

УДК 621.791

ДІАГНОСТИКА ПРУЖНОГО СТАНУ НАПЛАВЛЕНОГО МЕТАЛУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ Т.Е.Р.С.

В.А. Багров, доц., к.т.н., І.В. Кірієнко, студ.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто можливості застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавних сталей, які забезпечують підвищення довговічності штампового інструменту. Показано, що для підвищення зносостійкості поверхні інструменту штампів бажано застосовувати сплави, в яких у поєднанні з маркою оброблюваного матеріалу сумарна Т.Е.Р.С. прагне до нуля. Установлено, що застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначати найбільш небезпечні локальні місця можливого руйнування.

Ключові слова: сталь, зносостійкість, термоелектричний метод неруйнівного контролю.

ДИАГНОСТИКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА Т.Э.Д.С.

В.А. Багров, доц., к.т.н., И.В. Кириенко, студ.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрены возможности применения термоэлектрического метода неразрушающего контроля для подбора износостойких наплавочных сталей, обеспечивающих повышение долговечности штампового инструмента. Показано, что для повышения износостойкости гравюры штампов желательнее применять сплавы, в которых в сочетании с маркой обрабатываемого материала суммарная Т.Э.Д.С. стремится к нулю. Установлено, что применение термоэлектрического экспрес-метода неразрушающего контроля позволяет оперативно определять наиболее опасные локальные места возможного разрушения.

Ключевые слова: сталь, износостойкость, термоэлектрический метод неразрушающего контроля.

DIAGNOSTICS OF THE STRESSED STATE OF FUEL METAL USING THE T.E.M.F. METHOD

V. Bagrov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), I. Kirienko, St.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The article deals with the possibility of using the thermoelectric NDT method for selecting the wear-resistant surfacing of steel that increases the durability of stamping tools. It is shown that to improve the wear resistance of the surface of tool dies it is desirable to use alloys in which combined with the brand of the processed material the total T.E.M.F. tends to zero. It is established that the application of thermoelectric express NDT method allows one to quickly determine the most dangerous local places of potential damage.

Key words: steel, wear resistance, thermoelectric NDT method.

Вступ

Наразі розроблення нових методів дослідження напруженого деформованого стану

матеріалів, розширення можливостей існуючих методів неруйнівного контролю набуває все більшого значення. Особливо важливим є використання фізичних методів неруйнівного

контролю, заснованих на вивченні внутрішніх процесів, що відбуваються в деформованому матеріалі.

Аналіз публікацій

Одним з найважливіших засобів підвищення якості та надійності виробів, що підлягають значним тепловим та механічним навантаженням, є неруйнівний контроль, який успішно застосовується у виробництві на різних етапах технологічного процесу, а також під час експлуатації готового виробу для оцінювання його подальшого ресурсу [1].

Поверхневий шар деталей, що мають контактні циклічні навантаження (термічні і механічні), знаходиться в напруженому стані всебічного нерівномірного стиснення, інтенсивність якого періодично змінюється. Крім того, на напружений стан, створений зовнішніми силами, накладаються внутрішні термічні та структурні напруження. У процесі наплавлення легованими сталями додатково накладаються залишкові напруження, викликані термічним циклом зварювання, та внутрішні напруження, обумовлені розходженням фізичних і механічних властивостей покриття та основи. Поверхневий шар у процесі експлуатації може зазнавати значні пластичні деформації. Унаслідок цього в більшості випадків руйнування починається з поверхневого шару і, отже, міцність і зносостійкість деталей, що мають контактні навантаження, визначаються переважно якістю поверхневого шару [2].

Особливо погіршують якість поверхневого шару різного роду дефекти (неоднорідності, структурні неоднорідності тощо). Вони знижують міцність, зносостійкість і експлуатаційну надійність деталей та інструменту.

