

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА КОНТАКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ С ВТУЛКОЙ ИЗ ЦИРКОНИЕВОЙ КЕРАМИКИ

Алисин В.В.

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: подшипник скольжения, керамическая втулка, диоксид циркония, контактные параметры подшипника скольжения, радиальный зазор подшипника, распределение контактных давлений в сопряжении втулки и вала.

Аннотация. Статья посвящена методике оценки максимального контактного давления в подшипнике скольжения с керамической втулкой из диоксида циркония. основное внимание уделяется влиянию радиального зазора на зависимость максимального контактного давления от погонной нагрузки. Выполнен расчет контактных параметров применительно к подшипнику узла поворота лопаток авиационного компрессора, работающего без смазки в условиях повышенных температур. Обращено внимание на опасность высоких контактных давлений на краю торца керамической втулки. По результатам аналитического анализа нагруженности подшипника скольжения сделана рекомендация по выбору радиального зазора на этапе проектирования компрессора.

THE EFFECT OF THE LOAD ON THE CONTACT PARAMETERS OF A SLIDING BEARING WITH A ZIRCONIUM CERAMIC SLEEVE

Alisin V.V.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: sliding bearing, ceramic sleeve, zirconium dioxide, contact parameters of the sliding bearing, radial clearance of the bearing, distribution of contact pressures in the coupling of the sleeve and shaft.

Abstract. The article is devoted to the methodology for estimating the maximum contact pressure in a sliding bearing with a ceramic sleeve made of zirconium dioxide. the main attention is paid to the influence of the radial clearance on the dependence of the maximum contact pressure on the linear load. The calculation of contact parameters is performed in relation to the bearing of the blade rotation unit of an aircraft compressor operating without lubrication at elevated temperatures. Attention is drawn to the danger of high contact pressures at the edge of the ceramic sleeve end face. Based on the results of the analytical analysis of the load of the sliding bearing, a recommendation was made on the choice of a radial clearance at the design stage of the compressor.

При создании деталей машин все большее применение находит конструкционная керамика и кристаллы [1]. Высокая твердость, жаропрочность, коррозионная и абразивная стойкость, низкая плотность, а также высокая вязкость разрушения отдельных типов керамик и кристаллов обеспечили разнообразное применение этих материалов в технике. Сочетание высокой механической прочности, жаропрочности и химической инертности делают перспективным применение тугоплавких материалов, таких как керамики и кристаллы, в качестве конструкционных и триботехнических материалов для

узлов трения, работающих в условиях высоких температур. При этом кристаллы и керамика, применяемые в качестве элементов трения, должны обладать достаточно высокой вязкостью разрушения (трещиностойкостью), а также хорошими антифрикционными свойствами. В авиационных осевых воздушных компрессорах температура сжимаемого газа достигает величин, при которых применение жидких и пластичных смазочных материалов невозможно. Твердые смазочные материалы и покрытия на их основе имеют малый ресурс. Поэтому в подшипниках поворота лопаток требуются пары трения способные работать без смазки в условиях высоких температур. Перспективна керамика на основе частично стабилизированного диоксида циркония [2] (керамика ЧСЦ) в паре с титановым сплавом. Однако работоспособность этой пары трения зависит от нагрузки и величины зазора в подшипнике [3]. На рисунке 1 приведена расчетная схема контакта вала вложенного в цилиндр.

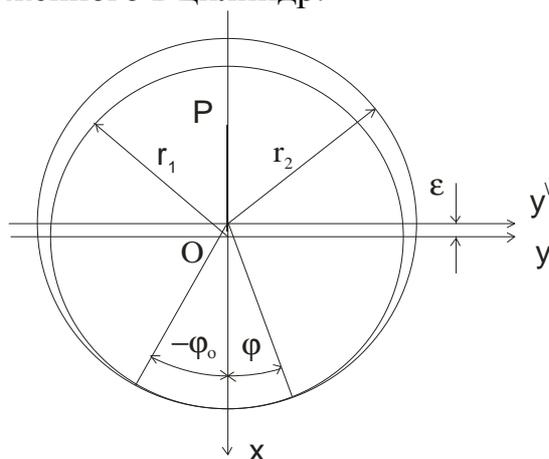


Рис. 1. Схема сопряжения вала с втулкой

Исходными данными для расчета контактных параметров опор скольжения являются:

- а) конструктивные характеристики опор (r_1 – радиус вала, r_2 – радиус втулки, ϵ – радиальный зазор в подшипнике);
- б) механические свойства материала втулки (E_1, μ_1), (E_2, μ_2) – модуль упругости и коэффициент Пуассона материалов вала и втулки соответственно;
- в) нагрузочные характеристики (P – действующая нагрузка, p_0 – погонная нагрузка, т.е. радиальная нагрузка на единицу длины контакта).

Для оценки нагрузочной способности трибосопряжения определить контактные параметры по методике [4]. К контактным параметрам цилиндрических опор скольжения относятся:

- дуга контакта вала со втулкой, характеризуемая углом охвата (φ – текущая угловая координата, φ_0 – угол охвата);
- распределение контактных давлений $p(\varphi)$;
- максимальное значение контактного давления p_{\max} .

