

, ДонНТУ, 2005. **5.** Башков О. В., Семашко Н. А. Акустическая эмиссия при смене механизмов деформации пластичных конструкционных материалов. //Физическая мезомеханика. – 2004. Т. 7. № 6. С. 59-62. **6.** Гречихин Л. И. Безразборная техническая диагностика сложных конструкций и возможности прогнозирования ресурса работы. // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решений. /Труды V Международной конференции – СПб.: Изд.-во СПбГПУ, 2003. – С. 152-173. **7.** Шибков А. А., Шуклимов А. В., Кольцов Р. Ю. и др. Идентификация процессов структурной релаксации во льде по сигналам электромагнитной эмиссии. //XV Петербургские чтения по проблемам прочности. СПб, 12-14 апреля 2005: Сб. тезисов. СПб., 2005. С. 95. **8.** Шибков А.А., Желтов М. А., Шуклимов А. В. и др. Исследования неустойчивой пластической деформации металлов методом электромагнитной эмиссии. // XV Петербургские чтения по проблемам прочности. СПб, 12-14 апреля 2005: Сб. тезисов. СПб., 2005. С. 96. **9.** Аругюнян Р. А. Проблема деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов. СПб.: Изд.-во СПбГУ, 2004. – 252 с. **10.** Гречихин Л. И. Об аналогии структурных температурных изменений и пластической деформации в металлах. // Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решений. /Труды IV Международной конференции – СПб.: «Нестор», 2001. – С. 93-94. **11.** Викарчук А. А., Воленко А. П., Довженко О. А. и др. Доклад «Физические основы создания наноматериалов из пентагональных частиц и нанотрубок. // XV Петербургские чтения по проблемам прочности. СПб, 12-14 апреля 2005: Сб. тезисов. СПб., 2005. **12.** Гречихин Л. И. Физика наночастиц и нанотехнологий. Общие основы, механические, тепловые и эмиссионные свойства. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 399 с.

Сдано в редакцию 5.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Бухач А.

ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ПРИ ФРИКЦІЙНОМУ ЗМІЦНЕННІ НА ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Гурей І.В., Гжесік В. (ТДТУ ім. Івана Пулюя, ПО, м. Тернопіль, м. Ополе, Україна, Польща)

The metastable structures (write layer) in a surface layer of metal are created by means of processing methods using the high concentrated sources of power, as well as by means of friction hardening. The friction hardening essentially increases durability of grey cast iron SCh 20 under the friction with boundary lubrication. Thus, under friction with boundary lubrication of grey cast iron and grey cast iron SCh 20 couple the rings wear decrease in 8.0 times and the shells in 6.4 times after friction hardening under МНО-64a technological medium in comparison with non-hardening one. Only one part of the couple was hardened. Non-hardening couple of friction is workable for unit load 2 МПа, hardening couple work normally for 6 МПа.

У даній час машинобудування розвивається в напрямку збільшення швидкості та навантаження при роботі деталей машин, механізмів. Для цього потрібно постійно підвищувати їх надійність та довговічність. Основна частина вузлів машин виходить з ладу у результаті поверхневого руйнування, найбільше від зношування. Традиційні конструкційні матеріали і їх об'ємна термічна обробка свої можливості вичерпали. Тому на даному етапі є актуальна необхідність розроблення нових технологій поверхне-

вого зміцнення для підвищення довговічності деталей машин і роботи їх у екстремальних умовах. Виробництво виробів з подовженим терміном експлуатації, виготовлення деталей із зносостійкою поверхнею вигідно реалізувати шляхом створення відповідної поверхні матеріалу, оскільки властивості, які повинна мати деталь для взаємодії з зовнішнім середовищем можна досягти тільки завдяки отриманню необхідної поверхні. Керування властивостями поверхні можна здійснювати двома шляхами: перший – на поверхні деталі формується шар з відмінним від основного матеріалу складом, другий – за рахунок модифікації поверхневого шару, т.т. зміни його структури (аморфізація, створення метастабільних структур) або його легування.

