

УДК 621.891, 620.194

*О. О. Міщук, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,
А. В. Богайчук, асп.*

ВПЛИВ ПРОЦЕСІВ РОЗКЛАДУ СТРУКТУРИ МАРТЕНСИТУ НА ФОРМУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ПАРИ ТЕРТЯ В МАСТИЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

УкрНДІНП “МАСМА”, Київ

Досліджено вплив попереднього низькотемпературного відпуску загартованої на мартенсит сталі на змащувальну ефективність мастильного матеріалу.

Вступ. Більшість сучасних методів оцінювання змащувальної ефективності мастильних матеріалів базується на використанні сталей мартенситного класу, зокрема, сталі ШХ15 [1; 2]. Процеси розкладу гартувального мартенситу, зумовлені інтенсивними імпульсними напруженнями поверхонь тертя металу в контактній зоні, вже за відносно невисоких температур здатні суттєво змінювати інтенсивність зношування та антифрикційні характеристики пар тертя [3–5].

Постановка проблеми. Різноманітні навантажувально-швидкісні та температурні режими обумовлюють різні умови перетворення структури поверхні тертя. В поверхневих шарах сталей мартенситного класу, як це показано на прикладі сталі ШХ15 [5], під час тертя відбуваються структурні зміни, природно пов'язані з закономірностями їх перетворення внаслідок низькотемпературного відпуску. Ефективність мастильного матеріалу, оцінювана під час трибологічних випробувань, значною мірою є наслідком його здатності впливати на подібну релаксаційну перебудову мартенситного поверхневого шару, що є суттєво нерівноважною [4; 6]. Ймовірнісний характер розкладу мартенситу й створює проблему неоднозначного визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу за умови використання різних методів [1].

У зв'язку з вищесказаним постало питання про можливість зменшення ймовірнісного впливу процесів розкладу мартенситу на результативність трибологічної оцінки мастильного матеріалу.

Мета та завдання роботи. Метою роботи було дослідження впливу зміни структурно-фазового стану сталі мартенситного класу на властивості поверхонь пари тертя в мастильному середовищі. Для цього вивчено закономірності тертя та зношування, властивості поверхонь сталевих пари тертя для зразків, термооброблених за умов низькотемпературного відпуску.

Об'єкти та методи досліджень. Досліджували чотирикулькову кінематичну схему тертя, що має широке застосування в стандартизованих методах випробувань мастильного матеріалу [1; 2]. Як базові зразки використовували партію загартованих на мартенсит куль діаметром 12,7 мм, виготовлених зі сталі ШХ15 (ГОСТ 21022-75), твердістю HRC 62-64, з кінцевою шорсткістю поверхні $R_a < 0,03$ мкм (ГОСТ 3722-81). Частину куль цієї ж партії відпускали впродовж 3 год за температури 260 °C у вакуумі (4 Па) або в середовищі стійкої за температури відпуску кремнійорганіки ПМС-100. Складали пари тертя чотирьох типів з: а) мартенситних куль; б) відпущених куль; в) трьох відпущених стаціонарних куль (зразок пари тертя) та мартенситної рухомої кулі (контрзразок); г) трьох мартенситних стаціонарних куль та відпущеної рухомої кулі.

У всіх випадках використовували модельне комплексне літійове мастило на нафтовій оливі (ТУ У 23.2-00152365-105-2002).

Експерименти проводили на пристрої тертя Falex Four-Ball Friction and Wear Test Machine [5]. Камеру з мастильним матеріалом та парою тертя термостатували за температур: 25, 75, 100, 125, 150, 175 та 200 °C. В усіх випадках вихід на відповідний режим термостабілізації перед випробуваннями не перевищував 45 хв. Задавали осьове навантаження 392 Н, частоту обертів 1200 хв⁻¹ (швидкість ковзання 0,5 м/с) та процес тертя впродовж 60 хв (ASTM D 2266). Вимірювали силу тертя, температуру куль, а після припинення процесу діаметри їх слідів зношування та вивчали властивості поверхонь тертя.

Результати досліджень та їх обговорення. Закономірності тертя та зношування загартованих на мартенсит сталевих куль попередньо обґрунтовані нами в [5]. Подальші інструментальні дослідження виявили неоднорідність зношування поверхневого шару, що, загалом, зберігається в діапазоні температур 25–200 °C (рис. 1).

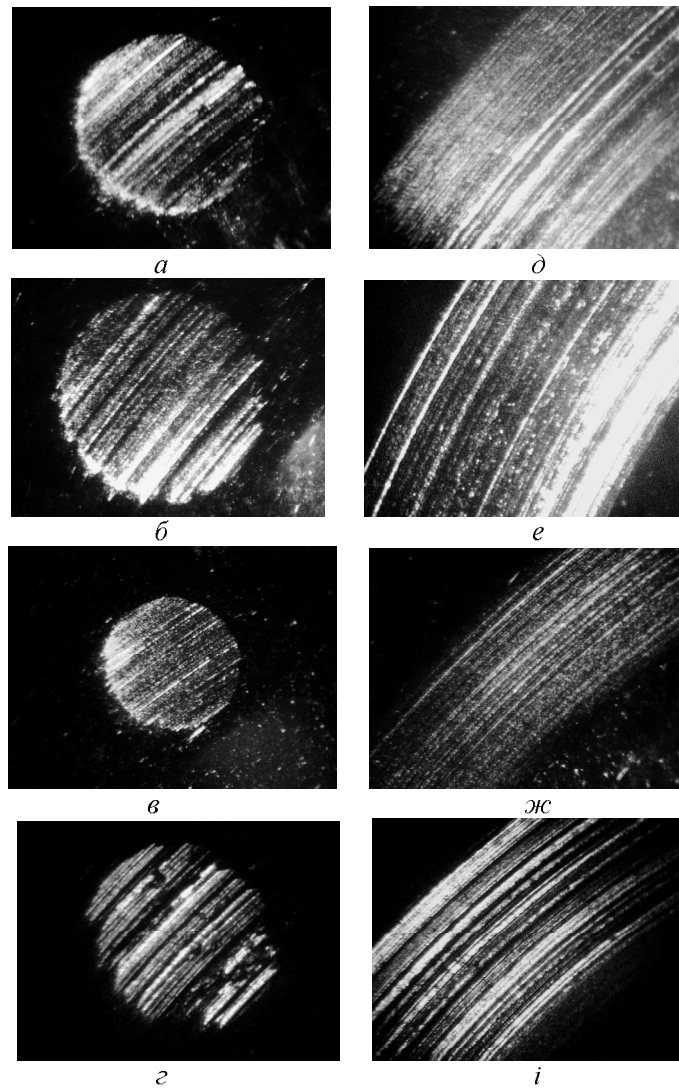


Рис. 1. Оптичні фотографії ($\times 42$) слідів зношування стаціонарних (*a, б, в, г*) та рухомих (*д, е, ж, з*) сталевих куль, загартованих на мартенсит (HRC 62). Температура випробувань: *a, д* – 25°C ; *б, е* – 75°C ; *в, ж* – 100°C ; *г, і* – 200°C

Вже за кімнатної температури відбуваються початкові деформційно-активовані структурні перетворення поверхні стаціонарно закріплених куль пари тертя (див. рис. 1, *а*). Виділення крихкої тонкоплівкової фази ϵ -карбіду на границях мартенситних зерен сталі під час періоду припрацювання пари тертя та подальше її руйнування ініціює формування на макроскопічному рівні смуг ковзання. Співставлення поверхонь тертя зразка та контрзразка свідчить про своєрідне віддзеркалення їх топографії в поперечному до сил тертя напрямку, коли впадинам на поверхні зразка відповідають вершини пагорбів на поверхні контрзразка та навпаки (див. рис. 1, *д*). Розвиткові цього процесу перешкоджає мастильний матеріал, що формує за певними механізмами поверхневі структури [6; 7].

Зауважимо, що доріжка тертя на поверхні контрзразка є результатом накладення контактів трьох стаціонарних куль чотирьох кулькової пари тертя. Тому, внаслідок геометричних мікроперекосів, що існують у реальних умовах, ширина цієї доріжки є, загалом, більшою за діаметр якоїсь однієї зі стаціонарних куль.

