

УДК 623.983+539.3

О.В.Петрова (6 курс, каф. МиТОМД), К.И.Поздов, асп.,
 В.С.Мамутов, д.т.н., проф.

РАСЧЕТ СТАТИКО-ЭЛЕКТРОГИДРОИМПУЛЬСНОЙ ВЫТЯЖКИ-ФОРМОВКИ ТОНКОЛИСТОВЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПУАНСОН

Рассматривается компьютерный расчет технологического процесса статико-электрогидроимпульсной вытяжки-формовки тонколистовых металлов на пуансон. Результаты расчета совместно с экспериментальными диаграммами предельного деформирования (ДПД) позволяют прогнозировать разрушения заготовки при штамповке.

Расчетная схема вытяжки-формовки на пуансон представлена на рис. 1. На схеме приняты следующие обозначения: r_0 - лагранжева координата; r, z - эйлеровы координаты; \vec{e}_1, \vec{e}_2 - неподвижный эйлеровый базис; $\vec{n}, \vec{\tau}$ - базис подвижной системы координат, связанной с каждой точкой заготовки. Используется уравнение движения осесимметричной безмоментной оболочки. Давление задавалось следующим соотношением

$$p = p_0 N_p (t/\theta)^a \exp(-bt/\theta),$$

где p_0 - амплитудное значение давления, θ - характеристическое время, за которое давление уменьшается в e раз, где величины N_p, a, b определены соотношениями

$$N_p = \exp[a(1 - \ln(a/b))], \quad a = c [1 - c(1 - \ln c)], \quad b = a/c, \quad c = t_m/\theta.$$

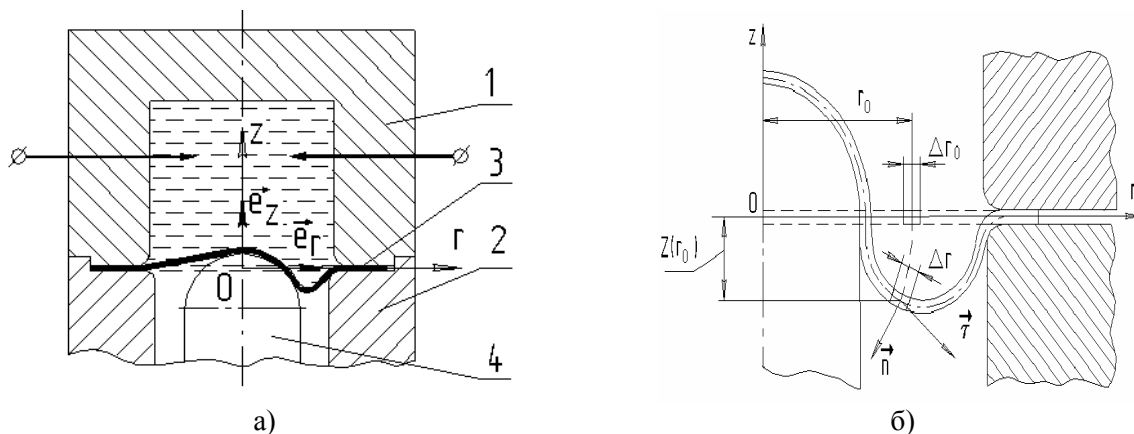


Рис.1. Схема формоизменения осесимметричной оболочки, моделирующей заготовку из особо тонколистового материала при вытяжке-формовке на пуансон [(а) расчетная схема с выбранной системой координат: 1 - разрядная камера с рабочей жидкостью, 2 - прижим, 3 – заготовка, 4 - пуансон; (б) деформируемая заготовка

