

## СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ СПЕЧЕННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Попивненко Л. В., Ерёмкин Е. А., Бочанов П. А.

Рассмотрена новая технология по улучшению служебных характеристик самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения. Сущность технологии заключается в применении при изготовлении самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения порообразователя с требуемым размером фракции, что позволяет получать материалы с необходимой пористостью и размером пор. Кроме того, предлагается для повышения износостойкости рабочих поверхностей пары трения в поры самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения в процессе маслопропитки вводить антифрикционную присадку. Это способствует образованию графитомасляной смазки между сопрягаемыми поверхностями трения, что обеспечивает уменьшение коэффициента трения, а значит и износа пары трения. Оптимальное сочетание крупности пор и содержание структурно свободного графита в порах самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения позволит расширить диапазон рабочих нагрузок и скоростей скольжения пар трения.

Розглянута нова технологія по поліпшенню службових характеристик самозмащувальних спечених підшипників ковзання. Суть технології полягає у вживанні при виготовленні самозмащувальних спечених підшипників ковзання пороутворювача з потрібним розміром фракції, що дозволяє отримувати матеріали з необхідною пористістю і розміром пор. Крім того, пропонується для підвищення зносостійкості робочих поверхонь пари тертя в пори самозмащувальних спечених підшипників ковзання в процесі мастилопропитки вводити антифрикційну присадку. Це сприяє утворенню графітомасляної змазки між поверхнями тертя, які сполучаються, що забезпечує зменшення коефіцієнта тертя, а значить і зносу пари тертя. Оптимальне поєднання розмірів пор і зміста структурно вільного графіту в порах самозмащувальних спечених підшипників ковзання, дозволить розширити діапазон робочих навантажень і швидкостей ковзання пар тертя.

The new technology of improvement of service characteristics of selflubricating sintered sliding bearings was considered in the article. The essence of technology which use in the manufacturing of selflubricating sintered sliding bearings the organic pore-former with the required size fraction, which allows to obtain materials with controlled porosity and controllable pore size. Also proposed to increase the wear resistance working surfaces of friction pair into pores inject antifric-tion addition in oilimpregnating process. Grafitalia lubricant between the mating surfaces of friction decreases, reducing the coefficient of friction provides also wear a pair of friction decreases. Using the best combination of size of pores and the structural content of free graphite in the pores of the self-lubricating sintered bearings can extend the range of operating loads and sliding speeds of the friction pairs.

Попивненко Л. В.

Ерёмкин Е. А.

Бочанов П. А.

ст. преп. каф. МПФ ДГМА

канд. техн. наук, доц. каф. МПФ ДГМА

ст. преп. каф. МПФ ДГМА

[mto@dgma.donetsk.ua](mailto:mto@dgma.donetsk.ua)

УДК 621.762.4.043 : 621.822.178

**Попивненко Л. В., Ерёмкин Е. А., Бочанов П. А.**

### **СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОСМАЗЫВАЮЩИХСЯ СПЕЧЕННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Согласно результатам исследований, приведенных в работе [1], наряду с пористостью существенное влияние на величину износа самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения оказывает крупность пор. Чем крупнее поры материала, тем свободнее и в большем количестве масло выступает на поверхность трения. Выступление масла из пор связано с величиной поверхности капиллярных каналов, образующихся в теле материала сообщающимися порами. С увеличением крупности пор уменьшается поверхность капиллярных каналов в теле материала, а, следовательно, меньшее количество масла адсорбируется на этой поверхности при одинаковой относительной пористости. Это означает, что в процессе работы подшипника большее количество масла имеет возможность выступать из пор на поверхность трения. Поэтому при работе подшипника в условиях граничного трения или в режиме самосмазывания рекомендуется применять крупнопористые пропитанные маслом материалы (размер пор 200–420 мкм), что обеспечивает более устойчивое восстановление граничных масляных пленок на поверхностях трения в процессе работы [1].

Для регулирования размера пор в спеченных материалах разработан ряд методик, которые подробно описаны в работе [2]. К ним относят: подбор гранулометрического состава исходных порошков (с укрупнением размера частиц исходных порошков увеличивается и размер пор); изменение степени уплотнения порошковых смесей; подбор соответствующих режимов спекания.

