

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНАСТКИ ДЛЯ ШТАМПОВКИ
ДЕТАЛЕЙ ДВОИНОЙ КРИВИЗНЫ

Наиболее эффективными способами изготовления крупногабаритных листовых деталей высокой точности являются комбинированные методы, включающие формообразующие операции, осуществляемые статическим нагружением для получения полуфабриката, и последующие калибровочные операции, осуществляемые импульсным нагружением. Указанный способ позволяет избежать изготовления большого количества видов оснастки при изготовлении детали.

Согласно разработанной схеме процесса на промежуточной - пневмостамповочной - операции получали полуфабрикат в виде шарового сегмента. Окончательный профиль детали получали гидровзрывной штамповкой.

Вследствие свободного деформирования заготовки пневмостамповочная операция - одна из наиболее ответственных операций. Вследствие малой изгибной жесткости основных элементов оснастки при изготовлении деталей больших габаритов возможно гофрирование, что крайне нежелательно.

Пневмостамповочная оснастка, как правило, выполняется из прижимного кольца и плиты основания. Листовая заготовка зажимается между последними и формообразование осуществляется за счет подачи воздуха между заготовкой и плитой основания.

В работе рассмотрена штамповка деталей, у которых относительная толщина $\frac{t}{D} = 0.003$ и относительная глубина $\frac{h}{D} = 0.25$, где t - толщина листа заготовки, D - диаметр получаемой детали, h - глубина прессовки.

Предложенная инженерная методика расчета прижимного кольца и плиты основания пневмостамповочной оснастки. Основное условие при расчете толщин основных элементов оснастки - суммарный прогиб последних при пневмостамповке не должен превышать критической величины, когда происходит "раскрытие" прижима.

Решение задачи базируется на теории изгиба толстых пластин, а полученные зависимости верны при следующих предположениях:

1. Пластина изотропна;
2. Внешние нагрузки и объемные силы, действующие на пласти-

ну, предполагаются приложенными к ее срединной плоскости.

3. Связи, поддерживающие пластину и воспринимающие ее давления, — отдельные точечные опоры, расположенные непрерывно вдоль линии, образующей опорный контур пластины.

4. Пластина имеет постоянную толщину.

5. Отношение между толщиной пластины и ее размерами в плане определяется зависимостью:

для сплошной пластины —

$$\delta < \frac{1}{3} a; \quad (1)$$

для свободно (или шарнирно) опертой кольцевой пластины —

$$\delta < \frac{2}{3} (a-b); \quad (2)$$

где a и b — радиусы внешней и внутренней контурных окружностей пластины.

6. Максимальный прогиб пластины не превышает

$$W_{\max} \leq \frac{1}{5} \delta. \quad (3)$$

7. Напряжение в пластине не выходит за предел упругости материала, из которого пластина изготовлена.

8. Предполагается, что полость между заготовкой и плитой основания — герметична.

Вследствие осевой симметрии прикладываемой к плите основания и прижимному кольцу нагрузки и симметричности граничных условий относительно оси Z , перпендикулярной к срединной плоскости основных элементов оснастки и проходящей через их центр, изогнутая поверхность также окажется симметричной. Во всех точках, равноудаленных от центра плиты основания (или прижимного кольца), прогибы и усилия будут одинаковы. Поэтому достаточно рассмотреть эти величины лишь вдоль одного диаметрального сечения, проходящего через ось симметрии.

Запишем исходные уравнения и зависимости:

Основное дифференциальное уравнение симметричного изгиба круглой пластины постоянной величины имеет вид

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right] \right\} = \frac{q(r)}{D}, \quad (4)$$

где r — расстояние точки от центра пластины;

w — прогиб пластины;

q — интенсивность внешней поперечной нагрузки, Па;

$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}$ — цилиндрическая жесткость пластины, Нм;

E — модуль упругости пластины первого рода, Па;

δ - толщина пластины, м;

μ - коэффициент Пуассона.

В результате интегрирования уравнения (4) находим выражение для функции прогиба W .

В нашем случае нагрузка рассматриваемых элементов оснстки от r не зависит: $q(r) = q = \text{const.}$ (5)

Для определения постоянных интегрирования записаны следующие граничные условия (условия закрепления) пластины:

1) контур пластины шарнирно оперт:

$$M_r = 0 \text{ при } r=a, \quad (6)$$

где a - радиус пластины, м;

2) угол поворота φ в центре пластины равен нулю.

Подобные условия должны соблюдаться на обоих контурах кольцевой пластины.

Плита основания представляет собой свободно опертую по контуру пластину с равномерно распределенной по поверхности центрального круга нагрузкой (рис. 1):

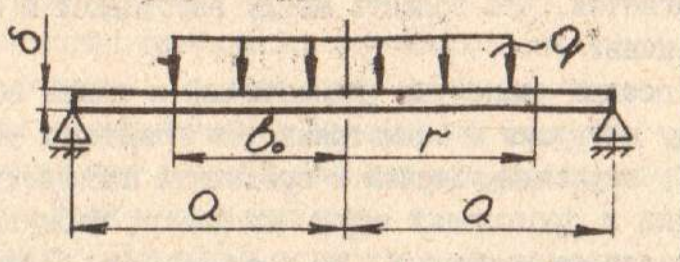


Рис. 1

Расчетные формулы в этом случае имеют вид:

а) для центральной нагруженной части плиты ($0 \leq \rho \leq \beta$):

$$\beta = \frac{b_0}{a}$$

$$W = \frac{qa^4\beta^2}{64D} \frac{1}{1+\nu} \left[4(3+\nu) - (7+3\nu)\beta^2 + 4(1+\nu)\beta^2 \ln \beta - 2(4 - (1-\nu)\beta^2 - 4(1+\nu)\ln \beta)\rho^2 + \frac{1+\nu}{\beta^2} \rho^4 \right]; \quad (7)$$

где $\rho = \frac{r}{a}$ - относительная координата;

$\beta = \frac{b_0}{a}$ - относительная координата;

б) для внешней ненагруженной части плиты ($\beta < \rho < 1$):

$$W = \frac{qa^4\beta^2}{32D} \frac{1}{1+\nu} \left[(2(3+\nu) - (1-\nu)\beta^2)(1-\rho^2) + - 2(1+\nu)\beta^2 \ln \rho + 4(1+\nu)\rho^2 \ln \rho \right]; \quad (8)$$

Представляет интерес случай: $b \leq r \leq a$.

Прижимное кольцо также свободно оперто по наружному контуру и нагрузка равномерно распределена по внутреннему контуру кольца (рис. 2):

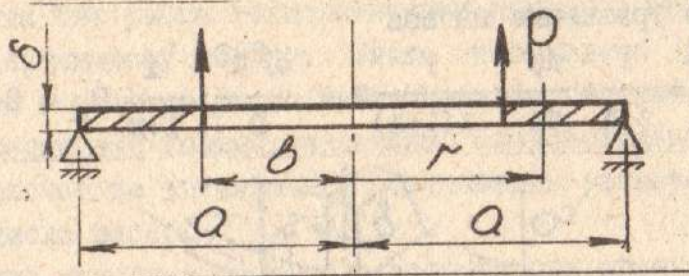


Рис. 2

Расчетные формулы в этом случае имеют вид:

$$W = \frac{pa^3\beta}{8D} \left\{ \frac{(3 + \nu - 2k_1)}{1 + \nu} (1 - \rho^2) + \frac{4k_1}{1 - \nu} \ln \rho + 2\rho^2 \ln \rho \right\};$$

$$\text{где } k_1 = (1 + \nu) \frac{\beta}{1 - \beta^2} \ln \beta; \quad (9)$$

p — интенсивность внешней нагрузки, распределенной по окружности, Н/м.

Для повышения изгибной жесткости прижимного кольца возможно применение ребристого прижимного кольца — кольца с наваренными ребрами (рис. 3):

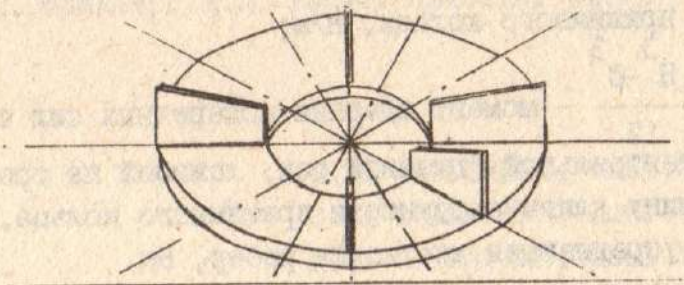


Рис. 3

Приближенный метод расчета ребристых кольцевых пластин основывается на том, что при большом числе ребер (больше восьми) можно упругие характеристики ребристой пластины усреднить и рассматривать ее, как псевдо ортотропную пластину, обладающую различной жесткостью в радиальном и окружном направлениях.

Предполагается, что жесткость ребристой кольцевой пластины при изгибе в окружном направлении не зависит от наличия ребер и определяется ее цилиндрической жесткостью. Жесткость прижимного кольца при изгибе в меридиональной плоскости увеличивается за счет

присоединения изгибной жесткости ребер, принимаемой равномерно распределенной по цилиндрическим сечениям. При этом учитывается, что ребро деформируется как балка, в отличие от прижимного кольца, испытывающего двумерное напряженное состояние.

