

Методика за изследване на трибологическите характеристики на възстановителни и превантивни покрития в различни смазочни среди при триене на плъзгане

Митко Николов, Пламен Кангалов

Резюме: *A lot percent of machines lose its own functions by reason of wearing out of its parts which break down their normal interaction and lead to add loading, hitting, vibrations and a lot of cases lead to failure. In this work was offered a tribological research model of the vibrating electrode arc welding process of overlaying welding of worn cast irons parts in the sphere of the automobile and the tractor technology and the agricultural technology.*

Key words: *tribological research, research model of refurbishing welded surface, research method, parameters of physical model of tribological research.*

Въведение

Голяма част от машините 85...90% [1] губят своята работоспособност поради износване на детайлите, което нарушава тяхното нормално взаимодействие, предизвиква допълнително натоварване, удари и вибрации и води до задиране и заклиняване и в много случаи до аварии. Дори незначително износване на работните повърхности на детайлите не само понижава изходните параметри на машините, но често е причина за тяхното спиране и създаване на значителни престои.

Сработването на триещите се съединения, което протича при заключителния етап на изработването, възстановяването и ремонта или в началния етап на експлоатация на машините, в значителна степен определя тяхната безотказност и трайност. Износването в процеса на сработването влияе непосредствено върху трайността на съединенията, тъй като това износване ограничава диапазона на работното изменение на размерите на триещите се детайли в процеса на експлоатация. Повишаването на износостойчивостта на възстановените или новоизработени детайли е от изключително важно значение за икономиката на всяка страна тъй като намалява разходите за резервни части, суровини, материали и енергия.

Целта на методиката за изследване е експериментално установяване на основните трибологически характеристики за сработване и износване на триещите се повърхности с възстановителни и превантивни покрития при триене на плъзгане в различни смазочни среди.

Обект на методиката за изследване са смазочната среда, наварените и галванични покрития, а предмет на изследване са техните трибологически свойства.

Изложение

Методиката за трибологическите изследвания включва избор на кибернетичен и физически модел на изследване, режим на триене и износване, методите и средствата за измерване параметрите на процеса, обработване на данните и представяне на получените резултати. Методиката за изследване и нейния кибернетичен модел са разработени съобразно изискванията за триене и износване при условия, съответстващи на експлоатационните и възможностите на техническите средства за тези изследвания.

Една от главните съставни части на методиката за изследването е нейният кибернетичен модел. Моделът за изследване съгласно кибернетичните принципи се изразява с основните входни фактори и изходни параметри на обекта на изследване (фиг.1). За входни фактори на кибернетичния модел за изследване са избрани: параметрите на свойствата на материалите на триещите се повърхности; параметрите на натоварването на триещата се двоица; параметрите на свойствата на средата на триене и износване; параметрите на продължителността на опитите за изпитване на

триещата се двоица [3, 4, 5].



Фиг.1. Кибернетичен модел за трибологически изследвания на възстановителни и превантивни покрития при триене на плъзгане:

M_{ти} - параметри на свойствата на материалите на триещите се повърхности; *P_н* - параметри на натоварването на триещата се двоица; *C_{ти}* - параметри на свойствата на средата на триене и износване; *t_и* - параметрите на продължителността на опитите за изпитване на триещата се двоица; *J_i* - вектор на параметрите на износването; *t_i* - времето за сработване; *M_i* - момента на триене при натоварване, сработване и износване и изпитване; *R_i* - грапавост на триещата се повърхност; *H_i* - твърдост на триещите се повърхности.

Основните изходни параметри на модела за изследване са векторите на параметрите на износването (големина, динамика, скорост, интензивност, износоустойчивост на триещата се двоица и нейните елементи); време за сработване и установено износване; момент на триене при натоварване, сработване и износване; грапавост и микротвърдост на триещите се повърхности. От изходните параметри като основен критерий за оценка на сработването и износването на възстановителните и превантивни покрития е приет: вектора на параметрите на износването [4, 5].

