

В.А. БАГРОВ, А.Р. ОКОРОКОВ
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

ЭКСПРЕС-ДИАГНОСТИКА ЯКОСТІ ТА ПІДБІР ЗНОСОСТІЙКИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ

В статті розглянуті можливості застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавочних 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. Встановлено, що застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначати найбільш небезпечні локальні місця можливого руйнування.

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

В.А. БАГРОВ, А.Р. ОКОРОКОВ
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА И ПОДБОР ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

В статье рассмотрены возможности применения термоэлектрического метода неразрушающего контроля для подбора износостойких наплавочных сталей, обеспечивающих повышение долговечности штампового инструмента. Показано, что для повышения износостойкости поверхности инструмента штампов желательно применять сплавы, в которых в сочетании с маркой обрабатываемого материала суммарная Т. Е. Д. С. стремится к нулю. Установлено, что применение термоэлектрического экспресс-метода неразрушающего контроля позволяет оперативно определять наиболее опасные локальные места возможного разрушения.

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

V.A. BAGROV, A.R. OKOROKOV
Ukrainian Engineering Pedagogical Academy, Kharkiv

EXPRESS DIAGNOSTICS OF THE QUALITY AND SELECTION OF WEAR-RESISTANT MATERIALS USING THERMOELECTRIC METHOD OF CONTROL

The article discusses the possibility of using thermoelectric NDT method for the selection of wear-resistant surfacing of steels that increase the durability of the punching tools. It is shown that to improve the wear resistance of the surface of tool dies is desirable to use alloys that are combined with the brand name of a processed material total T. E. D. S. 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.

Keywords: steel, wear resistance, thermoelectric NDT method.

Постановка проблеми

В даний час розробка нових методів дослідження напруженого 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним із найважливіших засобів підвищення якості надійності виробів, що несуть значні теплові та механічні навантаження, є неруйнівний контроль. Неруйнівний контроль успішно застосовується у виробництві на різних етапах технологічного процесу, а також під час експлуатації готового виробу для оцінки його подальшого ресурсу [1].

Експериментальні методи дослідження напруженого деформованого стану матеріалів є одними з основних при оцінці рівня в деталях і конструкціях як у пружній, так і в пружно-пластичній області деформування.

Поверхневий шар деталей, несучих 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. При наплавленні легованими сталями до зовнішніх і вищевказаних внутрішніх напружень додатково накладаються залишкові напруження, викликані термічним циклом зварювання і внутрішні напруження, обумовлені розходженням фізичних і механічних властивостей покриття та основи. Поверхневий шар в процесі експлуатації може зазнавати значних пластичних деформацій. Внаслідок цього в більшості випадків руйнування починається з поверхневого шару і, отже, міцність і зносостійкість деталей, несучих контактні навантаження, визначається 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 і хімічного складу. У зв'язку з цим виникає необхідність у застосуванні різних методів випробування (фізичних, механічних) для співставлення експлуатаційних характеристик, отриманих як при найпростіших навантаженнях (розтяг, стиск, кручення), так і в умовах складного напруженого стану при нормальних і високих температурах. Результати цих випробувань є основною інформацією про матеріалі при розрахунку в умовах дії будь-якої складної системи напружень. При цьому закономірності деформування та руйнування твердих тіл вивчаються, як правило, на основі усереднених характеристик механічних властивостей матеріалу. Експериментальні дослідження при складному напруженому стані, особливо в умовах високих температур, пов'язані з великими труднощами при постановці експерименту.

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

В даний час розробка нових методів дослідження напруженого 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.

Формулювання мети дослідження

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

Викладення основного матеріалу дослідження

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

До першої групи віднесені метастабільні аустенітні сталі системи Cr-Mn на основі заліза додатково леговані Ti та Si, до другої – вториннотвердіючі сплави системи Cr-Mn-Mo на основі заліза. В якості основного елемента для зв'язування вуглецю в цих групах прийнятий Ti. До третьої та четвертої групи в якості матеріалів для порівняння прийняті сталі 5ХНМ та 08Х6Н8М7С.

