

го уравнения (4), не превышает единицы и изменяется в пределах  $0 < \sin \gamma / \sin \beta < 1$ . Для выполнения условия перекачивания без закручивания необходимо, чтобы и левая часть изменялась в тех же пределах — от 0 до 1.

Так как левая часть уравнения (4) представляет собой коэффициент рас-согласования угловых скоростей ( $K = \omega_v / \omega_c$ ), определим пределы его изменения: нижний должен быть отличен от нуля, иначе внутренняя коническая поверхность обращается в цилиндрическую; верхний должен быть меньше единицы, иначе отсутствует рабочий зазор.

Полученные условия волочения без закручивания позволяют расширить технологические возможности процесса и могут использоваться при получении микропровода из разных металлов, в том числе и малопластичных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1061875 (СССР). А.В. Степаненко, В.Г. Войтов. Способ волочения микропровода и устройство для его осуществления.

УДК 621.983.321/324

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

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВНОЙ ЗАГОТОВКИ НА ПРЕДЕЛЬНУЮ СТЕПЕНЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫТЯЖКЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Получение многослойных изделий методом комбинированной вытяжки возможно как деформированием составной заготовки, так и отдельным послойным деформированием. В настоящей работе рассмотрено влияние компо-ненты составной заготовки, соотношения механических свойств и толщин составляющих ее компонентов на предельную степень формоизменения двух-слойных изделий при комбинированной вытяжке (табл. 1).

Исходная толщина пакета составляла  $S_{0n} = 1,41...1,43$  мм. Перед вытяж-кой межслойные поверхности заготовок пакета обезжировали ацетоном, а на поверхность, обращенную к матрице, наносили смазочный материал "Голь-вив" (ТУ 205 БССР). Заготовки в пакете ориентировали таким образом, чтобы направления образования впадин в одной из них совпадали с направлениями образования фестонов в другой. Для обеспечения оптимального разделения процесса вытяжки на стадии независимо от исходного диаметра пакета исполь-зовали составную матрицу [1] с диаметром калибрующего пояска 33 мм и углом конусности  $13^\circ$ . Предельные степени вытяжки и утонения пакета опре-деляли по методике С.А. Валиева [1]. Критерием достижения предельной сте-пени деформации пакета являлся обрыв наружного слоя.

Экспериментальные исследования показали, что с ростом степени утоне-ния  $K_s$  пакета предельная степень его вытяжки  $K_{dn}$  вначале остается постоян-ной, а затем уменьшается, а предельная степень утонения  $K_{sn}$ , при которой происходит переход в область непрерывного уменьшения  $K_{dn}$ , практически со-

Табл. 1. Характеристика составных пакетов

Композиция пакета		Условное обозначение пакета	Соотношение		
Наружный слой	Внутренний слой		исходных толщин $S_{OT}/S_{OM}$	пределов текучести $\sigma_{Т.Т.}/\sigma_{Т.М.}$	коэффициентов упрочнения $n_T/n_M$
Сталь 08кп	Алюминий АДН (отожженный)	$C + A_O$	1,04	3,0	1,42
Алюминий АДН (отожженный)	Сталь 08кп	$A_O + C$			
Сталь 08кп	Алюминий АДН	$C + A$		1,35	2,97
Алюминий АДН	Сталь 08кп	$A + C$			

Примечание: индексом "т" обозначены характеристики материала твердого слоя, "м" — мягкого.

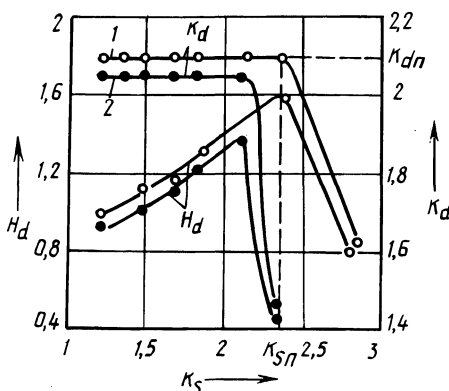


Рис. 1. Изменение степени вытяжки пакетов  $K_d$  и относительной высоты изделий  $H_d$  в зависимости от степени утонения:  
1 —  $C + A_O$ ; 2 —  $A_O + C$

ответствует максимальной относительной высоте изделия  $H_d$  (рис. 1). При этом значение предельной степени утонения  $K_{сп}$  зависит от соотношения механических свойств материалов слоев и компоновки пакета (табл. 2).

Характерной особенностью формоизменения составного пакета является неравномерность деформации слоев в зоне утонения, в результате чего возникают силы межслойного трения, активные по отношению к слою, получающему большую деформацию, и реактивные по отношению к слою, получающему меньшую деформацию. Эти силы остаются постоянными в процессе деформирования пакета, так как определяются лишь условиями контактного трения между слоями. Поэтому дополнительные напряжения в наружном слое, вызванные силами межслойного трения, будут зависеть от степени его утонения.