Збільшення температури термостабілізації пари тертя до межі першого відпусного перетворення сталі [4] сприяє інтенсифікації розкладу мартенситу в контактній зоні та збільшенню інтенсивності зношування куль (див. рис. 1, *б, е*), оскільки своєрідна пасивація поверхонь сталі нестійкими до зношування поверхневими плівками ϵ -карбіду змінює властивості поверхонь та перешкоджає їх ефективному змащуванню мильними мастильними матеріалами [5].

За об'ємних температур 100–125 °C згідно з оцінкою еквівалентних температур зони тертя, зробленою із співставлення температурних залежностей коефіцієнту тертя в [5], ефекти розкладу мартенситу, характерні для першого перетворення сталі, за даних навантажувально-швидкісних умов тертя мають, у цілому, швидко завершуватись. Це призводить до посилення змащувальної дії мастила, зменшення тертя та зношування сталі та сприяє максимальній однорідності поверхонь тертя (див. рис. 1, *в, ж*).

З метою контрольованого впливу структурно-фазової перебудови поверхневого шару сталі на результати оцінки змащувальної ефективності мастила було проведено експерименти з відпущеними кулями. Рис. 2 ілюструє топографію слідів зношування куль у випадках змішаних мартенситних та відпущених елементів пари тертя.

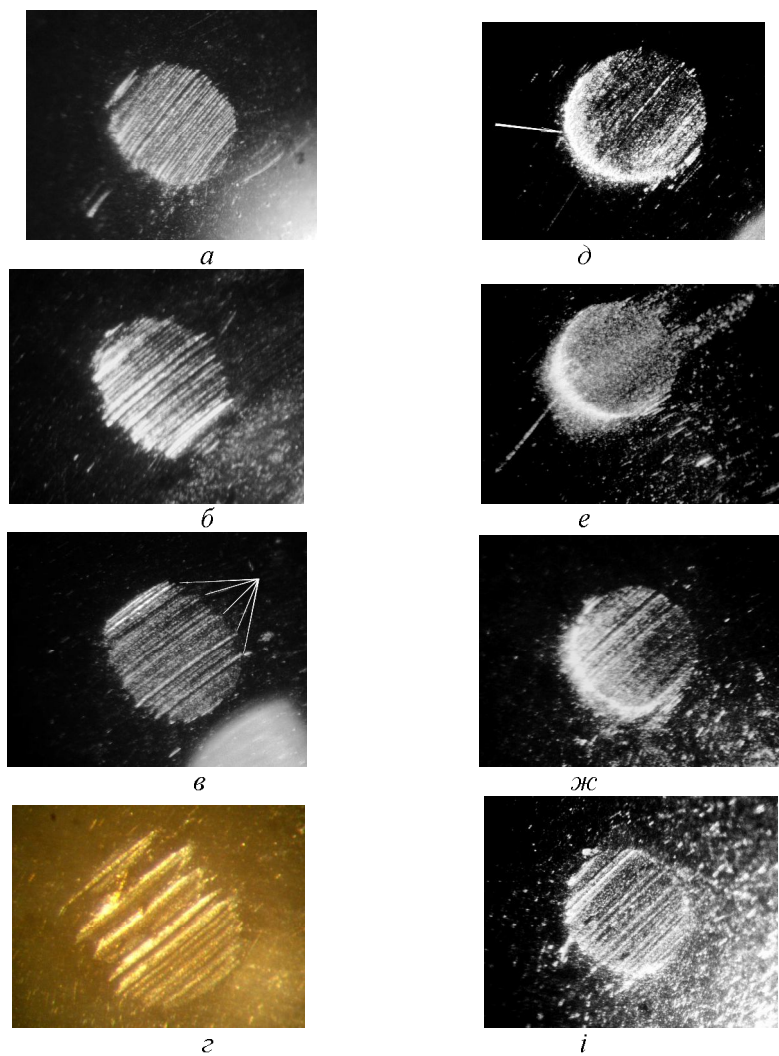


Рис. 2. Оптичні фотографії ($\times 42$) слідів зношування сталевих куль чотирикулькової пари тертя для випадків: відпущеної рухомої та загартованих стаціонарних куль ($a, б, в, з$); загартованої рухомої та відпущених стаціонарних куль ($д, е, ж, і$). Температура випробувань: $a, д - 25^{\circ} \text{C}$; $б, е - 75^{\circ} \text{C}$; $в, ж - 100^{\circ} \text{C}$; $з, і - 200^{\circ} \text{C}$

У межах похибки експерименту отримано однакові результати для куль, відпущених у вакуумі та в середовищі кремнійорганічної оливи.