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

Титан в якості основного карбідоутворюючого елемента був прийнятий, виходячи з вимог високої стійкості наплавлювальних сплавів в умовах абразивного зношування і ударних навантажень: структура сплаву повинна складатися з мартенситно-аустенітної або мартенситної матриці і рівномірно розподілених карбідів; твердість карбідів повинна бути максимальною, а їх кількість знаходитися 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 із сталі 45 і 400x50x40 зі сталі 5ХНМ. В якості захисного флюсу для наплавлення порошковими дротами з системами легування Cr-Mn-Ti і Cr-Mn-Mo-Ti на основі заліза був прийнятий флюс АН-22. Вихідна основність флюсу АН-22 - $B=1,4668$, хімічна активність – $A_f=0,1819$.

Вирізку зразків для дослідження властивостей наплавленого металу виконували абразивними відрізними кругами з наступним 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.

В якості основного методу дослідження впливу процесів тертя на міцнісні властивості досліджуваних матеріалів використовувався термоелектричний метод неруйнівного контролю. Даний 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, які 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 серезки).

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

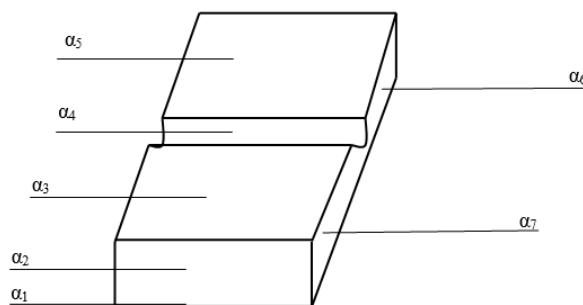


Рис. 1. Схема точок виміру коефіцієнта Т. Е. Р. С.

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

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

Аналіз результатів значень коефіцієнтів Т. Е. Р. С. показує, що їх значення 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.

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів Т. Е. Д. С. досліджуваних матеріалів

Точка виміру	50ХНМ	08Х6Н8М7С	20Х3Г9.М5Т2С	40Х4Г8Т2С
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.

Знаючи потенціали в зіткненнях металів, можна судити про величину поверхневої енергії на межі їх торкання. Різниця потенціалів контактуючих пар викликає розсіювання тільки тих електронів провідності, постачальником яких є метал з великим хімічним потенціалом. Тобто, в цьому металі акумулюється поверхнева енергія, в той час як з боку іншого металу вона різко знижується. Про механізм провідності сплавів можна також судити по процентному змісту і типу 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, при одних і тих же розмірах контактних плям термострум, що протікає через них, буде різним. Для

збільшення довговічності терміну служби бажано, щоб термоток був мінімальний. Отже, при інших рівних умовах 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 в парі сталь 45 – сплав 20ХЗГ9М5Т2С, хоча зносостійкість у порівнянні з іншими сплавами вище при лабораторних випробуваннях.

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 при терті, викладеними в роботах Костецького Б.В., Крагельського В.В., Постнікова С.Н. 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 інструменту.

Для дослідження зон концентрації напружень термоелектричним методом використовувалася наплавлена матриця К 49793 із сталі 50ХНМ. Коефіцієнт Т. Е. Р. С. вимірювали переміщенням електродів пристрою по гравюрі матриці (окремо по металу шва і зоні термічного впливу). Потім виконували 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 прийняті виміряні на прямолінійних ділянках. У навколошовній зоні за середнє значення коефіцієнта Т. Е. Р. С. прийняті показання для сталі 50ХНМ. Стрибокподібна зміна знака і величини коефіцієнта Т. Е. Р. С. вказує на зони концентрації напружень.

