

По зависимости (7) были найдены значения n_p для следующих условий прокатки: $D = 70$ мм, $b_0 = 40$ мм. Результаты расчетов представлены в виде кривых на рис. 1. При фиксированном значении h_1/R с увеличением обжатия и коэффициента трения n_p возрастает. Чем тоньше полоса, тем больше n_p .

ЛИТЕРАТУРА

1. В ы д р и н В.Н. Энергетические уравнения процесса прокатки // Прокат. пр-во Челябинск, 1974. -- Вып. 130. -- С. 3–11. 2. Б е з в е р х и й М.С., С ы ч е в Н.Г. Мощность сил контактного трения при прокатке с поперечным сдвигом валков // Metallurgia. — Мн., 1988. — Вып. 22. — С. 107–110. 3. В ы д р и н В.Н. Динамика прокатных станков. — М., 1960. — 256 с.

УДК 621.983.321

В.И.ПИЛИПЕНКО, В.А.ВАРАВИН,
В.И.ЛЮБИМОВ

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДВУХСЛОЙНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

В работе исследуется напряженное состояние составной двухслойной заготовки при ее вытяжке в коническую матрицу. В очаге деформации (рис. 1) можно выделить три участка: плоский (1), тороидальный (2) и конический

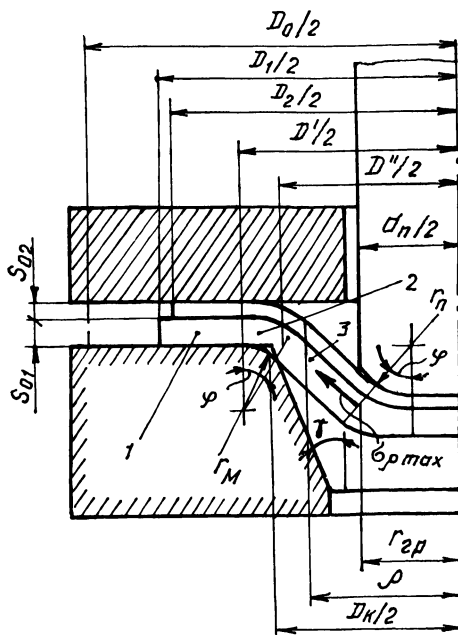


Рис. 1. Схема очага деформации

(3). Наибольший интерес представляют максимальные растягивающие напряжения $\sigma_{\rho \max}$, действующие на границе участка 3 с донной частью заготовки. Эти напряжения определяют предельную степень деформации заготовки K_d и усилие вытяжки P .

Для определения $\sigma_{\rho \max}$ используем совместное решение уравнений равновесия элемента i -го слоя

$$\rho \frac{d\sigma_{\rho ji}}{d\rho} + \sigma_{\rho ji} - \sigma_{\theta ji} = 0$$

и энергетического условия пластичности

$$\sigma_{\rho ji} - \sigma_{\theta ji} = 1,15\sigma_{si},$$

где $\sigma_{\rho ji}$ и $\sigma_{\theta ji}$ — соответственно меридиональное растягивающее и окружное сжимающее напряжение, действующее в i -м слое заготовки на j -м участке; σ_{si} — напряжение текучести материала i -го слоя.

Используя граничные условия

$$\rho = D_i/2, \tau_{\rho 1i} = \sigma_{\text{тр}i},$$

$$\rho = D''/2, \sigma_{\rho 3i} = \sigma_{\rho 2i} = \sigma_{\rho 1i} + \Delta\sigma_{\rho i},$$

получим, что меридиональные растягивающие напряжения, действующие в i -м слое на участке 3,

$$\sigma_{\rho 3i} = 2\sigma_{si} \ln(D_i/2\rho) + \sigma_{\text{тр}i} + \Delta\sigma_{\rho i}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{тр}i}$ — растягивающие напряжения, вызванные действием сил трения на участке i -го слоя; $\Delta\sigma_{\rho i}$ — приращение растягивающих напряжений, вызванное изгибом и спрямлением i -го слоя на участке 2.

Как следует из [1], $\Delta\sigma_{\rho i}$ соответственно для наружного (в готовом изделии) и внутреннего слоев заготовки можно представить в виде:

$$\Delta\sigma_{\rho 1} = \frac{\sigma_{s1} S_{01}}{2r_m + 0,5S_{01}}, \quad \Delta\sigma_{\rho 2} = \frac{\sigma_{s2} S_{02}}{2r_m + S_{01} + 0,5S_{02}}. \quad (2)$$

Если принять, что коэффициенты трения по матрице и прижиму равны, то

$$\sigma_{\text{тр}i} = 0,1\sigma_{\rho \max i} (\mu \pm \mu') \left(1 - \frac{18S_{0i}}{D_0 - d_n}\right) \frac{D_0}{d_n}, \quad (3)$$

где μ и μ' — коэффициенты трения соответственно по матрице и межслойной поверхности.

