Habanje vibracione opreme usled zamora u industriji armiranog betona

A.I. Dotsenko^{1,*}

Moskovska državna akademija za komunalnu privredu i građevinarstvo (MSAMEC)

U ovom radu proučavan je uticaj vibracija, abrazivne prašine, korozije i drugih faktora na ležajeve sa dubokim žlebovima i paralelne ležajeve. Na osnovu dostignuća tribologije predstavljen je dodatni i precizno definisan model mehanizma trenja saglasno vibracionom opterećenju. Potpuni model i njegov proračunski izrađen osnovni aparat omogućiće rešavanje niza problema u okviru prognoze resursa i pouzdanosti tehnološke opreme u industriji armiranog betona.

Keywords: tribologija, vibracije, ležajevi, prognoza resursa

1. UVODNA RAZMATRANJA

Poboljšanje kvaliteta opreme jedan je od glavnih uslova za rast i efikasnost proizvodnje u kompanijama prefabrikovanih čelično-betonskih proizvoda. Od posebnog značaja je poboljšanje kvaliteta čelično-betonske opreme u pogledu rasta ekonomije i odnosa na tržištu kao i povećanje zahteva za kvalitetom proizvoda. Osnovna oprema, koja je presudni faktor u tehnološkom procesu proizvodnje betonske galanterije i koristi se u raznim grupama i linijama, uključuje: vibracione ploče, kasetne instalacije, mašine za izradu puteva i mašine za pravljenje betona. Kvalitet pomenute opreme utiče na pouzdanost tehnoloških linijskih koje uključuju ovu opremu.

2. FAKTORI KOJI IZAZIVAJU HABANJE USLED ZAMORA

Oko 80% oštećenja opreme nastaje usled zamora i abrazivnih oštećenja na pokretnim spojevima ili međusobno pokretnim delovima, što ovaj problem svrstava među najaktuelnije. Trenutno, kada je u pitanju kvalitet vibro-pojačivača u prethodno navedenoj opremi, koja koristi oslonce sa ležajevima, rezultati brojnih istraživanja pokazuju sledeće negativne karakteristike [1]: zamor podpovršine i oslone površine, abrazivno habanje oslone površine, frotirajuća korozija i brušenje površina, plastična deformacija i udubljenja na stazama valjaka, oštećenja prstena i kaveza; pregrevanje.

Zamor ispod površine i oslone površine u kotrljajućim ležajevima vibratora odlikuje se visokom frekvencijom promene naponskog stanja, strukturalnom promenom materijala, pojavom unutrašnjih pukotina i njihovim rastom, širenjem i spajanjem, što na kraju dovodi do ljuštenja i kočenja (suprostanjavanja).

Površinski zamor karakteriše povećanje oštećenja površinskog sloja u nepovoljnim uslovima podmazivanja, formiranje mikro pukotina i nepravilnih mikro lomova i ispućenja.

Habanje predstavlja postepeno uklanjanje materijala, pogoršano neadekvatnim podmazivanjem i prodiranjem istrošenih čestica i drugih zagađivača u kontaktnu zonu. Ovo je praćeno pojavom nanosa na

hromiranim površinama kao i ubrzanjem oštećenja mesta kontakta.