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

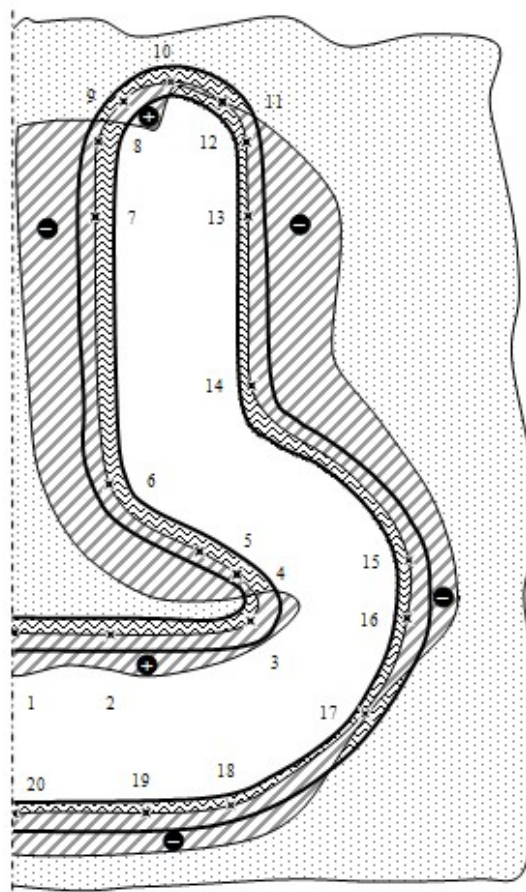


Рис. 2. Розподіл середніх значень коефіцієнтів Т. Е. Р. С. в виміряних перетинах гравюри матриці

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, згідно з критерієм Мізеса-Генки, веде до збільшення напружень, необхідного для виникнення локальної течії матеріалу. Внаслідок зміни напруженого стану величина межі плинності досягає межі обмеженої плинності, що спричиняє до виникнення концентрації напружень і деформацій.

В сталях 08X6H8M7C і 20X3Г9M5T2C в результаті дослідження виявлено більш протяжний зміцнений шар, в структурі якого спостерігаються характерні пластинчасті освіти. Враховуючи численні літературні дані про схильність металів з низькою енергією дефектів пакування до двійникування деформації, можна припустити, що новоутворення, які спостерігаються в зоні тертя, являють собою специфічні двійники деформації, що утворилися в умовах підвищених температур. Додатковий внесок у зміцнення двійникової зони в цих сплавах вносить виділення дисперсних карбідів.

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

Зміна мікротвердості в приповерхневих шарах на стадії усталеного зношування, по всій видимості, 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 зносу і передчасного переходу до стадії усталеного зношування. Двійникування і виділення карбідів по двійникам (сталі 40X4Г8T2C, 08X6H8M7C 20X3Г9M5T2C) підвищує опірність пластичним зсувам при підвищених температурах, ускладнюючи руйнування робочих об'ємів при терті.

З досліджених матеріалів найбільшою зносостійкість має сталь 20X3Г9M5T2C. Підвищену зносостійкість цієї сталі можна пояснити, з одного боку, оптимальним фазовим складом, з іншого – низькою енергією дефектів пакування, що забезпечує схильність до деформаційного двійникування при підвищених температурах. Двійникування сприяє зміцненню приконттактних обсягів 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 в результаті дії підвищених температур і деформацій, є одним з основних факторів підвищення контактної міцності і мікропластичності поверхневих шарів сталі 20X3Г9M5T2C.

Висновки

1. В результаті проведених досліджень показана можливість застосування термоелектричного методу неруйнівного контролю для підбору зносостійких наплавочних сталей, які забезпечують підвищення довговічності штампного інструменту. Встановлено, що для підвищення зносостійкості і довговічності поверхні обробного інструменту штампів гарячого деформування бажано застосовувати сплави, у яких у поєднанні з маркою оброблюваного матеріалу сумарна $T \cdot E \cdot P \cdot C$ прямує до нуля.
2. Застосування термоелектричного експрес-методу неруйнівного контролю дозволяє оперативно визначати найбільш небезпечні локальні місця, які характеризуються критичними зонами концентрації напружень і своєчасно застосовувати заходи для їх усунення.

Список використаної літератури

1. Троицкий В.А. Неразрушающий контроль качества в Украине на рубеже столетий / В.А. Троицкий // Труды 3 Украинской научно-технической конференции "Неруйнівний контроль та технологічна діагностика 2000". – Днепропетровск, 2000. – С. 8-16.
2. 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 / А.М. Шкилько. – К.: ИСИО, 1994. – 180 с.
4. Новые возможности неразрушающего контроля текущего состояния прокатных валков листопркатных производств по измерению распределения магнитных характеристик рабочего слоя / Г.Я. Безлюдько, И.Л. Казакевич, Л.А. Крутиков, Т.С. Скобло. // Труды III Украинской научно-технической конференции «Неруйнований контроль та технологічна діагностика 2000». – Днепропетровск, 2000. – С. 150-151.