

Н.Н Мороз, доц., канд. техн. наук, В.В. Драгобецкий, проф., д-р техн. наук,
Ю.А. Бойко ас.

Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградського

Влияние схемы напряженно - деформировочного состояния на локализацию деформаций, предшествующую разрушению

Установлена зависимость между параметрами, характеризующими схему напряженно-деформировочного состояния с предельной деформацией материала заготовки. На основании проведенных теоретических исследований авторами получено замкнутое экспериментально-аналитическое решение уравнения связи интенсивности деформаций с отношением главных напряжений, позволяющее выявить предельно-допустимые степени формоизменения без локализации деформаций. **заготовка, локализация деформаций, деформационные параметры, формоизменения листовых деталей, интенсивность деформации**

Предотвращение предшествующей разрушению локализации деформаций чрезмерно важно при проектировании и разработке технологий листовой штамповки. На напряженно-деформированное состояния, предшествующее разрушению, существенное влияние оказывает технологические факторы, характеристика материала заготовки, вид исходного полуфабриката, технологическая наследственность.

В работе [1] установлено, что способность тонкостенных трубчатых заготовок сопротивляться нарастающим нагрузкам может исчерпываться не только вследствие разрушений в обычном смысле этого слова (трещина или полный разрыв образца), но и в связи с явлениями, приводящими к локализациями пластических деформаций. В зависимости от соотношения между растягивающими напряжениями в одном случае образовалась шейка, в другом случае разрушения произошло без видимых признаков локализации, в третьем случае появилось местное вздутие. Разрушения без локализации пластических деформаций происходит, когда ни один из силовых факторов не достигнет экстремума, либо появления этого экстремума, что еще не связано непосредственно с разрушениями, но влечет за собой локализацию деформаций предшествующую разрушению. Кривая предельного сопротивления материала состоит в общем случае из разных участков, соответствующим этим явлениям. По мнению прочнистов [1] – это явление впервые отмечено И.Н. Изотовым и А.Г. Митюковым [2] в 1973 г. Обработки давлением – это явление описали ранее Е.А. Попов 1970 г. [3] и А.Д. Томленов [4].

Описания процесса локализации деформаций при изменении схемы напряженного состояния и степени воздействия технологических факторов на этот процесс представлено В.И. Ершовым и др. [4]. Там же экспериментально, для алюминиевых сплавов установлены основные факторы, ограничивающие возможность формоизменения сварных алюминиевых заготовок. Однако авторы ограничились экспериментальными исследованиями и заключением о крайней сложности формоизменения или теоретического описания процесса формоизменения в условиях локализации деформаций.

В процессах формоизменения листовых деталей могут возникать неустойчивые состояния, которые приводят к появлению областей локализаций и сосредоточенных деформаций, предшествующих разрушению и не допустимых в готовых изделиях. Кроме того организация процесса формоизменения, протекающего без локализации деформаций предшествующих разрушению позволяет получать детали минимальной разнотолщинностью.

Установлено, что склонность материалов заготовки к локализации деформаций зависит от схемы напряженного состояния. Влияние схемы напряженного состояния на предельно допустимые деформации позволяет оценить многочисленные экспериментальные исследования, выполненные при различных схемах нагружения формоизменяемых заготовок в очаге деформаций [5-7]. Схема напряженного состояния, как правило, характеризуется коэффициентом жесткости схемы Г. А. Смирнова–Аляева [8].

В работах [4] проведена обработка экспериментальных данных, полученных при выполнении различных операций формоизменения и установлена – квадратическая зависимость между интенсивностью деформаций и коэффициентом жесткости схемы напряженного состояния. Поэтому повторная обработка этих экспериментальных данных позволила уточнить эти зависимости. Предложено в интервале значений коэффициента жесткости схемы напряженного состояния $-1 \leq D < 0$ использовать зависимость:

$$\varepsilon_{ик} = \varepsilon_{инп}(-5D + 1), \quad (1)$$

а при $0 < D \leq 1,5$ –

$$\varepsilon_{ик} = \varepsilon_{инп}(-1,5D + 2,5), \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ик}$ – интенсивность деформаций в момент разрушения при линейном растяжении;

$D = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$ – коэффициент жесткости схемы напряженного состояния;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные напряжения;

Зависимость (1) практически совпадает с экспериментальными данными [4]. Данные по зависимости (2) приводят к изменению $\varepsilon_{ик}$ не более чем на 5–8 %.

Величина критических деформаций, при которых начинается локализация и при схемах напряженного состояния отличающегося по величине от деформаций при линейном растяжении, можно рассчитать с помощью уравнения [4]:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{2\sqrt{1-m+m^2}}{2-m}n, \quad (3)$$

где $m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ – отношение главных растягивающих напряжений;

n – показатель упрочнения материала.

