

*В.И. ЛАВИНСКИЙ*, д-р. техн. наук, *С.И. ПАНАСЕНКО* (г. Харьков)

## **ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА**

Надана методика оцінки граничного тиску для формоутворення сферичної витяжки заданої глибини в тонкій пластині під дією рівномірного тиску. Кількісні дані приведені для пластин з кузовних автомобільних сталей.

The method of estimation of maximum pressures for creation of spherical extraction of the set depth in a lamina under action of even pressure is given. Quantitative information is resulted for plates from basket motor-car steels.

*Введение.* Современное состояние машиностроения характеризуется широким использованием тонкостенных элементов в конструкциях. При ремонтных и восстановительных операциях кузовных элементов современных автомобилей активно применяются вытяжные устройства с гидроцилиндрами, пневморихтовщики, комплекты для точечной вытяжки и т.п. . Одним из основных параметров в таких операциях является создание необходимых по величине давлений.

В настоящей работе предпринята попытка разработки методики оценки предельных по величине давлений для создания сферической по форме вытяжки. Вытяжка заданной глубины формируется в тонкой пластинчатой заготовке из специальной стали, применяемой в автомобилестроении для производства кузовных элементов. На основе результатов анализа разработанной механико-математической модели процесса вытяжки (штамповки) сферической лунки заданного радиуса в плоском стальном листе получены медианные зависимости предельных давлений от глубины лунки в заданном доверительном интервале, определяемом по случайным отклонениям физико-механических свойств материала.

### *Механико-математическая модель участка кузовного элемента.*

Расчетная модель процесса штамповки сферической лунки радиуса  $R$  и максимальной глубины  $w$  в плоском стальном листе толщиной  $t$  схематично приведена на рис.1. К круглой листовой заготовке, которая на наружном радиусе обжата двумя массивными кольцами, прикладывается квазистатическое равномерное давление  $P(r) = p$ . Прижимные кольца закреплены в направляющих пресс-формы.

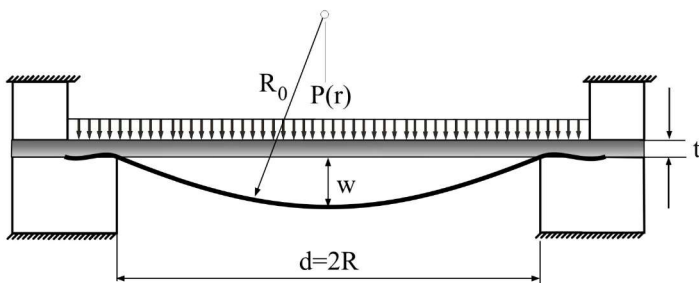
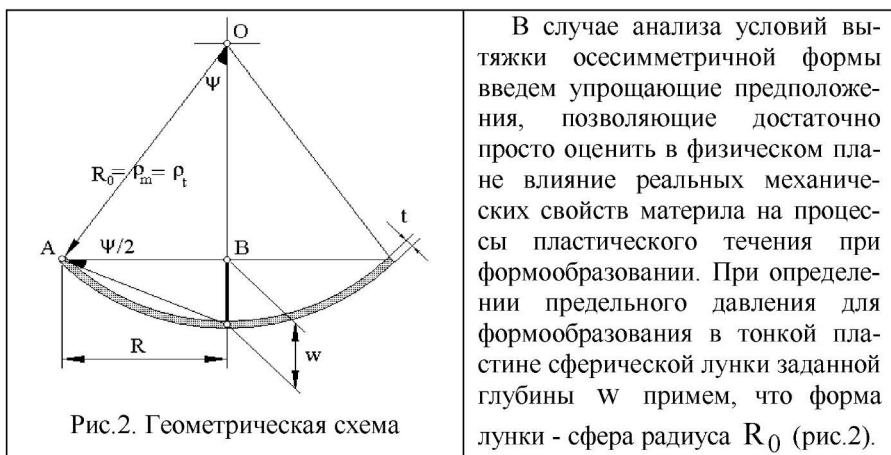


Рис.1. Расчетная модель сферической вытяжки

Сила прижима заготовки в кольцах определяется из решения соответствующей смешанной контактной задачи для структурно связанных систем с использованием программного комплекса SPACE-T [2,3].



Кроме этого примем, что влияние эффектов контактных взаимодействий в граничных закреплениях заготовки незначительно. Так как толщина пластинки  $t$  является достаточно малой величиной  $t/R \leq 0,1; t/R_0 \leq 0,1$  по сравнению с радиусом сферической лунки  $R_0$  и радиусом круглой заготовки диаметром  $2R$ , то при рассматриваемых законах нагружения с высокой степенью достоверности можно принять закон равномерного распределения напряжений по толщине заготовки. Кроме этого, предполагаем, что выполняются условия простого нагружения, приводящие к известным условиям деформационной теории пластичности.