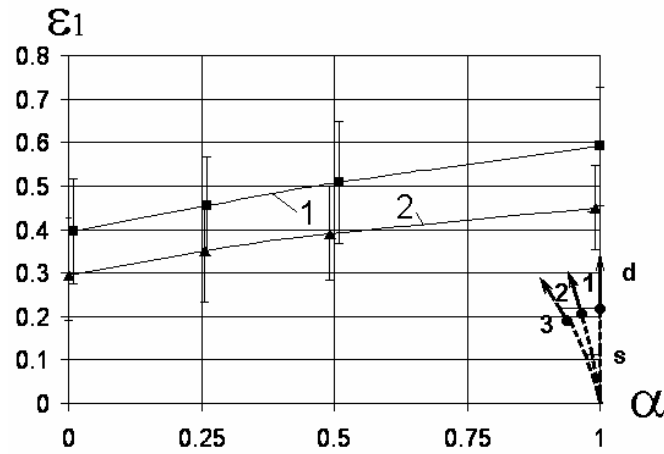


Рис. 2. Пути нагружения точек заготовки: 1 – на оси симметрии, 2 – точка максимального прогиба, 3 – точка вблизи радиуса скругления кромки матрицы; s – стадия статического деформирования, d – стадия высокоскоростного деформирования (1 – динамическая ДПД, 2 – статическая ДПД; доверительная вероятность $p = 95 \%$)

Зависимость компонент тензора напряжений от компонент тензора логарифмических деформаций ($\varepsilon_m, \varepsilon_\theta$) на активном этапе деформирования задавалось определяющими соотношениями деформационной теории пластичности

$$\sigma_m = 2\sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}_i)(2\varepsilon_m + \varepsilon_\theta)/3\varepsilon_i, \quad \sigma_\theta = 2\sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}_i)(2\varepsilon_\theta + \varepsilon_m)/3\varepsilon_i,$$

где $\sigma_s(\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}_i)$ - зависимость напряжения текучести от интенсивностей тензоров логарифмических деформаций и скоростей деформаций, которая для случая статического формоизменения будет зависеть только от интенсивности тензора деформаций $\sigma_s(\varepsilon_i)$; ε_i – интенсивность тензора логарифмических деформаций; $\dot{\varepsilon}_i$ - скорость интенсивности деформаций. На участке разгрузки задавались определяющие соотношения обобщенного закона Гука в дифференциальной форме

$$\Delta\sigma_m = [E/(1-\nu^2)](\Delta\varepsilon_m + \nu\Delta\varepsilon_\theta), \quad \Delta\sigma_\theta = [E/(1-\nu^2)](\Delta\varepsilon_\theta + \nu\Delta\varepsilon_m),$$

где E - модуль Юнга; ν - коэффициент Пуассона; ε_0 - средняя деформация. Деформационное упрочнение материала заготовки при квазистатическом формоизменении учитывалось степенным законом

$$\sigma_i = \sigma_s = B\varepsilon_i^m.$$

При задании граничных условий учитывались симметрия в центре заготовки

$$r_0 = 0; \quad r = 0; \quad z'_{r_0} = 0,$$

равенство нулю меридиональных напряжений на торце фланцевой части заготовки

$$r_0 = R_0; \quad z = z_m(r); \quad \sigma_m = 0,$$

а также форма матрицы $z_m(r)$.

Начальные условия при высокоскоростном формоизменении задавались нулевыми по скоростям

$$t = 0, \quad v_z(r_0) = 0, \quad v_r(r_0) = 0,$$

а начальный прогиб заготовки определялся по результатам расчета статического этапа формоизменения

$$t = 0, z = z_c(r_0), r = r_c(r_0),$$

где $z_c(r_0)$, $r_c(r_0)$ - зависимости компонент вектора перемещений от лагранжевой координаты, определяющие форму прогиба заготовки в конце статического этапа формоизменения заготовки.

Применялся неявный дифференциально-разностный метод численного решения. В компьютерный расчет задавались значения параметров: $p_0=5$ МПа; $\theta=250$ мкс; $c=0.1$; $V=761.4$ МПа, $m=0.469$, $\mu=0.1$ (коэффициент кулоновского трения); $R_0=55$ мм (радиус исходной заготовки); радиус закругления кромки матрицы - 3 мм; радиус очка матрицы - 30 мм.

В применяемой для прогнозирования разрушения ДПД параметр относительной деформации $\alpha=\varepsilon_2/\varepsilon_1$, где ε_1 , ε_2 – главные деформации, варьировался в диапазоне, характерном для вытяжки-формовки тонколистовых материалов $\alpha \in [0, 1]$.

Как видно из графиков (рис. 2), для статической и динамической стадий нагружения пути нагружения не пересекают графики ДПД. Однако при приближении к нижней границе доверительного интервала с определенной вероятностью возможно разрушение заготовки, что и имеет место в реальном эксперименте.