При застосуванні покриттів різко змінюються фізико-механічні властивості та хімічний склад при переході від основного металу до покриття. На сьогоднішній день у вітчизняній і зарубіжній літературі існує твердження про недостатню міцність покриттів в екстремальних умовах експлуатації. Повсюди відмічається, що при підвищенні контактних навантажень зміцнювальний ефект покриттів зменшується.

У той же час почав розвиватись другий шлях керування властивостями поверхневого шару – модифікацією робочих поверхонь деталей. У цьому випадку зміна властивостей поверхні відбувається за рахунок зміни структури поверхневих шарів, а саме створенням метастабільних структур, поверхневого легування, а також при аморфізації.

Даний шлях почав розвиватись завдяки застосуванню технологічних методів з використанням висококонцентрованих джерел енергії. При даних методах поверхневого зміцнення швидкість нагріву поверхневого шару досягає 10^5 - 10^6 К/с. За короткий час поверхневі шари металу нагріваються до температур вище точки фазових перетворень (A_{c3}). Так як товщина нагрітого шару невелика, то його охолодження відбувається з великими швидкостями (10^4 - 10^6 К/с) за рахунок відводу тепла вглибину металу. У результаті такого охолодження фіксується стан, при якому із твердого розчину ще не встигають виділитися окремі фази або це виділення не встигло повністю завершитися. При високій швидкості охолодження розплавленого заліза фіксується γ -фаза, вуглець не встигає виділитися у вигляді цементитних утворень і залишається у розчині або частково переходить у тетраедричні пори Fe_α , у результаті чого утворюється мартенсит. Вміст вуглецю в мартенситі значно більший концентрації, яка відповідає точці мартенситного перетворення. При цьому в поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу - білий шар. Структура білого шару представляє собою високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди [1].

Фрикційне зміцнення відноситься до технологій поверхневого зміцнення висококонцентрованими потоками енергії. Висококонцентрований потік енергії утворюється в зоні контакту при високошвидкісному (60-80 м/с) терті металевого інструмента по оброблюваній деталі. При цьому відбувається інтенсивне зсувне деформування. У зону зміцнення подавали у великій кількості технологічне середовище. Як технологічне середовище використовували мінеральне мастило «Індустріальне - 20А», поверхнево активну полімервмісну мастильно-охолоджувальну рідину МХО-64а. Для подачі технологічного середовища в зону зміцнення використовували систему подачі мастильно-охолоджувальної рідини верстата.

Досліди показали, що при фрикційному зміцненні сталі у поверхневому шарі формується білий шар. Технологічне середовище, яке застосовується при цьому, впливає на процес формування зміцненого шару. При застосуванні як технологічне середовище мінерального мастила в зоні контакту відбувається розкладання його на атомарний вуглець. Останній дифундує у поверхневі шари деталі і сприяє формуванню білого шару. Поверхнево-активна мастильно-охолоджувальна рідина МХО-64а у своєму

складі містить мінеральне мастило, а також компоненти, які під дією високих температур та тисків розкладаються, активують поверхню, зменшують поверхневу енергію та при цьому ще виділяється активний водень. Мікротвердість поблизу поверхні найбільша після зміцнення з використанням МХО-64а.

Дослідження зносостійкості при терті ковзанням з граничним мащенням проводили на установці СМЦ-1 по схемі «кільце-вкладка» при питомому навантаженні $P = 0,2-1$ МПа і швидкостях ковзанням $v = 0,5-1,8$ м/с. Час випробувань пари тертя на одному етапі складав $t = 110$ год. Мастило «Індустріальне-30А» подавали у зону тертя по 15-20 крапель у хвилину.

Нерухомих зразок-вкладка був з'єднаний з диференціальним давачем сил-вимірювача. Сигнал з нього записувався потенціометром типу КСП-4, який фіксував момент тертя. За моментом вираховували коефіцієнт тертя. На вкладках в отворах закріплювали термометричні перетворювачі з термоелектродами діаметром 0,2 мм. Сигнали з термоелектричних перетворювачів подавалися на трьохканальний 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 по наявності слідів тертя на площі не менше 90% робочої поверхні тертя кожного зразка.