В выражении (3) знак плюс соответствует мягкому слою, а минус — твердому. Подставив в выражение (1) уравнения (2) и (3) при $\rho = d_n/2$ с учетом сил контактного и межслойного трения на участке 2 и упрочнения компонентов пакета, получим, что для наружного слоя

$$\sigma_{\rho \max 1} = \frac{\sigma_{в1}}{\psi_{ш1}(1-\psi_{ш1})} \left(1 - \frac{D_1}{D_0}\right)^{\frac{\psi_{ш1}}{1-\psi_{ш1}}} \left\{ \left(\ln \frac{D_1}{d_n} + \frac{S_{01}}{2r_m + 0,5S_{01}} \right) \times \right. \\ \times [1 + 1,54(\mu \pm \mu')] + \ln \frac{D_k}{d_n} \left. \right\} \left\{ 1 - \frac{0,1(\mu \pm \mu')[1 + 1,54(\mu \pm \mu')] D_0}{d_n} \right\} \times \\ \times \left(1 - \frac{18S_{01}}{D_0 - d_n} \right)^{-1}, \quad (4)$$

для внутреннего слоя

$$\sigma_{\rho \max 2} = \left\{ \frac{\sigma_{в2}}{\psi_{ш2}(1-\psi_{ш2})} \left(1 - \frac{D_2}{D_0}\right)^{\frac{\psi_{ш2}}{1-\psi_{ш2}}} \left[\left(\ln \frac{D_2}{d_n} + \frac{S_{02}}{2r_m + S_{01} + 0,5S_{02}} \right) \times \right. \right. \\ \times (1 \pm 1,54\mu') + \ln \frac{D_k}{d_n} \left. \right\} \left\{ 1 - \frac{0,1(\mu \pm \mu')(1 \pm 1,54\mu') D_0}{d_n} \right\} \times \\ \times \left(1 - \frac{18S_{02}}{D_0 - d_n} \right)^{-1}. \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) знак плюс соответствует твердому слою, а минус — мягкому. Для расчета усилия P вытяжки двухслойной заготовки воспользуемся осредненным значением суммарных напряжений в слоях [2]:

$$\sigma_{\rho \max} = \frac{S_{01} \sigma_{\rho \max 1} + S_{02} \sigma_{\rho \max 2}}{S_{01} + S_{02}}.$$

Тогда в соответствии с [1] получим

$$P = \pi \sin \psi [d_n - 2r_n + 2 \sin \psi (r_n + 0,5S_0)] (S_{01} \sigma_{\rho \max 1} + S_{02} \sigma_{\rho \max 2}). \quad (6)$$

Из анализа выражений (4) и (5) следует, что при деформировании заготовок в составе пакета в результате действия сил межслойного трения $\sigma_{\rho \max}$ в твердом слое возрастают, а в мягком снижаются по отношению к напряжениям, возникающим в заготовках при их однослойной вытяжке. Следовательно, при деформировании в составе пакета предельная степень вытяжки $K_{дпр}$ мягкого компонента возрастает, а твердого — снижается. Независимо от механических свойств материалов слоев в наружном слое возникают большие $\sigma_{\rho \max}$ за счет увеличения напряжений, обусловленных изгибом и контактным трением заготовки на входной кромке матрицы. Следовательно, наибольшая сте-

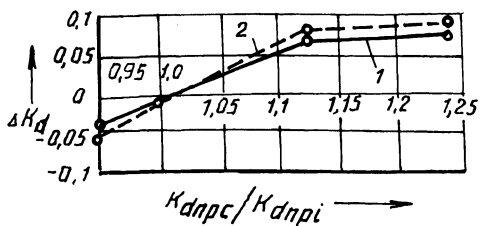


Рис. 2. Изменение предельной степени вытяжки слоев заготовок по отношению к предельной степени вытяжки пакета ΔK_d в зависимости от соотношения технологических

свойств $\frac{K_{dnpс}}{K_{dnpі}}$ слоя стали 08 кп и деформируемого с ней материала ($S_0 = 1,42$ мм; $S_{0C} = 0,72$ мм):

- 1 — при наружном расположении стали;
2 — при внутреннем расположении стали

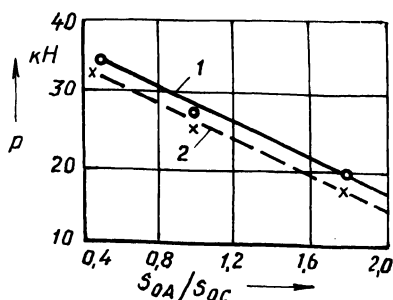


Рис. 3. Зависимость усилия вытяжки пакетов сталь 08 кп — алюминий АД1 от соотношения исходных толщин слоев и их компоновки: 1 — при наружном расположении стали; 2 — при внутреннем расположении стали

пень вытяжки пакета может быть достигнута при наружном расположении более прочного компонента,

Из выражений (4), (5) и (6) вытекает, что усилие вытяжки возрастает с увеличением толщины твердого слоя, а также при наружном расположении этого слоя в изделии. Результаты анализа этих выражений согласуются с экспериментальными данными, которые были получены при вытяжке с жестким прижимом в коническую матрицу диаметром 33 мм однослойных заготовок и таких же заготовок в составе пакетов сталь 08кп — алюминий АД1 и сталь 08кп — латунь Л63 (рис. 2, 3). Изменение предельной степени вытяжки однослойной заготовки K'_{dnp} по отношению к предельной степени вытяжки пакета K_{dnp} характеризовалось показателем

$$\Delta K_d = \frac{K_{dnp} - K'_{dnp}}{K'_{dnp}}$$

Проведенный анализ напряженного состояния двухслойной заготовки позволяет оценить изменение ее технологических свойств в сравнении со свойствами составляющих компонентов. Это дает возможность прогнозировать предельные степени деформации заготовки и энергосиловые параметры процесса вытяжки.

ЛИТЕРАТУРА

1. П о п о в Е.А. Основы теории листовой штамповки. — М., 1977. — 287 с. 2. П е р л и н И.Л., Е р м а н ю к М.З. Теория волочения. — М., 1971. — 448 с.