

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пензенская государственная технологическая академия»

Ю.М. Передрей

“Технологические процессы в машиностроении”

Учебно-методическое пособие по выполнению
расчетно-графической работы

Пенза 2013

УДК 621.(075.8)

Передрей Ю.М. Технологические процессы в машиностроении.

Учебно-методическое пособие по выполнению расчетно-графической работы.– Пенза: Изд-во Пенз. госуд. технол. академии, 2013. 134с., библиогр. 8 назв.

Учебно-практическое пособие подготовлено на кафедре "Технология общего и роботизированного производства" Пензенской государственной технологической академии и предназначено для изучения дисциплины «Технологические процессы в машиностроении» по направлению подготовки 151900 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Профиль подготовки «Технология машиностроения». Квалификация выпускника: бакалавр. Пособие предназначено для всех форм обучения.

Рекомендовано Ученым советом института для использования в учебном процессе.

Рецензенты:

Зав. кафедрой «Пищевые производства

д.т.н., профессор

В.А.Авроров

© Пензенская государственная технологическая академия, 2013

© Передрей Ю.М., 2013

1 Методические указания к изучению дисциплины и выполнению домашних и контрольных работ

Дисциплину рекомендуется изучать последовательно по разделам и темам, используя лекционный материал, основную и вспомогательную литературу. При изучении особое внимание обращать на физико-химические особенности технологических процессов, перспективы совершенствования используемых технологических приемов и оборудования, возможности управления качеством изделий и его повышения, методы и приемы безопасной работы при выполнении техпроцессов.

В процессе изучения необходимо выполнить расчетно-графическую работу (РГР), которая выполняется в соответствии настоящими методическими указаниями. Текст вопросов необходимо полностью приводить перед ответом, ответы иллюстрируются необходимыми расчетами, эскизами и чертежами, применение ксерокопий при этом не допускается. Работа должна быть сброшюрована, иметь титульный лист установленной формы, страницы пронумерованы. В конце работы приводится список использованной литературы.

2 Варианты заданий

Задания на контрольную работу приведены в таблицах 1 и 2. Вариант выполнения работы определяется двумя последними цифрами номера зачетной книжки студента. В каждую работу входят три теоретических и один практический вопрос.

Таблица 1. Варианты практических заданий

Две последние цифры номера зачетной книжки	Номера вопросов к контрольной работе	Вытяжка Номер варианта по таблице 2	Вырубка Номер варианта по таблице 3 (материал по таблице 2)
01, 21, 41, 61, 81	1, 21, 41	1	1
02, 22, 42, 62, 82	2, 22, 42	2	2
03, 23, 43, 63, 83	3, 23, 43	3	3

04, 24, 44, 64, 84	4, 24, 44	4	4
05, 25, 45, 65, 85	5, 25, 45	5	5
06, 26, 46, 66, 86	6, 26, 46	6	6
07, 27, 47, 67, 87	7, 27, 47	7	7
08, 28, 48, 68, 88	8, 28, 48	8	8
09, 29, 49, 69, 89	9, 29, 49	9	9
10, 30, 50, 70, 90	10, 30, 50	10	10
11, 31, 51, 71, 91	11, 31, 51	11	1
12, 32, 52, 72, 92	12, 32, 52	12	2
13, 33, 53, 73, 93	13, 33, 53	13	3
14, 34, 54, 74, 94	14, 34, 54	14	4
15, 35, 55, 75, 95	15, 35, 55	15	5
16, 36, 56, 76, 96	16, 36, 56	16	6
17, 37, 57, 77, 97	17, 37, 57	17	7
18, 38, 58, 78, 98	18, 38, 58	18	8
19, 39, 59, 79, 99	19, 39, 59	19	9
20, 40, 60, 80, 00	20, 40, 60	20	10

Таблица 2. Варианты практических заданий (вытяжка)

№ варианта	Материал	S , мм	d_H , мм	h , мм
1	Ст2	1	20	35
2	Ст3	2	35	55
3	Ст5	3	45	80
4	X18H10T	4	60	60
5	Л62, Л68	5	55	130
6	БрБ2	6	65	140
7	АД1	8	40	150
8	Д16Т	10	95	60
9	Ст0	1	86	165
10	Ст3	2	45	160
11	Ст5	3	70	155
12	Ст2	4	40	135
13	Ст3	5	70	145
14	Ст5	6	85	140
15	X18H10T	1	75	150
16	Л62, Л68	2	50	155
17	БрБ2	3	60	150
18	АД1	4	70	155
19	Д16Т	5	60	150
20	Ст0	6	95	160

Таблица 3

Номер варианта	Эскиз детали	Номер варианта	Эскиз детали
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

3 Теоретические задания к контрольной работе

1. Материалы, применяемые в машиностроении. Классификация. Строение конструкционных материалов. Технологические и эксплуатационные свойства конструкционных материалов.

2. Сталь. Состав. Свойства. Маркировка. Классификация.

3. Чугун. Состав. Свойства. Маркировка. Классификация.

4. Медь и ее сплавы. Состав. Свойства, Маркировка.

5. Алюминий и его сплавы. Состав. Свойства. Маркировка.

6. Магний и его сплавы. Состав. Свойства. Маркировка.

7. Пластмассы. Свойства. Состав. Резина. Свойства. Состав.

8. Неорганические конструкционные материалы. Классификация. Свойства.

9. Композиционные конструкционные материалы. Состав. Классификация. Свойства.

10. Производство чугуна. Опишите технологический процесс получения чугуна в доменной печи. Приведите схему печи.

11. Производство стали. Опишите технологические процессы получения стали и оборудование. Приведите основные окислительно-восстановительные реакции при плавке.

12. Производство меди. Опишите технологические процессы получения меди и оборудование. Приведите основные реакции при плавке.

13. Производство алюминия, магния и титана. Опишите технологические процессы получения алюминия, магния и титана.

14. Способы получения исходных компонентов композиционных материалов. Дать определение термину «Заготовка». Виды заготовок. Классификация методов получения заготовок.

15. Сущность метода получения заготовок литьем. Основные способы литья и их сущность. Модельный комплект. Изготовление литейных форм.

16. Литье под давлением. Виды. Применяемое оборудование и оснастка. Область применения.

17. Литье по выплавляемым моделям. Назовите марки сплавов, применяемых для этого вида литья. В чем особенности, преимущества и недостатки этого вида получения отливок.

18. Литье в оболочковые формы. Какие формовочные материалы используются для приготовления оболочковых форм? Назовите особенности модельной оснастки. Охарактеризуйте способы изготовления оболочек и опишите каждый из них.

19. Назовите основные способы обработки металлов давлением, дайте определение и краткую характеристику каждому из них. Приведите примеры металлов, используемых при этом виде обработки и требования предъявляемые к ним. Охарактеризуйте преимущества обработки металлов давлением.

20. Дайте определение горячей объемной штамповки, опишите оборудование и инструмент, используемый при этом. Перечислите технологические операции при объемной штамповке, укажите достоинства и недостатки горячей штамповки.

21. Дайте определение холодной объемной штамповки, перечислите ее преимущества по сравнению с горячей штамповкой. Назовите основные разновидности холодной объемной штамповки, опишите применяемое оборудование.

22. Дайте определение листовой штамповки, охарактеризуйте ее основные технологические операции. Приведите марки материалов и опишите оборудование, применяемое при листовой штамповке. Приведите эскиз конструкции типичного штампа для листовой штамповки. Назовите основные элементы штампа.

23. Дайте определение прокатки, опишите основное оборудование и оснастку. Охарактеризуйте основные виды прокатки, приведите сортамент наиболее распространенных машиностроительных профилей.

24. Дайте определение волочения. Приведите исходные заготовки и профили, получаемые в результате. Опишите оборудование и оснастку, используемую при данном виде обработки.

25. Опишите сущность процесса прессования и особенности прямого и обратного методов прессования. Приведите достоинства прессования примеры прессованных металлических изделий. Дайте эскизы оборудования и оснастки, применяемых при прессовании.

26. Опишите физико-химические процессы, протекающие при получении сварного шва, дайте определение физической и технологической свариваемости. Охарактеризуйте сварку плавлением и сварку давлением. Приведите их преимущества по сравнению с другими видами соединений.

27. Дайте определение сварного соединения и сварного шва. Перечислите виды сварных соединений. Опишите технику возбуждения электрической дуги. Охарактеризуйте основные параметры процесса электродуговой сварки на постоянном и переменном токе. Назовите их основные преимущества и недостатки. Опишите источники питания, применяемые для сварки на постоянном токе.

