

## ВЛИЯНИЕ УГЛУБЛЕНИЯ В ОПОРЕ ШАРОВОГО ШАРНИРА НА ЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Иванов Г.Ю.*

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

**Ключевые слова:** шаровой шарнир, шаровая опора, шарнирное соединение, напряжение, контактное давление, износостойкость.

**Аннотация.** В данной работе был рассмотрен шаровой шарнир и возникающие в нем концентрации напряжений. Определены основные виды повреждения шаровых шарниров и износ был обозначен как основная причина отказа при эксплуатации шаровых шарниров. Были сравнены классическая конструкция шарового шарнира и конструкция с углублением в опоре. Построены соответствующие 3D модели шарниров. Проведен симуляционный анализ с использованием программного комплекса на базе конечных элементов Ansys. Из полученных данных можно было наблюдать, что при добавлении углубления в опору максимальное давление в шарнире уменьшилось. Было выявлено, что добавление углубления в опору шарового шарнира ведет к распределению напряжения на большую площадь и способно уменьшить концентрацию напряжения в опоре шарового шарнира.

## EFFECT OF RECESS IN THE BALL JOINT SUPPORT ON ITS STRESSES

*Ivanov G.Yu.*

*A.A. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Moscow*

**Keywords:** ball joint, ball bearing, joint connection, stress, contact pressure, wear resistance.

**Abstract.** In this paper, the ball joint and the stress concentrations occurring in it have been considered. The main types of ball joint damage were identified and wear was identified as the main cause of failure in ball joint operation. The classical ball joint design and the design with a recess in the support were compared. The corresponding 3D models of the ball joints were constructed. Simulation analysis was carried out using Ansys finite element-based software package. From the data obtained, it could be observed that by adding a recess in the support, the maximum pressure in the joint decreased. It was found that adding a recess in the ball joint support leads to stress distribution over a larger area and can reduce the stress concentration in the ball joint support.

**Введение.** Сложно назвать механизм, не использующий шарниры. Будь то роботы, различные манипуляторы, машины или обычные бытовые приборы. Если что-то двигается, то высока вероятность, что за это ответственен некий шарнир. Шарниры, предназначены для сочленения элементов направляющего аппарата и представляют собой кинематические пары, в которых реализуются по три угловые степени свободы при линейном перемещении звеньев. Такие шарниры относятся к ответственным соединениям, т.к. воспринимают в связях значительные нагрузки во всех направлениях: вертикальные – от веса, горизонтальные – от тормозных сил и сил тяги. В данной работе рассматривается шаровый шарнир, или как его часто называют сферический шарнир [1-3].

Шаровые пальцы испытывают при эксплуатации многоцикловые знакопеременные нагрузки, что приводит к исчерпыванию ресурса детали по двум направлениям: абразивному износу сферической части шарового пальца и усталостному износу металла в опасном сечении перехода сферической части в коническую часть шарового пальца. Кроме того, для шарового пальца характерны также деформация и коррозионное повреждение (рис. 1).

Основной причиной отказов при эксплуатации сферических шарниров машин является их износ. Критерием долговечности для сферических шарниров служит нормативная предельная величина линейного зазора между шаровым пальцем и корпусом (вкладышем). В связи с неравномерностью распределения нагрузки и непостоянством относительных перемещений контактирующих зон в трибосопряжении наконечника рулевой тяги возникает неравномерный износ поверхности шарового пальца. В связи со сложностью определения

механизма и интенсивности изнашивания, процесс моделирования износа в шаровых соединениях транспортных машин является необходимой, объемной и, следовательно, достаточно сложной задачей. В основу разрабатываемой модели изнашивания шарового соединения принято положение: износ прямо пропорционален удельному давлению на поверхность трения и перемещению заданной точки поверхностного слоя шарнира, т.е. выполненной силой трения работе, и обратно пропорционален твердости поверхностей трения [4, 5].



Рис. 1. Виды повреждений шаровых шарниров [1]

Высокий износ сферических шарнирных соединений в результате трения, коррозии и невозможность восстановления необходимых характеристик в ходе ремонта поврежденных элементов требует детального рассмотрения условий нагружения и проработке новых способов увеличения долговечности. Это так же актуально практически для любых шарниров, которые имеют задачу удерживать что-либо в одном положении. Современные регулируемые сферические шарниры представляют шаровую опору, закрепленную либо удерживающим винтом, либо прижимной шайбой (кольцом) [6, 7].

