

ВИБРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ МАСЛОУДЕРЖИВАЮЩИХ ЛУНОК НА ШЕЙКАХ ВАЛОВ

© 2015

А.А. Гордеев, инженер научно-исследовательского сектора
А.К. Кармалита, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Машины и аппараты»
А.И. Гордеев, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения»
Хмельницкий национальный университет, Хмельницкий (Украина)

Ключевые слова: вибрационное оборудование; работоспособность узлов трения; нанесение лунок.

Аннотация: Одной из важнейших проблем современного машиностроения является разработка мероприятий и создание оборудования для повышения долговечности машин в условиях скоростных и жестко нагрузочных режимов эксплуатации. На сегодняшнее время задача обеспечения объемной прочности деталей при нормальных условиях работы считается практически решенной, поэтому на первое место выходит состояние поверхностного слоя, его износостойкость и условия смазки. Задача повышения маслоудерживающей способности трущихся поверхностей актуальна для машин различного назначения.

В статье приведены результаты анализа существующего оборудования для нанесения маслоудерживающих профилей и выявлены его недостатки. Предложена новая конструкция вибрационного оборудования, которое относится к технологии нанесения маслоудерживающих лунок на поверхностях скольжения с целью уменьшения сил трения и уменьшения износа внутренней поверхности втулки подшипника скольжения и может быть использовано в различных отраслях машиностроительного комплекса. Разработано экспериментальное оборудование, измерительная аппаратура и методика проведения исследований. Изготовлены образцы пар трения для проведения сравнительных исследований. Проведены исследования работоспособности узлов трения без лунок и с лунками на шейках валов методом оценки величины пятна изнашивания внутренней поверхности втулки. Предложенная конструкция вибрационного оборудования для нанесения маслоудерживающих лунок на шейках валов за счет использования возвратного клапана дает возможность повысить скорость струи и, соответственно, силу удара металлических шариков. Увеличение частоты колебаний позволит повысить производительность операции нанесения маслоудерживающего профиля. Проведенные исследования показали работоспособность предложенного оборудования и снижение износа пары трения.

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть затрат на обслуживание и ремонт оснащения легкой промышленности, а именно разнообразных скоростных швейных машин, связана с изнашиванием узлов трения. Например, главный вал машины 51 кл. ОЗЛМ установлен в подшипниках скольжения. Во время пусков и остановок имеет место наибольший износ. Одной из главных причин непропорционально большого износа во время пуска есть то, что режим смазки узлов трения при этом принципиально отличается от режима смазки узлов при нормальных оборотах двигателя. Это приводит к недостаточной смазке, а в некоторых случаях – к задирам поверхности [1–3]. Главный вывод в анализе причин высокого пускового износа состоит в несовершенстве смазывания поверхностей, которое, как правило, предельное, полусухое или смешанное. Уменьшения пускового износа возможно, главным образом, за счет улучшения условий смазки в пусковой период [4–6]. Одним из высокоэффективных и технологически несложных способов решения задачи повышения маслоудерживающей способности поверхностей является формирование системы смазочных канавок с использованием специального оборудования [7–9].

Для улучшения условий смазки одним из направленных было создание определенного микрорельефа на поверхностях скольжения, а именно на внутренней поверхности подшипника [10–12]. Для повышения долговечности деталей машин при трении и изнашивании на их поверхность дополнительно наносят разные маслоудерживающие микро- и макрорельефы [13–15]. Чем

надежнее содержится смазочный материал между контактирующими деталями, тем меньше они изнашиваются. Профиль поверхности играет здесь главную роль. Созданные при обработке канавки на поверхности выполняют функцию резервуаров для удержания и распределения масла. Вопрос, связанный с созданием регулярного рельефа, детально изучен в работах [16; 17] и других авторов. Полученные при этом канавки выполняют функцию смазочных карманов, которые оказывают содействие удержанию и распределению масла в зоне трения и, таким образом, повышению износостойкости соединения в целом. Маслоудерживающие канавки, как правило, изменяют геометрию поверхности материалов и, соответственно, несущую площадь контакта при взаимодействии с другими поверхностями. Форма и размеры канавок определяются технологией их получения [11; 12]. Обобщая результаты многих исследований износостойкости поверхностей с регулярным рельефом, можно наметить определенные рекомендации относительно приведенных выше параметров. Лучшие результаты дают поперечные канавки относительно направления перемещения, поскольку в этом случае обеспечиваются более благоприятные условия для смазывания, и в целом поверхность имеет большую несущую способность в сравнении с продольными канавками [11]. Для надежного удержания масла, обеспечения протекания его из канавки в зону контакта поверхностей, удаления загрязнений наилучшие результаты дают канавки круглой формы. Одним из высокоэффективных и технологически несложных способов решения задачи повышения маслоудерживающей