28. Дайте определение электрической контактной сварки. Приведите классификацию видов контактной сварки. Перечислите их преимущества и недостатки.

29. Перечислите известные Вам специальные виды сварки, укажите область их применения. Опишите сущность процессов ультразвуковой, лазерной и электроннолучевой сварки.

30. Опишите технологические процессы получения деталей методами порошковой металлургии. Назовите основные преимущества процесса.

31. Перечислите основные составляющие пластмасс, укажите, как они влияют на механические и физические свойства материалов. Приведите примеры наиболее часто встречающихся наполнителей. Опишите особенности термопластичных и термореактивных пластмасс. Приведите способы переработки их в изделия и применяемое для этого оборудование.

32. Опишите свойства и технологию получения углерод-углеродных композиционных материалов.

33. Получение деталей из пластических масс. Свойства пластмасс. Изготовление деталей из терморезистивных пластмасс. Изготовление листовых материалов из пластмасс. Изготовление деталей из термопластичных пластмасс. Применяемое оборудование и оснастка.

34. Основные операции холодной листовой штамповки. . Раскрой материала. Разделительные операции листовой штамповки: отрезка, вырубка и пробивка, зачистка.

35. Формоизменяющие операции листовой штамповки. Виды операций. Гибка и вытяжка. Применяемое оборудование и оснастка.

36. Резание как технологический способ обработки. Геометрические и конструктивные параметры режущего инструмента.

37. Основные сведения о металлорежущих станках. Классификация. Кинематическая настройка станка.

38. Типы станков токарной группы. Устройство. Обработка деталей на станках токарной группы. Режимы резания. Порядок расчета режимов резания.

39. Сверлильные и расточные станки. Типы. Устройство. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках.

40. Строгальные и протяжные станки. Типы. Устройство. Обработка заготовок на строгальных и протяжных станках.

41. Станки фрезерной группы. Типы. Устройство. Обработка заготовок на станках фрезерной группы.

42. Шлифовальные станки. Типы. Устройство. Обработка деталей на шлифовальных станках.

43. Электроискровая обработка. Сущность. Технологические возможности. Электроимпульсная обработка. Сущность. Технологические возможности.

44. Анодно-механическая обработка. Электрохимическая обработка
Сущность. Технологические возможности.

45. Лучевые методы обработки. Ультразвуковая обработка. Сущность.
Технологические возможности.

46. Термическая обработка деталей. Назначение. Отжиг. Закалка.
Отпуск. Технология. Химико-термическая обработка. Назначение. Виды.
Технология выполнения операции.

47. Износостойкие, антикоррозионные и декоративные покрытия.
Металлические покрытия. Химические покрытия. Лакокрасочные покрытия.
Технологические процессы нанесения покрытий. Обозначение покрытий на
чертежах.

48. Технологические процессы сборки. Общие сведения о сборке.
Содержание сборочных операций. Методы выполнения соединений.
Классификация соединений.

49. Способы выполнения неразъемных соединений сваркой.
Классификация методов сварки. Контактная сварка. Холодная сварка
металлов.

50. Сварка взрывом. Сварка металлов трением. Электронно-лучевая
сварка. Сварка пластмасс. Технология выполнения соединений.

51. Технология выполнения неразъемных клеевых соединений.
Технология выполнения неразъемных соединений методом холодной
штамповки. Технология выполнения неразъемных соединений клепкой.

52. Технология выполнения прессовых соединений. Технология сборки
резьбовых соединений.

53. Технологическая подготовка производства изделия. Задачи,
решаемые при технологической подготовке производства. Классификация
технологических процессов. Технологическая классификация деталей
машин. Рабочая документация технологического процесса.

54. Проектирование технологических процессов. Основные этапы.
Порядок разработки технологических процессов.

55. Разработка маршрутного технологического процесса. Выбор технологической оснастки: станка, приспособлений, режущего и измерительного инструментов.

56. Проектирование технологической операции: выбор структуры операции, выбор режимов обработки, нормирование операции.

57. Автоматизация процессов получения заготовок.

58. Механизация и автоматизация процессов сборки.

59. Комплексная автоматизация производства.

60. Расчет технико-экономических показателей технологического процесса. Выбор варианта процесса.

4 Проектирование операции вырубки

При выполнении задания по проектированию операции вырубки необходимо:

- 1) определить ширину полосы
- 2) спроектировать раскрой материала;
- 3) определить размеры пуансона и матрицы вырубного штампа;
- 4) определить усилие вырубки;
- 5) определить координаты центра давления.

4.1 Раскрой материала

Применяемые на практике главнейшие способы раскроя могут быть также классифицированы по способу расположения вырезаемых деталей на полосе в соответствии с конфигурацией детали и сведены к основным типам, приведенным в таблице 4.

Оценку экономичности того или иного типа раскроя следует производить посредством коэффициента использования металла

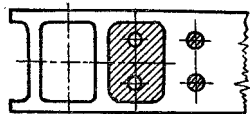
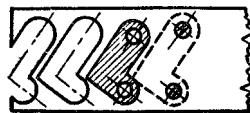
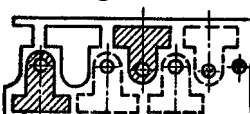
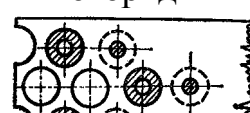
$$K_u = \frac{fn}{LB} \cdot 100\% ,$$

где f – площадь детали без отверстий; n – количество деталей, получаемых из полосы (или ленты), B – ширина полосы или ленты; L – длина полосы или ленты.

Если концевые отходы отсутствуют, то $n = \frac{L}{h}$,

где h – шаг вырубki.

Таблица 4 Основные типы раскроя с отходами

Тип раскроя и эскиз	Применение раскроя
<p>Прямой</p> 	Для деталей простой геометрической формы (прямоугольной, круглой, квадратной)
<p>Наклонный</p> 	Для деталей Г-образной или другой сложной конфигурации, которые при прямом расположении дают большие отходы металла
<p>Встречный</p> 	Для деталей Т-, П-, Ш-образной конфигурации, которые при прямом и наклонном расположении дают большие отходы
<p>Многорядный</p> 	Для деталей небольших размеров в крупносерийном и массовом производствах

Величина перемычек. Экономичность раскроя в значительной степени зависит от правильной величины перемычек. Основное назначение перемычек – компенсировать погрешности подачи материала и фиксации его в штампе. Кроме того, перемычки должны обладать достаточной прочностью и жесткостью, необходимой для подачи материала.

В таблице 5 приведены величины перемычек для основных случаев вырезки (рисунок 1).

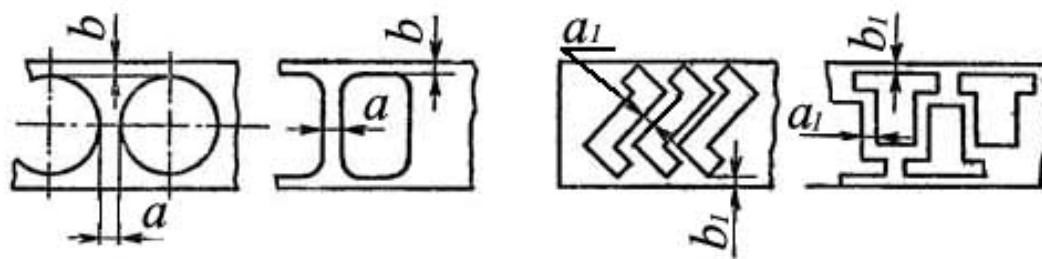


Рисунок 1 – Перемычки при вырубке

Таблица 5. Наименьшая величина перемычек

Толщина материала, мм	Перемычка, мм		Толщина материала, мм	Перемычка, мм	
	a и b	a_1 и b_1		a и b	a_1 и b_1
0,3	1,4	2,3	4,0	2,5	3,5
0,5	1,0	1,8	5,0	3,0	4,0
1,0	1,2	2,0	6,0	3,5	4,5
1,5	1,4	2,2	7,0	4,0	5,0
2,0	1,6	2,5	8,0	4,5	5,5
2,5	1,8	2,8	9,0	5,0	6,0
3,0	2,0	3,0	10,0	5,5	6,5
3,5	2,2	3,2			

Обозначения: a – перемычка между вырезами для небольших деталей простой конфигурации (рисунок 4.1); a_1 – перемычка между вырезами для больших деталей или деталей сложной конфигурации; b – боковая перемычка при работе с боковым прижимом полосы; b_1 – то же при работе без бокового прижима

Определение ширины нарезанных полос.

