

ОБЩЕСТВО «ЗНАНИЕ» РСФСР  
Ленинградская организация  
ЛЕНИНГРАДСКИЙ ДОМ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОПАГАНДЫ

---

УДК 621.983 : 678.664

А. Д. Комаров, В. П. Романовский

## ВЫРЕЗКА ДЕТАЛЕЙ ПОЛИУРЕТАНОМ

---

Серия — *Прогрессивные формообразование и термообработка,  
металловедение*

---

Ленинград  
1986

КОМАРОВ Анатолий Дмитриевич, РОМАНОВСКИЙ Виктор Петрович. Вырезка деталей полиуретаном. Л.: ЛДНТП, 1986.

36 с. с ил. 4500 экз. 18 коп.

Данная брошюра является второй в серии, посвященной вопросу применения полиуретана в листоштамповочном производстве. В ней изложены основы технологии и конструирования оснастки для штамповки листовых и трубчатых деталей при помощи полиуретана. Сообщается о результатах исследований и внедрения в производство разработанных процессов и их экономической эффективности.

Работа предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся вопросами холодной штамповки.

УДК 621.983 : 678.664

С О в о з в а щ е н и е Р С Ф С Р . Ленингр. организация. ЛДНТП, 1986.

## ВВЕДЕНИЕ

По инициативе Ленинградской партийной организации разработана целевая комплексная территориально-отраслевая программа интенсификации экономики в 12-й пятилетке на основе ускорения внедрения достижений научно-технического прогресса.

Программа «Интенсификация-90» содержит широкий круг мероприятий по созданию и внедрению новых технологических процессов, превосходящих по своим технико-экономическим показателям лучшие мировые и отечественные достижения. Одним из наиболее прогрессивных методов изготовления деталей является холодная штамповка, повышающая производительность труда, коэффициент использования материалов и улучшающая качество деталей.

Весьма эффективным и легко внедряемым методом изготовления деталей из листовых и трубчатых заготовок в условиях опытного и мелкосерийного производства является штамповка эластичной средой. При помощи эластичной среды осуществляются самые разнообразные разделительные, формоизменяющие, калибровочные и комбинированные операции при штамповке деталей из листовых и трубчатых заготовок. Основное достоинство этих процессов — значительное упрощение, снижение металлоемкости и стоимости технологической оснастки. При штамповке деталей из листового металла вместо трудоемких, металлоемких и дорогих специальных штампов необходимы лишь стальные вырезные шаблоны или гибочные оправки, которые изготавливаются из любой стали, вторичного алюминиевого сплава, прессованной древесины (балинита или дельта-древесины) и эпоксидной смолы. Штамповка производится в универсальном контейнере с эластичной средой, который применяется для изготовления многих сотен различных деталей и может служить десятки лет. Стойкость эластичной среды исчисляется десятками тысяч отштампованных деталей.

Для штамповки деталей из трубчатых заготовок необходимы лишь матрицы. Вместо пуансонов применяют стержни или шайбы из эластичной среды, которые в некоторой степени являются универсальными, так как используются при штамповке различных

деталей из трубчатых заготовок, близких по диаметру и разным по длине.

Преимуществом метода штамповки деталей эластичной средой является уменьшение дополнительных капитальных затрат на оборудование, так как процессы осуществляются на обычных гидравлических или механических прессах, и лишь для штамповки крупногабаритных деталей длиной до 2...4 м и шириной до 1,0...1,5 м требуются специальные мощные гидростатические или гидравлические прессы плунжерного типа.

Особенно ценен метод штамповки деталей эластичной средой для опытного и мелкосерийного производства, характерного частой сменяемостью изделий, а также сжатыми сроками подготовки производства. Например, партию деталей в несколько десятков или сотен штук из листового материала (вырезка по контуру с одновременной пробивкой многих отверстий и пазов, а также с формовкой и гибкой) и необходимую для этого штамповую оснастку (вырезные шаблоны или гибочные оправки с режущими элементами) можно изготовить в течение нескольких часов. Практически при поступлении с утра срочного заказа в течение рабочей смены изготавливаются необходимая простейшая оснастка и партия деталей до 200...1000 штук. Проектирование же и изготовление традиционного штампа требует десятков часов, и быстрее, чем за 2—3 недели, штамп изготовить невозможно.

Детали, изготовленные с помощью эластичной среды, высокого качества, поверхность их не имеет задиrow, царапин и заусенцев. Методы расчета основных формообразующих процессов листовой штамповки деталей эластичной средой разработаны Е. И. Исаченковым [1].

Цель настоящей брошюры — обобщить основные результаты исследований и внедрения в производство разделительных операций, выполняемых эластичной средой на листовых и трубчатых заготовках.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛАСТИЧНЫХ СРЕДАХ

Еще в начале 50-х гг. в качестве эластичной среды при штамповке деталей использовалась резина. Однако резина, обладающая сравнительно невысокими физико-механическими свойствами, может выдержать только давление, не превышающее 10...20 МПа (100...200 кгс/см<sup>2</sup>), и применялась лишь для штамповки тонкостенных деталей из малопрочных материалов, например, на авиационных заводах, где большинство деталей изготовлялось из тонкостенных алюминиевых сплавов [2].

В середине 60-х гг. в Ленинграде во Всесоюзном научно-исследовательском институте синтетического каучука им. академика С. Б. Лебедева (ВНИИСК) был получен новый синтетический резиноподобный материал — полиуретан, который обладает исключительно высокой износостойкостью и способностью работать при

сверхвысоком давлении — до 1000 МПа (10 000 кгс/см<sup>2</sup>) и выше. Прочность полиуретана в 6..8 раз выше прочности резины и достигает 60..80 МПа (600..800 кгс/см<sup>2</sup>). При такой высокой прочности полиуретан в то же время имеет более высокую эластичность и незначительную остаточную деформацию, приобретая после деформирования первоначальные размеры и форму. Кроме того, он обладает высокой бензо- и маслостойкостью, что особенно важно при работе на гидравлических прессах, и позволяет штамповать детали со смазкой. Условная износостойкость его почти в три раза выше износостойкости стали Ст. 3 и в 60 раз выше износостойкости эпоксидной смолы. Стойкость против старения у полиуретана выше, чем у натурального и синтетического каучука. В табл. 1 приведены основные свойства полиуретана отечественного и американского производства, а также резины двух марок, применяемых для штамповки деталей.

В последние годы наиболее широко используется полиуретан марки СКУ-7Л, с помощью которого выполняются разделительные и формоизменяющие операции. При вырезке деталей из фольги, а также для деталей с узкими перемычками рекомендуется более твердый полиуретан, например, марки СКУ-ПФЛ, но стоимость его в три раза выше. Штамповку деталей с давлением до 20 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>), особенно при небольшом объеме производства, осуществляют резиной обычно марки 3826, которая в несколько раз дешевле полиуретана и менее дефицитна.

Литьевые полиуретаны в настоящее время изготавливают по ТУ 84-404—78 «Изделия из литьевого полиуретана для листоштамповочного производства» и выпускаются прямоугольной и цилиндрической формы с размерами, указанными в табл. 2.

В отдельных случаях по согласованию с заводом-изготовителем заказчик может предоставить свои чертежи и литьевые формы и получить изделия специальной формы и произвольных размеров. На заводе «Беларусьрезинотехника» (г. Бобруйск) освоено изготовление полиуретановых изделий площадью до 6 м<sup>2</sup>, которые используются в специальных листоштамповочных прессах.

Необходимые полиуретановые детали из изделий-полуфабрикатов, указанных в табл. 2, получают механической обработкой. Зажимы, закрепляющие детали на станках, должны иметь наибольшую площадь контакта с поверхностью обрабатываемой полиуретановой заготовки, а режущие инструменты — быть особо острыми. Хорошие результаты показал резец ножевого типа, разработанный в Куйбышевском авиационном институте и признанный изобретением [3]. При помощи такого резца от изделий диаметром до 600 мм отрезают круглые пластины с минимальной толщиной до 1 мм (отклонение в пределах 0,1 мм) с гладкой, чистой поверхностью без стружки, т. е. без отхода. Отверстия в пластинах и цилиндрических деталях небольшого диаметра вырезают при помощи острозаточенного тонкостенного трубчатого инструмента.

## Физико-механические свойства полиуретана и резины

Свойства	Отечественный полиуретан				Полиуретан США (адипрен)				Резина		
	СКУ-6	СКУ-7Л	СКУ-7-85	СКУ-7-100	СКУ-ПФ.1	L=100	L=167	L=315	L=420	56	3826
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,21	1,25			1,20					1,41	1,35
Модуль при 100 %-ном растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	4 (10)	4 (40)	9 (90)	15 (150)	15 (150)						
Модуль при 300 %-ном растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	4 (40)	10 (100)		30 (300)	30 (300)						
Предел прочности при растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	45 (450)	60 (600)	60 (600)	60 (600)	45 (450)	30 (300)	35 (350)	80 (800)	20 (200)	10 (100)	8 (80)
Относительное удлинение, %	600	600	500	400	400	550	400	270	800	450	300
Остаточное удлинение, %	1	3	4	12	10					28	20
Остаточная деформация сжатия 30 % (24 часа при 20 °С)		4			12						
Сопротивление раздиру, Н/мм (кгс/см)	35 (35)	55 (55)	70 (70)	100 (100)	105 (105)		105 (105)				
Твердость по Шору А	60	80	85	92	92	90А	95А	79Д	80Д	55	70
Эластичность по отскоку, %	35	25	28	30	35		40				
Величина гистерезисных потерь, %	5	23	65	83	60						

Размеры изделий из листового полиуретана

Показатели	Нормы
1. Изделия прямоугольной формы: длина сторон, мм	а) 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 б) 100, 150, 200, 300, 350, 400, 500, 800, 1000, 1500
высота, мм	20, 30, 40, 50, 60, 100, 150, 200, 250, 300
2. Изделия цилиндрической формы: диаметр, мм	30, 40, 50, 70, 80, 100, 120, 150, 180, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600
высота, мм	произвольная и лимитируется массой изделий, которая не должна превы- шать 150 кг

Нагрев полиуретана в процессе обработки не должен превышать 70...80°C. При более высоких температурах качество обрабатываемой поверхности ухудшается, и в поверхностном слое снижаются физико-механические свойства полиуретана. Для уменьшения нагрева применяют обильную смазку эмульсией.