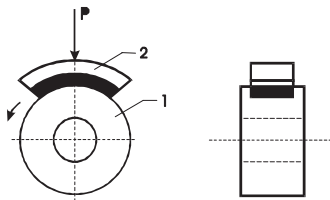
За спомагателни критерии за оценка на трибологическите свойства на възстановителните и превантивни покрития се използват: времето за сработване и установено износване на триещата се двоица; параметрите на момента на триене при натоварване, сработване и установено износване; параметрите на грапавостта на триещите се повърхности и покрития в началото, при тяхното сработване и установено износване; параметрите на микротвърдостта на триещите се повърхности и покрития в началото, при тяхното сработване и установено износване.

Освен кибернетичен модел методиката за трибологически изследвания на свойствата на възстановителните и превантивните покрития включва физически модел (фиг.2) за изследване и свързаните с него методи и средства за измерване параметрите на процеса за сработване и износване на триещата се двоица [4, 5].

Параметрите на физическия модел се избират въз основа на структурните характеристики на новите и износени детайли. Структурата на физическия модел за трибологични изследвания се изразява с признаците и параметрите на триещата се двоица. Основните признаци на модела за изследване са: относително движение на триещите се повърхности; схемата и средата на триене и видовете износване, които се определят от възможностите на машината за триене и износване и нейните принадлежности, системи и устройства.

Голяма част от възстановяваните и износени детайли се повредят от триене при плъзгане за това физически модел на триещата двоица вал - лагер е двоичната ролка - сектор със съответни параметри на геометрично и физично подобие (фиг.2).

В зависимост от средата, избраните условия и режими на триене, износването може да бъде механическо, молекулярно - механическо или корозионно - механическо и трябва да съответства на природата и характера на износване на детайлите в експлоатационни условия. Средата на триене и износване на изпитваните образци са определени от условията за течно и гранично триене с различни моторни и трансмисионни масла, които имат стандартни параметри и широко се използва в процеса на разработване и експлоатация на автотракторната и земеделска техника. Към стандартните моторните и трансмисионни масла могат да се добавят различни по вид и концентрация модификатори на триенето при което преобладаващото износване е корозионно - механическото.



Фиг.2. Физически модел на триещата се двоица :
1 - ролка ; 2 – сектор.

Параметрите на физическият модел на трибологическите изследвания са четири вида: геометрически, механически, физически и технологически. Тези параметри се избират въз основа на статистическия анализ на конструктивно - технологическите и експлоатационни характеристики на износените и възстановявани детайли [7].

Геометрическите параметри включват размерите на двоицата, макро и микрогеометрията на три-

ещите се повърхности. Размерите на двоицата са диаметъра и ширината на ролката и сектора, както и хлабината между тях. Макрогеометрията се изразява с несъосност и перпендикулярност на ролката и неточност на базовите повърхности на сектора на двоицата, а микрогеометрията - с грапавостта на триещите се повърхности за ролката и сектора.

Механическите параметри включват вътрешните напрежения, макро и микротвърдостта на триещите се повърхности, физическите - масата на тялото и контралялото, а технологическите - дебелината на покритието и антифрикционния слой, макро и микроструктурата на повърхностния слой на ролката и сектора.

Еталонните образци за изпитване трайността на възстановителните и превантивни покрития са избрани от най - разпространените материали за плъзгащи лагери в автотракторната и земеделска техника - стомана 45 и оловен бронз БО - 30. На сравнително изследване се подлагат образци (ролки и сектори) от наварени и електрохимични покрития, а също при различен състав на смазочната среда.

Еталоните и възстановени образци на ролките се обработват термично и механично. Твърдостта им е 55^{+2} HRC ($HV_5 = 6100 \pm 400$ MPa) и се шлифоват на окончателен размер по специална методика, след изработването от тях на ролки за изпитване. Ролките имат размер на триещата се повърхност $50^{+0,02}$ mm, дебелина $12^{+0,05}$ mm, дебелина на навареното покритие 0,5 mm по радиус с грапавина $Ra = 0,28...0,32$ μ m и маса от и маса от 160-170 g.