Однако применение выше описанных методик не оправдывает себя при получении изделий с очень мелкими (менее 20 мкм) или крупными порами (более 200 мкм). Поэтому для регулирования размера пор в подобных изделиях используются разного рода порообразующие агенты.

Цель работы – изучение новой технологии по улучшению служебных характеристик самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения

Впервые применение порообразователей при производстве самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения описано в справочнике [3]. Дальнейшим развитием этого направления стали исследования, результаты которых приведены в работах [4–5]. В качестве порообразователя при изготовлении подшипников с контролируемым размером пор в указанных источниках применяли бикарбонат аммония. Однако существует ряд причин, которые не позволяют использовать данный порообразователь при производстве самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения с контролируемым размером пор в промышленных масштабах:

- бикарбонат аммония нестабилен и разлагается на воздухе с выделением аммиака, который является опасным отравляющим веществом;
- необходимы специальные условия хранения бикарбоната аммония, а также дополнительных меры по безопасности работающего персонала в процессах рассева порообразователя на фракции, при смешивании компонентов, прессовании смесей и при транспортировке неспеченных прессовок к печи, что существенно повышает стоимость готового изделия;
- при контакте с воздухом частицы бикарбоната аммония слипаются, то есть происходит процесс естественной агломерации, что вызывает значительные трудности в получении фракции частиц порообразователя требуемого размера после рассева;

- в процессе смешивания исходных порошков с порообразователем (процесс длится порядка 2–3 часов, а иногда и значительно больше) интенсивность его разложения резко возрастет, что делает невозможным получение в изделии пор заданного размера;

- в процессе разложения бикарбоната аммония выделяется вода, поэтому смешивание компонентов смеси будет сопровождаться окислением поверхности металлических порошков (особенно железного), что приведет к ухудшению прессуемости смеси, а, следовательно, к повышению давления прессования и преждевременному износу матрицы и пуансонов пресс-формы.

В настоящей работе с целью недопущения изменения свойств исходных металлических порошков продуктами разложения порообразующего агента в процессе смешивания, повышения безопасности и экологичности реализации отдельных этапов технологического цикла производства самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения с контролируемым размером пор (отсутствие выделения вредных газов), повышения производительности процесса и уменьшения стоимости конечной продукции предлагается в качестве порообразователя использовать древесные опилки с малой зольностью после сгорания (лиственница или сосна). Кроме того, для повышения эксплуатационных свойств самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения к маслам, используемых для маслопропитки, предлагается добавлять антифрикционные присадки, что является широко распространенной практикой в автомобильной, авиационной и машиностроительной отраслях. Такие присадки предназначены для снижения коэффициента трения, и как следствие, уменьшения износа пары трения. В качестве такой присадки к пропиточным маслам самосмазывающихся узлов трения можно использовать высокодисперсный порошок графита [6]. В рамках данной работы изучалась справедливость этих предположений.

Для экспериментальных исследований в качестве исходных материалов использовались водораспыленный порошок железа марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ 9849-86), электролитический порошок меди марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) и порошок графита марки ГК-1 (ГОСТ 4404-78). В качестве порообразователя в экспериментах применялись просушенные сосновые опилки (ГОСТ 23246-78).

При расसेве порообразователя на фракции использовали набор сит с ячейками: 500 мкм, 355 мкм, 250 мкм, 125 мкм, 63 мкм и 45 мкм.

При составлении смесей содержание порошков железа, меди и графита изменялось по массе ( $Fe = 88 \%$ ,  $Cu = 9 \%$ ,  $C = 3 \%$ ), а содержание порообразователя – по объему (9%). Такое содержание компонентов в смеси принято на основании анализа данных литературных источников в Украине по вопросам самосмазывающихся антифрикционных материалов для случая малых скоростей скольжения [7].

Для получения разной крупности пор в спеченных подшипниках к исходным порошкам железа, меди и графита добавляли порообразователь с разным размером частиц.

