

## ИССЛЕДОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ ОПОР ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОЙ ЛЕНТЫ

Горкуша А.Е., Вяльцев Н.В., Гусев В.В., Молчанов А.Д.

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

### Введение

Такие свойства подшипников гидродинамического трения, как небольшие габариты, простота конструкции, быстроходность, малая чувствительность к ударным нагрузкам и кратковременным перегрузкам определили их использование в станкостроении [1]. Несущая способность одноклинового гидродинамического подшипника наряду с его конструктивными особенностями определяется минимальной толщиной смазочного слоя  $h_{\min}$ , величина которого при работе приближается по значению к толщине заторможенного слоя масла, перемещающегося совместно с вращающимся шпинделем [2, 3]. Это может привести к потере режима жидкостного трения в подшипнике.

Рассматривая трибосистему шип-подшипник как единое целое [4], наилучшие условия прокачивания смазочного материала через рабочую зону имеют место в случае его взаимодействия с поверхностью вращающегося шпинделя и при отсутствии этого взаимодействия масла с поверхностью вкладыша. С этой целью рекомендуется для изготовления шпинделей использовать стали с высоким содержанием углерода, что позволяет после термообработки обеспечить их высокую поверхностную твердость. При этом материал для вкладышей должен хорошо прирабатываться, иметь небольшой коэффициент трения и низкий модуль упругости материала для передачи нагрузки на возможно большую поверхность. К таким материалам относятся бронзы и баббиты. В последнее время для изготовления вкладышей стали широко использовать металлофторопластовую ленту, которая обладает указанным требованиям по коэффициенту трения и модулю упругости, кроме того сочетая в себе положительные свойства металла (хорошая теплопроводность) и полимера (высокая податливость), этот антифрикционный материал нечувствителен к виду смазки и может успешно работать как в масле, так и в воде, при этом технология изготовления вкладышей из ленты весьма простая [5, 6]. Однако рекомендации по их использованию в литературе не нашли достаточного отражения.

Целью настоящей работы является исследование гидродинамических подшипников с вкладышами из металлофторопластовой ленты.

### Основная часть

Для проведения экспериментальных исследований был спроектирован и изготовлен стенд для испытаний гидродинамических подшипников. Он позволяет измерять при работе распределение давления, температуры и толщины смазочного слоя по окружности одноклинового гидродинамического подшипника [7]. Были проведены сравнительные испытания подшипников с вкладышами из баббита и металлофторопластовой ленты. Пример осциллограммы распределения давления и толщины смазочного материала в подшипнике с металлофторопластовым вкладышем приведен на рис. 1. Анализ осциллограмм показал наличие на них характерных одинаковых участков: рабочих и нерабочих зон. Однако для подшипников с металлофторопластовым вкладышем по концам рабочей зоны имеются дополнительные участки, которые образуются за счет меньшего модуля упругости ленты. Модуль упругости вкладыша из металлофторопла-

стовой ленты в два раза меньше, чем у баббитовых вкладышей. Это уменьшает угол наклона смазочного потока стимулирует гидродинамический эффект, увеличивает  $h_{\min}$  при заданной нагрузке и повышает устойчивость работы узла.