Конструкция обыкновенного сферического шарнира представлена на рисунке (рис. 2). Он состоит из гнезда, шарикового пальца (шарика), опоры и зажимного кольца. Шариковый палец вставляется в опору, затем вместе с опорой помещается в гнездо, где потом зажимается кольцом. Данный шарнир имеет 3 степени свободы.

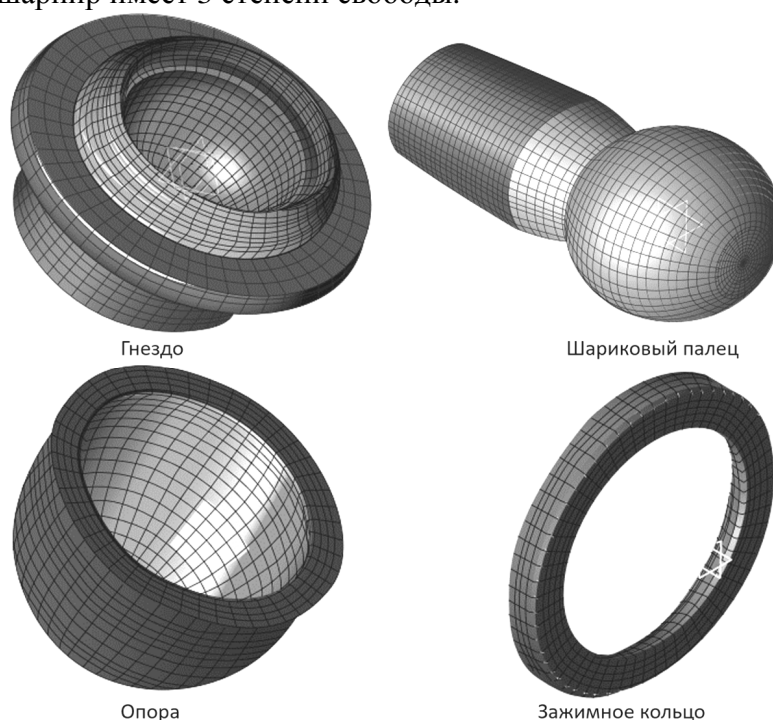


Рис. 2. Части шарового шарнира

У шарикового пальца диаметр немного меньше, чем у опоры, в которую он вставляется. Без этой условности невозможно было бы движение самого шарнира из-за высокого трения. Но это порождает ряд других проблем. Из-за несходства диаметров шариковый палец при движении касается опоры только лишь в одной точке. При наличии нагрузки на шарнир это вызывает концентрацию напряжения в данной точке, а также приводит к интенсивному износу шарнира, а в противном случае, к его деформации [8, 9].

Рассматривается конструкция шарового шарнира, которая учитывает данные проблемы. В опоре шарнира прodelывается круглое углубление (рис. 3) меньше диаметра шарикового пальца.

Благодаря этому углублению, когда шаровой палец находится в опоре, то напряжение вместо точки, распределяется по диаметру углубления (рис. 4). Размер углубления может варьироваться в соответствии со множеством параметров, таких как размер шарнира, материал шарика, нагрузка на шарнир и т.д. [10].

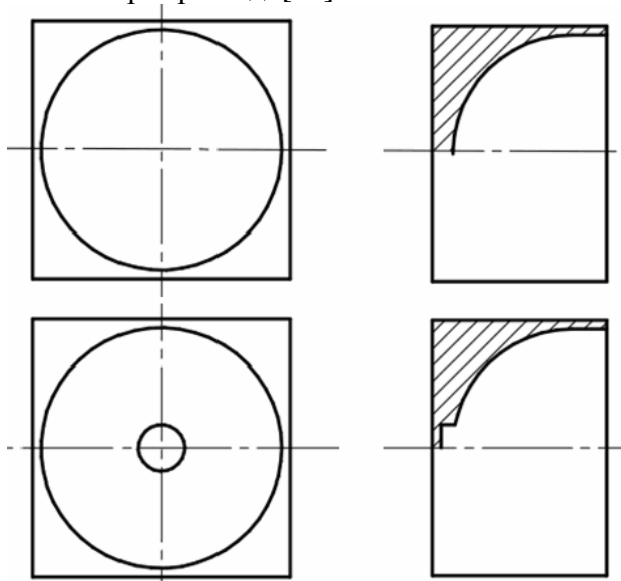


Рис. 3. Обычная опора (сверху) и опора с углублением (снизу)