При изготовлении полиуретановых элементов штампов для массового производства, когда их годовой расход исчисляется десятками штук, целесообразно применять специальные литьевые формы [4]. Это позволяет исключить либо уменьшить механическую обработку. Разрабатывая технологический процесс изготовления деталей при помощи эластичной среды, необходимо учитывать давление, требуемое для ее сжатия. Известно, что кривые напряженно-деформации сжатия зависят от коэффициента формы [5]:

$$K = \frac{F_n}{F_0}, \quad (1)$$

где  $F_n$  и  $F_0$  — площадь нагруженных и ненагруженных поверхностей эластичной среды.

Для цилиндрических втулок с наружным диаметром  $D$ , внутренним диаметром  $d$  и высотой  $h_0$

$$F_n = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{2}; \quad F_0 = \pi h_0 (D + d) \quad (2)$$

и коэффициент формы

$$K = \frac{D - d}{2h_0}. \quad (3)$$

Напряжение сжатия резиновых втулок удобно определять по диаграммам [6], в которых кривые приведены для различных соотношений

$$\frac{D - d}{h_0}. \quad (4)$$

Куйбышевским авиационным институтом проведена работа по исследованию силовых и деформационных характеристик резиновых и полиуретановых пружин и их стандартизации. Данные исследований вошли в сборник стандартов «Буфера и держатели буферов для штампов листовой штамповки» ГОСТ 22188—83 ... ГОСТ 22202—83.

Сравнение диаграмм для стандартных пружин из полиуретана марки СКУ-7Л твердостью по Шору А 82 ед. и резиновых пружин твердостью по Шору А 62 ед. показывает, что полиуретановые пружины имеют напряжения сжатия в 1,5...2 раза больше, чем резиновые. Стойкость полиуретановых пружин исчисляется сотнями тысяч циклов.

При проектировании технологических процессов необходимо также учитывать силу трения между эластичной средой и заготовкой (или оснасткой). Установлено, что коэффициент трения при холодной штамповке зависит от многих факторов, основными из которых являются материалы трущихся тел, смазка, а также величина контактного давления [1].

В табл. 3 приведены результаты экспериментальных исследований коэффициентов трения полиуретана марки СКУ-7Л и резины марки 3826 с металлами при давлении 10...30 МПа (0,1...0,3 кгс/см<sup>2</sup>).

• Таблица 3

Коэффициенты трения при небольшом давлении

Эластичная среда	Наличие смазки	Металлы			
		АМцАМ, Д16АМ	Ст. 3	12Х18Н10Т	ОТ4
Полиуретан СКУ-7Л	без смазки	0,45	0,50	0,40	<b>0,65</b>
	со смазкой	0,40	0,45	0,35	0,60
Резина 3826	без смазки	0,70	0,65	0,75	0,80
	со смазкой	0,35	0,40	0,30	0,50

Металлические пластины испытывались в состоянии поставки и имели шероховатость поверхности  $R_z 40—R_a 0,8$  мкм. В качестве смазки применялось машинное масло. Из табл. 3 видно, что без смазки коэффициенты трения полиуретана на 25...40 % меньше коэффициентов трения резины. Смазка снижает коэффициент трения резины более интенсивно, чем полиуретана.

В процессе штамповки деталей давление эластичной среды (особенно полиуретана) возрастает до нескольких сотен МПа. На рис. 1 приведены экспериментальные графики зависимости коэффициентов трения полиуретана марки СКУ-7Л и резины 3826 от величины давления в трубах из материалов 12Х18Н10Т и ОТ4. Ко-



Эффекты трения полиуретана в трубах из материала 12X18H10T удалось определить при давлении до 535 МПа (5350 кгс/см<sup>2</sup>). Резину испытать при таком сверхвысоком давлении не удалось, так как она выкрашивалась и заклинивала при-

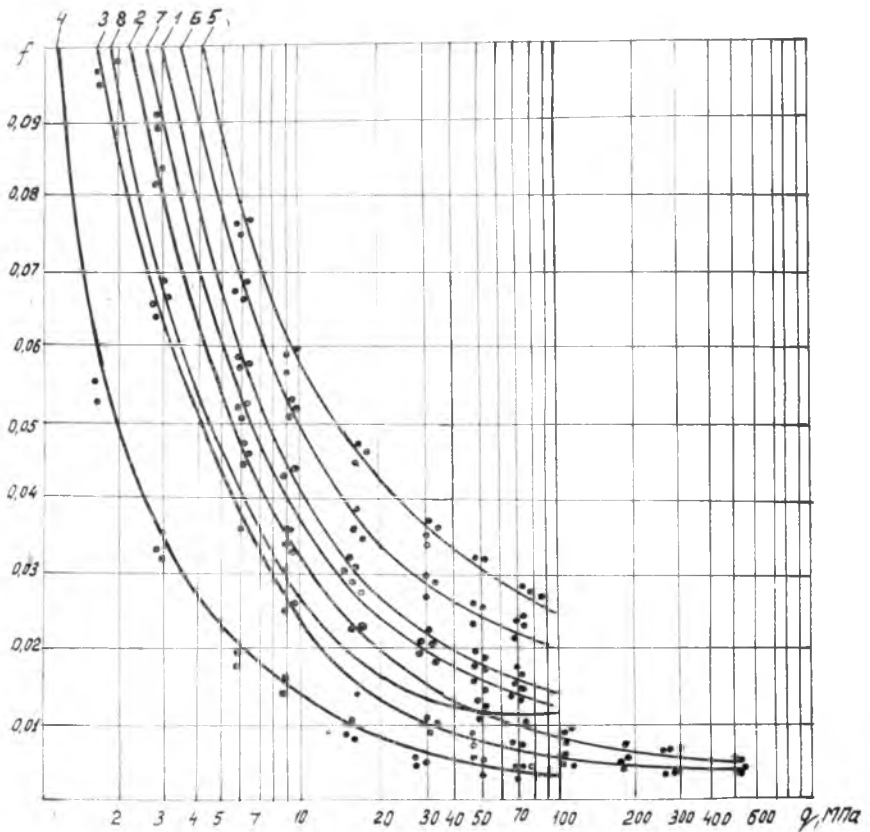


Рис. 1. Зависимость коэффициентов трения от величины давления для материалов:

12X18H10T: 1 — резина 3826 (без смазки); 2 — СКУ-7Л (без смазки); 3 — СКУ-7Л (со смазкой); 4 — резина 3826 (со смазкой)  
 ОТ4: 5 — резина 3826 (без смазки); 6 — СКУ-7Л (без смазки); 7 — СКУ-7Л (со смазкой); 8 — резина 3826 (со смазкой)

способные, что приводило к нестабильности результатов экспериментов. Поэтому все остальные кривые построены до давления 100 МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>). Из графиков видно, что без смазки при высоком давлении коэффициенты трения полиуретана значительно меньше, чем резины. Со смазкой коэффициенты трения рези-

ны несколько меньше, чем полиуретана. Коэффициенты трения резины и полиуретана наиболее интенсивно уменьшаются при увеличении давления до 10...15 МПа (100...150 кгс/см<sup>2</sup>). Проведенный анализ показал, что все экспериментальные кривые довольно точно аппроксимируются зависимостью

$$f = \frac{b}{a + q} + c. \quad (5)$$

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  для полиуретана марки СКУ-7Л и резины марки 3826 при трении с металлами 12Х18Н10Т и ОТ4 без смазки и со смазкой машинным маслом приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  для определения коэффициента трения

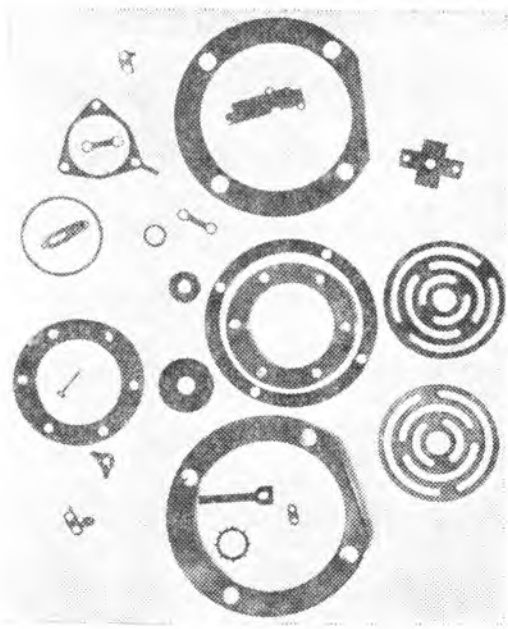
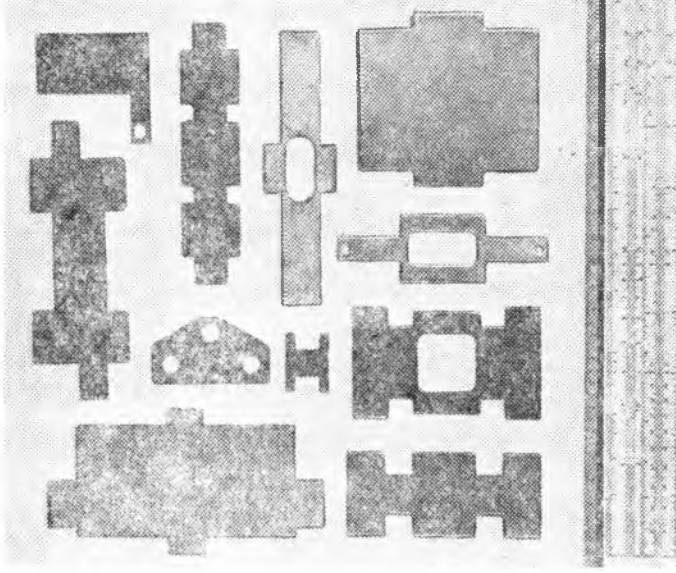
Коэффициенты	12Х18Н10Т				ОТ4			
	Без смазки		Со смазкой		Без смазки		Со смазкой	
	3826	СКУ-7Л	СКУ-7Л	3826	3826	СКУ-7Л	СКУ-7Л	3826
$a$	7,89	8,2	6,2	3,38	5,87	4,72	4,65	2,53
$b$	3,12	2,77	2,11	0,98	3,59	3,20	2,60	1,37
$c$	0,01110	0,00450	0,00364	0,00352	0,02100	0,01750	0,01010	0,00810

Как видно из табл. 4, величины коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  зависят от материала трущихся тел и смазки, и эта зависимость имеет определенную закономерность.

Сила трения оказывает как положительное, так и отрицательное влияние на процессы обработки металлов давлением. Например, при штамповке трубчатых деталей сила трения обычно оказывает положительное влияние, так как способствует подаче материала заготовки в зону деформирования, что уменьшает утонение материала. Однако при штамповке тонкостенных труб большие силы трения могут привести к потере устойчивости заготовки, т. е. к появлению поперечных складок. Кроме того, из-за силы трения величина давления по длине трубы падает [5]. В этих случаях для уменьшения силы трения рекомендуется производить штамповку эластичной средой со смазкой.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫРЕЗКИ ДЕТАЛЕЙ ПОЛИУРЕТАНОМ

При помощи полиуретана вырезаются детали практически любой сложной конфигурации размером от нескольких миллиметров до метра и более. Одновременно с вырезкой по контуру за один



*a*

*б*

Рис. 2. Детали, вырезанные при помощи полурета: *a* — мелкие детали толщиной от 0,05 до 1 мм (наименьший диаметр пробиваемых отверстий 0,7—1 мм); *б* — стальные детали толщиной до 1,5 мм

ход пресса производится пробивка отверстий и пазов различной формы, а также неглубокая формовка различного рельефа (рифтов, пуклевок, надписей) и отбортовка пробитых отверстий и контура деталей. Материал вырезаемых деталей — алюминиевые и медные сплавы толщиной от 0,05 до 3 мм, сталь (углеродистая, легированная, нержавеющая), титановые сплавы толщиной до 1,5 мм (рис. 2). При необходимости можно вырезать детали и из более толстых материалов (до 5 мм), но при этом требуется очень высокое давление полиуретана и значительно снижается качество изготовления.

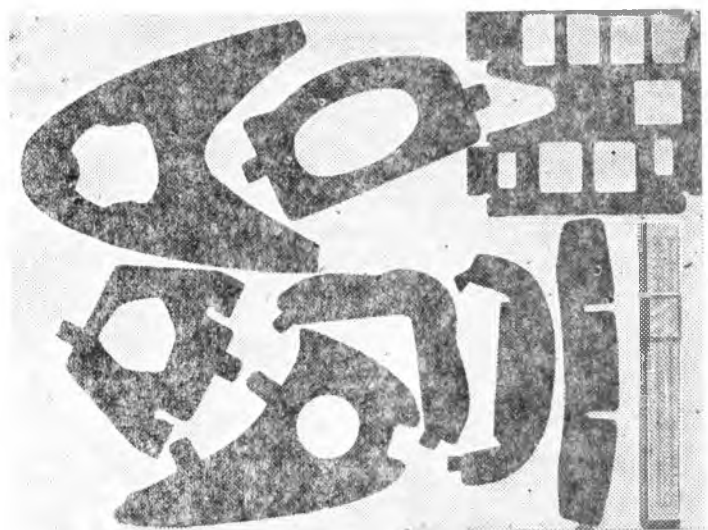


Рис. 2. Детали, вырезанные при помощи полиуретана:  
в — крупные детали из Д16АМ, АМг6М, АМцАМ толщиной  
от 0,1 до 2,5 мм

Толщина вырезаемых деталей практически не ограничена: получают детали даже из тончайшей медной или алюминиевой фольги толщиной 0,02...0,05 мм. Специальные штампы для вырезки деталей из таких материалов особенно сложны и дороги в производстве из-за необходимости обеспечения беззазорной подгонки матрицы с пуансоном. Минимальные диаметры пробиваемых отверстий и ширина пазов зависят от давления полиуретана и составляют две-три толщины материала детали. Наименьший размер перемычек между отверстиями, пазами и краем детали зависит в основном от их длины и ограничивается шириной, равной

3—5 толщиной материала детали. Внутренние углы деталей должны иметь скругления по дуге окружности с радиусом не менее толщины материала.

### КОНСТРУКЦИИ КОНТЕЙНЕРОВ И ИХ СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Вырезка деталей из листовых материалов производится в универсальном контейнере, оснащённом обычно полиуретаном марки СКУ-7.Л (реже СКУ-ПФЛ) толщиной не менее 25 мм (рис. 3)

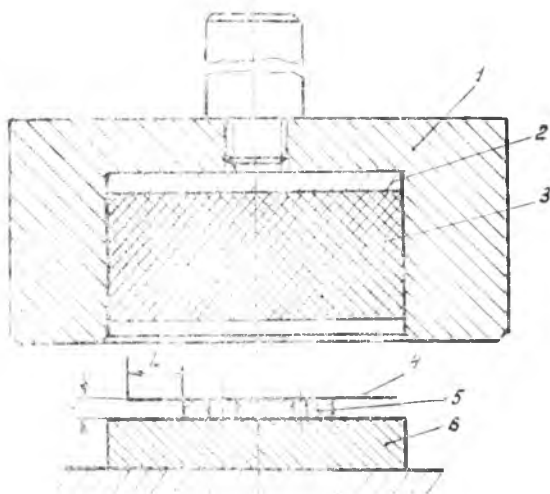


Рис. 3. Универсальный контейнер для вырезки деталей:

- 1 — контейнер; 2 — металлическая шайба; 3 — полиуретановая пластина; 4 — заготовка; 5 — вырезной шаблон; 6 — подштамповая плита

и вырезным шаблоном, установленным на универсальную подштамповую плиту. Универсальные контейнеры изготавливаются из высокопрочной стали, способной длительно выдерживать высокое давление. Конструкцию и размеры контейнеров рекомендуется выбирать стандартными, по ГОСТам [7]: круглые контейнеры с внутренним диаметром от 30 до 560 мм рассчитаны соответственно на давление эластичной среды от 400 МПа (4000 кгс/см<sup>2</sup>) до 100 МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>), контейнеры прямоугольной формы в плане с размерами отверстий под эластичную среду от 30×60 до 360×560 мм рассчитаны соответственно на давление от 200 МПа (2000 кгс/см<sup>2</sup>) до 100 МПа (1000 кгс/см<sup>2</sup>). Контейнеры рекомендуется изготавливать из стали 40Х с твердостью после термообработки НRC 28-32. Контейнеры всех типоразмеров и форм можно устанавливать как

на нижней, так и на верхней плите штампа или пресса. Установка контейнера на нижней плите предпочтительнее при вырезке деталей, так как облегчается совмещение вырезного шаблона с заготовкой и обеспечивается равномерный припуск материала. Установка контейнера в верхнем положении, как показано на рис. 3, удобнее при гибке и формовке деталей, когда заготовки фиксируются на гибочных оправках при помощи выступающих штифтов и соответствующих технологических отверстий на заготовках [8]. При использовании контейнера как для разделительных, так и для формоизменяющих операций контейнер обычно устанавливается на верхней плите пресса.

Контейнеры прямоугольной формы в плаве под сверхвысокое давление до 800 МПа (8000 кгс/см<sup>2</sup>) рекомендуется изготавливать составными, что обеспечивает их высокую работоспособность [9].

### ВЫРЕЗНЫЕ ШАБЛОНЫ И КАЧЕСТВО ВЫРЕЗАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

Вырезные шаблоны должны иметь определенную высоту, необходимую для вырезки деталей по наружному контуру и пробивки всех отверстий и пазов. Оптимальную высоту вырезного шаблона для вырезки деталей из пластичных материалов рекомендуется рассчитывать по формуле

$$H = 3(1 + 0,01 \delta_{10}) \} t. \quad (6)$$

где  $\delta_{10}$  — относительное удлинение материала заготовки, %;  $t$  — толщина материала заготовки.

При недостаточном усилении пресса для создания необходимого давления полиуретана расчетную высоту вырезного шаблона можно увеличить. На завышенных вырезных шаблонах детали вырезаются по наружному контуру при меньшем давлении полиуретана (давление, необходимое для пробивки небольших отверстий и пазов практически не зависит от высоты вырезного шаблона). Но при этом качество вырезаемых деталей ухудшается и требуется больший припуск материала заготовки  $L$  (рис. 3).

Шаблоны простой конфигурации толщиной свыше 3 мм, не имеющие резких перепадов сечений, обычно изготавливают из инструментальной стали У8, У8А, У10, У10А ГОСТ 1435—54, с закалкой до твердости HRC 56—60. Более тонкие и сложные по конфигурации шаблоны, с резкими перепадами сечений, изготавливают из сталей X12, X12M, X12Ф, X12Ф1 ГОСТ 5950—73, имеющих небольшое коробление и усадку при термообработке и обеспечивающих HRC 56—60. Небольшое количество деталей из алюминиевых и медных сплавов толщиной более 0,5 мм вырезают на незакаленных шаблонах. Режущие кромки вырезного шаблона должны быть острыми, без закруглений и заборн. Шероховатость поверхностей шаблона, соприкасающихся с деталью в процессе вырезки, должна соответствовать  $R_a$  1,25...0,25 мкм.

При вырезке небольших деталей толщиной более 0,5 мм, особенно из высокопрочных материалов, на боковых гранях рекомендуется делать скос под углом 10...15° к рабочей поверхности с сохранением рабочего пояса высотой, равной 0,3  $H$ . Наличие скоса облегчает процесс вырезки и съем отхода. Рабочий пояс на боковой грани позволяет производить многократную шлифовку для восстановления остроты режущих кромок шаблона. Соблюдение этих условий при изготовлении вырезных шаблонов позволяет получать детали из пластичных материалов достаточно высокого качества практически без заусенцев. Шероховатость поверхности среза на деталях толщиной до 1,5 мм, вырезанных из пластичных материалов, соответствует  $R_{z40}$ — $R_{z20}$  мкм.