Frotirajuća korozija je vrsta korozije trenjem. Obično se javlja na zaptivnoj površini, na površinama preko kojih se prenosi opterećenje, uz prisustvo mikro-pokreta između susednih površina. Ovaj mehanizam prati oksidacija mikro površine i formiranje praškaste rđe kao i dodatnog trošenja materijala. Druga vrsta korozije je brušenje. Ako je ležajna jedinica u stanju neaktivnosti tj. neradno stanje tehnološke opreme: u zoni interakcije između elemenata za oslanjanje valjaka i putanje nema podmazivanja. Kontakt metala u kombinaciji sa vibracijama iz odgovarajuće okolne opreme dovodi do mikro-pokreta i elastičnih deformacija u kontaktnoj zoni. Rezultat je stvaranje sitnih trošnih čestica koje oštećuju kotrljajnu stazu ležaja. Zglobovi dobijaju sferne šupljine, a valjci dobivaju zareze. Plastične deformacije mogu prouzrokovati oštećenja i uništavanje ležajeva pri ekstremno velikim statičkim i vibro-udarnim opterećenjima. Istovremeno, na stazi kuglica i valjka oblikuju se udubljenja. Udubljenja od raznih čestica čelika ili tvrdih minerala nastalih tokom otvrdnjavanja čestica kao rezultat lokalnog preopterećenja. U ovom slučaju, udubljenja su po pravilu malih dimenzija i raspoređena su po celoj površini staze valjka. Oštećenje ležajnih prstenova pod opterećenjem događa se kada je koncentracija napona veća od zadane tvrdoće. Ovo važi za mašine koje rade u vibro-režimu. Pojedinačna oštećenja nastaju pri opterećenju većem od granice tvrdoće materijala tokom savijanja. Pregrevanje ležajeva nastaje pri velikim brzinama klizanja ili pri nedovoljnom podmazivanju, što izaziva veliko pregrevanje usled trenja kotrljajnih tela.

3. KARAKTERISTIKE KLIZNIH LEŽAJEVA PRI RADU SA VIBRACIONIM OPTEREĆENJEM I UTVRĐIVANJE NJIHOVIH OSOBINA

Kao što su studije pokazale, nakon zamene kotrljajnih ležajeva kliznim, izvedenim u Moskovskoj državnoj akademiji za komunalnu privredu i građevinarstvo (MSAMEC), zajedno sa Institutom za inženjerske nauke A.A. Blagranravova (RAN), rad kliznih ležajeva karakterišu

* Kontakt adresa autora: Moscow State Academy of Municipal Economy and Construction, email: dotsenko_ant@mail.ru

manji potrebni uslovi, što omogućava dinamičku kompenzaciju uticaja opterećenja. Klizni ležajevi omogućavaju smanjenje oslonog habanja tamo gde se osovinu vrti i na način koji omogućava dobru prilagodljivost ugrađenih ležajeva osovinu. Pozitivan aspekt upotrebe kliznih ležajeva u vibrirajućim građevinskim mašinama i uređajima je posebno pogodnost njihovih elemenata za umetanje različitih materijala protiv trenja koji imaju svojstva prigušivanja.

Većina kliznih ležajeva koji su u upotrebi kod građevinskih mašina i opreme napravljeni su od legura obojenih metala koje smanjuju trenje. Evolucija ovih materijala prošla je kroz stvaranje čvršćih legura koje su, u poređenju s drugima, povećale izdržljivost na zamor materijala, ali pogoršale karakteristike protiv trenja. Kada se koriste legure veće čvrstoće, postavlja se problem povećanja izdržljivosti pri zadiranju. Ovo se posebno pokazalo za bronz (BrC30, Br0C22 i dr.). Iz tog razloga, posebna pažnja posvećena je mogućnosti primene legura sa dodavanjima mekih faza metala i kadmijuma, koje odlikuju visoke karakteristike protiv trenja i zadovoljavajuća čvrstoća na zamor. Posebno široku upotrebu imaju bimetalni ležajevi, izrađeni od odgovarajuće bimetalne trake sa legiranim slojem A020-1 (20% Sn, 1% Cu, ostalo Al).

Zajedno sa aluminijum-kalajnim legurama, u upotrebi su i legure koje sadrže kalaj i olovo. U perspektivi su sprovedena istraživanja i tehnološki razvoj za stvaranje smeše sa čvrstim i tečnim legiranim sastavom, koji sadrže olovo, što generalno doprinosi povećanom interesovanju za njih u zemlji i inostranstvu.

Paralelno sa radom na poboljšanju karakteristika protiv trenja, ne treba zanemariti i značaj istraživanja i razvoja posvećenih povećanju izdržljivosti legura na zamor. U Rusiji je povećana izdržljivost legura na zamor ostvarena na račun kombinovanja legure aluminijuma tipa A020-1 sa čelikom. U takvoj varijanti, statička izdržljivost i životni vek spojenih slojeva gotovo su udvostručeni.

