

Определяне на началните структурни характеристики на двоицата вал-плъзгащ лагер от автотракторни двигатели

Пламен Кангалов, Десислава Белева, Кристина Дякова-Димитрова

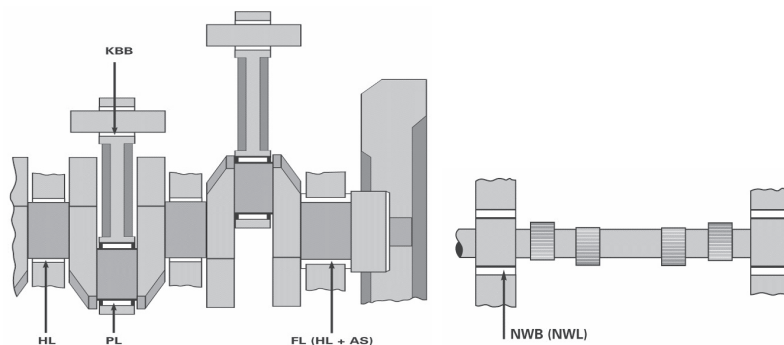
Abstract: This paper determines the initial structural characteristics of crankshafts and camshafts used in Internal Combustion Engines. Based on Miba Gleitlager GmbH's electronic catalogue for spare parts, the statistical distribution of the main initial geometric structural characteristics have been determined: d - diameter of the shaft; D - bearing housing diameter; L - width of the shaft (bearing shell); h - bearing wall thickness; δ - bearing clearance.

Key words: Crankshaft, Camshaft, Main bearing; Conrod bearing; Thrust bearing; Camshaft bushing; Rocker bush.

Въведение

Лагерите са механизми, най-често машинни елементи, които ограничават относителното движение до определени посоки и намаляват триенето между движещите се части. Типичен пример са аксиалните лагери, които улесняват въртенето около една ос, но ограничават преместванията в напречно направление.

В ДВГ двоицата вал-плъзгащ лагер е около 7 % от съединенията вал-лагер, като типични представители са колянвия, разпределителния вал и лагерите им, а също така буталният болт и втулката в горната глава на мотовилката фиг.1 [1, 6, 9, 10].



Фиг. 1. Видове лагери в разпределителния вал.

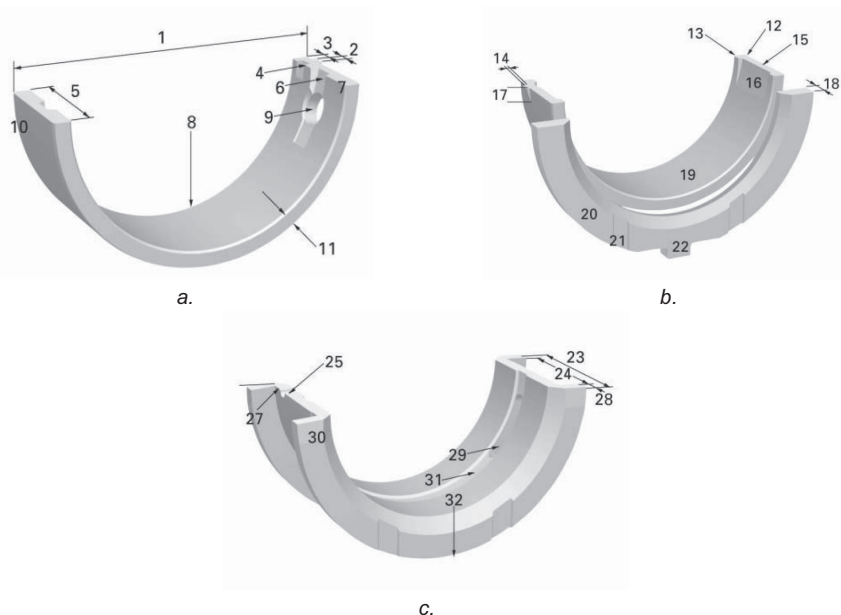
PL	Connecting Rod Bearing	Мотовилкови черупкови лагери
HL	Main Bearing	Основни черупкови лагери
HLB	Main Bearing Bush	Основни лагери - втулка
FL	Thrust Bearing	Радиално-аксиален черупков лагер
AS	Thrust Washer	Аксиален лагер - полупръстен (шайба)
NWB	Camshaft Bush	Лагери за разпределителния вал - втулка
NWL	Camshaft Bearing	Черупкови лагери за разпределителния вал
KBB	Small End Bush	Лагер - втулка за горната глава на мотовилката
KHB	Rocker Bush	Лагер - втулка за кобилицата на ГРМ