Оскільки в процесі динамічного контактного навантаження поверхневі шари металу безпосередньо сприймають основне навантаження, необхідною умовою підвищення контактної міцності і довговічності матеріалу є спрямований вибір їх системи легування та хімічного складу. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні різних методів випробування (фізичних, механічних) для зіставлення експлуатаційних характеристик, отриманих як у процесі найпростіших навантажень (розтягування, стискання, кручення), так і в умовах складного напруженого стану

за нормальних і високих температур. Результати цих випробувань є основною інформацією про матеріали під час розрахунку в умовах дії будь-якої складної системи напружень. Одночасно закономірності деформування та руйнування твердих тіл вивчаються, як правило, на основі усереднених характеристик механічних властивостей матеріалу. Експериментальні дослідження за умови складного напруженого стану, особливо за високих температур, пов'язані з великими труднощами для постановки експерименту.

У багатьох випадках бажано отримання досліджуваних характеристик матеріалу з мінімальною кількістю зразків, підданих перевірочним руйнівним випробуванням. Особливо ця проблема актуальна у дослідженні напруженого стану в зразках і деталях, відновлених наплавленням.

Насьогодні розроблення нових методів дослідження напружено-деформованого стану матеріалів, розширення можливостей існуючих методів неруйнівного контролю набуває все більшого значення. Особливо важливим є розширення використання фізичних методів неруйнівного контролю, заснованих на вивченні внутрішніх процесів, що відбуваються в деформованому матеріалі.

Мета і постановка завдання

Обґрунтувати можливість застосування термoeлектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких сплавів.

Результати досліджень та їх обговорення

Експериментальні дослідження були спрямовані на вивчення впливу робочих температур штампів і процесів тертя на зносостійкість і контактну міцність наплавних матеріалів, які умовно можна розбити на чотири групи.

До першої групи належать метастабільні аустенітні сталі системи Cr-Mn на основі заліза додатково леговані Ti та Si, до другої – вториннотвердіючі сталі системи Cr-Mn-Mo на основі заліза. Як основний елемент для зв'язування вуглецю в цих групах взято Ti. До третьої та четвертої групи матеріалами для порівняння взяті сталі 5ХНМ та 08Х6Н8М7С.

Хімічний склад сталей першої та другої груп варіювали за змістом таких елементів, як С, Mn, Ti. Вміст Cr було взято до 3 %, Mo ~5–7 %. Співвідношення Ti та С підтримували в межах $Ti/C = 0,24:0,25$ ат (%).

Титан як основний карбідоутворювальний елемент був взятий, виходячи з вимог високої стійкості наплавлених сплавів в умовах абразивного зношування й ударних навантажень: структура сплаву повинна складатися з мартенситно-аустенітної або мартенситної матриці та рівномірно розподілених карбідів; твердість карбідів повинна бути максимальною, а їх кількість знаходиться в межах 20–30 %.

Орієнтовний хімічний склад наплавленого металу визначали з урахуванням перемішування основного і наплавленого металу, коефіцієнтів засвоєння легуючих елементів та інших величин.

Наплавлення виконували трактором ТС-17М і автоматичною головкою А-1416 на пластини розміром 200x150x25 мм зі сталі 20, 500x300x40 мм зі сталі 45 і 400x50x40 зі сталі 5ХНМ. Захисним флюсом для наплавлення порошковими дротами з системами легування Cr-Mn-Ti і Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза був взятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 – В = 1,4668, хімічна активність – Аф = 0,1819.

Вирізку зразків для дослідження властивостей наплавленого металу виробляли абразивними відрізними кругами з подальшим шліфуванням і поліруванням.

Лабораторні випробування проводили на машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою «диск-колодка». Режими тертя: швидкість обертання диска $U = 0,5$ м/с; навантаження – $N = 25; 50$ Н. Матеріал контртіла сталь 40Х термооброблена, HRC 47-49.

Основним методом дослідження впливу процесів тертя на міцнісні властивості досліджуваних матеріалів використовувався термоелектричний метод неруйнівного контролю. Цей метод заснований на ефектах, пов'язаних з виникненням у металах термоелектрорушійної сили (Т.Е.Р.С.) [3]. У зв'язку з відсутністю прямої залежності між величиною Т.Е.Р.С. і температурою спаю термопар, вимірювали коефіцієнт Т.Е.Р.С., тобто величину Т.Е.Р.С. на 1 градус.

