

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СФЕРООБРАЗНЫХ ОБОЛОЧЕК НА НАПРЯЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ И УТОНЕНИЕ СТенок ЗАГОТОВКИ

*Московский авиационный институт, Россия,
Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого
Гомель, Беларусь*

Разработка научных основ нового, наиболее прогрессивного процесса получения сферообразных оболочковых деталей с минимальным утонением стенки, равномерностью свойств и качества поверхности стенки явилось основной целью настоящего исследования.

Анализ напряженного состояния в работе [1] позволил разработать режимы оптимизации процесса, обеспечивающих при формообразовании толщинную деформацию, приближающуюся к нулю [2].

На базе исследования напряженного и деформированного состояний сферообразной оболочковой детали при формообразовании новым технологическим процессом установлены его наивысшие технологические возможности по главному критерию, каким является минимальное утонение и равномерность толщины стенки. Исследования показали, что наивысшие технологические возможности могут быть достигнуты только при создании интенсивного контактного трения между эластичным пуансоном и фланцем заготовки, между центральной зоной заготовки и вкладышем, и минимальной интенсивности трения между матрицей и заготовкой [2, 3].

Получены функциональные зависимости меридиональных напряжений в различных зонах сферообразной оболочковой детали при фрикционно-реверсивной вытяжке эластичным пуансоном по жесткой матрице [4], учитывающие влияние сил контактного трения, физико-механические свойства деформируемого материала, геометрические параметры инструмента и заготовки, величины давления формообразования со стороны эластичной среды.

Регулируя напряжения контактного трения в различных зонах формообразуемой заготовки, можно добиться минимума меридиональных напряжений в опасном сечении очага деформации и, соответственно, интенсифицировать технологические возможности процесса. Полученные зависимости составляют основу функции оптимизации созданного технологического процесса, что позволяет управлять режимами, соответствующими его оптимальным технологическим возможностям. Получе-

ны зависимости, иллюстрирующие поведение основных технологических параметров и факторов, влияющих на технологические возможности процесса. В результате исследований в различных зонах (рис. 1) [4] сферической оболочки была получена зависимость главного меридионального напряжения в опасном сечении [1], которая является количественной характеристикой, управляющей степенью формоизменения и интенсивностью утонения. На основании этой зависимости было оценено влияние на интенсивность напряжения в опасном сечении и величину утонения стенки детали следующих факторов: геометрии матрицы; геометрии эластичного пуансона; величины давления формообразования со стороны эластичной среды; интенсивности контактного трения со стороны опорного вкладыша матрицы; интенсивности контактного трения со стороны эластичной среды; интенсивности контактного трения на фланец заготовки со стороны матрицы; характеристик смазочных сред и интенсификаторов трения.

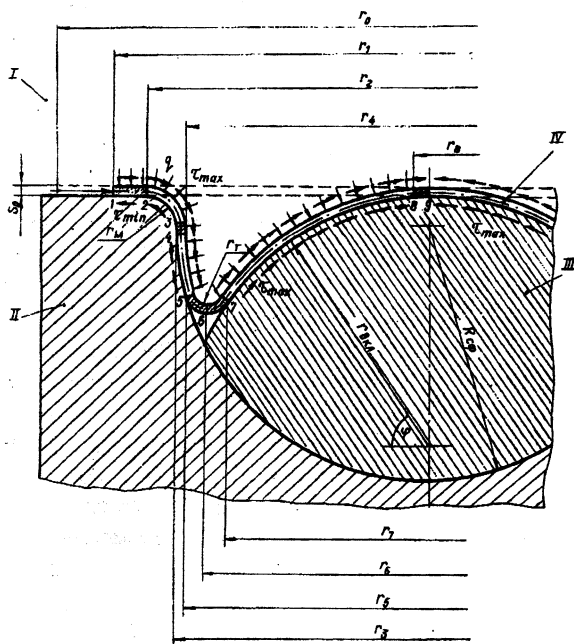


Рис. 1. Структурная схема для анализа напряженно-деформированного состояния заготовки при фрикционно-реверсивной вытяжке эластичным пуансоном по жесткой матрице: I – эластичный пуансон; II – матрица; III – вкладыш; IV – формообразуемая деталь

