Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫРУБНОГО ШТАМПА

Методические указания к выполнению практических работ
по дисциплине «Проектирование штампов и прессформ»
для студентов направлений

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2025

Цель работы: Изучение конструкции вырубных штампов, расчет основных параметров разделительных штампов.

1. Теоретическая часть

1. Основные конструктивные требования к штампам

В конструкциях разделительных штампов необходимо предусматривать сопряжение режущих кромок матрицы и пуансона с заданной величиной зазора. Сопряжение должно сохраняться в течение всего разделительного процесса от начала внедрения пуансона в заготовку до выталкивания отхода через провальное отверстие и не должно изменяться на протяжении всей службы штампа.

В разделительных штампах сопряжение пуансонов относительно матриц осуществляется съемником или блоком. При помощи съемника пуансону придается направление, которое в процессе эксплуатации штампа должно быть постоянным, что обеспечивается зазором между пуансоном и съемником, который не должен увеличиваться до полно- го износа матрицы. Увеличение зазора может привести к зарубанию режущих кромок пуансона и матрицы. Величина зазора между пуансоном и съемником должна быть значительно меньше, чем между пуансоном и матрицей. На рис. 1, а показана схема расположения зазоров между пуансоном, съемником и матрицей, применяемая в раз- делительных штампах.

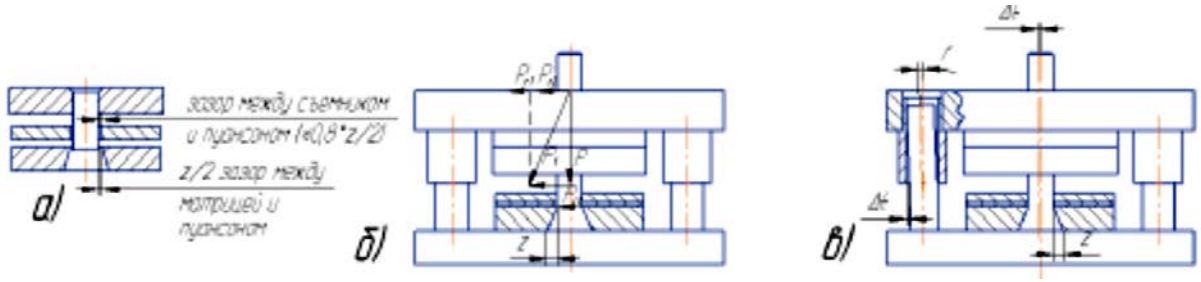


Рис. 1. Схема зазоров и действующих сил при вырубке: а – зазоры между пуансоном и матрицей, пуансоном и съемником; б – вертикальные и горизонтальные силы при вырубке; в – перемещение пуансона под действием горизонтальных сил

Неравномерное распределение зазора между пуансоном и матрицей вызывает более интенсивный износ отдельных участков режущих кромок матрицы и пуансона. Кроме того, при неравномерном зазоре возникают дополнительные боковые силы, под действием которых пуансон расшатывается в пуансонодержателе.

Более стабильное сопряжение пуансона с матрицей обеспечивается за счет блока штампов, который воспринимает основную долю боковых усилий, возникающих в процессе штамповки. Наибольшие боковые усилия при штамповке возникают вследствие неравномерного распределения зазора между пуансоном и матрицей, а также из-за на- рушения перпендикулярности движения ползуна пресса к подштамповой плите, на

которую устанавливают штамп. При этом направления боковых усилий могут совпадать и тогда равнодействующая сила (рис. 1, б) будет равняться их алгебраической сумме

$$R_г = R_{г1} + R_{г2}, \qquad (1)$$

где Rг – равнодействующая боковых сил; Rг1 – горизонтальная состав- ляющая, появляющаяся за счет неравномерно распределенного зазора между пуансоном и матрицей; Rг2 – горизонтальная составляющая сил, появляющаяся вследствие нарушения перпендикулярности в движении ползуна пресса к подштамповой плите.

Равнодействующая боковых сил Rг вызывает перемещение верх- ней плиты блока вместе с прикрепленным к ней пуансонодержателем и пуансонами в горизонтальной плоскости. Общая величина перемещения Δl (рис. 1, в) слагается из величины зазора между колонками и втулками блока и величины прогиба колонок

$$\Delta l = \Delta + f, \qquad (2)$$

где Δl – общая величина горизонтального перемещения верхней части штампа; Δ – зазор между колонками и втулками блока; f – прогиб колонок. Наибольшая часть горизонтального перемещения происходит за счет зазора Δ между колонками и втулками. Общая величина горизонтального перемещения Δl может значительно превышать величину зазора между съемником и пуансоном, вследствие чего съемник будет воспринимать полностью боковые силы в процессе штамповки и на- рушит направление пуансонов. В связи с этим долговечность штампа уменьшается. Для повышения долговечности штампов наряду с блоками колонки и втулки сопряжены по скользящей посадке, применяются конструкции блоков с шариковыми направляющими двух разновидностей – с неподвижным и подвижным сепаратором (рис. 2).

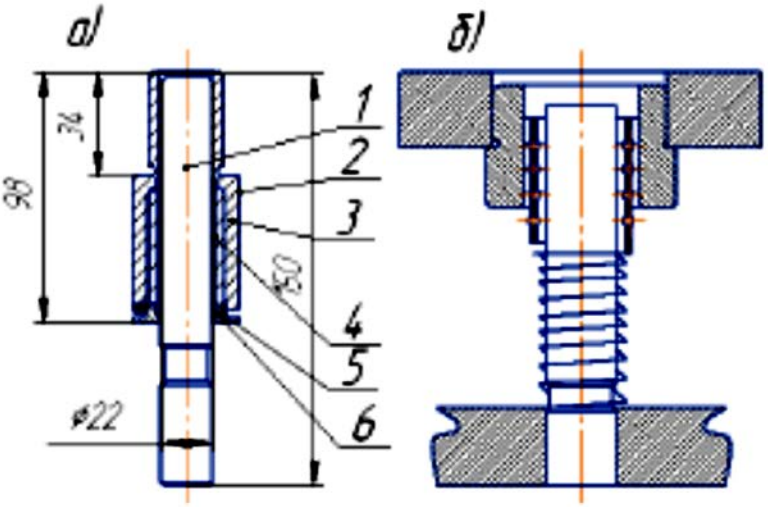


Рис. 2. Конструкция шариковых направляющих для блоков штампов: а – с неподвижным сепаратором: (1 – колон- ка; 2 – корпус; 3 -втулка; 4 – сепаратор;5 – крышка, 6 – шпонка; 7 – винт; 8 – шарик); б – с подвижным сепаратором

Блоки с шариковыми направляющими между колонкой и втулкой вместо зазора, неизбежного в блоках с направляющими скольжения, имеют натяг. Поэтому верхняя часть штампов имеет меньшую возможность перемещения в горизонтальной плоскости и определяется только стрелой прогиба колонок, воспринимающих боковые усилия.

Высокие требования к точности блоков обеспечиваются точностью изготовления деталей блоков: плит, втулок и колонок. ГОСТом установлены нормы точности блоков:

- неперпендикулярность колонок и отверстий втулок к базовым поверхностям плит 0,01 мм на длине 100 мм и 0,006 мм для блоков повышенной точности;
- несоосность втулок верхней плиты и колонок нижней плиты блока 0,025 мм на длине 200 мм и 0,006 мм для блоков повышенной точности;
- непараллельность базовых поверхностей верхней и нижней плит блока 0,025 мм на длине 100 мм и 0,016 мм для блоков повышенной точности.

С целью получения качественных деталей в процессе разделительных операций и наибольших экономических показателей штамповки государственным стандартом предусмотрены следующие разновидности блоков:

1. Диагональные блоки с осевым расположением втулок и коло- нок с направляющими скольжения: нормальной точности для двусторонних зазоров между пуансоном и матрицей свыше 0,026 мм; повышенной точности для двусторонних зазоров между пуансоном и матрицей свыше 0,016 мм.
2. Блоки с шариковыми направляющим: матрицы и пуансоны стальные для двусторонних зазоров не более 0,026 мм; матрицы и пуансоны из твердого сплава для двусторонних зазоров не более 0,1 мм.

2.2. Типовые конструкции штампов

На рис. 3 показаны типовые конструкции штампов и конструктивные решения, обеспечивающие сопряжение пуансонов и матриц. В сменных штампах с универсальным блоком сопряжение режущих кромок создается универсальным блоком и направляющими колонка- ми сменного штампа; в стационарных блочных штампах – за счет блока; в стационарных пакетных штампах – неподвижным направляющим съемником.

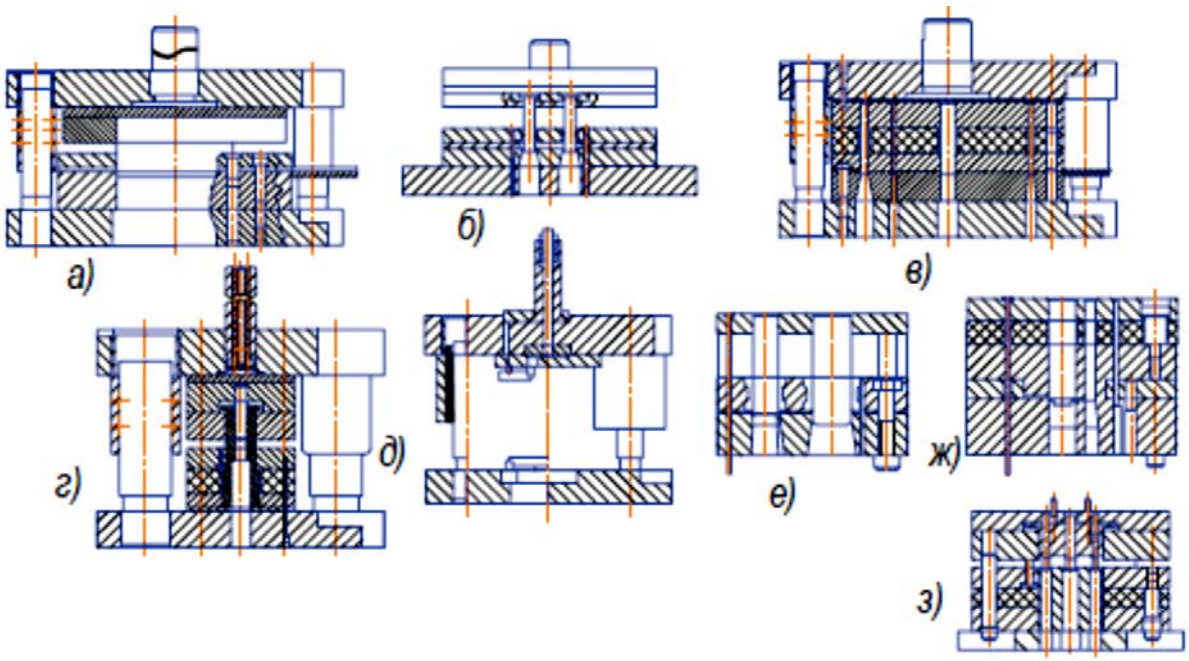


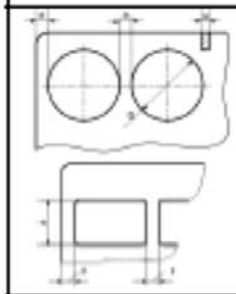
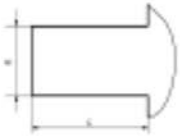
Рис. 3. Типовые конструкции разделительных штампов: а – на стационар- ном блоке с неподвижным съемником; б – пакетный штамп с неподвижным съемником; в – на стационарном блоке с верхним прижимом; г – на стационарном блоке совмещенного действия; д – блок универсальный; е – сменный штамп с неподвижным съемником; ж – то же с верхним прижимом; з – то же совмещенного действия

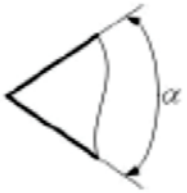
Штампы с неподвижным направляющим съемником обеспечивают более высокую производительность штампов в результате удаления детали через провальное окно. Это дает возможность автоматизации процесса работы на быстроходных прессах-автоматах, а также широкого применения многорядной и многопереходной штамповки. Однако при штамповке на провал имеется некоторое нарушение плоскостности детали. Штампы с верхним прижимом обеспечивают лучшую плоскостность деталей и качество поверхностей среза. Одна- ко наличие верхнего прижима снижает жесткость штампа и требует установки дополнительных средств сопряжения, усложняющих конструкцию штампа; несколько ухудшаются условия безопасности работы. Стоимость таких штампов выше по сравнению со штампами с неподвижным съемником. Штампы с верхним прижимом применяют- ся при многошаговой штамповке деталей из материалов толщиной не менее 0,5 мм.

Штампы совмещенного действия применяются при штамповке деталей повышенной точности с жесткими допусками на взаимное расположение отверстий относительно контура (менее ± 0,1 мм для размеров до 20 мм и ± 0,15 мм для размеров от 20 до 50 мм). Элементы деталей должны соответствовать параметрам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Элементы штампуемых деталей

Эскизы	Конструктивные элементы	Предел прочности, МПа			
		1000	600	300	100
	Минимальный диаметр D или ширина отверстия b	1,5S	S	0,8S	0,6S
		Но не менее 0,5 мм			
	Минимальная ширина перемычки a: при $b \leq S$ и $D \leq 5$ при $b = 2$ и $D = 10$ при $b = 5$ и $D = 25$	1,5S 2S 2,5S	S 1,5S 2S	0,8S S 1,5S	0,6S S S
		Но не менее 1 мм			
	Минимальная ширина выступа b: при $l = S$ при $l = 2S$ при $l = 5S$	S 1,5S 2S	0,8S S 1,5S	0,6S 0,8S S	0,5S 0,6S 0,8S

Эскизы	Конструктивные элементы	Предел прочности, МПа			
		1000	600	300	100
	Минимальный диаметр D или ширина отверстия b	1,5S	S	0,8S	0,6S
		Но не менее 0,5 мм			
	Минимальный угол a без закруглений:				
	хрупкий материал	90°	90°	60°	60°
	пластичный материал	60°	60°	45°	45°
	с закруглением: R>0,5S или с площадкой b > S	45°..60°	45°	30°	20°

3. Технологические требования к плоским штампуемым деталям

Плоские штампуемые детали должны иметь возможно более простую конфигурацию (рис. 4); острые углы, узкие прорези и выступы на контуре и отверстиях снижают стойкость штампов и усложняют их изготовление.

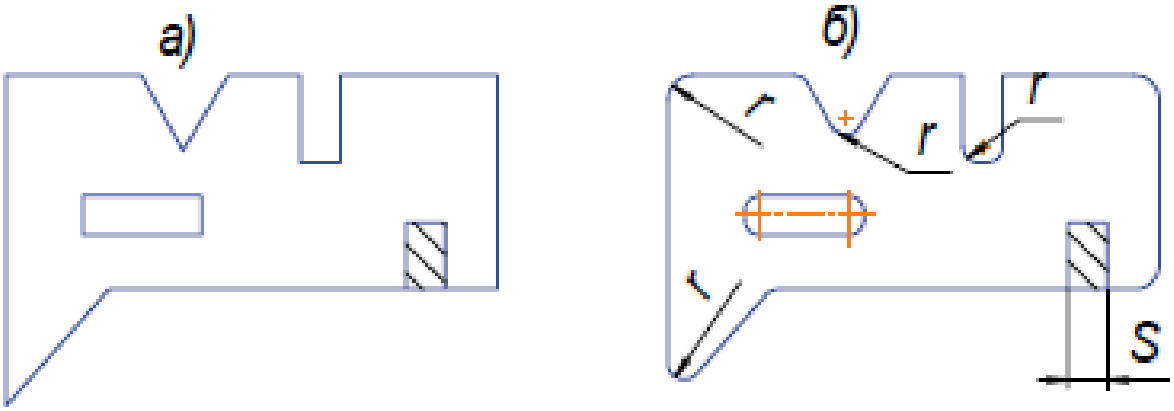


Рис. 4. Сопряжение поверхностей контура штампуемых деталей: а – неправильное; б – правильное

При применении цельных матриц и вырезке с отходами (с перемычками) сопряжения в деталях необходимо выполнять с радиусами закругления в углах (рис. 5, а, в). При составных матрицах и безотходной штамповке сопряжения сторон следует делать без закруглений (рис. 5, б, г).

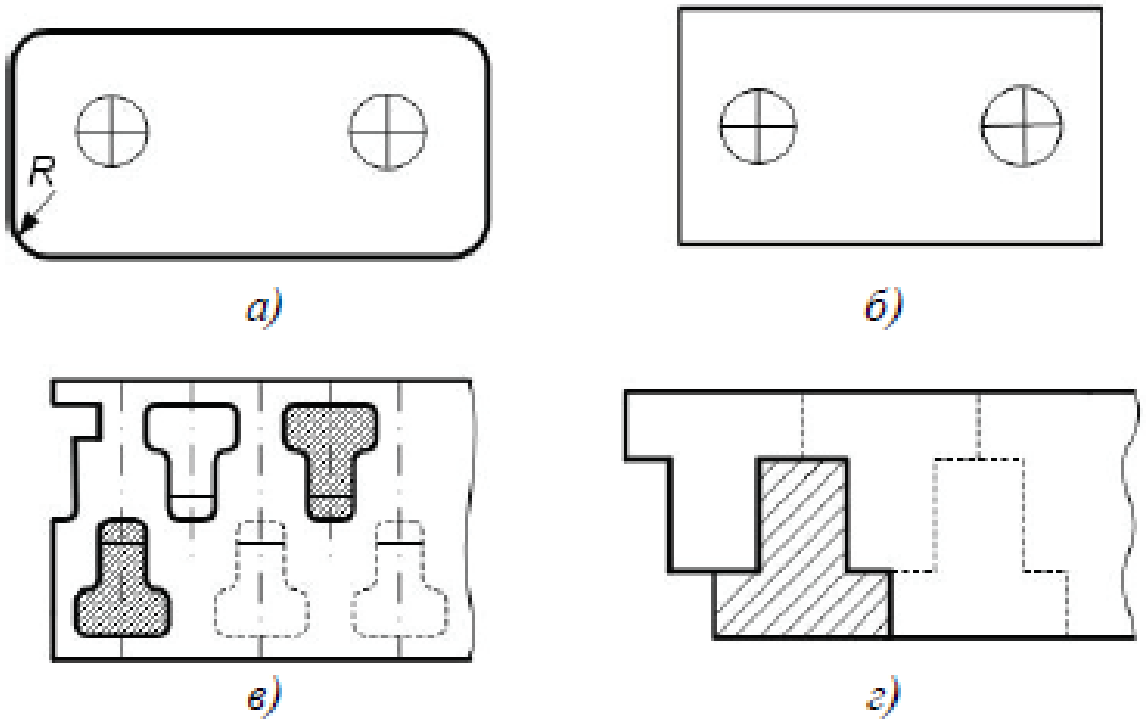


Рис. 5. Технологичность штампуемых деталей: а – для цельных матриц и штамповки с отходами; б – составных матриц и безотходной штамповки; в – при вырубке по всему контуру; г – при без- отходной вырубке

Конфигурация штампуемых деталей должна обеспечивать наивыгоднейший раскрой и минимальные отходы, т.е. наименьшую затрату материала на изготовление одной детали (рис. 6).

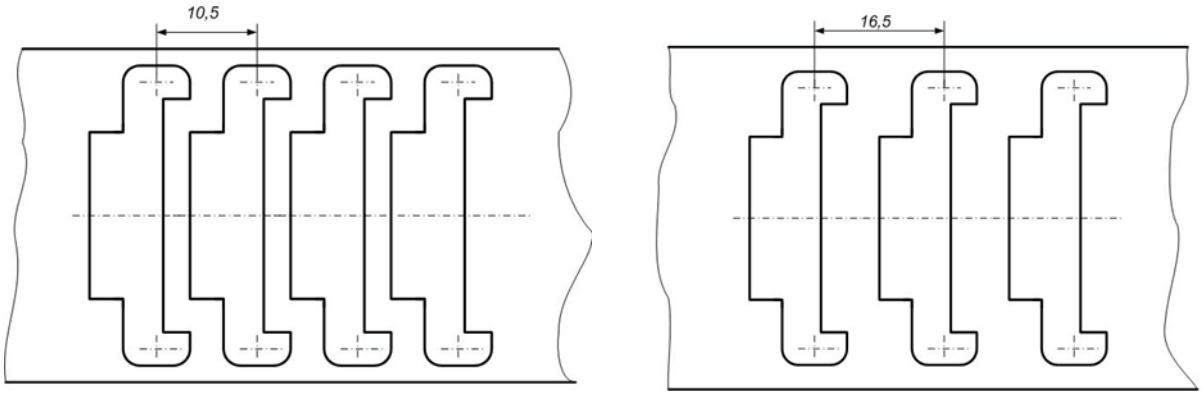


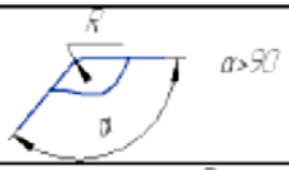
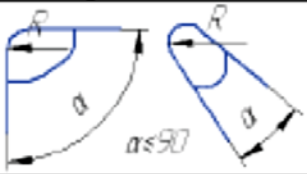
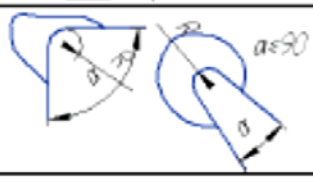
Рис. 6. Конфигурация деталей: а – экономичная; б – неэкономичная

В табл. 2 приведены минимальные радиусы сопряжения острых, прямых и тупых углов (внешних и внутренних), которые применяют в плоских штампованных деталях при вырубке контура в штампах с цельными матрицами и при штамповке с отходами (см. рис. 5, а, в), а также для пробивки отверстий.

Минимальные размеры отверстий, пробиваемых при помощи штампов нормальной конструкции, рекомендуется принимать в соответствии с данными табл. 3, а минимальное расстояние между пробиваемыми отверстиями и стенками детали – по данным табл. 4.

Таблица 2

Минимальные радиусы сопряжения углов

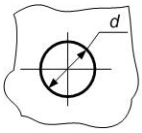
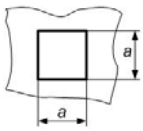
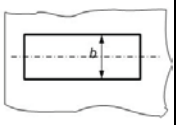
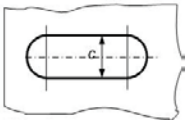
Наименование поверхности	Форма угла	Минимальный радиус закругления в зависимости от толщины материала *S*, мм
Наружные контуры		$R \geq 0{,}25S$
		$R \geq 0{,}5S$
Отверстия		$R \geq 0{,}35S$
		$R \geq 0{,}6S$

При конструировании деталей с надрезкой необходимо, чтобы форма надрезки обеспечивала свободный выход детали из матрицы без защемления (рис. 7), а при толщине материала свыше 1,5 мм во избежание появления трещин в углах сгиба следует делать отверстия (рис. 8).

Величина допусков на штампуемые детали влияет на характер технологического процесса штамповки, стоимость изготовления штампов, конструкцию штампов, их стойкость и производительность.

Таблица 3

Минимальные размеры отверстий, образуемых при штамповке, мм

Материал детали	Форма отверстия			
	Круглая	Квад-ратная	Прямо-угольная	Овальная
				
Сталь $\sigma_в$ > 700 МПа	1,50	1,40	1,20	1,10
Сталь твёрдая $\sigma_в$ = 500 – 700 МПа	1,20	1,10	0,90	0,80
Сталь мягкая $\sigma_в$< 500 МПа	1,00	0,90	0,70	0,60
Латунь Л62, медь	0,80	0,70	0,60	0,55
Алюминий, цинк	0,70	0,60	0,50	0,45
Текстолит, гетинакс	0,40	0,35	0,30	0,30
Картон, бумага	0,40	0,35	0,30	0,30
Магниевый сплав	0,50	-	-	-
МА8М, нагретый до температуры не ниже 260 ° С	0,25	0,45	0,35	0,30

Примечания. 1. Минимальные размеры отверстий нужно умножить на величину толщины материала. При пробивке отверстий с меньшим соотношением d/S следует применять штамп специальной конструкции, обеспечивающий непрерывное направление пуансонов в процессе рабочего хода. При использовании таких штампов минимальный диаметр пробиваемых отверстий в деталях из мягкой стали составляет 1/3S .

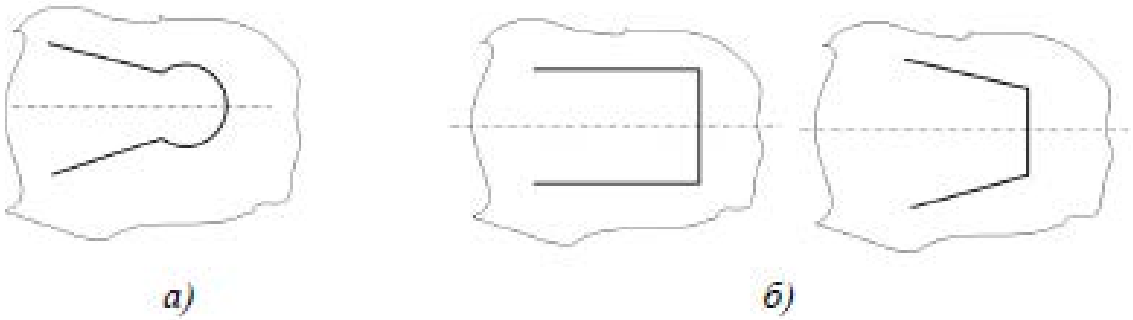
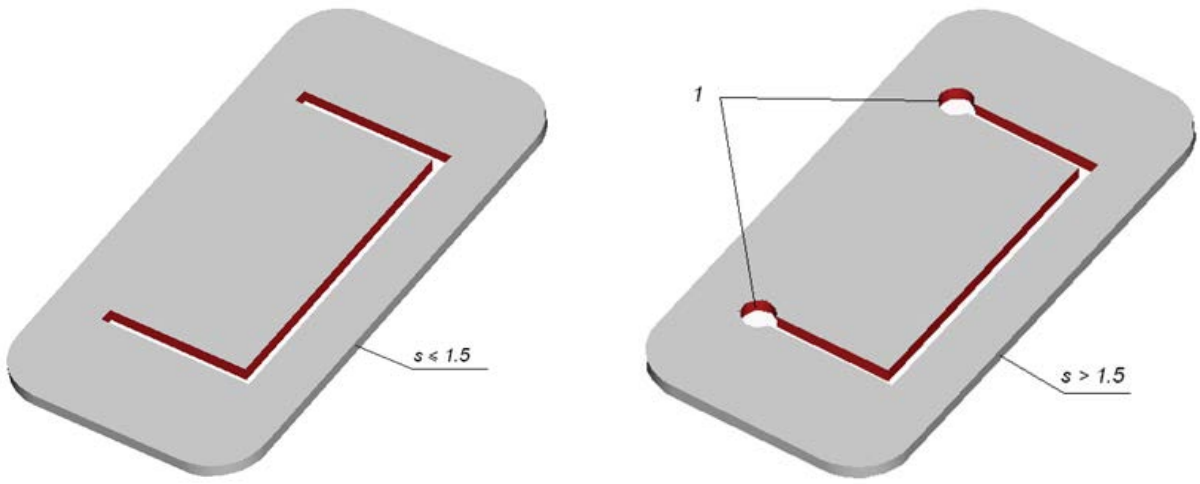


Рис. 7. Конструкции надрезок: а – нетехнологичная; б – технологичная

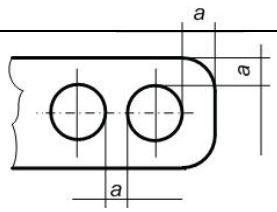
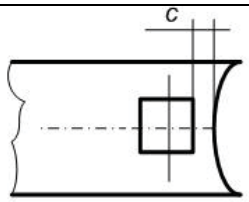
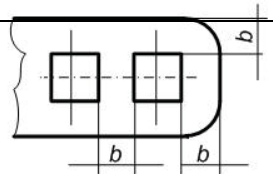
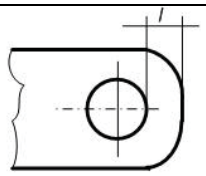
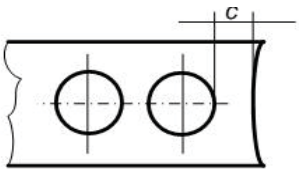
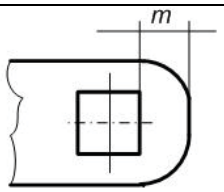


а б

Рис. 8. Технологичность конструкций надрезок в зависимости от толщины материала: а – при S≤1,5мм. б – при S >1,5мм
1технологические отверстия

Таблица 4

Минимальные перемычки между отверстиями и контуром

Форма отверстия	Ширина отверстия	Форма отверстия	Ширина перемычки
	$a \geq S$		$c \geq 0{,}8S$
	$b \geq 1{,}2S$		$t \geq 0{,}8S$
	$c \geq 0{,}75S$		$m \geq 0{,}9S$

Примечание: наименьшая ширина перемычки равна 0,5 мм; *S* – толщина материала.

При конструировании деталей необходимо устанавливать экономически целесообразные допуски, т.е. такие, которые обеспечивают изготовление их без дополнительных операций (зачистки, правки, калибровки, чеканки и др.).

В табл. 5 – 9 приведены значения отклонений размеров плоских деталей, получаемых холодной штамповкой.

Таблица 5

Экономически целесообразная точность размеров контура плоских деталей

Толщина материала, мм	Размеры детали, мм			
	До 50	Св. 50 до 120	Св.120 до 160	Св.200 до 500
Св. 0,2 до 0,5	± 0,10	± 0,15	± 0,2	± 0,3
» 0,5 » 1	± 0,15	± 0,20	± 0,3	± 0,4
» 1 » 2	± 0,20	± 0,30	± 0,4	± 0,5
» 2 » 3	± 0,30	± 0,40	± 0,5	± 0,6
» 3 » 4	± 0,40	± 0,50	± 0,6	± 0,8
» 4 » 6	± 0,50	± 0,60	± 0,8	± 1,0

Точность деталей, штампуемых из гетинакса и текстолита, значительно ниже точности аналогичных деталей, штампуемых из металла, вследствие пружинения материала при работе без нагрева и пружинения и усадки материала при работе с подогревом.

Величины пружинения и усадки зависят от многих факторов и колеблются в значительных пределах. С увеличением толщины мате- риала точность вырубаемых материалов деталей понижается.

При использовании обычных приемов штамповки допуски на размеры деталей из гетинакса и текстолита рекомендуется брать из табл. 9.

Толщина материала для штамповки деталей из гетинакса не должна быть более 3 мм, из текстолита – не более 6 мм.

Таблица 6

Отклонения размеров между отверстиями

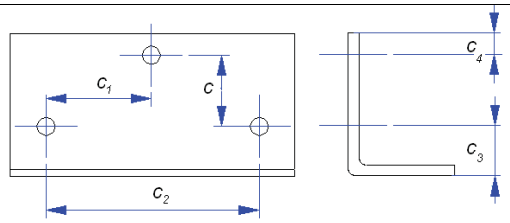
Эскиз	Толщина материала, мм	Расстояние между центрами c, c_1 и c_2, мм		
		До 120	Св. 120 до 220	Св. 220 до 360
	До 2	± 0,15	± 0,20	± 0,25
	Св. 2 до 4	± 0,20	± 0,25	± 0,30
	Св. 4	± 0,25	± 0,30	± 0,40

Таблица 7

Отклонения размеров от базовых поверхностей до отверстий

Толщина материала, мм	Размеры c_3 и c_4, мм (см. табл. 6)			
	До 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 220	Св. 220 до 360
До 2	± 0,5	± 0,6	± 0,7	± 0,8
Св.2 до 4	± 0,6	± 0,7	± 0,8	± 1,0
Св. 4	± 0,7	± 0,8	± 1,0	± 1,2

Таблица 8

Отклонения по диаметру отверстия

Толщина материала, мм	Диаметр отверстия, мм		
	До 10	Св. 10 до 50	Св. 50 до 100
До 2 Св. 2 до 4 Св. 4	± 0,06 ± 0,08 ± 0,10	± 0,08 ± 0,10 ± 0,12	± 0,1 ± 0,12 ± 0,14

Таблица 9

Допуски на размеры деталей, изготовленных из гетинакса и текстолита

Толщина материала, мм	Наружный контур и отверстие		Межосевые размеры, мм	
	Номинальный размер, мм	Рекомендуемый квалитет точ- ности (не вы- ше)	Номинальный размер, мм	Рекомендуемый допуск
0,5	Св. 0,5	4-й	Св. 5	Не выше ± 0,05
Св. 0,5 до 1	До 3 Св. 3	5-й 4-й	Св. 5	Не выше ±0,1
Св. 1 до 1,5	До 6 Св. 6	5-й 7-й	До 80 Св. 80	Не выше ±0,1 Не выше ± 0,2
Св. 1,5 до 2	До 18 Св. 18	5-й 7-й	До 50 Св. 50 до 180 Св. 180	Не выше ±0,1 Не выше ± 0,2 ± 0,3
Св. 2 до 3	До 18 Св. 18	7-й 7-й	До 50 Св. 50 до 120 Св. 120	Не выше ± 0,1 Не выше ± 0,2 ± 0,3

2.4. Раскрой материала

Определение рационального раскроя полосы (ленты). Рациональ- ный раскрой полосы (ленты) характеризуется коэффициентом ис- пользования материала □□и определяется по формуле, %

$$\eta = \frac{F_д}{F_з} 100, \qquad (3)$$

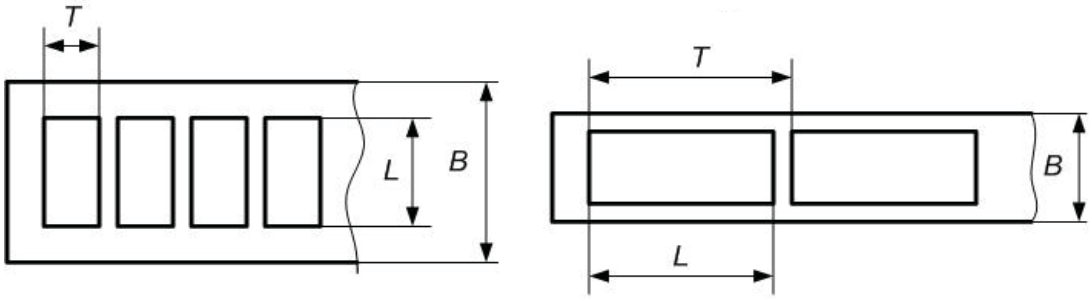
где Fд– площадь штампуемой детали, мм;

Fз – площадь заготовки,необходимой для изготовления штампуемой детали;

$$F_з = TB \qquad (4)$$

где T – шаг между деталями, мм; B – ширина полосы, мм.

Раскрой можно применять простой для одной детали и комбинированный – для нескольких деталей. Прямоугольные детали лучше располагать меньшей стороной вдоль полосы, чтобы по длине полосы поместилось большее число деталей (рис. 9). Это дает экономию материала при разрезке листов на полосы и, кроме того, повышает производительность штамповки.



а б

Рис. 9. Раскрой материала: а – рекомендуемый; б – нерекомендуемый

С целью экономии материала круглые и многоугольные детали целесообразно располагать в несколько рядов в шахматном порядке. Однако стоимость многорядных штампов выше, чем однорядных, поэтому для серийного производства они могут оказаться экономически невыгодными.

Схема раскроя при вырубке круглых деталей с указанием расположения пробивных и вырубных пуансонов, а также шагового ножа приведена на рис. 10.

Коэффициент использования материала при штамповке круглых деталей определяется, %:

при многорядном расположении круглых деталей в шахматном порядке (см. рис. 10):

$$\eta = \frac{0,785 \cdot n \cdot D^2}{(D + a_1)\left[D + 2a + (n-1)(D + a_1)\right]} \sin\alpha \cdot 100; \qquad (5)$$

при однорядном расположении деталей

$$\eta = \frac{0,785 \cdot D^2}{(D + a_1)(D + 2a)} 100, \qquad (6)$$

где n – число параллельно расположенных рядов; D – диаметр детали, мм; a и a1 – ширина перемычек по краям полосы и между деталями (см. табл. 1), мм.

Экономичное расположение деталей со сложной конфигурацией профиля определяют графически. Из плотной бумаги вырезают два –три шаблона по контуру штампуемой детали и находят вариант рас- положения деталей на полосе, при котором коэффициент использования материала будет наибольшим.

В тех случаях, когда экономичность раскроя одинакова при различном расположении деталей на полосе, следует принимать вариант с более широкой полосой, так как это дает экономию на разрезке лис- та. Косой

раскрой усложняет проектирование и изготовление штампа, поэтому его следует применять лишь в серийном производстве.

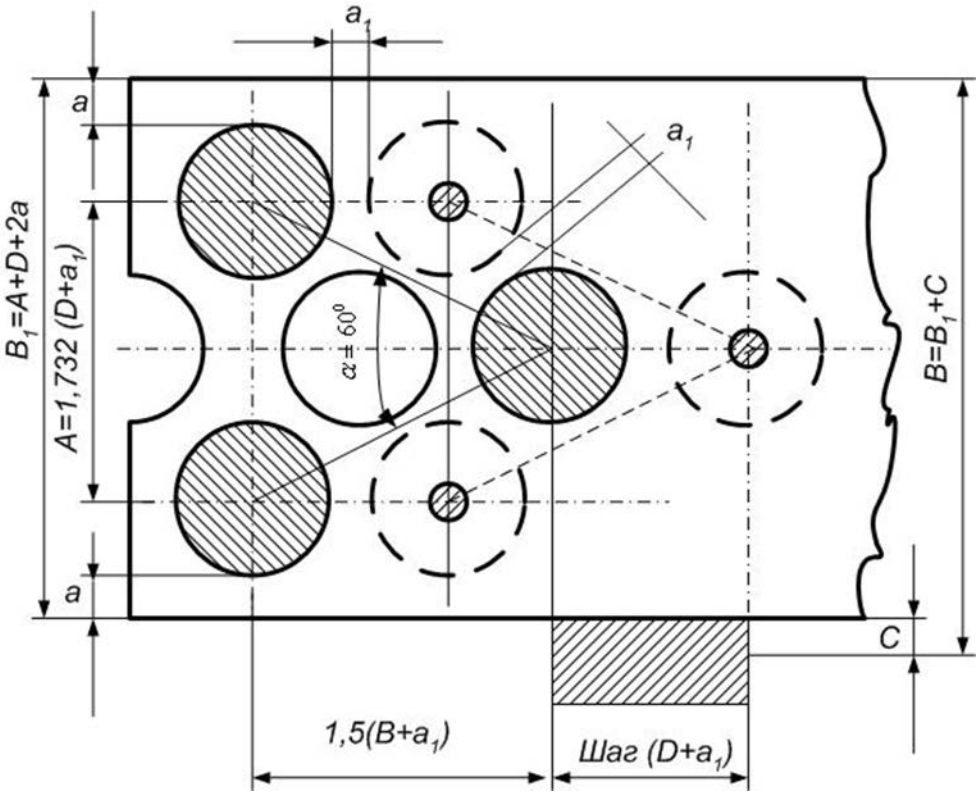
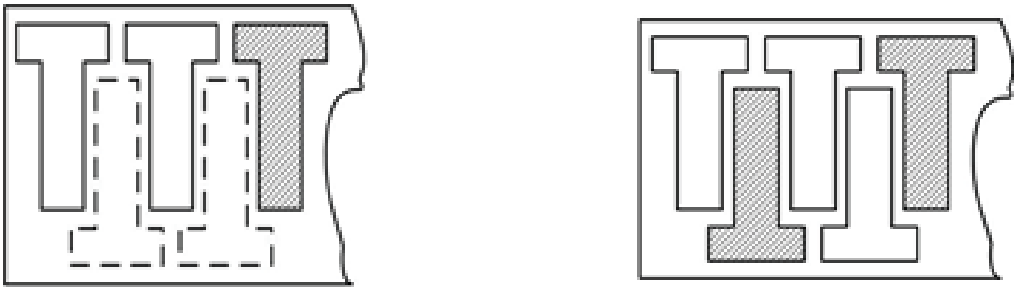


Рис. 10. Рабочая схема раскроя материала при вырубке круглых деталей



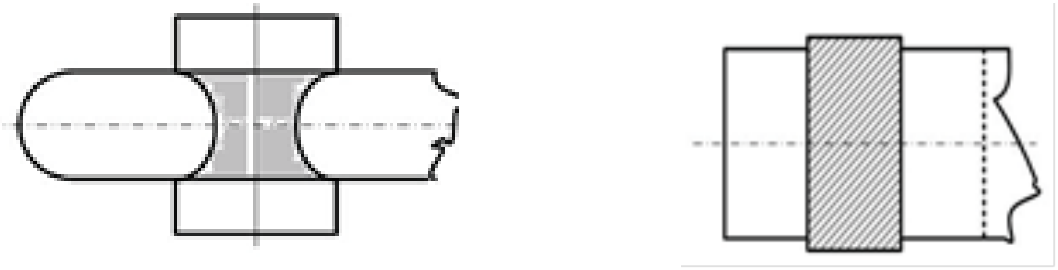
а б

Рис. 11. Экономичный раскрой мате- риала для деталей сложной формы

Большую экономию материала при штамповке деталей сложной формы дает их встречное расположение. Штамповка может производиться следующими способами.

1. Поворотом полосы на 180°после прохода первого ряда (рис. 11, а). Недостаток этого способа – снижение производительности штамповки вследствие искривления полосы после вырезки первого ряда и образующихся на ней заусенцев, которые могут травмировать руки рабочего. Данный способ применим в основном при штамповке в открытых штампах и при толщине материала от 0,5 до 1,5 мм.

2. Применением двухпуансонного штампа (рис. 11, б). При этом способе увеличиваются габаритные размеры штампа и стоимость его изготовления, а следовательно, и себестоимость деталей.



а б

Рис. 12. Экономичный раскрой материала для деталей простой формы: а – при малоотходной штамповке; б – при безотходной штамповке

Наибольшую экономию мате риала получают при безотходной и малоотходной штамповке (рис. 12). Недостаток этого способа – малая точность образуемого контура.

В табл. 10 приведены примеры раскроя с отходами полос, в табл. 11 – примеры малоотходного и безотходного раскроя.

Таблица 10

Примеры раскроя с отходами

Тип раскроя	Эскиз	Область применения
Прямой		Для деталей простой геометрической формы (прямоугольной, круглой, квадратной)
Наклонный		Для деталей Г-образной или другой сложной конфигурации, которые при прямом расположении дают большие отходы металла
Встречный		Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, которые при прямом и наклонном расположении дают большие отходы металла
Комбинированный		Для двух различных деталей, одинаковых по толщине и марке металла, в крупносерийном и массовом производстве
Многорядный		Для деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве
С вырезкой перемычек		Для мелких и узких деталей (часовые стрелки и подобные детали) или для последовательной вытяжки в ленте в крупносерийном и массовом производстве

Таблица 11

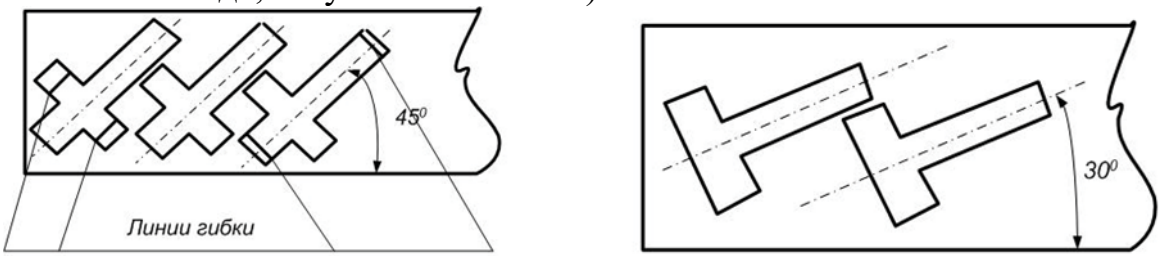
Примеры малоотходного и безотходного раскроя

Тип раскроя	Эскиз	Область применения
Прямой		Для деталей прямоугольной или квадратной формы
Наклонный		Для деталей Г-образной или другой конфигурации, у которых допустимы небольшие дефекты контура
Встречный		Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, у которых допустимы небольшие дефекты контура

Тип раскроя	Эскиз	Область применения
Комбинированный		Для двух различных деталей, взаимовписывающихся по конфигурации (шарнирные петли и т.п.)
Многорядный		Для деталей прямоугольной, квадратной или шестигранной конфигурации небольших размеров в крупносерийном и массовом производстве
С вырезкой перемычек		Для деталей удлиненной формы, изготовляемых из мерной полосы или ленты без обрезки вдоль длинных сторон

Раскрой полосы для деталей, подвергаемых гибке. При выруб- ке деталей, подвергаемых гибке в двух направлениях с малыми радиусами закругления, линии гибки следует располагать под углом 45° от направления волокон материала, даже если экономичность раскроя понизится (рис. 13, а).

При вырубке деталей, подлежащих в дальнейшем гибке в одном направлении, их следует располагать так, чтобы минимальный угол между линией гибки и направлением волокон составлял не менее 30° (рис. 13, б). Исключение допускается при гибке деталей из очень пластичных материалов (отожженные медь, латунь и алюминий).



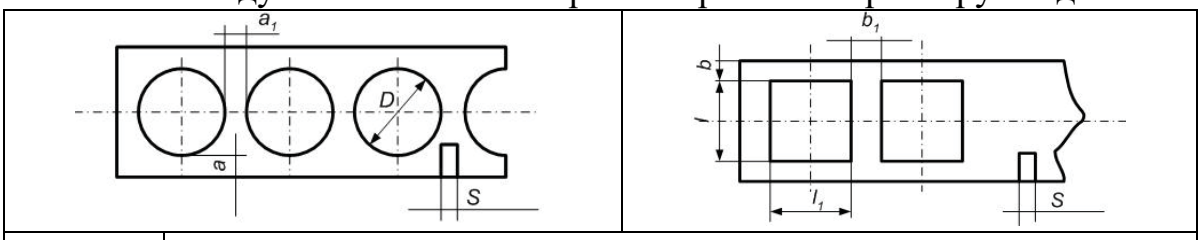
а б

Рис. 13. Расположение деталей в полосе относительно направления волокон материала

Ширина перемычек при вырубке. Ширина перемычек между деталями по краям полосы зависит от толщины материала, формы и размеров детали. Рекомендуемые значения ширины перемычек при вырубке приведены в табл. 12.

Таблица 12

Рекомендуемые значения ширины перемычек при вырубке деталей



Толщина материала, мм	Ширина перемычек, мм									
	круглых и овальных при *D*					прямоугольных деталей при *L*				
	Обозначение	До 50	Св.50 до 100	Св. 100 до 200	Св. 200	Обозначение	До 50	Св. 50 до 100	Св. 100 до 200	Св. 200
До 0,5	a	1,5	1,7	1,9	2,2	b	1,8	2,0	2,5	3,0
	a_1	1,2	1,4	1,6	1,8	b_1	1,5	1,7	2,2	2,7
Св. 0,5 до 1	a	1,2	1,4	1,6	1,8	b	1,5	1,7	2,2	2,7
	a_1	0,8	1,0	1,2	1,4	b_1	1,0	1,2	1,7	2,2
Св. 1 до 1,5	a	1,5	1,7	1,9	2,1	b	1,9	2,1	2,6	3,1
	a_1	1,1	1,3	1,5	1,7	b_1	1,4	1,6	2,1	2,6
Св. 1,5 до 2	a	1,9	2,1	2,3	2,5	b	2,2	2,4	3,0	3,4
	a_1	1,5	1,7	1,9	2,1	b_1	1,7	1,9	2,5	2,9
Св. 2 до 2,5	a	2,3	2,5	2,7	2,9	b	2,6	2,8	3,3	3,8
	a_1	1,8	2,0	2,2	2,4	b_1	2,2	2,4	2,9	3,4
Св. 2,5 до 3	a	2,6	2,8	3,0	3,2	b	3,0	3,2	3,7	4,2
	a_1	2,1	2,3	2,5	2,7	b_1	2,5	2,7	3,2	3,7
Св.3 до 3,5	a	3,0	3,2	3,4	3,6	b	3,4	3,6	4,1	4,6
	a_1	2,5	2,7	2,9	3,1	b_1	2,9	3,1	3,6	4,1
Св.3,5 до 4	a	3,3	3,5	3,7	3,9	b	3,7	3,9	4,4	4,9
	a_1	2,8	3,0	3,2	3,4	b_1	3,2	3,4	3,9	4,4
Св. 4 до 4,5	a	3,6	3,8	4,0	4,2	b	4,0	4,2	4,7	5,2
	a_1	3,1	3,3	3,5	3,7	b_1	3,6	3,8	4,3	4,8
Св. 4,5 до 5	a	4,0	4,2	4,4	4,6	b	4,5	4,7	5, 2	5,7
	a_1	3,4	3,6	3,8	4,0	b_1	4,0	4,2	4,7	5,2
Св. 5 до 6	a	4,2	4,5	4,8	5,0	b	4,5	5,5	5,5	6,0
	a_1	3,5	3,9	4,2	4,5	b_1	4,0	4,5	4,5	5,0
Св. 6 до 7	a	4,5	5,0	5,5	6,0	b	4,8	6,0	6,0	6,5
	a_1	3,6	4,0	4,2	4,5	b_1	4,3	5,0	5,0	5,5
Св. 7 до 8	a	5,0	5,5	5,8	6,0	b	5,3	6,5	7,0	7,8
	a_1	4,2	4,5	4,8	5,0	b_1	4,8	5,5	6,0	6,8
Св. 8 до 9	a	5,5	6,0	6,3	6,5	b	5,8	7,0	7,5	8,0
	a_1	4,5	5,0	5,2	5,5	b_1	5,3	6,0	6,5	7,0
Св. 9 до 10	a	6,0	7,0	7,5	8,0	b	6,3	7,0	7,5	8,0
	a_1	5,0	6,0	6,5	7,0	b_1	5,8	6,0	6,5	7,0

При пользовании этой таблицей необходимо учитывать следующее:

1) при вырубке с поворотом надо величины перемычек увеличивать на 50% по сравнению с приведенными данными;

2) ширину кромки, обрезаемой шаговым ножом, принимать равной величине перемычки b1;

3) при вырубке неметаллических материалов ширину перемычек увеличивать на 50%по сравнению с табличными данными;

4) при вырубке на пластинчатых штампах ширину перемычек принимать в 1,5 – 2 раза больше рекомендуемых в таблице значений;

5) при многорядной вырубке перемычки между деталями a1 и b1 рассчитывать исходя из размера детали, а по краям полосы величины a и b определять по ширине полосы;

6) при вырубке магниевых сплавов табличные значения увеличивать в два раза;

7) при штамповке титановых сплавов ВТ1 без подогрева и ВТ5 с подогревом табличные значения увеличивать на 25 – 30%, а при штамповке сплава ВТ5 без подогрева – в два раза.

Определение ширины полосы. Ширину полосы B определяют для круглых и прямоугольных деталей соответственно по формулам

$$\left.\begin{aligned} B &= D + 2a + \Delta_n; \\ B &= L + 2b + \Delta_n, \end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

где B – ширина полосы, мм (округляется до целого числа в большую сторону); L – размер вырубаемой детали, мм (поперек полосы); a и b – величины боковой перемычки (см. табл. 12); Δn– допуск на ширину b , мм, принимаемый при разрезке листа на гильотинных ножницах по табл. 13, а при разрезке широких лент на узкие на многодисковых ножницах – по табл. 14.

Таблица 13

Допуски на ширину полос Δn при резке на гильотинных ножницах, мм

Ширина полосы, мм	Толщина материала, мм				
	До 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 3	Св. 3 до 5	Св. 5 до 10
До 50	0,4	0,5	0,7	0,9	1,8
Св. 50 до 100	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0
Св.100 до 150	0,6	0,7	0,9	1,1	2,5
Св.150 до 220	0,7	0,8	1,0	1,2	3,0
Св.220 до 300	0,8	0,9	1,1	1,3	4,0

Примечания. 1. Допуски на ширину полос принимать со знаком минус.

2. Допуски даны для реза длиной не более 1000 мм.

Таблица 14

Допуски на ширину полос Δn при резке на многодисковых ножницах, мм

Толщина материала, мм	Ширина ленты, мм					
	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300	До 100	Св. 100 до 300	Св. 300
	Нормальная точность			Повышенная точность		
До 0,1	0,10	0,15	0,25	0,05	0,08	0,15
Св.0,1 до 0,63	0,20	0,30	0,40	0,10	0,15	0,25
Св.0,63 до 1	0,30	0,40	0,50	0,20	0,25	0,35
Св.1 до 3,6	0,40	0,50	0,60	0,30	0,35	0,45

При назначении ширины полосы необходимо учитывать стандартные размеры листов и лент. Располагать детали следует так, чтобы ширина полосы была кратной стандартным размерам листов.

5. Расчет усилия вырубки

Расчет усилия вырубки в штампах с прямыми и скошенными режущими кромками. Расчетное усилие Р определяют по формуле

$$P = L\,S\,\tau_{ср}, \qquad (8)$$

где L – периметр вырубаемого (пробиваемого) контура, мм; S – толщина материала, мм; $\tau_{ср}$ - сопротивление срезу.

Необходимое усилие пресса Рд рассчитывают по формуле

$$P_{д} = \frac{1,25P}{1000} \le P_{д\ ном}, \qquad (9)$$

где Р – расчетное усилие вырубки, определяемое по формуле (8);
Рд ном– номинальное усилие имеющегося пресса.

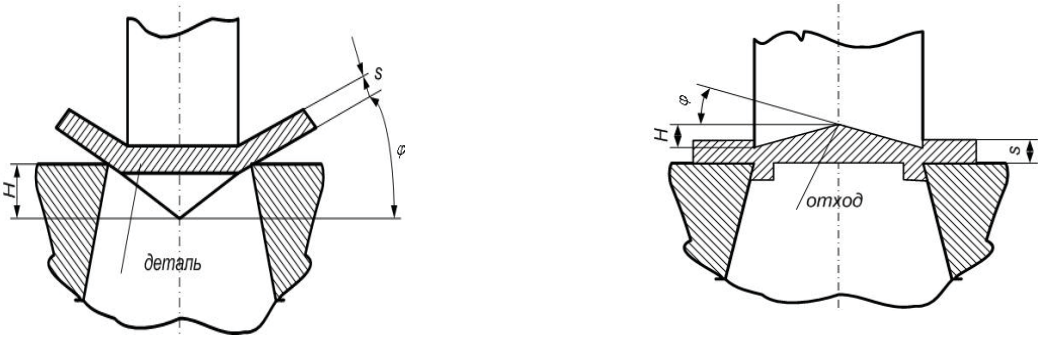
При отсутствии пресса необходимой мощности можно осуществить вырубку на менее мощном прессе, применяя скошенные режу- щие грани на пуансоне или матрице или ступенчатое расположение пуансонов. При вырубке наружного контура скос делают на матрице, а пуансон должен быть плоским (рис. 14, а). При пробивке отверстия скос выполняют на пуансоне, а матрица остается плоской (рис. 14, б). Соблюдение указанных условий обеспечивает получение плоских изделий при изогнутых отходах.

Скосы делают симметричными. Высоту скоса и угол наклона режущих кромок принимают в пределах Н = (1 – 3) S, φ=3 – 8° (см. рис. 14).

При вырезке скошенными режущими гранями усилие ориентировочно определяют по формулам

при $H = S$ $\qquad P = 0,6LS\tau_{ср}$; $\qquad$ (10)

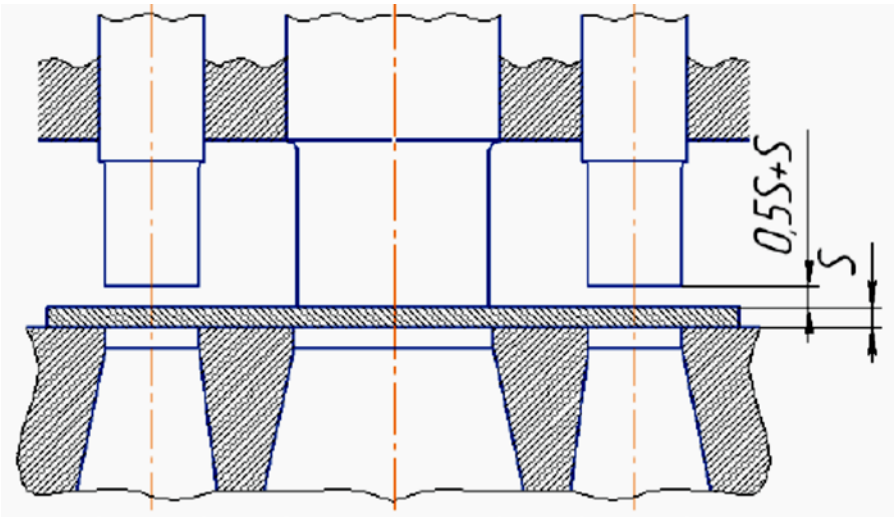
при $H \ge 2S$ $\qquad P_1 = 0,4LS\tau_{ср}$, $\qquad$ (11)



а б

Рис. 14. Вырубка наружного контура и пробивка отверстия

где H – высота скоса, мм; остальные обозначения см. в формуле (8).



15. Ступенчатое расположение пуансонов

Ступенчатое расположение пуансонов в много-пуансонных штампах (рис. 15) можно получить укорочением пуансонов с меньшими сечениями на величину, равную (0,5 – 1) S. В штампах последователь ного действия наибольшую высоту имеют пуансоны с ловителями, а в пробивных 15. Ступенчатое расположение пуансонов штампах – пуансоны с наибольшими диаметрами.

Усилие вырубки при ступенчатом расположении пуансонов подсчитывают по периметру вырубаемого контура, который является наибольшим.

Усилие снятия и проталкивания детали или отхода. Усилие снятия отхода или штампуемой детали с пуансона формуле

$$P_{\text{сн}} = PK_{\text{сн}}, \qquad (12)$$

где P – усилие вырубки, определяемое по формуле (8);

Ксн– коэффициент, зависящий от штампуемого материала (табл. 15)

Усилие $P_{\text{пр}}$ для проталкивания детали или отхода через матрицу вычисляют по формуле

$$P_{пр} = PK_{пр}, \qquad (13)$$

где Р – усилие вырубки, определяемое по формуле (8)

Кпр–коэффициент, зависящий от штампуемого материала (см. табл. 15).

Таблица 15

Значения коэффициентов Кпр и Ксн

Металл	Среднее значение коэффициентов	
	$K_{сн}$	$K_{пр}$
Сталь	0,03 – 0,05	0,02 – 0,06
Латунь	0,02 – 0,04	0,02 – 0,05
Медь	0,015 – 0,03	0,03 – 0,07
Алюминий	0,025 – 0,05	0,03 – 0,06
Дюралюминий и магниевые сплавы	0,025 – 0,05	0,02 – 0,06

Значение Ксн относится к снятию отхода с одного вырубного пуансона. При одновременной пробивке нескольких отверстий, расположенных друг от друга на расстоянии, большем двух – трех толщин материала Ксн=0, 08…0,1, а при перемычках, ширина которых близка к толщине материала, Ксн=0,15…0, 2 .

При работе без смазки приведенные в табл. 15 значения коэффициентов следует увеличивать на 20 – 25 %.

Определение центра давления штампа. Ось хвостовика необходимо располагать в центре давления штампа для предотвращения перекоса и несимметричности зазора.