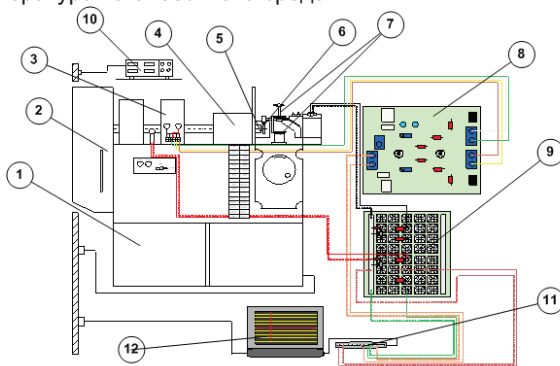
Секторите за триещата се двоица са биметални от стоманена основа и нанесен върху нея антифрикционен слой:

- от БО - 30 с твърдост $HV_5 = 490 \pm 50$ MPa;
- от електрохимична сплав ЕО - 92 на основата на оловото от силикофлуорводороден електролит, който е със състав посочен в [2]. Отлагането на електрохимичното покритие се извършва с плътност на постоянния ток $Dk = 2A/dm^2$ при температура 18...25°C.

Еталоните и възстановените сектори за триене с ролките се изрязваха от предварително подготвените стоманени пръстени с нанесен върху тях антифрикционен слой от БО-30 с дебелина 0,1...0,5 по радиуса и ЕО - 92 с дебелина 0,05...0,25 mm по радиуса. Преди разрязване на лагерните пръстените с централен ъгъл 46° , от които са изработени секторите, външната повърхност се шлифова с диаметър $70^{+0,1}$ mm, а вътрешната повърхност на лагерните пръстени се престъргва до диаметър $50^{+0,06}_{+0,04}$ mm с грапавост по $Ra = 2,0...2,8$ μ m. Хлабината на двоицата трябва да бъде 0,04 mm за да се получи равномерен маслен клин при триене. Дължината на триещата се повърхност на сектора е 20 mm, ширината е $10^{+0,05}$, а площта на опорната повърхност е 2 cm² и маса от 15...20 g.

Тясно свързан с кибернетичния модел на методиката за трибологически изследвания е режимът за изследване на триещата се двоица, които се определят с три

вида параметри: динамически, кинематически и термодинамически. Динамически са параметрите на натоварването на триещата се двоица (големина, степен, скорост и време на натоварване); кинематически са честота на въртене и скорост на плъзгане на триещите се повърхности и термодинамически - температура на триещата се повърхност и температура на смазочната среда.



Фиг. 3. Принципно схемата на уредба за трибологически изследвания на възстановителни и превантивни покрития:

- 1 – машина за триене и износване СМЦ-2; 2 – задвижващ механизъм; 3 – датчик за въртящ момент; 4 – система за разбъркване на маслото; 5 – водоохлаждаема камера; 6 – изпитвана двоица ролка-сектор; 7 – система за натоварване; 8 – диференциална платка за момента на триене; 9 – платка за оборотите на въртене на вала; 10 – импулсен бюрчак за отчитане времето за натоварване; 11 – мултифункционално устройство NI-USB 6210; 12 – преносим компютър (лаптоп).

Натоварването на триещата се двоица “ролка-сектор” се извършва безстепенно със скорост на натоварване 1 MPa/min и време за натоварване 5 min при големина на натоварването 100 daN с точност на измерване 1 daN, което осигурява налягане 5 MPa [6]. Тази големина е близка до граничната и може да се поеме от различните видове материали и покрития без задиране .