**Основные уравнения состояния участка кузовного элемента.** При принятых выше допущениях, обобщенные уравнения состояния при холодной вытяжке приняты в виде тензорно-линейных соотношений:

$$\varepsilon_{ij} = A_{ijkl} \sigma_{kl}, \quad (1)$$

где  $\sigma = \sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon = \varepsilon_{ij}$  тензоры напряжений и деформаций;  $A_{ijk\ell}$  - компоненты тензора, которым определяются свойства деформирования материала. Для упруго-пластического деформирования приведенные соотношения в форме переменных параметров упругости соответствуют теории малых упруго-пластических деформаций Ильюшина, причем компоненты тензора  $A_{ijk\ell}$  определяются в виде:

$$A_{ijk\ell} = \frac{1}{E_*} \left[ (1 + \nu_*) \delta_{ik} \delta_{j\ell} - \nu_* \delta_{ij} \delta_{k\ell} \right], \quad (2)$$

где  $E_*$ ,  $\nu_*$  - переменные параметры упругости, которые имеют известные выражения через интенсивности напряжений и деформаций, отвечающих диаграмме деформирования. Соотношения (1), (2) являются справедливыми для простых или близких к ним процессах нагружения.

Для сложных процессов нагружения целесообразно использовать теории пластического течения. В работе использована теория Прандтля-Рейса с соотношениями:

$$d(\varepsilon_{ij})_p = \frac{1}{2G} \left[ d\sigma_{ij} - \delta_{ij} \frac{3\nu}{1+\nu} d\sigma_0 \right] + \frac{1}{\sigma_i} \sqrt{\frac{3}{2}} d(\varepsilon_{ij})_p d(\varepsilon_{ij})_p (\sigma_{ij} - \delta_{ij} \sigma_0). \quad (3)$$

К уравнениям (3) добавлена зависимость между интенсивностью напряжений и мерой пластической деформации в виде  $\sigma_i = H(\chi(\varepsilon_i^p))$  и теория пластичности, ассоциированная с условиями пластичности для изотропных материалов с трансляционным анизотропным упрочнением:

$$d\varepsilon_{ij} = A_{ijk\ell} d\sigma_{ij}. \quad (4)$$

Использование приведенных соотношений в дальнейших количественных расчетах предполагает наличие достоверной информации о диаграммах деформирования материала. Испытания проводились на разрывной машине FP 100/1, которая оснащена индукционным силовым измерителем и усовершенствованным диаграммным аппаратом для съема информации в бортовой компьютер. Из кузовных элементов (крылья, крышки капотов и другое) выбирались практически плоские участки, из которых далее были изготовлены стандартные плоские образцы. Результаты проведенных серийных испытаний (количество образцов в серии 7...15) для автомобильных сталей, используемых известными фирмами — ВАЗ, Mitsubishi, Opel, обработаны с помощью статистического пакета MicroCAL Origin 6.0. Медианные диаграммы растяжения с доверительной вероятностью 0,95 далее использованы в расчетах по определению предельных давлений при вытяжке сферической формы заданной глубины.

**Количественные результаты.** Решим задачу приближенно, принимая, что напряженное состояние является безмоментным и форма вытяжки близка

к сферической. С учетом геометрической схемы процесса вытяжки (рис.2) для сферической формы интенсивность деформации равна  $\varepsilon_i = \frac{4}{3} \frac{w^2}{R^2}$ . Задаваясь величиной прогиба  $w$ , далее в условиях простого нагружения по диаграмме деформирования (рис.3) определяем величину интенсивности напряжений  $\sigma_i = \frac{pR^2}{4tw}$ . Принимая толщину плоской заготовки  $t = 1\text{мм}$ , радиус сферической вытяжки  $R = 30\text{мм}$ , легко определить величину давления  $p$ . Результаты указанных расчетов показаны на рис.3.

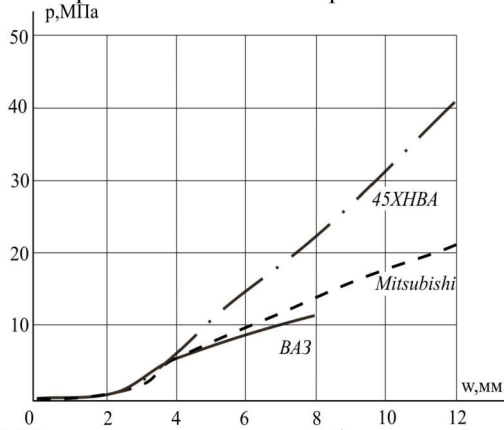


Рис.3. Предельные давления для сферической вытяжки

**Выводы.** В настоящей работе изложен один из возможных подходов, позволяющий с заданной степенью достоверности получить прогноз на величину необходимого давления для формообразования сферической вытяжки в тонкой пластине. Представленные результаты могут быть приняты в качестве исходной информации для разработки технологических условий штамповки вытяжек в плоских заготовках

**Список литературы:** 1. Автономова Л.В., Бондарь С.В., Лавинский В.И. Узагальнена математична модель структурно зв'язаних механічних систем// Вестник НТУ «ХПИ». -Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. - Вып. 12. - Т.1. -С.156-160. 2. Бондарь С.В., Зубатый С.С., Куркач Б.Н., Лавинский В.И. Программный комплекс SPACE-T для решения термоупругопластических контактных задач // Республ. межвед. науч.-техн. сборн. «Динамика и прочность машин». -Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып.57. –С.24-34. 3. Лавинский В.И. Исследование прочности и жесткости структурно взаимосвязанных механических систем// Вісник Харківського державного політехнічного університету. -Харків: ХДПУ, 2000. - Вып. 116. - С.86-97.

Поступила в редколлегию 05.09.2007