

В.И. ЛЮБИМОВ, В.И. ПИЛИПЕНКО, В.А. ВАРАВИН,
кандидаты техн. наук (БПИ)

ВЫТЯЖКА МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОДПОРОМ МЯГКОГО СЛОЯ

Процесс вытяжки многослойных заготовок при различных механических свойствах слоев характеризуется неравномерной деформацией как по толщине, так и вдоль каждого из слоев, что отрицательно сказывается на качестве получаемых изделий. Для предотвращения преимущественной деформации мягкого слоя при формоизменении многослойных заготовок предложен способ вытяжки с подпором мягкого слоя с помощью бурта, выполненного по контуру заготовки твердого слоя (рис. 1).

Бурт образует полость, в которую перед вытяжкой помещают заготовку мягкого слоя. Внутренний диаметр и высота бурта равны соответственно диаметру и толщине заготовки мягкого слоя. При вытяжке таких заготовок бурт, ограничивая пластическое течение мягкого слоя в меридиональном направлении, воспринимает давление со стороны этого слоя. Ширина бурта определяется его прочностью на срез. В мягком слое в результате действия бурта возникают дополнительные сжимающие напряжения $\Delta\sigma_2$. Бурт передает воспринимаемое им давление твердому слою, создавая в нем дополнительные растягивающие напряжения $\Delta\sigma_1$ в меридиональном направлении. Так как действие бурта на слой из мягкого материала равно противодействию, оказыва-

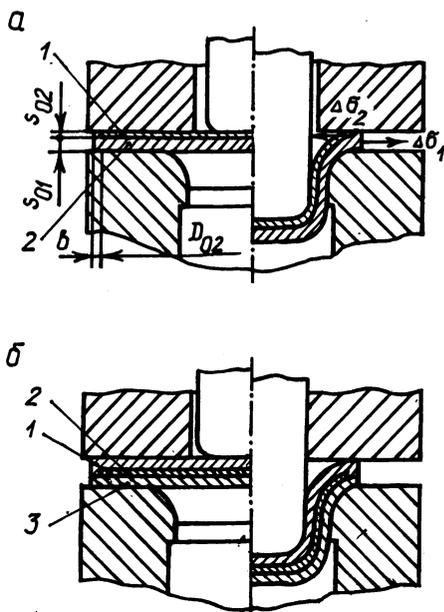


Рис. 1. Схема вытяжки двухслойной (а) и трехслойной (б) заготовок с подпором мягкого слоя:

1 — заготовка мягкого слоя; 2, 3 — заготовка твердого слоя

емому этим слоем на бурт, дополнительные напряжения в слоях будут обратно пропорциональны их толщинам:

$$\frac{\Delta\sigma_2}{\Delta\sigma_1} = \frac{s_{01}}{s_{02}}.$$

Условие прочности бурта на срез можно представить в виде

$$P_6 \leq \sigma_{\text{ср}} A_{\text{ср}}, \quad (1)$$

где P_6 — усилие, действующее со стороны мягкого слоя на бурт, $P_6 = \Delta\sigma_2 s_{02} \times \pi D_{02}$; $\sigma_{\text{ср}}$ — напряжение среза материала твердого слоя, $\sigma_{\text{ср}} = 0,8\sigma_{\text{в1}}$; $A_{\text{ср}}$ — площадь среза бурта, $A_{\text{ср}} = \pi b(D_{02} + b)$; D_{02} — внутренний диаметр бурта; b — ширина бурта.

После подстановки в неравенство (1) вышеперечисленных соотношений условие прочности бурта на срез примет следующий вид:

$$\Delta\sigma_2 \leq 0,8\sigma_{\text{в1}} \frac{b}{s_{02}D_{02}} (D_{02} + b). \quad (2)$$

С учетом осевой симметрии и плоской схемы деформации уравнение равновесия для каждого из слоев в зоне утонения (рис. 2) может быть записано в виде

$$\rho_i \frac{d\sigma_{zi}}{d\rho_i} + \sigma_{zi} - \sigma_{\text{ни}} = 0,$$

где σ_{zi} — растягивающие напряжения на выходе из очага деформации в i -м слое; $\sigma_{\text{ни}}$ — нормальные напряжения на контактных поверхностях i -го слоя.