При разноименных схемах напряженного состояния знаменатель последнего уравнения изменяется на $(1+m)$ [4]. Если местное относительное удлинение на границе шейки (равномерное удлинение) δ_e будет больше или равно относительному удлинению в середине шейки δ_k , то разрушения заготовки, производится без предшествующей локализации деформаций.

Граничное соотношения напряжений $m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$, при котором $\delta_\epsilon = \delta_\kappa$ можно определить из формул (1) и (2). Преобразовав выражение для D к виду:

$$D = (1+m)(1-m+m^2)^{-0.5} \quad (4)$$

и, приняв $\epsilon_{imp} = \epsilon_{\kappa p}$ [4], получим

$$\frac{2\delta_\epsilon (1-m+m^2)^{0.5}}{2-m} = \delta_\kappa \left[\kappa (1+m)(1-m+m^2)^{-0.5} + \epsilon \right], \quad (5)$$

где κ – принимают значения 1,5 и 5;

ϵ – принимают значения 1 и 1,25.

Уравнение (5) после преобразований приводится к уравнению четвертой степени и решается методом Дирака–Эйлера.

При разноименных схемах напряженного состояния уравнения (5) примет вид:

$$\frac{2\delta_\epsilon}{\delta_\kappa} \times \frac{(1-m+m^2)^{0.5}}{1+m} = \left[\frac{\kappa(1+m)}{(1-m+m^2)^{0.5}} + \epsilon \right], \quad (6)$$

обозначив $\frac{(1-m+m^2)^{0.5}}{1+m} = t$, получим

$$\frac{2\delta_\epsilon}{\delta_\kappa} t = \frac{\kappa}{t} + \epsilon, \quad (7)$$

которое приводится к квадратному уравнению:

$$t^2 - \frac{\epsilon}{2} \frac{\delta_\kappa}{\delta_\epsilon} t - \frac{\kappa}{2} \frac{\delta_\kappa}{\delta_\epsilon} = 0. \quad (8)$$

Решение этого уравнения имеет вид:

$$t_{1,2} = -\frac{\epsilon}{4} \frac{\delta_\kappa}{\delta_\epsilon} \pm \sqrt{\frac{\epsilon^2}{16} \frac{\delta_\kappa^2}{\delta_\epsilon^2} - \frac{\kappa}{2} \frac{\delta_\kappa}{\delta_\epsilon}}.$$

Возводя обе части решения в квадрат и после преобразований, получим

$$m_{1...4} = \frac{1 \pm 2t_{1,2} \pm \sqrt{3(4t_{1,2} - 1)}}{2(1 - t_{1,2})}. \quad (9)$$

Если напряженное состояния заготовки в очаге деформаций характеризуется значениям $m \leq m_{ep}$, определяемое из уравнения (5) и (9), то разрушение будет происходить, без предшествующей локализации деформаций и при определении

предельно допустимых степеней формоизменения нет необходимости в учете факторов, связанных с локализацией.

Таким образом получено замкнутое экспериментально-аналитическое решение уравнения связи интенсивности деформаций с отношением главных напряжений, позволяющее выявить предельно допустимые степени формоизменения без локализации деформаций.

Список литературы

1. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов. Учеб. пособие. – Л.: 1979. – 176 с.
2. Изотов. Н.И., Митюков А.Г., Экспериментальное изучение условий локализации пластических деформаций при плоском и объемном напряженном состояниях. – Проблемы прочности, 1973, № 10.-С. 37-42.
3. Попов Е.А., Шевченко А.А. Предельная степень деформации при раздате труб. – Кузнечно-штамповочное производство, 1970, № 3. – С. 9-12.
4. Ершов В.И., Глазков В.И., Каширин М.Ф. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с.
5. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
6. Колмогоров В.Л., Багатов А.А., Мыгачев Б.А. Пластичность и разрушение. – М.: Металлургия, 1977. – 336 с.
7. Петерсон Р. Коэффициенты конструкции напряжений. – М.: Мир, 1977. – 235 с.

Н. Мороз, В. Драгобецкий, Ю. Бойко

Вплив схеми напружено-деформаційного стану на локалізацію деформацій, що передують руйнуванню

Встановлена залежність між параметрами, що характеризують схему напружено-деформаційного стану з граничною деформацією матеріала заготовки. На основі проведених теоретичних досліджень авторами одержано замкнуте експериментально-аналітичне рішення рівняння зв'язку інтенсивності деформацій з відношенням головних напруг, що дозволяють виявити гранично-допустимі ступені формозміни без локалізації деформації.

N. Moroz, V. Dragobetskiy, U. Boiko

The influence of scheme intently-strained condition for the localization of deformation which are proceeded to the destruction

Determined the dependence between parameters that are characterizing the scheme of strained-deformation mill with limiting deformation of material procurement. On the base of conducted theoretical

researches by the authors were received closed experimentally-analytical resolution leveling of connection link power of deformation concerning the main strain that allowing to show limiting permissible degrees of hanging forms without localization of deformation.

Одержано 10.09.09