Для чотирикулькових пар тертя, складених тільки з відпущених сталевих куль, у досліджуваних умовах випробувань (ASTM D 2266) зареєстровано процеси схоплювання та характерного макропошкодження поверхонь тертя. Тому результати досліджень для цих випадків не розглядатимемо.

Аналіз контурів слідів зношування стаціонарних куль (див. рис. 1, *а, б, в, г* та рис. 2) свідчить, що співвідношення їх діаметрів вздовж та в поперек смуг ковзання є комплексною характеристикою структурних перетворень поверхневих шарів сталі на зразкові та контрзразкові пари тертя. Залежність цих величин від температури термостабілізації пари тертя, ілюструє рис. 3, *а*.

Отримані нами температурні залежності для випадку оцінювання геометричних розмірів слідів зношування чотирикулькової пари тертя, складеної тільки з мартенситних куль (рис. 3, *а*, криві 1 та 2), подібні до залежності, наведеної в праці [6; с. 81], для випадку вагового зношування пари «три кулі-площина», виготовленої також із загартованої сталі ШХ15.

За умови відпуску тільки контрзразка (рухомої кулі) пари тертя (рис. 3, *а*, криві 3 та 4) у діапазоні температур 25–125 °С зникає екстремальна залежність величини зношування куль, характерна для діапазону температур першого перетворення загартованої на мартенсит сталі в досліджуваних умовах тертя [5], та спостерігається незалежна від температури розігріву еліптичність (18–20 %) сліду зношування стаціонарних куль (див. рис. 2, *а, б, в, г*). Звідси робимо висновок, що подібна еліптичність пов'язана з відпуском та відповідно більшою інтенсивністю зношування рухомої кулі.

У діапазоні температур 150–200 °С величини еліптичності та діаметрів слідів зношування куль для пари тертя з відпущеним контрзразком та пари з мартенситними кулями збігаються (рис. 3, *а*), а топографічний рельєф поверхні тертя характеризується «грубою» неоднорідністю (див. рис. 1, *г* та 2, *г*). У випадку мартенситної пари тертя це свідчить про перебіг деформаційно-активованого відпуску поверхневих шарів контрзразка за температур понад 150 °С.