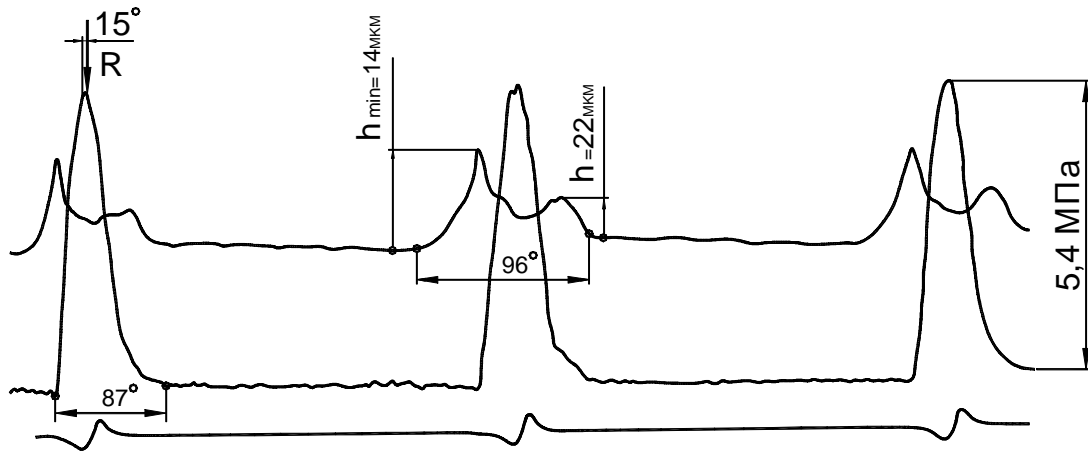


Рис. 1. Осциллограмма распределения давлений и толщины смазочного материала в подшипнике с металлофторопластовым вкладышем  
 $D = 100$  мм,  $l = 100$  мм,  $p_{cp} = 1,8$  Мпа,  $v = 4$  м/с,  $\psi = 0,01$

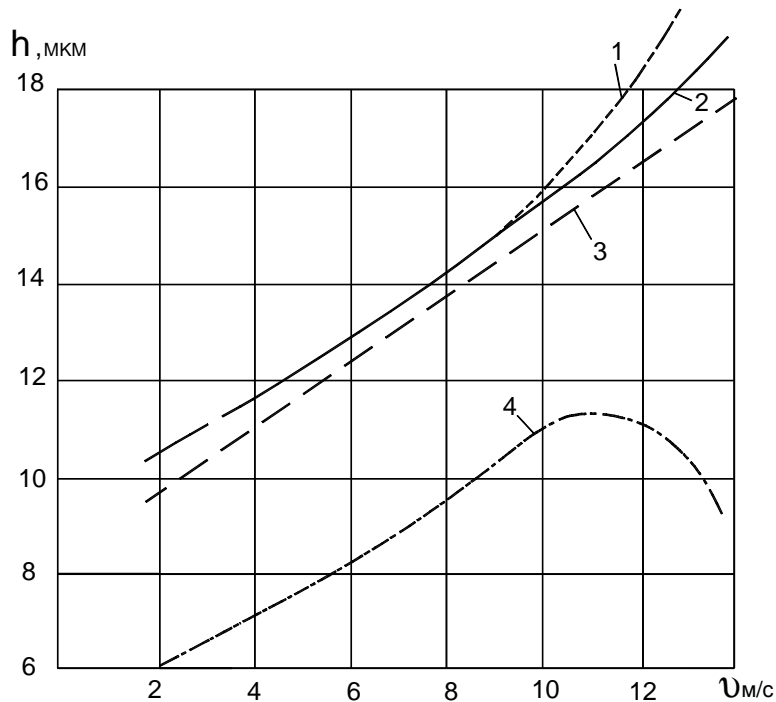


Рис. 2. Зависимость изменения толщины смазочного слоя в подшипнике от скорости скольжения при средних давлениях  $p_{cp}$ :  
 1 – 0,63 МПа; 2 – 1,8 МПа; 3 – 3 МПа; 4 – 2,5 МПа (по баббиту)

Влияние скорости скольжения на изменение  $h_{\min}$  показано на рис. 2. Минимальная толщина смазочного материала в среднем в 1,5 раза выше у подшипника с металлофторопластовым вкладышем, чем у баббитового. Эта разница становится еще более

очевидной при больших скоростях ( $V > 10 \text{ м/с}$ ), при которых у баббитовых вкладышей  $h_{\min}$  начинает уменьшаться с ростом скорости в отличие от металлофторопластовых вкладышей. Этот эффект можно объяснить высокой податливостью верхнего полимерного слоя у последнего вкладыша. Следовательно, подшипники с металлофторопластовыми вкладышами рационально использовать при высоких скоростях скольжения. У металлофторопластового подшипника возрастает протяженность несущего слоя в 1,5...1,7 раза и близка по размерам рабочей зоны полимерных подшипников. Из-за большей протяженности рабочей зоны изменение нагрузки слабо влияет на величину среднего давления в несущем гидродинамическом клине, а следовательно и на величину минимального зазора, а зависит только от скорости скольжения (рис.3).

