

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ В ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОМ СФЕРИЧЕСКОМ ШТАМПЕ

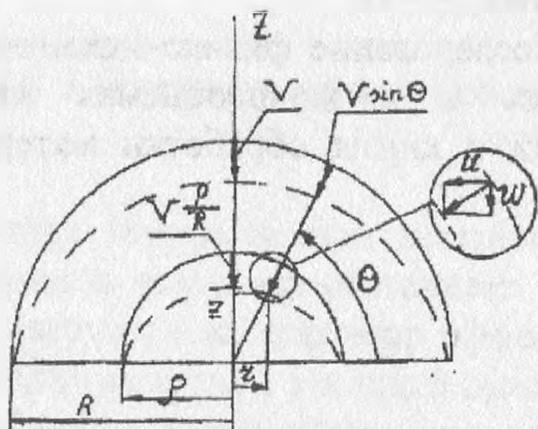
А.В. Карпушко, Д.Н. Свирский, Г.Н. Федосеев

*Витебский государственный технологический университет  
Московский проспект, 72, Витебск, 210035, Республика Беларусь  
e-mail: {karpushko, svirsky}@vstu.unibel.by*

Эффективное внедрение прогрессивных методов листовой штамповки в мелкосерийное производство машиностроительной продукции требует замены металлических деталей штампа на сделанные из более дешевых композиционных материалов. В статье рассматривается задача определения перемещений, деформаций и напряжений в однородном трансверсально-изотропном сферическом штампе из подобного композиционного материала при его осесимметричной деформации. Дан анализ напряженного состояния в штампе. На его основе возможен обоснованный выбор наиболее дешевого композиционного материала штампа с минимально необходимыми прочностными характеристиками.

Широкому внедрению прогрессивных методов листовой штамповки в область мелкосерийного производства препятствует высокая трудоемкость и стоимость изготовления металлической технологической формообразующей оснастки – пуансонов и матриц штампов [1]. Применение в качестве конструкционного материала сменных формующих элементов штампов относительно дешевых неметаллических композитов, в частности древесных, в сочетании с оригинальной технологией их послойного синтеза позволяет во многом решить указанную проблему [2]. В работе рассматривается задача определения перемещений, деформаций и напряжений в однородном трансверсально-изотропном полушаровом штампе из композиционного материала при его осесимметричной деформации. Плоскости изотропии, проходящие через каждую точку тела, нормальны к его геометрической оси (оси вращения), а распределение усилий обладает симметрией вращения относительно той же оси (рис 1,а). Штамп рассматривается в цилиндрической системе координат (начало координат находится в центре шара, ось Z совпадает с осью вращения и пересекает сферическую границу штампа в “полюсе”).

а)



б)

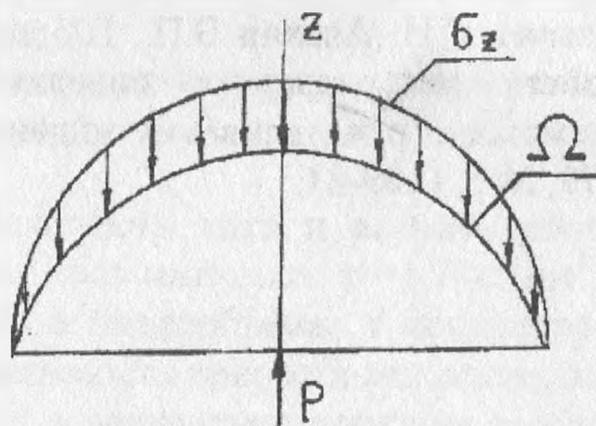


Рис. 1. Схемы к расчету напряжений в штампе.

Нормальные смещения точек сферической границы штампа считаются пропорциональными синусу дуги меридиана полушара, наибольшим считается перемещение "полюса". Такими же полагаются перемещения, нормальные ко всякой сфере, проведенной внутри штампа. Плоская поверхность штампа остается плоской. Наибольшим при этом получается перемещение "полюса" сферы  $V$ , пропорциональное ее радиусу  $\rho$ . Принятые перемещения разлагают на радиальные  $u$  и осевые  $w$  составляющие.

Для произвольной точки с координатами  $\rho, r, \theta$  получим:

где 
$$u = -V \frac{\rho}{R} \sin \theta \cos \theta; \omega = -V \frac{\rho}{R} \sin^2 \theta;$$

$$\rho = \sqrt{r^2 + z^2}; \sin \theta = \frac{z}{\rho}; \cos \theta = \frac{r}{\rho}.$$

Тогда

$$u = -\frac{V}{R} \frac{z \cdot r}{\sqrt{z^2 + \rho^2}}; \omega = -\frac{V}{R} \frac{z^2}{\sqrt{z^2 + \rho^2}}.$$

В дальнейшем, используя подход из работ [3], находят деформации в принятой цилиндрической системе координат и, с помощью обобщенного закона Гука, напряжения в штампе.

Деформации:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}; \varepsilon_r = \frac{u}{r}; \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z}; \gamma_{rz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r}.$$

Напряжения:

$$\begin{pmatrix} \sigma_r \\ \sigma_\theta \\ \sigma_z \\ \tau_{rz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & 0 \\ A_{12} & A_{11} & A_{13} & 0 \\ A_{13} & A_{13} & A_{33} & 0 \\ 0 \dots 0 \dots 0 \dots A_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{rz} \end{pmatrix},$$

где  $A_{ij}$  – модули упругости;  $(A_{ij}) = -(a_{ij})$ ,  $(a_{ij})$  – коэффициенты деформации, равные:

$$(a) = \begin{pmatrix} \frac{1}{E} - \frac{\mu}{E} - \frac{\mu'}{E'} \dots 0 \\ \frac{\mu}{E} - \frac{1}{E} - \frac{\mu'}{E'} \dots 0 \\ \frac{\mu'}{E'} - \frac{\mu'}{E'} - \frac{1}{E'} \dots 0 \\ 0 \dots 0 \dots 0 \dots \frac{1}{G} \end{pmatrix},$$

При этом осевые напряжения связываются условием равновесия с нагрузкой, действующей на плоскую границу штампа

$$\int_{\Omega} \sigma_z d\omega = P,$$

откуда находится наибольшее перемещение в “полюсе” сферической границы штампа (рис. 1,б).

В ходе расчетов установлено, что параметром, ограничивающим технологические возможности штамповки, является высокая контактная нагрузка в полюсе сферического штампа. Анализ этого параметра позволяет осуществить оптимальный выбор композиционного материала штампа в соответствии с внешними нагрузками. При этом с целью снижения неоправданной избыточной прочности штампа и напрямую связанных с этим материальных затрат предусматривается обоснованный проведенными расчетами выбор коэффициента запаса.

### Список литературы.

1. Карпушко А.В., Свирский Д.Н. Эффективное внедрение листовой штамповки в мелкосерийном производстве // Прогрессивные технологии обработки материалов. Минск: БГПА, 1998. С. 79 – 80.
2. Карпушко А.В., Свирский Д.Н. Концепция компьютеризированной технологии производства формообразующей оснастки для мелкосерийной листовой штамповки // Там же. С. 81 – 82.
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 415 с.