Однако при вырезке деталей из малопластичных материалов встречаются определенные трудности. При использовании вырезных шаблонов, рассчитанных по формуле (6), у деталей из магниевых, титановых и закаленных алюминиевых сплавов и электротехнических сталей после штамповки поверхность среза получается рваной. Наблюдаются отклонения линии разделения материала от кромки вырезного шаблона, особенно на вогнутых участках контура с большой кривизной. Это объясняется хрупким изломом малопластичных материалов под действием изгибающих и растягивающих напряжений в зоне разделения.

Для улучшения качества поверхности среза и повышения точности деталей из малопластичных материалов необходимо в процессе разделения уменьшать изгибающие и растягивающие напряжения и увеличивать сдвигающие напряжения. Одним из наиболее простых способов создания более благоприятного напряженно-деформированного состояния материалов в зоне разделения является вырезка деталей на шаблонах минимально возможной высоты. В результате экспериментальных исследований для магнитных сплавов МА2-М, МА8-М, алюминиевых закаленных сплавов Д16АТ, В95АТ, титановых сплавов ОТ4-1, ВТ-1 и электротехнических сталей Э31, Э35 минимальные высоты вырезных шаблонов  $H$  получились соизмеримыми с толщинами вырезаемых материалов  $t$ :

$$H = (0,8 - 1,5) t. \quad (7)$$

Меньшие значения  $H$  этой зависимости соответствуют более толстым материалам.

Ввиду того, что изготовление стальных закаленных шаблонов / высотой меньше 2 мм представляет определенные трудности, их обычно делают одной высоты  $H_0$ , равной 4...5 мм. Высоту уменьшают до необходимой за счет набора пластин, которые вырезают полиуретаном на этом же вырезном шаблоне из любого материала (рис. 4).

Другим способом, значительно повышающим качество вырезаемых деталей за счет еще большего увеличения сдвигающих и уменьшения изгибающих и растягивающих напряжений, является вырезка деталей с применением опорных рамок и вкладышей

(рис. 5). Эти рамки и вкладыши можно изготовлять из цельных пластин толщиной, равной высоте вырезного шаблона. Однако слесарная обработка рамок и вкладышей, особенно для деталей

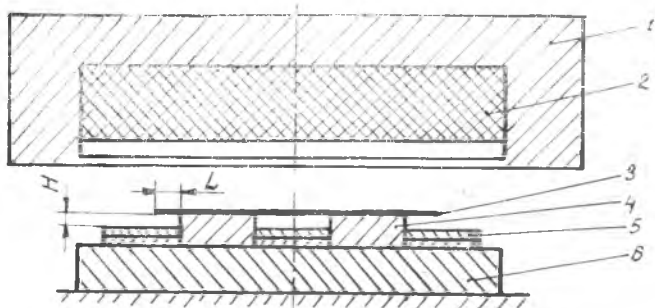


Рис. 4. Схема вырезки полиуретаном деталей из малоэластичных материалов на заниженных вырезных шаблонах: 1 — контейнер; 2 — полиуретан; 3 — заготовка; 4 — вырезной шаблон; 5 — набор пластин; 6 — подштамповая плита

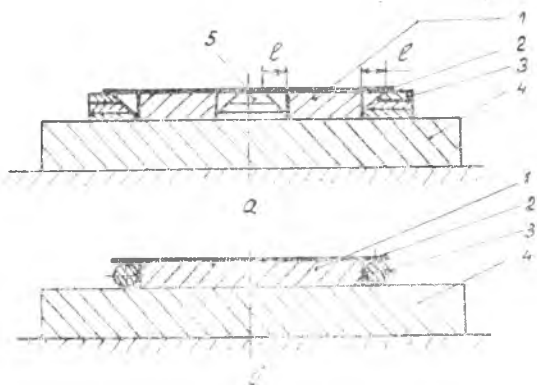


Рис. 5. Схема вырезки полиуретаном деталей на вырезных шаблонах с опорными вкладышами и рамкой, набранной из пластин (а) и изготовленной из проволоки (б): 1 — вырезной шаблон; 2 — заготовка; 3 — опорная рамка; 4 — подштамповая плита; 5 — вкладыш

сложного контура, весьма трудоемка. На рис. 5, а показаны рамка и вкладыш, состоящие из набора пластин, вырезанных полиуретаном (как на рис. 4) по шаблону и склепанных между собой. Трудоемкость изготовления таких рамок и вкладышей намного



меньше. На рис. 5, а показана опорная рамка, сделанная из проволоки. Для облегчения процесса вырезки с внутренней стороны опорной рамки сделан скос (показан справа). Ширину скоса  $l$  можно рассчитать по формуле, учитывающей сдвигающие и изгибающие напряжения,

$$l = \frac{1,5t\sigma_B}{q} + t \sqrt{\frac{3_B}{2q}}, \quad (8)$$

где  $\sigma_B$  — предел прочности материала заготовки;  $q$  — давление полиуретана в контейнере. Практически ширину скоса  $l$  принимают обычно не менее трех-четырех толщин вырезаемого материала.

Повышению качества деталей из малопластичных материалов способствует применение опорных рамок с наклонными режущими кромками, которые создают боковые сжимающие напряжения в зоне разделения материала [10].

Наиболее высокое качество деталей из малопластичных материалов, особенно из электротехнических сталей, обеспечивается при вырезке полиуретаном с противодавлением, величина которого сопоставима с пределом текучести материала заготовки. Проведенные Ю. В. Федотовым исследования позволяют определить оптимальные технологические параметры процесса для получения деталей из различных малопластичных материалов и сплавов высокой точности [11].

При вырезке деталей как из пластичных, так и из малопластичных материалов со стороны действия полиуретана кромки вырезанных деталей имеют небольшое скругление овальной формы (рис. 6), размеры которого не превышают следующих значений: для материалов М1, М2, М3, Л63, АМцАМ, Д16АМ, АМг6М —  $h = (0,5 \dots 0,7) t$ ;  $l = (0,75 \dots 1,15) t$ ;  $r \approx t$ ; для материалов сталь Ст.3, 10, 20, 12Х18Н10Т, Д16АТ, В95АТ, МА2-М, МА8-М, ОТ4-1, ВТ-1 —  $h = (0,25 \dots 0,45) t$ ;  $l = (0,35 \dots 0,65) t$ ;  $r \approx 0,5t$ . Менее пластичные и более прочные материалы имеют меньшее скругление кромок. При вырезке с опорными рамками или с противодавлением скругление кромок деталей уменьшается для любых материалов.

✓ Размеры деталей по наружному контуру получаются несколько больше, а диаметры пробиваемых отверстий и размеры назов — несколько меньше соответствующих размеров шаблона (рис. 6). При использовании шаблонов оптимальной высоты для одного и того же материала и толщины величина отклонения наружных размеров и отверстий практически одинакова. С увеличением толщины материала величина отклонения растет. По результатам экспериментального исследования, часть которого показана в работах [11, 12], величина отклонения размеров детали от соответствующих размеров шаблона имеет следующие значения (при качественном вырезном шаблоне и отсутствии зависания отхода материала в пробитых отверстиях и по наружному контуру): для деталей из материалов Д16АМ, АМг6М, МА2-М, МА8-М и Д16АТ, вырезанных на заниженных шаблонах,  $\Delta = (0,1 \dots 0,15) t$ ; для де-

талей из более пластичных материалов М1, М2, М3, Л63, АМцАМ, 12Х18Н10Т —  $\Delta = (0,15 \dots 0,25) t$ . При вырезке деталей с противо- давлением из материалов МА2-М, МА8-М, ОТ4-1, ВТ-1 размер отклонения минимальный:  $\Delta = (0,03 \dots 0,1) t$ .

При использовании шаблонов, изготовленных без учета  $\Delta$  отклонения размеров вырезанных деталей толщиной до 1 мм соответствуют 6...12 квалитету (1...5 классу точности); при толщине материала 1...2 мм отклонения размеров по 8...14 квалитету (3...7 класс точности).

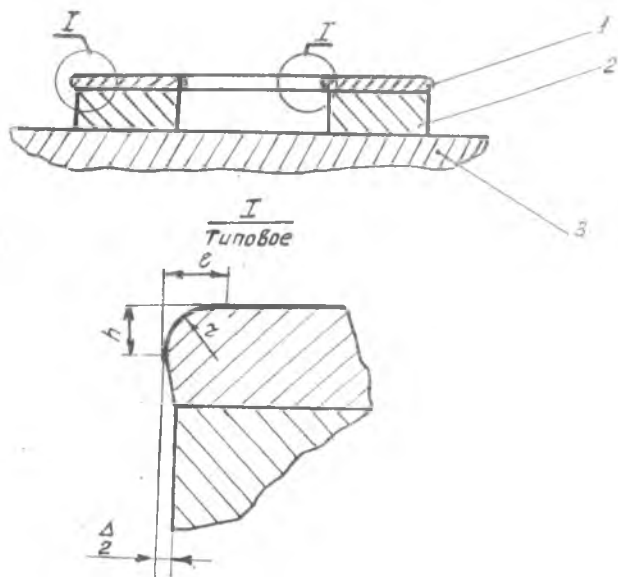


Рис. 6. Форма среза детали:

1 — деталь; 2 — вырезной шаблон; 3 — подштамповая плита

Так как величина  $\Delta$  практически не зависит от размеров детали, то с увеличением их номинальных размеров точность деталей повышается.

Точность деталей повышается также с уменьшением толщины материала. Наиболее точные детали (по 6...7 квалитету) получают из фольги толщиной 0,05...0,1 мм, что особенно ценно, так как для их изготовления требуются беззазорные штампы.

При сравнении деталей толщиной до 2 мм, вырезанных полиуретаном и вырубленных в металлических штампах [6], видно, что при толщине материала до 0,2 мм точность размеров деталей, вырезанных полиуретаном, выше, чем у деталей, полученных

в штампах не только обычной, но и повышенной точности. С увеличением толщины материала точность деталей, вырезаемых полиуретаном, снижается. Однако при габаритных размерах деталей более 50 мм оба способа дают практически одинаковую точность.