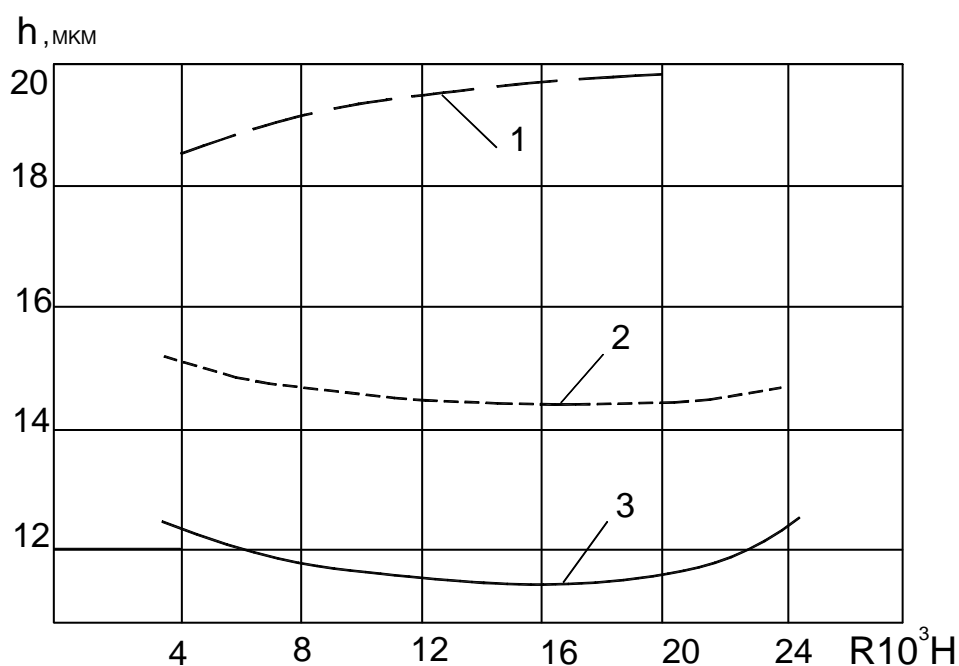


Рис. 3. Зависимость зазора  $h_{\min}$  в одноклиновом гидродинамическом подшипнике с металлофторопластовым вкладышем от нагрузки.

Кривые соответствуют скоростям скольжения: 1 – 14 м/с; 2 – 9 м/с; 3 – 4,5 м/с

С учетом сближения шпинделя и металлофторопластового вкладыша минимальная толщина смазочного слоя может быть рассчитана по следующей зависимости

$$h_{\min} = \frac{c \cdot \eta \cdot V}{p} \left( \frac{R \cdot r}{R - r} \right),$$

где  $c$  – поправка на конечную длину подшипника;

$\eta$  – динамическая вязкость смазочного материала;

$p$  – осредненная нагрузка;

$R$  и  $r$  – радиусы вкладыша и шейки шпинделя соответственно.

В Донецком национальном техническом университете разработана новая конструкция гидродинамического подшипника [8] (рис. 4), которая при использовании тонкостенного металлического вкладыша, в том числе и из металлофторопластовой ленты позволяет обеспечить перераспределение давления в несущем гидродинамическом клине на большую поверхность за счет увеличенного угла контакта со вставкой из эла-

стичного материала, в результате чего создается возможность повышения несущей способности подшипника.

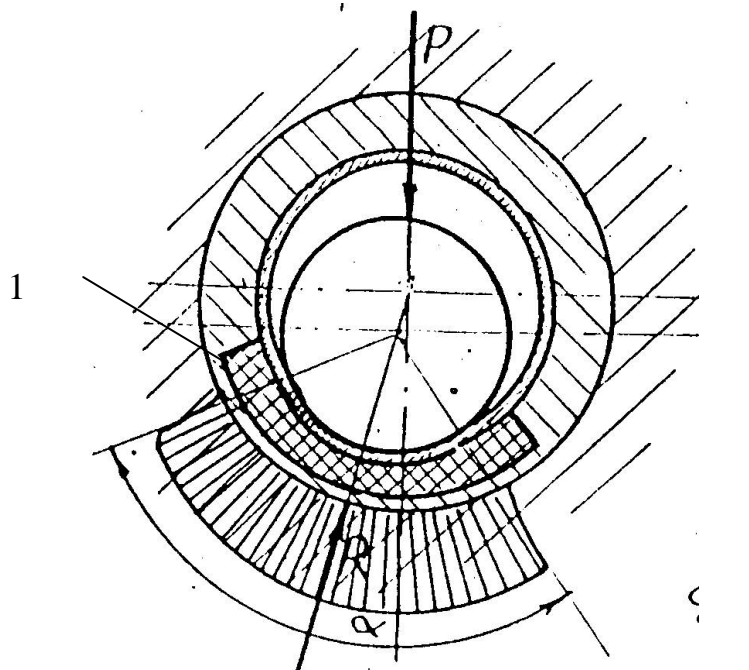


Рис. 4. Конструкция гидродинамического подшипника с тонкостенным вкладышем и вставкой из эластичного материала