Zadatak razvoja materijala koji bi smanjili trenje i koji su otporni na habanje je takođe aktuelan, i to na bazi vatrootalnih jedinjenja titanijum borida, cirkonijuma i hafnijuma sa prevlačenjem metalima iste grupe. Zajedno sa metalnim materijalima u kliznim ležajevima koriste se i kompozitni materijali na polimernoj bazi. Upotreba takvih materijala u osloncima vibracionih mašina koje rade u nepovoljnim uslovima za podmazivanje zavisi od njihove sposobnosti samopodmazivanja. U tu svrhu u primeni su razne tehnologije za samopodmazujuće klizne ležajeve na primer na bazi tvrdo plastičnih materijala. Trenutno se velika pažnja posvećuje stvaranju novih termootpornih polimera i antifrikcionih kompozita koji mogu obezbediti stabilan rad sa trenjem u širokom rasponu temperatura, opterećenja i brzine klizanja. Primena u građevinskim mašinama i uređajima za rad u vibracionom režimu i rešenje ovog problema u prvom redu je povezano sa proučavanjem triboloških karakteristika u kontaktnim zonama ležajeva vibratora, zbog čega je razvijen matematičko-fizički model za vibraciono opterećenje tribotehničkog para [2].

Kontaktna interakcija elemenata frikcionih parova dok klize pri stacionarnom spolnom opterećenju normalno na površinu značajno se razlikuje od analognog dejstva pri vibracionom efektu. Vibracijsko opterećenje menja

interakciju na mikro-kontaktima, a takođe dovodi do povećanja štete koja dovodi do oštećenja usled zamora.

Da bismo procenili performanse frikcionog para pri vibracijskom opterećenju, trebali bi razmotriti hemijski sastav frikcionih elemenata, makro i mikro-geometrijske parametre, energetsko opterećenje i vreme interakcije, koji određuju spoljašnje uslove trenja. U proračunu rada sile trenja pri vibro-dinamičkim opterećenjima, sila trenja ne može dostići nominalnu vrednost i dolazi do procene reoloških karakteristika kontakta, kao i vremena potrebnog i dovoljnog za pretvaranje nezasićenog kontakta u zasićeni.

U prvoj aproksimaciji [3], koeficijent trenja f_{HK} za zasićeni kontakt je nešto veći nego kod nezasićenih f_{HHK} :

$$f_{HK} = f_{ad\sigma} + f_{de\phi} = F/P_c I/3 + P_c I/3$$

$$f_{HHK} = 1/P_c 2V/(2V+1) + P_c 2V/(2V+1),$$

gde su:

- $f_{ad\sigma}$, $f_{de\phi}$ – adhezione i deformacione komponente;
- F - sila trenja;
- P - konturno opterećenje;
- V - ugaoni parameter za kružne površine ležaja.

Dakle, postoje poteškoće u određivanju stvarne vrednosti (količnik) sile trenja za kontaktni par materijala.

U tom slučaju predlažemo da se koristi metoda trenja sa otpornošću na toplotu [4], koja omogućava da se uzmu u obzir maksimalne i minimalne vrednosti koeficijenta trenja.

Ciklična opterećenja dovode do habanja na zamor, kako na površini tako i na dubini. Tokom perioda inkubacije od 10 do 10, ciklus stvara pukotine na površini i na površini koje izazivaju umor i oštećenja usled smanjene tvrdoće materijala. Dalji efekat vibracionog opterećenja dovodi do stvaranja trošnih čestica i njihovog odvajanja.

Za proveru rezultata teorijskog istraživanja Instituta za inženjerstvo i A.A. Blagonravov, zajedno sa MGAHHis, pripremljen je poseban tribološki sistem za eksperimentalna istraživanja.

Osnova tribološkog kompleksa je mašina IM-58 M, na koju je ugrađen vibrator za kinematskim dejstvom, koji pruža vibracione efekte na ispitivanom tribotehničkom paru sa frekvencijama od 0 do 30 Hz. U kontaktnoj zoni između ispitivanih parova koristi se konzistentna ili neuredna mast za podmazivanje koja se dobija metodom "kap po kap". Temperatura u zoni trenja se fiksira termo-parom, koja se potopljen u testni uzorak na dubini od 1 mm od površine. Istraživanje tribotehničkih para vrši se sve do trenutka kada temperatura u zoni trenja dostigne zadati nivo. Eksperimentalna istraživanja ispitivanom tribološkom paru su pomogla da se utvrdi relativna vrednost trošenja i koeficijent trenja koji u određenim uslovima tj. pri različitim vibracionim efektima mogu biti manji nego u slučaju kontroliranih ležajeva. Pri ovim rezultatima, odstupanja kliznih ležajeva u kontaktnoj zoni tribotehničkog para ne dovode do oštećenja od zamora kao što su brazdanje i rupe, a koja se mogu pojaviti kao jedan od faktora koji potvrđuju mogućnost upotrebe kliznih ležajeva u osloncima vibracionih mašina korišćenih u preduzećima za proizvodnju betona.

4. ZAKLJUČAK

Za razliku od kotrljajnih ležajeva, rad kliznih ležajeva karakterišu manji potrebni uslovi. Rezultati pokazuju grešku kotrljajnih tela u kontaktnoj zoni tribotehničkog para, zanemarujući oštećenja od zamora poput brušenja i rupa, što predstavlja osnovu za preporuku kliznih ležajeva za upotrebu u mašinama koje rade u režimu vibro-dinamičkog opterećenja.

LITERATURA

- [1] Доценко А.И., Добронравов СС., Тяпкин А.Ф. О надежности виброплощадок на заводах железобетонных изделий. Ж-Л “Строительные и дорожные машины №9, 1991.
- [2] Доценко А.И., Браун Э.Д. Модель фрикционного контакта при вибрационном нагружении. Известия вузов. Северокавказский регион. Спецвыпуск, 2001.
- [3] Крагельский И.В., Михин ИМ. Узлы трения машин. Справочник, М., 1984.
- [4] Браун Э.д. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Под ред. А.В Чичинадзе, М., 1995.

Wear Fatigue Defects of Vibration Equipment in Industry of Reinforced Concrete

A.I. Dotsenko^{1,*}

Moscow State Academy of Municipal Economy and Construction (MSAMEC)

The influence of vibration, abrasive dust, fretting-corrosion and other factors on deep-groove bearing and parallel bearing were studied. On foundation achievements of tribology is presented a supplement and made a precise well-known model of friction contact employment to the vibratory loading. The completely model and calculation work out on its base apparatus will allow solving a series of problems under prognostic of resource and reliability of technological equipment in the industry of reinforced concrete.

Keywords: tribology, vibration, bearings, resources prognosis

1. INTRODUCTION

Equipment quality improvement is one of the main conditions for production growth and efficiency in production in companies of prefabricated steel-concrete products. Of special significance is the quality improvement of prefabricated steel-concrete equipment regarding the economic growth and market relations, as well as the increase of demands for quality of products. The basic equipment, which is the crucial factor in the technological production process of concrete accessories and is used in various groups and lines, includes vibratory plates, cassette installations, machines for making roadsides, concrete making machines. The quality of the above-mentioned equipment influences the reliability of technologic line works which include this equipment.

2. FACTORS THAT PROVOKE THE WEAR FATIGUE

About 80% of equipment defects occur due to wear-fatigue and abrasive damages in moving joints and parts, which puts this problem among the most current. At the moment, in the field of the quality of vibro-booster in the above-mentioned equipment that uses supports with bearings, the research results show the following negative characteristics [1]: fatigue of subsurface and support surface, abrasive wearing of support surface, fretting corrosion and sealing surfaces brandling, plastic deformation and rollers path dents, ring and cage damages; overheating.

Fatigue of subsurface and support surface in vibrator rolling bearings features the high frequency of voltage change, structural change in material, appearance of subsurface cracks and their growth, spreading and joining, which results in peeling and braking (pitting).

Surface fatigue features the damage increase in the surface layer in unfavorable lubrication conditions, by micro-cracks forming and irregular micro-breaks and bulges. Abrasive wearing represents gradual material removing, worsened by inadequate lubricating and penetrating in the contact zone of interaction between worn particles and other polluters. This is accompanied by the occurrence of matt deposit on chrome surfaces, as well as with the speedup of the contact destruction process.

Fretting corrosion is a kind of friction corrosion. It usually occurs on the sealing surface, on surfaces over which the load is conveyed, at the presence of micro-movements between neighboring surfaces. This mechanism is followed by micro-surfaces oxidation and forming of powder rust and material wearing. Another type of corrosion is brandling. If bearing unit is in the state of inaction, e.g. the non-working state of technological equipment, in the zone of interaction between the elements for rollers support and path: there is no lubricating filling. Contact of metals, in combination with vibrations from the appropriate surrounding equipment, leads to micro-movements and elastic deformations in the contact zone. The result is forming small wearing particles that damage the roller's paths. Joints get spherical cavities and beads get notches.

Plastic deformations can cause damages and bearings destruction at extremely high static and vibro-striking loads. At the same time, on the bead and roller path, the dents form.

Dents from various wearing particles of steel or hard minerals formed during the particle's hardening as a result of local overloads. In this case, the dents, as a rule, are of small dimensions and are distributed over the whole surface of rollers path.

Bearing rings damage under load occurs when voltage concentration is bigger than default hardness. This stands for machines that work in the vibro-striking regime. Separate damages occur at breaking the limit of fatigue hardness of material while bending.

Bearings overheating occurs at high sliding speeds, or at insufficient lubrication, which provokes great frictional heating of rubbing bodies.

3. SPECIFICITIES OF SLIDING BEARINGS WORK AT VIBRATING LOADS AND ESTIMATION OF THEIR PERFORMANCE

As the studies have shown, after replacing the rolling bearings with sliding ones, carried out in Moscow State Academy of utility economy and construction (МГЭКХиС), together with the Institute for Engineering Sciences A. A. Благонравова (ПАИ), as opposed to

* Corresponding author: Moscow State Academy of Municipal Economy and Construction, Russian Federation dotsenko_ant@mail.ru

rolling bearings, the work of sliding bearings features less determining conditions, which allows the dynamic load to influence compensation. Sliding bearings allow the reduction of support wearing where the shaft spins in the way that it provides good adaptability of embedded bearings to the shaft. The positive aspect regarding the use of sliding bearings in vibrating construction machines and equipment is the convenience of their elements, especially for inserting different anti-friction materials that have damper properties.

Most sliding bearings now in use in the exploitation of construction machines and equipment are made of anti-friction alloys from non-ferrous metals. Evolution of these materials went through the creation of more sound alloys which, compared to others, have increased soundness to material fatigue, but worsened anti-friction characteristics. When the alloys of greater soundness are used, the problem of an increase of durability on encroachment is faced. This has especially shown for bronzes (BrC30, Br0C22, and others). For that reason, special attention has been paid to the possibility of using the alloys with additions of soft phases of metal and cadmium, that feature high anti-friction characteristics at satisfactory fatigue soundness. Especially wide use has the bimetallic bearings, made from valid bimetallic tape with an alloy layer A020-1 (20%Sn, 1%Cu, the rest Al).

Together with aluminum-tin alloys, there are also in use the alloys that contain tin and lead. Carried out researches and technological development for creating the mixture with solid and liquid alloy composition, that contain lead, are in prospect, which contributes to interest for them in the country and abroad.

Parallel with work on improving the anti-friction features, there has not been lost the significance of researches and developments dedicated to the increase of fatigue soundness of alloys. In Russia, the increase of fatigue soundness of alloys has been achieved at the expense of combining the anti-friction aluminum alloy type A020-1 with steel. In such variant, the static soundness and the life of joined layers have been almost doubled.

The task of creating anti-friction materials resistant to wearing is also current, on the base of fireproof compounds of boride titan, zirconium and hafnium with coating by metals of the same group.

Together with metal materials in sliding bearings, the composite materials on a polymer base are used. The use of such materials in supports of vibrating machines that work in conditions unfavorable for lubrication depends on their self-lubricating capability. These days, various technologies are used for self-lubricating sliding bearings, for example on the base of hard plastic materials.