Подсчет ширины полосы производят исходя из условия сохранения минимально необходимой боковой перемычки b при различных способах подачи и допусках по ширине полос, нарезанных на ножницах.

На рисунке 2 изображены схемы к подсчету номинальной ширины полосы для штамповки с боковым прижимом и без бокового прижима при минусовом направлении допуска по ширине полосы.

Расчетные формулы для определения номинальной ширины полосы и просвета между направляющими штампами приведены в таблице 5.

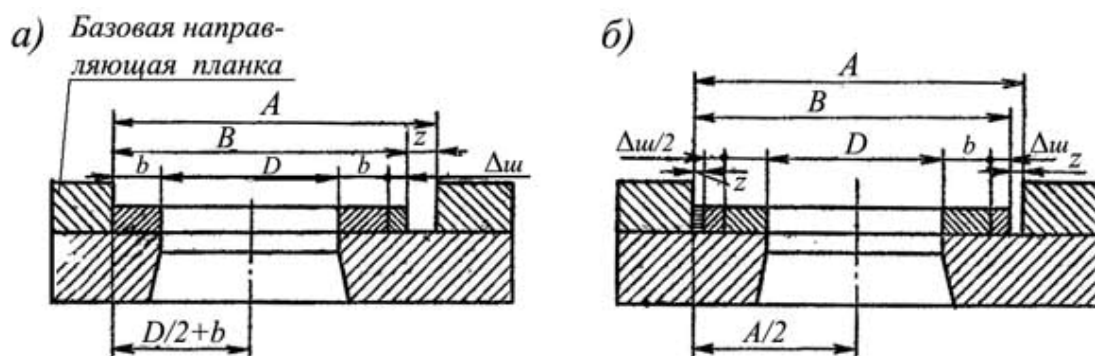


Рисунок 2 – Схемы для подсчета номинальной ширины полосы:
 а — штамповка с боковым прижимом; б – штамповка без бокового прижима

Таблица 5. Формулы для определения ширины полосы

Способ подачи	Номинальная ширина полосы	Просвет между направляющими штампа
С боковым прижимом полосы (рисунок 4.2, а)	$B = D + 2b + \Delta_{uu}$	$A = B + z = D + 2b + \Delta_{uu} + z$
Без бокового прижима полосы (рисунок 4.2, б)	$B = D + 2(b + \Delta_{uu}) + z$	$A = B + z = D + 2(b + \Delta_{uu} + z)$

Обозначения: B – номинальная ширина полосы; A – просвет между направляющими штампа; D – размер вырезаемой детали (поперек полосы); b – наименьшая величина боковой перемычки; z – гарантийный зазор между направляющими и наибольшей возможной шириной полосы; Δ_{uu} – односторонний (минусовый) допуск на ширину полосы.

Значения величин, входящих в формулы расчета ширины полосы даны в таблицах 6 и 7.

Таблица 6. Значения зазора z при штамповке без бокового прижима			Таблица 7. Допуски на ширину полос, нарезанных на гильотинных ножницах				
Ширина полосы, мм	Величина зазора z , мм		Ширина полосы, мм	Допуск Δ_{uu} при толщине материала, мм			
	однорядный раскрой	многорядный раскрой		До 1	1...2	2...3	3...5
до 100	0,5...1	1,5...2	до 100	0,6	0,8	1,2	2
Св. 100	1...1,5	2...3	Св. 100	0,8	1,2	2	3

Примечание. При однорядном типе раскроя большие значения – для большей толщины материала.

Полученные результаты подсчета ширины полосы следует округлять до 0,5 или 1 мм в большую сторону.

4.2 Вырубка

Вырубка – полное отделение металла по замкнутому контуру, при котором отделяемая часть заготовки является изделием.

Вырубка осуществляется в вырубных штампах, размещаемых на рабочем столе пресса. На рисунке 3 показана типовая конструкция вырубного штампа.

Основой конструкции штампа является стандартный блок, состоящий из верхней 1 и нижней 2 плит, соединенных направляющими колонками 3. К верхней плите сверху крепится хвостовик 4, который взаимодействует с ползуном пресса. Рабочие части штампа пуансон 5 и матрица 7 непосредственно прикрепляются к верхней и нижней плитам. Вырубка происходит „на провал” через отверстие в матрице и нижней плите. Для съема отхода с пуансона на матрице установлен жесткий съемник 6. Пластина 8 служит для поддержания подаваемой полосы. С целью увеличения производительности штамповки, штамп снабжен автоматическим качающимся упором 9.

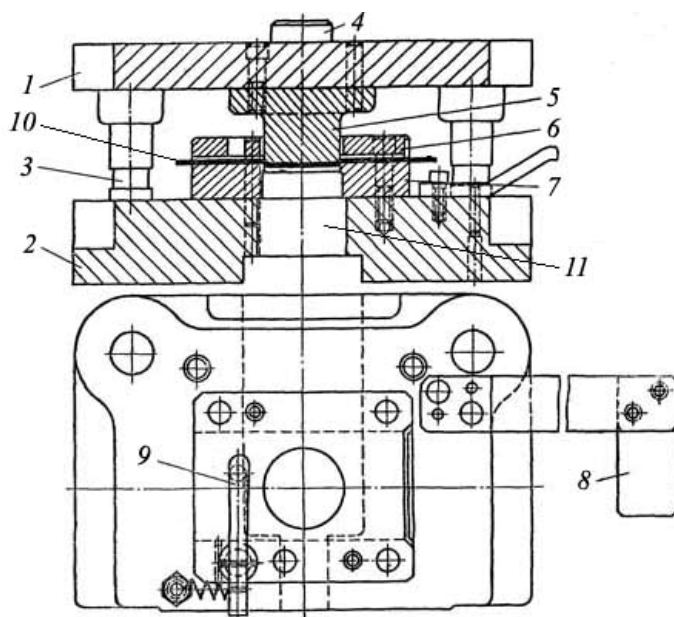


Рисунок 3 – Типовая конструкция вырубного штампа

В исходном положении верхняя плита 1 находится в поднятом положении, так что между пуансоном и матрицей образуется зазор, в который и размещается заготовка (полоса) 10 на пластину 8 до упора 9 .

При рабочем ходе вниз ползун пресса давит на хвостовик 4 . При этом плита 1 с пуансоном 5 перемещаются вниз, съёмник 6 прижимает заготовку 10 к матрице 7 . При дальнейшем ходе пуансон вырубает деталь от заготовки и она через окно 11 в нижней плите проваливается в приемную тару.

Расчет исполнительных размеров пуансона и матрицы

Для обеспечения нормальной работы штампа между пуансоном и матрицей должен быть зазор. Зазоры имеют большое технологическое значение в процессе резания листовых материалов как в отношении качества поверхности среза, так и в отношении сопротивления срезу и влияния на стойкость штампов. Заусенцы и дефекты поверхности среза возникают в результате неравномерного распределения зазора по периметру и при затуплении режущих кромок пуансона и матрицы.

Значения зазоров без разграничения по роду материала, приведены в таблице 8. В процессе эксплуатации и износа рабочих частей штампов зазоры увеличиваются и становятся больше приведенных в таблице.

Допуски на изготовление рабочих частей вырубных пуансонов и матриц тесно связаны с величиной технологического зазора между ними, так как допуски увеличивают размер зазора. На рисунке 4 приведены схемы построения допусков на изготовление вырубных и пробивных пуансонов и матриц. На рисунке 4,а изображена схема построения допусков при вырубке наружного контура с заданным допуском $D - \Delta$, где Δ – допуск на получаемый размер детали. В данном случае номинальный размер матрицы берется равным наименьшему предельному размеру изделия $D_{м,ном} = D - \Delta$.

Исполнительные размеры пуансона и матрицы определяются по формулам, приведенным в таблице 9.

Допуски на изготовление пуансонов и матриц приведены в таблице 10.