После смешивания выполняли прессование кольцевых образцов по двухсторонней схеме с применением упора без смазки рабочих поверхностей пресс-формы. Использование упора обеспечивает равенство площадей трения испытываемых образцов.

Прессование кольцевых образцов выполняли по двухсторонней схеме с применением упора без смазки рабочих поверхностей пресс-формы. Использование упора обеспечивает равенство площадей трения испытываемых образцов.

Отпрессованные образцы спекали в защитной восстановительной атмосфере (угарный газ) с присутствием жидкой фазы ( $t_{\text{спек}} = 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Охлаждение образцов осуществляли первоначально в печи до температуры 850 – 800 °С, а затем в масле марки И-20А. Такой режим охлаждения позволяет получить у образцов преимущественно перлитную структуру, а также способствует повышению их прочностных свойств [8]. Отметим, что в процессе спекания порообразователь практически полностью выгорает. Зольный остаток составляет не более 0,3–0,5 % по массе.

По истечению 10 минут образцы извлекали из охлаждающей ванны и помещали в маслянную ванну с целью удаления из пор части зольного остатка (марка масла при этом не менялась). Процесс чистки пор осуществляли с применением ультразвуковых колебаний в течение 45 минут. После чистки пор с целью улучшения эксплуатационных свойств спеченных образцов, их помещали на 2 часа в нагретую до 120 °С маслянную ванну, в которую предварительно добавляли высокодисперсный порошок графита (величина частиц менее 20 мкм) в расчете 20 г на 1 литр масла (марка масла не менялась). По истечению 2 часов образцы остывали в этой же маслянной ванне в течение 30 минут.

Остывшие в маслянной ванне образцы калибровали для увеличения точности их конечных размеров. Откалиброванные образцы разрезали на четыре части. Таким образом, испытуемый на износостойкость образец представлял собой колодочку с постоянной площадью поверхности трения (180 мм<sup>2</sup>), охватывающую цилиндрический ролик (контртело) на дуге в 90 °. В качестве материала контртела использовали сталь 45 в состоянии после закалки (HRC 45–48) с полированной поверхностью трения ( $R_a = 0,63$  мкм).

Испытания на изнашивание пористых образцов проводили на универсальной машине трения модели МИ-1М. При испытаниях линейная скорость скольжения и нагрузка были постоянными и составляли 0,67 м/с и 320 Н соответственно. Таким образом, рабочее давление на поверхности трения составляло 1,8 МПа, а параметр  $p \cdot V_{\text{раб}} = 1,2$  МПа·м/с. Общее время испытаний составляло 50 часов, что соответствовало пути трения 120 км.

Результаты испытаний на износостойкость образцов с различной крупностью пор приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний образцов на износостойкость

| Номер образца | Размер пор После спекания, мкм | П <sub>спеч</sub> , % | Наличие присадки в масле | Линейный износ, мкм | Коэффициент трения |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|
| 1             | менее 45                       | 26,2                  | есть                     | -                   | -                  |
| 2             | 45–63                          | 26,3                  | есть                     | 172,4               | 0,120              |
| 3             | 63–125                         | 26,2                  | есть                     | 96,3                | 0,098              |
| 4             | 125–250                        | 26,1                  | есть                     | 61,8                | 0,086              |
| 5             | 125–250                        | 26,2                  | нет                      | 83,4                | 0,094              |
| 6             | 250–355                        | 26,3                  | есть                     | 108,6               | 0,110              |
| 7             | 355–500                        | 26,3                  | есть                     | 215,1               | 0,138              |

Как видно из табл. 1 образец с размерами пор менее 45 мкм оказался неработоспособным, а минимальный износ был у образца с размерами пор в диапазоне 125–250 мкм. Уменьшение или увеличение крупности пор от указанного диапазона приводит к ухудшению антифрикционных свойств, что можно объяснить следующим образом. Уменьшение размера пор ведет к увеличению поверхности капиллярных каналов, образующихся в теле материала сообщающимися порами. Вследствие этого большая часть масла адсорбируется поверхностью капиллярных каналов и не имеет возможности выступать из пор на поверхность трения, что является причиной увеличения износа образцов и потери ими работоспособности.

