УДК 621.735.001.2

Е.В.Якуничев, И.И.Калужский,
Ю.М.Арышенский, Г.В.Проскуряко

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССАХ РАЗДАЧИ

Операция раздачи трубчатых заготовок широко применяется при изготовлении деталей авиационного назначения. Этим способом изготавливаются различные переходники, патрубки, фланцы, корпусные детали.

При раздаче тонкостенных труб могут возникать два вида потери устойчивости [I]:

I - образование гофров и складок в зоне передачи усилия (рис. I);

2 - образование локального утонения или продольной трещины на торце заготовки (рис. 2).

Р и с. I. Потеря устойчивости цилиндрической заготовки в зоне передачи усилия

Р и с.2.Образование продольной трещины

Первый вид потери устойчивости можно ликвидировать путем изменения конструкции инструмента и введения дифференцированного нагрева заготовки [I],[2]. С целью уменьшения влияния утонения на предельные возможности деформации к торцу заготовки прикладываются сжимающие усилия.

В дальнейшем будет рассматриваться только второй вид потери устойчивости.

Технологические возможности операции определяются предельным значением коэффициента раздачи [3]:

$$K_{пр} = \frac{R_{пр}}{r_0}, \qquad (1)$$

где r_0 - радиус заготовки;

$R_{пр}$ - радиус кромки заготовки в момент образования местного утонения.

Обычно при решении вопроса о предельных коэффициентах при раздаче за определяющий фактор принимают равномерное удлинение δ_p и считают, что

$$K_{пр} = 1 + \delta_p. \qquad (2)$$

В настоящее время известно, что деформационная потеря устойчивости оболочек происходит значительно раньше, чем у плоских образцов [4], [5]. В связи с этим в данной работе ставится задача определения $K_{пр}$ с учетом анизотропии и торцевого подпора.

В общем случае системы типа растягиваемого стержня и оболочки, деформируемой внутренним давлением, можно представить в виде диаграммы "нагрузка-перемещение" (рис. 3). Для таких систем критическая нагрузка совпадает с максимальной $P_{макс}$ [6], следовательно, критическое перемещение необходимо искать из условия

$$\frac{dP}{dV} = 0. \qquad (3)$$

Рассмотрим схему нагружения конической заготовки (рис. 4),

где q - нормальное давление пуансона на заготовку;

r - текущий радиус конической части заготовки;

r_1 - радиус торца заготовки;

α - угол конусности инструмента;

$T_{1п}$ - единичное торцевое усилие поджатия;

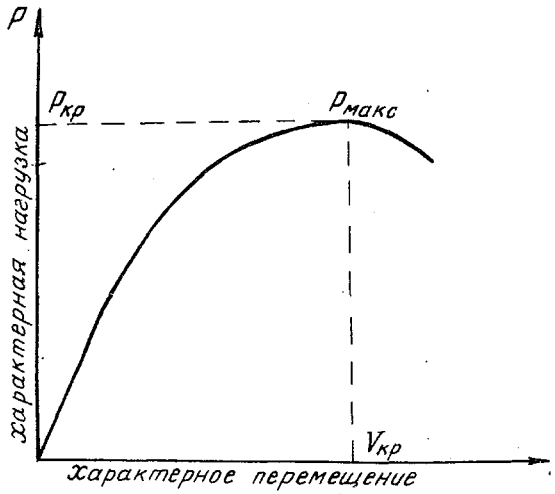
T_2 - окружное единичное усилие;

T_1 - меридиальное единичное усилие;

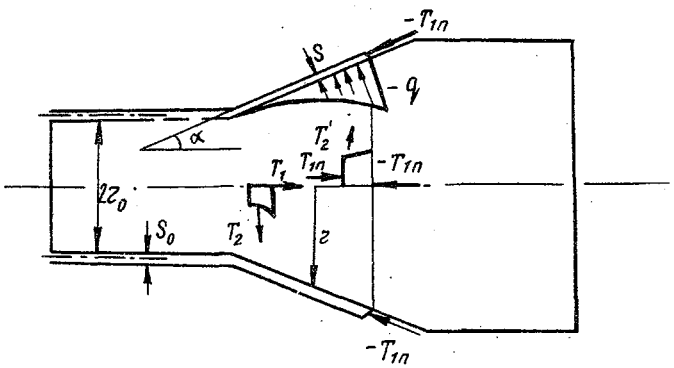
S_0 - исходная толщина цилиндрической заготовки;

S - переменная толщина заготовки после раздачи.

В данном случае (см.рис.4) характерной нагрузкой является нормальное давление на краю q, а характерным перемещением -



Р и с. 3. Диаграмма состояния равновесия ($P_{кр}$ и $V_{кр}$ – критические нагрузка и перемещение)



Р и с. 4. Схема раздачи трубчатой заготовки на конус с торцевым подпором

приращение радиуса $r_1 - r_0$. Тогда условие (3) запишется в виде

$$\frac{dq}{dr} = 0$$

или, так как $r_1 = r_0 e^{\varepsilon_2}$,

$$\frac{dq}{d\varepsilon_2} = 0, \qquad (4)$$

где $\varepsilon_2 = \ln \frac{r}{r_0}$ – окружная логарифмическая деформация.