Оценка экономической целесообразности производства и применения тонкостенных вкладышей в узлах скольжения изложена в работе [9].

#### Выводы

Использование подшипников с металлофторопластовыми вкладышами в опорах шпиндельных узлов позволит:

- снизить материалоемкость узла в 5-6 раз;
- снизить уровень шума за счет повышенной демпфирующей способности вкладыша;
- более чем 10 раз снизить трудоемкость ремонта шпиндельного узла по сравнению с подшипниками из баббита и бронзы;
- снизить максимальное значение давления в подшипнике.

**Список литературы:** 1. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин / Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988. – 238с. 2. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. – К.: Техніка, 1977. – 208с. 3. Снеговский Ф.П. Энергетические потери на трение в трибосистеме шип-подшипник. Теория и эксперимент // Проблемы трибологии. – Хмельницкий: ХНУ. – 2003, №2. – С.12-14. 4. Чукмасов С.Ф. Проблемы трения металлургических машин. Дис. доктора техн. наук: 05.05.08. – Днепропетровск, 1946. – 226с. 5. Савинский Ю.Э. Исследование металлофторопластовых подшипников несущего винта вертолета /Методы испытания и оценки

служебных свойств материалов для подшипников скольжения. – М.: Наука, 1972. – С. 122-127. **6.** Воронцов П.А., Семенов А.П., Качура А.А. Об изнашивании металлофторопластовых подшипников в гидравлических опорах скольжения высокооборотных машин // Трение и износ. – 1996. – Т.12., №2 – С. 56-62. **7.** Горкуша А.Е., Стеблянко В.Г., Шеремет В.В. Режимные параметры и тепловой баланс подшипника скольжения с канавкой в несущем слое // Проблемы трибологии. – Хмельницький. – 2006, №1. – С.3-10. **8.** Патент на винахід № 24484А F16С 33/02. Підшипник ковзання / Вяльцев М.В., Гусев В.В., Горкуша А.Ю., Молчанов О.Д., Гурін А.Ю. 30.10.1998. Бюл. №5. – 5 с. **9.** Беличенко А.Ф., Горкуша А.Е., Стеблянко В.Г. Оценка экономической целесообразности производства и применения тонкостенных вкладышей в опорных узлах скольжения / Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 71. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 146-150.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ШПИНДЕЛЬНИХ ОПОР РІДИННОГО ТЕРТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТАЛОФТОРОПЛАСТОВОЇ СТРІЧКИ

Горкуша А.Ю., Вяльцев М.В., Гусев В.В., Молчанов О.Д.

Проведені дослідження по використанню металофторопластової стрічки для виготовлення вкладышів гідродинамічних підшипників та встановлені раціональні триботехнічні характеристики, які дозволяють значно покращити техніко-економічні параметри використання даних опір.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ ОПОР ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОФТОРОПЛАСТОВОЙ ЛЕНТЫ

Горкуша А.Е., Вяльцев Н.В., Гусев В.В., Молчанов А.Д.

Проведены исследования по использованию металлофторопластовой ленты для изготовления вкладышей гидродинамических подшипников и определены рациональные триботехнические характеристики, позволяющие значительно улучшить технико-экономические параметры использования данных опор.

### RESEARCH OF SPINDLE SUPPORTS OF THE LIQUID FRICTION WITH USE OF METALFTOROPLAST TAPE

Gorkusha A.E., Vyaltsev N.V., Gusev V.V., Molchanov A.D.

Researches on use of metalftoroplast tape for manufacturing of bushings of hydrodynamic bearings are conducted and rational tribotechnical characteristics are determined, which allow considerably to improve technical and economic parameters of use of these supports.

*Рецензент: к.т.н., доц. Полтавець В.В.*