

УДК 629.113

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ШАРОВОГО ШАРНИРА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ

В.В. Сальников, И.А. Михайловский, И.Г. Гун / ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Шаровые шарниры подвески и рулевого управления являются ответственными узлами, в значительной степени определяющими безопасность эксплуатации транспортных средств. Важнейшие регламентированные параметры качества шаровых шарниров с цельноковаными корпусами — моменты качания и вращения шарового пальца, моменты страгивания при качании и вращении, осевые и радиальные упругие перемещения шарового пальца, прочностные характеристики (в зависимости от конструкции) — усилие выдавливания или вырыва шарового пальца из корпуса — формируются на операциях сборки шарнира. Перспективным вариантом формирования соединения в производстве шаровых шарниров является сборка запрессовкой корпуса [1].

Моделирование процесса запрессовки корпуса шарового шарнира с применением метода конечных элементов позволило получить, в том числе, геометрическое описание деформации корпуса, а следовательно, и геометрию полученного соединения. Геометрия сформированного бурта и механические свойства материала корпуса в значительной степени определяют величину усилия выдавливания шарового пальца при статических испытаниях на прочность соединения. Исследование процесса запрессовки и интерпретация полученных результатов потребовали моделирования процесса выдавливания шарового пальца из корпуса шарнира с целью определения (на этапах проектирования конструкции шарнира и сборочной операции) достигаемых прочностных параметров соединения и, соответственно, формирования требуемого уровня качества продукции. Схема испытаний по определению осевого усилия выдавливания $R_{\text{выд}}$ шарового пальца из корпуса шарнира приведена на рис. 1.

Нагружение ведется до разрушения соединения. Величина силы $P_{\text{выд}}$, при которой произошло разрушение, является характеристикой прочности соединения.

Под разрушением в данном случае понимается превышение главными напряжениями пределов прочности. Для проведения проверки на прочность

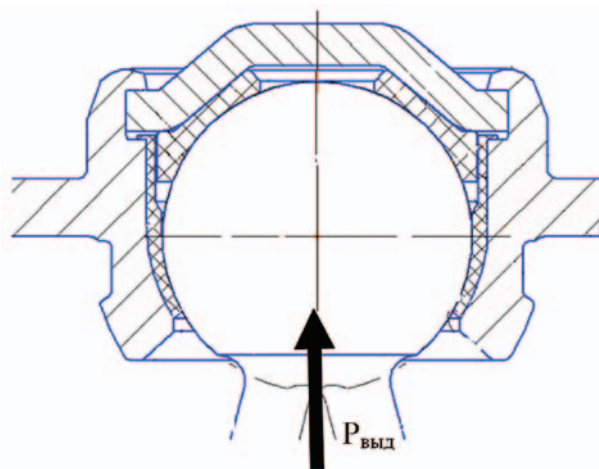


Рисунок 1. Схема процесса выдавливания

при заданной нагрузке необходимо найти распределение напряжений в корпусе шарового шарнира.

Задачу определения параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) в корпусе можно считать осесимметричной контактной изотермической задачей упругости. Математическая постановка задачи сформулирована следующим образом: пусть шаровой шарнир занимает область Ω (Ω_1 — корпус, Ω_2 — обойма вкладыша, Ω_3 — вкладыш, Ω_4 — палец) с границей Γ ($\bar{\Omega}_1 = \Omega \cup \Gamma$) (рис. 2).

Параметры НДС в исследуемой области должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$\sigma_{ij,j}(r) = 0, \quad r \in \Omega \quad (1)$$

• **физическим соотношениям:**

$$\sigma_{ij}(r) = C_{ijmn}(r) \varepsilon_{mn}(r), \quad r \in \bar{\Omega} \quad (2)$$

$$\text{где } C_{ijmn} = 2G((\mu / (1 - 2\mu)) \delta_{ij} \delta_{mn} + \delta_{im} \delta_{jn}) \quad (3)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i=j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \text{ — символ Кронекера;}$$

$G = 0,5E / (1 + \mu)$ — модуль сдвига материала;

E — модуль упругости;

μ — коэффициент Пуассона;

• **геометрическим соотношениям:**

$$\varepsilon_{ij}(r) = 1/2(U_{i,j}(r) + U_{j,i}(r)), \quad r \in \bar{\Omega} \quad (4)$$

при следующих граничных условиях:

• **для точек на нижней части шара пальца:**

$$\sigma_n = p, \quad \tau = 0, \quad r \in \Gamma_1 \quad (5)$$

• **для точек на оси симметрии и на поверхности Γ_3 :**

$$U_n = \tau = 0, \quad r \in \Gamma_2, \Gamma_3 \quad (6)$$

• **для точек свободной поверхности:**

$$\sigma_n = \tau = 0, \quad r \in \Gamma_4 \quad (7)$$

На поверхности Γ_5 , разделяющей палец и вкладыш, вкладыш и обойму вкладыша, обойму вкладыша и корпус, задаются контактные условия:

$$U_n = 0, \quad \tau = f\sigma_n, \quad \text{при } f\sigma_n \leq \tau_T, \quad (8)$$

$$U_n = 0, \quad \tau = \tau_T, \quad \text{при } f\sigma_n > \tau_T$$

$$U_n = U_\tau = 0, \quad \text{при } \sigma_n \leq f\sigma_n$$

Здесь $\tau_T = \sigma_T / \sqrt{3}$ — предел текучести материала на сдвиг; f — коэффициент трения (на поверхности CD принимался равным 0,05); σ_n, σ_τ — нормальная и тангенциальная составляющие тензора напряжений для точек контактной поверхности.