При работа на двигателя върху колянвия вал действат инерционни сили от постъпателно движещите се маси, центробежните сили от неуравновесените маси и моментите, поради което той е един от най-натоварените в динамично отношение детайл на двигателя. Основните и мотовилковите шийки и техните лагери определят ресурса на двигателя, поради което техните структурни характеристики са от първостепенна важност [2, 4, 6, 7]. От стойността на началните структурни характерис-

тики зависи как ще протече сработването на двойката, скоростта на износване на съставлящите я елементи и в голяма степен се определя ресурса на двигателя.

Показателите на надеждност на съвременните двигатели се определят от основните ресурсоопределящи елементи като колян вал, плъзгащи лагери, бутало-цилиндрова група, турбокомпресор, като на тях се падат до 35% от отказите [3,5,8].

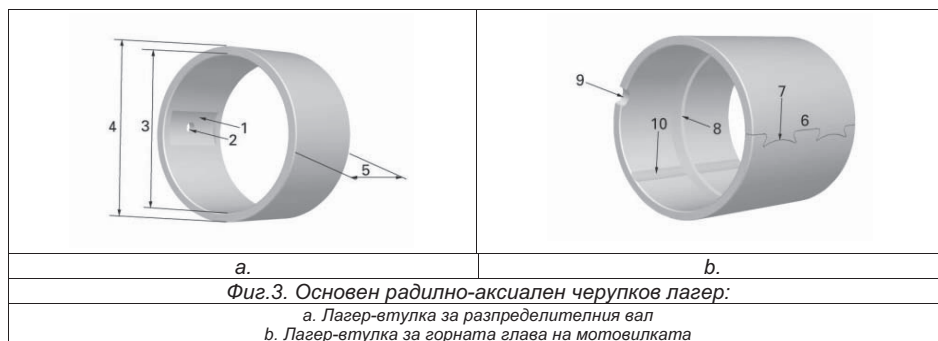
За поддържане на високи надеждности показатели (безотказност, трайност) на коляно-мотовилковият механизъм в процеса на поддържане и ремонт, при разработването на различни технологични процеси за възстановяване на работоспособността и изправността на триещи се при плъзгане двоици е необходимо да бъдат анализирани и изучени началните им структурни характеристики.



Фиг.2. Черупкови плъзгащи лагери:

a. Видове плъзгащи лагери в автотракторните двигатели;
b. Радиален черупков лагер; c. Основен черупков лагер (черупков радиален лагер с аксиален лагер-полупръстен (шайба))

- | | |
|--|--|
| 1. Свободно пространство (Free Spread); | 16. Дължина на заострен край (Tang Length); |
| 2. Ширина на заострения край (Tang Width); | 17. Дебелина на аксиалния лагер - полупръстен (Thrust Washer Thickness); |
| 3. Заострен елемент (Tang Position); | 18. Работна повърхност (Running Surface); |
| 4. Релефност (Tang Relief); | 19. Лице на аксиалния лагер (Thrust Face); |
| 5. Ширина на лагера (Bearing Width); | 20. Маслен канал (Oil Groove); |
| 6. Частичен канал за преминаване на маслото (Partial Oil Groove); | 21. Местоположение на издатината (Locating Tang); |
| 7. Разделителна линия (Parting Line Relief); | 22. Дължина на лагера (Bearing Length); |
| 8. Диаметър на лагера (Bearing Diameter); | 23. Разстояние между фланците (Distance between Flanges); |
| 9. Отвор за преминаване на маслото (Countersunk Oil Hole); | 24. Застопоряващ жлеб (Anti Rotation Notch); |
| 10. Външна периферия на лагера (Bearing back); | 25. Релеф на лицето на аксиалния лагер (Relief on Thrust Face); |
| 11. Дебелина на стената (Wall Thickness); Заострен край от външната страна (Outside Edge); | 26. Освобождаване (Undercut); |
| 12. Заострен край от вътрешната страна (Inside Edge); | 27. Дебелина на фланеца (Flange Thickness); |
| 13. Водещ елемент - издатина (Tang Protrusion); | 28. Прорез за масло (Lubrication Slot); |
| 14. Обща повърхност (Joint Face); | 29. Релеф на общото лице (Relief at Joint Face); |
| 15. Маслен джоб (Oil Pocket); | 30. Маслен канал (Oil Groove); |
| | 31. Диаметър на фланеца (Flange Diameter); |



- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Маслен джоб (Oil Pocket); 2. Маслен отвор (Oil Hole); 3. Вътрешен диаметър (Inside Diameter); 7. Захващащи зъби (Clinch Butt); 8. Маслен канал (Oil Groove); | <ol style="list-style-type: none"> 4. Външен диаметър (Outside Diameter); 5. Дължина (Length); 6. Захващащи зъби (Clinch Butt); 9. Местоположение на прорез (Locating Notch); 10. Аксиален маслен канал (Axial Oil Groove); |
|---|--|

Изложение

Обект на настоящото изследване е избрано съединението “вал-плъзгащ лагер” от автотракторната и земеделска техника.

В началните структурни характеристики на двойцата вал-плъзгащ лагер влизат: d - диаметър на вала; D - диаметър на лагерното гнездо; L - ширина на шийката на вала (лагерната черупка); h - дебелина на лагера; δ - хлабината в съединението, материала от които се изработват вала и лагера, тяхната грапавост, микротвърдост, износоустойчивост и др..

Данните в настоящото изследване са взети от електронните каталози на фирма Miba Gleitlager GmbH [10] и важат за марките двигатели CATERPILLAR, CUMMINS, DAF, DEUTZ, IHC, IVECO, JOHN-DEERE, KOMATSU, MAN, MERCEDES-BENZ, MWM, RENAULT, SCANIA, STEYR, VOLVO.

При сглобяване на двигателя хлабината в лагерите на колянвия вал обикновено е $0,03 \pm 0,08$ mm. Хлабина по-малка от 0,03 mm изисква прецизна по дебелина и форма черупки (иначе вала няма да се върти свободно). Хлабини по-малки от 0,02 mm даже при най-високо качество на черупките са опасни по време на процеса на сработване поради местните разтапяния и повреди на антифрикционния слой на черупката, влияещи на ресурса на двигателя. В същото време хлабина по-голяма от $0,07 \pm 0,08$ mm дава повишен шум на двигателя и може да намалява налягането на маслото, а това също води до снижаване на ресурса на двигателя. В основните лагери хлабината е по-голяма в сравнение с мотовилковите, което е свързано с по-големия диаметър и дебелина на основните черупки.

Колянвите валове за двигатели с вътрешно горене (ДВГ) [8,9] от земеделската и автотракторната техника и по-специално за дизеловите ДВГ трябва да притежават висока якост на умора при огъване и усукване, малка чувствителност към концентратори на напрежения и висока износоустойчивост. На тези изисквания отговарят средновъглеродните стомани 45, 45A, 45Г2, 50Г; легираните стомани 45ХН, 40ХНМА, 18ХНВА, също така и високояките чугуни със сфероидална форма на графитните включения, чугуни легирани с манган, никел и молибден. За увеличаване на трайността на валовите изработени от стомана се извършва повърхностно закаляване с ТВЧ на дълбочина 3-5 mm до твърдост 40 ± 62 HRC. Други методи за повишаване на износоустойчивостта са азотирането, навъглеродяването, и карбонитрирането и други химик-термични обработки на повърхностните слоеве. След окончателната механична обработка (шлифование, суперфиниширане, полиране) отклонението от формата и размерите на шийките на валовите трябва да бъде по-голямо от

0,005 - 0,01 (0,02) mm. Грапавостта на обработените повърхности трябва да бъде не повече от 0,15-0,32 μm по Ra.

