

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СФЕРООБРАЗНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

С.В.Жигалий, В.Г. Короткевич

Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого, Беларусь

Экономному расходованию энергетических и материальных ресурсов, снижению металлоемкости продукции, усовершенствованию технологических процессов всегда уделялось большое внимание. Современное авиационное производство отличается широким применением тонкостенных деталей и узлов, в том числе сферических и сферообразных оболочек. Применение сферических оболочек объясняется их высокими эксплуатационными и прочностными свойствами, наименьшей удельной массой, наивысшей способностью сохранять тепло, занимать наибольший объем при наименьшей поверхности в пространстве. Однако реализация этих преимуществ в полной мере возможна при условии обеспечения равномерности толщины стенки сферической оболочки.

Получение сферообразных тонкостенных оболочек с равномерной толщиной стенки может быть осуществлено следующими технологическими процессами: прямой и обратной вытяжкой в инструментальных выпяжных штампах; формообразованием резиной по жесткому пуансону с неподвижной прижимной опорой и вытяжкой резиновой матрицей по жесткому пуансону с подвижным прижимом; реверсивной штамповкой-вытяжкой и фрикционно-реверсивной вытяжкой.

Все эти процессы в той или иной форме находят применение в промышленности. Наиболее эффективным процессом листовой штамповки при получении сферических оболочек с равномерной толщиной стенки будет тот, у которого при всех равных условиях (коэффициент вытяжки, скорость деформирования, степень анизотропии) напряжение в опасном сечении будет наименьшим. Таким процессом, как показали исследования, является процесс фрикционно-реверсивной вытяжки.

Целью настоящего исследования являлось установление функциональных зависимостей, определяющих деформационные характеристики на основе представлений о механизме процесса.

В результате теоретических исследований напряженно-деформированного состояния в различных зонах сферической оболочки фрикционно-реверсивной вытяжкой была получена зависимость (1) меридионального напряжения в опасном сечении, которая является количественной характеристикой, управляющей степенью формоизменения и интенсивностью утонения стенки детали.

Напряжение в опасном сечении:

$$\begin{aligned} \sigma_7 = & \beta \sigma_{i(1-2)} \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{\tau_{M(1-2)}(r_1^2 - r_2^2)}{2r_2 S_0} - q_n \frac{r_1}{r_2} - \frac{\tau_{\Pi}(r_1^2 - r_2^2)}{2r_2 S_0} + \frac{\sigma_{i(2-3)} \epsilon_0}{2r_m + S_0} + \\ & + \beta \sigma_{i(2-3)} \ln \frac{r_2}{r_3} + \frac{\tau_{M(2-3)} S_{t(2-3)}}{\pi S_0 (2r_3 S_0)} - \frac{\tau_{\Pi(2-3)} S_{t(2-3)} \epsilon_{t(2-3)}}{\pi S_0 (2r_3 + S_0)} + \frac{\tau_{M(3-4)} r_3 h}{(r_3 S_{02}) S_0} - \frac{2\tau_{\Pi(3-4)} r_4 h}{S_0 (2r_4 + S_0)} + \\ & + \beta \sigma_{i(4-5)} \ln \frac{r_3}{r_5} + \frac{S_0 \sigma_{i(4-5)}}{2R_{сф} + S_0} + \frac{\tau_{M(4-5)} S_{t(4-5)}}{(S_0 (2r_5 - S_0))} - \frac{\tau_{\Pi(4-5)} S_{t(4-5)}}{\pi S_0 (2r_5 + S_0)} + \frac{S_0 \cdot \sigma_{i(5-6)}}{2r_{i(5-6)} + S_0} + \\ & + \beta \sigma_{i(5-6)} \ln \frac{r_5}{r_6} + \frac{S_0 \sigma_{i(6-7)}}{2r_{i(6-7)} S_0} + \beta \sigma_{i(6-7)} \ln \frac{r_6}{r_7} \end{aligned}$$

где

S_0 - исходная толщина заготовки;

q - удельная нагрузка со стороны эластомера;

β - коэффициент Лоде;

r_m - радиус закругления кромки матрицы;

$R_{сф}$ - радиус сферической оболочковой детали;

$S_{t(2-3)}, S_{t(4-5)}$ - площади исследуемых участков;

r_1, r_2, \dots, r_7 - радиусы, определяемые участками сферической оболочки;

$\sigma_{i(1-2)}, \sigma_{i(2-3)}, \dots, \sigma_{i(6-7)}$ - сопротивления деформации (интенсивности напряжений) на различных участках очага деформации сферической оболочковой детали;

$\tau_{M(1-2)}, \tau_{П(1-2)}, \dots, \tau_{M(4-5)}, \dots, \tau_{П(4-5)}$ - напряжения контактного трения.

При выводе напряжения в опасном сечении учитывалось, что меридиональное напряжение в опасном сечении σ_7 является количественной характеристикой, управляющей степенью формоизменения и интенсивностью утонения стенки детали, в свою очередь, являющимися взаимосвязанными характеристиками технологических возможностей процесса, условием оптимизации принят минимум меридионального напряжения в опасном сечении заготовки (2), т.е. из условия формообразования:

$$\Sigma \sigma_{p(3)} = \sigma_{p7} \rightarrow \min \quad (2)$$

Полученная итоговая зависимость для определения меридионального напряжения для любой точки оболочки показывает, что одним из главных факторов, влияющих на величину этого напряжения, являются напряжения контактного трения, входящие в структуру меридиональных напряжений. Регулируя силы контактного трения в различных зонах очага деформации, имеется возможность достигнуть минимума меридионального напряжения в опасном сечении очага деформации и соответственно минимума утонения заготовки, что является условием оптимизации протекания процесса.

Определены зависимости критериев оптимизации процесса фрикционно-реверсивной вытяжки, позволяющие определить режимы, соответствующие оптимальным технологическим возможностям процессов.

При этом исследования показали, что наивысшие технологические возможности процесса могут быть достигнуты только при создании интенсивного контактного трения между заготовкой и пуансоном и минимальной интенсивности трения между прижимной опорой и заготовкой.

Перспективность процесса фрикционно-реверсивной вытяжки заключается в том, что он обеспечивает получение сферической тонкостенной оболочки с равномерной толщиной стенки, а также способен обеспечить стабильное производственное применение при высоком качестве штампуемых деталей, особенно в части равномерности толщины стенки.