

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА ПРЕДЕЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ ВЫТЯЖКИ

При производстве листового материала, предназначенного для штамповочных операций, в частности для вытяжки, ГОСТом определены минимальные значения характеристик пластичности, т.е. его удлинения  $\sigma'$  и поперечного сужения  $\psi$ . В соответствии с этими требованиями строится и технология получения листов.

Однако стремление к получению максимальной пластичности приводит к тому, что упускаются из вида другие важные параметры листовых полуфабрикатов, например, анизотропия свойств. Величина показателей анизотропии в процессе производства листов обычно не контролируется и носит случайный характер, хотя в настоящее время общеизвестно ее существенное влияние на целый ряд операций штамповки [1, 2, 3, 4]. Не решаются, как правило, вопросы рационального сочетания в листовой заготовке параметров пластичности и анизотропии. Это особенно важно для материалов с высокой пластичностью и незначительными показателями анизотропии (типичным примером является группа алюминиевых сплавов [4]).

Отмеченные недостатки обусловлены тем, что в технической литературе слабо отражены исследования по влиянию пластических свойств материала на предельное формоизменение при вытяжке. Восполнение указанного пробела и было целью данной статьи.

Для количественной оценки предельных возможностей операции вытяжки воспользуемся соотношением, приведенным в работе [2]:

$$K_{np} = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \mu_{cp}^2}} - \frac{S_0}{2r_M + S_0} \right) \frac{1}{\alpha \gamma \varphi_1} + \varphi_1', \quad (1)$$

где  $K_{np} = \frac{D_{заг}}{d_{сеч}}$  - предельная степень вытяжки;

$\mu_{cp}$  - показатель анизотропии, осредненный в плоскости листа;

$S_0$  - толщина листа;

$r_M$  - радиус скругления вытяжного ребра матрицы;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий изменение величины параметра Лоде при наличии анизотропии материала;

$\eta$  - коэффициент, учитывающий трение;  
 $\varphi_1, \varphi_1'$  - константы, связанные с величиной  $\varphi_p$  (характеризуют пластичность материала [5]).

С учетом соотношения (I), проанализируем влияние показателей пластичности полуфабрикатов на предельную степень вытяжки. Если принять, что условия вытяжки, анизотропия металла, трение, упрочнение и другие факторы постоянны, а изменяются только пластические свойства, то выражение (I) может быть представлено в следующем виде:

$$K_{np} = \frac{N}{\varphi_1} + \varphi_1', \quad (2)$$

$$\text{где } N = \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \mu_{cp}^2}} - \frac{S_0}{2z_m + S_0} \right) \alpha \eta.$$

Чтобы оценить пределы изменения величины  $K_{np}$  при штамповке листов с различными значениями характеристик пластичности, обозначим для одного из них - начального -  $\varphi_p = \varphi_0$ , а для последующих -  $\varphi_p = \varphi_i$ . Соответственно обозначим и константы  $\varphi$ : для  $\varphi_0 - \varphi_0'$  и  $\varphi_0'$ ; для  $\varphi_i - \varphi_i'$  и  $\varphi_i'$ .

С учетом принятых обозначений выражение (2) для различных материалов можно представить в виде

$$N = \varphi_0 K_{np}^0 - \varphi_0' \varphi_0';$$

$$N = \varphi_i K_{np}^i - \varphi_i' \varphi_i'. \quad (3)$$

Полагая, что величина  $N$  в обоих уравнениях одинакова и разрешив систему (3) относительно отношения  $\frac{K_{np}^i}{K_{np}^0}$ , получим:

$$\frac{K_{np}^i}{K_{np}^0} = \frac{\varphi_0}{\varphi_i} + \frac{\varphi_i \varphi_i' - \varphi_0' \varphi_0'}{\varphi_i K_{np}^0}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет оценить изменение предельной степени вытяжки в зависимости от величины равномерного сужения материалов  $\varphi_p$ .

Приняв, что при  $\varphi_p = \varphi_0 = 0,15$ ,  $K_{np} = 2,0$  и используя табличную зависимость  $\varphi_i$  и  $\varphi_i'$  от  $\varphi_i$  [5] ( $i = 0, 1, 2, 3$ ), были проведены расчеты, результаты которых представлены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Значения характеристик пластичности	Величина $\frac{K_{np}^1}{K_{np}^0}$
1. $\psi_p = \psi_0 = \psi_1 = 0,15 \div 0,20$ $\psi_0' = \psi_1' = 0,75$ $\psi_0'' = \psi_1'' = 1,0$	I
2. $\psi_p = \psi_2 = 0,25 \div 0,30$ $\psi_0 = 0,75; \psi_2 = 0,8$ $\psi_0' = 1,0; \psi_2' = 1,1$	I,018
3. $\psi_p = \psi_3 = 0,35 \div 0,45$ $\psi_0 = 0,75; \psi_3 = 0,85$ $\psi_0' = 1,0; \psi_3' = 1,18$	I,032

Из таблицы следует, что при увеличении значений относительного сужения  $\psi$  в 3 раза предельная степень вытяжки возросла лишь на 3,2%.

Косвенным подтверждением этому служат результаты проведенных экспериментальных исследований по вытяжке листов из сплавов Д16 и АД0 с  $\psi_p = 8 \div 10\%$ , показавшие их стабильную штампуемость при  $K_{np} = 1,92 \div 1,94$ .

С другой стороны, оценивая влияние анизотропии на предельные возможности вытяжки, следует отметить [4], что увеличение показателей анизотропии в плоскости заготовки на 10-12% повышает значения  $K_{np}$  на 12 - 15%.

Из проведенного анализа следует, что при изготовлении листового металла для вытяжки величиной пластичности можно варьировать в широкой диапозоне без заметного ухудшения штампуемости. Это создает основу для производства материалов с рациональным сочетанием характеристик удлинения, сужения, анизотропии.

#### Л и т е р а т у р а

1. Ш е в е л е в В.В., Я к о в л е в С.П. Анизотропия листовых материалов и ее влияние на вытяжку. М., "Машиностроение", 1972.

2. Уваров В.В., Арышенский Ю.М., Калужский И.И. Анализ влияния анизотропии листового металла на коэффициент вытяжки. Труды КуАИ, вып. 41, 1970.

3. Арышенский Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Изд-во Саратовского университета, 1973.

4. Гречников Ф.В. Интенсификация процессов штамповки за счет создания в листах радиальной анизотропии свойств. Автореферат кандидатской диссертации. Куйбышев, 1977.

5. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. М., "Машиностроение", 1964.

УДК 621.983.7

В.П.Чистяков

### ТОЧНОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ОБТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ

При обтяжке деталей двойной кривизны основным фактором, влияющим на точность процесса, как и при обтяжке деталей одинарной кривизны, является пружинение при разгрузке штампуемой детали.

Согласно теореме о разгрузке [1], величина пружинения определяется совместным решением задач нагружения при пластическом формоизменении заготовки и ее разгрузке.

Изгибающий момент внутренних сил на стадии нагружения в процессе изгиба и растяжения заготовки в общем виде определяется уравнением

$$M = \int_F \sigma y dF, \quad (1)$$

где  $F$  - площадь поперечного сечения заготовки;

$\sigma = \kappa \varepsilon^n$  - напряжение в элементарном волокне заготовки, координированном ординатой  $y$  относительно главной оси инерции сечения, на которой  $\varepsilon = \varepsilon_0$ .

При обтяжке деталей двойной кривизны, в отличие от обтяжки деталей одинарной кривизны, деформации, а следовательно и напряжения в рассматриваемом поперечном сечении, распределяются неравномерно.