Черупките винаги се изработват многослойни, като за основа служи стоманена лента, върху която по различни начини се нанася слоя антифрикционен материал [1,6,8,9,10]. При автотракторните двигатели се използват следните антифрикционни материали:

- алуминиеви сплави съдържащи около 5 % олово, а също така калай и силиций, например AlPb5 % Si4 % Sn1 %. Сплавта се нанася върху стоманена основа и се използва без допълнителни покрития, понеже се явява "мека" и добре се сработва с колянския вал;

- алуминиеви сплави със съдържание на калай около 20 %, например AlSn20 % Cu-също се използва без допълнителни покрития;

- алуминиеви сплави с намалено до 6 % съдържание на калай, например AlSn6 % Cu1 %. Използват се само с оловно-калаено покритие от типа PbSn10 % Cu2 %, понеже вследствие на високата си твърдост лошо се сработват с вала и може да предизвикат повреда на лагера;

- алуминиеви сплави с кадмий и никел от типа на AlCd3 % Ni1 % Si1 %, използват се само с покритие от типа PbSn10 % Cu2 %;

- алуминиеви сплави с цинк и олово от типа на AlZn5 % Si2 % Pb1 % Cu1 %, използват се само с покритие от типа на PbSn10 % Cu2 %;

- оловно-калаени бронзи, например CuPb22 % Sn1 %, с покритие от калаено-оловна сплав PbSn10 % Cu2 %;

- бронзи с друго съдържание на олово и калий, например CuPb24 % Sn3 %, също се използват с покритие от типа PbSn10 % Cu2 %;

- бронзи от типа CuPb14 % Sn3 % с покритие PbSn10 % Cu2 %.

В зависимост от материала черупките могат да бъдат дву-, три-, четири- или пет-слойни (включвайки и стоманена основа).

Обикновено дебелината на слоевете е: стоманена основа-0,9 mm и повече; основен слой - 0,25+0,50 mm; никелов бариерен слой - 0,001 mm; калаено-оловен слой - 0,02+0,04 mm; калай - 0,003+0,005 mm.

Основни характеристики на материала от който е произведена черупката са максимално относително натоварване (силата върху единица площ) и максимално допустимата скорост на плъзгане. При това трябва да се отбележи, че в следствие на разликите в условията на работа и натоварванията на мотовилковите и основните шийки, техните материали при много видове двигатели се различават.

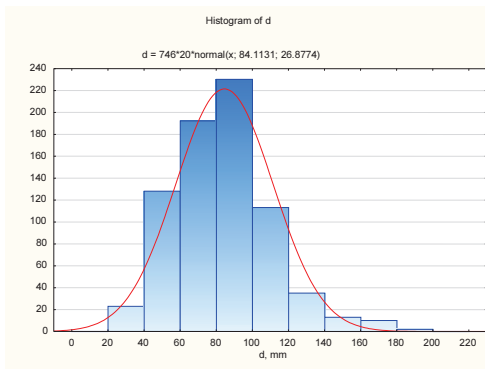
При дизеловите двигатели най-често има черупки от материали различаващи се от тези, които се използват при бензиновите двигатели. Ако при бензиновите двигатели се срещат всички типове дадени по горе материали, то при дизеловите най-често разпространена е сплавта с 20 % калай и оловно-калаените бронзи с покрития. Това е свързано със съществено по-високите натоварвания по лагерите на колянските валове на дизеловите двигатели.

Обща тенденция в двигателостроенето е намаляване на дебелината на лагерните черупки, която обикновено е 1,8±2,0 mm при основните и 1,4+1,5 mm при мотовилковите. Колкото са по-тънки черупките, толкова по-добре прилягат в леглата, толкова по-добро е отвеждането на топлината, по-малка е допустимата хлабина в лагера и неговия шум при работа, по-голям е ресурса му [1, 6, 8, 9, 10].

