

## КОНСТРУКЦИИ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ УПОРНЫХ ПОДШИПНИКОВ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

*Полищук С.В., Никитин А.Г.*

*Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк*

**Ключевые слова:** упорный подшипник; валики мелкоигльчатого мартенсита; масляные карманы; гидродинамические силы; износостойкие опорные поверхности.

**Аннотация.** Разработана конструкция упорного подшипника жидкостного трения, включающий кольцевую пятю и кольцевой подпятник, расположенные в корпусе машины, причем пятя имеет гладкую рабочую закаленную поверхность, а на рабочей поверхности подпятника расположены выпуклые валики из мелкоигльчатого мартенсита высокой твердости, выступающие над поверхностью на  $0,3 \div 1,5$  мм, боковые поверхности которых образуют совместно с пятой масляные клинья, создающие при вращении пяты гидродинамические силы, уравнивающие осевые силы, действующие на вал машины, валики расположены на рабочей поверхности подпятника по радиусам и они отстоят друг от друга на расстоянии  $L = (1,5 \div 3)B$  на внутреннем диаметре подпятника  $D_0$  ( $B$  – ширина диска) и продолжают до наружного диаметра  $D_{\max}$ , образуя первую систему, на диаметре  $D_1 = 2D_0$  расположены начала валиков второй системы, продолжающиеся до наружного диаметра  $D_{\max}$  и находящиеся посередине между валиками первой системы, а на диаметре  $D_2 = 4D_0$  расположены начала валиков третьей системы, продолжающиеся до наружного диаметра  $D_{\max}$  и находящиеся посередине между валиками первой и второй систем. Упорный подшипник нереверсивного действия с мартенситными валиками, располагающимися под углом  $10^\circ \div 30^\circ$  к радиальному направлению, с отклонением навстречу вращению пяты. Упорный подшипник с мартенситными валиками одной длины с расположением по радиусам в диапазоне диаметров подпятника от  $(0,5 \div 0,8) D_{\max}$  до  $D_{\max}$ .

Упорные подшипники жидкостного трения относятся к гидродинамическим подшипникам. Они работают в условиях непрерывной подачи смазочной жидкости и воспринимают осевое давление ротора, но допускают его перемещений в осевом направлении. Данный вид подшипника применяется при высоких частотах вращения для обеспечения долговечной, надежной работы оборудования (турбины, компрессоры, двигательные установки, центрифуги и т.д.) с возможностью редких остановок [1, 2].

Наиболее известным упорным подшипником жидкостного трения является подшипник Митчелла, который состоит из двух металлических вкладышей (корпусов), внутри которых расположены две упорные шайбы – неподвижная и вращающаяся вместе с валом (рисунок 1, а). Между шайбами кольцеобразно расположен ряд стальных или бронзовых колодок (сегментов) (рисунок 1, б), залитых с рабочей стороны тонким слоем баббита. Каждый сегмент на противоположной стороне, которая залита баббитом, имеет ребро, относительно которого он может, в пределах нескольких градусов, поворачиваться. Во время вращения упорной шайбы, установленной на валу, масло вовлекается в зазор между шайбой и сегментами, автоматически поворачивает сегменты вокруг ребер и формирует масляные клинья, создающие гидродинамические силы, уравнивающие осевые нагрузки машины. Равномерно распределенные

нагрузки по сегментам получают чаще всего опирая их на упругие кольца, или на рычаги, или на шарики [3].

Недостатком данного подшипника является сложность конструкции, высокие требования к точности изготовления деталей и их монтажу. Кроме того, такой подшипник плохо переносит резкие перегрузки, что может привести к серьезным авариям [4]. Подшипник может работать только в одном направлении вращения.



а)

б)

Рис. 1. Упорный подшипник Митчелла

Данный упорный подшипник жидкостного трения требует высокой точности обработки для сегментов подпятника, которая достигается несколькими операциями – черновым и чистовым фрезерованием, черновым и чистовым шлифованием, доводкой (получением плоских вершин микронеровностей). В связи с тем, что сегменты выполняются без термообработки, этот подшипник нельзя использовать в режимах работы с пусками и остановками, во время которых он работает в условиях полусухого трения, что приводит к износу сырых рабочих поверхностей и, соответственно, снижению надежности работы машины в целом. Подшипник непригоден для работы со сменой направления вращения.