С ростом размера пор резко снижаются прочностные свойства, а значит и несущая способность, испытуемого спеченного материала. Кроме того, укрупнение пор ухудшает прирабатываемость и увеличивает время приработки. Также следует учивать тот факт, что при размерах пор больше 250 мкм происходит интенсивное выступание масла не только в зоне трения, но и с торцевых поверхностей испытуемых образцов. Это приводит к быстрой потери спеченным подшипником масла и, как следствие, к утрате им антифрикционных свойств.

С целью выявления влияния присадки графита к маслу, применяемому для маслопропитки на износостойкость образцов, по данным табл. 1 был изготовлен образец с размером пор в диапазоне 125–250 мкм. При его изготовлении присадка графита в маслопропиточную ванну не использовалась. По данным табл. 1 можно сделать вывод, что добавление в масло графитового порошка способствует уменьшению величины износа образцов, что объясняется существенным увеличением количества структурно свободного графита, находящегося в порах. В процессе работы пары трения графит вместе с маслом из пор попадает на поверхность трения, где образует маслографитовый слой, что способствует уменьшению коэффициента трения. В нашем случае, как видно из табл. 1, коэффициент трения уменьшился в 1,1 раза.

Покольку повышение структурно свободного графита в порах самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения способствует снижению коэффициента трения, то вызывает интерес как при этом изменяется несущая способность материала подшипника. С целью определения допустимого параметра  $[p \cdot V]$  для подшипников рассматриваемой системы и с размером пор в диапазоне  $125 > 250$  мкм была проведена серия экспериментов при постоянной скорости скольжения (0,67 м/с) и переменной нагрузке в диапазоне 350–530 Н с шагом 30 Н. Время испытаний во всех случаях составляло 50 часов или до полной потери образцом работоспособности.

Анализ результатов испытаний по определению параметра  $[p \cdot V]$  показал, что образец сохранял работоспособность при нагрузке до 500 Н включительно, а критической для него стала нагрузка в 530 Н, что соответствовало параметру  $p \cdot V = 1,9$  МПа м/с. При этом в известной литературе [7, 8] параметр  $[p \cdot V]$  для подобных материалов составляет 1,5–1,6 МПа·м/с.

## ВЫВОДЫ

Для самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения наряду с составом и величиной объемной пористости, размер пор является важнейшей характеристикой, влияющей на эксплуатационные свойства. С целью улучшения эксплуатационных свойств самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения в масло, применяемое для маслопропитки, можно рекомендовать добавлять порошок графита высокой дисперсности. Это способствует образованию коллоидальной графитомасляной смазки между сопрягаемыми поверхностями трения, что обеспечивает уменьшение коэффициента трения, а значит и износа пары трения. Оптимальное сочетание крупности пор и содержание структурно свободного графита в порах самосмазывающихся спеченных подшипников скольжения позволяет расширять диапазон рабочих нагрузок и скоростей скольжения пар трения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мошков А. Д. Пористые антифрикционные материалы / А. Д. Мошков – М. : Машиностроение, 1968. – 208 с.
2. Пористые проницаемые материалы: Справ. изд. / под ред. С. В. Белова. – М. : Металлургия, 1987. – 335 с.
3. Hausner H. Handbook of powder metallurgy / H. Hausner, M. Kumar. Chemical publishing Co, NY, 1982, 604 p.
4. Дубинин М. В. Применение порообразующего вещества для контроля пористости и повышения износостойкости подшипников скольжения / М. В. Дубинин, А. М. Лаптев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : сборник научных трудов ДонНТУ : Донецк, 2006. – Вып. 31. – С. 119–124.
5. Дубинин М. В. Влияние режима спекания на усадку (рост) порошковых прессовок системы железо-медь-графит с органическим порообразователем и твердость получаемых образцов / М. В. Дубинин, А. М. Лаптев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – № 3 (5). – С. 91–96.
6. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / под ред. В. М. Школьникова. – М. : Техинформ, 1999. – 596 с.
7. Федорченко И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина. – Киев : Наук. думка, 1980. – 404 с.
8. Кипарисов С. С. Порошковая металлургия / С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон. – М. : Металлургия, 1971. – 528 с.