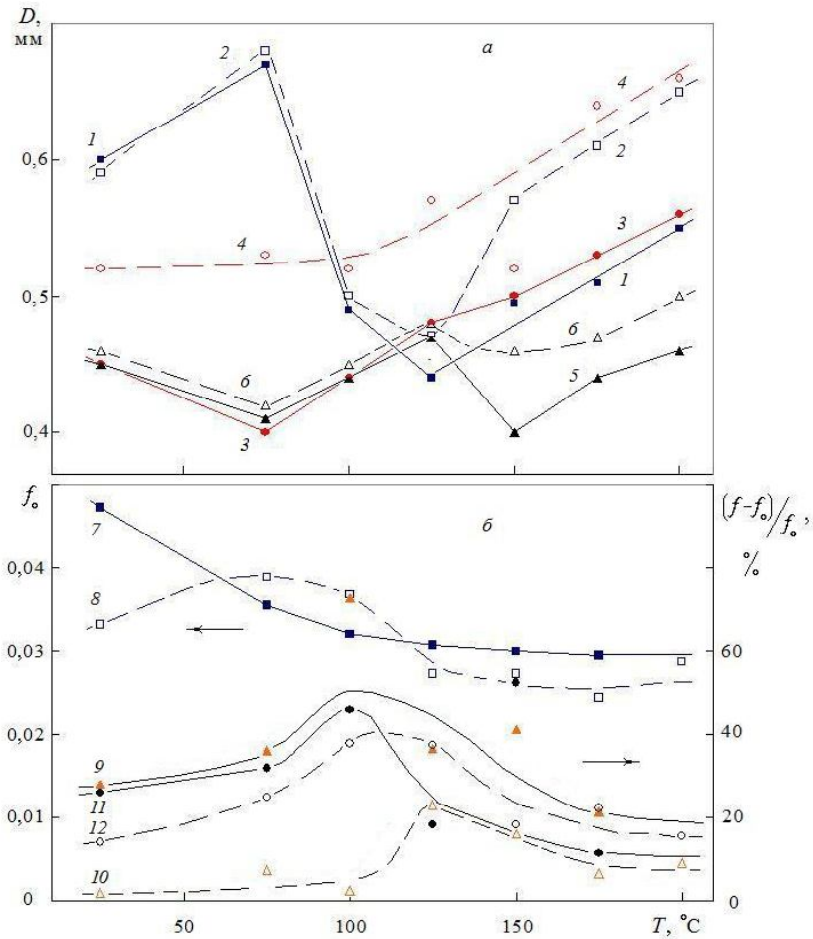


Рис. 3. Залежності (а) діаметрів сліду зношування D , виміряних вздовж (криві 1, 3, 5) та поперек (криві 2, 4, 6) напрямку тертя; (б) коефіцієнту тертя в початковий момент часу f_0 (криві 7, 8) та його відносного відхилення $(f-f_0)/f_0$ протягом першої хвилини (криві 9, 10) та 10-ї хвилини (криві 11, 12) тертя від температури T термостабілізації пари тертя для випадків: загартованих на мартенсит куль (криві 1, 2); відпущеної рухомої та загартованих стаціонарних куль (криві 3, 4, 7, 9, 11); загартованої рухомої та відпущених стаціонарних куль (криві 5, 6, 8, 10, 12)

Значення коефіцієнта тертя відображають зміни структурно-фазового стану поверхневих шарів сталі та реакцію на них мастильного матеріалу, які на поверхнях тертя зразка та контрзразка відбуваються зі зсувом у часі [5]. Ефекти початкового розкладу гартувального мартенситу супроводжуються для досліджуваного мастила зростанням коефіцієнта тертя до 25–30 %. У разі змішаних мартенситних та відпущених елементів пари тертя відмінності перебігу процесів на різних поверхнях добре спостерігаються протягом початкового періоду тертя.

Уплив температури та структурно-фазового стану пари тертя на відносні зміни коефіцієнта тертя з часом проілюстровано на рис. 3, б. Аналіз свідчить, що за умови відпущеного контрзразка пари тертя характерні структурні перетворення поверхонь тертя стаціонарних куль починають відбуватися вже впродовж першої хвилини експерименту (рис. 3, б, крива 9), як і у випадку повністю мартенситної пари тертя. Дослідження слідів зношування виявляють появу чіткої періодичності смуг ковзання в перпендикулярному до дії сил тертя напрямку. За кімнатної температури характерна відстань між цими смугами (див. рис. 2, а) становить $12,0 \pm 0,5$ мкм. Попередні ожеспектральні дослідження засвідчили наявність карбідів заліза у впадинах та значно складнішу структуру поверхневого шару на вершинах пагорбів поверхні тертя зразка [8].

Двофазна структура з чітким періодичним рельєфом на поверхнях тертя (див. рис. 2, а) проявляється в усьому дослідженому діапазоні температур, але характерна відстань між смугами збільшується до 16 ± 3 мкм. Водночас з'являються розміщені також упорядковано характеристичні «прорізи» поверхневого шару, помічені стрілками на рис. 2, в. Середня відстань між ними становить 88 ± 2 мкм. Отже, відстань між двома сусідніми «прорізами» охоплює близько 5,5 смуг двофазної структури. «Прорізи» суттєво розширюються і відповідають за збільшення діаметра сліду зношування та шорсткості поверхні в діапазоні температур 150–200 °С (рис. 2, г).

Чітка періодичність рельєфу поверхонь тертя, особливо за низьких температур (див. рис. 2, а, б, в), свідчить про утворення в поверхневих шарах сталі орієнтованих кристалічних структур, на мікроскопічному рівні пов'язаних, очевидно, з фазою перліту, пластини якої орієнтовані вздовж дії сил тертя. Цьому ефекту сприяє когерентність ґраток ϵ -карбіду і твердого розчину вуглецю в залізі,

що відбувається особливо на початкових стадіях розкладу мартенситу [4]. Подальше утворення «прорізів» стає наслідком колективних процесів взаємодії атомів вуглецю з дислокаційними комплексами, іншими домішками та дефектами [6; 9; 10].