Из анализа результатов теоретических исследований следует, что интенсификация влияющих факторов и параметров в зоне 7 (опасное сечение) позволяет снизить несущее напряжение в опасном сечении. На основании приведенной формулы:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{н}} = & \beta \sigma_{i(1-2)} \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{\tau_{M(1-2)}(r_1^2 - r_2^2)}{2r_2 S_0} - q_n \frac{r_1}{r_2} - \frac{\tau_n(r_1^2 - r_2^2)}{2r_2 S_0} + \frac{\sigma_{i(2-3)} \varepsilon_0}{2r_n + S_0} + \\ & + \beta \sigma_{i(2-3)} \ln \frac{r_2}{r_3} + \frac{\tau_{M(2-3)} S_{i(2-3)}}{\pi S_0 (2r_3 S_0)} - \frac{\tau_{n(2-3)} S_{i(2-3)} \varepsilon_{i(2-3)}}{\pi S_0 (2r_3 + S_0)} + \frac{\tau_{M(3-4)} r_3 h}{(r_3 S_0 / 2) S_0} - \\ & - \frac{2\tau_{n(3-4)} r_4 h}{S_0 (2r_4 + S_0)} + \beta \sigma_{i(4-5)} \ln \frac{r_3}{r_5} + \frac{S_0 \sigma_{i(4-5)}}{2R_{\text{сф}} + S_0} + \frac{\tau_{M(4-5)} S_{i(4-5)}}{\pi S_0 (2r_5 - S_0)} - \\ & - \frac{\tau_{n(4-5)} S_{i(4-5)}}{\pi S_0 (2r_5 - S_0)} + \frac{S_0 \sigma_{i(5-6)}}{2r_{i(5-6)} + S_0} + \beta \sigma_{i(5-6)} \ln \frac{r_5}{r_6} + \frac{S_0 \sigma_{i(6-7)}}{2r_{i(6-7)} S_0} + \beta \sigma_{i(6-7)} \ln \frac{r_6}{r_7} - \\ & - \frac{\tau_{\text{сф}} S_{\text{сф}}}{\pi S_0 (2r_7 + S_0)} - \frac{\tau_{\text{сф}} S_{\text{сф}}}{\pi S_0 (2r_8 + S_0)}, \end{aligned}$$

где

S_0 – исходная толщина заготовки;

q – удельная нагрузка со стороны эластомера;

β – коэффициент Лоде;

r_M – радиус закругления кромки матрицы;

$R_{\text{сф}}$ – радиус сферической оболочковой детали;

$S_{i(2-3)}, S_{i(4-5)}$ – 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;

$\tau_{M(1-2)}, \tau_{n(1-2)}, \dots, \tau_{M(4-5)}, \tau_{n(4-5)}$ – напряжения контактного трения матрицы и пуансона, соответственно, оценивались такие параметры, как радиус закругления кромки матрицы и исходная толщина заготовки.

Изучение влияния исходной толщины заготовки на напряженно-деформированное состояние заготовки в опасном сечении показало, что чрезмерное утонение стенки сферической оболочковой детали в процессе формообразования ведет к необходимости увеличения ее толщины.

По всем режимам проведены эксперименты с установлением величины напряжения в опасном сечении от основных параметров и управляющих факторов. Для сферической оболочки из материала АМ_ц АМ толщиной 1,5 мм и радиусом 75 мм оценивалось влияние напряжений контактного трения на напряженно-деформированное состояние опасной зоны оболочки при фрикционно-реверсивной выгяжке. На рис.2,3,4 представлены графические зави-

симости напряжения в опасном сечении от некоторых параметров и факторов. Для эффективного уменьшения сил внешнего контактного трения на фланце и на выгльном радиусе матрицы (рис.2) необходимо приближение режима трения к гидродинамическому подбором смазочных материалов эффективной (оптимальной) вязкости по заданной (известной) скорости деформирования заготовки и величине максимальных контактных давлений на выгльном радиусе матрицы, а также увеличение положительных сил контактного трения на пуансоне путем тщательного обезжиривания последнего, или применение интенсификаторов трения (канифоли, монокорунда) в сочетании с использованием схем штамповки, обеспечивающих прижатие штампуемой заготовки к пуансону в любой момент формообразования.

О влиянии радиуса закругления рабочей кромки матрицы на напряженно-деформированное состояние заготовки, а, следовательно, на величину утонения стенки можно судить по графику на рис.3. Для уменьшения величины утонения стенки необходимо увеличение радиуса закругления матрицы ($1 \leq \frac{r_M}{S_0} \leq 8$).

Влияние исходной толщины заготовки на напряжение в опасном сечении показано на рис.4.

Следовательно, чрезмерное утонение стенки сферобразной оболочковой детали в процессе штамповки-вытяжки приводит к необходимости увеличить ее толщину для выполнения требований конструктивной прочности деталей. Это приводит в конечном итоге к увеличению расхода металла и массы детали.

Экспериментальные исследования проводились на образцах-оболочках достаточно больших габаритов из алюминиевых сплавов АМ_ц АМ, Д16М и из нержавеющей аустенитной стали 12Х18Н10Т.