Учитывая, что в опорах скольжения радиусы r_1 и r_2 мало отличаются, выражение для угла контакта можно выразить в виде [5, стр. 78]:

$$\sin \varphi_0 = \{4/\pi \cdot \alpha \cdot [(1 - \mu_1^2) + (1 - \mu_2^2) \cdot \psi]\}^{0,5}, \quad (1)$$

где $\alpha = P_0/(E_1 \cdot \epsilon)$; $\psi = E_1/E_2$.

Распределение контактного давления соответствует соотношению

$$p(\varphi) = p_{\max}[1 - (\varphi/\varphi_0)^2]^{0,5}. \tag{2}$$

Значение максимального давления в центре зоны контакта определяется по формуле

$$p_{\max} = 2 \cdot P_0 / (\pi \cdot R_1 \cdot \sin \varphi_0). \tag{3}$$

Среднее давление на контакте $p_{\text{ср}}$ определяется по формуле

$$p_{\text{ср}} = P_0 / (2 \cdot R_1 \cdot \varphi_0). \tag{4}$$

В таблице 1 приводятся значения контактных параметров опор скольжения узла вращения лопаток для пары трения «титановый сплав ВТ9 – кристалл частично стабилизированного диоксида циркония» в зависимости от радиальной нагрузки P , рассчитанные по формулам (1)-(4).

Табл. 1. Значения контактных параметров для пары трения «титановый сплав ВТ9 (вал) – керамика ЧСЦ (втулка)» $\varepsilon = 0,05$ мм в зависимости от радиальной нагрузки

Радиальная нагрузка на опору P , Н	Радиальная нагрузка на единицу длины контакта P_0 , Н/мм	Синус половины угла охвата $\sin \varphi_0$	Половина угла охвата φ_0 , град/рад	Максимальное контактное давление p_{\max} , МПа	Среднее давление на контакте $p_{\text{ср}}$, МПа
50	3,3	0,03	1,9/0,03	12,7	10
100	7	0,05	2,9/0,05	16	12,7
150	10	0,06	3,4/0,06	19,4	15,1
200	13	0,07	4/0,07	21,5	15,9
300	20	0,08	4,6/0,08	29	22,7

На рисунке 2 показано влияние радиального зазора на зависимость максимального контактного давления от погонной нагрузки.

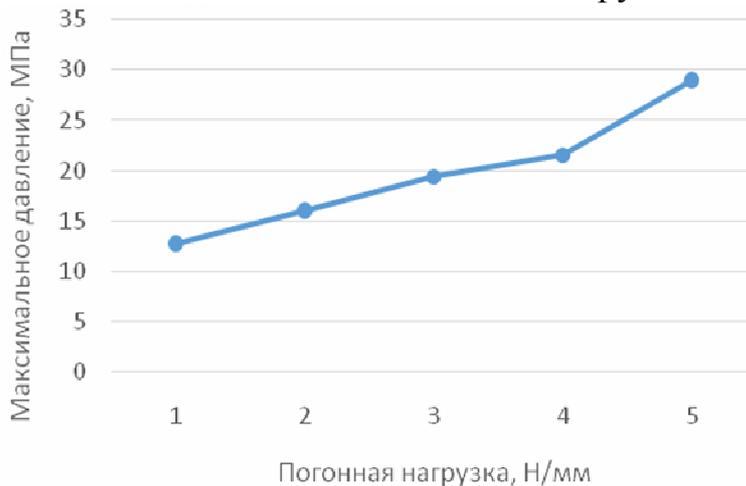


Рис. 2. Влияние погонной нагрузки на максимальное контактное давление при $\varepsilon_{\max} = 0,022$ мм

Наиболее опасным является максимальное контактное давление, которое зависит также от радиального зазора в подшипнике скольжения. Особенно опасно повышенное давление на кромках втулок подшипников, потому что образуются сколы.

Из анализа вычислений следует, что ужесточение допуска на радиальный зазор в подшипнике приводит к значительному снижению контактных давлений. На основе анализа работы узла трения типа вал-керамическая втулка установлено, что самым слабым местом в сопряжении являются области, граничащие с торцевыми поверхностями, где вследствие локального повышения контактного давления наиболее часто образуются трещины и сколы.

Список литературы

1. Huang Y., Jiang D., Zhang X., Liao Z., Huang Z. Enhancing toughness and strength of SiC ceramics with reduced graphene oxide by HP sintering // Journal of the European Ceramic Society. 2018, vol. 38, no. 13, pp. 29-37. – doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.05.033.
2. Alisin V.V. Predicting the reliability of friction type bearings with zirconium ceramic Bushing // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020, vol. 548, p. 052019. – doi: 10.1088/1755-1315/548/5/052019.
3. Павлов В.Г., Алисин В.В. Ресурс работы подшипника скольжения на основе кристаллов ЧСЦ с учетом температурного фактора // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 6. – С. 25-28.
4. Дроздов Ю.Н., Юдин Е.Г., Белов А.И. Прикладная трибология (трение, износ, смазка в технических системах). – М.: Изд-во: «Эко-Пресс», 2010. – 601 с.
5. Трение изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

Сведения об авторе:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник.