

УДК 678.5.046:621.762

И.В. ОВЕЧКИН

ОПТИМАЛЬНАЯ МАКРОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ СОСТАВНЫХ ПОЛИМЕРПОРОШКОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Новая конструкция подшипника скольжения с составной полимерпорошковой поверхностью отличается способностью удерживать смазку в рабочей зоне, что значительно снижает коэффициент трения и увеличивает ресурс подшипника.

Ключевые слова: полимерпорошковый подшипник скольжения, полимерные вставки, коэффициент относительной площади полимера.

Введение. Самосмазывающиеся пористые пропитанные маслом порошковые подшипники применяются в различных машинах достаточно широко благодаря механизму самосмазывания. Разрыв граничных масляных плёнок на контактных поверхностях сопровождается ростом коэффициента трения и увеличением количества генерируемого тепла. Тепловое расширение масла, заполняющего поры, заставляет его выступать на поверхность и восстанавливать смазочную плёнку [1].

Следовательно, при пусках в связи с отсутствием разогрева в начальный период работы такого подшипника возникает металлический контакт, растёт коэффициент трения и износ.

Металлополимерные подшипники из блочных полимерных материалов (фторопластов, полиамидов) могут работать без смазки, а в условиях ограниченной смазки коэффициент трения в них составляет всего 0,06...0,09 [2].

В предлагаемой конструкции нового упорного подшипника совмещены положительные свойства как полимеров, так и порошковых композитов.

Постановка задачи. Рассматриваемый упорный подшипник представляет собой составную конструкцию (макрокомпозит) из полимерных вставок в порошковую матрицу. Основным конструктивным элементом подшипника является коэффициент относительной площади полимера, определяемый отношением площади полимерных вставок к общей площади рабочей поверхности подшипника. Для изобретенного нами подшипника скольжения предложен алгоритм расчета максимальной величины относительной площади полимера, учитывающий прочностные технологические ограничения. Оптимальная же величина коэффициента относительной площади полимера может быть определена только экспериментально.

Расчёт. Из очевидных геометрических соотношений следует, что при образовании отверстий под полимер, расположенных на концентрических окружностях, угловое смещение отверстий в соседних рядах должно создавать их регулярное расположение. То есть ось отверстия каждого следующего ряда должна находиться точно посередине между радиальными лучами, выходящими из центра подпятника в направлении осей отверстий предыдущего ряда. Тогда угловое расстояние $\phi = 360^\circ/p$ между соседними отверстиями во всех рядах будет одинаково.

При исполнении всех отверстий под полимер равного диаметра d пример схемы их расположения представлен на рис.1. Здесь обозначено: D – наружный диаметр подпятника; D_0 – диаметр центральной части, свободной от отверстий; D_n, D_{n-1} – диаметры соседних concentрических окружностей (нумерация от центра); h_n и z_n – линейное расстояние и толщина перемычки между соседними отверстиями в одном ряду; t – толщина перемычки между ближайшими отверстиями в соседних рядах; n – текущий ряд; k – последний ряд отверстий; p – число отверстий на одной окружности ряда отверстий.

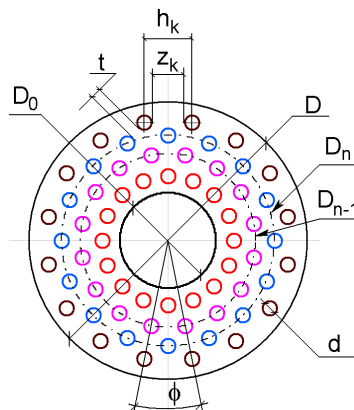


Рис.1. Расчётная схема

В соответствии со схемой (см.рис.1) расстояние между отверстиями в одном ряду $h_n = D_n \sin(\phi)$ увеличивается вместе с зазором $z_n = h_n - d$ по мере удаления этого ряда от центра. За счет того, что расстояние между отверстиями одного ряда увеличивается с ростом n , диаметр каждой следующей окружности ряда отверстий может увеличиваться не на $\sqrt{3}h_1$, а на несколько меньшую величину $\alpha_n \sqrt{3}h_1$, где $\alpha_n \leq 1$ при всех $n > 2$. Это позволит создать более плотное расположение отверстий. При этом размер перемычки между ближайшими отверстиями соседних рядов будет определяться формулой

$$t_n = \frac{1}{2} \sqrt{(D_{n+1} - D_n)^2 + (D_n \sin(\phi))^2} - d. \quad (1)$$

Алгоритм последовательного определения диаметров окружностей рядов отверстий должен включать в себя выполнение следующих ограничений:

- на первом шаге $z_1 \geq 2$ мм;
- на последующих шагах кроме последнего $t_n \geq 2$ мм;
- на последнем шаге $D_k + d + 4 \leq D$ (гарантирует толщину 2 мм наружной перемычки).