Для дослідження використовувалися зразки, випробувані на зносостійкість на установці 2070 СМТ-1, із сталей 50ХНМ, 40Х4Г8Т2С, 08Х6Н8М7С, 20Х3Г9М5Т2С.

Крім цього, вимірювався коефіцієнт Т.Е.Р.С. сталі 45 і 35ХГСА (сталь, що застосовується на заводі АТ «Світло шахтаря» для виготовлення сережки).

Схема точок виміру коефіцієнта Т.Е.Р.С. наведена на рис. 1. Точки вимірів коефіцієнтів Т.Е.Р.С. бралися в місцях можливих змін напруженого стану після випробувань на тертя.

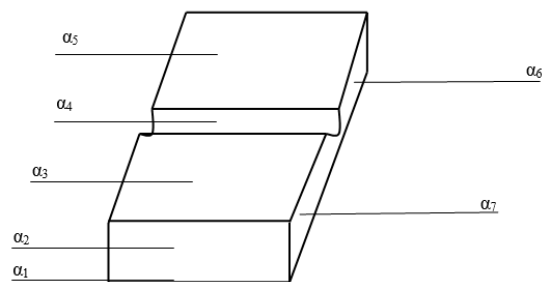


Рис. 1. Схема точок виміру коефіцієнта Т.Е.Р.С.

Результати вимірювання коефіцієнтів Т.Е.Р.С. досліджуваних матеріалів наведені в табл. 1.

Значення коефіцієнтів Т.Е.Р.С. сталі 45 і 35ХГСА відповідно становили +3,8–3,9 мкВ/°С і +5,9–6,0 мкВ/°С.

Аналіз результатів значень коефіцієнтів Т.Е.Р.С. показує, що вони коливаються в невеликих межах і за їх величиною з урахуванням різниці температур гарячого і холодного електродів досліджувані матеріали можна розкласти в термоелектричний ряд відносно міді: 20Х3Г9М5Т2С $E = -433 \cdot 10^{-6}$ В, 40Х4Г8Т2С $E = -389 \cdot 10^{-6}$ В, мідь $E = 0$ В, сталь 45 $E = +273 \cdot 10^{-6}$ В, 08Х6Н8М7С $E = +315 \cdot 10^{-6}$ В, 50ХНМ $E = +329 \cdot 10^{-6}$ В, 35ХГСА $E = +420 \cdot 10^{-6}$ В.

Знаючи потенціали наведених у з'єднанні металів, можна судити про поверхневу енергію на межі їх торкання.

Різниця потенціалів контактуючих пар викликає розсіювання тільки тих електронів провідності, постачальником яких є метал з великим хімічним потенціалом.

Таблиця 1 Значення коефіцієнтів Т.Е.Р.С. досліджуваних матеріалів

Точка виміру	50XHM	08X6H8M7C	20X3Г9.М5Т2С	40X4Г8Т2С
α_1	+4,6–4,7	+4,5–4,6	–6,1–6,2	–5,5–5,6
α_2	+4,4–4,7	+5,6–5,7	–6,0–6,1	–5,2–5,6
α_3	+4,6–4,7	+5,6–5,7	–6,1–6,2	–6,2–6,3
α_4	+4,1–4,2	+5,2–5,3	–5,9–6,0	–6,5–6,7
α_5	+4,4–4,5	+5,1–5,2	–6,0–6,1	–6,6–6,8
α_6	+4,7–4,9	+4,6–4,7	–6,2–6,3	–6,3–6,4
α_7	+4,8–4,9	+4,6–4,7	–6,2–6,3	–6,6–6,7

Примітка: Знак «+» показує, що струм тече від міді до металу через гарячий електрод, знак «–» – через холодний електрод.

