

## ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ ЗАГОТОВОК НА РАЗНОТОЛЩИННОСТЬ СТЕНКИ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ВЫТЯЖКЕ

Вследствие присущей листовым материалам анизотропии свойств детали, получаемые методами холодной штамповки, имеют целый ряд недостатков, которые приводят к снижению их качества и увеличению себестоимости. Так, при вытяжке анизотропных заготовок помимо явлений фестонообразования наблюдается также разнотолщинность стенки изделия по образующей (до 70-80%) и по периметру (до 65%), что вызывает значительную неравнопрочность стенки.

Для устранения этого недостатка необходимо:

проанализировать закономерности влияния анизотропии на образование разнотолщинности, вытекающие из теории пластичности анизотропных сред;

наметить пути получения листовых заготовок, обеспечивающих постоянную толщину стенки детали;

провести опытную штамповку полученных заготовок.

В работе [1] отмечается, что характер изменения толщины стенки по фестону и впадине определяется величиной анизотропии.

В связи с этим рассмотрим взаимосвязь между толщиной стенки осесимметричной детали, полученной вытяжкой, и показателем анизотропии материала.

Используя уравнения связи между напряжениями и деформациями [2]:

$$d\varepsilon_p = d\lambda (K_{1111} \sigma_p + K_{1122} \sigma_\theta);$$

$$d\varepsilon_\theta = d\lambda (K_{2211} \sigma_p + K_{2222} \sigma_\theta);$$

$$d\varepsilon_z = d\lambda (K_{3311} \sigma_p + K_{2233} \sigma_\theta), \quad (1)$$

получим выражение для определения текущей толщины стенки при вытяжке

$$S = S_0 \left( \frac{R}{R_3} \right)^{\frac{K_{3311}}{K_{1111}}}. \quad (2)$$

- Здесь  $\sigma_r, \sigma_\theta$  - соответственно главные радиальное и тангенциальное напряжения, действующие во фланце заготовки;
- $d\epsilon_r, d\epsilon_\theta, d\epsilon_z$  - приращения радиальных, тангенциальных деформаций по толщине;
- $K_{ijkl}$  - компоненты материального тензора;
- $S, R$  - текущие толщина и радиус заготовки;
- $S_0, R_0$  - начальные значения толщины и радиуса заготовки.

Как было показано в работе [3], отношение компонент материального тензора в выражении (2) можно записать через технические показатели анизотропии - коэффициенты поперечной деформации

$$\mu_{ij} = - \frac{K_{iijj}}{K_{jjjj}} = - \frac{\epsilon^i}{\epsilon^j},$$

где  $\frac{K_{iijj}}{\epsilon^i}$  - поперечная деформация сжатия при одноосном растяжении плоского образца;

$\epsilon^i$  - деформация растяжения в направлении приложенной силы. Следовательно,  $\frac{K_{3311}}{K_{1111}} = -\mu_{31}$ . Из работы [2] следует, что  $\mu_{31} = 1 - \mu_{21} = 1 - \mu_{00}$ .

В работе [4] отмечено, что степень фестонобразования определяется лишь максимальным  $\mu_{\max}$  и минимальным  $\mu_{\min}$  значениями показателей анизотропии в плоскости заготовки. Так как рассматривается изменение толщины стенки по фестону и впадине, то с учетом указанных факторов выражение (2) целесообразнее записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} S_\varphi &= S_0 \left( \frac{R}{R_0} \right)^{\mu_{\max} - 1}; \\ S_\theta &= S_0 \left( \frac{R}{R_0} \right)^{\mu_{\min} - 1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Из соотношений (3) следует:

1. Чем больше отличаются значения показателей анизотропии от 1, тем значительнее будет изменение толщины. Следовательно, при вытяжке анизотропного листа наибольшая разностолщинность всегда наблюдается в направлении образования впадин.

2. Разнотолщинность стаканов по образующей будет наблюдаться при вытяжке любых материалов (так как у всех существующих полуфабрикатов  $\mu_{\min} < \mu_{\max} < 1$ ). Она увеличивается с уменьшением показателей анизотропии. Подтверждают это отличия в разнотолщинности по

образующей у колпачков из Ст 08 кп ( $\mu = 0,57$ ) и сплава АМЦАМ ( $\mu = 0,36$ ), полученных в одинаковых условиях эксперимента [1].

3. Для устранения разнотолщинности деталей по периметру необходимо равенство показателей анизотропии в плоскости листа, т.е.

$$\mu^{0^{\circ}} \approx \mu^{45^{\circ}} \approx \mu^{90^{\circ}} \quad (\mu_{\min} \approx \mu_{\max}).$$

Согласно рекомендациям [4], для проверки указанных положений были получены и исследованы листовые заготовки из АДО как с различной степенью анизотропии, так и близкие к трансверсально-изотропным.

Последующая вытяжка этих заготовок осуществлялась без утонения в экспериментальном штампе с коэффициентом  $m = 0,54$ . (исследовались заготовки толщиной 1,3 и 5 мм).

Исходная толщина заготовок устанавливалась путем осреднения пяти замеров вдоль диаметров, нанесенных под углами 0, 45 и 90° относительно оси проката. Толщина стенки вытянутых стаканов измерялась микрометром с точечными вставками и индикатором. Точность замеров составляла 0,01 мм. Замеры осуществлялись по образующей стакана в направлениях образования фестонов и впадин. Толщина стенки в узловых точках принималась средней по результатам 3-х замеров.

Разнотолщинность стенки стакана по образующей и периметру оценивалась по формулам [1]:

$$D_0 = \frac{S_{\max}^{\delta} - S_{\min}^{\delta}}{S_0};$$

$$D_n = \frac{S_{\max}^{\delta} - S_{\max}^{\varphi}}{S_0},$$

где  $S_{\max}^{\delta}$  и  $S_{\min}^{\delta}$  - максимальная (у края стакана) и минимальная (у радиуса перехода стенки в дно) толщины по впадине вдоль образующей;

$S_{\max}^{\varphi}$  - максимальная толщина стенки по фестону, измеряемая на той же высоте, что и  $S_{\max}^{\delta}$ .

Данные по изменению величины  $D_0$  и  $D_n$  в зависимости от степени анизотропии исходной заготовки представлены в таблице и на рис. I. Для наглядности графики изменения  $D_0$  и  $D_n$  постро-

ны в соответствии с кривыми изменения показателя анизотропии в листе при отжиге. Из графиков видно, что разнотолщинность стенки по периметру  $D_n$  практически равна нулю у стаканов, отштампованных из заготовок, отожженных в интервале температур  $305 < T < 330^{\circ}\text{C}$ , т.е. при  $\mu^{0^{\circ}} \approx \mu^{45^{\circ}} \approx \mu^{90^{\circ}} = 0,41 \pm 0,45$ .

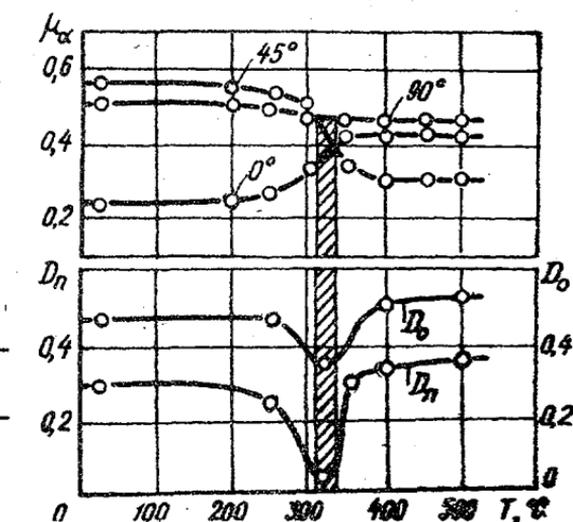
Значения разнотолщинности по образующей  $D_0$  в этом случае также уменьшаются на 31,6% по сравнению с величиной  $D_0$ , полученной при штамповке листов, отожженных по стандартной технологии.

Это связано с тем, что при отжиге в указанном интервале температур показатель анизотропии  $\mu_{\text{мин}} = 0,41$  имеет наибольшее значение.

Его величина возросла в 1,85 раза по сравнению с холоднокатанным состоянием и в 1,3

по сравнению с заготовками, которые отжигались при  $T > 350^{\circ}\text{C}$ . В соответствии с этим, как следует из выражений (3), изменение толщины стенки по образующей также уменьшается.

Из приведенного материала следует, что предложенные в работе [4] режимы изготовления листов позволяют при последующей штамповке наряду с фестонообразованием устранить разнотолщинность стенки стакана по периметру  $D_n$  и существенно снизить разнотолщинность по образующей  $D_0$ .



Р и с. 1. Изменение величин  $D_0$  и  $D_n$  в зависимости от степени анизотропии исходной заготовки

### Л и т е р а т у р а

И. 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.

Т а б л и ц а

$S_0$ , мм	Температура отжига заготовок $T, ^\circ\text{C}$	Величина показателей анизотропии			Толщина стенки колпачка $S$ , мм		$D_0$	$D_n$	Характеристика верхнего края стакана
		$0^\circ$	$45^\circ$	$90^\circ$	по фектону	по впадине			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, 12	без отж.	0,19	0,49	0,44	1,302 1,23 1,17 1,12 1,08	- 1,48 1,34 1,19 1,06	0,375	0,223	фестоны и впадины
0,78	350	0,45	0,48	0,46	0,902 0,86 0,77 0,72 0,70	0,94 0,82 0,78 0,71 0,69	0,321	0,038	ровный край
I, 16	450	0,45	0,36	0,5	1,25 1,22 1,11 1,06 1,01	- 1,5 1,17 1,05 0,97	0,454	0,242	фестоны и впадины
2,94	без отж.	0,23	0,55	0,46	3,4 3,1 3,02 2,93 2,84	- 3,98 3,32 2,86 2,61	0,464	0,299	фестоны и впадины
2,81	250	0,25	0,53	0,48	3,04 2,96 2,85 2,75 2,70 2,63	- 3,64 3,03 2,82 2,67 2,32	0,471	0,242	фестоны и впадины
2,83	325	0,41	0,44	0,45	3,48 3,32 3,19 2,8 2,73 2,61	3,61 3,41 2,88 2,77 2,69 2,62	0,352	0,0458	ровный край
2,83	400	0,41	0,31	0,46	3,1 2,82 2,76 2,71 2,58 2,45	- 3,73 3,26 2,83 2,52 2,281	0,514	0,321	фестоны и впадины

Т а б л и ц а

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4,78	без от- жига	0,25	0,56	0,48	5,0 4,5 4,26 4,12 4,08	- 6,12 4,82 4,48 3,9	0,465	0,339	фестоны и впади- ны
4,78	300	0,28	0,52	0,40	5,1 4,96 4,68 4,57 4,29	- 6,28 5,71 5,06 4,0	0,478	0,276	фестоны и впа- дины
4,78	320	0,4	0,43	0,39	5,52 5,41 5,12 4,93 4,65 4,32	5,72 5,53 5,18 4,89 4,53 4,1	0,334	0,038	ровный край
4,78	450	0,39	0,28	0,41	5,18 4,97 4,76 4,5 3,98	- 6,34 4,92 4,48 3,89	0,512	0,287	фестоны и впади- ны

2. А р ы ш е н с к и й Ю.М. Теория листовой штамповки анизотропных материалов. Изд-во Саратовского университета, 1973.

3. У в а р о в В.В., А р ы ш е н с к и й Ю.М., Г р е ч -  
н и к о в Ф.В. О возможностях регулирования анизотропии листовых  
материалов. Сб.: "Теория и технология обработки металлов давлением".  
Труды КуАИ, 1977.

4. Г р е ч н и к о в Ф.В. Интенсификация процессов штамповки  
деталей л.а. за счет создания в листах рациональной анизотропии  
свойств. Автореферат кандидатской диссертации, КуАИ, 1977.