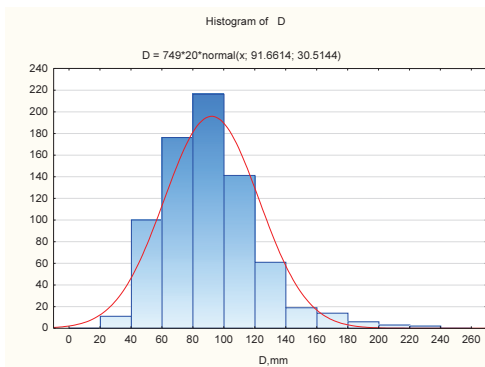
Като изходни данни за определяне на началните геометрични структурни характеристики бяха използвани данни от електронните каталози на фирма Miba Gleitlager GmbH [10]. Проверката за съответствие на емпиричното и теоретичното разпределение беше извършено по критерия на Пирсон.

Диференциалните функции на разпределение за диаметрите, широчината и дебелината и хлабината на лагерите са представени на фиг.4, фиг.5, фиг.6, фиг.7, фиг.8.

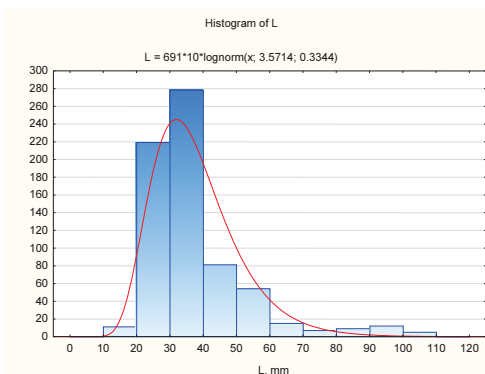
При направената проверка на хипотезата за нормално разпределение, се установи, че така взетите данни не принадлежат на една и съща съвкупност.



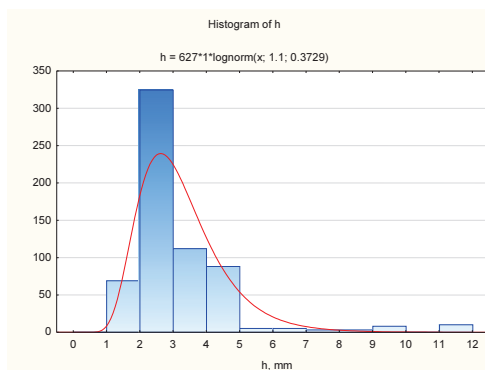
Фиг.4. Диференциална функция на разпределението на диаметъра на валовете.



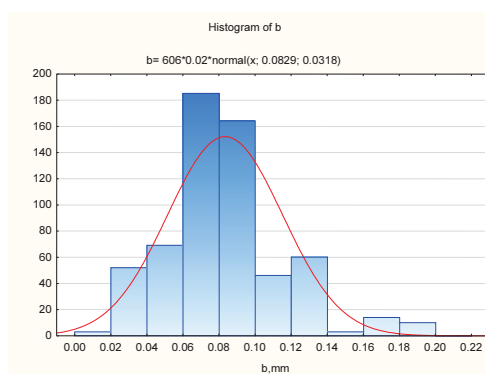
Фиг.5. Диференциална функция на разпределението на диаметъра на отворите.



Фиг.6. Диференциална функция на разпределението на широчина на лагерите.



Фиг.7. Диференциална функция на разпределението на дебелина на лагерите



Фиг.8. Диференциална функция на разпределението на хлабината в лагерите

Таблица 1.

