ПРОЧНОСТЬ И РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621. 817

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-4-239-28-30

А. В. Попов, А. А. Рожнов, И. В. Нотов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ШАРНИРНОМ ЭЛЕМЕНТЕ ВЕДУЩЕГО КОЛЬЦА СФЕРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА*

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: apopov34@rambler.ru

В работе проводится теоретическое исследование распределения напряжений ведущих звеньев сферического преобразующего механизма. Составлены и описаны схемы напряженно-деформированного состояния и действующих напряжений в ведущем элементе сферического механизма. Предложены способы повышения надежности и нагрузочной способности шарнирного соединения ведущего вала с ведущим кольцом сферического механизма.

Ключевые слова: сферический механизм, бесступенчатый привод, шарнирный элемент.

A. V. Popov, A. A. Rozhnov, I. V. Notov

RESEARCH OF THE STRESS DISTRIBUTION IN THE HINGE ELEMENT OF THE LEADING RING OF A SPHERICAL TRANSFORMING MECHANISM

Volgograd State Technical University

The article presents a theoretical study of the stress distribution of the leading links of the spherical transforming mechanism. Diagrams of the stress-strain state and stress fields in the leading element of a spherical mechanism are presented. Methods for improving the reliability and load capacity of the hinge drive shaft with the leading ring of the spherical mechanism are proposed.

Keywords: spherical mechanism, stepless drive, hinged element.

Проектирование сферических механизмов осложняется подбором и расчетом шарнирных элементов, на работу которых влияет множество факторов ввиду нетрадиционности их нагружения. Типовые схемы шарнирных элементов в сферических механизмах воспринимают сложные пространственные деформации на фоне значительных переменных силовых воздействий со стороны звеньев, поэтому разработка расчетных схем и моделирование их нагруженного состояния является актуальной задачей при проектировании сферических механизмов.

В предыдущих работах [1, 2], авторами были исследованы вопросы, связанные с распределением нагрузок и напряжений на звеньях и подшипнике качения [3] разработанных схем сферических механизмов с двумя и тремя сте-

пенями свободы. В обоих случаях выявлены повышенные нагрузки на ведущих (внутренних) кольцевидных звеньях, которые испытывают наибольшие деформации при максимальных частотах изменения их величин.

В данной статье рассматривается вопрос, связанный с исследованием распределения нагрузок и выработкой рекомендаций по проектированию и компоновке внутреннего шарнирного элемента сферического преобразующего механизма.

Передача вращающего момента от ведущего вала 1 (представлена на рисунке) сферического механизма осуществляется через цилиндрический шарнир 2, зафиксированный от осевого перемещения стопорными кольцами 3 во внутреннем кольце 4. Движущий крутящий мо-

мент $M_{кр}$ (рисунок, *а*) от двигателя передается ведущему валу сферического механизма, и далее через цилиндрический шарнир 2, который подвижно установлен с возможностью вращения перпендикулярно валу 1, усилие передается на внутреннее кольцо 4, являющееся ведущим звеном сферического механизма. В результате этого на площадках контакта ведущего вала 1 с шарниром 2, а также шарнира 2 с внутренним кольцом 4 возникают сминающие напряжения $\sigma_{см}$, а на границах контакта шарнира с ведущим

валом 1 и внутренним кольцом 4 – напряжения среза $\tau_{ср}$. Причем расстояние между площадками среза 1 определяется из разницы диаметра вала d_v и внутреннего диаметра внутреннего кольца по ранее определенным зависимостям для компоновки механизма [4].

Одной из особенностей проектирования такого шарнира является наличие конструктивных соотношений диаметров ведущего вала и шарнира: $d_v/d_{ш} = 2/1$, при этом должна быть обеспечена прочность на срез.

Расчетная схема и действующие напряжения на внутренний шарнир:

1 – ведущий вал; 2 – шарнир; 3 – стопорное кольцо; 4 – ведущее (внутреннее) кольцо; d_v – диаметр вала; $d_{ш}$ – диаметр шарнира; b_k – толщина кольца; l – расстояние между валом и внутренним кольцом; $\sigma_{см}$ – напряжения смятия; $\tau_{ср}$ – напряжения среза

Свободный поворот внутреннего кольца 4 относительно геометрической оси вращения ведущего вала 1 на регулируемый угол возможен только при посадке с гарантированными зазорами во всех сопряжениях шарнира 2. Исходя из этого ширина площадки смятия на внутреннем кольце 4 не может быть равна толщине кольца b_k ввиду необходимости расположения стопорных колец 3. В связи с этим длина контактной линии шарнира 2 с внутренним кольцом 4 будет зависеть от толщины кольца b_k и расстояния δ и будет равна $2(b_k - \delta)$. Наличие зазора в цилиндрических сопряжениях сводит задачу к решению контактной задачи взаимодействия цилиндра с отверстием, но для небольших и малых зазоров решение задачи Герца справедливо только для малых нагрузок.

В рассматриваемом шарнире зазоры можно считать малыми, т. к. относительный зазор $\varepsilon \approx 0,01$, т. е. диаметры отверстий в ведущем валу и внутреннем кольце почти равны диаметру шарнира $d_{ш}$. Учитывая, что упругие свойства материалов соприкасающихся деталей одинаковы, а силы трения в области контакта малы, то

для обеспечения прочности шарнира достаточно выполнения условий прочности по смятию и срезу на наиболее нагруженных участках.

При решении считалось, что усилия передаются в среднем сечении шарнира, а наиболее нагруженные участки находятся в части шарнира взаимодействующей с внутренним кольцом, поскольку длина линии контакта, и как следствие площадь контакта, как определилось выше, меньше. Из условий прочности по напряжениям смятия и среза для данного участка выведены дополнительные геометрические соотношения при проектировании элементов сферического механизма для обеспечения его работоспособности:

$$\frac{\sigma_k}{\sigma_g} = \frac{0,5d_g + l}{b_k - \delta},$$

$$\frac{\tau_k}{\tau_g} = 1 + \frac{2l}{d_g},$$

где σ_k и σ_g – напряжения смятия для внутреннего кольца и ведущего вала, τ_k и τ_g – напряжения среза для сечений шарнира у внутреннего кольца и ведущего вала.

Используя условия конструктивного исполнения [4] для сферического механизма и полученные дополнительные геометрические соотношения, было смоделировано напряженно-деформированное состояние шарнирного соединения ведущего вала в внутреннем кольцом сферического механизма для двух и трех степеней свободы (рисунок, б).

Анализ распределения напряжений в деталях подтвердил предположения о расположении наиболее нагруженных участков, а величины максимальных напряжений на них при различных углах наклона внутреннего кольца относительно геометрической оси ведущего вала не превысили предельно допускаемых величин.

Таким образом, используя дополнительные геометрические соотношения при проектировании сферических механизмов, в частности их внутренних шарниров, повышается надежность подвижных элементов и конструкции в целом. Решая обратную задачу с использованием полученных зависимостей имеем возможность обеспечивать заданную нагрузочную способность регулируемых приводов на основе сферических механизмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, А. В. Выбор конструкции и особенности напряженно-деформированного состояния шарнирных элементов преобразующего сферического механизма / А. В. Попов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 10 (233) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 62–64.
2. Попов, А. В. Моделирование и анализ деформаций звеньев сферического преобразующего механизма с двумя степенями свободы / А. В. Попов, И. В. Нотов, А. А. Рожнов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 3 (213) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2018. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 82–84.
3. Попов, А. В. Особенности выбора подшипника качения для сферического преобразующего механизма / А. В. Попов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 2 (237) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 52–54.
4. Попов, А. В. Условия конструктивного исполнения и анализ напряженно-деформированного состояния звеньев сферического преобразующего механизма с тремя степенями свободы / А. В. Попов, И. В. Нотов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 4 (227) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 42–45.