Используя уравнения теории пластичности ортотропных сред [7] и соотношения безмоментной теории тонких оболочек, имеем

$$q = \frac{S_0}{r_0} \mu_{21}^{m} K \frac{\mu_{12}}{\mu_{21}} \cos\alpha \, W,$$

где μ_{ik} – коэффициенты поперечной деформации, где первый индекс показывает направление поперечного сжатия, а второй – направление действия силы,

$$m = 0{,}5\,(1-n); \qquad (5)$$

$$W = \varphi^{-m} e^{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} (\varepsilon_1 - \mu_{12}\varepsilon_2), \text{ где } \varphi = \mu_{21}\varepsilon_1^2 - 2\mu_{21}\mu_{12}\varepsilon_1\varepsilon_2 + \mu_{12}\varepsilon_2^2;$$

$\varepsilon_1 = -\ln \frac{S}{S_0} - \ln \frac{r_1}{r_0}$ – осевая логарифмическая деформация с обратным значком;

K и $n = \ln(1 + \delta_p)$ – константы степенной аппроксимации диаграммы истинных напряжений.

Подставляя выражение (5) в (4), имеем

$$\frac{dW}{d\varepsilon_2} = 0. \qquad (6)$$

Будем считать нагружение простым.

Тогда

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \lambda = const. \qquad (7)$$

Выражение (5) преобразуется к виду

$$W = D e^{\varepsilon_2(\lambda - 2)} \varepsilon_2^{n},$$

где

$$D = (\lambda - \mu_{12})(\mu_{21}\lambda^2 - 2\mu_{12}\mu_{21}\lambda + \mu_{12}) = const.$$

Теперь из выражения (6) имеем

$$\frac{d}{d\varepsilon_2}\left[e^{\varepsilon_2(\lambda-2)}\varepsilon_2^{n}\right]=0.$$

Дифференцируя, получим

$$e^{\varepsilon_1(\lambda-2)}\varepsilon_2^{n}(\lambda-2)+ne^{\varepsilon_2(\lambda-2)}\varepsilon_2^{n-1}=0,$$

откуда

$$n=(2-\lambda)\varepsilon_2 .$$

Используя равенство (7), имеем

$$2\varepsilon_2-\varepsilon_1=n. \qquad (8)$$

Итак, условие деформирования без потери устойчивости можно записать в виде

$$2\varepsilon_2-\varepsilon_1<n. \qquad (9)$$

При раздаче без подпора $T_{1n}=0, \varepsilon_1=\mu_{12}\varepsilon_2$ и условие (9) перепишется в виде

$$\varepsilon_2<\frac{n}{2-\mu_{12}} .$$

Для изотропного металла $\mu_{12}=0,5$ и $\varepsilon_2<\frac{n}{1,5}$.

Подставляя значение ε_2 и n, получим

$$K_{пр}<(1+\sigma_p)^{\frac{2}{3}} .$$

Аналогичные конечные формулы можно получить для анизотропного материала с торцевым подпором и без него.

Выводы

1. Теоретический расчет подтверждает результаты экспериментальных работ других авторов - разрушение торца заготовки при раздаче на конус происходит значительно раньше, чем материал достигнет деформации σ_p.

2. Предельные коэффициенты при раздаче трубчатых анизотропных заготовок на конус с подпором на торце [9] определяются по полученным формулам (1) - (9).

Литература

1. Горбунов М.И., Глазков В.И. Раздача убчатых заготовок на коническом пуансоне с подпором на кромке. ,"Кузнечно-штамповочное производство", 1968, № 8.

2. Пашкевич А.Г., Каширин М.Ф. Устойчивость линдрических оболочек в процессах штамповки осевым усилием деформирования. М., "Кузнечно-штамповочное производство", 1974, № 3.

3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.,"Машиностроение", 1968.

4. Малинин М.Н. Прикладная теория пластичности и ползести. М., "Машиностроение", 1975.

5. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. Ф.М., М., ука", 1974.

6. Головлев В.Д. Расчеты процессов листовой штамповки. М., "Машиностроение", 1974.

7. Арышенский Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Издательство Саратовского университета, 1973.

УДК 621.983.01 И.И.Терещенко

НЕКОТОРОЕ УТОЧНЕНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАБОТЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Для анализа силового режима процессов обработки металлов зделием наряду с такими методами, как метод линий скольжения, иближенных уравнений, сопротивления материалов и др. находит широкое применение метод баланса работ [1]. Этот метод, основанный (законе сохранения энергии, применяли многие исследователи [2],], [4].

Работа проводилась без учета упрочнения [5]. Обычно в аналоных расчетах упрочнение не учитывается и определение работы чительно упрощается. Но для реальных условий это грубое упрощение и формулы, полученные с учетом такого допущения, могут дать значительные ошибки при расчетах.

В работе [5] сделана попытка учитывать упрочнение, и в результате соответствующих вычислений получена система общих уравнений: