

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

*Посвящается 100-летию
со дня рождения ректора СМИ,
доктора технических наук,
профессора Н.В.Толстогузова*

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
«Металлургия – 2021»**

*Труды
XXII Международной научно-практической конференции*

10 – 11 ноября 2021 г.

Часть 2

**Новокузнецк
2021**

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор Н.А. Козырев, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, к.т.н. Е.Н. Темлянцева,
д.т.н., доцент В.В. Зимин, д.т.н., профессор А.Г. Никитин,
к.э.н., доцент Ю.С. Климашина

М 540 **Металлургия: технологии, инновации, качество : труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 2 / под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2021. – 347 с. : ил.**

ISSN 2542-1670

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и технологии процессов сварки, порошковой металлургии, получения композиционных материалов и покрытий, тепло- и массопереноса в металлургических процессах и агрегатах, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов, охраны труда, автоматизации и моделирования металлургических процессов, инновационных металлургических технологий в машиностроении, экономико-управленческих проблем металлургических регионов.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Администрация Правительства Кузбасса
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
АО «ЕВРАЗ ЗСМК»
АО «Русал-Новокузнецк»
АО «Кузнецкие ферросплавы»
АО «НЗРМК им. Н.Е. Крюкова»
Ляонинский университет науки и технологии, г. Аньшань, КНР
ОАО «Черметинформация»
Издательство Сибирского отделения РАН
Журнал «Известия вузов. Черная металлургия»
Журнал «Вестник СибГИУ»
Журнал «MATEC Web of Conferences »
Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»
АО «Кузбасский технопарк»
Западно – Сибирское отделение Российской Академии естественных наук
Совет молодых ученых Кузбасса

ISSN 2542-1670

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

ФОРМИРОВАНИЕ ДАННЫХ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ ТРЕНАЖЁРОВ ОПЕРАТОРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Ляховец М.В., Макаров Г.В., Саламатин А.С.</i>	217
СЕКЦИЯ 6: ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ	225
ВАРИАНТЫ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОТ ПОЛОМОК В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И НЕДОСТАТОЧНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ <i>Артюх В.Г., Корихин Н.В., Чернышева Н.В., Чигарева И.Н.</i>	225
КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гудимова Л.Н.</i>	232
ВНЕДРЕНИЕ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ ПЛАНЕТАРНЫХ МОТОР-РЕДУКТОРОВ НА ПРИВОДАХ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ СТАЛЕПРОКАТНОГО ЦЕХА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» <i>Никитин А.Г., Герасимов С.П.</i>	240
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДРОБИЛЬНЫХ МАШИН <i>Никитин А.Г., Шабунов М.Е., Курочкин Н.М.</i>	245
ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С МАРТЕНСИТНЫМИ ВАЛИКАМИ <i>Никитин А.Г., Полищук С.В.</i>	248
РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ МНЛЗ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЕЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ <i>Савельев А.Н., Северьянов С.С., Макаров А.В.</i>	253
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ <i>Савельев А.Н., Савельева Е.А.</i>	259
ИССЛЕДОВАНИЕ ШТАНГИ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЬНОГО БУРЕНИЯ ШТУРОВА С ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ В ФОРМЕ ТРЕУГОЛЬНИКА РЕЛО <i>Корнеев В.А., Корнеев П.А., Бедарев С.А., Кулебакин И.И.</i>	264
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В МАТЕРИАЛЕ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА СИНЕРГЕТИЧЕСКИ ОРГАНИЗОВАННОЙ ЭМИССИИ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ <i>Савельев А.Н., Анисимов Д.О., Карташов Р.Н.</i>	266
К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ САМОУСТАНОВЛИВАЮЩИХСЯ МЕХАНИЗМОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Гудимова Л.Н., Макаров А.В., Никитин А.Г.</i>	273
СЕКЦИЯ 7: ЭКОНОМИКО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ	278
АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ <i>Шипунова В.В., Климашина Ю.С.</i>	278
СОСТОЯНИЕ ЭКОНОМИКИ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ РЕСУРСОДОБЫВАЮЩИХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ РЕГИОНОВ НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Буланов Ю.Н.</i>	283
НЕКОТОРЫЕ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ <i>Ковалева Е.В., Цымбалюк М.В., Жданова Н.Г.</i>	291
НОРМИРОВАНИЕ ПРОСТОЕВ ВОЛОЧИЛЬНЫХ СТАНОВ <i>Фастыковский А.Р., Кадыков В.Н., Мусатова А.И.</i>	295

**ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ УПОРНОГО ПОДШИПНИКА
ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С МАРТЕНСИТНЫМИ ВАЛИКАМИ**

Никитин А.Г., Полищук С.В.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия, nikitin1601@yandex.ru*

Аннотация. Описана конструкция упорного подшипник жидкостного трения, включающий кольцевую пяту и кольцевой подпятник, расположенные в корпусе машины, причем пятя имеет гладкую рабочую закаленную поверхность, а на рабочей поверхности подпятника расположены вытуклые валики из мелкоигольчатого мартенсита высокой твердости, выступающие над поверхностью.

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

**DESIGN FEATURES OF A LIQUID FRICTION THRUST BEARING
WITH MARTENSITIC ROLLERS**

Nikitin A. G., Polischuk S.V.

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia, nikitin1601@yandex.ru*

Abstract. The design of a thrust bearing of liquid friction is described, including an annular heel and an annular bearing located in the machine body, and the heel has a smooth working hardened surface, and on the working surface of the bearing there are convex rollers of fine-needle martensite of high hardness protruding above the surface.

Keywords: resistant bearing; rollers of shallow needles martensite; oily pockets;

Упорные подшипники жидкостного трения относятся к гидродинамическим подшипникам. Они работают в условиях непрерывной подачи смазочной жидкости и воспринимают осевое давление ротора, но допускают его перемещения в осевом направлении. Данный вид подшипника применяется при высоких частотах вращения для обеспечения долговечной, надежной работы оборудования (турбины, компрессоры, двигательные установки, центрифуги и так далее) 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. При вращении 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, уравновешивающие 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.



Рисунок 1 – Упорный подшипник Митчелла

Данный упорный подшипник жидкостного трения требует высокой точности обработки для сегментов подшипника, 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.

В Сибирском государственном индустриальном университете разработана конструкция упорного подшипника жидкостного трения, лишенная перечисленных недостатков [5]. Подшипник состоит из пяты 1 с гладкой рабочей поверхностью в виде кольца, установленной на валу, и кольцевого опорного подпятника 2, опирающегося сферической поверхностью на корпус машины 4. Между пятой и подпятником находится слой жидкой смазки 3. Удерживается подпятник от поворота установочным болтом 5. Масло к подшипнику подается через центральное отверстие в подпятнике (рисунок 2).

Подпятник с рабочей опорной стороны выполнен в виде плоского кольца, на поверх-

ности которого располагаются по радиусам выпуклые валики из структурно преобразованного металла подпятника (мартенсита) [6–7] с высокой твердостью. Между валиками образуются масляные карманы.

Для возможной работы подпятника 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 продолжаются до D_{\max} – система 3. Располагаются эти валики посредине между валиками 1-й и 2-й систем.

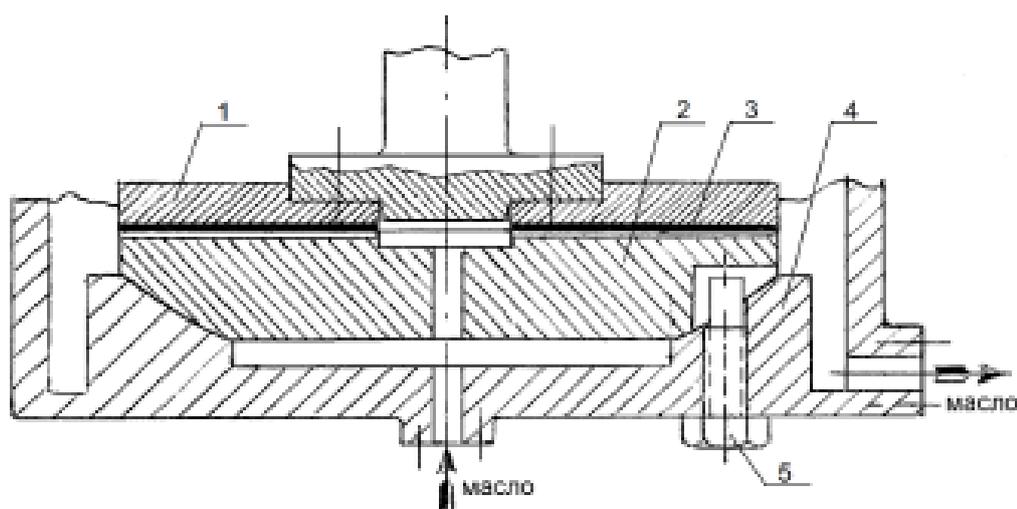


Рисунок 2 – Упорный подпятник жидкостного трения

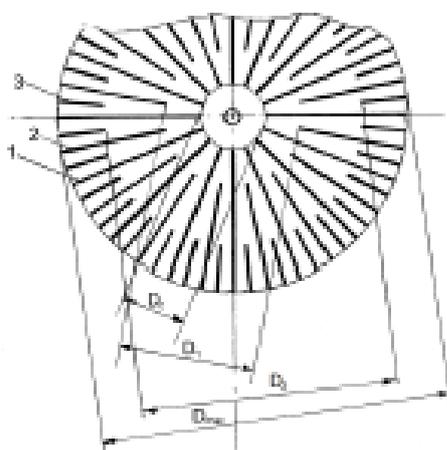


Рисунок 3 – Схема расположения валиков на подпятнике при $D_{\max} < 150$ мм

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 $L = (1,5 \div 3)B$.

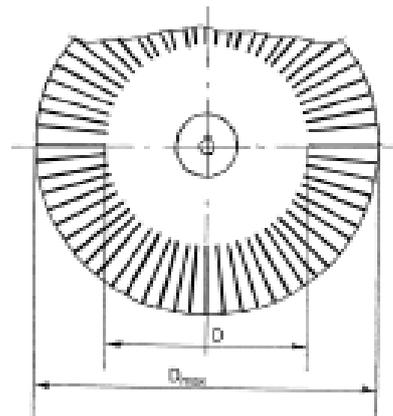


Рисунок 4 – Схема расположения валков на подпятнике при $D_{max} > 150$ мм

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

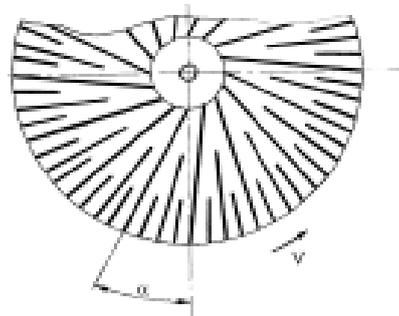
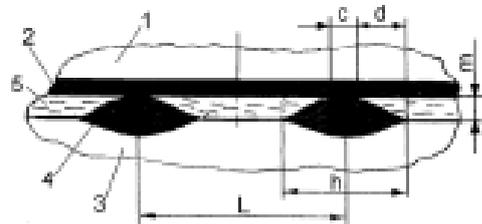


Рисунок 5 – Схема расположения валков при нереверсивной работе подшипника

Перед началом работы в центральное отверстие подпятника подают масло под давлением $1,5 - 2$ Па, которое заполняет масляные карманы между мартенситными валками, после чего запускают машину вколостую 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 валков трех систем 1, 2, 3 (рисунок 2), где и создает гидродинамические силы поддержания. Пята «всплывает» (образует зазор) над опорными поверхностями валков С (рисунок 6), 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 валков 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 валки, 5 –масло; h – высота валика над поверхностью подпятника $h = (0,3 \div 1,5)$ 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

Рисунок 6 – Поперечное сечение мартенситных валков

При случайных перегрузках, а также в случае аварийных ситуаций, подпятник переходит в условия работы с полусухим трением. Опорные поверхности валиков С (рисунок 6) нагреваются, однако они могут работать до тех пор, пока не начнется структурное превращение мелкозольчатого мартенсита трения в аустенит (это соответствует массовой температуре в 840 °С) на что необходимо достаточно времени, чтобы остановить машину и предотвратить аварию.

Когда осевые нагрузки машины велики и диаметр подпятника жидкостного трения $D_{max} > 150$ мм (может достигать до 500 ÷ 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° до 30° (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° и больше 30° приводят к заметному отклонению направления движения масла от перпендикулярного к валикам и уменьшению сил поддержания.

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

Библиографический список

1. Дмитриев В.А. Детали машин. – Л., «Судостроение», 1970. –792 с.: ил.
2. Иосифевич Г.Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов. – М.: Машиностроение, 1988. – 368с.: ил.
3. Детали машин. Сборник материалов по расчету и конструированию в двух книгах. Издание второе, исправленное и дополненное. Книга II, под редакцией д.т.н., проф. Н.С. Ачеркана. Машиз. Москва. 1953. 560 с.
4. С.М. Лосев. Паровые турбины и конденсационные устройства. Изд. Четвертое, переработанное и дополненное. НКТП СССР. Объединенное научно-техническое издательство. Главная редакция энергетической литературы. Москва – Ленинград 1935.528 с.
5. Патент №2560202 РФ С1 МПК F16C 17/04 (2006.01). Упорный подпятник жидкостного трения (варианты) / Люленков В.И., Полищук С.В., Гудимова Л.Н., Орлик А.Н. – заявка №2014122215/11, дата 30.05.2014г.; опубликовано: 20.08.2015г. Бюл. №23
6. Патент №246602 РФ С1 МПК В23Р 9/02 (2006.01). Способ создания износостойких плоских поверхностей пар трения / Люленков В.И., Полищук С.В. – заявка №2011122319/02, дата 01.06.2011г.; опубликовано: 10.11.2012г. Бюл. №31.
7. Люленков В.И., Полищук С.В., Нивития А.Г. Создание износостойких поверхностей пар трения, работающих в условиях жидкостной и граничной смазки / Известия вузов. Черная металлургия. – 2017. Т.60. – № 2. – С. 124-127.