Предложена конструкция упорного подшипника жидкостного трения, лишенная перечисленных недостатков [5]. Подшипник состоит из пяти 1 с гладкой рабочей поверхностью в виде кольца, установленной на валу, и кольцевого подпятника 2, опирающегося сферической поверхностью на корпус машины 4. Удерживается подпятник от поворота установочным болтом 5. Масло к подшипнику подается через центральное отверстие в подпятнике (рисунок 2).

Подпятник с рабочей стороны выполняется в виде плоского кольца, на поверхности которого располагаются по радиусам выпуклые валики из структурно преобразованного металла подпятника (мартенсита) [6] с высокой твердостью. Между валиками образуются масляные карманы.

Для возможной работы подшипника в двух направлениях вращения при  $D_{\max} < 150$  мм (рисунок 3) мартенситные валики располагают в радиальном направлении в виде 3-х систем. Первая система начинается от внутреннего диаметра подпятника и продолжается до диаметра  $D_{\max}$  – система 1. На диаметре  $D_0$  валики отстоят друг от друга на расстоянии  $L = (1,5 - 3)B$ , где  $B$  – ширина диска. Вторая система валиков начинается от диаметра  $D_1 = 2D_0$  и продолжается

до диаметра  $D_{\max}$  – система 2. Валики второй системы располагают по середине между валиками 1-ой системы. Валики 3-й системы начинаются от диаметра подпятника  $D_2 = 4D_0$  и продолжают до  $D_{\max}$  – система 3. Располагаются эти валики посередине между валиками 1-й и 2-й систем.

В случае значительного наружного диаметра подпятника, когда  $D_{\max} > 150$  мм, площадь клиновых поверхностей валиков велика и мартенситные валики располагаются в виде одной системы, которая начинается от диаметра  $D = (0,5 \div 0,6) D_{\max}$  и продолжается до диаметра  $D_{\max}$  (рисунок 4), что упрощает процесс изготовления валиков. На диаметре  $D$  валики располагаются на расстоянии  $L = (1,5 \div 3)B$ .

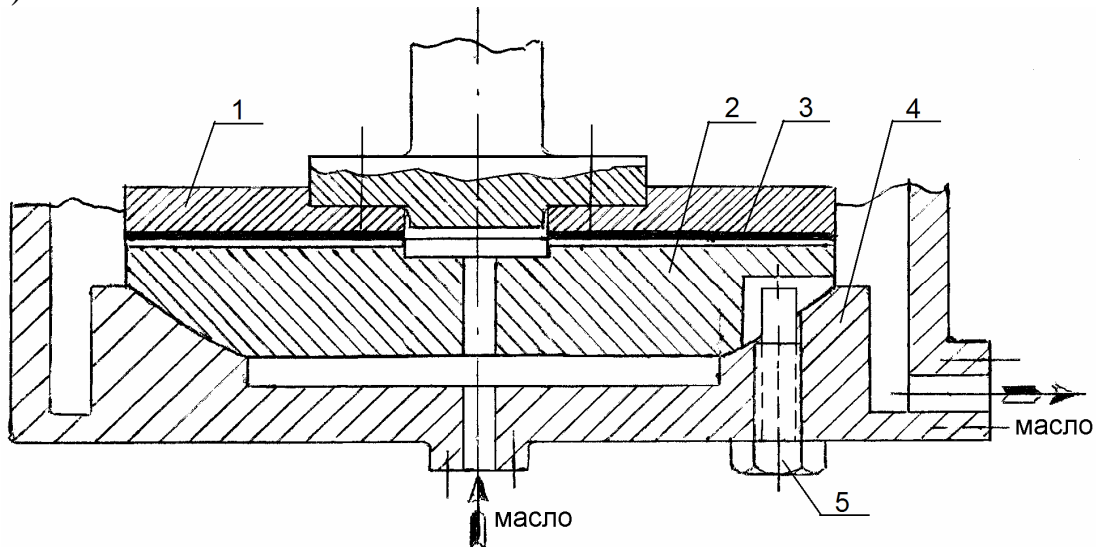


Рис. 2. Упорный подшипник жидкостного трения

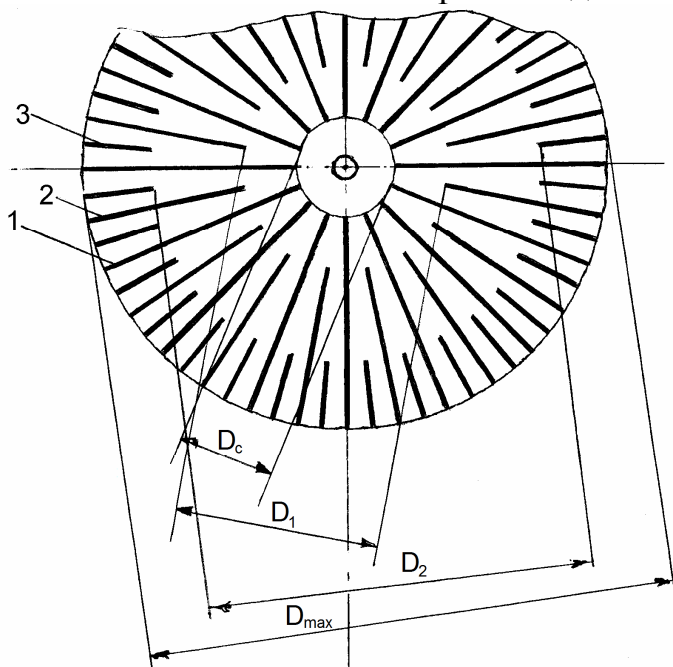


Рис. 3. Схема расположения валиков на подпятнике при  $D_{\max} < 150$  мм

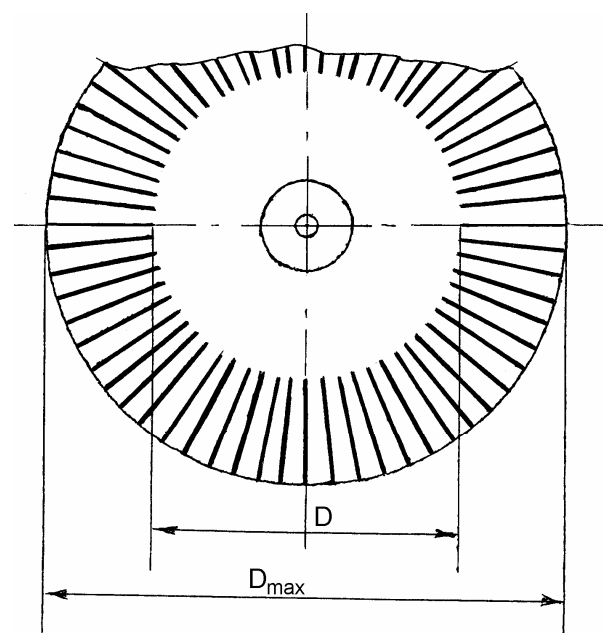


Рис. 4. Схема расположения валиков на подпятнике при  $D_{\max} > 150$  мм

При нереверсивной работе подшипника валики располагаются под углом  $10^\circ - 30^\circ$  к радиальному направлению (рисунок 5), при чем, они отклонены навстречу вращению пяты.

