УДК 621.983:681.14:658.512

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ВЫТЯЖКЕ ОБОЛОЧЕК СФЕРИЧЕСКИХ ДНИЩ

© Н. Н. Убизький

Фізико-технічний інститут Дніпропетровського національного університету

Представлено методику визначення напруги і деформацій при витягуванні сферичних днищ баків ракет.

В связи с общей тенденцией к увеличению плотности компоновки узлов современных ракетно-космических аппаратов, снижению их материалоемкости, увеличению прочности повышаются требования к точности и конструктивной прочности деталей типа сферических днищ при их изготовлении.

Существующие аналитические методики [1] определения напряжений и деформаций при вытяжке имеют ряд допущений.

Достоверное определение напряжений и деформаций с учетом изменение толщины материала в процессе вытяжки, конкретных свойств материала и его анизотропии позволит решить ряд проблем: существенно уточнить учет упругой разгрузки при вытяжке, прогнозировать утонение стенок днища, решить проблему правильного расположения сварных швов в плоской заготовке для вытяжки крупногабаритных днищ необходимого сортамента листового материала.

Разработана методика [1] определения напряжений и деформаций основанная на дискретном представлении процесса пластического формообразования сферическим пуансоном.

Процесс формообразования условно разбивается на большое число этапов, на каждом этапе задается перемещение фланца заготовки ΔR. Каждому этапу нагружения соответствует определенное значение зоны контакта заготовки с пуансоном. Зоны контакта характеризуется углом α, причем $0 \leq \alpha < 90^\circ$. Заготовка разбивается на n элементов одинаковой длины l в радиальном направлении. На кольцевой части заготовки, расположенной на плоскости матрицы, напряженно-деформированное состояние считается неизменным в тангенциальном направлении и по толщине. Деформации и напряжения усредняются в пределах каждого элемента и скачкообразно изменяются на границах элементов.

В качестве исходных данных задаются вышеуказанные параметры ΔR и n, начальное значение радиуса плоской заготовки R_0 и ее исходная толщина S_0, радиус скругления матрицы $R_м$, радиус пуансона $R_п$, глубина днища $H_д$, коэффициент трения μ. Кроме того, задаются табличные функции упрочнения и параметр A трансверсальной анизотропии материала, равный отношению деформации по ширине к деформации по толщине при линейном растяжении.

По условию нагружения деформируемая заготовка разделяется на три участка: участок фланца заготовки; участок контакта деформируемого металла с пуансоном, участок, на котором нет внешних нагрузок (свободный участок).

Расчет начинается с первого элемента, расположенного на краю фланца по рекуррентной схеме с использованием нелинейных уравнений пластического формоизменения. Средняя величина приращения тангенциальной деформации этого элемента $\Delta\varepsilon\theta = \Delta R/R$, граничное радиальное напряжение $\sigma\rho = 0$ распространяется на весь елемент. Напряжение в направлении толщины заготовки принимается равным нулю для всех элементов.

Компоненты напряженно-деформированного состояния определяются с помощью соотношений теории пластичности материалов, характеризующихся трансверсальной анизотропией и изотропным упрочнением [3]:

$$\frac{\Delta\varepsilon_\rho}{(1+A)\sigma_\rho - A\sigma_\theta} = \frac{\Delta\varepsilon_\rho}{(1+A)\sigma_\theta - A\sigma_\rho} =$$

$$= \frac{-\Delta\varepsilon_s}{\sigma_\rho + \sigma_\theta} = \frac{\Delta\varepsilon}{(1+A)\sigma},$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{1+A}{\sqrt{1+2A}}\sqrt{\Delta\varepsilon_\rho^2 + \frac{2A}{1+A}\Delta\varepsilon_\theta\Delta\varepsilon_\rho + \Delta\varepsilon_\theta^2},$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_\rho^2 - \frac{2A}{1+A}\sigma_\theta\sigma_\rho + \Delta\varepsilon_\theta^2}.$$

Эти выражения получены из более общих формул Р. Хилла [2] с использованием условия $\Delta\varepsilon\rho + \Delta\varepsilon\theta + \Delta\varepsilon\sigma = 0$, поэтому большие значения деформаций следует записывать в логарифмической форме.

