

Investigation of the Reasons for Accelerated Wear of Polymer Water-lubricated Sterntube Bearings

Sevdalin VALCHEV, Christo PIROVSKY

Technical University – Varna, Bulgaria, e-mail: sevdalin.valchev@tu-varna.bg

Abstract

In recent years, water-lubricated polymer bearings have been increasingly used. The main reasons are: reduced maintenance and service costs, zero environmental impact, high wear resistance and, last but not least, exceptional shock and vibration resistance, allowing for a substantial reduction of vibration and noise. In some applications, however, the wear resistance of the polymer sleeves is compromised and after a year of operation wearing limits are reached. In the present study, the reasons for the increased wear of the polymer stern tube bearings are discussed in detail.

Keywords: sterntube, polymer, bearings, wear

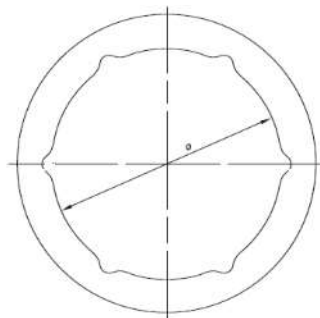
Изследване на причините за ускорено износване на полимерни дейдвудни лагери с водно мазане

Севдалин ВЪЛЧЕВ, Христо ПИРОВСКИ

1. Въведение

През последните години полимерните дейдвудни лагери с водно мазане получиха широко приложение не само в корабостроителната индустрия. Основните причини са: лесен монтаж, ниска себестойност, намалени разходи за обслужване и поддръжка, безвредно влияние върху околната среда при експлоатация, висока износоустойчивост, нисък коефициент на триене ($0.1 \div 0.17$) и не на последно място – изключителна устойчивост на удари и вибрации, позволяваща чувствително намаляване на вибрациите и шума в жилищните и служебни помещения на кораба.

При работа на полимерните лагери, в зоната на контакт между шийката на въртящия се вал и лагерната втулка, възникват сили на триене съпътствани с отделяне на топлина. Тъй като полимерния лагер е лош проводник на топлина, задължително се въвежда охлаждане посредством непрекъснат воден поток, протичащ през надлъжни канали на лагерната втулка (фиг. 1).



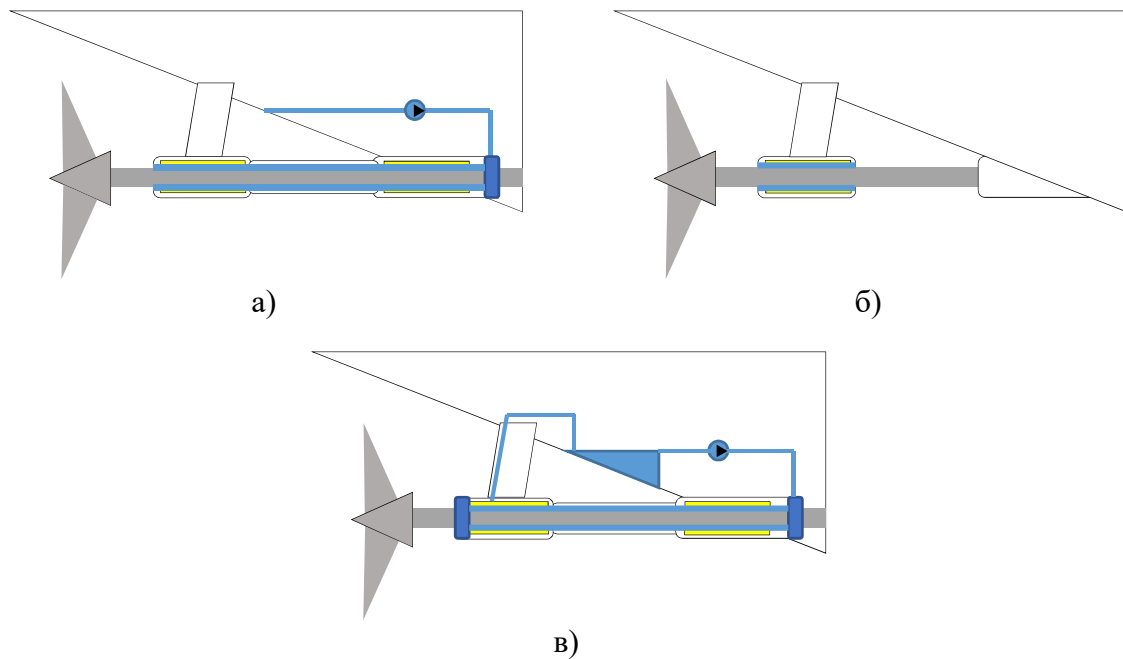
Фиг. 1. Напречно сечение на полимерна лагерна втулка.