Решая это уравнение совместно с условием пластичности для зоны утонения

$$\sigma_{zi} - \sigma_{\text{ни}} = 1,15\sigma_{si}$$

и учитывая граничные условия

$$\rho_i = R_i, \quad \sigma_{z1} = \sigma_{\rho1}^I + \Delta\sigma_1, \quad \sigma_{z2} = \sigma_{\rho2}^I - \Delta\sigma_2,$$

получим, что на нижней границе зоны утонения

$$\begin{aligned} \sigma_{z1} &= \sigma_{s1} \ln R_1 / r_1 + \sigma_{\rho1}^I + \Delta\sigma_1; \\ \sigma_{z2} &= \sigma_{s2} \ln R_2 / r_2 + \sigma_{\rho2}^I - \Delta\sigma_2, \end{aligned} \quad (3)$$

где σ_{si} — напряжение текучести материала i -го слоя; $\sigma_{\rho i}^I$ — растягивающие напряжения на верхней границе зоны утонения, создаваемые фланцем i -го слоя в начале вытяжки, без учета трения по матрице: $\sigma_{\rho i}^I = \sigma_{si} \ln K_d$.

В рассматриваемых условиях вытяжки преимущественное пластическое течение мягкого слоя ограничивается буртом. В результате деформирования удлинения обеих заготовок в меридиональном направлении выравниваются

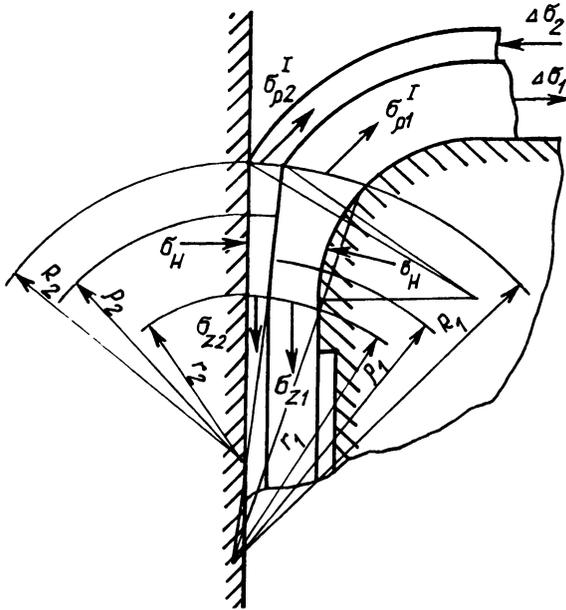


Рис. 2. Схема зоны утонения при вытяжке двухслойной заготовки с подпором мягкого (внутреннего) слоя

($\epsilon_{\rho 1} = \epsilon_{\rho 2}$). Из условия постоянства объема при пластическом формоизменении с учетом плоской схемы деформации в зоне утонения следует, что деформации утонения обеих заготовок $\epsilon_{s 1}$ и $\epsilon_{s 2}$ также выравниваются. Тогда (рис. 2)

$$R_1 = R_2 = R, \quad r_1 = r_2 = r.$$

В этом случае для зоны утонения будет справедливо соотношение

$$R/r = s_0/s = K_s. \quad (4)$$

С учетом выражения (4) уравнения (3) примут вид:

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_{z 1} &= \sigma_{s 1} (\ln K_s + \ln K_d) + \Delta \sigma_1; \\ \Delta \sigma_{z 2} &= \sigma_{s 2} (\ln K_s + \ln K_d) - \Delta \sigma_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где K_d и K_s — соответственно степень вытяжки и утонения заготовки.

Используя принцип осреднения одного из главных напряжений $\sigma_{\alpha i}$ [1], получим

$$\sigma_{z 1} - \sigma_{z 2} = \sigma_{s 1} - \sigma_{s 2}. \quad (6)$$

Решая совместно уравнения (1), (5) и (6), получим соотношение

$$\Delta \sigma_2 = \frac{(1 + \ln K_s K_d) s_{01}}{s_{01} + s_{02}},$$

после подстановки которого в неравенство (2) можно определить минимальную ширину бурта, удовлетворяющую его прочности на срез:

$$b_{\min} = \sqrt{D_{02} \left[\frac{D_{02}}{4} + \frac{s_{01} s_{02} (\sigma_{s1} - \sigma_{s2}) (1 + \ln K_s K_d)}{0,8 \sigma_{b1} s_0} \right]} - \frac{D_{02}}{2} \quad (7)$$

Из полученного выражения следует, что при осуществлении описанного способа вытяжки заготовки ширина бурта будет возрастать с увеличением относительной толщины мягкого слоя, различия механических свойств компонентов и степеней деформации заготовки. С увеличением ширины бурта будут возрастать растягивающие напряжения в опасном сечении твердого слоя, что приведет к снижению предельной степени вытяжки этого слоя, а следовательно, и всего пакета. В случае, если мягкий слой имеет худшие технологические свойства по отношению к твердому слою, разгружающее действие бурта на мягкий слой создает условия для увеличения предельных степеней деформации пакета. В соответствии с этим увеличение предельных степеней вытяжки и утонения будет происходить, если мягкий слой значительно тоньше твердого.