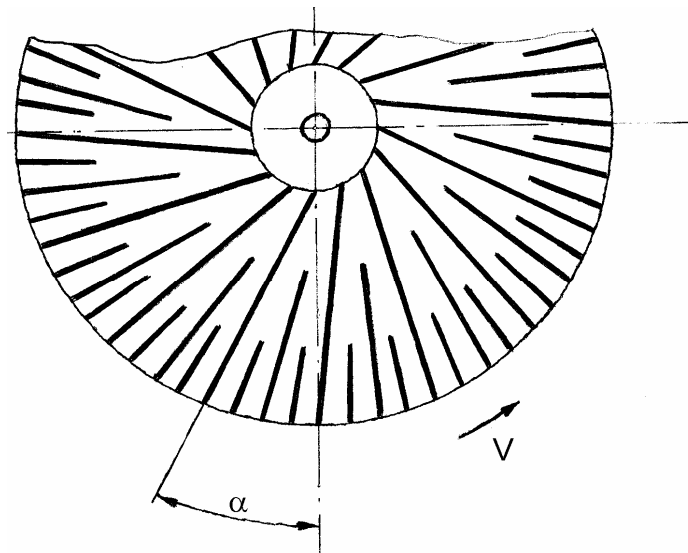
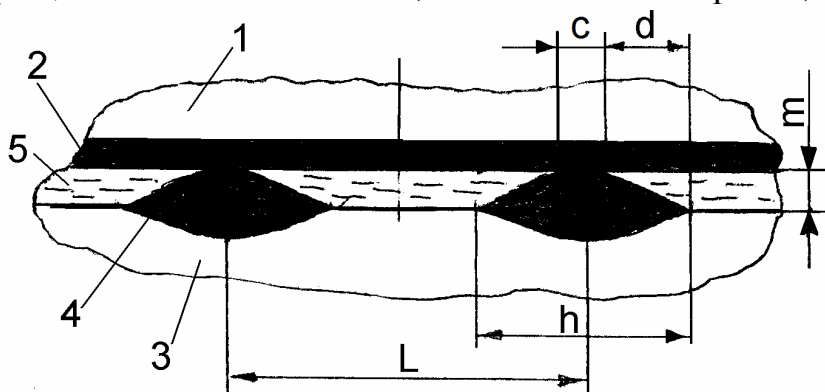


Рис. 5. Схема расположения валиков при нереверсивной работе подшипника

Перед началом работы в центральное отверстие подпятника подают масло под давлением 1,5 – 2 Па, которое заполняет масляные карманы между мартенситными валиками, после чего запускают машину вхолостую и окружную скорость подшипника доводят до значений выше 2 – 3 м/с. Масло, увлекаемое вращающейся пятой, стягивается в сужающийся клиновидный зазор между пятой и наклонными бортами мартенситных валиков трех систем 1, 2, 3 (рисунок 2), где и создает гидродинамические силы поддержания. Пята «всплывает» (образует зазор) над опорными поверхностями валиков С (рисунок б), полусухое трение переходит в жидкостное трение. После этого дают нагрузку машине и технологические осевые нагрузки полностью воспринимаются гидродинамическими силами поддержания. В связи с симметричным расположением мартенситных валиков на рабочей поверхности подпятника, направление вращения пяты может быть, как по часовой стрелке, так и против.



1 – пята, 2 – слой ТВЧ, 3 – подпятник, 4 – мартенситные валики, 5 – масло;  $m$  – высота валика над поверхностью подпятника  $m = (0,3 \div 1,5)$  мм;  $h$  – ширина валика;  $C$  – опорная поверхность валика.  $C = (h \div 2d)$ ;  $d$  – длина масляного клина  $d = 3 \div 4$  мм;  $L$  – расстояние между валиками (минимальное)  $L = (1,5 \div 3)h$ , где  $h$  – ширина валика

Рис. 6. Поперечное сечение мартенситных валиков

При случайных чрезмерных нагрузках, а также в случае аварийных ситуаций, подшипник переходит в условия работы с полусухим трением. Опорные поверхности валиков С (рисунок б) нагреваются, однако они могут

работать до тех пор, пока не начнется структурное превращение мелкоигольчатого мартенсита трения в аустенит (это соответствует массовой температуре в  $840^{\circ}\text{C}$ ) на что необходимо достаточно времени, чтобы остановить машину и предотвратить аварию.

Когда осевые нагрузки машины велики и диаметр подшипника жидкостного трения  $D_{\max} > 150$  мм (может достигать до  $500 \div 600$  мм). С целью упрощения изготовления подпятника мартенситные валики располагают в диапазоне диаметров от  $D$  до  $D_{\max}$ , где  $D = (0,5 \div 0,8)D_{\max}$ . Валики располагают по радиусам и подпятник может работать при вращении пяты, как по часовой стрелке, так и против.

Нереверсивная работа машины позволяет улучшить работу боковых наклонных поверхностей мартенситных валиков, для чего их направляют под углом к радиусам. Угол от  $10^{\circ}$  до  $30^{\circ}$  (рисунок 5), причем отклонение делают навстречу вращению пяты. Такая конструкция приводит к результирующему движению масла в зазоре, между пятой и подпятником, близкому к перпендикулярному к мартенситным валикам, когда силы поддержания максимальны. Углы меньше  $10^{\circ}$  и больше  $30^{\circ}$  приводят к заметному отклонению направления движения масла от перпендикулярного к валикам и уменьшению сил поддержания.

Работа подшипника заметно стабилизируется, когда опорные поверхности  $C$  (рисунок 6) подвергают шлифовке и жидкостное трение наступает при меньших зазорах между закаленным слоем пяты 2 и опорными поверхностями валиков  $C$ , причем все зазоры при этом практически одинаковы.

#### Список литературы

1. Дмитриев В.А. Детали машин. – Л.: Судостроение, 1970. – 792 с.
2. Иосилевич Г.Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.
3. Детали машин. Сборник материалов по расчету и конструированию в двух книгах. Изд. 2-е, испр. и доп. Книга II, под ред. д.т.н., проф. Н.С. Ачеркана. – М.: Машгиз, 1953. – 560 с.
4. Лосев С.М. Паровые турбины и конденсационные устройства. Изд. 4-е, перераб. и доп. НКТП СССР. – М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство. Главная редакция энергетической литературы, 1935. – 528 с.
5. Патент №2560202 РФ, С1 МПК F16C 17/04 (2006.01). Упорный подшипник жидкостного трения (варианты) / Люленков В.И., Полищук С.В., Гудимова Л.Н., Орлик А.Н. – заявка №2014122215/11, дата 30.05.2014; опубл.: 20.08.2015, Бюл. №23.
6. Патент №246602 РФ, С1 МПК B23P 9/02 (2006.01). Способ создания износостойких плоских поверхностей пар трения / Люленков В.И., Полищук С.В. – заявка №2011122319/02, дата 01.06.2011; опубл. 10.11.2012, Бюл. №31.

#### Сведения об авторах:

*Полищук Светлана Владимировна* – старший преподаватель кафедры механики и машиностроения, СибГИУ, г. Новокузнецк;

*Никитин Александр Григорьевич* – д.т.н., профессор, профессор кафедры механики и машиностроения, СибГИУ, г. Новокузнецк.

## CONSTRUCTIONS AND AREA OF APPLICATION OF RESISTANT BEARINGS FOR LIQUID FRICTION

*Polischuk S.V., Nikitin A.G.*

**Keywords:** resistant bearing; rollers of shallow needles martensite; oily pockets; hydrodynamic forces; wearproof underlayments.

**Abstract.** The design of the resistant bearing of fluid friction has been developed, which includes an annular heel and an annular resistant bearing located in the machine case, the heel has a smooth working hardened surface, and convex rollers of fine-needle martensite of high hardness protruding from the surface are  $0.3 \div 1,5$  mm, the side surfaces of which, together with the fifth, form oil wedges, which create, when rotating, the heels, hydrodynamic forces, which balance axial forces acting on the shaft rollers are located on the working surface of the resistant bearing along radii and they are separated from each other at a distance  $L = (1.5 \div 3) B$  at the inside diameter of the resistant bearing  $D_0$  ( $B$  is the width of the disk) and continue to the outer diameter  $D_{max}$ , forming the first system, on the diameter  $D_1 = 2D_0$ , the beginning of the rollers of the second system are located, extending to the outer diameter of  $D_{max}$  and located in the middle between the rollers of the first system, and on the diameter  $D_2 = 4D_0$ , are the beginnings of the rollers of the third system, continuing to the outer diameter of  $D_{max}$  and in the middle between the rollers the first and second systems. Resistant bearing of non-reversible action with martensitic rollers located at an angle of  $10^\circ \div 30^\circ$  to the radial direction, with a deviation towards the rotation of the heel. Resistant bearing with martensitic rollers of the same length with location along the radii in the range of diameters of the resistant bearing from  $(0.5 \div 0.8) D_{max}$  to  $D_{max}$ .