Основное уравнение изгиба

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{1}{1+x} + \frac{d\varphi}{dx} - \frac{1}{x(1+x)}\varphi + \frac{\lambda^2 R^2}{D} \frac{x}{1+x} Q_T = 0, \quad (10)$$

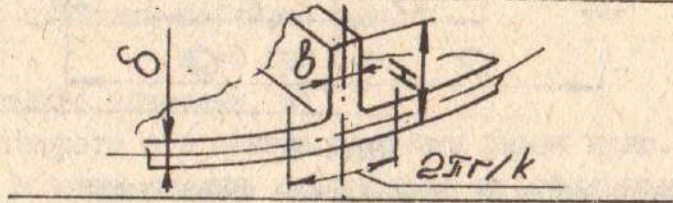


Рис. 4

где $x = \frac{\rho}{\lambda}$ — относительная координата;

ρ — относительный радиус: $\rho = \frac{R}{r_0}$;

$$\lambda = \frac{b k (1-\mu^2)}{2\pi R} \frac{H^3 - \delta^3}{\delta^3}; \quad Q_T = \frac{1}{x} \left[\lambda R \int q x dx + \frac{c}{\lambda R} \right].$$

k — число ребер;

R — радиус наружной окружности прижимного кольца, м;

r_0 — радиус внутренней окружности прижимного кольца, м;

Q_T — поперечная сила на единицу длины цилиндрического сечения прижимного кольца, Н/м;

$I = \frac{b k}{2\pi} \frac{H^3 - \delta^3}{12}$ — момент инерции поперечных сил сечений ребер

относительно центральной главной оси, лежащей на срединной плоскости, на единицу длины окружности прижимного кольца, м³;

$D = EI$ — усредненная жесткость ребер, Нм.

Прогиб прижимного кольца

$$W = c_1 W^1 + c_2 W^2 + W_q^0 + W_c^0 + c_3, \quad (11)$$

где $W^1 = -\lambda R^2 x / 2$;

$$\left. \begin{aligned} W_q^0 &= -\frac{\lambda R}{2} \left[x^2 \ln(1+1/x) - \ln(1+x) - x \right]; \\ W_q^0 &= -q \frac{\lambda^4 R^4}{16D} \left[\frac{2}{3} x^3 - \frac{1}{4} x^4 + \frac{x^2}{2} - x - (x^2 - 1) \ln(1+x) \right]; \\ W_c^0 &= c \frac{\lambda^2 R^2}{4D} \left[(x^2 - 1) \ln(1+x) - x^2 / 2 + x \right]. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Постоянные σ_i ($i=1,3$) определяются из условий опирания прижимного кольца.

При расчете ребристого прижимного кольца необходимо учитывать тот факт, что толщина ребер в 4...5 раз меньше толщины прижимного кольца, так как ребра технологически выгодно приваривать к изготовленному прижимному кольцу. Также необходимо учитывать снижение прочности в зоне сварного шва и наличие напряжений в нем, что приводит к увеличению толщины пластины. Следовательно, необходимо провести расчет на оптимальное соотношение размеров δ , H и n (см.рис. 4) и числа ребер.

Описанная выше методика была использована при проектировании экспериментальной и опытно-промышленной оснастки для изготовления деталей типа зеркал параболических антенн диаметром от 1,2 до 2,5 метра. В ходе проведенных расчетов были определены оптимальные размеры толщин плиты основания и прижимного кольца для различных диаметров заготовки и определено оптимальное соотношение размеров и числа ребер для ребристого прижимного кольца. Экспериментальная проверка опытной штамповки показала, что соблюдается условие нераскрытия стыка и отсутствует гофрообразование после пневмощамповочной операции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. - Киев: "Буд. вельник", 1970. - 436с.

УДК 621.7.044

И.Ю. МАТЮШЕНКО, канд. техн. наук
В.К. БОРИСЕВИЧ, докт. техн. наук
В.П. САБЕЛЬКИН, докт. техн. наук
В.Е. ЗАЩЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ АЛЬФИРОВАННОГО СЛОЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ИЗГОТОВЛЕННЫХ ТЕРМОИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ BT5-1 И BT20

Исследовались α -сплавы типа BT5-1, а также псевдо- α -сплавы типа BT20. Все они имеют мелкозернистую структуру, хорошую свариваемость и высокую жаропрочность, что определило их применение для кожухов камер сгорания, жаровых труб и других высокотемпературных деталей авиадвигателя. Высокое содержание алюминия снижа-