Точность вырезки полиуретаном можно значительно повысить корректировкой исполнительных размеров шаблонов на величину отклонения размеров  $\Delta$ . Такая корректировка шаблонов необходима еще и потому, что обычно допуски на размеры отверстий и наружный контур не совпадают по направлению с отклонением  $\Delta$ . С учетом отклонения  $\Delta$  исполнительные размеры вырезных шаблонов следует рассчитывать по формулам:

для наружных контуров, относящихся к размерам валов ( $a - \delta_a$ ),

$$a_{\text{ш}} = a - \Delta - \frac{\delta_a}{2}, \quad (9)$$

где  $a_{\text{ш}}$  — размер шаблона, мм;  $a$  — соответствующий размер детали, мм;  $\delta_a$  — допуск на размер  $a$ , мм;  $\Delta$  — отклонение размера детали от размера шаблона, мм;

для внутренних контуров, относящихся к размерам отверстий и пазов ( $d + \delta_d$ ),

$$d_{\text{ш}} = d + \Delta + \frac{\delta_d}{2}, \quad (10)$$

где  $d_{\text{ш}}$  — размер шаблона, мм;  $d$  — соответствующий размер детали, мм;  $\delta_d$  — допуск на размер  $d$ , мм. Расстояние от края детали до центра отверстия ( $b \pm \delta_b$ ) определяют по формуле:

$$b_{\text{ш}} = b - \frac{\Delta}{2}, \quad (11)$$

где  $b_{\text{ш}}$  — размер шаблона, мм;  $b$  — соответствующий размер детали, мм.

Если детали имеют двусторонний допуск, исполнительные размеры шаблона рекомендуется рассчитывать по формулам:

для контуров, относящихся к размерам валов ( $a \begin{smallmatrix} -\delta_a' \\ -\delta_a'' \end{smallmatrix}$ ),

$$a_{\text{ш}} = (a - \delta_a') - \Delta - \frac{\delta_a''}{2}, \quad (12)$$

где  $\delta_a'$  — верхнее отклонение размера детали  $a$ , мм;  $\delta_a''$  — нижнее отклонение размера  $a$ , мм;

для контуров, относящихся к размерам отверстий ( $d \begin{smallmatrix} +\delta_d' \\ +\delta_d'' \end{smallmatrix}$ ),

$$d_{\text{ш}} = (d + \delta_d') + \Delta + \frac{\delta_d''}{2}, \quad (13)$$

где  $\delta_d'$  — верхнее отклонение размера  $d$  детали, мм;  $\delta_d''$  — нижнее отклонение размера  $d$ , мм.

Радиусы выступов и впадин вырезного шаблона рассчитывают по формулам:

$$R_{\text{ш}} = R - \frac{\Delta}{2}; \quad (14)$$

$$r_{\text{ш}} = r + \frac{\Delta}{2}; \quad (15)$$

где  $R_{\text{ш}}$ ,  $r_{\text{ш}}$  — соответственно радиусы выступа и впадины на вырезном шаблоне;  $R$ ,  $r$  — соответственно радиусы выступа и впадины на детали, мм.

Расстояния между центрами отверстий и пазов на вырезном шаблоне рекомендуется принимать равными соответствующим размерам на детали.

Предельные отклонения размеров вырезного шаблона, относящиеся к отверстиям и валам, рекомендуется назначать на 3...4 квалитета (на 2 класса) выше предельных отклонений соответствующих размеров детали. Предельные отклонения размеров вырезного шаблона, не относящиеся к отверстиям и валам (координаты центров отверстий, пазов, радиусов, длины выступов, глубины пазов, радиусы), берутся равными половине допуска на соответствующие размеры детали.

Точность размеров деталей, вырезанных на шаблонах с исполнительными размерами, скорректированными на величину отклонения  $\Delta$  с учетом допусков, повышается на 2...3 квалитета (на 1...2 класса). В работе [13] приведен пример расчета исполнительных размеров вырезного шаблона, дана их сводная таблица, а также таблица точности размеров деталей в зависимости от их величины и толщины материала.

Вырезные шаблоны сложной конфигурации обычно изготавливают слесарной обработкой, требующей определенных затрат высококвалифицированного труда. На некоторых заводах осуществляется механизированная вырезка шаблонов электродом-проволокой из латуни диаметром 0,2...0,3 мм на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Точность такой обработки от  $\pm 0,1$  до  $\pm 0,01$  мм при шероховатости поверхности до  $R_z$  2,5...0,63 мкм. В процессе обработки заготовки образуется паз. Ширина паза, определяемая диаметром электрода-проволоки и величиной искрового промежутка, обычно не превышает 0,3...0,5 мм. Метод позволяет автоматизировать получение вырезных шаблонов толщиной до 70 мм. Для электроэрозионной профильной вырезки применяют станки моделей 4531, 4531П, 4531ФЗ, 4532, 4532ФЗ.

### РАСЧЕТ ПРИПУСКА МАТЕРИАЛА

Для осуществления процесса вырезки деталей по контуру необходим достаточный припуск материала  $L$  (рис. 3). При уменьшенном припуске вырезка заготовки может не получиться и произойдет вытяжка или гибка материала по вырезному шаблону.

При завышенном припуске увеличивается количество материала, идущего в отход. Для определения необходимого припуска рассмотрим схему процесса вырезки пластичных материалов по прямолинейному контуру (рис. 7). С увеличением давления полиуретана припуск материала начинает изгибаться по острой режущей кромке вырезного шаблона, затем касается подштамповой плиты и прижимается к ней, перемещаясь к вырезному шаблону под воздействием горизонтальной составляющей давления, действующей на наклонный участок  $Q_1$  и на торец заготовки  $Q_2$ . Этому перемещению препятствует сила трения между подштамповой плитой и заготовкой  $T$ , а также сопротивление изгибу наклонного участка припуска. Пренебрегая силами трения между полиуретаном

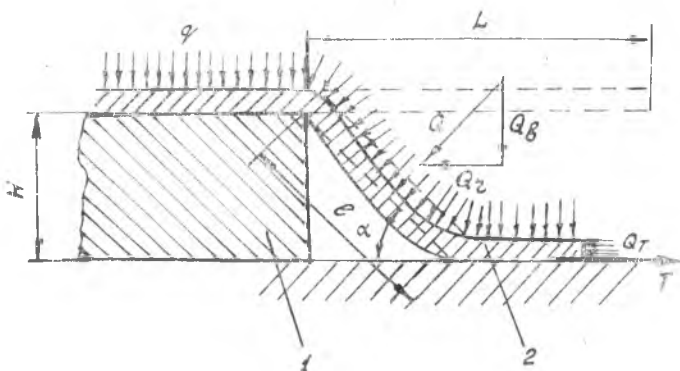


Рис. 7. Схема процесса вырезки детали по контуру:  
1 — вырезной шаблон; 2 — заготовка

и заготовкой ввиду их малости при высоком давлении (рис. 1), а также сопротивлением изгибу, запишем условие равновесия:

$$Q_1 + Q_2 - T = 0. \quad (16)$$

Выразив действующие силы через давление  $q$  и заменив изогнутый участок припуска прямолинейным длиной  $l = \frac{H}{\sin \alpha}$ , получим

$$ql \sin \alpha + qt - q(L - \frac{H}{\sin \alpha})f = 0, \quad (17)$$

где  $f$  — коэффициент трения между заготовкой и подштамповой плитой. После преобразования равенства (17) получим формулу для определения припуска

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} + \frac{1}{f} (H + t). \quad (18)$$

Обычно вырезка деталей происходит при угле наклона изогнутого участка припуска, близком к  $45^\circ$ . Тогда формула (18) имеет следующий вид:

$$L = 1,4 H + \frac{1}{f} (H + t). \quad (19)$$

При практических расчетах, особенно для тонких материалов, когда высота вырезного шаблона значительно превосходит толщину материала заготовки, припуск можно определить по упрощенной формуле

$$L = \left(1,4 + \frac{1}{f}\right) H. \quad (20)$$

Из формулы видно, что на величину припуска большое влияние оказывает коэффициент трения между заготовкой и подштамповой плитой. При использовании гладкой подштамповой плиты, для которой  $f=0,2$ , размер припуска  $L=6,4 H$ . Подштамповые плиты с опескоструенной поверхностью или плиты с мелкими пазами имеют коэффициент трения не менее 0,5; при этом припуск  $L=3,4 H$ , т. е. уменьшается почти в 2 раза.

При вырезке деталей с криволинейным контуром припуск зависит от значения и вида кривизны. Для выпуклого контура с увеличением его кривизны припуск уменьшается, для вогнутого контура увеличивается.

Практически для вырезки пластичных материалов припуск  $L$  обычно принимают равным (3..4)  $H$ . При вырезке деталей из малопластичных материалов с использованием заниженных вырезных шаблонов, опорных рамок или противодействия припуск  $L$  значительно уменьшается и составляет (4..7)  $t$ . Большие значения  $L$  соответствуют более тонким материалам.

#### РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО УСИЛИЯ ПРЕССА И ДАВЛЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДЫ

Необходимое для вырезки деталей полиуретаном усилие прессы определяется по формуле

$$P = F \cdot q, \quad (21)$$

где  $F$  — площадь подштамповой плиты (или рабочей поверхности полиуретана);  $q$  — давление полиуретана, необходимое для выполнения разделительной операции.

Давление, необходимое для вырезки детали по контуру, в основном зависит от физико-механических свойств материала, его толщины и высоты вырезного шаблона.

При вырезке деталей из пластичных материалов по прямолинейному контуру давление определяется по формуле

$$q = \frac{2t\sigma_{cp} \sin \alpha}{H}, \quad (22)$$

где  $\sigma_{\text{ср}}$  — сопротивление материала срезу;  $\alpha$  — угол наклона припуска материала в момент вырезки.

Пластичные материалы вырезаются при угле наклона припуска, близком к  $45^\circ$ , и тогда формула для них будет иметь следующий вид:

$$q = \frac{1,4t\sigma_{\text{ср}}}{H} \approx \frac{t\sigma_{\text{в}}}{H}. \quad (23)$$

Малопластичные материалы вырезаются при  $\alpha = 10 \dots 20^\circ$ , т. е. со значительно меньшим давлением по сравнению с пластичными материалами.

