

## К вопросу о выборе режимов деформирования при сверхпластической формовке сферических мембран

Студент гр. 641541/40 Алексеев П.А.  
 Научный руководитель – Панченко Е.В.  
 Тульский государственный университет  
 г. Тула

К важнейшим параметрам режима деформирования при сверхпластической формовке (СПФ) относятся: закон изменения давления газа по времени и время формоизменения, которые должны обеспечить получение изделий заданной формы, причем необходимо, чтобы весь процесс формоизменения проходил в допустимых пределах изменения интенсивности скоростей деформации.

В работе представлены результаты расчетов режимов деформирования для свободной СПФ сферической мембраны из сплава ВТ6с.

Для расчета потребного давления использованы: уравнение равновесия сферической оболочки, уравнение состояния материала и выражение для определения текущей средней толщины стенки купола. Также было принято допущение, что интенсивность скоростей деформации пропорциональна скорости относительного изменения толщины стенки купола. В результате расчетов получена зависимость:

$$P(t_\phi) = \frac{S_0}{R} \cdot \frac{4 \cdot H(t_\phi) \cdot \sigma_u}{(1 + H(t_\phi)^2)^2},$$

где  $S_0$  – исходная толщина материала, мм;

$R$  – радиус отверстия матрицы, мм;

$\sigma_u$  – интенсивность напряжений, соответствующая скорости деформации, при которой наблюдается эффект сверхпластичности, МПа;

$H(t_\phi)$  – текущая относительная высота купола, которая определяется по следующей полученной зависимости:

$$H(t_\phi) = \sqrt{e^{a_0 \cdot t_\phi + a_1 \cdot \sigma_u \cdot t_\phi + a_2 \cdot \sigma_u^2 \cdot t_\phi + a_3 \cdot \sigma_u^3 \cdot t_\phi} - 1},$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты полинома, аппроксимирующего графические зависимости интенсивности скоростей деформации от интенсивности напряжений  $\xi_u(\sigma_u)$ , которые построены по результатам эксперимента на растяжение плоских образцов;

$t_\phi$  – время формоизменения заготовки, с.

По полученным зависимостям рассчитаны режимы деформирования для СПФ полусферы из листового материала толщиной  $S_0 = 1 \text{ мм}$  через отверстие матрицы радиусом  $R = 60 \text{ мм}$ , при этом конечная относительная высота купола составила  $H = h/R = 1,0$ .

На рисунке 1 представлена графическая зависимость времени формовки  $t_\phi$  от интенсивности скоростей деформации  $\xi_u$ , при которой осуществляется процесс формоизменения. При этом  $\xi_{u_{\min}}$  и  $\xi_{u_{\max}}$  соответствуют нижней и верхней границам скоростного интервала, при котором наблюдается эффект сверхпластичности. Для сплава ВТ6с данный интервал составляет  $0,8 \cdot 10^{-3} \leq \xi_u \leq 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . На рисунке 2 представлены графики потребного давления газа  $P$  от времени формоизменения  $t_\phi$ .

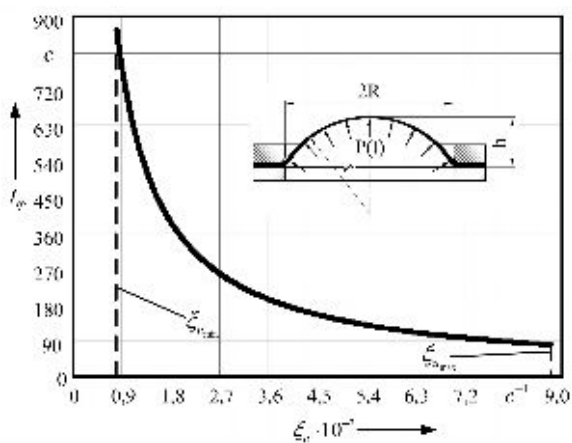


Рисунок 1 – График зависимости времени формовки  $t_\phi$  от интенсивности скоростей деформации  $\xi_u$  при  $H = h/R = 1$  для сплава ВТ6с

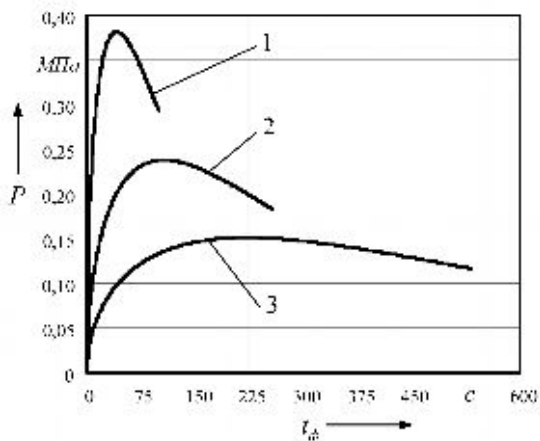


Рисунок 2 – Графики зависимости давления газа  $P$  от времени формовки  $t_\phi$ :

$$1 - \xi_u = 7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}, 2 - \xi_u = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}, \\ 3 - \xi_u = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$$

Как видно из рисунка 1 время СПФ возрастает с уменьшением интенсивности скоростей деформации, причем при  $\xi_{u_{\min}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  время формоизменения составляет около 870 секунд, при  $\xi_{u_{\max}} = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$  – около 80 секунд. Из рисунка 2 видно, что с увеличением скорости деформации диапазон изменения давления газа также увеличивается (от 0 до 0,38 МПа при  $\xi_u = 7 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ ), при этом, в силу ограниченных возможностей оборудования, возможен случай невозможности выполнения технологической операции.

Таким образом, выбор режима деформирования при СПФ влияет на продолжительность процесса формоизменения, а также на технические требования предъявляемые к оборудованию.