В съвременната корабостроителна практика са разпространени няколко основни подхода за осигуряване на охлаждане на полимерните лагери:

- охлаждане отворен тип за лагери разположени в конструкцията на кронщейн. Разчита се на разликата в налягането преди и след лагера, което се създава от обтичащия кронщейна попътен поток вода, фиг. 2а.
- отворен тип за лагери разположени в дейдвудно устройство. Охлаждането се осъществява принудително чрез извънбордна вода засмуквана от помпа. Предимството се състои във високата интензивност на охлаждане, филтрирането на абразивни частици съдържащи се в извънбордната вода и предупредително известяване при запушване на охлаждащите канали на лагера или срыв в работата на помпата, фиг. 2б.
- затворен тип охлаждане на дейдвудни лагери. Използва се сладка вода която циркулира в затворен контур между лагерите в дейдвудното устройство, фиг. 2в.

При правилна експлоатация продължителността на експлоатация на полимерните лагери с водно мазане достига 10 и повече години.

В някои приложения на полимерните лагери с водно мазане, поради ред причини, които ще бъдат отбелязани по-долу, след година експлоатация се достигат стойности на недопустимо износване, налагащо подмяна на полимерната втулка.



Фиг. 2. Схеми на охлаждане на полимерни лагери с водно мазане

2. Цели и задачи на изследването

Основните цели на настоящото изследване е разкриване на причините за ускорено износване на дейдвудни полимерни лагери с водно мазане и представяне на препоръки за подобряване на тяхната експлоатация.

Основните задачи, поставени в хода на изследването са:

- оценка на проявата на някои от най-характерните повреди по полимерните лагери с водно мазане;

- изграждане на изчислителен модел, отчитащ въздействието на сили и моменти върху корабната валова линия и в частност тяхното влияние върху дейдвудните лагери;
- оценка на причините за повишено износване.

3. Характерни повреди на полимерните лагери с водно мазане

Характерните повреди по дейдвудните лагери с водно мазане могат да бъдат условно класифицирани в две групи.

Първата група е пряко свързана с неподходящи проектни решения водещи до развитие на неизправности:

- високо контактно налягане по периферния ръб на лагерната втулка в следствие на деформацията на валовата линия и/или корабния корпус, водещи до несъвпадане (кръстосване) на оста на лагерната шийка на вала с оста на лагерната втулка;
- използване на дължини на лагерите $L > 2 \cdot D_{\text{вал}}$;
- необтекаемо входно сечение на полимерни лагери без принудително охлаждане – разчита се на естествената циркулация, която създава попътния поток;
- неотчитане на възникваща странична сила при бързовъртящи се валове, обтичани косо от попътния поток (ефект на Магнус)[4].

Във втората група са описани най-чести повреди в следствие на неправилна експлоатация:

- интензивно износване при работа в абразивна среда – съдържание на твърди примеси в охлаждащата вода (абразивни частици – пясък);
- развитие на висока температура на охлаждащата вода $t > 80^{\circ}\text{C}$, особено за лагери без принудително охлаждане. Получава се ефект на хидролиза (химическо разграждане на контактния слой на лагера от водата), фиг. 3 [2];
- разтопяване на повърхностния слой на лагера от спиране на охлаждането непосредствено със спирането на двигателите;
- пълно разтопяване на лагера в следствие на спиране на принудителното охлаждане или запушване на надлъжните ръкави на лагера от ракообразни, фиг. 4.