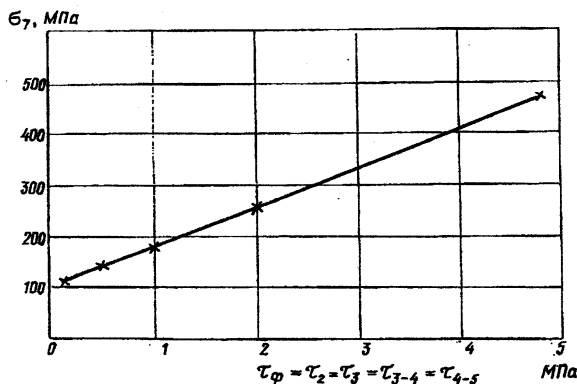


Рис. 2. Зависимость меридиального напряжения в опасном сечении от напряжений контактного трения

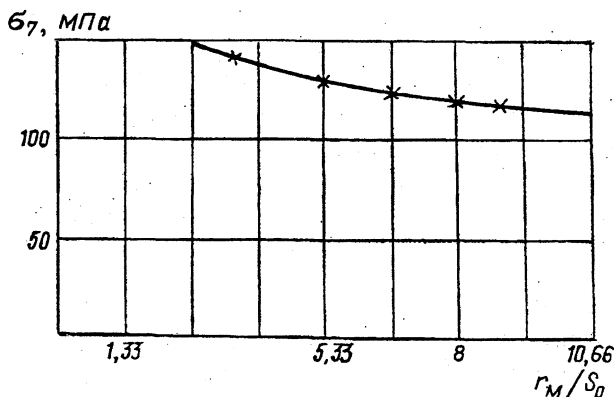


Рис. 3. Зависимость меридиального напряжения в опасном сечении от относительного радиуса закругления рабочей кромки матрицы

Эксперименты подтвердили правильность выбора смазочных сред и интенсификаторов трения на основе обобщенного закона контактного трения с учетом скорости деформирования, контактного давления на поверхностях трения, эффективной вязкости смазочной среды.

Установлено, что лучшими интенсификаторами трения в технологическом отношении и по величинам напряжений трения являются сухое и гидродинамическое на базе использования интенсификаторов трения.

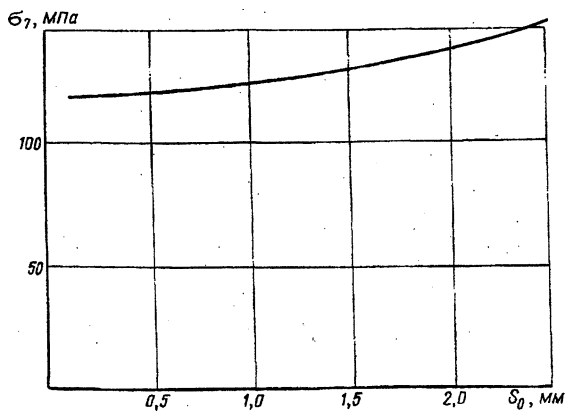


Рис. 4. Зависимость меридиального напряжения в опасном сечении от исходной толщины заготовки

Наибольшее утонение при этих режимах составило 4-5%. Наибольшее утонение при других режимах трения при фрикционно-реверсивной вытяжке 5-12%, в то время как при штамповке-вытяжке в жестких инструментальных штампах 25-30%.

Проверка адекватности теоретических исследований по определению напряжений в различных сечениях заготовки в исследуемом процессе показала достаточную достоверность полученных при этом результатов (в пределах 7,9%).

Создавая оптимальные режимы трения на контактных поверхностях, есть перспектива еще более существенно расширить технологические возможности нового процесса фрикционно-реверсивной вытяжки сферообразных оболочковых деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жигилий С.В., Короткевич В.Г. Анализ процессов формообразования сферообразных тонкостенных оболочек для летательных аппаратов //Современные проблемы машиноведения. – Гомель: ГПИ, 1998. – Т. 2. – С. 175–176.
2. Жигилий С.В., Короткевич В.Г. Методы уменьшения величины утонения и неравномерности толщины стенки сферообразных оболочек при фрикционно-реверсивной вытяжке //Прогрессивные технологии обработки материалов. – Минск: БГПА, 1998. – С. 57–58.
3. Жигилий С.В., Короткевич В.Г. Исследование технологии получения тонкостенных оболочковых деталей //Новые конкурентноспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка. – Могилев: ММИ, 2000. – С. 68–69.
4. Жигилий С.В., Короткевич В.Г. Разработка и исследование процесса получения сферообразных деталей ЛА //Современные проблемы машиноведения. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000. – С. 175..177.