При вырезке деталей с криволинейным контуром давление так же, как и припуск, зависит от значения и вида кривизны. Для выпуклого контура с увеличением его кривизны необходимое давление уменьшается, для вогнутого — увеличивается. Поэтому вырезка деталей сложного контура обычно начинается с наиболее острых углов или выпуклых закруглений наименьшего радиуса, переходя затем на прямолинейные и криволинейные вогнутые участки заготовки. Для небольших деталей с острыми углами или малыми радиусами скруглений давление уменьшается в 1,5...2 раза.

При вырезке деталей из малопластичных материалов на заниженных шаблонах необходимое давление возрастает по сравнению с расчетным по формуле (23) на 10...30 %.

С применением опорных рамок для вырезки деталей из малопластичных или пластичных материалов давление определяется по формуле

$$q = \frac{t\sigma_{\text{в}}}{l} \left( 1,5 + \frac{t}{2l} \right), \quad (24)$$

где  $l$  — ширина скоса опорной рамки.

Если на детали имеются отверстия или пазы, то необходимое давление рассчитывается из условия пробивки минимального отверстия или паза. Давление, необходимое для пробивки отверстий диаметра  $d$ , для которых в момент разделения материала отход не касается подштамповой плиты, довольно точно определяется по формуле

$$q = \frac{4t\sigma_{\text{ср}}}{d} \approx \frac{3t\sigma_{\text{в}}}{d}. \quad (25)$$

Для пробивки прямоугольных отверстий и пазов небольшой ширины необходимо давление

$$q = \frac{2t(a+b)\sigma_{\text{ср}}}{ab} \approx \frac{1,5t(a+b)\sigma_{\text{в}}}{ab}, \quad (26)$$

где  $a$  и  $b$  — длина и ширина паза соответственно.

Экспериментальные исследования показали [12], что расчет по формуле (25) дает хорошие результаты при  $d < (20 \dots 70)t$ , где меньшие значения соответствуют более пластичным материалам.

Аналогичные результаты получаются и при расчете по формуле (26).

При пробивке отверстий и пазов большего размера происходит значительная вытяжка материала в отверстия вырезного шаблона, и центральная часть вытягиваемого материала касается подштамповой плиты. Поэтому для больших отверстий и пазов расчет по формулам (25) и (26) дает заниженное значение давления. Величину давления полиуретана, необходимую для вытяжки материала заготовки в круглое отверстие шаблона, можно определить из уравнения Лапласа, на основе которого после ряда решений и преобразований получим окончательную формулу [14]:

$$q = \frac{16Kth}{d^2 + 4h^2} \left( \frac{16h^2}{3d^2} \right)^n \quad (27)$$

Для паза шириной  $b$  величину давления можно определить по аналогичной формуле

$$q = \frac{8Kth}{b^2 + 4h^2} \left( \frac{16h^2}{3b^2} \right)^n, \quad (28)$$

где  $h$  — глубина вытяжки центральной части материала;  $K$ ,  $n$  — постоянные коэффициенты для данного материала при степенной аппроксимации диаграмм истинного напряжения.

Таким образом, если при глубине вытяжки  $h$ , равной высоте вырезного шаблона  $H$ , давление, рассчитанное по формулам (27) или (28), будет больше давления, необходимого для пробивки отверстия или паза, рассчитанного по формулам (25) или (26), то пробивка отверстия или паза произойдет раньше, чем вытягиваемый в отверстие вырезного шаблона материал коснется подштамповой плиты. В этом случае необходимое давление для пробивки отверстия или паза можно рассчитать по формулам (25) или (26). Если же давление, рассчитанное по формулам (27) или (28) при  $h=H$ , будет меньше давления, рассчитанного по формулам (25) или (26), то вытягиваемый в отверстие вырезного шаблона материал коснется подштамповой плиты раньше, чем произойдет пробивка отверстия или паза. В этом случае напряжения, действующие в зоне разделения материала, будут уменьшаться, и давление, рассчитанное по формулам (25) или (26), даст заниженное значение. Поэтому давление, необходимое для пробивки отверстий и пазов большего размера, следует вычислять по формулам (22) или (23), т. е. как для вырезки прямолинейного контура.

При упрощенных расчетах можно пользоваться формулами для определения наибольшей глубины вытяжки материала в отверстие вырезного шаблона. Для круглого отверстия

$$h_{\max} = \frac{d}{2} \sqrt{\bar{\sigma}_{10}}, \quad (29)$$

для паза

$$h_{\max} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{3}{b}} \sqrt{\bar{\sigma}_{10}}. \quad (30)$$



Если наибольший размер вытяжки  $h_{\max} < H$ , то величину давления для пробивки отверстий и пазов можно рассчитать по формулам (26) или (27), если  $h_{\max} > H$  — по формулам (23) или (24).

Усилие пресса и размеры необходимого контейнера с полиуретаном выбираются в зависимости от габаритов вырезаемых деталей и наибольшей величины рассчитанного давления.

### ГРУППОВАЯ ВЫРЕЗКА ДЕТАЛЕЙ

Для повышения производительности труда и коэффициента использования материала применяют групповую вырезку деталей из общей заготовки, когда в комплект входят детали одной марки материала и толщины, или из индивидуальных заготовок для каждой детали, когда комплект состоит из деталей разных марок материалов и разной толщины. Вырезные шаблоны устанавливаются на подштамповую плиту без дополнительного крепления согласно требованиям группового раскроя, обеспечивающего наибольший коэффициент использования материала. Если вырезные шаблоны имеют большие отверстия, то внутри этих отверстий размещаются меньшие по размерам шаблоны. Если в комплект входят не более трех вырезных шаблонов простой конфигурации, их устанавливают непосредственно на подштамповую плиту. При большем количестве вырезных шаблонов, особенно сложной формы, для облегчения их установки изготавливается пластина толщиной 1...2 мм, в которой делают окна по контуру шаблонов. Обычно такой установочной пластиной, обеспечивающей наибольший коэффициент использования материала, служит отход материала от первой групповой вырезки деталей. При этом высота шаблонов увеличивается на толщину установочной пластины.

Для деталей типа дисков или шайб обычно делают один монолитный вырезной групповой шаблон, имеющий соответствующие кольцевые расточки для одновременного изготовления семи деталей, что обеспечивает наибольший коэффициент использования материала (рис. 8). На таких групповых шаблонах вырезаются детали из пластичных и маловластичных материалов. Ширину растачиваемых скосов рассчитывают так же, как и в опорных рамках, по формуле (24).

Освоено изготовление монолитных групповых вырезных шаблонов на фрезерных станках с ЧПУ. Наименьшее расстояние между шаблонами (ширина паза  $b$ ), определяемое прочностью концевых фрез, составляет 4 мм. Величина необходимого давления полиуретана при вырезке деталей на таких шаблонах рассчитывается по формуле

$$q = \frac{2t\sigma_{\text{ср}}}{b} \approx \frac{1,5t\sigma_{\text{в}}}{b}. \quad (31)$$

Глубина паза определяется по формуле (30). Для облегчения удаления отхода в зоне паза сверлятся несколько отверстий диа-

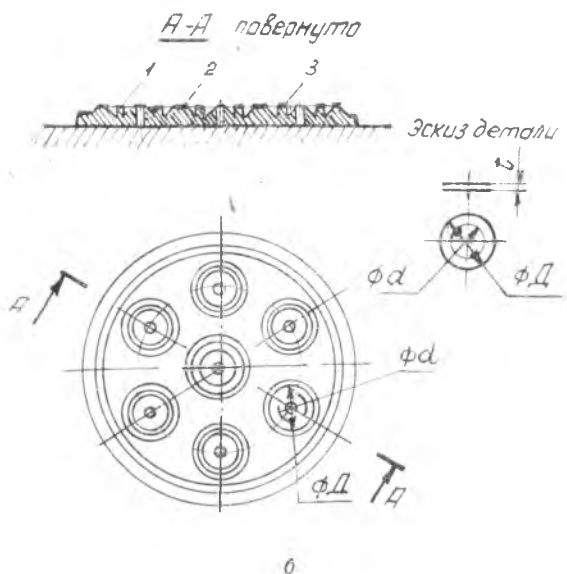
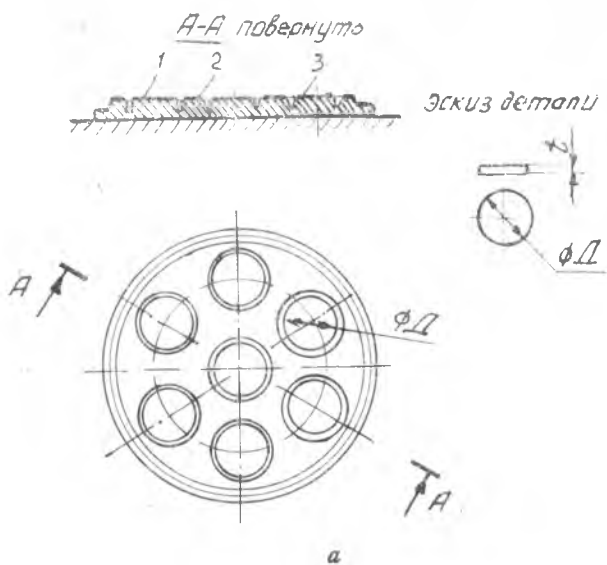


Рис. 8. Вырезной шаблон для групповой вырезки деталей (по 7 штук) типа дисков (а) и шайб (б):  
1 — деталь; 2 — отход; 3 — вырезной шаблон

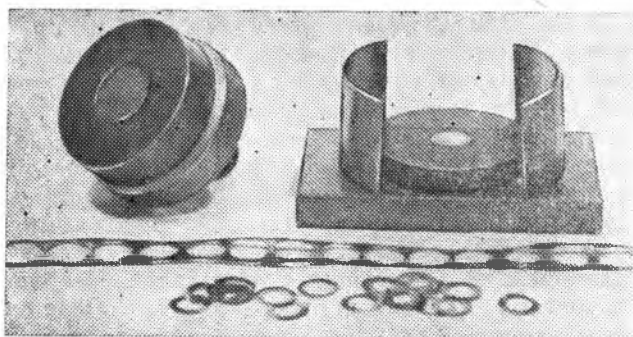
метром 2...3 мм. При изготовлении групповых вырезных шаблонов с отверстиями рекомендуется пользоваться станками типа «обрабатывающий центр», на которых по программе можно обработать и наружный контур, и отверстия.

Монолитные групповые шаблоны изготавливаются для одновременной вырезки до 16 деталей. Коэффициент использования металла при этом обычно не ниже 0,7...0,85. Следует также отметить, что при групповой вырезке деталей необходимое давление полиуретана, а следовательно, и усилие пресса не зависят от количества одновременно изготавливаемых деталей. Необходимое давление полиуретана и усилие пресса рассчитывают по вырезаемому элементу детали, требующему наибольшего давления. Таким элементом обычно является наименьшее пробиваемое отверстие или наименьшая ширина паза.

### **ВЫРЕЗКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛЕНТЫ В УНИВЕРСАЛЬНО-ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОМ ШТАМПе С ПОЛИУРЕТАНОМ**

Наибольшую производительность труда с наименьшим отходом материала обеспечивают универсально-переналаживаемые штампы с полиуретаном, в которых детали вырезаются из ленты, т. е. как в традиционных штампах [15]. Такие штампы в 3...5 раз дешевле традиционных, что объясняется меньшим количеством входящих деталей. Например, нет необходимости в направляющих колонках и втулках, так как допускаемое смещение половинок штампа исчисляется миллиметрами. Кроме того, для универсально-переналаживаемого штампа необходимо изготовить только пуансон (или пуансон-матрицу), матрицу же заменяет полиуретан, заключенный в универсальный контейнер особой конструкции. Поэтому при изготовлении универсально-переналаживаемого штампа отсутствует операция подгонки пуансона к матрице, которая особенно трудоемка для традиционных штампов, предназначенных для вырезки деталей из тонколистовых материалов, так как необходимый зазор между матрицей и пуансоном исчисляется сотыми долями миллиметра. А при штамповке материалов толщиной менее 0,2 мм практически необходимы беззазорные штампы [6].

На рис. 9, а дан общий вид одной из конструкций универсально-переналаживаемого штампа с полиуретаном для вырезки деталей (шайб) из ленты. Рядом со штампом показаны вырезанные шайбы и отход материала. Верхняя часть штампа представляет собой контейнер, в котором установлена пластина из полиуретана марки СКУ-7Л. Контейнер может быть использован для вырезки различных деталей, размеры которых не превышают размеров полиуретановой пластины, т. е. является универсальным. При изготовлении другой детали достаточно заменить лишь нижнюю часть штампа, а для деталей типа шайб несколько видоизменить конструкцию нижней части.



*a*

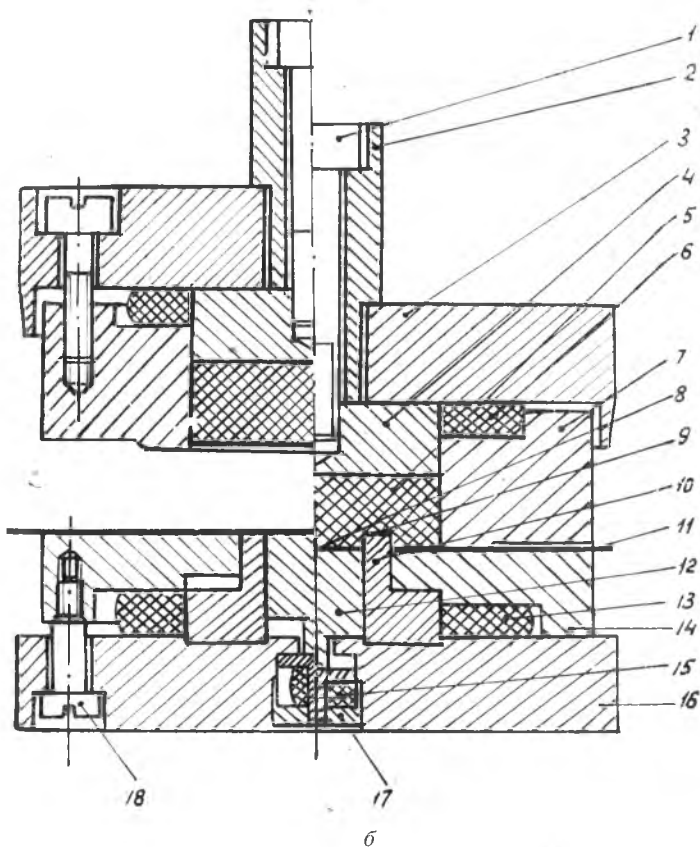


Рис. 9. Универсально-переналаживаемый штамп с полиуретаном для вырезки деталей из ленты:  
*a* — общий вид; *б* — схема (без защитных щитков)

Верхняя часть штампа состоит из корпуса 3, в котором крепится хвостовик 2, нажимной шайбы 4, прикрепленной к корпусу винтом 1, и обоймы 7, которая вместе с нажимной шайбой образует контейнер для круглой полиуретановой пластины 5. Между корпусом штампа и обоймой находится кольцевая полиуретановая пружина 6. Корпус штампа соединен с обоймой тремя винтами.

Нижняя часть штампа состоит из плиты 16, к которой крепится вырезной пуансон 10 с надетым на него съемником отхода 14, соединенным с плитой тремя винтами 18. Между плитой 16 и съемником 14 установлена кольцевая полиуретановая пружина 13. Для направления ленты в съемнике делается соответствующий паз. Выталкиватель отхода 12 перемещается под действием пружины 15, сила сжатия которой регулируется винтовой пробкой 17.

При опускании верхней части штампа лента 11 прижимается обоймой 7 и пластиной 5 к съемнику 14, выталкивателю 12 и пуансону 10. Съемник сжимает пружину 13 и опускается на плиту 16. Одновременно со съемником опускается выталкиватель 12 отхода 8, сжимая пружину 15. В результате перемещения съемника и выталкивателя отхода вырезной пуансон 10 выступает над их плоскостями, и под действием давления полиуретана происходит вырезка детали 9 с одновременной пробивкой отверстия. В работе [15] приведены расчетные формулы для определения силовых и конструктивных параметров штампа. Качество деталей, вырезаемых в универсально-переналаживаемых штампах с полиуретаном, значительно выше по сравнению с другими методами, так как процесс разделения материалов происходит с предварительным сжатием заготовки [11].

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВКАХ

При помощи полиуретана на трубчатых заготовках производится торцовка, разрезка, прорезка пазов и пробивка отверстий различной формы [16]. Пробивка отверстий в трубчатых заготовках осуществляется по схеме, показанной на рис. 10. Трубчатую заготовку 3 помещают в разъемную вырезную матрицу 1, расположенную в скрепляющей обойме 2, установленной с подкладкой 6 на столе 7. После этого на шток 5 воздействуют усилием пресса, в результате чего создается давление эластичной среды 4, под действием которого в детали пробиваются все отверстия по режущим кромкам матрицы. Расчет необходимого давления и усилия пресса производится так же, как и для пробивки отверстий в листовых материалах [8].

Отверстия пробиваются различной формы (круглые, эллипсные, прямоугольные) в трубчатых, конусных и других пустотелых заготовках на гидравлических или механических прессах. Этот процесс выгодно отличается от других процессов получения от-

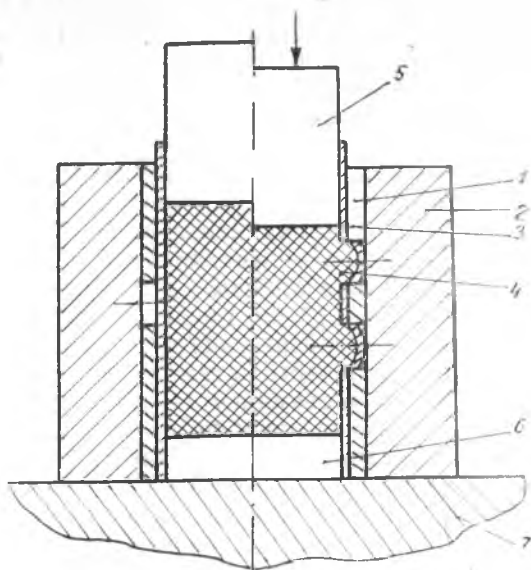


Рис. 10. Схема пробивки полиуретаном отверстий в трубчатых заготовках

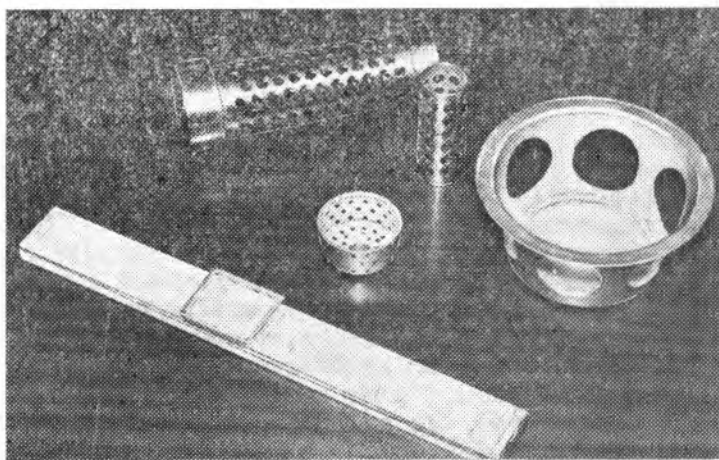


Рис. 11. Детали, отверстия в которых пробиты полиуретаном за один ход пресса

верстий (сверление, пробивка в специальных штампах, фрезерование). Малая жесткость деталей не ограничивает возможностей разработанного процесса, отпадает необходимость в изготовлении специальных штампов для пробивки отверстий, число которых для одной детали равно количеству видов отверстий. Детали получают высокого качества, кромки пробитых отверстий с внутренней стороны детали имеют скругления, что ликвидирует малоквалифицированную трудоемкую работу по зачистке заусенцев. Детали, в которых полиуретаном пробиваются отверстия размером от 4 до 40 мм, имеют диаметр от 20 до 100 мм. Толщина стенок деталей 0,6...1,5 мм, количество одновременно пробиваемых отверстий до 142 (рис. 11). Материал деталей — конструкционная и коррозионностойкая стали, цветные сплавы (Ст. 20, 12Х18Н10Т, АМгЗМ, АМг6М). Приведенные параметры изготавливаемых деталей не являются предельными. Можно пробивать полиуретаном отверстия и пазы любой формы и различных размеров в деталях диаметром до 500 мм и более с толщиной стенки до 2...3 мм. Конструкция инструмента для пробивки отверстий в трубчатых и пустотелых деталях полиуретаном защищена авторским свидетельством на изобретение [17].