способности поверхностей является формирование системы смазочных канавок с использованием специального оборудования. Известна установка [18], которая содержит ванну, сопло, распределительную сетку, вибрационный привод имеет возможность подавать порциями жидкость и металлические шарики к поверхности, которая обрабатывается.

Недостаток такого оборудования есть невысокая сила удара шариков, а повышение силы удара, соответственно, ведет к увеличению глубины лунки, которая является актуальной для твердых материалов. А также увеличение производительности процесса зависит от повышения скорости струи, которая, соответственно, зависит от частоты пульсации жидкости сквозь насадку. Экспериментально подтверждено, что увеличение частоты колебаний ведет к повышению скорости жидкости в насадке. Однако при втягивании жидкости сквозь насадку в камеру пульсации с большой скоростью происходит возникновение кавитационных газовых пузырьков, которые, в свою очередь, уменьшают объем жидкости, которая втягивается в камеру пульсации, и соответственно, при сжатии такой смеси выталкивается ее меньший объем и с меньшей скоростью.

Целью работы является подтверждение работоспособности предложенного вибрационного оборудования для нанесения лунок круглой формы сравнительными экспериментальными исследованиями по времени изнашивания подшипниковой пары скольжения без лунок и с маслостойкими лунками.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Предложена конструкция вибрационного оборудования [19] для нанесения маслостойких лунок на шейках валов, которая состоит из ванны, установленной на камеру пульсаций, мембраны, которая соединена с вибрационным приводом. В ванне размещена насадка с соплом, разделительная сетка. На корпусе оборудования с целью вращения изделия установлены опорные и вращающий ролик с приводом. Особенность конструкции вибрационного оборудования – использование обратного клапана, который каналами соединяет ванну с камерой пульсации и с каналом насадка, а его проходной диаметр выполнен согласно зависимости:

$$D_k = (0,5 - 0,8)d_n,$$

где D_k – проходной диаметр обратного клапана;

d_n – внутренний диаметр насадка на выходе.

Таким образом, за период движения мембраны вниз открывается клапан, и необходимая порция жидкости втягивается сквозь насадку и клапан с меньшей скоростью без возникновения кавитационных газовых пузырьков. Благодаря их отсутствию не возникает демпфирующий эффект.

При движении мембраны вверх клапан закрывается, и жидкость выбрасывается сквозь насадку, увлекая рабочие тела – шарики с большей скоростью жидкости, чем при всасывании. Применение обратного клапана также позволяет повысить частоту колебаний мембраны. Конструкция вибрационного оборудования для на-

несения маслостойких лунок на шейках валов показана на рис. 1.

