

Коэффициенты	Х18Н10Т				ОТ-4			
	без смазки		со смазкой		без смазки		со смазкой	
	3826	СКУ-7Л	СКУ-7Л	3826	3826	СКУ-7Л	СКУ-7Л	3826
	№ кривых							
	1	2	3	4	5	6	8	7
a	7,89	8,2	6,2	3,38	5,87	4,74	4,65	2,53
b	3,12	2,77	2,11	0,98	3,59	3,2	2,6	1,73
c	0,011105	0,0045	0,00364	0,00352	0,021	0,0175	0,0101	0,0081

ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченков Е. П. Штамповка резиной и жидкостью. М., «Машиностроение», 1967.
2. Комаров А. Д. Упругая отдача листовых металлов при гибке в штампах. М., ж. «Кузнечно-штамповочное производство», 1965, № 11.
3. Санаровский С. В., Смеляков Е. П., Комаров А. Д. и др. Б сб. «Новые способы холодной штамповки». Куйбышевское книжное издательство, 1969.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. М., «Машиностроение», 1971.
5. Исаченков В. Е., Исаченков Е. П. Обобщение теории трения при обработке металлов давлением. М., ж. «Кузнечно-штамповочное производство», 1972, № 12.

А. Д. Комаров, В. В. Шалавин

ГИБКА ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ БОРТОВ ПОЛИУРЕТАНОМ

Одной из распространенных операций при изготовлении деталей эластичной средой из листа является гибка бортов. Значительный интерес представляет гибка бортов небольшой высоты. При недостаточной высоте борта эластичная среда, обтекая борт, оставляет его недоформованным или борт формообразуется неполностью [1].

Ввиду большой неоднородности напряженно-деформированного состояния изгибаемого материала математический анализ упругопластического изгиба в общем виде очень сложен. Для упрощения решения задачи вводится ряд допущений. При анализе упругопластического изгиба принята гипотеза плоских сечений, согласно которой поперечные сечения, плоские и перпендикулярные к поверхности листа, до изгиба остаются плоскими и проходят через ось изогнутого листа после изгиба [2]. Эта гипотеза даст возможность выразить деформации растяжения и сжатия в тангенциальном направлении через радиус кривизны нейтрального слоя r и расстояние рассматриваемой точки до нейтрального слоя y .

$$\varepsilon = \frac{y}{r} \quad (1)$$

Почти 80% производственных деталей имеют борта, у которых относительный радиусгиба, т. е. отношение внутреннего радиусагиба к толщине материала $\frac{r_n}{t} = 3$ и более. Можно с достаточной точностью принять, что при таких радиусахгиба имеет место линейное напряженно-деформированное состояние. При этом оказывается возможным учитывать только тангенциальные напряжения и деформации.

Принимая гипотезу плоских сечений и пренебрегая смещением нейтрального слоя от срединной поверхности, напишем выражение для момента внутренних сил изогнутого листа

$$M_{\text{вн}} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} S \cdot b \cdot y \cdot dy, \quad (2)$$

где b — ширина изгибаемого листа;

S — истинные напряжения.

Для аппроксимации экспериментальных кривых упрочнения принимается простая и широко применяемая степенная зависимость

$$S = K \cdot \epsilon^n, \quad (3)$$

где k и n — величины постоянные для данного материала.

Значения k и n для многих материалов приводятся в работе [3].

Значение изгибающего момента

$$M_{\text{вн}} = 2 \int_0^{\frac{t}{2}} K \cdot b \cdot \left(\frac{y}{r}\right)^n y dy. \quad (4)$$

После интегрирования получим

$$M_{\text{вн}} = \frac{K \cdot b \cdot t^{n+2}}{r^n(2+n)2^{1+n}}. \quad (5)$$

Давление эластичной среды создаст момент

$$M_s = \frac{q(H - r\varphi)^2}{2} \cdot b, \quad (6)$$

где H — ширина участка заготовки, из которой образуется борт (рис. 1).

Из геометрических соотношений величина H может быть определена по формуле

$$H = r \cdot \varphi + \frac{h - r(1 - \cos \varphi) - 0,5t}{\sin \varphi}. \quad (7)$$

После подстановки формулы (7) в (6) — из условия равновесия моментов внешних и внутренних сил, можно найти выражение для минимальной высоты прямолинейного борта

$$h_{\text{min}} = \sin \varphi \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot t^{n+2}}{r^n(2+n)2^{1+n}} \cdot q} + r(1 - \cos \varphi) + 0,5t. \quad (8)$$

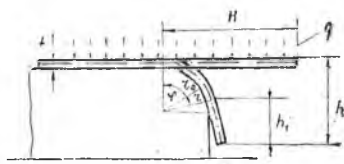


Рис. 1. Схема приложения внешних сил при изгибе прямолинейного борта эластичной средой

Большее количество производственных деталей имеет угол гiba $\varphi = 90^\circ$ и относительный радиус гiba $\frac{r_b}{l} = 3$. Для таких деталей формула (8) примет более простой вид

$$h_{min} = \sqrt{-\frac{K l^2}{7(2+n)q}} + 4l. \quad (9)$$

При $r_b = 2-5$ для аппроксимации экспериментальных кривых упрочнения принимают наиболее простую линейную зависимость

$$S = \sigma_b. \quad (10)$$

Тогда значение момента внутренних сил

$$M_{int} = 2 \int_0^l \sigma_b^2 \cdot y \cdot b \cdot dy. \quad (11)$$

После интегрирования

$$M_{int} = \frac{\sigma_b \cdot b \cdot l^3}{4}. \quad (12)$$

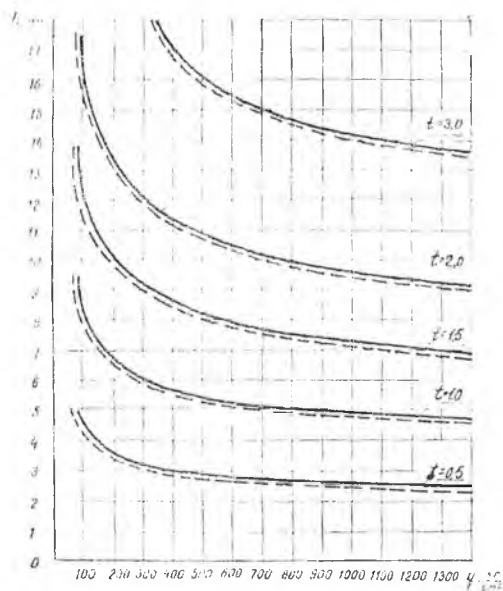


Рис. 2. Зависимость минимальной высоты борта от давления эластичной среды для материала Д16АТ

Из равенства моментов внешних и внутренних сил с учетом выражения (7) можно выразить значение минимальной высоты прямолинейного борта

$$h_{min} = \sin \varphi \sqrt{\frac{\sigma_b l^2}{2q}} + r(1 - \cos \varphi) + 0,5 l. \quad (13)$$

Для деталей, имеющих уголгиба $\varphi=90^\circ$ и $\frac{r_b}{t}=3$, минимальная высота борта

$$h_{min} = \sqrt{\frac{\sigma_y t^2}{2q}} + 4t. \quad (14)$$

На рис. 2 показана зависимость минимальной высоты борта от величины давления. Высота бортов, рассчитанная по формуле (14), отличается от значений, полученных по формуле (9) на 3% в сторону уменьшения. Формулы были проверены экспериментально на материалах Д16АМ, Д16АТ, АМг6М, МА-8М толщиной 0; 5; 1,0; 1,8; 2,0 мм.

Экспериментальные значения высот бортов отличались от расчетных на 5—15%. Большие отклонения наблюдались у более толстых и прочных материалов.

На основе теоретических и экспериментальных данных составлена таблица минимальных высот прямолинейных бортов (при $\varphi=90^\circ$ и $\frac{r_b}{t}=3$) для некоторых материалов при наиболее широко применяемых на производстве давлениях эластичной среды (резина, полнуретан).

Таблица

Марка материала	Давление, кг/см ²	Толщина материала, мм					
		0,5	1,0	1,2	1,5	1,8	2,0
		Минимальная высота борта, мм					
Д16АМ	100	3,5	7,5	9,0	11,0	13,0	15,0
	300	3,0	6,0	7,0	9,0	11,0	12,0
	700	2,5	5,5	6,5	8,0	9,5	10,5
Д16АТ	100	5,0	9,0	11,0	14,0	15,0	18,0
	300	4,0	7,0	8,5	10,5	12,5	14,0
	700	3,0	6,0	7,0	9,0	10,5	12,0
АМг6М	100	4,5	8,5	10,0	12,5	14,5	17,0
	300	3,5	6,5	8,0	10,0	12,0	13,0
	700	3,0	6,0	7,0	8,5	10,0	11,5
МА-8М	100	4,0	8,0	9,5	11,5	14,0	16,0
	300	3,0	6,0	7,5	9,5	11,0	12,5
	700	3,0	5,5	6,5	8,0	10,0	11,0

1. Исаченков Е. П. Штамповка резиной и жидкостью. М., «Машиностроение»; 1967.
2. Сапаровский С. В., Комаров А. Д., Смеляков Е. П. и др. Штамповка резиной. Куйбышевское книжное изд-во, 1964.
3. Сапаровский С. В., Смеляков Е. П., Комаров А. Д. и др. Новые способы холодной штамповки. Куйбышевское книжное изд-во, 1969.

Н. П. Колесников, Л. А. Кренделев

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК ВНУТРЕННИМ ДАВЛЕНИЕМ

В листовой штамповке широко используется метод формообразования деталей или их элементов давлением жидкой, газовой или эластичной среды. Этот метод применяется, в частности, при изготовлении тонкостенных оболочек двойной кривизны (рис. 1), используемых в конструкциях различных машин и аппаратов.

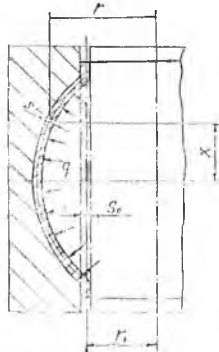


Рис. 1. Схема формообразования оболочки двойной кривизны внутренним давлением

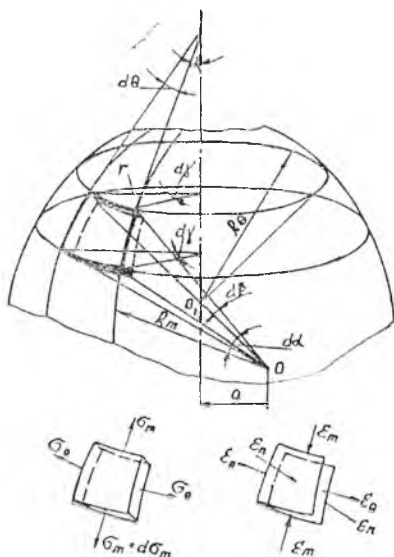


Рис. 2. Схема напряженно-деформированного состояния при формообразовании оболочки