Табл. 2. Влияние компоновки пакета на предельные степени деформации

Условное обозначение пакета	Предельная степень вытяжки $K_{дп}$	Предельная степень утонения $K_{сп}$
$C + A_0$	2,09	2,35
$A_0 + C$	2,06	2,04
$C + A$	1,95	2,27
$A + C$	1,76	1,95

При наружном расположении мягкого слоя дополнительные сжимающие напряжения в нем от активных сил межслойного трения возрастают с увеличением различия механических свойств материалов слоев. При наружном расположении твердого слоя дополнительные растягивающие напряжения от реактивных сил межслойного трения снижаются. Отсюда следует, что независимо от компоновки пакета с увеличением различия механических свойств слоев вероятность обрыва наружного слоя снижается. Этот вывод подтверждается экспериментальными данными (см. табл. 2). Однако с увеличением различия механических свойств материалов слоев возрастает неравномерность послойных деформаций по высоте изделия, что значительно снижает их качество. Исследования показали, что с уменьшением толщины мягкого слоя в исходной заготовке неравномерность послойных деформаций снижается (рис. 2). Кроме того, с уменьшением исходной толщины мягкого слоя снижается независимо от компоновки пакета вероятность обрыва его наружного слоя, что выражается в увеличении  $K_{сп}$  (рис. 3).

На основании изложенного можно сделать вывод, что применение составных пакетов для изготовления двухслойных изделий комбинированной вы-

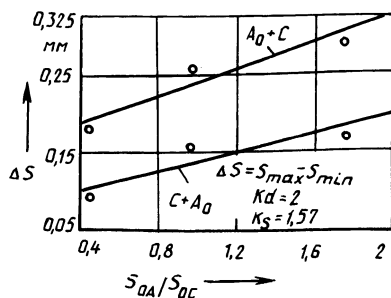


Рис. 2. Изменение неравномерности деформации слоев по высоте стенки изделия в зависимости от соотношения толщин компонентов пакета

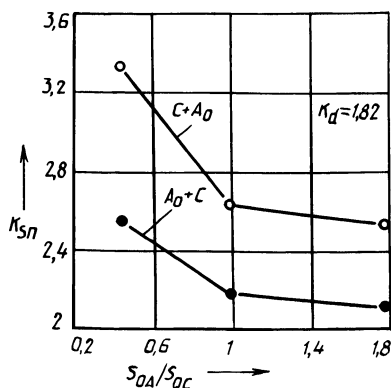


Рис. 3. Изменение предельной степени утонения пакета в зависимости от соотношения толщин его компонентов

тяжкой наиболее эффективно при большом различии механических свойств материалов слоев и соотношении толщин исходных заготовок в пакете.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В а л и е в С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов. — М., 1973. — 176 с.

УДК 621.07

В.Н. БУЛАХ, И.Н. МЕХЕД,

П.С. ОВЧИННИКОВ, кандидаты техн.наук (БПИ)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ПЛОСКОЙ ЗАГОТОВКИ

Глубокой вытяжкой из листовой заготовки в промышленности получают большое количество изделий различной конфигурации. При проектировании технологических процессов вытяжки осесимметричных круглых в плане изделий размеры и форма заготовки определяются легко. Если же изделие имеет сложную форму, заготовку рассчитывать тяжелее в связи с тем, что в различных зонах металл деформируется по-разному. На основании равенства площадей изделия и заготовки форма последней получается ступенчатой. Для выявления размеров и формы заготовки применяют графическое построение и экспериментальную доводку.

При современном уровне производства желательно использовать такие расчетные методы, которые позволяют применять автоматизированные системы проектирования. Для расчета заготовки при глубокой вытяжке необходимо определить траектории и скорости перемещения точек в деформируемом металле в процессе изготовления изделия.

Если не учитывать усилия прижима фланца заготовки, напряженное состояние при глубокой вытяжке можно принять плоским. Вследствие осевого растяжения и тангенциального сжатия изменяется толщина заготовки.

Используя уравнения связи напряжений и скоростей деформаций и приняв функцию  $\psi(v_x, v_y)$  с учетом  $v_x = \frac{\partial \psi}{\partial x}$  и  $v_y = \frac{\partial \psi}{\partial y}$ , запишем дифференциальные уравнения равновесия в прямоугольных координатах в виде

$$G = \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} + \frac{\partial G}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + G \left( \frac{\partial^3 x}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2} \right) + \frac{\partial G}{\partial x} \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right) + G \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} = 0; \quad (1)$$

$$G \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} + \frac{\partial G}{\partial y} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + G \left( \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial y} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3} \right) +$$