Тобто в цьому металі акумулюється поверхнева енергія, у той час як з боку іншого металу вона різко знижується. Про механізм провідності сплавів можна також судити за відсотковим змістом і типом власної провідності легуючих елементів [4]. Підвищення рухливості дислокацій у процесі тертя контактуючих пар обумовлюється не тільки дією напружень, але і підвищенням температури. Це викликає прискорення пластичної деформації в поверхневому шарі, що впливає на зміну поверхневої енергії. Таким чином, за умови одних і тих самих розмірів контактних плям термострум, що протікає через них, буде різним. Для збільшення довговічності терміну служби бажано, щоб термострум був мінімальним. Отже, за інших рівних умов повинна бути найменшою і термоелектрорушійна сила, яка обумовлює цей струм. Розрахунок сумарних Т.Е.Р.С. у контурі «гарячий електрод (мідь марки М1) – сплав – сталь 45 – холодний електрод (мідь марки М1)» з урахуванням знаків показав, що термострум мінімальний у парі сталь 45 – сплав 20X3Г9М5Т2С, хоча зносостійкість порівняно з іншими сплавами вища в умовах лабораторних випробувань.

Виробничі випробування відновлених наплавленням матриць гарячого деформування деталей зі сталі 35ХГСА підтвердили отримані

результати лабораторних досліджень щодо встановлення кореляції між зносостійкістю і сумарним термострумом контактуючих матеріалів.

Результати лабораторних досліджень і виробничих випробувань цілком узгоджуються з положеннями про електричні явища під час тертя, викладеними в роботах Б.В. Костецького, В.В. Крагельського, С.Н. Постнікова. Отримані значення коефіцієнтів Т.Е.Р.С. α_3 , α_4 , α_5 і α_6 свідчать про зміни властивостей металу як у поверхневому шарі (α_4), так і в підповерхневих його шарах, що також підтверджується вимірюваннями мікротвердості зразків тертя і металографічними дослідженнями.

Отримані результати лабораторних досліджень і виробничих випробувань наплавленого металу свідчать про можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору контактуючих пар, які забезпечують підвищення зносостійкості і довговічності обробного інструмента.

Для дослідження зон концентрації напружень термоелектричним методом використовувалася наплавлена матриця К 49793 зі сталі 50XHM. Коефіцієнт Т.Е.Р.С. вимірювали переміщенням електродів пристрою по гравюрі матриці (окремо по металу шва і зони термічного впливу). Потім виробляли поперечні переміщення відносно гравюри з амплітудою 10–20 мм у бік основного металу. Показання приладу реєструвалися зі знаками «+» і «–». За середні значення коефіцієнта Т.Е.Р.С. на гравюрі взяті вимірювання на прямолінійних ділянках. У навколошовній зоні за середнє значення коефіцієнта Т.Е.Р.С. взяті показники для сталі 50XHM. Стрибокподібна зміна знака і величини коефіцієнта Т.Е.Р.С. вказувала на зони концентрації напружень.

Результати розподілу коефіцієнта Т.Е.Р.С. і його точки вимірів зображені на рис. 2. Зони максимальних концентрацій напружень показано на лініях зміни знаків коефіцієнтів Т.Е.Р.С.

Аналіз рівнів концентрації напружень показує, що найбільші напруження в наплавленому металі виникають в області точок 9–10, де крім дії дотичних напружень в процесі експлуатації змінюється характер напруженого стану через геометрію матриці. Це за

критерієм Мізеса-Генки приводить до збільшення напружень, необхідних для виникнення локальної течії матеріалу. Унаслідок зміни напруженого стану величина межі плинності досягає межі обмеженої плинності, що спричиняє виникнення концентрації напружень і деформацій.

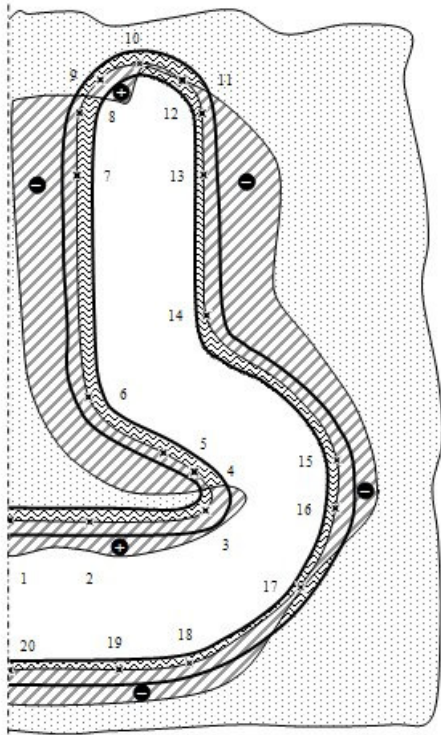


Рис. 2. Розподіл середніх значень коефіцієнтів Т.Е.Р.С. у вимірних перетинах гравюри матриці