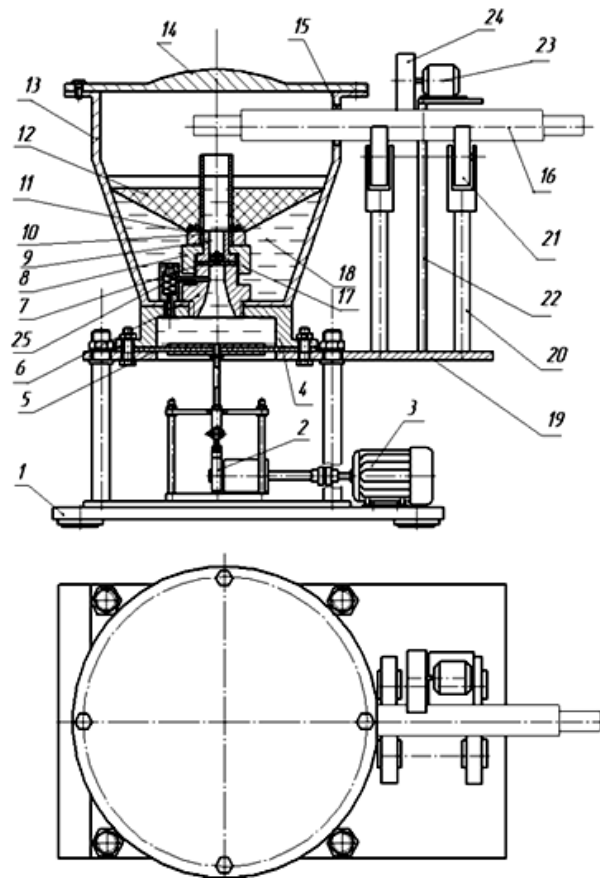


Рис. 1. Общий вид вибрационного оборудования для нанесения маслостойких лунок

Вибрационное оборудование работает следующим образом: на распределительную сетку 12 засыпаются металлические шарики 17. В ванну 13 заливается рабочая жидкость. В отверстие с резиновым кольцом 15 устанавливается обрабатываемое изделие 16. Включение привода 3 приводит вибратор 2 в действие и создается возвратно-поступательное движение мембраны 5. При ходе мембраны 5 вниз жидкость засасывается в камеру пульсации 4 через сетку 7, канал насадка 6 и отверстие клапана 25. Металлические шарики 17 падают в сопло 9 сквозь отверстия в трубке 10. При ходе мембраны вверх возникает избыточное давление жидкости, которое образует струю, благодаря которой металлические шарики 17 выбрасываются сквозь трубку 10 на изделие 16. При дальнейшей работе вибратора 2 цикл повторяется и таким образом осуществляется обработка изделия 16. Мотор-редуктор вращает изделие в опорных 21 и приводных роликах 24 для образования маслостойких лунок по всей поверхности шейки изделия. Частота вращения изделия зависит от частоты колебания привода, определяется из условия расстояния между лунками до 1 мм и находится по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

где V – линейная скорость поверхности изделия, м/мин (от 1,2 м/мин до 2 м/мин.);

D – диаметр шейки изделия, мм.

Предложенная конструкция вибрационного оборудования для нанесения маслоудерживающих лунок на шейках валов дает возможность повысить силу удара металлических шариков (за счет использования обратного клапана) и поднять производительность операции нанесения маслоудерживающего профиля за счет увеличения частоты колебаний [19; 20].

Для подтверждения работоспособности оборудования для нанесения смазочных лунок были проведены сравнительные испытания маслоудерживающей способности разных поверхностей. Для испытаний использовалась специальная установка трения, созданная на базе станка ТП401, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Фотография станка ТП40-1 с узлом трения

Предварительно были проведены исследования по определению оптимальных режимов работы привода установки и даны рекомендации по выбору конструктивных параметров насадка [21].

Для проведения экспериментальных исследований работоспособности узлов трения без лунок и с лунками были изготовлены образцы для исследований: втулка подшипника скольжения из бронзы ОЦС 4-4-17, втулка и контртело из стали Ст. 40. Втулка и оправка с контртелом и нанесенными лунками показаны на рис. 3. Смазочный материал (ЦИАТИМ) наносился на поверхность образца однократным смазыванием. Испытания проводились до полного изнашивания смазывающего слоя. Маслоудерживающие лунки наносились по следующей методике. Контртело устанавливалось на оправку и закреплялось гайкой. Потом оправка устанавливалась в отверстие в корпусе ванны, чтобы контртело находилось напротив среза трубки 10.

После включения установки и вывода ее на рабочие параметры проводилась обработка стальными закаленными шариками 2 мм. Включался привод вращения оправки. Время обработки составляло две минуты.

Далее были проведены серии экспериментов по исследованию величины изнашивания поверхности втулки подшипника (для пар трения без лунок и с лунками)

с целью оценки величины изнашивания поверхности втулки.

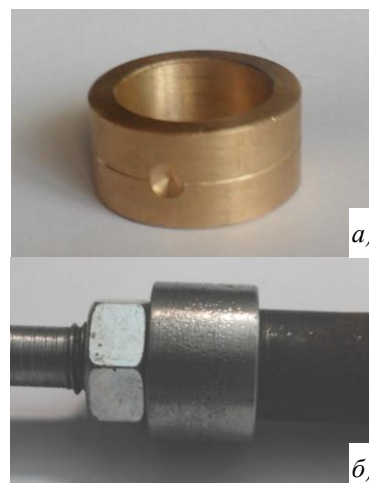


Рис. 3. Образцы исследуемых пар трения: а) бронзовая втулка; б) оправка сборная с контртелом

Контртело устанавливалось на шпиндель станка ТП40-1, а втулка – в специальную обойму на рычаге, который прижимает втулку с помощью пружины к контртелу (рис. 2).

Исследования проводились при следующих условиях: частота вращения шпинделя $n=1720$ об/мин. Время проведения опыта 15 минут, усилие прижима пружины $F=500$ Н.

На рис. 4 а показана фотография контртела без маслоудерживающих лунок и втулки после их изнашивания в паре трения. Следующая серия экспериментов проведена с втулкой подшипника и контртелом, на котором нанесены маслоудерживающие лунки. На рис. 4 б показана фотография втулки после их изнашивания в паре трения.

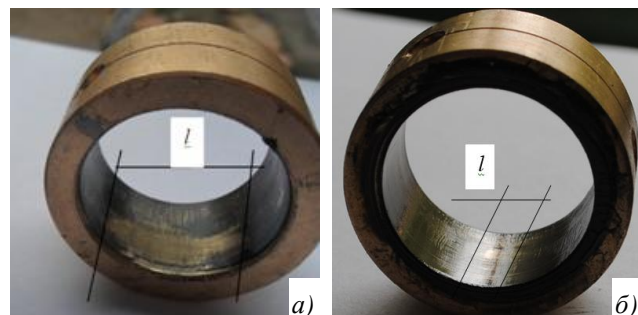


Рис. 4. Фотография втулки подшипника с указанием длины l пятна изнашивания пар трения : а – без лунок; б – с лунками

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате испытаний, проведенных на износ, из визуального анализа (рис. 4) установлено, что длина и величина пятна изнашивания втулки подшипника в случае с контртелом, на котором нанесены

маслоудерживающие лунки, значительно меньше, чем без лунок. Это говорит о повышении работоспособности такой пары трения, то есть условия смазки более благоприятны и периодичность смазывания таких узлов будет намного больше, чем для узлов без маслоудерживающих лунок.

Это поясняется как большей маслоскостью представленного профиля, так и уменьшением истечения масла через боковые грани образца из маслоудерживающих лунок, так как боковые скосы сферического профиля лунки оказывают содействие образованию и сохранению гидродинамического смазывающего клина.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструкцию вибрационной установки можно использовать для технологии нанесения маслоудерживающих лунок на шейках валов малых диаметров (до 10 мм), используемых в легкой промышленности, приборостроении и других отраслях машиностроения.

Проведенные исследования показали работоспособность предложенного оборудования, и дальнейшие исследования могут быть направлены на создание методики проектирования и конструирования предложенного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диха О.В., Баннов Г.М., Диха М.О. Анализ умов роботи та покращення працездатності роторного вузла турбокомпресора ТКР-11Н // Проблеми трибології. 2007. № 2. С. 114–121.
2. Елизаветин М.А. Повышение надежности машин. М.: Машиностроение, 1968. 271 с.
3. Суслов А.Г., Браун З.Д., Виткевич Н.А. Качество машин. В 2 т. Т. 1. М.: Машиностроение, 1995. 256 с.
4. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.
5. Шнейдер Ю.Г., Кравцов А.А. Влияние микрорельефа поверхностей на силы трения // Вестник машиностроения. 1968. № 9. С. 48–54.
6. Харламов Ю.А. Инженерия поверхности и развитие современного машиностроения // Тяжелое машиностроение. 2001. № 2. С. 2–7.
7. Антонюк В.С., Вовк В.Д., Возненко В.В. Спосіб виготовлення поверхонь тертя : патент України № 77321, опубл. 15.11.2006.
8. Антонюк В.С., Вовк В.Д., Возненко В.В. Пристрій для обробки поверхонь тертя деталей : патент України № 79026, заявл. 10.06.2005, опубл. 10.05.2007.
9. Диха О.В., Чумаков О.П., Диха М.О. Спосіб формування зносостійкої циліндричної металевої поверхні : патент України № 63800, заявл. 28.02.2011, опубл. 25.10.2011.
10. Сорокатый Р.В., Писаренко В.Г., Дыха М.А. Анализ особенностей формообразования поверхности износа подшипников скольжения при перекосе осей вала и втулки // Трение и износ. 2013. Том 34. № 4. С. 362–370.
11. Бабак О.П., Кузьменко А.Г., Пасечник А.А. Повышение износостойкости трибосопряжений путем формирования маслоудерживающего профиля // Ві-

12. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. Киев: Наук. думка, 1984. 271 с.
13. Возненко В.В. Підвищення експлуатаційних характеристик робочих поверхонь пари тертя // Вісник НТУУ «КПІ». Приладобудування. 2003. Вип. 26. С. 73–81.
14. Возненко В.В. Обґрунтування параметрів дискретно-орієнтованих поверхонь деталей пар тертя // Високі технології в машинобудуванні. 2005. № 2. С. 74–83.
15. Афтаназів І.С., Гаврик А.П., Киричок П.О., Мельничук П.П., Третько В.В. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. Житомир: ЖПІ, 2001. 516 с.
16. Одинцов Л.Г. Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. М.: Машиностроение, 1981. 160 с.
17. Дыха А.В., Бабак О.П. Повышение несущей способности подшипника скольжения с маслоудерживающими канавками // Проблеми трибології. 1997. № 1. С. 25–27.
18. Сілін Р.І., Гордєєв А.І., Лаврентьєв О.Б. Пристрій для гідродробоструменевого зміцнення виробів : патент України на корисну модель № 38450, заяв. 18.11.2000, опубл. 15.04.2001.
19. Скиба М.Є., Кармаліта А.К., Гордєєв О.А. Вібраційний пристрій для нанесення маслоутримуючих лунок на шийках валів : патент України на корисну модель № 81625, заяв. 13.12.2012, опубл. 10.07.2013.
20. Гордєєв О.А., Кармаліта А.К. Технологія та вібраційне обладнання для нанесення маслоутримуючих лунок на поверхні ковзання // Materiali VIII miedzynarodowej naucowi-practicznej konferencji «NAUKA I INOWACJA – 2012». Vol. 21. Techniczne nauki. Przemysl: Nauka I studia, 2012. С. 9–11.
21. Гордєєв О.А., Кармаліта А.К., Гордєєв А.І. Особливості проектування конструкцій деталей вібраційного обладнання для нанесення маслоутримуючих лунок на вузлах тертя // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2013. № 3. С. 47–52.

REFERENCES

1. Dykha O.V., Bannov G.M., Dykha M.O. Analysis of working conditions and improvement of working capacity of ТКР-11Н turbo-compressor rotor unit. *Problemy tribologii*, 2007, no. 2, pp. 114–121.
2. Elizavetin M.A. *Povyshenie nadezhnosti mashin* [Improvement of machines durability]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1968, 271 p.
3. Suslov A.G., Braun Z.D., Vitkevich N.A. *Kachestvo mashin* [Quality of machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1995, vol. 1, 256 p.
4. Shneyder Yu.G. *Ekspluatatsionnie svoystva detaley s regulyarnim mikroeffektom* [Operational properties of parts with regular microrelief]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982, 248 p.
5. Shneyder Yu.G., Kravtsov A.A. Influence of surface microrelief on the friction forces. *Vestnik mashinostroeniya*, 1968, no. 9, pp. 48–54.