Отношение площади полимера к общей площади контакта для такой схемы размещения отверстий выражается формулой

$$K = \frac{kpd^2}{D^2 - D_0^2}. \quad (2)$$

Предложенная схема может быть представлена в виде простого полуавтоматического алгоритма (рис.2), удобного для использования конструктором.

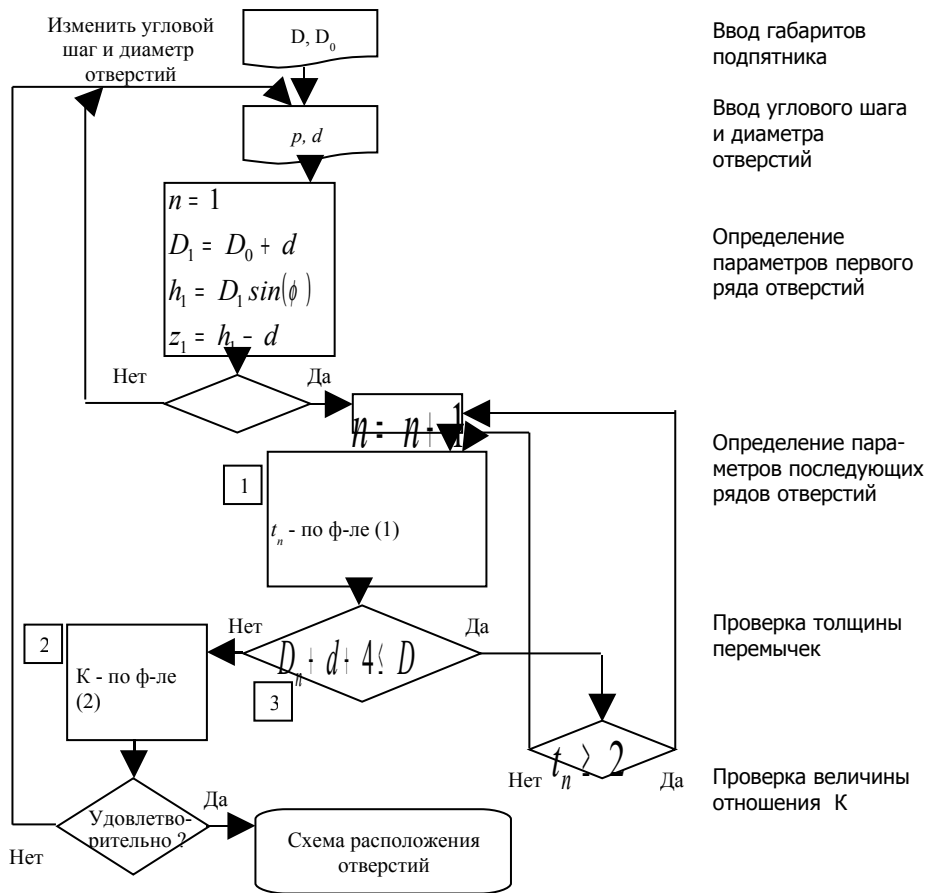


Рис.2. Алгоритм трассировки отверстий равного диаметра на контактной поверхности упорного подшипника

Таким образом может быть рассчитана макроструктура составного упорного подшипника для любого значения коэффициента относительной площади полимера.

Методика. Экспериментальные исследования проводились на прецезионной машине трения модели Т - 11 (Польша). Она имеет механический блок (скорость, нагрузка и т.д.) с датчиками, систему управления ВТ - 15, аналогово-цифровой преобразователь - усилитель Spider 8, персональный компьютер PC с работающей программой Т - 11 - v2, которая воспринимает информацию от пользователя, перерабатываемую потом программой Catmen v.4.5 rel.1.

Экспериментальные образцы представляли собой диски из порошкового композита марки ЖГр1,5Д2,5К0,8. Смешивание порошковых компонентов производилось в смесителе с наклонной осью вращения в течение трех часов. Прессовки изготавливались в закрытых пресс-формах на гид-

равлическом прессе прессованием до упора. Спекание производилось в вакууме при температуре $1100 \pm 20^\circ\text{C}$ в течение двух часов.

После механической обработки (образования отверстий для полимерных вставок) производилась заливка расплавом полиамида П - 6 на вертикальном прессе для литья под давлением термопластов.

Пропитка заготовок образцов маслом марки Тп-22С осуществлялась на опытно-промышленной вакуумной установке. Окончательная их обработка поверхностным пластическим деформированием выполнялась шариковой гладилкой.

В качестве критерия оценки величины коэффициента относительной площади полимера была выбрана толщина смазочной плёнки Н, соответствующая наилучшему режиму смазывания и минимальной силе трения.

Эксперимент. Предварительные эксперименты показали наличие экстремальной зависимости выхода от выбранных переменных факторов: коэффициента относительной площади К и параметра нагружения РV. Поэтому при проведении экспериментальных исследований был применён метод перевала [3] и два смежных двухуровневых полнофакторных плана типа ПФЭ 2^2 . Исходные данные приведены в таблице.