У сталях 08Х6Н8М7С і 20Х3Г9М5Т2С унаслідок дослідження виявлено більш протяжний зміцнений шар, у структурі якого спостерігаються характерні пластинчасті утворення. Враховуючи численні літературні дані про схильність металів з низькою енергією дефектів пакування до двійникування деформації, можна припустити, що новоутворення, які спостерігаються в зоні тертя, є специфічними двійниками деформації, що утворилися в умовах підвищених температур. Додатковий внесок у зміцнення двійникової зони в цих сплавах сприяє виділенню дисперсних карбідів.

Для всіх досліджених сплавів характерним є поступове зменшення розкиду значень мікротвердості по глибині зони тертя.

Зміна мікротвердості у приповерхневих шарах на стадії усталеного зношування, зрозуміло, обумовлено тим, що паралельно відбуваються процеси взаємної дифузії матеріалів пари тертя, виборчого окислення і термодифузійного перерозподілу зміцнюючої фази під дією деформацій і температур, викликаних тертям.

Перелічені структурні зміни справляють різний вплив на інтенсивність зношування досліджуваних матеріалів. Низька здатність до зміцнення, незважаючи на присутність «білої смуги», призводить до підвищення темпу зношування і передчасного переходу до стадії усталеного зношування. Двійникування і виділення карбідів по двійникам (сталі 40Х4Г8Т2С, 08Х6Н8М7С 20Х3Г9М5Т2С) підвищує опірність пластичним зрушенням за умови підвищених температур, ускладнюючи руйнування робочих об'ємів у процесі тертя.

З досліджених матеріалів найбільшою зносостійкістю має сталь 20Х3Г9М5Т2С. Підвищену зносостійкість цієї сталі можна пояснити, з одного боку, оптимальним фазовим складом, з іншого, – низькою енергією дефектів пакування, що забезпечує схильність до деформаційного двійникування за умови підвищення температур. Двійникування сприяє зміцненню приконттактних об'ємів металу, тим самим знижуючи інтенсивність зношування, що пов'язано з дією механізму Мотта-Набарро. Зміна дислокаційної структури прикордонних областей і характеру старіння (перерозподіл карбідної фази), що відбуваються внаслідок дії підвищених температур і деформацій, є одним з основних факторів підвищення контактної міцності і мікропластичності поверхневих шарів сталі 20Х3Г9М5Т2С.

Висновки

Унаслідок проведених досліджень показана можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавних сталей, які забезпечують підвищення довговічності штампового інструмента. Установлено, що для підвищення зносостійкості та довговічності поверхні обробного інструмента штампів гарячого деформування бажано застосовувати сплави, в яких у поєднанні з маркою оброблюваного матеріалу сумарна Т.Е.Р.С. прагне до нуля.

Застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначити найбільш небезпечні локальні місця, які характеризуються критичними зонами концентрації напружень, і вчасно застосувати заходи для їх усунення.

Література

1. Троицкий В.А. Неразрушающий контроль качества в Украине на рубеже столетий / В.А. Троицкий // Неруйнівний контроль та технологічна діагностика 2000: труды 3 Украинской научно-технической конференции. – Днепропетровск. – 2000. – С. 8–16.
2. Крагельский И.В. Узлы и трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
3. Шкилько А.М. Неразрушающие методы контроля металлов и узлов энергетического оборудования: учебное пособие / А.М. Шкилько. – К.: ИСИО, 1994. – 180 с.
4. Новые возможности неразрушающего контроля текущего состояния прокатных валков листопрокатных производств по измерению распределения магнитных характеристик рабочего слоя / Г.Я. Безлюдько, И.Л. Казакевич, Л.А. Крутиков, Т.С. Скобло // Неруйнований контроль та технологічна діагностика 2000: труды 3 Украинской научно-технической конференции. – Днепропетровск. – 2000. – С. 150–151.

Рецензент: Д.Б. Глушкова, професор, д.т.н., ХНАДУ.