Средни стойности на измерваните лагери

	бр. изм.	Средна стойност	Confidence 95.000%	Confidence 95.000%	Min	Max	Вариация	Ср. квадр. стойност	Коеф. на вариация	Стандартна грешка	Ср. отн. гр.
d	746	84.11311	82.18126	86.04495	26.00000	195.5000	722.3956	26.87742	31.95390	0.984052	1.17
D	749	91.66138	89.47254	93.85023	29.00000	225.5000	931.1292	30.51441	33.29037	1.114972	1.22
L	691	37.81800	36.68884	38.94716	11.83000	103.8000	228.5426	15.11763	39.97468	0.575102	1.52
h	627	3.25777	3.13162	3.38391	1.47900	11.0230	2.5873	1.60851	49.37475	0.064238	1.97
b	606	0.08294	0.08041	0.08548	0.02000	0.1840	0.0010	0.03177	38.30271	0.001291	1.56

Въз основа обработката на статистическата информация с помощта на програмата „Statistica“ се получиха следните резултати, описани в табл.1.

Средната стойност за валовите е 84,11 mm, а за отворите – 91,66 mm. Средната широчина е 37,82 mm, средна дебелина – 3,26 mm, и средна хлабина – 0,083 mm.

Диаметъра на валовите варира от 26 mm до 195,5 mm и се описва от нормалния закон най-добре. От същия закон се описва също и диаметъра на отворите които варират от 29 mm до 225,5 mm. С логаритмично нормалния закон се описват широчината и дебелината на лагерите, като широчината е в границите от 11,83 mm до

103,8 mm, а дебелината от 1,479 mm до 11,02 mm. С нормалния закон на разпределение се описва също най-добре и хлабината, която варира от 0,02 mm до 0,184 mm.

Заклучение

От проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Установени са началните структурни характеристики на двоицата вал-плъзгащ лагер: d - диаметра на вала; D - диаметър на лагерното гнездо; L - ширина на шийката на вала (лагерната черупка); h - дебелина на лагера; δ - хлабината в съединението, материалите от които се изработват валовете, лагерите.

2. Получените характеристики за диаметрите, ширината, дебелината и хлабината при коляно-мотовилковия и газоразпределителния механизъм могат да послужат при математическото и физическо моделиране на процесите на триене и износване в тези механизми.

3. Законите на разпределение, които сме избрали са адекватни на получените данни.

Литература:

[1] Кангалов Пл.. Определяне на началните структурни характеристики на двоицата вал-плъзгащ лагер от автотракторни двигатели, работеща при триене на плъзгане // сп. "Селскостопанска техника", 1, 2013, стр.14 -21, ISSN 0037-1718

[2] Коченов В., Совершенство конструкции коленчатого вала. Биржа плюс авто, №31, 2006

[3] Кулаков Александр Тихонович. Повышение надежности автотракторных дизелей путем совершенствования процессов смазки, очистки и технологии ремонта основных элементов: диссертация ... доктора технических наук : 05.20.03 / Саратов, 2007.- 564 с.

[4] Након Н., Стойков С. Контрол на качеството при ремонта на автотракторната техника, Земиздат, София, 1977.

[5] Сидоров А.И. Восстановление деталей напылением и наплавкой. – М.: Машиностроение; 1987. – 192 с.

[6] Хрулев А. Е. Ремонт на автомобилни двигатели. За рулем, Auto Point – 2001.

[7] Шадричев В. А., Основи на технологията на автомобилостроенето и ремонта на автомобилите, София, ДИ "Техника", 1982 г.

[8] В. Bertsche, Reliability in Automotive and Mechanical Engineering. VDI-Buch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008. – 488 p.

[9] Diesel engine reference book / edited by Bernard Challen, Rodica Baranescu. Butterworth-Heinemann, 1999. – 675 p.

[10] Engine bearing catalogue of the MIBA Gleitlager GmbH. 2014/15

[11] Митков А., Теория на експеримента. Русе, „Дунав прес“, 2011

За контакти:

Проф. д-р инж. Пламен Ганчев Кангалов, катедра "PHMMЛХТ", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.:082 888 701, e-mail: kangalov@uni-ruse.bg

Инж. Десислава Белева, катедра „PHMMЛХТ“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, GSM: 0884/631 473, e-mail: dbeleva@uni-ruse.bg

Инж. Кристина Дякова-Димитрова, катедра „PHMMЛХТ“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, GSM: 0887/825 638, e-mail: kdimitrova@uni-ruse.bg