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

Фрикційне зміцнення робочих поверхонь кілець проводили на спеціальній установці, змонтованій на базі токарно-гвинторізного верстата моделі 16К20 [2]. Як технологічне середовище використовували мінеральне мастило «Індустріальне-30А» та поверхнево активну мастильно-охолоджуючу рідину типу МХО-64а.

Зразки досліджуваних пар тертя виготовляли з сірого чавуну СЧ 20 після штучного старіння. Фрикційно зміцнювали тільки робочі поверхні зразків-кілець, вкладки - були тільки 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 з використанням як технологічне середовище мінерального мастила та МХО-64а суттєво підвищує зносостійкість пари тертя чавун-чавун СЧ 20. Так, при терті фрикційно зміцнених з використанням як технологічне середовище мінерального мастила чавунних кілець у парі з незміцненими вкладками при питомому навантаженні 2 МПа, величина зношування їх зменшилася майже у 5 разів, а вкладок - у 4 рази. Після зміцнення з використанням як технологічне середовище МХО-64а величина зношування кілець зменшилася майже у 8 разів, а вкладок - у 6,4 разів у порівнянні з незміцненою парою тертя (рис. 1).

Збільшення питомого навантаження приводить до підвищення інтенсивності зношування. Максимальне збільшення інтенсивності зношування спостерігається при питомому навантаженні в межах $P = 0-0,75$ МПа. Збільшення питомого навантаження від 0,75 МПа до 2 МПа приводить до зменшення інтенсивності зношування. При цьому проходить окислювальний процес зношування. При збільшенні питомих навантажень більше 2 МПа переважаючим видом зношування для незміцненої шліфованої пари є захоплювання. При зношуванні незміцненої пари з питомих навантаженням 4,5 МПа через 4-5 год тертя проходить різке зростання температури, руйнування мастильної

плівки, що приводить до інтенсивного захоплення, з'являються подряпини та починається патологічне зношування. Пара тертя стає непрацездатною (рис. 2). Збільшення питомого навантаження у 6 разів 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.

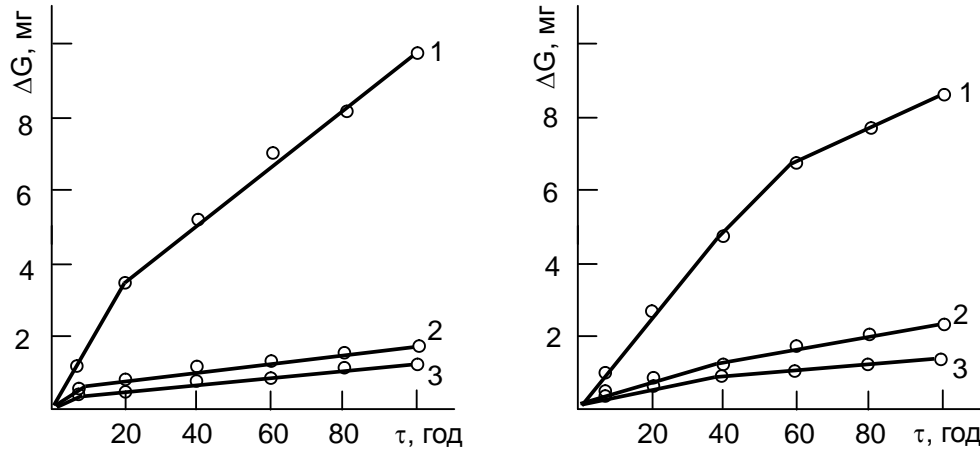


Рис. 1. Кінетика зношування при граничному мащенні пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 ($P = 2,0$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, мінеральне мастило; 3 - ФЗ, МХО-64а.

Як показали досліди, білий шар значно впливає на температуру, яка виникає в зоні тертя (рис. 3). У початковий період тертя температура різко зростає і досягає максимального значення. Збільшення температури в зоні тертя сприяє утворенню на поверхні тертя деталей якісних вторинних структур. Утворені вторинні структури збільшують площу контакту і понижують фактичне питоме навантаження, що приводить до поступового зниження температури до встановленого значення.