Presently, great attention is paid to the creation of new thermo-resistant polymers and anti-friction composites which can provide a stable work of sets with friction in a wide range of temperatures, loads and sliding speeds. Application in construction machines and equipment for work in vibratory regime and solution to this problem is in the first place connected to studying of tribological characteristics in contact zones of bearing vibro-booster, for which reason there has been developed a mathematical-physical model for a vibratory load of tribo-technical pair [2]. Contact interaction of friction pair

elements while sliding at stationary effect of outer load normally to the surface is significantly different from analog effect at vibratory effect. Vibratory load makes change in interaction on micro-contacts, and also leads to accumulation of damage which leads to damage due to fatigue.

In order to estimate the performance, in the first approximation, of friction work pair at vibratory load, we should consider the chemical composition of friction pair elements, macro and micro-geometrical parameters, energetic load and interaction time, which determine the outer friction conditions.

In calculation of friction force work at vibro-dynamic loads, friction force cannot reach the nominal value and there comes the estimation of rheological characteristics of the contact, as well as the time necessary and sufficient for converting the unsaturated contact into saturated.

In the first approximation [3], the friction quotient $f_{\text{нк}}$ for saturated contact is slightly bigger than at unsaturated $f_{\text{ннк}}$:

$$f_{\text{нк}} = f_{\text{адз}} + f_{\text{деф}} = F/P_c 1/3 + P_c 1/3$$

$$f_{\text{ннк}} = 1/P_c 2V/(2V+1) + P_c 2V/(2V+1),$$

where:

- $f_{\text{адз}}, f_{\text{деф}}$ – adhesion and deformation components
- F – friction force;
- P – contour load;
- V – degree parameter for curved bearing surfaces.

So, there are difficulties in determining the real value (quotient) of friction force for material contact pair.

In that case, we suggest to use the method of friction on heat resistance [4], which enables to take into consideration the maximal and minimal values of friction quotient.

Cyclic loads lead to fatigue damages, both on surface and in the deep. During the incubation period from 10 to 10, the cycle makes surface and subsurface cracks that provoke the wear fatigue and damages due to reduced material capability for hardening. Further effect of vibratory load leads to formation of wearing particles and their separation.

To check the results of theoretical research of the Institute for Engineering and A.A. Blagonravov, together with МГAKXиC, a special tribological system has been prepared for experimental researches.

Base of tribology complex is the machine ИМ-58 М, on which the cinematic effect vibrator has been installed, which provides the vibratory effects on the examined tribo-technic pair with frequencies from 0 to 30 Hz. In the contact zone between the examined pairs, there is used the consistent or sloppy grease for lubricating that is obtained by the method “drop by drop”. Temperature in friction zone is fixed by thermo-steam, crossed which are submerged into the test sample at depth of 1mm from surface. Tribo-technic pair research is done until the moment when temperature in friction zone reaches the given level. Experimental researches helped, for the examined tribology pair, at various vibratory effects,

determine the relative wearing value and friction quotient that, at certain conditions, can be less than in the case of rolling bearings. At these results, the fault of sliding bearings in contact zone of tribo-technic pair does not observe such fatigue damages such as brandling and holes, that can occur as one of the factors, that confirm the prospect of sliding bearings use in vibratory machines supports that currently figure at concrete producing companies.

4. CONCLUSION

As opposed to rolling bearings, the work of sliding bearings is featured by smaller determining conditions. The results show the fault of rollers bodies sliding in tribo-technic pair contact zone disregarding such fatigue damages like brandling and holes, which makes the ground for recommending the sliding bearings for use in machines that work in vibro-dynamic loads regime.

REFERENCES

- [1] Доценко А.И., Добронравов СС., Тяпкин А.Ф. О надежности виброплощадок на заводах железобетонных изделий. Ж-Л “Строительные и дорожные машины №9, 1991.
- [2] Доценко А.И., Браун Э.Д. Модель фрикционного контакта при вибрационном нагружении. Известия вузов. Северокавказский регион. Спецвыпуск, 2001.
- [3] Крагельский И.В., Михин ИМ. Узлы трения машин. Справочник, М., 1984.
- [4] Браун Э.д. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). Под ред. А.В Чичинадзе, М., 1995.