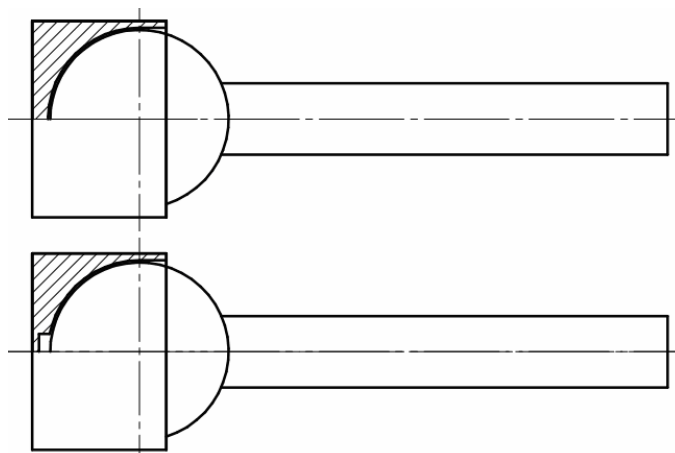


Рис. 4. Палец в опорах без углубления (сверху) и с углублением (снизу)

**Метод исследования.** Для оценки влияние углубления в опоре на износ шарнира был проведен симуляционный анализ в среде Ansys. Были построены упрощенные модели шарового шарнира без углубления и с углублением (рис. 5).

Через инструментарий Ansys двум моделям были заданы различные вариации параметров вращения и давления, соответствующие работе шарового шарнира. При симуляции модели шарнира без углубления сразу становится видно (рис. 6) место концентрации напряжения. Оно сконцентрировано в одной точке лежащей ровно на оси вращения шарнира.

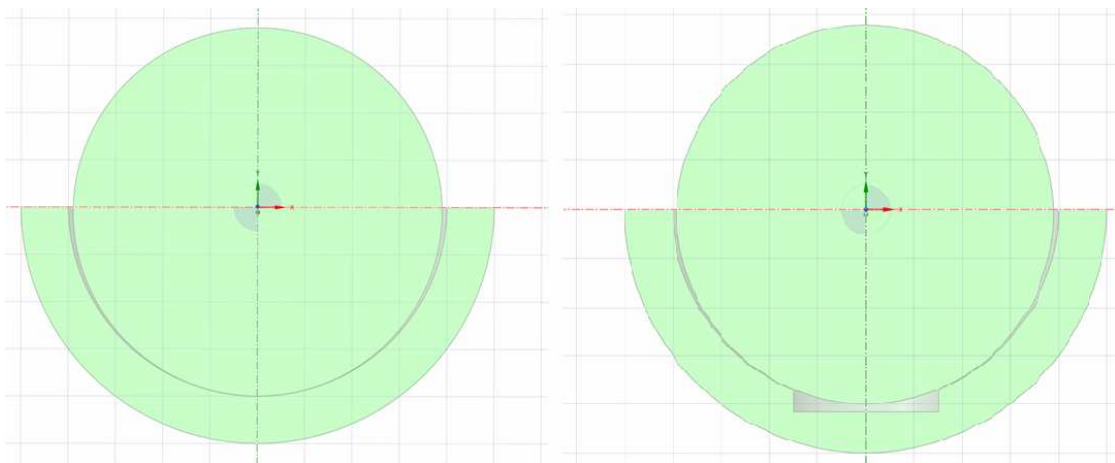


Рис. 5. Модель без углубления (слева) и модель с углубление (справа)

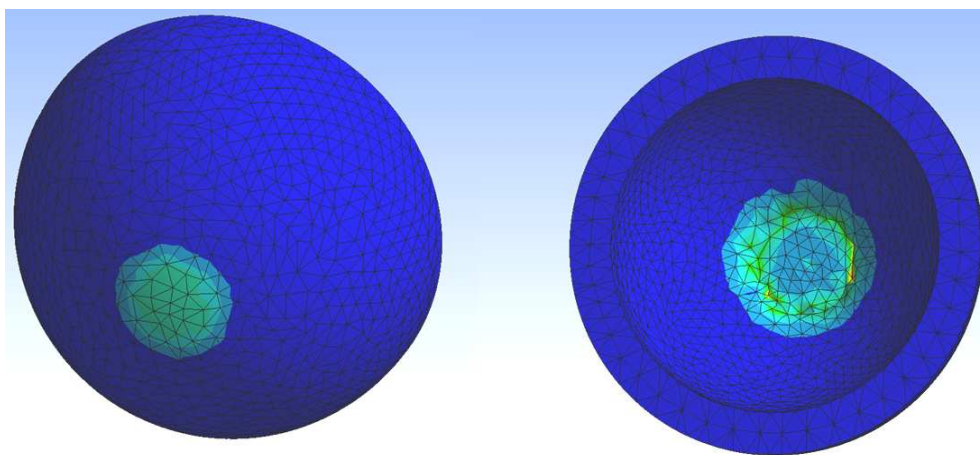


Рис. 6. Концентрация напряжений на модели без углубления снаружи опоры (слева) и внутри опоры (справа)

При симуляции же модели с углублением напряжение распределяется по диаметру самого углубления (рис. 7), что приводит к понижению концентрации давления в одной точке за счет увеличения площади контакта двух тел.