6. Kharlamov Yu.A. Surface engineering and development of modern machine-building. *Tyazheloe mashinostroenie*, 2001, no. 2, pp. 2–7.
7. Antonyuk V.S., Vovk V.D., Voznenko V.V. *Sposib vivotovlennya poverkhon' tertya* [Method of production of friction surfaces]. Patent Ukraine no. 77321, 2006. (In Ukrainian).
8. Antonyuk V.S., Vovk V.D., Voznenko V.V. *Pristriy dlya obrobki poverkhon' tertya detaley* [Device for treatment of the parts friction surfaces]. Patent Ukraine no. 79026, 2005. (In Ukrainian).
9. Dykha O.V., Chumakov O.P., Dykha M.O. *Sposib formuvannya znosostykoj tsilindrichnoy metalevoy poverkhni* [Method of forming of wear-resistant cylindrical metal surface]. Patent Ukraine no. 63800, 2011. (In Ukrainian).
10. Sorokatyi R.V., Pisarenko V.G., Dykha M.A. The analysis of features of the wear form of the surface of sliding bearings at the distortion of axes of the shaft and bushing. *Trenie i iznos*, 2013, vol. 34, no. 4, pp. 362–370.
11. Babak O.P., Kuzmenko A.G., Pasechnik A.A. Increase of wear resistance of tribocouplings by using formation of oil-retaining profile. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta Podolya*, 2002, no. 4, part 1, pp. 7–12.
12. Ryzhov E.V. *Tekhnologicheskie metody povysheniya iznosostoykosti detaley mashin* [Technology methods of increase of machine parts wear resistance]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1984, 271 p.
13. Voznenko V.V. Increase of operational properties of working surfaces of friction couples. *Visnik NTUU "KPI". Priladobuduvannya*, 2003, no. 26, pp. 73–81.
14. Voznenko V.V. Objectives of parameters of discrete-oriented surfaces of the friction couples parts. *Visoki tekhnologii v mashinobuduvanni*, 2005, no. 2, pp. 74–83.
15. Aftanaziv I.S., Gavrik A.P., Kirichok P.O., Melnichuk P.P., Tret'ko V.V. *Pidvishchennya nadiynosti detaley mashin poverkhnevym plastichnim deformuvanniam* [Reliability improvement of machine parts with surface plastic deformation]. Zhitomir, ZhITI Publ., 2001, 516 p.
16. Odintsov L.G. *Finishnaya obrabotka detaley almaznym vyglazhivaniem i vibrovyglazhivaniem* [Mechanical polishing of parts with diamond and vibration smoothing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 160 p.
17. Dykha A.V., Babak O.P. Improvement of carrying capacity of friction bearing with oil-retaining grooves. *Problemy tribologii*, 1997, no. 1, pp. 25–27.
18. Silin P.I., Gordeev A.I., Lavrentyev O.B. *Pristriy dlya gidrodobrostrumenevogo zmitsnennya virobiv* [Device for hydroblast strengthening of products]. Patent Ukraine no. 38450, 2000. (In Ukrainian).
19. Skiba M.E., Karmalita A.K., Gordeev O.A. *Vibratsiyniy pristriy dlya nanesennya masloutrimuyuchikh lunok na shiykakh valiv* [Vibration device for applying of oil-retaining holes on the spindle wheels]. Patent Ukraine no. 81625, 13.12.2012. (In Ukrainian).
20. Gordeev O.A., Karmalita A.K. Technology and vibration equipment for applying of oil-retaining holes on the sliding surface. *Materiali VIII miedzynarodowej naucowi-practicznej konferencji "NAUKA I INOWACJA – 2012". Vol. 21. Techniczne nauki*. Przemysl, Nauka I studia, 2012, pp. 9–11.
21. Gordeev O.A., Karmalita A.K., Gordeev A.I. Design features of equipment construction of vibration units for applying of oil-keeping holes in friction. *Vestnik Khmelnytskogo natsionalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 3, pp. 47–52.

VIBRATION EQUIPMENT FOR APPLYING OF OIL-RETAINING HOLES ON THE STUB SHAFTS

© 2015

A.A. Gordeev, engineer of scientific research department

A.K. Karmalita, PhD (Engineering), Professor, Professor of Chair “Machines and apparatus”

A.I. Gordeev, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of Chair “Engineering technology”

Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi (Ukraine)

Keywords: vibration equipment; working capacity of friction units; applying of holes.

Abstract: One of the main issues of modern manufacturing engineering is the development of actions and creation of equipment for machine durability improvement within the speed range and hard loading operational modes. For today, the task of provision of the parts bulk strength under the ordinary working conditions is considered to be nearly resolved. That is why the surface layer state, its wear resistance and lubricating conditions are of great importance now. The task of improvement of oil-retaining property of sliding surfaces is essential for machines of various purposes.

The paper presents the results of analysis of existing equipment for oil-retaining profiles applying and determines its weak points. The authors offered new design of vibration equipment referred to the technology of applying of oil-retaining holes on the sliding surfaces in order to decrease the friction forces and the wear of inner surface of friction bearing bush, and can be used in various branches of machine-building complex. The authors developed experimental equipment, measuring equipment and the research technique. To carry out comparative study the samples of friction couples were created. The authors carried out the study of working capacity of friction units without holes and with holes on the stub shafts using the method of assessment of size of inner bush surface wear scar. Proposed design of vibration equipment for applying of oil-retaining holes on the stub shafts allows increasing flow rate and, consequently, the metal balls impact force due to the use of inverted valve. The increase of vibration frequency will make it possible to increase the efficiency of the process of oil-retaining profile applying. The study proved the working capacity of suggested equipment and showed the decrease of friction couple wear.