

УДК 621.983:539.3

С.А. Григорьев (5 курс, СПБИМаш), А.В. Мамутов (асп., каф. МиТОМД),
 В.С. Мамутов, д.т.н., проф.

РАСЧЕТ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТОНКОЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ АНИЗОТРОПНОГО МЕТАЛЛА ПРИ ШТАМПОВКЕ ПОЛИУРЕТАНОМ

В условиях мелкосерийного машиностроительного и приборостроительного листоштамповочного производства для получения сложных по форме точных деталей эффективны методы штамповки подвижными средами, например полиуретаном. Однако отсутствие методик проектирования процесса, основанных на расчете параметров напряженно-деформированного состояния листовой заготовки препятствует более широкому промышленному использованию технологического процесса. Целью данного исследования являлось создание программного пакета расчета формоизменения произвольной в плане заготовки с учетом больших пластических деформаций, упругой разгрузки, взаимодействия заготовки с рельефом матрицы при учете контактного трения, а также анизотропного упрочнения материала.

При математической постановке задачи рассматривалось уравнение равновесия безмоментной оболочки:

$$\left[\frac{\sigma_{11}(\vec{\tau}_2 \times \vec{n})}{|\vec{\tau}_1 \times \vec{\tau}_2| \exp(\varepsilon_{11})} \right]_{s_1}' + \left[\frac{\sigma_{22}(\vec{n} \times \vec{\tau}_1)}{|\vec{\tau}_1 \times \vec{\tau}_2| \exp(\varepsilon_{22})} \right]_{s_2}' + \left[\frac{\tau_{12} \vec{\tau}_2}{|\vec{\tau}_1 \times \vec{\tau}_2| \exp(\varepsilon_{11})} \right]_{s_1}' +$$

$$+ \left[\frac{\tau_{21} \vec{\tau}_1}{|\vec{\tau}_1 \times \vec{\tau}_2| \exp(\varepsilon_{22})} \right]_{s_2}' + \frac{p(x_1, x_2)}{h_0} \frac{(\exp(\varepsilon_{11}))(\exp(\varepsilon_{22}))}{|\vec{\tau}_1 \times \vec{\tau}_2| \vec{n}} = \mathbf{0}.$$

Здесь s_1, s_2 - лагранжевы координаты; $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \tau_{12}, \tau_{21}, \varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}$ - компоненты тензора напряжений и логарифмических деформаций; $\vec{\tau}_1, \vec{\tau}_2, \vec{n}$ - единичные векторы касательных и внешней нормали к профилю заготовки; p - давление полиуретана; h_0 - начальная толщина заготовки. Напряжения σ_{11}, σ_{22} действуют в плоскости листа.

Предполагалось, что листовой металл ортотропен и подчиняется условию пластичности Мизеса-Хилла, при плоском напряженном состоянии ($\sigma_{33} \cong 0; \tau_{23} \cong 0; \tau_{31} \cong 0$):

$$(G+H) \sigma_{11}^2 - 2H\sigma_{11}\sigma_{22} + (H+F) \sigma_{22}^2 + 2N\tau_{12}^2 = 1,$$

где F, G, H, N - параметры анизотропии, связанные с напряжениями текучести при растяжении в направлениях главных осей анизотропии, определяемые результатами механических испытаний. Принят также ассоциированный закон течения:

$$d\varepsilon_{ij} = \lambda \delta_{ij} / \partial \sigma_{ij},$$

где $d\varepsilon_{ij}$ - компоненты приращения тензора деформаций; σ_{ij} - компоненты тензора напряжений в главных осях анизотропии; λ - функция пропорциональности.

Поставленная краевая задача для граничных условий, соответствующих технологическому процессу вытяжки, решалась на ЭВМ дифференциально-разностным методом по типу метода установления. Показано, что для алюминиевого сплава АМг2М учет анизотропного упрочнения может уточнить оценку параметров деформированного состояния примерно на 20...25 % по сравнению со случаем расчета по модели изотропного материала. Для латуни Л68 уточнение составляет 5...8 %.

Выводы. В рамках теории безмоментных оболочек разработана и реализована на ЭВМ математическая модель вытяжки заготовки произвольной в плане формы, позволяющая учитывать анизотропию свойств материала. По сравнению с

использованием модели изотропного материала учет анизотропии позволяет уточнить расчетные значения параметров деформаций.