Скоростта на плъзгане е друг важен параметър, оказващ значително влияние на процесите на сработване и на големината на началното износване. Предварителните изследвания показват, че подходяща честота на въртене на ролката е 540 min⁻¹ при тази честота на въртене се получава забележимо и измеримо износване на ролката и сектора за сравнително кратко време от 1...2 часа при сработване и 3...4 часа при установено износване. Повишаването на честотата води до намаляване на износването и увеличаване на времето на изпитване поради ефекта на по - добро хидродинамично смазване на двоицата. Изпитването се извършва при честота на въртене 540 min⁻¹, като за диаметър на ролката 50 mm се получава скорост на плъзгане 85 m/min и триботехническа характеристика PV = 425 MPa.m/min. Тези стойности са приети в съответствие с допустимите граници за натоварване на плъзгащите лагери [6] .

Температурата на смазочната среда в процеса на сработване трябва да се намира в диапазона 30...40°C и се поддържа при установено износване 40°C с точност 1° C. Тези температури съответстват на режима на автотракторните двигатели при пускане, когато се получава значително износване.

Изследването на сработване и износване на триещите се повърхности с възстановени и превантивни покрития в условията на течно мазане са проведени на специална уредба, общия вид на която е показан на фиг. 3. Уредбата се състои от: машина за триене и износване СМЦ-2; система за непрекъснато разбъркване на маслото; система за охлаждане на камерата за триене и непрекъснато поддържане на зададената температура в нея; електронна система за измерване и записване на момента на триене, продължителността на натоварването, сработването и устано-

веното износване; електронна система за измерване и записване на температурата в камерата за триене и количеството на водата за охлаждане на камерата; електронна записваща система за сумарната честота на ролката и продължителността на опита, съответно с точност 1 min^{-1} и 1 s .

Уредбата осигурява по време на изпитването непрекъснато разбъркване на маслото, охлаждане на масло и непрекъснато поддържане на зададената температура, измерване на сумарната честота на въртене (изминатият път от ролката) и времето на опита.

Методиката за изследване предвижда използването на машина за триене и износване СМЦ-2, позволяваща износване на триещата се повърхност при плъзгане, търкаляне и търкаляне с приплъзване по схемата ролка – сектор и ролка – ролка, които моделират плъзгащи и търкалящи лагери, зъбни предавки и други подобни двоици. Тя се задвижва от синхронен двигател и има три степени на честота на въртене: 300 , 540 и 1000 min^{-1} .

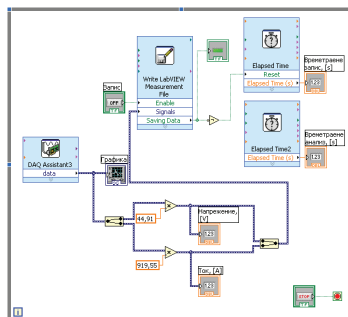
За точно измерване на трибологическите параметри машината за триене и износване СМЦ-2 е усъвършенствана [6] с различни системи и устройства за осигуряване на условия за триене и износване близки до експлоатационните: малка водоохлаждаема камера с вместимост на смазочната среда 150 ml ; приспособление за тариране на приборите за измерване и записване на момента на триене; специален еталонен динамометър за тариране на устройството за натоварване на триещата се двойка; индикаторно устройство за измерване биенето на ролката след монтажа на машината с точност $0,01 \text{ mm}$.

Натоварването на триещата се двойка се осъществява с помощта на специална пружина и червячна предавка, като върху градуиран маховик се отчитат деленията. Точността на едно деление е $0,70 \text{ kg}$.

За поддържане стабилни условията за триене и износване към машината бе разработена специална малко обемна водоохлаждаема камера с вместимост от 150 ml масло, за триене и износване при течно и полутечно смазване, позволяваща постоянно разбъркване на маслото. Системата на разбъркване на маслото представлява подаване на въздух чрез трипътен кран в долната част на камерата, а магнитното почистване на продуктите от износването се осъществява от четири постоянни магнита.

Системата за охлаждане на камерата с масло служи за поддържане на постоянна температура при изпитване на материалите. Известно е, че температурата оказва съществено влияние върху износването при течно смазване. За поддържане на постоянна температура в камерата се използва термостат UTU - 4 включен в системата за охлаждане на камерата.