Величины σ и ε связаны зависимостью $\sigma = f(\varepsilon)$, представляющей собой диафрагму истинных напряжений при линейном растяжении.

После определения деформаций первого элемента фланца пересчитывается его длина и толщина $l_1 s_1$. С учетом приращения длины первого элемента находится перемещение второго элемента. В общем виде $U\iota + 1 = U\iota - \Delta_{l\iota}$, $U\iota = \Delta R$.

Приращение радиального напряжения на границе элементов, проходящей по радиусу $\rho\iota$, определяется из условия равновесия:

$$(\sigma_\rho + \Delta\sigma_\rho)s_{\iota+1}\rho_\iota = \sigma_\rho(\rho_\iota + l_\iota)s_\iota - \sigma_\theta s_\iota l_\iota + \mu q l_\iota(2\rho_\iota + l_\iota),$$

где q — давление прижима, требуемая величина которого рассчитывается в соответствии с [1].

Расчет напряжений и деформаций на участках контакта со сферическим пуансоном и свободном от контакта производится аналогично с учетом напряжения и контакта с матрицей и пуансоном.

Поскольку при вытяжке сферических днищ граничные условия изменяются (их определяет текущее положение фланца) расчет ведется от вершины днища к «движущей» границе (наружного контура фланца). На участках результаты расчетов будут правильными, если найденные для данной стадии формообразования тангенциальные деформации $\varepsilon\theta$ и толщинные ε_s на границе совпадут со значениями, соответствующими заданному положению фланца заготовки, при поэтапном его перемещении.

1. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. — М.: Машиностроение, 1977.
2. Хилл Р. Математическая теория пластичности — М.: ГИТЛ, 1956.
3. Чянь Д., Кобаяси С. Влияние анизотропии и параметров упрочнения на распределение напряжений и деформаций при глубокой вытяжке // Тр. Амер. об-ва инженеров-механиков. Сер. Конструирование и технология машиностроения.—1965.—**4**.

METHOD OF DEFORMATIONS STRESSES DETERMINATION AT THE SHELLS STRETCHING OF SPHERICAL BOTTOMS

N. N. Ubyz'kyi

A method of thestress and deformations determination at the stretching of spherical bottoms of the rocket tanks is described.

УДК 62-251-755:681.5

ОСОБЕННОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЖЕСТКОГО РОТОРА, ЗАКРЕПЛЕННОГО В УПРУГИХ ОПОРАХ С ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕУРАВНОВЕШЕННОСТЬЮ

© А. Ю. Животов

Державне конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля

Розглянуто обертання циліндричного ротора з динамічною неврівноваженістю. Вказано розташування головної центральної осі інерції, центра мас ротора та осі обертання при докритичних та надкритичних швидкостях. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначити сили та моменти, що діють на динамічно навантажений ротор. Визначено додатковий обертаючий момент.

Прогресс в развитии отечественного машиностроения, в частности аэрокосмического комплекса, связан с непрерывным ростом рабочих скоростей вращающихся узлов и деталей. Высокие скорости вращения валов авиационных турбин, ТНА, осей гироскопов предъявляют повышенные требования к динамическому уравновешиванию роторов для исключения возрастающих вибраций машин и определяют необходимость совершенствования методов и средств балансировки. Необходимо рассматривать балансировку как обратную задачу динамики неуравновешенного ротора. Поэтому вопросы теории вращения ротора приобретают первостепенное значение. Изучение особенностей вращения цилиндрического вала (в дальнейшем — ротора) представляет собой актуальную, современную задачу, позволяющую существенно уменьшить динамическую нагруженность и тем самым продлить срок эксплу-