Яз засвідчили результати оцінювання еквівалентної температури тертя [5], в діапазоні відносно низьких об'ємних температур 150–200 °C у поверхневих шарах вже відбуваються процеси, характерні для другого і третього перетворень сталі під час відпуску. Тому причиною появи «прорізів» та збільшення шорсткості поверхонь тертя є різка «активізація» об'ємної дифузії вуглецю (вже вище від температури 150 °C [4]) та прискорення процесів перетворення ϵ -карбіду в цементит, що порушує когерентність ґраток карбіду та твердого розчину вуглецю в залізі, сприяє виділенню та зростання дисперсної фази цементиту. Відмінністю є нерівноважність умов тертя. Загалом, «прорізи» стають наслідком інтенсивнішого зношування крихкої фази цементиту, а не схоплення поверхонь пари тертя.

Отже, виявлені в експериментах «прорізи» поверхонь тертя є проявом такого поєднання деформаційних і теплових процесів перетворення структури, коли їх сумарна енергетика починає відповідати вже третьому перетворенню сталі під час відпуску, а характер обумовлюється самоорганізацією зони тертя.

За умови відпуску тільки зразка (стаціонарних куль) пари тертя обидві величини діаметра сліду зношування куль (рис. 3, *а*, криві 5 та 6) у діапазоні температур 25–125 °C повторюють температурну залежність діаметру сліду зношування, виміряну вздовж смуг ковзання для попереднього випадку (крива 3). Еліптичності слідів зношування немає, а поверхня тертя візуально є порівняно вигладженою (див. рис. 2, *д*, *е*, *ж*). У межах діапазону температур 175–200 °C з'являється еліптичність (7–9 %) та рельєфність поверхонь тертя (див. рис. 2, *і*), що свідчить про активацію процесів відпуску поверхневих шарів контрзразка.

Характерне для процесів розкладу мартенситу збільшення коефіцієнта тертя для випадку пари з відпущеними стаціонарними кулями розпочинається лише через 5–10 хв після початку експерименту (рис. 3, *б*, криві 10 та 12). Частинки зношування, що формуються внаслідок руйнування поверхневих плівок ϵ -карбіду на поверхні контрзразка, відшліфовують м'якшу поверхню зразка на межі із зоною тертя, про що свідчить блискучий ореол перед входом у

зону тертя (на рис. 2, *д* показано стрілкою). Оже-спектральний аналіз зони блискучого ореолу виявляє відносно очищену від вуглеводневих забруднень та оксидних плівок поверхню сталі. Подібний ореол спостерігається в діапазоні температур 25–125 °С (див. рис. 2, *д, е, ж*). Він зникає за температур 150–200 °С (див. рис. 2, *і*).

Детальніший аналіз поверхонь тертя для пар із заздалегідь відпущеними стаціонарними кулями свідчить, що, не зважаючи на відносно вигладжений характер топографічного рельєфу, на них також загалом утворюються смуги ковзання, періодично розташовані одна від одної на тій же відстані, як і у випадку пар тертя з відпущеним контрзразком (див. рис. 2, *а, д*). Однак шорсткість поверхонь тертя в поперечному до сил тертя напрямку значно менша, що свідчить про іншу природу утворення їх рельєфу.

Імовірно, що поява періодично розташованих смуг ковзання на поверхнях відпущених стаціонарних куль пари тертя є наслідком процесів відтиснення та вибіркового стирання окремих ділянок під впливом твердішої та більш зносостійкої упорядкованої структури, що створюється на поверхні контрзразка. На такий висновок наштовхує й та обставина, що за вищих температур на поверхнях тертя на місці «прорізів» знаходимо вершини «відтиснених пагорбів» (див. рис. 2, *ж, і*). Водночас періодичні смуги ковзання після збільшення температури сильніше завуальовані поверхневими плівками механохімічного походження, що вказує на формування «наведеної» структури поверхневих шарів металу, механізми утворення якої ще потребують подальшої деталізації.