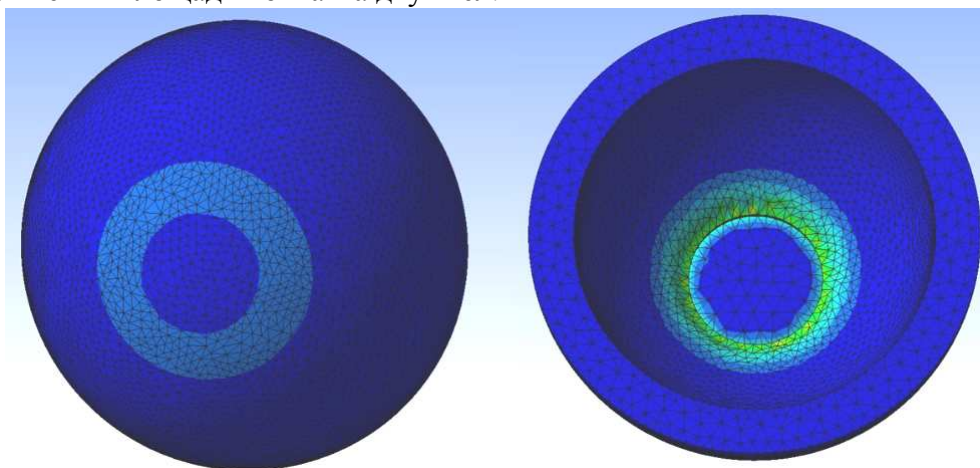


Рис. 7. Концентрация напряжений на модели с углублением снаружи опоры (слева) и внутри опоры (справа)

Был проведен ряд испытаний в среде Ansys. На опору шарового шарнира диаметром 10 см вдавливался шарик с диаметром 9,8 см с постоянной силой равной 10 Н. На рисунке (рис. 8) показан график зависимости напряжения (в процентах) от диаметра углубления. За 100% принято максимальное напряжение в опоре без углубления.

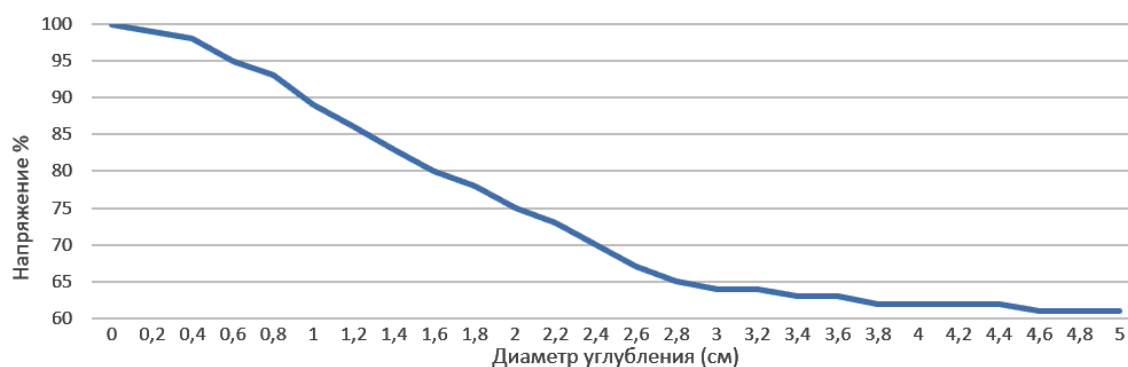


Рис. 8. График зависимость напряжения от диаметра углубления

**Результат.** Как можно увидеть из графика максимальное давление в шарнире уменьшилось на 39%. Важно отметить, что модель, рассматриваемую в данной статье, целесообразнее применять к шаровым шарнирам, которые большую часть времени находятся соосно с центром опоры.

**Заключение.** Моделирование работы шарового шарнира методом конечных элементов на базе Ansys выявило, что добавление углубления в опору шарового шарнира ведет к распределению напряжения на большую площадь и способно уменьшить давления в шарнире.