Координаты центра давления (рис. 16) следует определять для многопуансонных штампов последовательного действия и при несимметричном вырезаемом контуре

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} l_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{i=10} l_i}; \quad y_o = \frac{\sum_{i=1}^{i=10} l_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{i=10} l_i},$$

где li, l1, l2, …, l10 – периметры соответствующих участков контура вы- рубаемых деталей; xi, x1, x2, …, x10 – расстояния от геометрического центра соответствующих участков до оси y; yi, y1, y2, …, y10 – расстояния от геометрического центра соответствующих участков до оси x.

Пересечение координат x0 и y0 дает искомый центр О давления штампа.

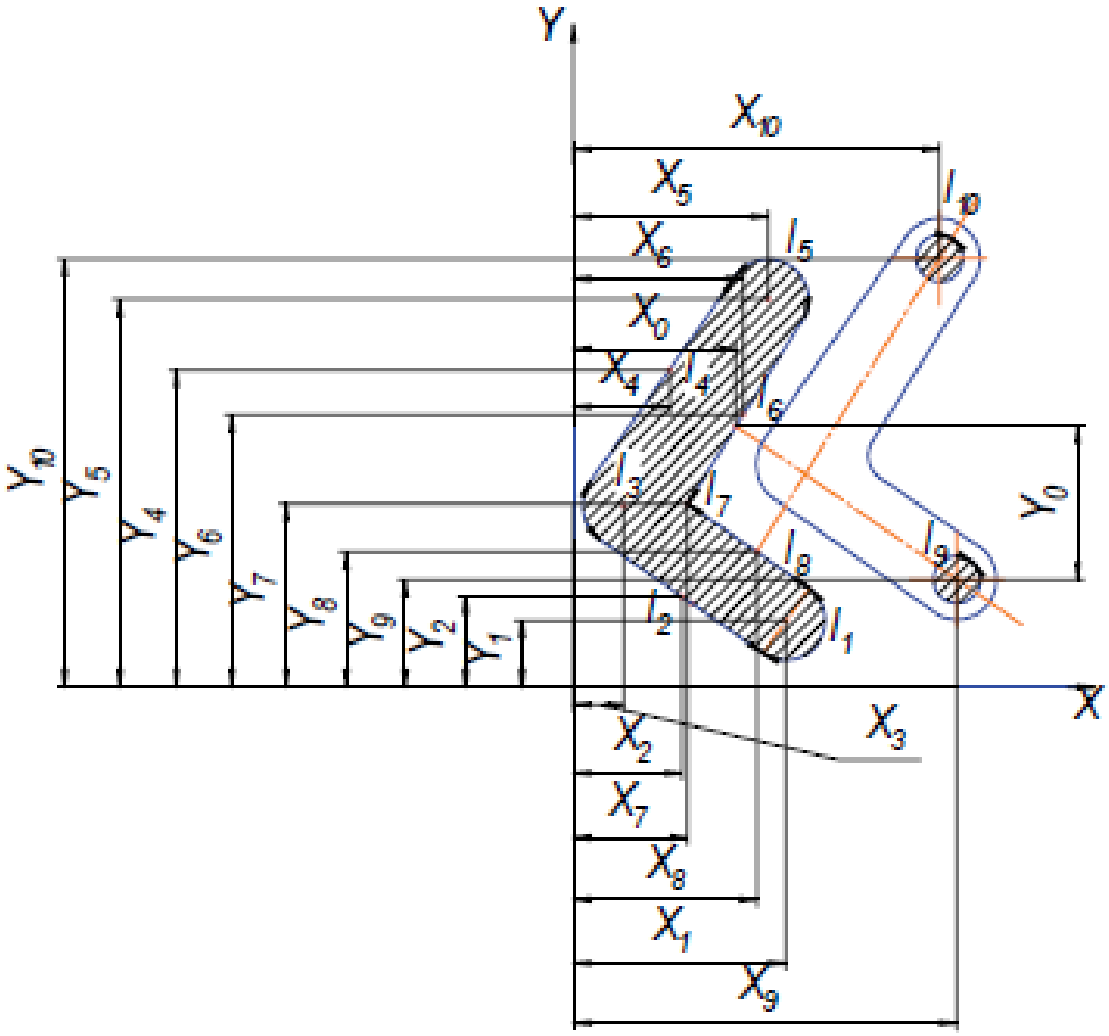


Рис. 16. Схема определения центра давления штампа

6. Зазоры между матрицей и пуансоном в вырубных и пробивных штампах

Равномерная величина зазора между пуансоном и матрицей z/2 (рис. 17) существенно влияет на качество поверхности среза, величину усилия вы- рубки и износ режущих частей. Вели- чина зазора зависит от толщины материала и его свойств.

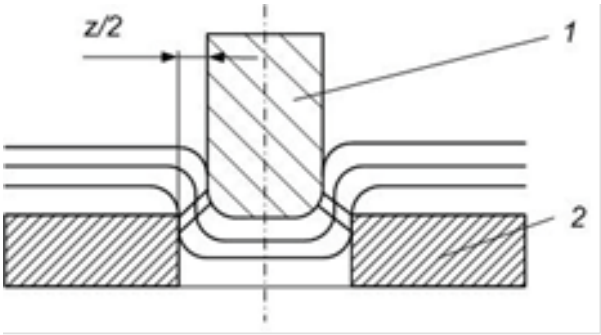


Рис. 17. Схема образования трещин

В табл. 16 и 17 приведены величины двусторонних зазоров при вырубке и пробивке различных материалов.

Таблица 16

Двусторонние зазоры при штамповке слюды, мм

Толщина слюды	Наружный контур и круглые отверстия		Отверстия фасонные и прямоугольные	
	z	Δz	z	Δz
0,05 0,10 0,20	0,006 0,008 0,010	+0,005	0,018 0,020 0,025	+0,010
0,30 0,40 0,50	0,013 0,015 0,018	+0,010	0,030 0,035 0,040	+0,015

7. Расчет исполнительных размеров матриц и пуансонов

В зависимости от принятой технологии изготовления штампов применяют следующие методы расчётов исполнительных размеров:

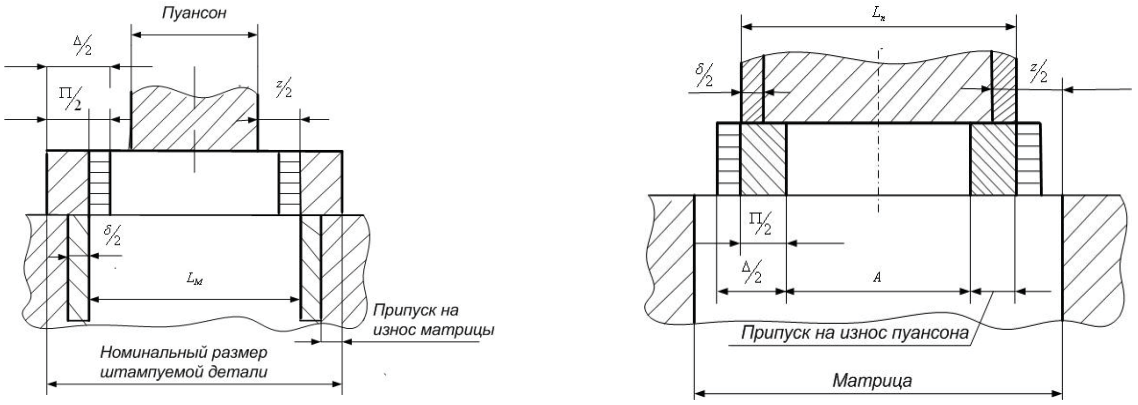
1. Определение исполнительных размеров матрицы для вырубки кон- тура и пуансона для пробивки отверстия. Вторая рабочая деталь соответственно обрабатывается по первой с заданным двусторонним зазором z.
2. Определение исполнительных размеров пуансонов для вырубки контура или для пробивки отверстия изделия. Матрица в этих случаях обрабатывается по пуансону с двусторонним зазором z (способ изготовления матрицы: по оттиску с пуансона).
3. Определение исполнительных размеров матрицы и пуансона при раздельном способе их изготовления (преимущественно при круг- лом рабочем контуре и допусках на штампуемую деталь).

Таблица 17

Двусторонние зазоры при вырубке и пробивке, мм

Толщина материала, мм	Низкоуглеродистые стали марок 10, 20; медь, латунь, алюминий		Среднеуглеродистые стали марок 10, 20, медь, латунь, алюминий		Высокоуглеродистая, трансформаторная и нержавеющая сталь		Гетинакс и текстолит		Картон, бумага, кожа, асбест, резина		Магниевые сплавы (штамповка с подогревом и без подогрева)		Титановые сплавы			
													ВТ1 без подогрева, ВТ5 с подогревом		ВТ5 без подогрева	
	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$	z	$\otimes_z$
0,1	0,005	-	0,006	-	0,007	-	0,004	-	0,002	-	-					-
0,2	0,010	+0,010	0,012	+0,010	0,014	+0,010	0,005	+0,005	0,003	+0,003	-	-	-	-	-	-
0,3	0,015		0,018		0,021		0,006		0,004		-	-	-	-	-	-
0,4	0,020		0,024		0,028		0,008		0,005		-	-	-	-	-	-
0,5	0,025		0,030		0,035		0,010		0,006		0,017	-	0,030	-	0,075	-
0,6	0,030	+0,020	0,036	+0,020	0,042	+0,020	0,012	+0,010	0,008	+0,008	0,020	+0,010	0,036	+0,020	0,090	+0,008
0,7	0,035		0,042		0,049		0,014		0,009		0,025		0,042		0,105	
0,8	0,040		0,048		0,056		0,016		0,010		0,030		0,048		0,120	
0,9	0,045		0,054		0,063		0,018		0,012		0,034		0,054		0,135	
1,0	0,50		0,060		0,070		0,020		0,015		0,035		0,060		0,150	
1,2	0,070	+0,020	0,080	+0,030	0,100	+0,030	0,024	+0,015	0,018	+0,012	0,042	+0,015	0,084	+0,030	0,192	+0,012
1,5	0,090		0,110		0,120		0,030		0,022		0,052		0,105		0,240	

1,8	0,110	+0,050	0,130	+0,050	0,140	+0,050	0,036	+0,025	0,027	+0,020	0,062	+0,025	0,125	+0,050	0,288	+0,020
2,0	0,120		0,140		0,160		0,040		0,030		0,070		0,140		0,320	
2,2	0,160		0,180		0,200		0,044		0,040		0,077		0,176		0,374	
2,5	0,180		0,200		0,230		0,050		0,045		0,090		0,200		0,425	
2,8	0,200		0,220		0,250		0,056		0,048		0,098		0,224		0,475	
3,0	0,210		0,240		0,270		0,060		0,053		0,105		0,240		0,510	
3,5	0,280	+0,100	0,320	+0,100	0,350	+0,100	0,070	+0,050	0,060	+0,020	0,122	+0,050		+0,100		+0,030
4,0	0,320		0,360		0,400		0,080				0,140					
4,5	0,360		0,450		0,540		0,090				0,157					
5,0	0,400		0,500		0,600		0,100				0,175					
6,00	0,500	+0,200	0,600	+0,200	0,700	+0,200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,00	0,700		0,900		1,000		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	0,800		1,000		1,100		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,0	1,100		1,300		1,400		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,0	1,200		1,400		1,600		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,0	1,600	+0,300	1,800	+0,300	2,000	+0,300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12,0	1,700		1,900		2,200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13,0	2,100		2,300		2,600		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14,0	2,300		2,500		2,800		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,0	2,700	+0,500	3,000	+0,500	3,300	+0,500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,0	2,900		3,200		3,500		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17,0	3,400		3,800		4,100		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18,0	3,600		4,000		4,300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19,0	4,200		4,600		5,000		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20,0	4,400		4,800		5,200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



а б

Рис. 18. Схема назначения исполнительных размеров матрицы и пуансона: а – размеры, увеличивающиеся при износе штампа (вырубка контура); б – размеры, уменьшающиеся при износе штампа (пробивка отверстия); Lм – номинальный размер матрицы; Ln – номинальный размер пуансона; А – но- минальный размер штампуемой детали

Наружный контур или отверстие штампуемой детали со сложной конфигурацией следует при расчете исполнительных размеров разделить на элементы, размеры которых при износе штампа уменьшаются, увеличиваются или остаются без изменений.

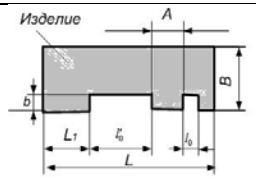
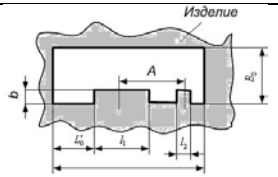
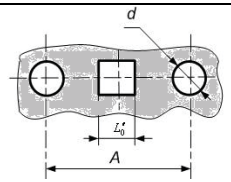
Исполнительные размеры рассчитываются с учетом оставления максимального припуска на износ матрицы и пуансона. Схема условного расположения допусков и припусков показана на рис. 18, а рас- четные формулы приведены в табл. 18.

В табл. 19 приведены припуски П на износ и допуски δ и δ’ на изготовление пуансонов и матриц (при совместном изготовлении режущих контуров и допусках на штампуемую деталь 3 – 7-й квалитет точности), а в табл. 20 – допуски на изготовление матриц и пуансонов при раздельной обработке их рабочих контуров.

Примеры расчета исполнительных размеров матрицы и пуансонов для штамповки детали из латуни Л62 толщиной 1 мм даны на рис. 19, а. Двусторонний зазор между матрицей и пуансоном Z = 0,05 мм взят из табл. 16; значения припусков на износ П и до- пусков на изготовление δ и δ’ – из табл. 19.

Таблица 18

Формулы расчета исполнительных размеров пуансонов и матриц при вырубке контура и пробивке отверстий

Вырубка контура		Пробивка отверстий		
Элементы контура или отверстия штампуемой детали		Вырубка контур а		Пробивка отверстий
		Методы пригонки рабочих деталей		
Допуски	Номинальные размеры детали	Обработка пуансона по матрице	Обработка матрицы по пуансону	
Односторонние (+ или -)	Уменьшающиеся при износе штампа l, l	$L_м = (L_н + П)_{-\delta}$ (14) $L_n = L_м + z$ (15)	$L_n = (L_н + П + z - \delta')^{+\delta'}$ (16)	$L_n = (L_н + П)_{-\delta'}$ (17) $L_м = L_n + z$ (18)
	Увеличивающиеся при износе штампа L, L_1, B, l_1, l	$L_м = (L_н - П)^{+\delta}$ (19) $L_n = L_м - z$ (20)	$L_n = (L_н - П - z + \delta')_{-\delta'}$ (21)	$L_n = (L_н - П)^{+\delta'}$ (22) $L_м = L_n - z$ (23)
	Не изменяющиеся при износе штампа A, b.	При положительном допуске на деталь: $L_м$ или $L_n = (L_н)^{+0,5\Delta}$ (24) При отрицательном допуске на деталь: $L_м$ или $L_n = (L_н)_{-0,5\Delta}$ (25)		
Двусторонние симметричные (+-)	Уменьшающиеся при износе штампа l_0, l_0', L_0, B_0, L_0', L_0'', d	$L_м = (L_н) \pm 0,2$ $L_n = L_м + z$ (26)	$L_n = (L_н + z) \pm 0,2\Delta$ (28)	$L_n = L_н \pm 0,2$ $L_м = (L_n + z)$ (30)
	Увеличивающиеся при износе штампа L, L_1, B, l_1, l_2.	$L_м = (L_н) \pm 0,2$ $L_n = L_м - z$ (27)	$L_n = (L_н - z) \pm 0,2\Delta$ (29)	$L_n = L_н \pm 0,2$ $L_м = (L_n - z)$ (31)
	Неизменяющиеся при износе штампа A, b	$L_м$ или $L_n = (L_н) \pm 0,5\Delta$ (32)		

Условные обозначения: $L_м$, L_n – исполнительные размеры матрицы и пуансона; $L_н$ – номинальные размеры по чертежу штампуемой детали детали; $П$ – припуск на износ матриц и пуансонов (табл. 2. 19); z – двусторонний зазор между матрицей и пуансоном (табл. 2.16 и 2.17); δ и δ' – допуски на рабочие размеры матриц и пуансонов (при совместном изготовлении матриц и пуансонов по табл. 2.19, при раздельном изготовлении – по табл. 2.20); Δ – допуск на штампуемые детали (табл. 2.20). 1. При допусках на деталь $D^{+\Delta_1}_{-\Delta_2}$ или $(d)^{+\delta_1}_{-\delta_2}$ номинальные размеры $D_l = (D - \Delta_1) - (\Delta_2 - \Delta_1)$; $d_l = (d + \delta_1) + (\delta_2 - \delta_1)$, где D – диаметр контура, d – диаметр отверстия. 2. В отдельных случаях при симметричных допусках для увеличения припусков на износ исполнительных размеров: для размеров, увеличивающихся при износе штампа, $L_м$ или $L_l = (L_l - \Delta)^{+0,3\Delta}$; для размеров, уменьшающихся при износе штампа, $L_м$ или $L_l = (L_l + \Delta)_{-0,3\Delta}$.

Таблица 19

Припуски на износ и допуски на изготовление матриц и пуансонов, мм

<table>
<tr><th rowspan="2">Допуски
на штампуемые детали</th><th rowspan="2">Припуски
на износ П</th><th colspan="2">Допуски на рабочие размеры</th></tr>
<tr><th>Матрицы δ</th><th>Пуансона δ'</th></tr>
<tr><td>0,020</td><td rowspan="12">$\Pi = \Delta$</td><td>0,006</td><td>0,004</td></tr>
<tr><td>0,025</td><td>0,008</td><td>0,005</td></tr>
<tr><td>0,030</td><td>0,009</td><td>0,06</td></tr>
<tr><td>0,035</td><td rowspan="2">0,011</td><td rowspan="2">0,008</td></tr>
<tr><td>0,040</td></tr>
<tr><td>0,045</td><td>0,013</td><td>0,009</td></tr>
<tr><td>0,050</td><td>0,015</td><td>0,011</td></tr>
<tr><td>0,060</td><td>0,018</td><td>0,013</td></tr>
<tr><td>0,070</td><td>0,021</td><td>0,015</td></tr>
<tr><td>0,080</td><td>0,024</td><td>0,01</td></tr>
<tr><td>0,090</td><td>0,027</td><td>0,020</td></tr>
<tr><td>0,100</td><td>0,030</td><td>0,022</td></tr>
<tr><td>0,120</td><td>0,10</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>0,140</td><td>0,12</td><td rowspan="6">0,035</td><td rowspan="6">0,030</td></tr>
<tr><td>0,160</td><td rowspan="2">0,14</td></tr>
<tr><td>0,170</td></tr>
<tr><td>0,200</td><td>0,16</td></tr>
<tr><td>0,230</td><td rowspan="2">0,18</td></tr>
<tr><td>0,240</td></tr>
<tr><td>0,250</td><td>0,20</td><td>0,045</td><td>0,045</td></tr>
<tr><td>0,26</td><td rowspan="2">0,20</td><td colspan="2" rowspan="2">0,045</td></tr>
<tr><td>0,28</td></tr>
<tr><td>0,30</td><td rowspan="2">0,25</td><td colspan="2" rowspan="2">0,060</td></tr>
<tr><td>0,34</td></tr>
<tr><td>0,36</td><td rowspan="3">0,30</td><td colspan="2" rowspan="3">0,080</td></tr>
<tr><td>0,38</td></tr>
<tr><td>0,40</td></tr>
<tr><td>0,43</td><td rowspan="2">0,35</td><td colspan="2" rowspan="2">0,100</td></tr>
<tr><td>0,46</td></tr>
<tr><td>0,52</td><td rowspan="2">0,40</td><td colspan="2" rowspan="2">0,120</td></tr>
<tr><td>0,53</td></tr>
<tr><td>0,60</td><td rowspan="2">0,50</td><td colspan="2" rowspan="2">0,140</td></tr>
<tr><td>0,62</td></tr>
<tr><td>0,68</td><td>0,55</td><td colspan="2" rowspan="2">0,170</td></tr>
<tr><td>0,74</td><td>0,60</td></tr>
<tr><td>0,87</td><td>0,70</td><td colspan="2" rowspan="2">0,200</td></tr>
<tr><td>1,00</td><td>0,80</td></tr>
<tr><td>1,15</td><td rowspan="2">0,90</td><td colspan="2" rowspan="2">0,260</td></tr>
<tr><td>1,35</td></tr>
<tr><td>1,55</td><td>1,25</td><td colspan="2">0,300</td></tr>
</table>

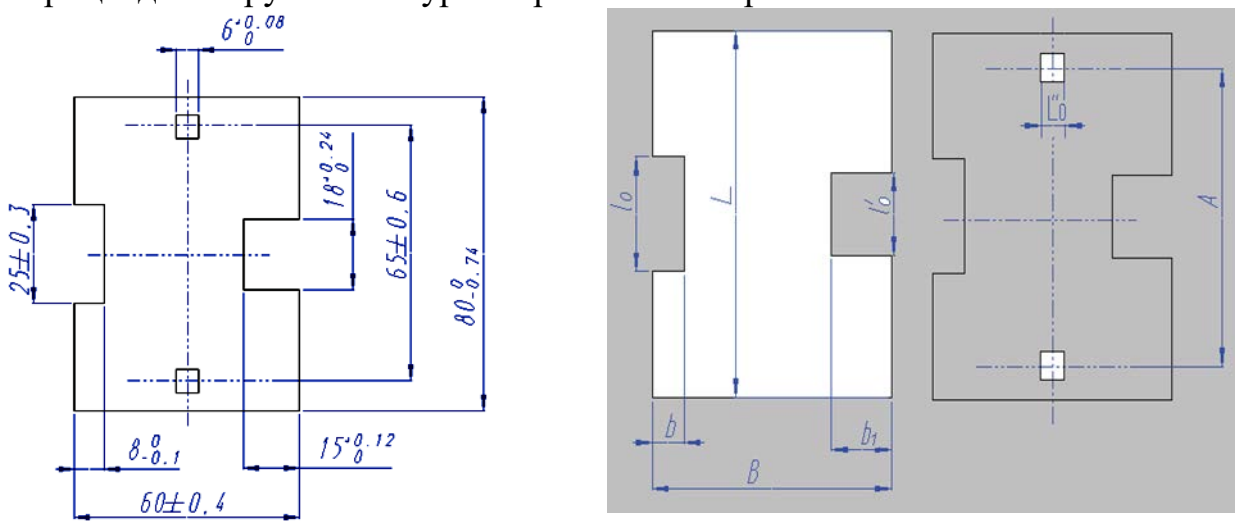
Таблица 20

Допуски на изготовление матриц и пуансонов при разделительном изготовлении рабочих контуров, мм

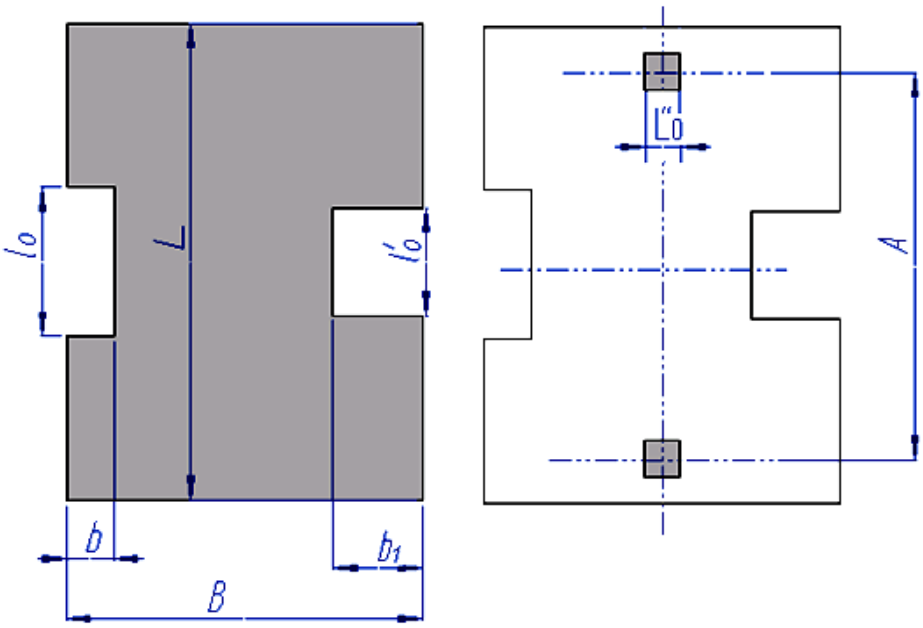
Номинальные диаметры, мм	Наименование деталей штампа	Толщина материала, мм					
		До 0,5	От 0,6 до 1	Св. 1 до 2	Св. 2 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6
Св. 1 до 3	М П	_ _	_ _	(+0,010) (-0,006)		_ _	_ _
Св. 3 до 6	М П	_ _	_ _	(+0,013) (-0,008)		(+0,025) (-0,025)	_ _
Св. 6 до 10	М П	_ _	_ _	(+0,016) (-0,010)		(+0,030) (-0,030)	
Св. 10 до 18	М П	_ _	_ _	(+0,019) (-0,012)		(+0,035) (-0,035)	
Св. 18 до 30	М П	_ _	_ _	(+0,023) (-0,014)		(+0,045) (-0,045)	
Св. 30 до 50	М П	_ _		(+0,027) (-0,017)		(+0,050) (-0,050)	
Св. 50 до 80	М П	_ _		(+0,030) (-0,020)		(+0,060) (-0,060)	
Св. 80 до 120	М П	_ _		(+0,035) (-0,023)		(+0,070) (-0,070)	
Св. 120 до 180	М П	_ _		(+0,040) (-0,027)		(+0,080) (-0,080)	
Св. 180 до 260	М П	_ _		(+0,045) (-0,030)		(+0,090) (-0,090)	
Св. 260 до 360	М П	_ _		(+0,050) (-0,035)		(+0,100) (-0,100)	
Св. 360 до 500	М П	_ _		(+0,060) (-0,040)		(+0,095) (+0,12) (-0,062) (-0,12)	

Условные сокращения: М – матрица, П – пуансон

На рис. 19, б показана схема расчета исполнительных размеров матрицы для вырубки контура и пробивки отверстий.



а) б)



в)

Рис. 19. Схема расчета исполнительных размеров рабочих частей штампа: а – эскиз штампуемой детали; б – исполнительные размеры матрицы; в – исполнительные размеры пуансона

Размеры, уменьшающиеся при износе штампа:

l_0 – по формуле (14)

$$L_M = (18 + 0{,}18)_{-0{,}035} = 18{,}18_{-0.035};$$

l_0 – по формуле (26)

$$l_M = 25 \pm 0{,}2 \cdot 0{,}3 = 25 \pm 0{,}06.$$

Размеры, увеличивающиеся при износе штампа:

L – по формуле (19)

$$L_м = (80 - 0,6)^{+0,17} = 79,4^{+0,17}$$

В – по формуле (26)

$$L_м = 60 \pm 0,2 \cdot 0,4 = 60 \pm 0,08$$

Размеры, не изменяющиеся при износе штампа:

b – по формуле (25)

$$L_м = 8_{-0,05}$$

b1 – по формуле (24)

$$L_м = 15^{+0,05*0,12} = 15^{+0,06}$$

А – по формуле (32)

$$L_м = 65 \pm 0,5 \cdot 0,6 = 65 \pm 0,3.$$

Пуансон для вырубки контура пригоняют по матрице с двусторонним зазором z = 0,05 мм (см. табл. 27).

Исполнительные размеры пуансонов для пробивки отверстий (рис. 19, в):

L_0 – по формуле (17); $Ln = (6+0,08)_{-0,018} = 6,08_{-0,018}$

Отверстия в матрице пригоняют по пуансону с двусторонним зазором z =0,05 мм (см. табл. 16).

Схема расчета исполнительных размеров в случае пригонки матрицы по оттиску пунсона показана на рис. 19, в.

Размеры, уменьшающиеся при износе

l_0 – по формуле (16)

$$L_n = (18+0,18+0,05)^{+0,035} = 18,2^{+0,035};$$

l_0 – по формуле (28)

$Ln = (25+0,05)+_{-0,2*0,3} = 25,05+_{-0,06}$;

Размеры, увеличивающиеся при износе

L – по формуле (21)

$$L_n = (80-0,6-0,05+0,17)_{-0,17} = 79,5_{-0,17};$$

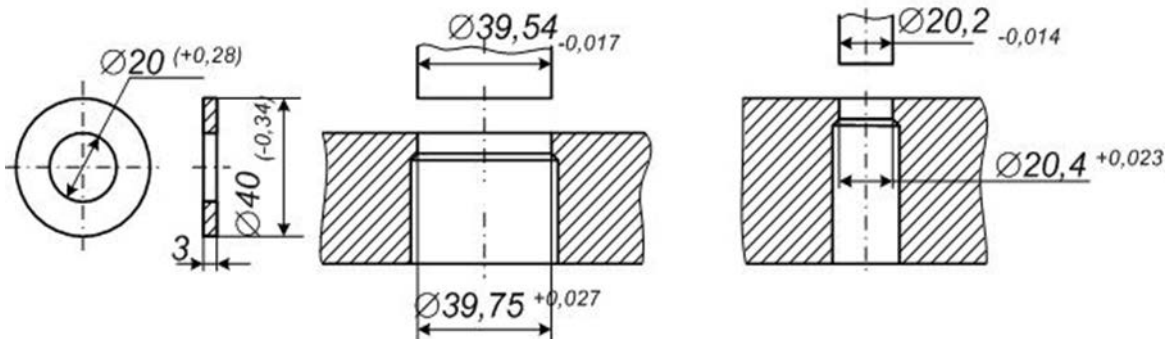
B – по формуле (29)

$L_n = (60-0,05)+-0,2 \cdot 0,4 = 59,95+-0,08.$

Размеры, не изменяющиеся при износе

b – по формуле (25) $L_n = 8_{-0,5 \cdot 0,1} = 8_{-0,05}$;

b_1 – по формуле (24) $L_n = 15^{+0,5 \cdot 0,12} = 15^{+0,06}$



а б в

Рис. 20. Схема расчета исполнительных размеров рабочих частей штампа при раздельном их изготовлении: а – эскиз штампуемой детали; б – исполнительные размеры инструмента для вырубки наружного кон- тура; в – то же для пробивки отверстия

Матрица для вырубки контура пригоняется по пуансону с двусторонним зазором z = 0,05 мм (см. табл. 16).

Исполнительные размеры пуансонов для пробивки отверстий определяются по формуле (17)

$$L_n = (6+0{,}08)_{-0{,}018}\,.$$

Отверстия в матрице пригоняются по пуансону с двусторонним зазором z = 0,05 мм (см. табл. 16); Lн – номинальные размеры по чертежу штампуемой детали.

Ниже приведен пример расчета исполнительных размеров круглых матриц и пуансонов (при раздельном их изготовлении) для штамповки шайб (рис. 20, а). Припуск на износ взят из табл. 19, допуски на изготовление – из табл. 20, а зазоры – из табл. 16. Определяем по формулам (19) и (20) размеры матрицы и пуансона для вырезки контура из стали 20 (рис. 20, б)

$$L_м = D_м = (40\text{-}0{,}25)^{-0{,}027} = 39{,}75^{+0{,}027},$$

$$L_п = D_п = (39{,}75\text{-}0{,}21)_{-0{,}017} = 39{,}54_{+0{,}017}.$$

Определяем по формулам (17) и (18) размеры пуансона и матрицы для пробивки отверстия (рис. 20, в)

$$L_п = D_п = (20+0{,}20)_{-0{,}014} = 20{,}2_{+0{,}014};$$

$$L_м = D_м = (20{,}2+0{,}21)^{-0{,}023} = 20{,}41^{+0{,}023}.$$

Расчет усилия прижима и конструкция прижимных устройств. Для повышения качества поверхности среза, предотвращения трещин и выпучивания (расслоения) материала при его пробивке (вы- резке) необходимо обеспечить сильный прижим заготовки.

Усилие прижима Рпр определяют по формуле

$$P_{пр} \geq q_{пр} L\, S, \qquad (2.41)$$

где $q_{пр}$ – давление, МПа, мм (табл. 31); L – периметр среза, мм;

S – толщина материала, мм.

Предварительное сжатие прижимных устройств (пружин или резины) должно быть произведено с усилием, равным расчетному.

Конструкцию прижимных устройств выбирают в зависимости от усилия прижима. При величине расчетного усилия прижима до 500 Н можно применять спиральные пружины, свыше 500 Н – резиновый буфер или тарельчатые пружины. Давление прижима следует сосре- доточить возможно ближе к режущим кромкам пуансона и матрицы. Для этого на съемнике делают выступающие ленточки шириной 2 – 3 мм и высотой до 1 мм (рис. 24).

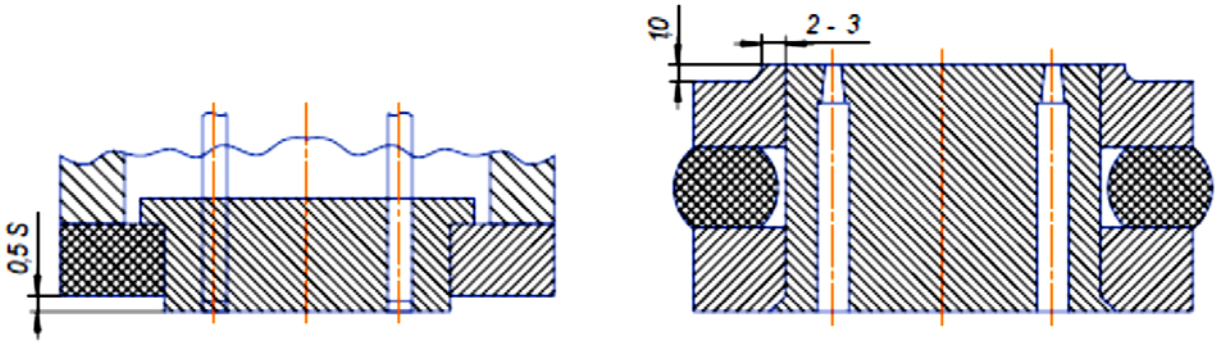


Рис. 24. Конструкция прижима съемника для штамповки гетеникса и текстолита (S – толщина материала)

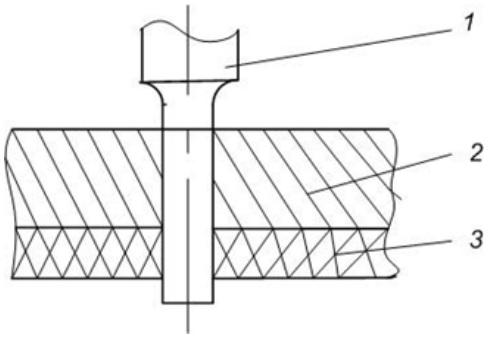


Рис. 25. Схема посадки пуансона в съемник:
1 – пуансон; 2 – съемник; 3 – деталь

Таблица 31

Значения $q_{пр}$

Толщина материала, мм	$q_{пр}$, МПа
До 1	6-10
Св. 1 до 2	10-15
Св. 2 до 3	15-20

Во избежание выпучивания материала при пробивке необходимо размер отверстий в съемнике принимать равным рабо- чему размеру пуансона (рис. 25)

Форма заточки пуансона. В тех случаях, когда при пробивке от- верстий требуется уменьшить усилие, рекомендуется криволинейная форма заточки пуансона (рис. 26). Такая форма заточки пуансона приемлема и тогда, когда в деталях из гетинакса толщиной более 1,5 мм пробивают несколько близко расположенных небольших от- верстий, а также, если

отверстия имеют прямоугольную форму без закруглений или с небольшими радиусами закруглений углов.

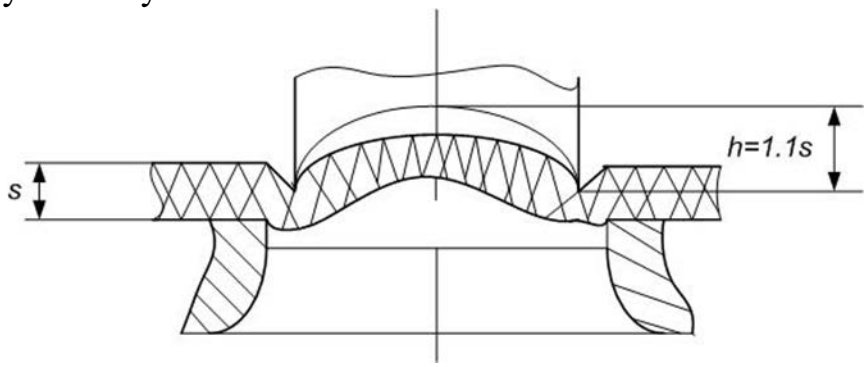


Рис. 26. Форма заточки пуансона для пробивки отверстий в деталях из гетинакса и текстолита

2.6. Пример расчета вырубного штампа

Требуется рассчитать штамп для вырубки деталей из алюминия марки АД (рис. 27, *а*).

Раскрой материала. По табл. 12 находят величины перемычек: b = 1,7 мм и b_1 = 1,2 мм. По формуле (7) определяют ширину полосы: B = 62+2·1,7+0,5 = 65,9; примем B = $66_{-0,5}$ мм. Полученное значение ширины полосы В округлено в большую сторону до целого числа.

На рис. 27, *е* показано расположение деталей на полосе.

По формуле (3) определяют коэффициент использования мате- риала:

$$\eta = \frac{60{,}7 \cdot 62 - 11{,}9 \cdot 27{,}9}{61{,}9 \cdot 66} 100 = \frac{3431}{4085} 100 = 83{,}9\%.$$

Усилие вырубки определяют по формуле (8). Требуемое усилие пресса находят по формуле (9). Усилие для снятия отходов с пуансона рассчитывают по формуле (12).

Усилие для проталкивания детали через матрицу – по формуле (13).

Центр давления штампа. Для определения центра давления штампа выбирают оси координат x и y (рис. 27, д)

$$x_0 = \frac{(17-17)0 + 11{,}9 \cdot 2 \cdot 5{,}95 + 27{,}9 \cdot 11{,}9 + 60{,}7 \cdot 2 \cdot 30{,}35}{269} + \frac{62 \cdot 60{,}7}{269} = 29{,}4$$

В направлении оси y штампуемая деталь симметрична, поэтому

$$y_0 = \frac{62}{2} = 31 \text{ мм.}$$

Точка пересечения координат x_o и y_o дает искомый центр давления штампа Е.

Расчет исполнительных размеров матрицы и пуансона. Так как вырубается наружный контур, то определяют исполнительные размеры матрицы (рис. 27, б). Припуски на износ и допуски на изготовление

принимают по табл. 19. Исполнительные размеры рассчитывают по формулам табл. 18:

для размеров детали, увеличивающихся при износе матрицы, – по формуле (19), мм:

$$L_{м1} = (60,7 – 0,3) = 60,4^{+0,08};$$

$$B_{м2} = (62 – 0,3) = 61,7^{+0,08};$$

$$B_{м3} = (17 – 0,18) = 16,82^{+0,035};$$

для размеров детали, уменьшающихся при износе матрицы, – по формуле (14), мм:

$$B_{м4} = (27,9 + 0,20) = 28,1_{-0,045};$$

для размеров детали, остающихся неизменными при износе штампа, – по формуле (32), мм:

$$L_{м5} = 11,9 \pm 0,5 \cdot 0,2 = 11,9 \pm 0,1.$$

На чертеже пуансона проставляют исполнительные размеры матрицы (без допусков) и приписывают: «Пуансон пригнать по матрице с двусторонним зазором z = 0,050 мм». Величину зазора определяют по табл. 16.

В случае изготовления матрицы по оттиску пуансона определяют исполнительные размеры пуансона (рис. 27, в). Матрицу окончательно обрабатывают по пуансону с двусторонним зазором z = 0,050 мм.

Исполнительные размеры пуансона рассчитывают по табл. 18,

припуски на износ и допуск на изготовление – по табл. 19:

для размеров детали, увеличивающихся при износе штампа, – по формуле (21), мм:

$$L_{п1} = (60,7 – 0,3 – 0,05 + 0,08)_{-0,08} = 60,43_{-0,08};$$

$$b_{п2} = (62 – 0,3 – 0,05 + 0,8)_{-0,08} = 61,73_{-0,08};$$

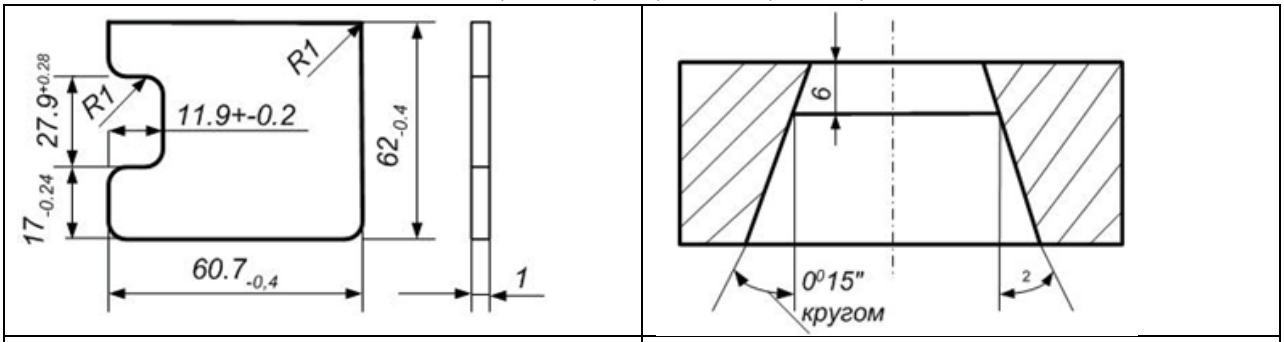
$$b_{м3} = (17 – 0,18 – 0,05 + 0,35)_{-0,035} = 16,8_{-0,035};$$

для размеров детали, уменьшающихся при износе штампа, – по формуле (16), мм:

$$b_{п4} = (27,9 + 0,20 + 0,05 – 0,045)^{+0,045} = 28,1^{+0,045};$$

для размеров детали, остающихся неизменными при износе штам- па, – по формуле (32), мм:

$$l_{п5} = 11,9 \pm 0,5 \cdot 0,2 = 11,9 \pm 0,1.$$



а	б

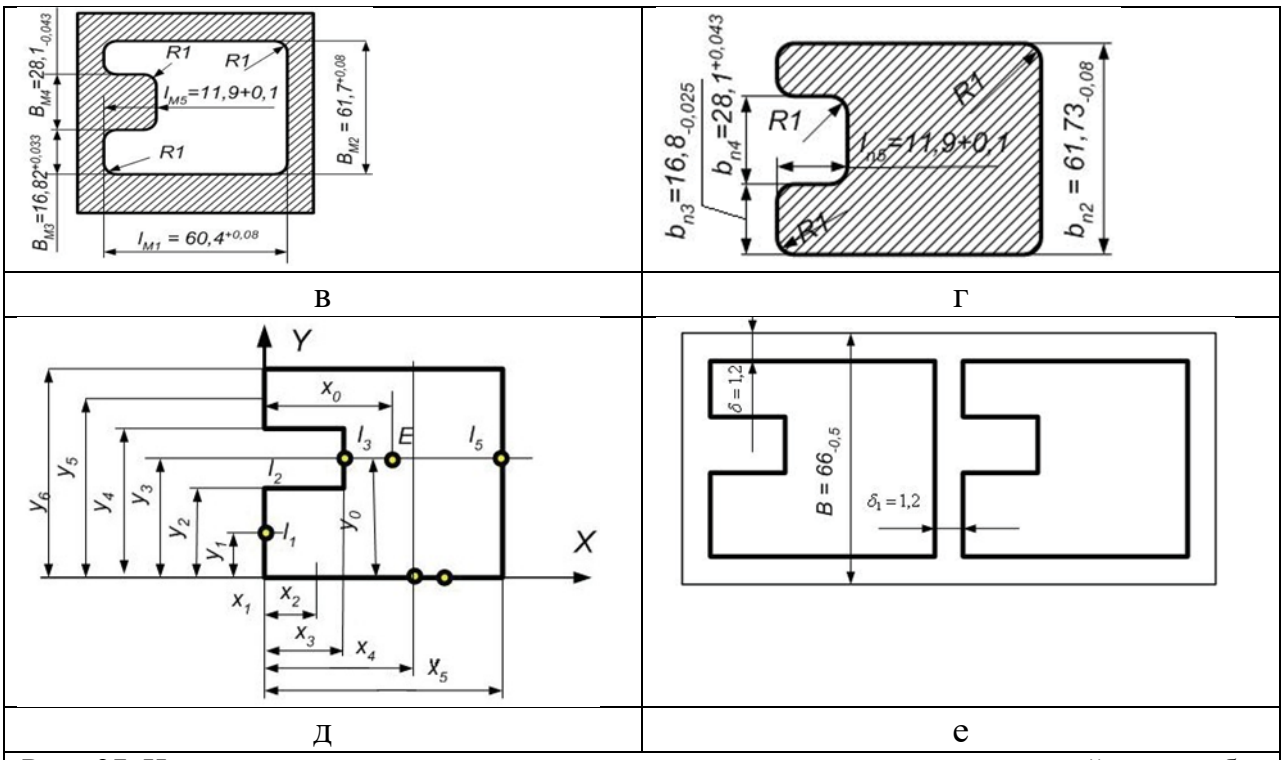
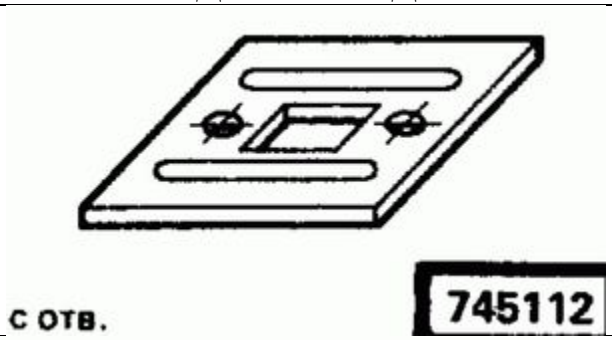
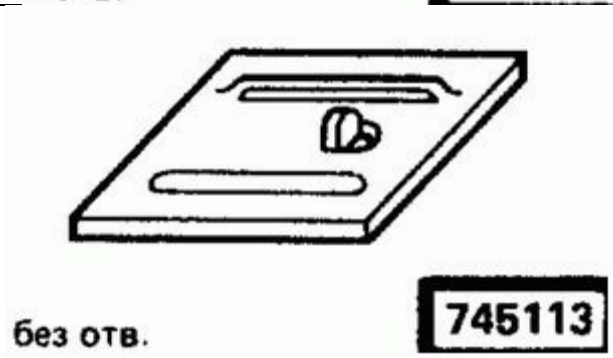
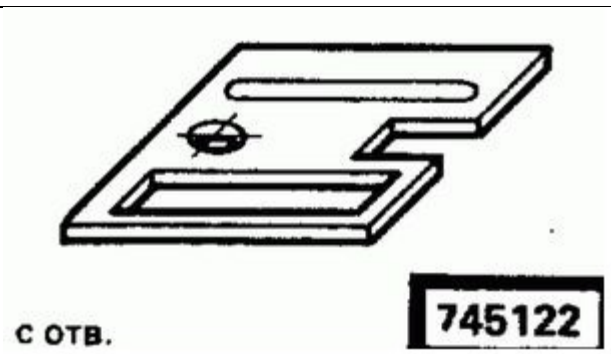


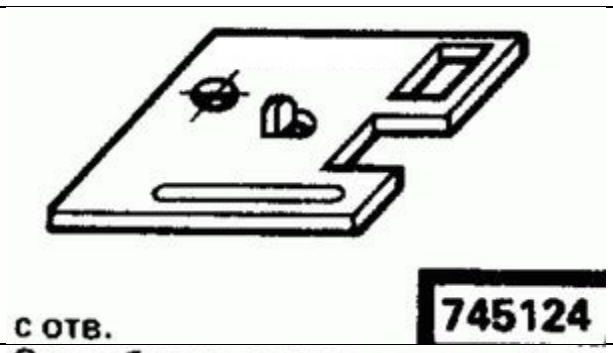
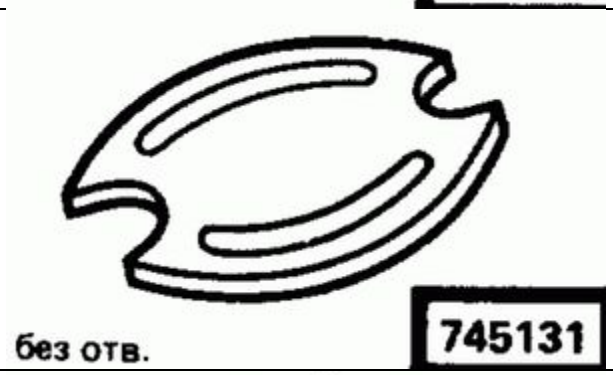
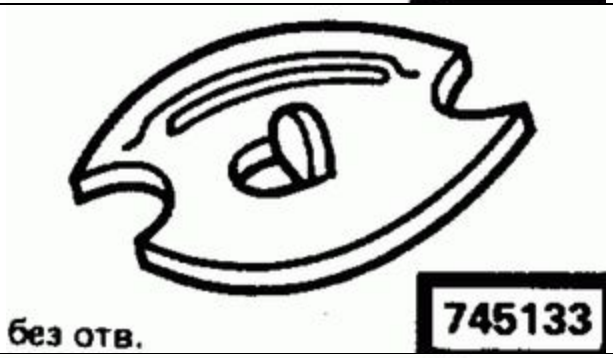
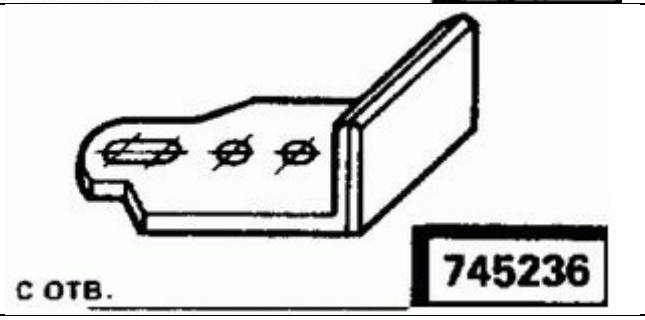
Рис. 27. Исполнительные размеры пуансона и матрицы: а – эскиз штампуемой детали; б – профиль рабочего отверстия матрицы; в – исполнительные размеры матрицы; г – то же пуансона; д – центр давления штампа; е – раскрой материала

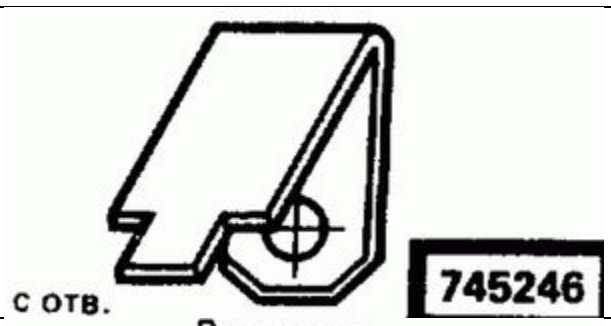
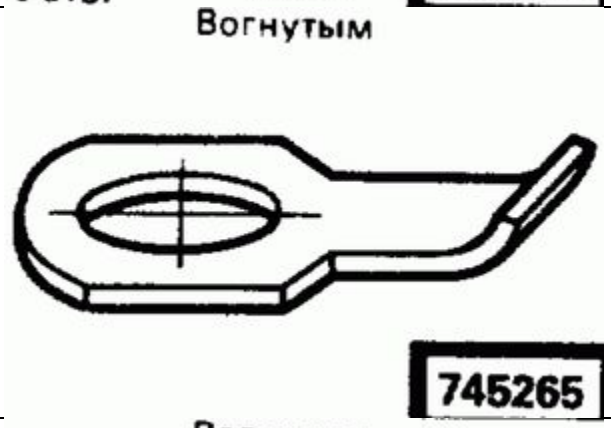
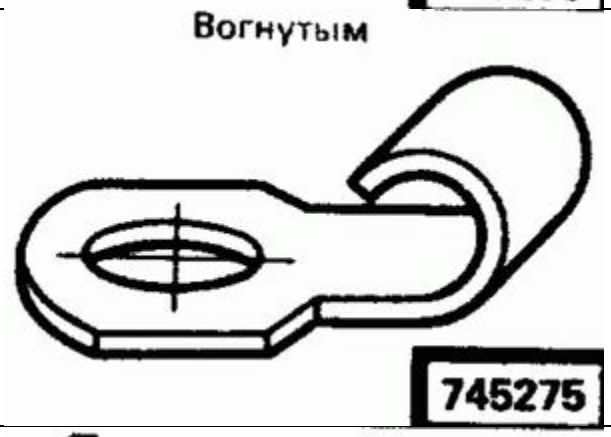
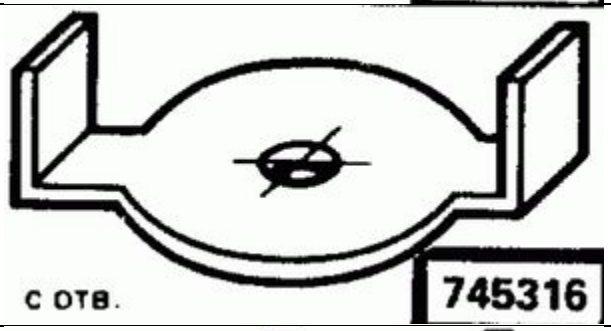
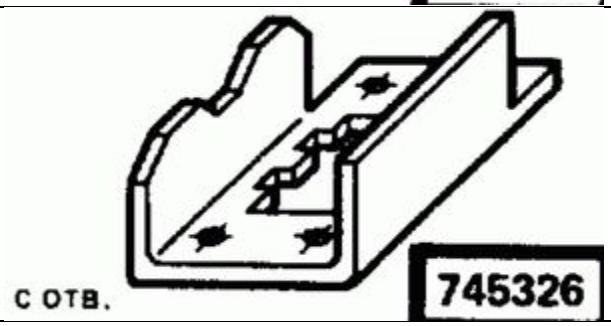
Профиль рабочего отверстия матрицы (рис. 27, г) в рассматриваемом примере принимают по типу II – с коническим провальным окном.

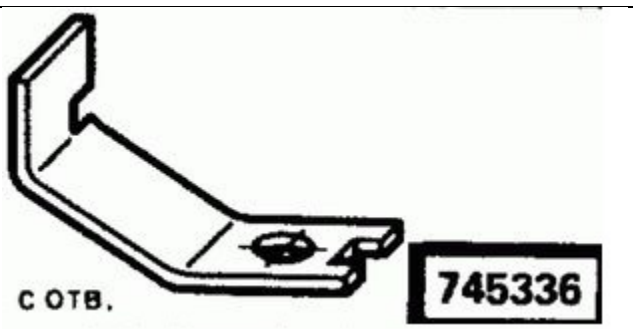
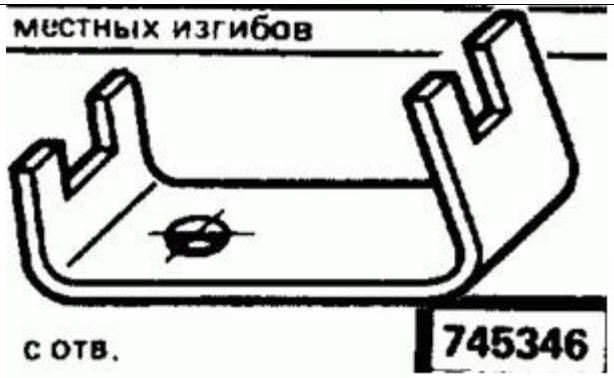
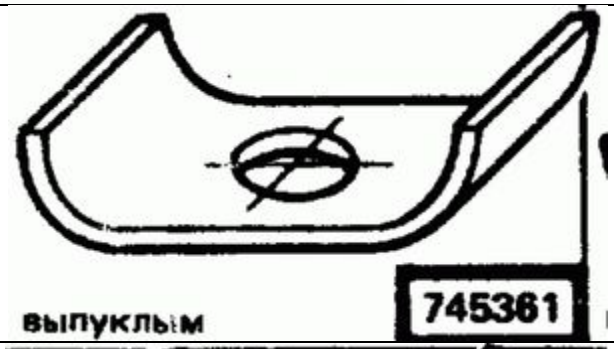
7 Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Детали ЕСКД
1.	
2.	

3.	 с отв. 745122
4.	С комбинир. местными изгибами 745116
5.	С комбинир. местными изгибами 745117
6.	С комбинир. местными изгибами 745126

7.		 с отв. 745124
8.		С комбинир. местными изгибами 745136
9.		 без отв. 745131
10.		 без отв. 745133
11.		 с отв. 745236

12.		 с отв. 745246	
13.		 Вогнутым 745265	
14.		 Вогнутым 745275	
15.		 с отв. 745316	
16.		 с отв. 745326	

17.	 с отв. 745336
18.	 местных изгибов с отв. 745346
19.	 выпуклым 745361
20.	выпуклым 745364
21.	комбинир. 745373

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие конструктивные требования предъявляются к разделительным штампам?
2. Назовите основные типовые конструкции штампов.
3. Назовите необходимые технологические требования к плоским штампуемым деталям.
4. На основании чего определяется рациональность раскроя материала?
5. В чём различие расчета усилия вырубки в штампах с прямыми и скошенными режущими кромками?
6. Принцип определения зазоров между матрицей и пуансоном в вырубных и пробивных штампах.
7. В чем заключаются особенности штамповки деталей из магниевых сплавов, нержавеющих и жаропрочных сталей?
8. В чем заключаются особенности штамповки деталей из гетинакса и текстолита?

ЛИТЕРАТУРА

1. Горанский, Г.Н. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства / Г.Н. Горанский, Э.И Вендерева. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
2. Евдокимов, С.А. Особенности создания САПР штампов листовой штамповки с использованием новой информационной технологии / С.А. Евдокимов, А.А. Краснов, А.В. Рыбаков // Кузнечно- штамповочное производство. – 1996. – № 2. – С. 14 – 17. – ISSN 0201- 7296.
3. Кураксин, С. А. T-FLEX CAD – новая технология построения САПР / С.А. Кураксин [и др.] // [online]. – http://power.tpu.ru/ates/ates/courses/ok_sapr/Sapr_a~3.htm.
4. Евдокимов, С.А. Программно-компьютерная среда для автоформализации знаний / С.А. Евдокимов, А.В. Рыбаков // Вестник машиностроения. – 1990. – № 7. – С. 40 – 44. – ISSN 0042-4633.
5. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
6. ГОСТ 21173-83. Штампы для листовой штамповки. Блоки штампов с четырьмя направляющими узлами скольжения. – Введ. 07.01. 84. – М. : Госстандарт; Изд-во стандартов, 1983. – 21 с.
7. Давыдкин, А.С. Компьютерная поддержка действий пользователя при конструировании и изготовлении штампов и пресс-форм / А.С. Давыдкин, А.А. Краснов, А.Д. Штицман // Кузнечно- штамповочное производство. – 1995. – № 6. – С. 22 – 24. – ISSN 0201- 7296.
8. Владимиров, В.М. Изготовление штампов, пресс-форм и приспособлений / В.М. Владимиров. – М. : Высш. шк., 1981. – 431 с.
9. Еленев, С.А. Холодная штамповка / С.А. Еленев. – М. : Высш. шк., 1988. – 270 с.

10. Корсаков, В.Д. Справочник мастера по штампам / В.Д. Корсаков. – М. : Машиностроение, 1972. – 191 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫРУБНОГО ШТАМПА

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Проектирование штампов и прессформ»
для студентов направлений 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Составил ТИХОНОВ Денис Александрович

Рецензент М. В. Стекольников