Збільшення питомого навантаження приводить до інтенсивного росту температури в зоні тертя (рис.4). Значно менше підвищення температури зі збільшенням питомого навантаження спостерігається на фрикційно зміцнених зразках. Так, при терті зразків у діапазоні навантаження 0,75-4,5 МПа відбувається нормальний окислювальний процес тертя. Збільшення питомого навантаження вище 4,5 МПа приводить до різкого підвищення температури.

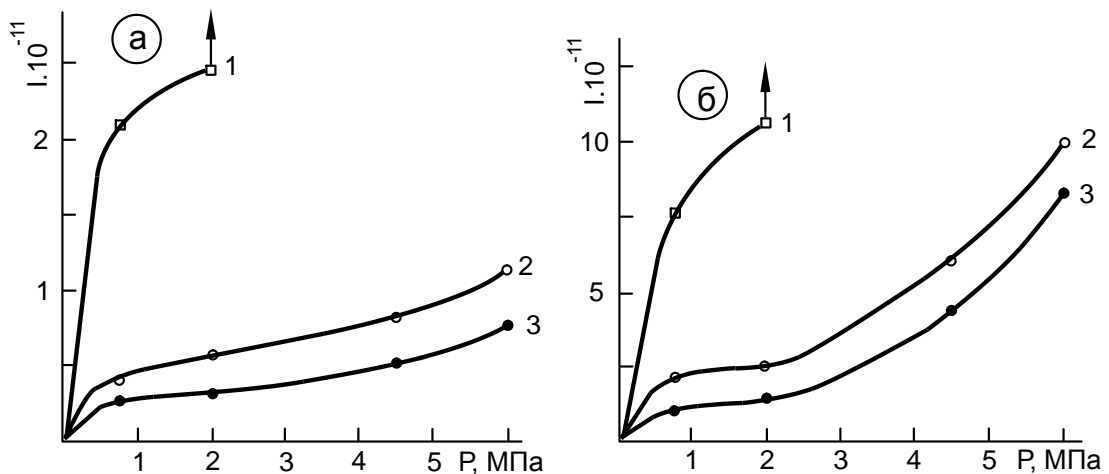


Рис. 2. Вплив питомого навантаження на зношування пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 при граничному мащенні кільця (а) та вкладки (б) ($V = 0,9$ м/с): 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, мінеральне мастило; 3 - ФЗ, МХО-64а.

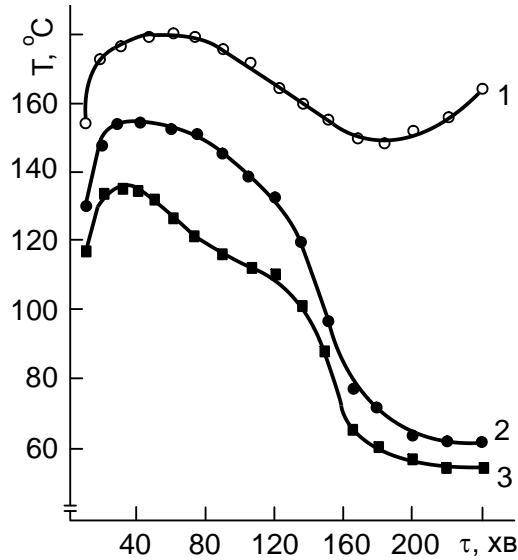


Рис. 3. Кінетика температури в зоні контакту пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 при терті з граничним мащенням ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, мінеральне мастило; 3 - ФЗ, МХО-64а.

Збільшення швидкості ковзання також приводить до підвищення температури в зоні тертя. Збільшення швидкості від 0,5 до 0,9 м/с не значно 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 після фрикційного зміцнення з МХО-64а, максимальна - на незміцнених, шліфованих.

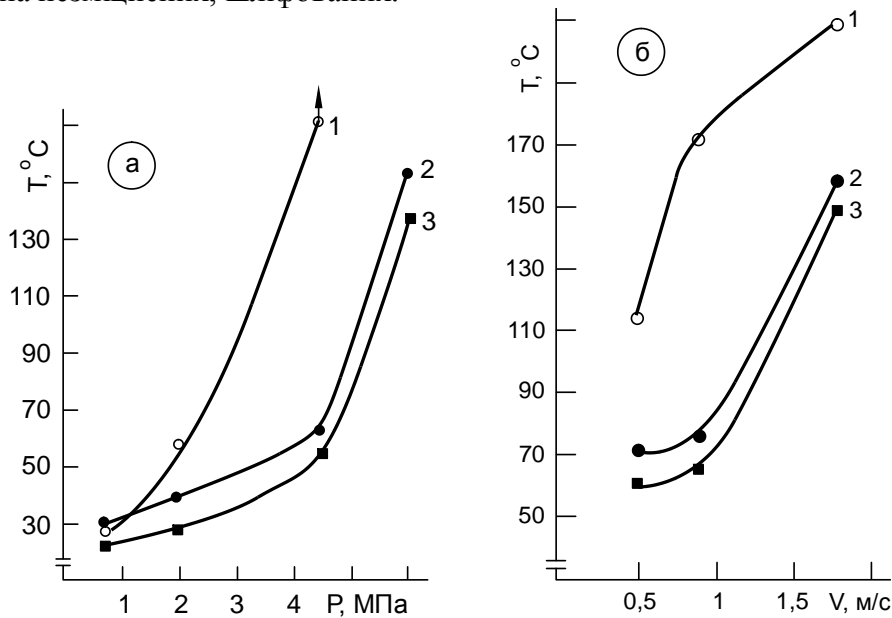


Рис. 4. Вплив питомого навантаження ($V = 0,9$ МПа) (а) і швидкості ковзання ($P = 4,5$ МПа) (б) на температуру в зоні контакту пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 при терті з граничним мащенням: 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, мінеральне мастило; 3 - ФЗ, МХО-64а.

Фрикційне зміцнення зразків значно понижує 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 сприятливі вторинні структури, які підвищують зносостійкість пари тертя, відбувається структурна пристосовуваність металу в зоні тертя.

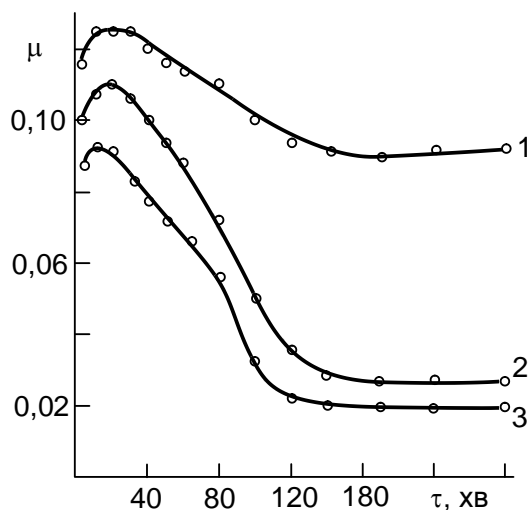


Рис. 5. Кінетика коефіцієнта тертя при терті з граничним мащенням пари чавун СЧ 20 - чавун СЧ 20 ($P = 4,5$ МПа; $V = 0,9$ м/с): 1 - ЕШ; 2 - ФЗ, мінеральне мастило; 3 - ФЗ, МХО-64а.

При терті незміцнених зразків коефіцієнт тертя збільшується з ростом питомого навантаження. Це свідчить про те, що зі збільшенням питомого навантаження стає інтенсивніший процес захоплення, відбувається зривання мікронерівностей, утворюються дрібні тверді частинки, які потрапляючи в зону тертя, діють як абразиви і збільшують величину зношування пари тертя, а також і коефіцієнта тертя. При терті кілець після фрикційного зміцнення величина коефіцієнта тертя знижується. У даному випадку основним видом тертя є окислювальне. Поверхні тертя зразків гладкі і блискучі. Спостерігається намащування продуктів зношування на робочу поверхню вкладок, захоплення не спостерігається.