Исходные данные ПФЭ 2^2

Факторы	Уровни варьирования			Интервал варьирования		
	Наименование	Обозначение	Размерность			
Параметр мощности	PV	МПа·м/с	0,5	1,25	2,0	0,75
Коэффициент отношения площадей	K	б/р	0,2	0,45	0,7	0,25

Графическая интерпретация моделей представлена на рис.3.

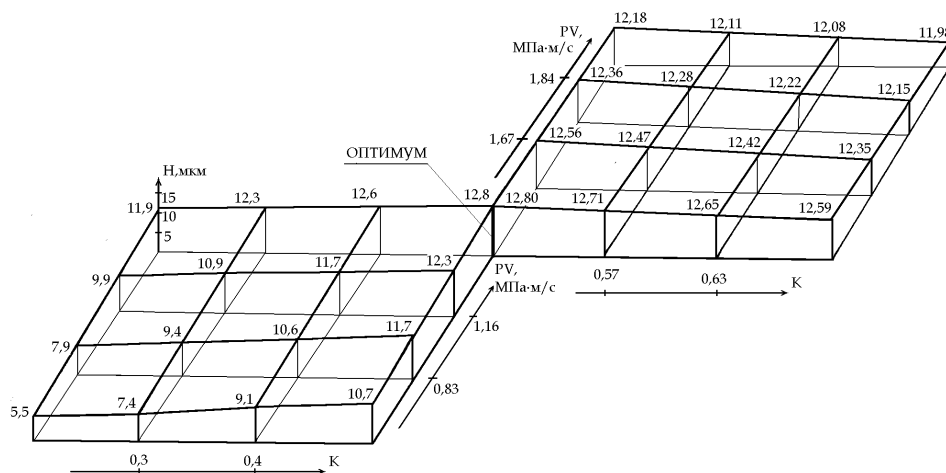


Рис.3. Влияние коэффициента относительной площади полимера К и параметра нагрузки РV на толщину масляной плёнки Н (турбинное масло Тп-22С)

В результате 45-минутных исследований зависимости толщины масляной плёнки Н (мкм) от переменных К и Р получены две модели (средняя

погрешность 2,1%). Первая модель в диапазоне $K=0,2...0,5$ и $PV=0,5...1,5$ имеет следующий вид:

$$H = 15,0 \cdot (PV)^{-0,24} K^{0,32 - 1,34 \lg PV} \quad (3)$$

вторая – в диапазоне $K = 0,5...0,7$ и $PV = 1,5...2,0$ – имеет вид

$$H = 13,25 \cdot (PV)^{-0,17} K^{-90,05 + 0,22 \lg PV} \quad (4)$$

Анализ структуры моделей и графика показывает следующее:

- в области экстремума выхода в исследованном диапазоне параметров степень влияния фактора нагружения PV 16,4% существенно больше, чем степень влияния коэффициента K - 7,0%;

- наличие статистически значимых коэффициентов моделей при смешанных взаимодействиях свидетельствует о совместном влиянии на выход как конструктивного параметра K , так и нагрузочного PV ;

- для условий эксперимента оптимальной величиной коэффициента относительной площади полимера можно считать величину 0,5.

Следует отметить, что поверхность отклика в области экстремума имеет весьма малую кривизну, и поэтому можно говорить об экстремальной зоне, отличающейся от точки экстремума в пределах погрешности эксперимента 5% (до толщины плёнки смазки 12,2 мкм). Тогда оптимальным значением коэффициента K следует считать диапазон 0,40...0,55.

Выводы. На основании прочностных и технологических требований с использованием геометрических соотношений разработана расчётная схема и алгоритм, позволяющие рассчитать количество полимерных вставок для любой величины коэффициента относительной площади составного упорного подшипника скольжения.

Экспериментально установлена оптимальная величина соотношения площади полимерных элементов и порошковой матрицы, определяющая конструкцию составного упорного подшипника и обеспечивающая его устойчивую работу в течение всего ресурса.

Библиографический список

1. Зозуля В.Д. Эксплуатационные свойства порошковых подшипников / В.Д. Зозуля. – Киев: Наукова думка, 1969. – 288 с.
2. Колесников В.И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах / В.И. Колесников. – М.: Наука, 2003. – 279 с.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1975. – 279 с.

Материал поступил в редакцию 14.09.09.

I.V. OVECHKIN

MACROSTRUCTURE OF THE SURFACE COMBINED METAL-POLYMERIC PLANE BEARINGS

The new design of a plane bearing with combined metal-polymeric surface differs from analogous models by ability to keep lubricant in the working zone, that considerably reduces a friction coefficient and life time of the bearing.

ОВЕЧКИН Игорь Викторович (р. 1982) аспирант кафедры «Технология конструкционных материалов» Донского государственного технического

университета, окончил факультет «Автоматизация и информатика» ДГТУ (2006).

Автор 6 опубликованных работ в области трения и изнашивания.

orbitalux@mail.ru