Відзначимо, що для всіх досліджених випадків і температур попередньої термостабілізації пар тертя (25–200 °С) спостерігали додаткове їх саморозігрівання на 15–28 °С упродовж перших 10 хв після початку тертя (а для випадку 75 °С значно довше), що свідчить про перебіг під час припрацювання пари тертя екзотермічних процесів у контактній зоні, до яких, зокрема, і належить процес розкладу гартувального мартенситу. Діапазон температур випробування 75–125 °С характеризується максимальним екзоефектом (до 28 °С) для всіх вивчених типів чотирикулькової пари тертя. Особливим є те, що за наявності короточасних прихоплень пари тертя (хоча б навіть одного) екзоефект не проявляється.

Зауважимо, що температурна залежність зношування пари тертя [6, с. 81], подібна до досліджуваної (рис. 3, *а*, криві 1 та 2) у діапа-

зоні температур 25–200 °С, була отримана методом розігрівання контактної зони внаслідок збільшення швидкості ковзання в діапазоні 0,1–2,5 м/с. Очевидно, що до механізму саморозігрівання пари тертя в цьому температурному діапазоні слід залучити деформаційно-активовані екзотермічні процеси розкладу фази мартенситу.

Повертаючись до мартенситної пари тертя (див. рис. 1), можна стверджувати наявність іншого поєднання вище виявлених типів топографічного рельєфу поверхонь тертя. Водночас раніше виявлена періодичність смуг ковзання сильно порушена внаслідок зношування у зв'язку з однаковими початковими структурно-фазовим станом та механічними властивостями (зокрема, високою мікروتвердістю) поверхневих шарів зразка та контрзразка, а також інтенсивною контактною взаємодією їх поверхонь.

Імпульсні деформаційні напруження в контактній зоні мартенситної пари тертя сприяють вже за кімнатної температури процесам, характерним для третього перетворення сталі під час відпуску. Величина еліптичності слідів зношування куль вказує, що за температур, менших за 100 °С, фаза цементиту зростає, перш за все, на поверхні зразка (стаціонарних куль), що сприяє появі характерних «прорізів» (див. рис. 1, а, б).

Інтенсифікація структурних перетворень мартенситу в діапазоні температур випробувань 100–125 °С забезпечує досить швидке зниження контактних напружень під час припрацювання пари тертя, що різко блокує розвиток фази цементиту та «грубого» топографічного рельєфу поверхонь тертя зразка. На них у цьому температурному діапазоні вже немає «прорізів», але спостерігається поєднання двофазної та «наведеної» структури поверхневих шарів металу, а також наявність «відтиснених пагорбів», що свідчить про незавершеність структурно-фазових перетворень у поверхневих шарах контрзразка.

У температурному діапазоні 150–200 °С під впливом деформації і температури в поверхневих шарах контрзразка ініціюються структурні перетворення, що інтенсифікують розвиток на поверхні стаціонарних куль характерних «відтиснених пагорбів» (див. рис. 1, г).

Аналізуючи наведені результати, можна стверджувати, що розміри слідів зношування пар тертя обумовлюються процесами збільшення «прорізів» на поверхнях тертя як зразка, так і контрзразка. Про це свідчить, зокрема, подібність поперечного діаметра слі-

ду зношування для мартенситної пари за температур 75 та 200 °С та для пари з відпущеним контрзразком за температури 200 °С, а також подібність поздовжнього діаметра слідів зношування для відпущеного зразка або відпущеного контрзразка пари тертя за температур до 125 °С (рис. 3, *а*).

Отже, ефект екстремального зростання та наступного різкого зменшення інтенсивності зношування загартованої на мартенсит сталі в діапазоні температур 25–100 °С пов'язаний з одночасним перебігом різних пружноативованих процесів: розвитку дислокаційної структури поверхневого шару під впливом високих імпульсних напружень у контактній зоні та дифузії легувальних домішок, розкладу мартенситної структури, що призводить до різкого зменшення амплітуди напружень, та перерозподілу вуглецю як головного чинника формування різних фаз та субструктур сталі. Сучасні методи оцінювання протизношувальних характеристик мастильного матеріалу, в яких використовують пари тертя з усіма загартованими на мартенсит елементами, виявляють фактично особливу здатність мастильного матеріалу суттєвому знижувати контактні напруження у початкові моменти тертя. Якщо це відбувається, то результатом випробувань буде слід зношування, характерний тип якого відображено на рис. 1, *в* та рис. 2, *д*, *е*, *ж*. Інакше матимемо результат, зображений на рис. 1, *а*, *б*. Наступні механохімічні перетворення в контактній зоні тертя вже не здатні здебільшого настільки кардинально вплинути на значення оцінюваного діаметра сліду зношування сталевих куль. Як наслідок отримувані висновки про змащувальну ефективність мастильного матеріалу не можна використовувати для випадку пар тертя, виготовлених, наприклад, з чавуну, міді та ін. Але, як засвідчили результати проведених досліджень, зменшення початкових контактних напружень методами попереднього термічного оброблення елементів пар тертя або використання вищих температур випробування дасть змогу отримувати достовірнішу інформацію.

Висновки

Досліджено вплив низькотемпературного відпуску на зношування і тертя загартованої сталеві пари в діапазоні температур випробування 25–200 °С у середовищі мастильного матеріалу. Попередній відпуск елементів пари тертя приводить до зникнення різкої

екстремальної залежності величини зношування від температури в діапазоні низьких температур 25–100 °С.

Проаналізовано особливості змащувальної ефективності мастильного матеріалу, що змінюються залежно від температури випробувань та структурно-фазового стану поверхонь тертя.

Виявлено ефект появи за низьких температур чіткої періодичності рельєфу поверхонь тертя, пов'язаної з формуванням та вибірним зношуванням орієнтованої вздовж смуг ковзання двофазної структури поверхневого шару сталі.

Список літератури

1. Іщук Ю.Л. Дослідження змащувальної здатності антифрикційних мастил різного призначення методами ASTM / Ю.Л. Іщук, О.О. Міщук, О.О. Македонський та ін. // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2009. – Вип. 51. – С. 186–198.
2. Трибологические свойства СОТС и методики их измерения / В.Т. Процишин, О.А. Мищук, М.А. Нырклов и др. // Металлообработка. Оборудование и инструмент. – 2007. – № 1. – С. 54–58.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
4. Блантер М. Е. Теория термической обработки. – М.: Металлургия, 1984. – 328 с.
5. Богайчук А.В.. Особливості тертя та зношування сталей мартенситного типу / А.В.Богайчук, О.О. Міщук // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. – Вип. 49. – Т. 1. – С. 190–203.
6. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости. / В.В.Шевеля, В.П. Олександренко –Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.
7. Ward W.C.. Properties of tribochemical films from various additives in grease generated under load / W.C.Ward, M.Najman // NLGI Spokesman. – 2006. – V. 70, No. 7. – P. 20–26.
8. Міщук О.О. Тонкоплівкові властивості приповерхневих мікрооб'ємів металу, сформованих тертям / О.О.Міщук, О.В.Телемко, Ю.Г.Горпинко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2002. – Т. 3, № 3. – С. 491–497.
9. Гаврилюк В.Г. Распределение углерода в стали. / В.Г. Гаврилюк – К.: Наук. думка, 1987. – 208 с.
10. Козлов Э.В. Влияние типа субструктуры на перераспределение углерода в стали мартенситного класса в ходе пластической деформации / Э.В.Козлов, Н.А.Попова, Л.Н. Игнатенко и др. // Известия высших учебных заведений. – 2002. – № 3. – С. 72–86.

Мищук О. А., Богайчук А. В. **Влияние процессов распада структуры мартенсита на формирование поверхностей пары трения в смазочной среде** // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.121–134.

Исследовано влияние предварительного низкотемпературного отпуска закаленной на мартенсит стали на смазывающую эффективность смазочного материала.

Рис. 2, список лит.: 10 наим.

Mishchuk O.A., Bogaychuk A.V. **Effect of the processes of martensitic structure decay on the formation of friction pair surfaces into lubricant**

The effect of preliminary low-temperature tempering of the chill martensitic steel on the lubricity of lubrication materials is investigated.

Стаття надійшла до редакції 06.10.2010