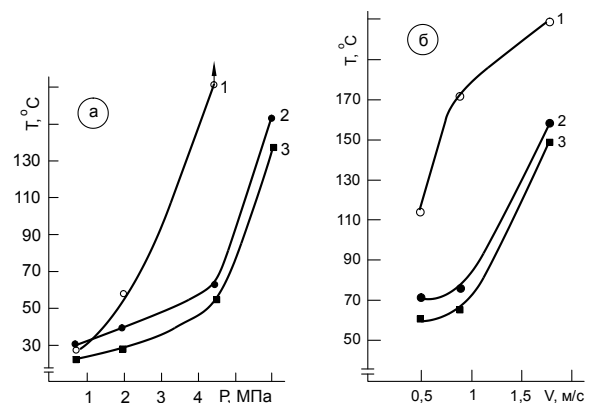


Рис. 4. Вплив питомого навантаження ($V = 0,9$ МПа) (а) і швидкості ковзання ($P = 4,5$ МПа) (б) на температуру в зоні контакту пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20»: 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГРП; 3 – ФЗ, РНП

Фрикційне зміцнення зразків також істотно знижує коефіцієнт тертя на всьому діапазоні досліджуваних швидкостей тертя та питомих навантажень. На початку тертя величина коефіцієнта тертя різко зростає і досягає максимального значення, далі починає різко зменшуватися і доходить до деякого встановленого значення (рис. 5). За цей час на поверхні пари тертя створюються суцільні, якісні вторинні структури, які підвищують зносостійкість пари тертя, – відбувається структурна пристосовуваність металу в зоні тертя.

При терті незміцнених зразків коефіцієнт тертя збільшується зі зростанням питомого навантаження. Це свідчить про те, що зі збільшенням питомого навантаження стає інтенсивнішим процес захоплення, відбувається зривання мікронерівностей, утворюються дрібні тверді частинки, які, потрапляючи в

зону тертя, діють як абразиви і збільшують інтенсивність зношування пари тертя, а також і коефіцієнт тертя (рис. 6).

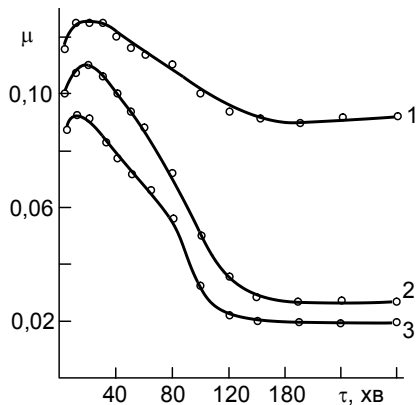


Рис. 5. Кінетика коефіцієнта тертя пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20» ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГРП; 3 – ФЗ, РНП

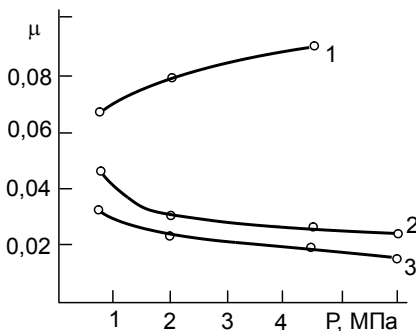


Рис. 6. Вплив питомого навантаження на коефіцієнт тертя пари «чавун СЧ 20 – чавун СЧ 20» ($V = 0,9$ м/с): 1 – ЕШ; 2 – ФЗ, ГРП; 3 – ФЗ, РНП

При терті кілець після фрикційного зміцнення зі зростанням питомого навантаження величина коефіцієнта тертя зменшується. У даному випадку основним видом тертя є окислювальне. Поверхні тертя зразків є гладкими і блискучими, відбувається намащування продуктів зношування на робочу поверхню вкладок, а процеси схоплювання у даному випадку не спостерігаються.

Висновки

Зносостійкість при терті ковзанням із граничним мащенням та питомим навантаженням 2 МПа пари «сірий чавун СЧ 20 – сірий чавун СЧ 20» після фрикційного зміцнення інструментом з нарізаними різноспрямованими пазами на робочій частині збільшилась майже у 8 разів, порівняно з незміцненою парою. Зі збільшенням питомого навантаження при терті більше 2 МПа незміцнена пара є непрацездатною. Збільшення питомого навантаження у 6 разів (від 0,75 до 4,5 МПа) при терті зміцненої пари приводить до зростання інтенсивності зношування лише у 1,8–2,3 разів.

Література

1. CHUNZHENG DUAN, MINIJIE WANG: Some metallurgical aspects of chips formed in high speed machining of high strength lowalloy steel // Scripta Mater. – 2005. – Vol. 52. – P. 1001–1004.
2. Васильев М.А. Нанокристаллизация металлических поверхностей методами интенсивной пластической деформации / М.А. Васильев, Г.И. Прокопенко, В.С. Филатова / Успехи физики металлов. – 2004. – Т. 5. – С. 345–399.
3. Chur I. Computer simulation of friction hardening of superficial layers of machine details / I. Chur, M. Jachymek, I. Hurey, V. Gurey, H. Shynkarenko // Manufacturing Processes. Some Problems. Basic science applications, Opole. – 2012. – Vol. 1. – P. 49–62.
4. Кирилів В.І. Підвищення зносотривкості середньовуглецевої сталі нанокристалізацією поверхневого шару / В. І. Кирилів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2012. – №1. – С. 102–105.

Рецензент: О.С. Полянський, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 13 червня 2016 р.