Моментът на триене на изпитваната двойка (фиг.5) непрекъснато се измерва и записва от система с индуктивен датчик, поставен между редуктора и шпиндела на машината. За преобразуване на сигнала от индукционния датчик за момента на триене е разработена платка 8 от фиг.3, която определя диференциала от двете намотки на датчика. Отчитането и записването на изходящия от диференциалната платка сигнал за момент на триене се извършено с мултифункционалното устройство NI-USB 6210. За преобразуването на записаните данни в $N.cm$ е създадена блок схема, по която да се отчитат и визуализират записваните данни, заложен в задвижващия софтуер NI-DAQmx и софтуерния продукт Lab View фиг.4. По време на експерименталните изследвания, устройството NI-USB 6210 се свързва към USB порт на преносим компютър, а данните от записа на процеса на триене при плъзгане в реално вре-

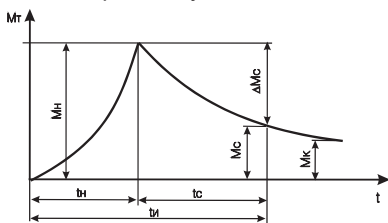


Фиг.4. Блок диаграма за отчитане и преобразуване на момента на триене

ме се съхраняват в *.xls документ и последващото им обработване се извършва с помощта на софтуерния продукт Microsoft Office Excel. Моментна на триене непрекъснато се записва по време на изпитването и се визуализира на екрана на персонален компютър в цифров и в графичен вид.

Измерването на сумарната честота на въртене на ролката се осъществява с помощта на платка-преобразувател 9 фиг.3, която получава сигнал за честотата на въртене от индуктивен датчик, който е монтиран между редуктора и индуктивния датчик за измерване на момента на триене. Сигнала от платката се отчита, записва и преобразува от мултифункционалното устройство NI-USB 6210 и блок диаграмата на фиг.4. Моментните и сумарни стойности на честотата на въртене по време на изпитването се записва и визуализират на екрана на персоналния компютър в цифров вид.

Опитите с триещите се повърхности на възстановените и превантивни покрития се провеждат до настъпването на постоянен момент на триене. За постоянен се приема този момент на триене, при който стойността му не се променя повече от 1Ncm в продължение на 10 min. Времето за активно сработване се определя по завършването на стръмния участък на изменението на момента на триене (фиг. 5).



Фиг.5. Динамика на изменение на момента на триене в процеса на сработване и износване при безстепенно натоварване: M_h - момент на триене в края на натоварването; M_c - момент на триене след сработване; ΔM_c - момент на триене при сработване; M_k - момент на триене в края на изпитването.

сечения на ролката и в пет сечения на сектора с уред за измерване на грапавост "Mitutoyo". Уредът дава възможност за определяне на големината при конкретното измерване, както по отношение на параметъра R_a , така и по отношение на R_z .

Макротвърдостта на триещите се повърхности се измерва преди започване на опитите по метода на Викерс с твърдомер ТП – 1 при натоварване 5 kg, а микротвърдостта на ролката и сектора се измерва преди и след всеки опит с прибор ПМТ – 3 при определено натоварване (100 g за ролката и 20...50 g за сектора в зависимост от антифрикционната сплав). Предварителните измервания на макротвърдостта на ролките за селекция се извършва по метода на Роквел, скала "С" с твърдомер ТК – 250 при натоварване 150 daN.

Изследването на сработването и износването на триещите се повърхности с възстановителни и превантивни покрития в различна смазочна среда се извършва в следната последователност: подготовка и тарирание на машината за триене и износване, системите, приспособленията и детайлите към нея; подготовка и измерване на образците за изследване; измерване параметрите на образците преди и след всеки опит на изпитване; измерване и записване на входните и изходни параметри на процеса за сработване и износване; обработване на опитните данни и представяне на получените резултати аналитично, таблично и графично.