Силу, приложенную к пальцу, можно определить, умножив давление p на площадь сечения шара пальца:

$$P_{\text{свод}} = p \pi r^2, \quad (9)$$

где r — радиус шара пальца.

Численное решение данной задачи получено с помощью метода конечных элементов. На рис. 3 приведено распределение главных напряжений вблизи полученного в результате запрессовки соединения для одного из случаев численного решения. В рассмотренном варианте на контактной поверхности CD реализуются условия полного прилипания (3-я строка соотношений (8)). В этом случае проскальзывание по данной поверхности отсутствует, а поля на-

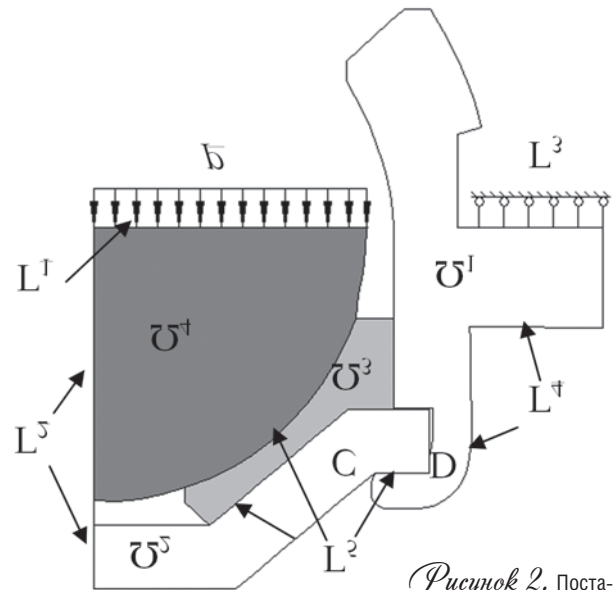


Рисунок 2. Постановка задачи выдавливания шарового пальца

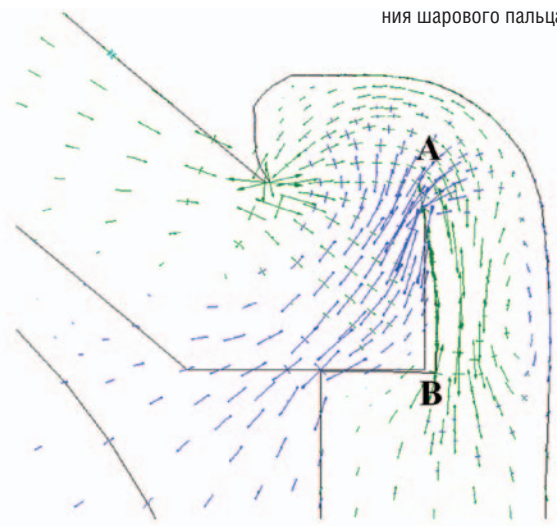


Рисунок 3. Распределение главных напряжений при выдавливании шарового пальца

пряжений не терпят разрыва, что можно наблюдать на рис. 3.

Анализ напряжений, полученных в результате вычислительного эксперимента для одного из вариантов конструкции шарового шарнира, например, показал, что наибольшие растягивающие напряжения и максимальная интенсивность напряжений σ_i возникают на поверхности АВ корпуса, причем ближе к точке А (рис. 3). Как показали проведенные расчеты, если предел прочности σ_b и предел текучести материала корпуса принять равным начальному пределу прочности в 610 МПа, то первое главное напряжение и интенсивность напряжений достигают данного значения при давлении p , равном 90 МПа.



Рисунок 4. Внешний вид корпуса до запрессовки, изделия после запрессовки и после испытания на выдавливание шарового пальца из корпуса

Для сферической поверхности шарового пальца с диаметром 30 мм подобное давление соответствует усилию в 63,61 кН. Немного раньше по сравнению с интенсивностью напряжений достигает критического значения в 610 МПа первое главное напряжение. Поэтому можно заключить, что разрушение будет иметь скорее характер хрупкого откола с появлением трещины вблизи точки А, чем пластического отгибания.

Для проверки сходимости с результатами, полученными при моделировании процесса, в лаборатории ЗАО НПО «БелМаг» на 10-ти изделиях было проверено усилие выдавливания шарового пальца из корпуса с помощью универсальной испытательной машины «Tiratest 2300» с максимальным усилием 100 кН. Фактическое усилие выдавливания испытанных изделий находилось в диапазоне 63,68÷69,60 кН, что выше минимально требуемого значения 49,05 кН. Разница между расчетным при проведении моделирования (63,61 кН) и фактическими значениями составила 0,1÷9,4%, причем фактические значения больше расчетных. Это позволяет сделать вывод об удовлетворительной сходимости результатов разработанных математических моделей с экспериментальными данными.

Внешний вид корпуса до запрессовки, изделия после запрессовки и после испытания на выдавливание шарового пальца из корпуса представлены на рис. 4. Характер разрушения бурта при выдавливании подтверждает выводы, сделанные в процессе моделирования, что по величине и распределению напряже-

ний разрушение наиболее вероятно в месте перегиба путем отрыва бурта, а не его разгибания.

Таким образом, математическое моделирование процесса разрушения неразъемного соединения, формируемого в процессе сборки шаровых шарниров запрессовкой, позволяет на этапах проектирования конструкции и определения параметров сборочной операции оценить степень соответствия прочностных свойств соединения регламентированному уровню. Численная реализация математической модели процесса разрушения показала удовлетворительную сходимость с результатами экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А. Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. № 4. — С. 47-50.