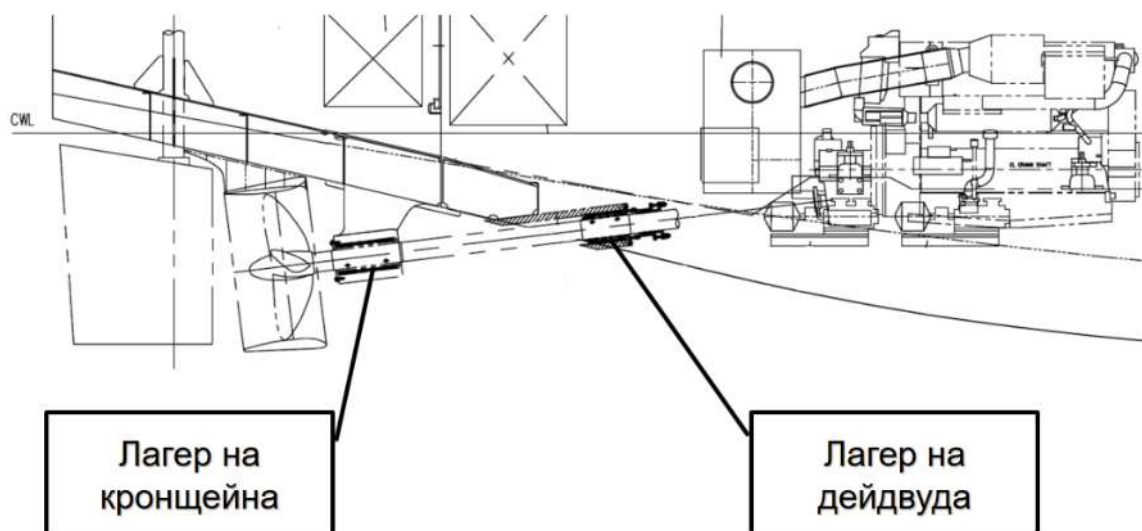
Фиг. 3. Влошаване качеството на контактния слой на лагера вследствие на висока температура и развитие на хидролиза



Фиг. 4. Разтопяване на лагерната втулка в следствие на влошено охлаждане и развитие на висока температура в контактния слой ($t > 250^{\circ}\text{C}$) [1]

4. Обект на изследване

Обект на настоящото изследване е речен кораб задвижван посредством двувалова пропульсивна уредба показана на фиг.5.



Фиг. 5. Разположение на полимерните лагери с водно мазане

Гребните валове са с диаметър $\phi 90 \text{ mm}$ и са изработени от неръждаема стомана. Полимерните втулки са от еластомер тип Thorplas Blue на фирмата Thordon. Честотата на въртене на валове е 1100 min^{-1} , а предаваната мощност за всеки е 368 kW . Гребният вал се поддържа от два лагера: дейдвуден лагер и лагер на кронщейна, съответно с дължини 0.215 m и 0.31 m . Гребните винтове са с диаметър $\phi 766 \text{ mm}$ и са разположени в дюза.

При първоначален монтаж на полимерните лагери е отчетена хлабина вертикално и хоризонтално 0.7 mm . След година експлоатация в речни условия хлабината нараства значително и в лагера на кронщейна вертикално достига 2.52 mm , а в дейдвудния лагер 1.25 mm . В хоризонтално направление стойностите са съответно 1.72 mm и 1.2 mm , фиг.6 и фиг. 7.



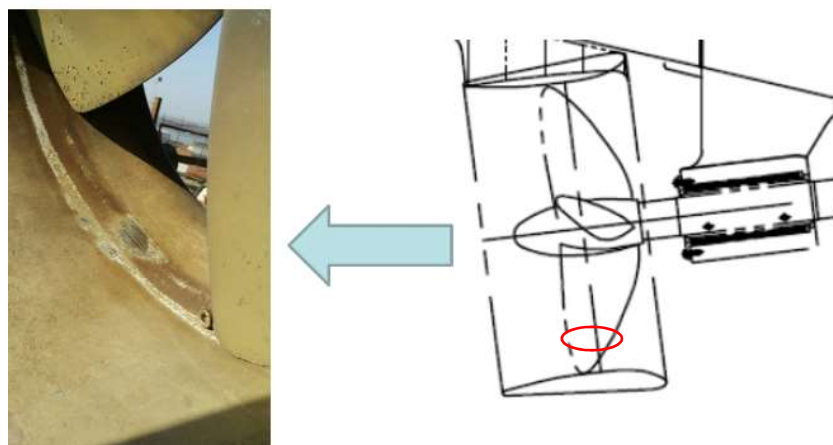
Фиг. 6. Износване в лагера на кронщейна



Фиг. 7. Износване в дейдвудния лагер

Допустимото износване на лагерните втулки е 2.5mm [5], което определя, че е необходима подмяна на двете полимерни лагерни втулки.

Получените при експлоатация недопустими стойности на износване са довели до механичен контакт на лопатките на гребния винт в дюзата, а оттам и преждевременно извеждане на кораба от експлоатация, фиг. 8.

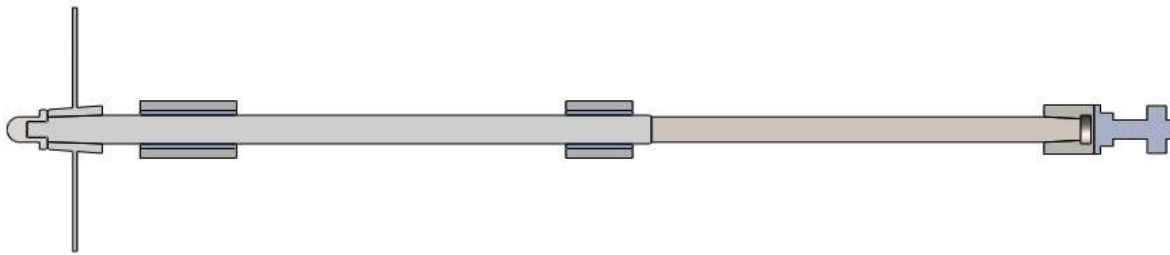


Фиг. 8. Провисване и задиране на лопатките на гребния винт в дюзата

5. Изграждане на изчислителен модел за оценка натоварването на полимерни лагери с водно мазане

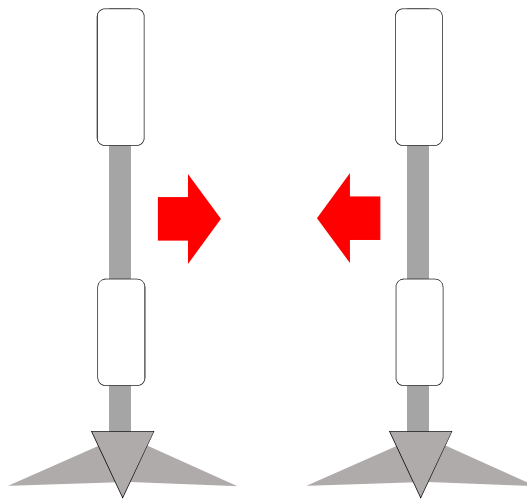
При изграждането на изчислителния модел е отчетено:

- хлабина между лагерната втулка и шийката на вала с отчитане на действителните им размери след монтаж;
- монтажна несъостност на втулката на кронщейна и вала фиг. 9;
- разпределена маса на вала и сила на тежестта на гребния винт във вода;
- хоризонтална напречна сила създадена от ефекта на Магнус при обтичане на бързовъртящ се цилиндър, в случая откритата част от вала, фиг. 10;



Фиг. 9. Модел по МКЕ за пресмятане на натоварването на лагерните втулки

Огъващият момент в хоризонтална равнина, създаден вследствие на изместването на резултантната сила на упора от оста на въртене на вала се приема за пренебрежимо малък. Причината е наличието на дюза, създаваща условия за равномерен поток в диска на гребния винт.

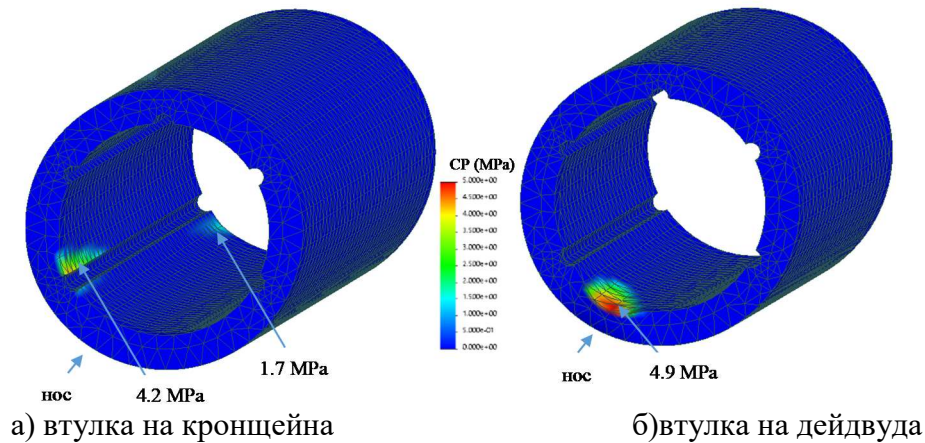


Фиг. 10. Развитие на хоризонтална Магнусова сила в следствие на обтичането на валовете

6. Резултати и анализ от изследването

На фиг. 11 са представени резултати от проведените пресмятания на контактното налягане, което шийката на вала оказва върху повърхността на полимерния лагер. За лагерната втулка на кронщейна се обособяват две контактни зони: близо до кърмовия край на лагера 1.7 МРа и в носовата част 4.2 МРа. За лагерната втулка на дейдвуда се обособява само една зона на контакт в носовия ръб на лагера с налягане от 4.9 МРа.

Извършени пресмятания съгласно [1], показват монтажна хлабина от 0.17 mm, която съществено се отличава от изпълнената 0.7mm. Прекалено голяма монтажна радиална хлабина чувствително нарушава хидродинамичните условия за поддържане водния клин. Съгласно литературни източници [3], при валове с хлабина в лагера над 0.7 mm и температура на водата 25°C, хидродинамичната товароносимост на лагера е под 0.14 MPa.



Фиг. 11. Разпределение на контактно налягане

За разглеждания случай липсват условия за изграждане на хидродинамичен воден клин, поради отчетен контакт в крайните сечения и голяма монтажна хлабина, т.е. налице е контактно триене на вала с лагерната втулка, способстващо интензивното ѝ износване. Друг фактор, който ще определя срив на водния клин е създаването на контакт близо до зоната на надлъжния канал на лагерната втулка, фиг. 11а).



Фиг. 12. Износване на шийката на вала

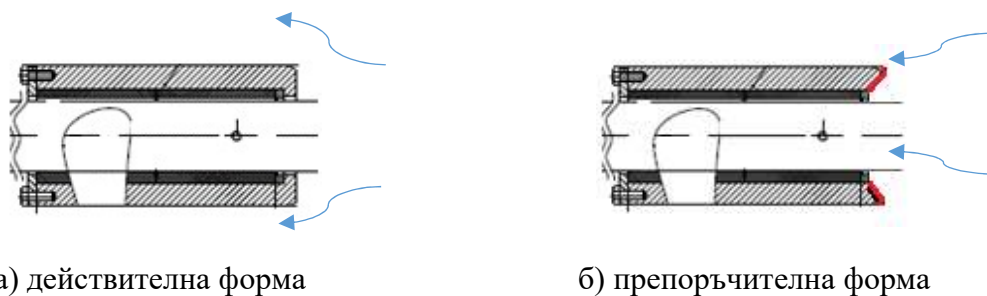
Извършени измервания на шийката на вала в участъка на лагера на кронщейна показват износване от 0.3mm и видими радиални неравности, причинени от абразивни частици, съдържащи се във водата (фиг. 12).

7. Изводи

В резултат на проведените теоретични и експериментални изследвания могат да бъдат направени следните изводи и препоръки:

- при прекалено голяма монтажна радиална хлабина хидродинамичните условия за поддържане водния клин се нарушават – настъпва контактно триене между шийката и вала;

- поддържането на хидродинамично водно мазане при относително дълги полимерни лагери ($L/D > 2$) силно се влияе от същото разположение на лагерната втулка и вала. Често първоначалният контакт е в крайните сечения на втулката, което води до нейното бързо износване, а оттам и нарушаване на условията за поддържане на воден клин;
- за отворен тип лагери на кронщейна е необходимо формата на входното сечение на потока към лагера да бъде скосена (конусовидна), с цел да се осигури достатъчно налягане на водния поток на входа на лагера на кронщейна, фиг. 13.



Фиг. 13. Форма на входното сечение на потока за охлаждане и мазане на лагера на кронщейна

- при работа на полимерни лагери в замърсена водна среда (плитки участъци на канали и реки) се създават условия за бързо износване лагерната втулка на кронщейна поради наличието във водата на абразивни частици (пясък). В тези случаи, ако се използват охлаждащи системи от отворен тип, е необходимо филтриране на охлаждащата вода, както и използване на принудителна циркулация за всички полимерни лагери, фиг. 2б.

Благодарности

Екипът провел научноизследователската работа по изясняване на причините за ускорено износване на полимерни дейдвудни лагери с водно мазане изказва своята благодарност за финансовата подкрепа осигурена по проект “Инфраструктура за устойчиво развитие в областта на морските изследвания, обвързана и с участието на Р. България в Европейската инфраструктура Euro-Argo – (МАСРИ/MASRI)“, <http://masri.io-bas.bg/>

Литература

1. ThorPlas Bearings – Engineering Manual TP2006.1, Thordon
2. Litwin W., Dymarsky C., Experimental research on water-lubricated marine stern-tube bearings in conditions of improper lubrication and cooling causing rapid bush wear, Tribology International, Vol. 95 (2016), pp. 449-455
3. Litwin W., Influence of main design parameters of ship propeller shaft water-lubricated bearings on their properties, Polish Maritime Research 4(67) 2010 Vol 17; pp. 39-45
4. Magnus Effect – An Overview of Its Past and Future Practical Applications, Naval Sea Systems Command Department of the Navy, Washington DC 20362, Vol.1; 1986
5. РТМ 31.5004-75, Подшипники скольжения гребных валов из неметаллических материалов, Транспорт, Ленинград, 1976