Металографічні дослідження показали, після фрикційного зміцнення у поверхневих шарах зразків утворюється білий шар. Товщина білого шару після зміцнення з використанням мінерального мастила складала 90-110 мкм, а у МХО-6а – 130-150 мкм. Мікротвердість білого шару становила $H_{\mu} = 6,5$ ГПа та $H_{\mu} = 8,6$ ГПа відповідно при мікротвердості основного металу $H_{\mu} = 2,0$ ГПа. Густина дислокацій у білому шарі становить $2,7-2,8 \cdot 10^{11}$ см⁻² проти $0,1-0,2 \cdot 10^{11}$ см⁻² основної структури. У залишковому аустеніті кількість вуглецю досягає 1,7-1,8 % проти 0,8 % - у основній структурі. Структура білого шару на 3-4 бали дисперсніша основної структури.

При терті з граничним мащенням на поверхнях тертя утворюються вторинні структури, аналогічно як при терті без мащення. Вони складаються, в основному, з оксидів заліза і легуючих елементів, а також зі сполук активних елементів мастила з атомами металу. Елементи, які утворюють з матеріалом основи сполуки, можуть дифундувати як з навколишнього середовища, так і з об'єму металу. Мастильні матеріали відіграють роль екрана, який зменшує поступлення кисню в зону тертя, так як вміст

кисню у них значно менший, аніж у повітрі. При терті з відносно низьким рівнем структурно-термічної активації цього кисню є достатньо для протікання складних трибохімічних реакцій. Коли тертя проходить у важких умовах, рівень структурної активації сильно зростає. Вмісту кисню, який адсорбується на ювенільних поверхнях може бути недостатньо для утворення якісних вторинних структур [3]. Для протікання складних трибохімічних реакцій на поверхнях тертя витрачається також енергія, накопичена у вигляді енергії дислокацій. Підвищена густина дислокацій активує поверхню, збільшує швидкість дифузії і хімічних реакцій, а також прискорює утворення оксидних плівок.

На площадках контакту, покритих граничною плівкою мастильного матеріалу, протікає пружна і пластична деформація металу. На них може пройти взаємне втиснення поверхонь без порушення цілісності мастильної плівки. Опір рухові при ковзанні складається з опору зсуву граничного шару і опору продряпуванню поверхонь втисненими об'ємами. На площадках контакту, де виникають значна пластична деформація і висока локальна температура, проходить руйнування мастильної плівки з настанням адгезії ювенільних поверхонь зі схоплюванням металу на мікроділянках. Завдяки рухливості молекул мастильного матеріалу на поверхнях тертя адсорбція протікає з великою швидкістю, що дозволяє відновлювати суцільність граничної плівки.

Отже, фрикційне зміцнення деталей з сірого чавуну суттєво підвищує працездатність пар тертя при зношуванні з граничним мащенням у широкому діапазоні швидкостей тертя та питомого навантаження.

Список літератури: 1. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения. - М.: Физмашгиз, 1963.- 472 с. 2. *Бабей Ю.И., Швец В.В., Гурей И.В.* Упрочнение поверхностных слоев стальных и чугуновых деталей фрикционной обработкой // Вестник машиностроения. - 1987. - № 10. - С. 39 - 40. 3. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.К.Караулов и др. Под общ. ред. Б.И.Костецкого. - К. : Техніка, 1976. - 296 с.

Сдано в редакцию 6.06.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Михайлов А.Н.

РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ДЕТАЛІ ПРИ ФРИКЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

Гурей Т.А. (ГІ ім. В.Чорновола, м. Тернополь, Україна)

Mathematical model is developed, that enable calculate by temperature in contact zone of tool and part by friction hardening. Temperature in contact zone has pulse effect.

Широке застосування на практиці знаходять методи поверхневого зміцнення деталей машин із використанням висококонцентрованих джерел енергії. Ці методи характеризуються дією з великими швидкостями високих питомих енергій на відносно малі об'єми металу з наступним їх швидким охолодженням. Структурно-фазові зміни, які проходять у процесі цих обробок суттєво залежать від хімічного складу і вихідної термічної обробки матеріалу. Вони характеризуються формуванням двох якісно різних структурних зон - зони вторинного гартування або так званого слаботравимого білого