При пробивке большого количества отверстий в трубчатых и пустотелых деталях для повышения стойкости полиуретана рекомендуется применять способ направленного приложения давления эластичным инструментом переменной жесткости. Конструкция такого инструмента и способ штамповки с управляемым полем давления защищены авторскими свидетельствами [18, 19]

### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО**

Экономический эффект от внедрения в производство процесса вырезки деталей полиуретаном достигается в основном за счет значительного удешевления оснастки. Применение вырезного шаблона вместо традиционного штампа снижает затраты на проектирование в 10...20 раз, трудоемкость изготовления в 20...30 раз, металлоемкость — в сотни раз. Кроме того, значительно сокращаются расходы по складированию и хранению оснастки, снижаются также затраты на правку и снятие заусенцев с деталей. Потребность в площадях для хранения оснастки уменьшается в 30...50 раз. Важную роль играет значительное сокращение сроков подготовки производства. Если на проектирование и изготовление штампа практически требуется несколько недель, а то и месяцев, то вырезной шаблон рассчитывается и изготавливается за несколько часов (для простых шаблонов требуется меньше одного часа). Однако при вырезке деталей полиуретаном, особенно из штучных заготовок, повышаются расход материала, время изготовления детали и необходимое усилие пресса. Поэтому с увеличением объема выпуска деталей экономическая эффективность процесса вырезки полиуретаном снижается. На рис. 12 показана

зависимость себестоимости вырезки детали в обычном штампе и в универсальном контейнере с полиуретаном от объема выпуска. Материал детали — бронза марки БрОФ 6,5—0,15 толщиной 0,3 мм. Деталь длиной 53,5 мм имеет два отверстия диаметром 2,2 Н12 (2,2 А5) и два отверстия размером 1×1,6 мм. Партия этих деталей (160 шт.) изготовлена в универсальном контейнере с полиуретаном при помощи вырезного шаблона толщиной 2,2 мм. На изготовление шаблона и партии деталей ушло около двух рабочих смен (включая организационные простои). Себестоимость изготовления этих деталей при помощи полиуретана в 10 и более раз

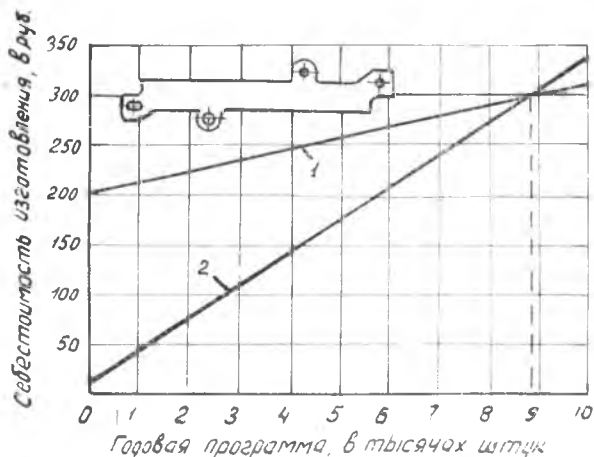


Рис. 12. Сравнение вариантов технологических процессов изготовления детали в обычном штампе (1) и при помощи вырезного шаблона в универсальном контейнере с полиуретаном (2)

ниже, чем при изготовлении в штампе. Изготовление штампа, как видно из графика, экономически целесообразно только при годовой программе больше 8800 штук.

Результаты аналогичных расчетов, проведенных В. А. Ходыревым [20], Д. А. Вайнтраубом [21] и зарубежными исследователями [12], показывают, что процесс вырезки деталей полиуретаном из штучных заготовок целесообразно применять при годовой программе до 7000...25 000 штук. Большие объемы выпуска соответствуют изготовлению сложных деталей из дешевых материалов. Применение групповой вырезки, а также универсально-переналаживаемых штампов с полиуретаном экономически целесообразно при годовых программах выпуска деталей до 200 тыс. штук.

Экономическая эффективность внедрения в производство процесса вырезки деталей полиуретаном на ряде предприятий страны исчисляется десятками тысяч рублей.



### Л и т е р а т у р а

1. Исаченков Е. И. Штамповка резиной и жидкостью. — М.: Машиностроение, 1967. — 367 с.
2. Сапаровский С. В., Комаров А. Д., Смеляков Е. П., Фарманова В. П. Штамповка резиной. — Куйбышевское книжное издательство, 1964. — 108 с.
3. Щеголеватых В. Д., Комаров А. Д., Шалавин В. В. и др. Инструмент для резки эластичных материалов. Авт. свид. № 642203. — Бюллетень изобретений, 1979, № 2.
4. Тартгарин Ю. Ф. Штамповка полиуретаном в крупносерийном производстве. — Рига, Лат. НИИТИ, 1983. — 51 с.
5. Комаров А. Д. Штамповка листовых и трубчатых деталей полиуретаном. — Л.: ЛДНТП, 1975. — 36 с.
6. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. — Л.: Машиностроение, 1979. — 520 с.
7. Универсально-сборочные штампы для листовой штамповки с применением эластичных сред. Детали и сборочные единицы. Технические условия. ГОСТ 22420—77. ГОСТ 22435—77. — М.: Изд-во стандартов, 1977.
8. Комаров А. Д. Развитие и совершенствование процессов штамповки деталей эластичной средой. — Кузнечно-штамповочное производство, 1982, № 12, с. 27—30.
9. Федотов Ю. В., Комаров А. Д., Богоявленский К. Н. и др. Способ изготовления составных контейнеров высокого давления. Авт. свид. № 1087222. — Бюллетень изобретений, 1984, № 15.
10. Комаров А. Д., Федотов Ю. В., Стилбанс Г. З., Кистанов А. А. Устройство для вырубki деталей из листового материала эластичной средой. Авт. свид. № 1061891. — Бюллетень изобретений, 1983, № 47.
11. Богоявленский К. Н., Федотов Ю. В., Комаров А. Д., Миронченко А. С. Повышение качества и точности деталей из малопластичных материалов, вырезаемых эластичной средой. Материалы семинара «Повышение точности в холоднoштамповочном производстве». — Л.: ЛДНТП, 1981, с. 32—39.
12. Комаров А. Д. Штамповка деталей из листовых и трубчатых заготовок эластичной средой. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 7, с. 5—9.
13. Комаров А. Д., Скобляков В. И., Дзядель Е. В. Вырезные шаблоны для вырезки-пробивки деталей из листа полиуретаном. — Кузнечно-штамповочное производство, 1978, № 6, с. 22—26.
14. Комаров А. Д., Рябых А. А., Шадрин В. К., Киров Ф. В. Штамповка полиуретаном деталей из листовых материалов. — Кузнечно-штамповочное производство, 1973, № 9, с. 26—29.
15. Комаров А. Д., Киселев В. А., Щеголеватых В. Д., Голиусов Т. А. Вырезка деталей из ленты в универсальном штампе с полиуретаном. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 10, с. 25—28.

16. Комаров А. Д., Моисеев В. К., Киров Ф. В. Штамповка трубчатых деталей эластичной средой на пневмогидравлической установке. — Кузнечно-штамповочное производство, 1976, № 2, с. 25—28.
  17. Комаров А. Д., Моисеев В. К., Голиусов Т. А. и др. Устройство для пробивки отверстий в трубчатых изделиях эластичной средой. Авт. свид. № 624686. — Бюллетень изобретений, 1978, № 35.
  18. Моисеев В. К., Щеголеватых В. Д., Комаров А. Д. и др. Инструмент для листовой штамповки. Авт. свид. № 615995. — Бюллетень изобретений, 1978, № 27.
  19. Моисеев В. К., Щеголеватых В. Д., Комаров А. Д. и др. Способ штамповки. Авт. свид. № 755378. — Бюллетень изобретений, 1980, № 30.
  20. Ходырев В. А. Проектирование, изготовление и эксплуатация штампов с полиуретаном. — Пермское книжное изд-во, 1975. — 365 с.
  21. Вайнтрауб Д. А. Опыт экономического обоснования технологических решений в условиях мелкосерийного производства. Экспресс-информация «Обработка давлением», 1982, № 11, с. 7--12.
-

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	3
Общие сведения об эластичных средах . . . . .	4
Технологические возможности процесса вырезки деталей полиуретаном	10
Конструкции контейнеров и их стандартизация . . . . .	13
Вырезные шаблоны и качество вырезаемых деталей . . . . .	14
Расчет припуска материала . . . . .	20
Расчет необходимого усилия пресса и давления эластичной среды . . . .	22
Групповая вырезка деталей . . . . .	25
Вырезка деталей из ленты в универсально-переналаживаемом штампе с полиуретаном . . . . .	27
Выполнение разделительных операций на трубчатых заготовках . . . .	29
Экономическая эффективность и внедрение в производство . . . . .	31
Литература . . . . .	33

---

*Анатолий Дмитриевич КОМАРОВ,  
Виктор Петрович РОМАНОВСКИЙ*  
**Вырезка деталей полиуретаном**

Научный редактор канд. техн. наук *Л. Л. Григорьев*  
Издательский редактор *Л. К. Ильина*  
Технический редактор *И. А. Свечникова*  
Корректор *Л. Ф. Прозоровская*

Ленинградский Дом научно-технической пропаганды (ЛДНТП)  
191011, Ленинград, Невский пр., 58

---

Сдано в набор 21.01.86.	Подписано к печати 15.04.86.	М-14472.
Формат 60×90 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага газетная.	Гарнитура литературная.
Печать высокая.	Печ. л. 2,25.	Уч.-изд. л. 1,8.
Тираж 4500 экз.	Изд. № 487.	Зак. № 151.
		Цена 18 коп.

---

Типография ЛДНТП