За установяване на динамиката на сработване и износване на изследваните възстановителни и превантивни покрития се провеждат трикратно по 6 опита за всяка двойца по схемата: 2 едночасови; 2 двучасови и 2 четиричасови опита, като общата продължителност на изпитване на една двойца е 14h (което съставлява

Големината на износването се определя по тегловия метод разделно за всеки от триещите се елементи (ролка и сектор) с помощта на аналитична везна WA - 33 с точност 0,05 mg, като всички образци се почистват с бензин, подсушават и претеглят преди и след опита.

Грапавостта на триещите се повърхности преди и след всеки опит на сработване и износване се определя по един параметър R_a в десет

448.10³ m път на триене). Тази структура на опитите позволява за минимално време да се обхване и изрази динамиката на изменение на изходните параметри на процеса за сработване и установено износване на триещите се повърхности.

При провеждането на изпитването, анализа и интерпретацията на резултатите от изследването се използват сравнителния и комплексния, системния, кибернетичния и физическия подходи за изследване, статистическите методи и методите за еднофакторно и многофакторно планиране на експеримента. Резултатите от измерването на наблюдаваните параметри се записват във файлове. Данните от измерването се обработват с помощта на софтуерния продукт Microsoft Office Excel, като се изчисляват стойностите на триботехническите характеристики. Въз основа на получените резултати се построяват графичните зависимости между входните фактори и изходните параметри на процеса за сработване и износване на възстановителните и превантивни покрития в различни смазочни среди.

Изводи:

1. Предложена е методика за изследване на триботехническите характеристики при промяна на смазочна среда на възстановителни и превантивни покрития за детайли от автотранспортната и земеделска техника.

2. Като основен критерии за оценка на сработването и износването на възстановителните и превантивни покрития е приет големината и скоростта на износване на триещата се двоица и нейните елементи при сработване и установено износване.

3. За спомагателни критерии за оценка на триботехническите свойства на възстановителните и превантивни покрития се използват: параметрите на момента на триене при натоварване, сработване и установено износване; параметрите на грапавостта на триещите се повърхности и покрития в началото, при тяхното сработване и установено износване; времето за сработване, установено износване и изпитване на триещата се двоица; параметрите на микротвърдостта на триещите се повърхности и покрития в началото, при тяхното сработване и установено износване.

Литература

[1]. Гаркунов Д.Н. Триботехника конструиране, изготвяне и експлоатация машин Москва: МСХА, 2003.

[2]. Kangalov P. Research of the process for obtaining of electrochemical lead alloy for restoration sliding bearings from the tractor and agricultural machinery. // "Agricultural machinery" magazine, 6-7, 1994, p. 34...36.

[3]. Машков Ю.К. и др. Трение и модифициране на материали трибосистем Москва: Наука, 2000.

[4]. Николов М., Г. Тончев, Тодоров Е. Методика за изследване на триботехническите характеристики на възстановителни вибронаварени в газова смеси покрития върху чугунени детайли от автотракторната и земеделска техника. В: Научни трудове на РУ "Ангел Кънчев", том 40, серия 4.1, Русе, 2003, стр. 208-212

[5]. Тончев Г., Кангалов П. Изпитване на износоустойчивост работните повърхнини на детайлите Русе: Русенски университет "Ангел Кънчев", 2003.

[6]. Тончев Г., Станев Л. Методически въпроси на изследването и контрола на износоустойчивостта на машиностроителните материали и детайли. Научни трудове на ВТУ "Ангел Кънчев", т. XXV, серия 2, Русе: 1983.

[7]. Тончев Г.П., Станев С. Изследване на разпределението на детайлите на тракторите ЮМЗ - 6Л и МТЗ - 80 по структурни характеристики. Научни трудове на ВИММЕСС, том 21, серия 6, Русе: ВИММЕСС 1979.

За контакти:

Доц. д-р инж. Митко Николов, катедра "Ремонт, надеждност, механизми, машини, логистични и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 458, e-mail: mnikolov@uni-ruse.bg

Проф. д-р инж. Пламен Кангалов, катедра "Ремонт, надеждност, механизми, машини, логистични и химични технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 441, e-mail: kangalov@uni-ruse.bg