Данным способом можно получать трехслойные и двухслойные изделия как с внутренним, так и с наружным расположением мягкого слоя. В результате того, что деформации слоев равномерны, соотношение толщин слоев в стенке изделия будет равно соотношению исходных толщин слоев в пакете.

Экспериментальное опробование предложенного способа вытяжки было проведено на штампе с радиальной матрицей диаметром 33 мм и пуансоном диаметром 31 мм. В качестве исходных заготовок использовались пакеты из латуни Л63 отожженной (наружный слой в изделии, $s_0 = 0,2$ мм) и стали X18H9T ($s_0 = 1$ мм). В заготовке твердого слоя (сталь X18H9T) толщиной 1,2 мм выполнялась полость диаметром, равным диаметру заготовки мягкого слоя, и глубиной 0,2 мм. Ширина бурта при этом составляла 0,4 мм при расчетной минимальной ширине 0,1 мм, определенной из выражения (7). Для сравнения такие же изделия получали обычной вытяжкой.

Из результатов эксперимента, приведенных в табл. 1, следует, что предложенный способ вытяжки позволил уменьшить разнотолщинность слоев вдоль образующей стенки изделия в 8 раз и увеличить относительную глубину вытяжки на 13,4 %. Кроме того, предельная степень вытяжки пакета увеличилась с 1,7 (при обычной вытяжке) до 1,94, что составляет 14,1 %.

Табл. 1. Результаты экспериментального опробования вытяжки двухслойной заготовки (латунь Л63 – сталь X18H9T) с подпором мягкого слоя

| Способ вытяжки | Степень вытяжки пакета K_d | Степень утонения пакета K_s | Разнотолщинность слоев Δs , мм | Относительная глубина вытяжки H_d |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------------|
| С подпором мягкого слоя | 1,7 | 1,2 | 0,015 | 0,67 |
| Обычная | 1,7 | 1,2 | 0,12 | 0,58 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ совместной пластической деформации разнородных металлов / М.И. Бояршинов, Г.Э. Аркулис // Инженер. методы расчета технолог. процессов обработки металлов давлением. — М., 1963.

УДК 621.778.1

А.В. СТЕПАНЕНКО, акад. АН БССР, В.Г. ВОЙТОВ,
Л.М. ДАВИДОВИЧ, кандидаты техн. наук (БПИ)

АНАЛИЗ ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ ВОЛОЧЕНИЯ

В существующих технологиях волочения проволоки предусматриваются режимы деформирования, обеспечивающие высокую производительность труда и создающие усилия, близкие к предельным. Поэтому поиски путей снижения этих усилий, а также их оценки становятся важными не только для определения потребных энергетических затрат, но и с точки зрения повышения устойчивости процесса. Это справедливо и для технологии получения микропроволоки диаметром 50 мкм и менее вследствие существенного возрастания обрывности по сравнению с волочением проволоки больших поперечных сечений.

Для осуществления процесса волочения имеются три принципиальных возможности, связанные с эффектом деформационного упрочнения металла, изменением осевого усилия и локализацией очага деформации. В последних двух случаях возможно волочение разупрочняющихся материалов.

В традиционном способе волочения (рис. 1, а) через алмазные волокна обязательным является выполнение следующего условия:

$$\sigma_{m'} = n \sigma_{m_0} \geq \sigma_m \xi,$$

где σ_m — среднее значение напряжения течения материала, поскольку у входа в волоку его деформированное состояние соответствует σ_{m_0} , а на выходе из нее — $\sigma_{m'}$, т. е.

$$\sigma_m = \frac{n \sigma_{m_0} + \sigma_{m_0}}{2} = \frac{\sigma_{m_0} (n+1)}{2};$$

n — характеристика деформационного упрочнения; ξ — переменная величина, учитывающая влияние механической схемы деформирования и зависящая от степени деформации ϵ_i и контактных условий или коэффициента трения μ .

При волочении микропроволоки через алмазные волокна возможности эффекта деформационного упрочнения металла весьма ограничены, что вынуждает применять промежуточные отжиги, характеризующиеся большой длительностью и энергоемкостью.

Расширение возможностей процесса волочения через алмазные волокна можно достичь созданием дополнительного усилия сжатия на входе в волоку