#### Список литературы

1. Радченко С.Ю., Новиков А.Н., Катунин А.А., Тебекин М.Д. Анализ видов повреждений шаровых шарниров // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №1(36). – С. 8-14.
2. Смирнов Ю.П. Об эффектах трения в сферическом шарнире // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 2. – С. 387-394.
3. Матвиенко С.А., Лукичев А.В., Стрельник Ю.Н. Моделирование кинематики при работе сферических шарниров дорожных машин для повышения безопасности их эксплуатации // Вестник ДонНТУ. – 2019. – №1(15). – С. 40-47.
4. Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н. Анализ условий эксплуатации шаровых шарниров для синтеза технологии их обработки на основе моделирования их износа // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXVI международной научно-технической конференции. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 244-252.
5. Михайлов А.Н., Голубов А.Н. Расчет относительных перемещений в системе втулка-палец шаровой опоры // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – №4(55). – С. 10-17.
6. Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н. Реализация функционально-ориентированного подхода к финишной обработке шаровых опор на основе направленной виброрезонансной обработки // Механика XXI века. – 2018. – №17. – С. 215-221.
7. Богданович А.В. О расчет-экспериментальной оценке работоспособности шаровых шарниров шасси транспортного средства. Ч. 1. Расчет по критерию прочности // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – №1. – С. 77-81.
8. Lo'pez-Custodio P.C., Fu R., Dai J.S., Jin Y. Compliance model of Exechon manipulators with an offset wrist // Mechanism and Machine Theory. 2022, vol. 167, p. 104558.
9. Huang G., Zhang D., Zou Q. Neural network and performance analysis for a novel reconfigurable parallel manipulator based on the spatial multiloop over constrained mechanism // International Journal of Aerospace Engineering. 2020, vol. 1-21, p. 8878058.
10. Liang J., Lei S., Li K. Optimization calculation method and weighing test of static friction coefficient of RPC spherical joint based on half space contact model // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol 446, p. 052034. doi.org/10.1088/1755-1315/446/5/052034.

#### References

1. Radchenko S.Yu., Novikov A.N., Katunin A.A., Tebekin M.D. Analysis of the types of damage of ball joints // World of transport and technological machines. 2012, no. 1(36), pp. 8-14.
2. Smirnov Yu.P. About friction effects in a spherical joint // News of TulSU. Technical sciences. 2012, vol. 2, pp. 387-394.
3. Matvienko S.A., Lukichev A.V., Strelnik Yu.N. Modeling of kinematics at work of spherical joints of road machines to improve the safety of their operation // Bulletin of DonNTU. 2019, no. 1(15), pp. 40-47.
4. Mikhailov A.N., Lukichev A.V., Matvienko S.A., Strelnik Y.N. Analysis of operating conditions of ball joints for synthesis of their processing technology based on modeling of their wear // Mechanical Engineering and

Technosphere of the XXI century: Proceedings of the XXVI International Scientific and Technical Conference. – Donetsk: DonNTU, 2019. – P. 244-252.

5. Mikhailov A.N., Golubov A.N. Calculation of relative displacements in the system of bushing-finger system of the ball bearing // Progressive technologies and systems of mechanical engineering. 2016, no. 4(55), pp. 10-17.
6. Mikhailov A.N., Lukichev A.V., Matvienko S.A., Strel'nik Yu.N. Realization of the function-oriented approach to the ball bearing finishing on the basis of the directed vibration resonance processing // Mechanics of XXI century. 2018, no. 17, pp. 215-221.
7. Bogdanovich A.V. About calculation-experimental estimation of serviceability of ball joints of vehicle chassis. Part 1. Calculation by the strength criterion // Mechanics of machines, mechanisms and materials. 2019, no. 1, pp. 77-81.
8. Lo'pez-Custodio P.C., Fu R., Dai J.S., Jin Y. Compliance model of Exechon manipulators with an offset wrist // Mechanism and Machine Theory. 2022, vol. 167, p. 104558.
9. Huang G., Zhang D., Zou Q. Neural network and performance analysis for a novel reconfigurable parallel manipulator based on the spatial multiloop over constrained mechanism // International Journal of Aerospace Engineering. 2020, vol. 1-21, p. 8878058.
10. Liang J., Lei S., Li K. Optimization calculation method and weighing test of static friction coefficient of RPC spherical joint based on half space contact model // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, vol 446, p. 052034. doi.org/10.1088/1755-1315/446/5/052034.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Иванов Глеб Юрьевич</b> – младший научный сотрудник glebobobo@mail.ru	<b>Ivanov Gleb Yuryevich</b> – junior researcher
-----------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------

*Получена 17.07.2023*