Таблица 8 Значения начальных диаметральных зазоров при изготовлении вырубных и пробивных штампов, мм

Толщина материала, мм	Начальный зазор		Толщина материала, мм	Начальный зазор	
	наименьший	наибольший		наименьший	наибольший
0,3	0,02	0,04	3,0	0,24	0,36
0,5	0,03	0,06	3,5	0,32	0,46
0,8	0,05	0,08	4,0	0,40	0,56
1,0	0,06	0,10	4,5	0,50	0,68
1,2	0,08	0,12	5	0,60	0,80
1,5	0,10	0,16	6	0,8	1,0
1,8	0,12	0,20	7	1,0	1,3
2,0	0,14	0,22	8	1,3	1,6
2,2	0,17	0,25	9	1,5	1,8
2,5	0,20	0,28	10	1,8	2,2
2,8	0,22	0,32			

Примечания.

Наименьшие начальные зазоры являются номинальными.
 Наибольшие начальные зазоры учитывают увеличение их за счет допусков на изготовление пуансона и матрицы.
 При пробивке отверстий с гладкими стенками в материале толщиной до 5 мм зазоры брать по нижнему пределу.
 Для вырубки и пробивки мягкого алюминия толщиной до 5 мм зазоры брать по нижнему пределу, а для вырубки и пробивки твердых материалов ($\sigma_{\text{в}} > 500$ МПа) – по верхнему пределу, указанному в таблице.

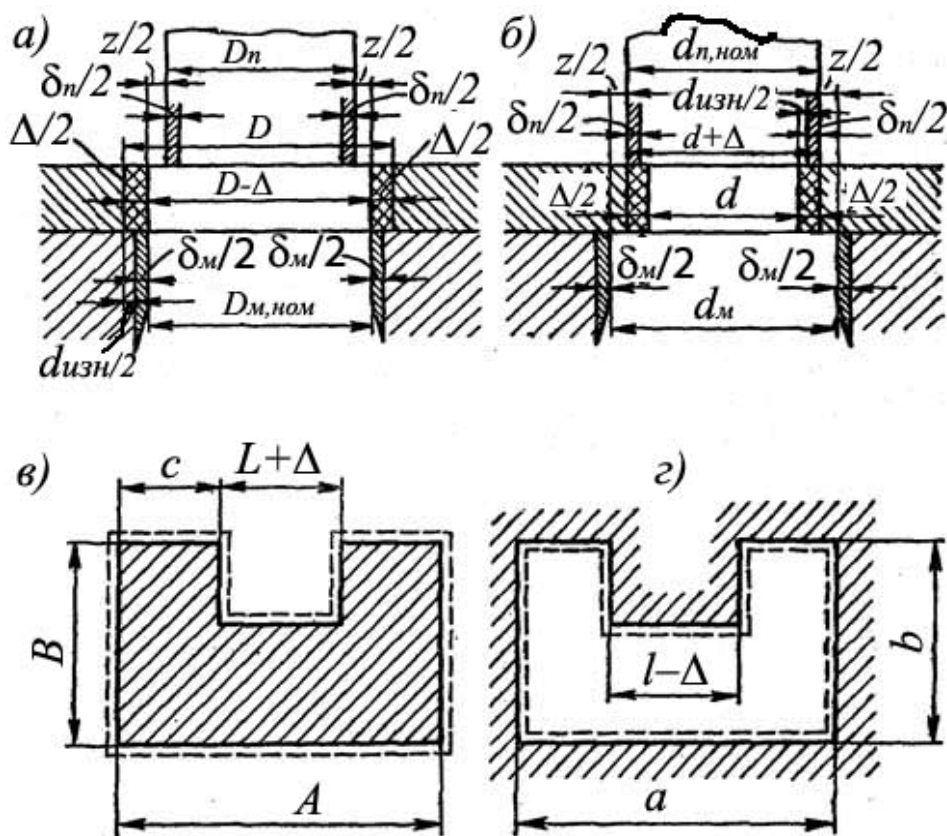


Рисунок 4 – Схемы построения допусков на изготовление вырезных и пробивных пуансонов и матриц: а – при вырубке наружного контура; б – при пробивке отверстия; в, г – для увеличивающихся и уменьшающихся сопрягаемых размеров

Таблица 9 Формулы для определения исполнительных размеров рабочих частей вырубных и пробивных штампов

Вид выполняемой работы и характер детали		Исполнительные размеры матрицы	Исполнительные размеры пуансона
Сопрягаемые детали с заданным допуском	Вырубка наружного контура размером $D - \Delta$ (рисунок 4.7, а)	$D_{.м} = (D - d)^{+\delta_{.м}}$	$D_n = (D - \Delta - z)_{-\delta_n}$
	Пробивка отверстия размером $d + \Delta$ (рисунок 4.7, б)	$d_{.м} = (d + \Delta + z)^{+\delta_{.м}}$	$d_n = (d + \Delta)_{-\delta_n}$
Несопрягаемые детали свободных размеров	Вырубка наружного контура размером D	$D_{.м,св} = D^{+\delta'_{.м}}$	$D_{n,св} = (D - z)_{-\delta'_n}$
	Пробивка отверстия размером d	$d_{.м,св} = (d + z)^{+\delta'_{.м}}$	$d_{n,св} = d_{-\delta'_n}$

Обозначения:

D_m и D_n – исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке наружного контура с заданным допуском ($D - \Delta$); D – номинальный размер детали;

δ_m и δ_n – допуски на изготовление матрицы и пуансона для сопрягаемых деталей с заданным допуском; δ'_m и δ'_n – допуски на изготовление матрицы и пуансона;

z – номинальный (наименьший) зазор; Δ – допуск детали и отверстия;

d_m и d_n – исполнительные размеры матрицы и пуансона при пробивке отверстия с заданным допуском; d – номинальный размер отверстия;

$D_{m,св}$ и $D_{n,св}$ – исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке деталей свободных размеров;

$d_{m,св}$ и $d_{n,св}$ – исполнительные размеры матрицы и пуансона

при пробивке отверстий свободных размеров; L_m и L_n – исполнительные размеры матрицы и пуансона при вырубке элемента с уменьшающимися при износе матрицы

размерами; l_m и l_n – исполнительные размеры матрицы и пуансона при пробивке элемента с увеличивающимися размерами.

Таблица 10

Толщина материала, мм	Наименьший двусторонний начальный зазор z , мм	Диаметральные допуски на изготовление	
		матрицы, $+\delta_m$	пуансона, $-\delta_n$
0,3	0,02	0,015	0,010
0,5	0,03	0,020	0,010
0,8	0,05	0,020	0,012
1,0	0,06	0,025	0,015
1,5	0,10	0,030	0,020
2,0	0,14	0,040	0,020
2,5	0,20	0,050	0,030
3,0	0,24	0,060	0,030
4,0	0,40	0,080	0,040
5,0	0,60	0,100	0,050
6,0	0,80	0,120	0,060
8,0	1,30	0,160	0,080
10,0	1,80	0,200	0,100

Допуск на износ матрицы и пуансона составляет при вырубке наружного контура $\delta_{изн,м} = \Delta - \delta_m$, при пробивке отверстия $\delta_{изн,п} = \Delta - \delta_n$. Поэтому при определении исполнительных размеров матриц и пуансонов рекомендуется использовать полностью величину допуска детали Δ .

Усилие вырубки.

Технологическое усилие вырубки определяется по формуле

$$P_{выр} = F\tau_{ср} = Ls\tau_{ср},$$

где F – площадь среза; $\tau_{ср}$ – сопротивление срезу; L – длина контура (периметр) вырубаемой детали; s – толщина материала.

Механические свойства некоторых конструкционных материалов приведены в таблице 11.

Таблица 11 Механические свойства листовых материалов (МПа)

Материал	Отожженный		Наклепанный		Материал	Отожженный		Наклепанный	
	σ_B	$\tau_{ср}$	σ_B	$\tau_{ср}$		σ_B	$\tau_{ср}$	σ_B	$\tau_{ср}$
Ст2	300	250	400	320	Л62, Л68	320	250	600	380
Ст3	360	320	500	400	БрБ2	450	360	660	500
Ст5	450	360	600	480	АД1	120	100	180	150
X18H10T	550	450	660	560	Д16Т	350	220	300	280
20кп	390	330	450	380	МА1	170	120	240	140

Определение центра давления штампа.

Для правильной уравновешенной работы штампа необходимо вырезаемый контур расположить на матрице таким образом, чтобы центр давления совпадал с осью хвостовика. В противном случае в штампе возникают перекосы, несимметричность зазора, износ направляющих, быстрое притупление режущих кромок, а возможно и поломка штампа.

Основные положения.

1) Если деталь симметрична относительно некоторой точки, то центр давления совпадает с этой точкой.

2) Если деталь симметрична относительно некоторой оси, то центр давления лежит на этой оси.

3) Если деталь симметрична относительно некоторой плоскости, то центр давления лежит на этой плоскости.

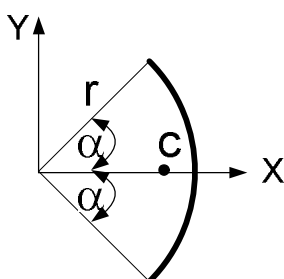


Рисунок 5

Следовательно, при вырезке по прямой линии, центр давления лежит в середине этой линии.

При вырубке по окружности центр давления лежит в центре этой окружности. При вырубке квадрата (прямоугольника) центр давления лежит в центре квадрата (прямоугольника). При вырубке по дуге окружности (рисунок 5, где c – центр давления дуги) координата центра давления определяется по формуле

$$x_c = r \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha},$$

где r – радиус дуги; α – половина центрального угла дуги.

В общем случае, определение координат центра давления осуществляется следующим образом:

- 1) разбивают контур вырубаемой детали на элементарные участки: отрезки, дуги, окружности и т.д.;
- 2) для каждого элементарного участка определяют усилие вырубki и прикладывают его в центре давления этого участка;
- 3) задают систему координат XOY;

4) в данной системе координат находят координаты центров давления элементарных участков;

5) координаты центра давления для детали находят из условия равенства суммы моментов усилий вырубki отдельных элементов контура детали относительно координатных осей по формулам

$$x_{cd} = \frac{P_{1выр} x_{1c} + P_{2выр} x_{2c} + \dots + P_{nвыр} x_{nc}}{P_{1выр} + P_{2выр} + \dots + P_{nвыр}} = \frac{\sum_1^n P_{iвыр} x_{ic}}{\sum_1^n P_{iвыр}},$$

$$y_{cd} = \frac{P_{1выр} y_{1c} + P_{2выр} y_{2c} + \dots + P_{nвыр} y_{nc}}{P_{1выр} + P_{2выр} + \dots + P_{nвыр}} = \frac{\sum_1^n P_{iвыр} y_{ic}}{\sum_1^n P_{iвыр}},$$

где i – номер элементарного участка; $P_{iвыр}$ – усилие вырубki i -го участка; x_{ic}, y_{ic} – координаты центра давления i -го участка.

Пример проектирования операции вырубki

Дано:

Чертеж детали – рисунок 6.

Материал детали – сталь Ст5.

Толщина полосы – 3 мм.

Определим ширину полосы

Решение. Примем прямой однорядный раскрой полосы с перемычками по схеме рисунок 7.

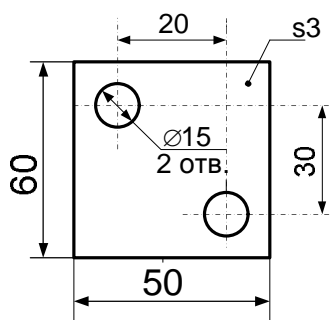


Рисунок 6

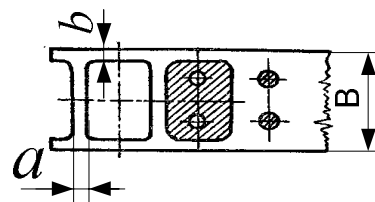


Рисунок 7

По таблице 5 для материала толщиной 3 мм принимаем величину перемычек равными $a = b = 2$ мм. По таблице 7 при ширине полосы до 100 мм и толщине материала 3 мм, допуск на ширину полосы равен $\Delta_{ш} = 1,2$ мм.

Находим ширину полосы по формуле, приведенной в таблице 5 для вырубki с боковым прижимом полосы

$$B = D + 2b + \Delta_{ш} = 60 + 2 \cdot 2 + 1,2 = 65,2 \text{ мм}$$

Принимаем ширину полосы равной $B = 65,5$ мм.

Исполнительные размеры пуансона и матрицы определим по формулам

Так как допуски на размеры на чертеже не указаны, следовательно, все размеры являются свободными и изготавливаются по 12-му качеству точности

Обозначим $D_1 = 60$ мм, $D_2 = 50$, $d = 15$ мм.

По таблице 8 при толщине материала $s=3$ мм, наименьший двусторонний начальный зазор $z=0,24$ мм, допуск матрицы $\delta_{м}=0,06$ мм, допуск пуансона $\delta_{п}=0,03$ мм.

Воспользуемся формулами, приведенными в таблице 4.9 для несопрягаемых свободных размеров.

Размеры матрицы

$$D_{м,св} = D_1^{+\delta'_{м}} = 60^{+0,06}, \quad D_{м,св} = D_2^{+\delta'_{м}} = 50^{+0,06},$$

$$d_{м,св} = (d + z)^{+\delta'_{м}} = (15 + 0,24)_{-0,03} = 15,24_{-0,03}.$$

Размеры пуансона

$$D_{n,св} = (D_1 - z)_{-\delta'_n} = (60 - 0,24) - 0,03 = 59,76_{-0,03}.$$

$$D_{n,св} = (D_1 - z)_{-\delta'_n} = (50 - 0,24) = 49,76_{-0,03}.$$

$$d_{n,св} = d_{-\delta'_n} = 15_{-0,03}.$$

Периметр контура вырубаемой детали

$$L_k = 2 \cdot 60 + 2 \cdot 50 + 2 \cdot \pi \cdot 15 = 314 \text{ мм}.$$

По таблице 11 для отожженной стали Ст5 предел прочности на срез равен $\tau_{ср} = 360 \text{ МПа}$.

Усилие вырубке детали

$$P_{выр} = L_s \tau_{ср} = 314 \cdot 3 \cdot 360 = 339120 \text{ Н}$$

По этому усилию подбирается пресс для вырубке.

Центр давления при вырубке детали

Зададим систему координат: оси X и Y располагаем по двум сторонам детали (рисунок 8).

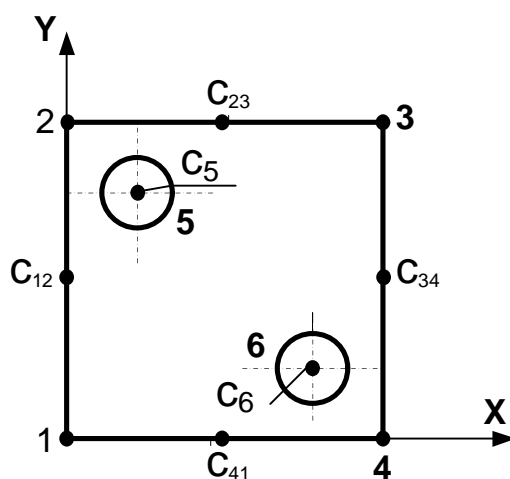


Рисунок 8 – Разбиение контура детали на элементарные участки

Разбиваем контур детали на элементарные участки:

1-2 – отрезок длиной 60 мм;

2-3 – отрезок длиной 50 мм;

- 3-4 – отрезок длиной 60 мм;
- 4-1 – отрезок длиной 50 мм;
- 5 – окружность диаметром 15 мм;
- 6 – окружность диаметром 15 мм.

Находим координаты центров давления элементарных участков:

$$\text{участок 1-2: } x_{c_{12}} = 0, y_{c_{12}} = 30 \text{ мм};$$

$$\text{участок 2-3: } x_{c_{23}} = 25, y_{c_{23}} = 60 \text{ мм};$$

$$\text{участок 3-4: } x_{c_{34}} = 50, y_{c_{34}} = 30 \text{ мм};$$

$$\text{участок 4-1: } x_{c_{41}} = 25, y_{c_{41}} = 0 \text{ мм};$$

$$\text{участок 5: } x_{c_5} = 15, y_{c_5} = 45 \text{ мм};$$

$$\text{участок 6: } x_{c_6} = 35, y_{c_6} = 15 \text{ мм}.$$

Определяем усилие вырубki по участкам. Усилие вырубki определяем по формуле $P_{\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}}$.

$$\text{Участок 1-2: } P_{12\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = 60 \cdot 3 \cdot 360 = 64800 \text{ н.}$$

$$\text{Участок 2-3: } P_{23\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = 50 \cdot 3 \cdot 360 = 54000 \text{ н.}$$

$$\text{Участок 3-4: } P_{34\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = 60 \cdot 3 \cdot 360 = 64800 \text{ н.}$$

$$\text{Участок 4-1: } P_{41\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = 50 \cdot 3 \cdot 360 = 54000 \text{ н.}$$

$$\text{Участок 5: } P_{5\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = \pi \cdot 15 \cdot 3 \cdot 360 = 50868 \text{ н.}$$

$$\text{Участок 6: } P_{6\text{выр}} = Ls\tau_{\text{ср}} = \pi \cdot 15 \cdot 3 \cdot 360 = 50868 \text{ н.}$$

Суммарное усилие вырубki

$$P_{\text{выр}} = \sum P_{i\text{выр}} = 64800 + 54000 + 64800 + 54000 + 50868 + 50868 = 339120 \text{ н.}$$

Определяем координаты центра давления при вырубке детали.

$$x_{cd} = \frac{P_{12выр}x_{12c} + P_{23выр}x_{23c} + P_{34выр}x_{34c} + P_{41выр}x_{41c} + P_{5выр}x_{5c} + P_{6выр}x_{6c}}{P_{12выр} + P_{23выр} + P_{34выр} + P_{41выр} + P_{5выр} + P_{6выр}} =$$

$$= \frac{64800 \cdot 0 + 54000 \cdot 25 + 64800 \cdot 50 + 54000 \cdot 25 + 50868 \cdot 15 + 50868 \cdot 35}{339120} = 25 \text{ мм.}$$

$$y_{cd} = \frac{P_{12выр}y_{12c} + P_{23выр}y_{23c} + P_{34выр}y_{34c} + P_{41выр}y_{41c} + P_{5выр}y_{5c} + P_{6выр}y_{6c}}{P_{12выр} + P_{23выр} + P_{34выр} + P_{41выр} + P_{5выр} + P_{6выр}} =$$

$$= \frac{64800 \cdot 30 + 54000 \cdot 60 + 64800 \cdot 30 + 54000 \cdot 0 + 50868 \cdot 45 + 50868 \cdot 15}{339120} = 30 \text{ мм.}$$

5 Проектирование операции вытяжки

Вытяжка представляет собой процесс превращения плоской заготовки в полую деталь любой формы (или дальнейшее изменение ее размеров) и производится на вытяжных штампах.

По характеру и степени деформации различают:

- вытяжку без утонения стенок;
- вытяжку с утонением стенок;
- комбинированную вытяжку.

В зависимости от относительной толщины заготовки вытяжку без применения прижима (рисунок 9) или с прижимом (рисунок 10).. Так как при вытяжке происходит втягивание материала заготовки 3 пуансоном 2 с закруглением r_n большего диаметра D в матрицу 1 с закруглением r_m , имеющую меньший диаметр d (рисунок 9,а), то естественно, что по краю вытянутого колпака образуются складки (гофры) за счет наличия избыточного материала. Поэтому после вытяжки необходима операция подрезки. На рисунке 9,б показана вытяжка на второй операции из полый заготовки 4.

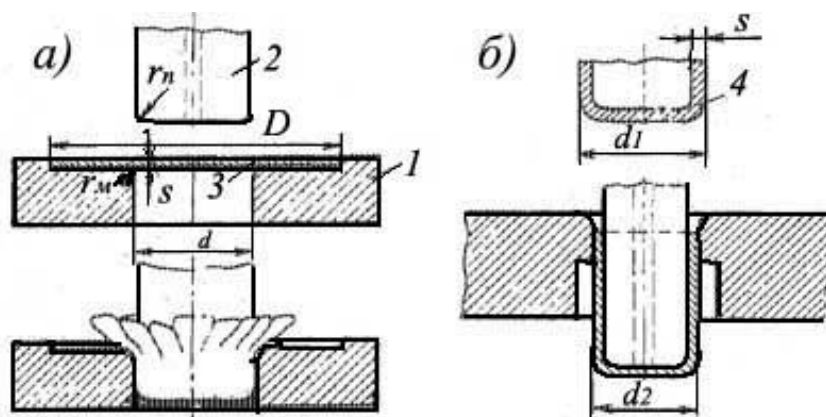


Рисунок 9 – Схема процесса вытяжки: d_1 — диаметр полой заготовки после первой операции; d_2 — диаметр полой заготовки после второй операции

Вытяжка без прижима применяется при изготовлении неглубоких сосудов или изделий из толстых материалов.

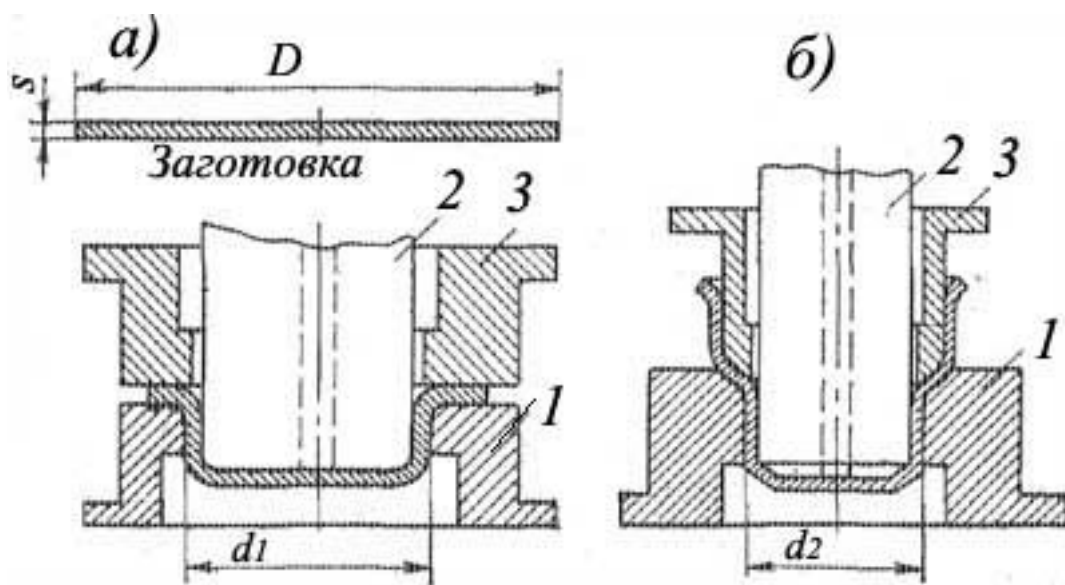


Рисунок 10 – Вытяжка с прижимом материала

По эскизу полого цилиндрического изделия определяем толщину металла s , средний диаметр изделия d_{cp} , высоту изделия h .

$$d_{cp} = \frac{d_n - d_{вн}}{2},$$

где d_n – наружный диаметр детали; $d_{вн}$ – внутренний диаметр детали.

Относительная высота детали:

$$i = \frac{h}{d_{\text{ср}}}$$

В зависимости от высоты детали и относительной высоты по таблице 12 определяем величину припуска Δh на обрезку края цилиндра.

Таблица 12. Припуск на обрезку заготовки

h	Величина припуска Δh при относительной высоте детали i			
	0,5...0,8	0,8...1,6	1,6...2,5	2,5...4
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

Определение формы и размеров заготовки при вытяжке.

Для определения размеров плоской заготовки при вытяжке полых тел существует три метода: метод равных поверхностей, метод равных объемов и метод равных масс. При вытяжке без утонения стенок используется метод равных поверхностей, при вытяжке с утонением стенок используется метод равных объемов.

Вытяжка круглых деталей без утонения стенок.

Заготовкой служит круг диаметром D :

$$D = 1,13\sqrt{F} = 1,13\sqrt{\sum_1^n F_i},$$

где F – площадь поверхности готовой детали;

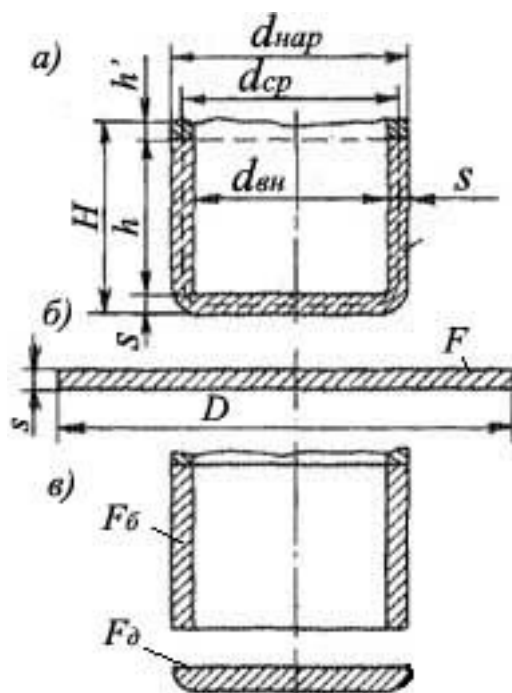


Рисунок 11 – Схема разбивки цилиндра на элементы при расчете размеров заготовки: а – изделие; б – заготовка; в – элементы изделия

F_i – площади элементарных форм.

Если тело состоит из n простых поверхностей, то $F = \sum_1^n F_i$.

Например, определим размер заготовки при вытяжке полого цилиндра (рисунок 11). В данном случае цилиндр состоит из двух простых элементов:

цилиндра без дна и дна. Тогда $F = F_б + F_д$, где $F_б = \pi d_{cp} H = \pi d_{cp} (h + \Delta h)$

– площадь боковой поверхности цилиндра; $d_{cp} = \frac{d_{нар} + d_{вн}}{2}$ – средний

диаметр цилиндра; h – высота цилиндра; Δh – припуск по высоте на обрезку (таблица 4.13);

$F_д = \frac{\pi d_{нар}^2}{4}$ – площадь дна.

Формулы для определения площади поверхностей некоторых простых поверхностей приведены в таблице 13. Формулы для определения диаметра заготовки приведены в таблице 14.

Таблица 13. Площади поверхности простых геометрических форм

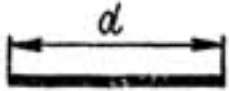
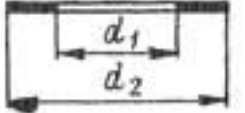
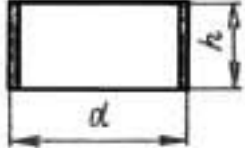
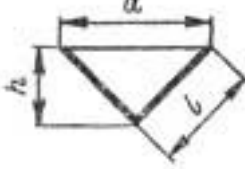
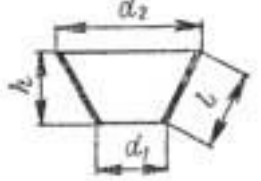
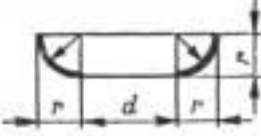
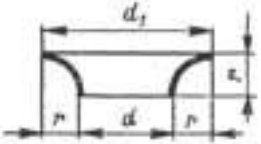
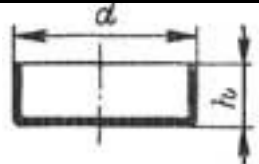
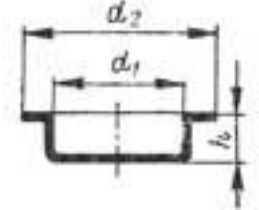
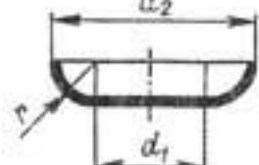
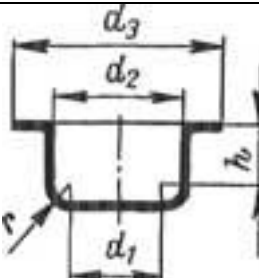
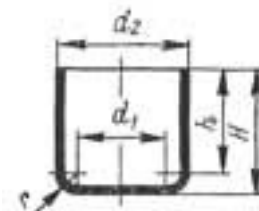
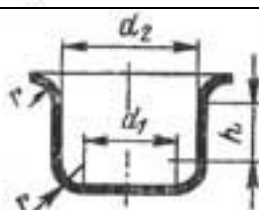
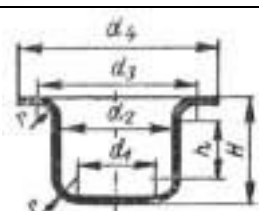
Форма поверхности	Эскиз	Площадь поверхности F
Круг		$\frac{\pi d^2}{4}$
Кольцо		$\frac{\pi}{4}(d_2^2 - d_1^2)$
Цилиндр		πdh
Конус		$\frac{\pi dl}{2}$
Усеченный конус		$\frac{\pi l}{2}(d_2 + d_1)$
Четверть сферического кольца (выпуклая)		$\frac{\pi}{4}(2\pi dr + 8r^2)$
Четверть сферического кольца (вогнутая)		$\frac{\pi}{2}(\pi dr + 2,28r^2)$

Таблица 14. Формулы для определения диаметра заготовки

Номер формулы	Форма детали	Диаметр заготовки D
---------------	--------------	-----------------------

1		$\sqrt{d^2 + 4dh}$
2		$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$
3		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2}$
4		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2 + 4d_2h + d_3^2 - d_2^2}$
5		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2 + 4d_2h}$
6		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4d_2h + 4\pi r^2}$
7		$\sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_4^2 - d_3^2}$

Определение числа операций вытяжки.

При определении числа операций вытяжки необходимо обеспечить, чтобы на всех операциях вытяжки напряжение в материале не превосходило предела прочности. Это означает, что на каждой операции вытяжки следует принимать максимально возможную степень деформации, которую определяют по коэффициенту вытяжки. Для первой операции коэффициент вытяжки равен отношению диаметра изделия d_1 к диаметру заготовки D :

$$m_1 = \frac{d_1}{D}.$$

Для последующих операций коэффициент вытяжки определяется как отношение последующего диаметра полого цилиндра к предыдущему

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1}, \quad m_3 = \frac{d_3}{d_2}, \dots, m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}.$$

Если требуется изготовить полое изделие диаметром d_n и высотой h_n из плоской заготовки диаметром D (рисунок 4.15), то необходимое число операций вытяжки определяется по формуле

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg(m_1 D)}{\lg m_2}$$

Для тонких материалов ($s < 1,5$ мм) d_n и h_n считают либо по наружному диаметру и внутренней высоте, либо по внутреннему диаметру и наружной высоте, а для более толстых материалов d_n определяют по среднему диаметру.

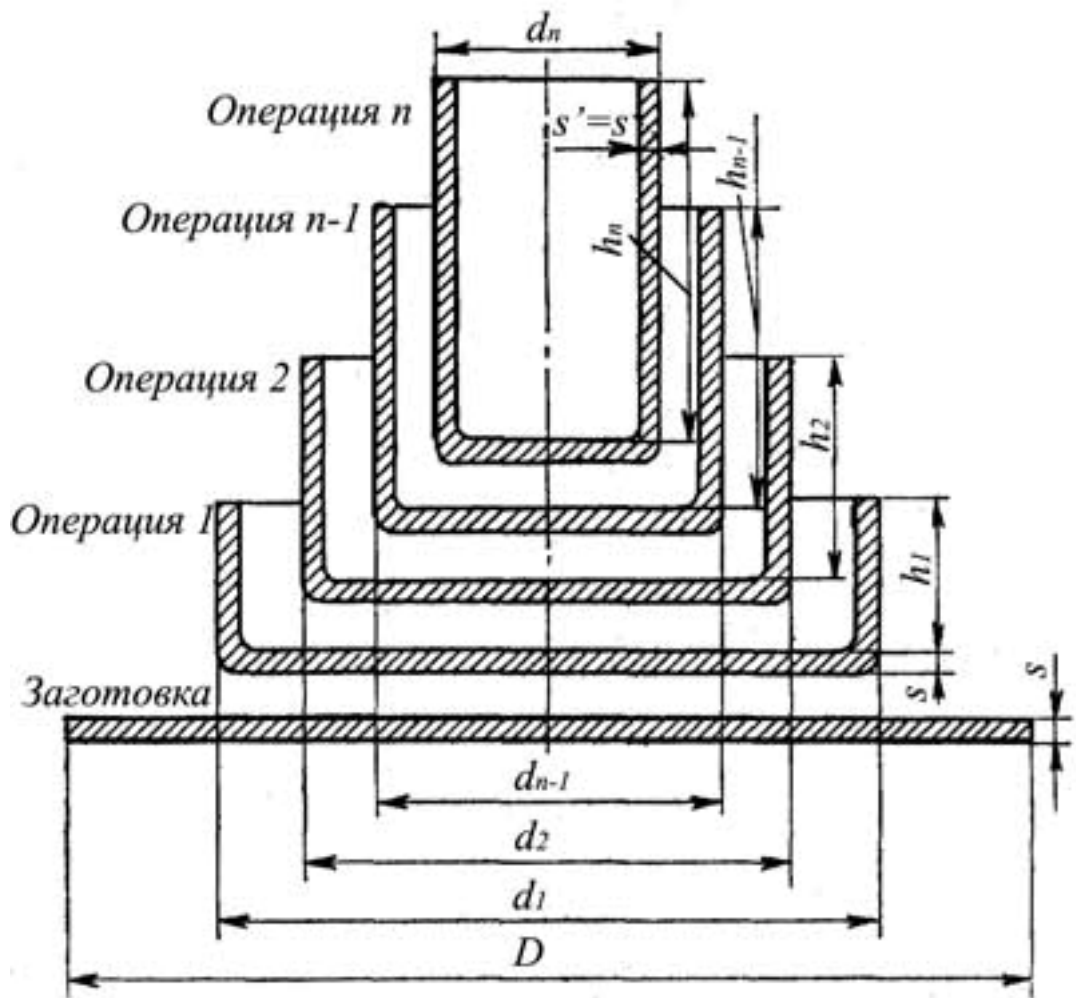


Рисунок 12 – Схема получения полого изделия диаметром d_n и высотой h_n из плоской заготовки диаметром D

Значения коэффициентов вытяжки в зависимости от пластичности вытягиваемого материала, относительной толщины заготовки $(s/D)100$ или $(s/d_{n-1})100$ и от способа вытяжки (с прижимом или без прижима) для первой и последующих операций приведены в таблицах 15 и 16.

Основным критерием для выбора способа вытяжки является относительная толщина:

$$\Delta = (s / D)100\%$$

Для первой операции при $\Delta < 1,5$ следует применять вытяжку с прижимом, при $\Delta > 2$ – без прижима.

При $\Delta = 1,5...2$ возможны оба варианта.

Таблица 15. Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца с применением прижима

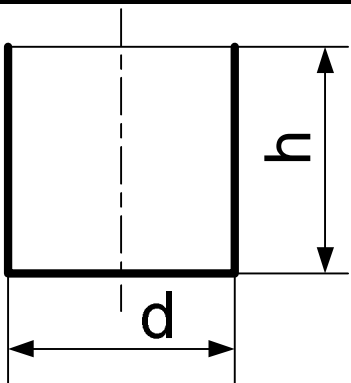
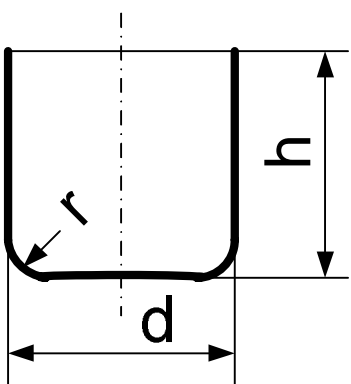
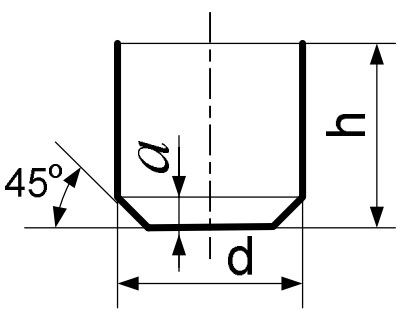
(s/D) 100, %	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
2,0...1,5	0,46...0,50	0,70...0,72	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78
1,5...1,0	0,50...0,53	0,72...0,74	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80
1,0...0,5	0,53...0,56	0,74...0,76	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82
0,5...0,2	0,56...0,58	0,76...0,78	0,78...0,80	0,80...0,82	0,82...0,84
0,2...0,06	0,58...0,60	0,78...0,80	0,80...0,82	0,82...0,84	0,84...0,86

Таблица 16. Коэффициенты вытяжки цилиндрических деталей без фланца

(s/D) 100, %	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
1,5	0,65	0,80	0,84	0,87	0,90	
2,0	0,60	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
2,5	0,55	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
3,0	0,53	0,75	0,80	0,84	0,87	0,90
Св. 3,0	0,50	0,70	0,75	0,78	0,82	0,85

Высота вытяжки по операциям определяется по формулам, приведенным в таблице 17.

Таблица 17. Формулы определения размеров детали при вытяжке

Тип	Форма детали	Операция вытяжки	Формулы
1		1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right)$
2		1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) +$ $+ 0,43 \frac{r_1}{d_1} (d_1 + 0,32 r_1)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) +$ $+ 0,43 \frac{r_2}{d_2} (d_2 + 0,32 r_2)$
		n-я	$h_n = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 \dots m_n} - d_n \right) +$ $+ 0,43 \frac{r_n}{d_n} (d_n + 0,32 r_n)$
3		1-я	$h_1 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) +$ $+ 0,57 \frac{a_1}{d_1} (d_1 + 0,86 a_1)$
		2-я	$h_2 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) +$ $+ 0,57 \frac{a_2}{d_2} (d_2 + 0,86 a_2)$

Пример проектирования операции вытяжки

Дано:

Наружный диаметр детали – 92 мм.

Высота детали – 202 мм.

Толщина стенки – 2 мм.

Материал детали – сталь 08.

Рассчитать количество операций и размеры переходов для вытяжки.

Расчетный диаметр по средней линии равен

$$d_{cp} = d_n - s = 92 - 2 = 90 \text{ мм.}$$

$$\text{Относительная высота детали } i = \frac{h}{d_{cp}} = \frac{202}{90} = 2,24.$$

По таблице 12 для $i=2,24$ припуск на обрезку $\Delta h = 8$ мм. Таким образом высота детали с припуском на обрезку составляет $h = 202 + 8 = 210$ мм.

Диаметр заготовки по формуле 1 таблицы 14

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh} = \sqrt{90^2 + 4 \cdot 90 \cdot 210} = 290 \text{ мм.}$$

Относительная толщина заготовки

$$(s / D)100\% = (2 / 290) \cdot 100 = 0,69$$

По таблице 4.16 для $(s / D)100\% = 0,69$ находим $m_1 = 0,54$,
 $m_2 = 0,75$, $m_3 = 0,77$, $m_4 = 0,79$.

Количество переходов

$$n = 1 + \frac{\lg d_n - \lg(m_1 D)}{\lg m_2} = 1 + \frac{\lg 90 - \lg(0,54 \cdot 290)}{\lg 0,75} =$$
$$= 1 + \frac{1,954 - 2,194}{-0,125} = 2,92 \approx 3.$$

Диаметры переходов по средней линии

$d_1 = 0,54 \cdot 290 = 157$ мм, $d_2 = 0,75 \cdot 157 = 118$ мм,
 $d_3 = 0,77 \cdot 118 = 91$ мм. Принимаем $d_3 = 90$ мм. Тогда коэффициент
 последней вытяжки составит $m_3 = 90 / 118 = 0,76$, что согласно таблице 15
 допустимо.

Для облегчения процесса вытяжки принимаем на первых двух
 операциях форму переходов со скосом у дна (таблица 4.18, тип 3), а на
 последней операции – цилиндра с требуемым радиусом закругления.

По формулам таблицы 17 рассчитываем пооперационную высоту
 вытягиваемых деталей:

$$\begin{aligned}
 h_1 &= 0,25 \left(\frac{D}{m_1} - d_1 \right) + 0,57 \frac{a_1}{d_1} (d_1 + 0,86a_1) = \\
 &= 0,25 \cdot \left(\frac{290}{0,54} - 157 \right) + 0,57 \cdot \frac{10}{157} (157 + 0,86 \cdot 10) = 109 \text{ мм};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_2 &= 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2} - d_2 \right) + 0,57 \frac{a_2}{d_2} (d_2 + 0,86a_2) = \\
 &= 0,25 \left(\frac{290}{0,54 \cdot 0,75} - 118 \right) + 0,57 \frac{5}{118} (118 + 0,86 \cdot 5) = 157 \text{ мм};
 \end{aligned}$$

$$h_3 = 0,25 \left(\frac{D}{m_1 m_2 m_3} - d_3 \right) = 0,25 \left(\frac{290}{0,54 \cdot 0,75 \cdot 0,76} - 90 \right) = 213 \text{ мм}.$$

Рекомендуемая литература

1. Технологические процессы в машиностроении. Учебное пособие. /Ю.М.Передрей. – Пенза, ПГТА, 2013. – 419 с.
2. Технологические процессы в машиностроении. Сборник задач. /Ю.М.Передрей. – Пенза, ПГТА, 2013. – 110 с.
3. Материаловедение и технология конструкционных материалов. /Под ред. В.Б. Арзамасова: учебник для вузов. – М: Высшая школа, 2007.
4. Технология конструкционных материалов: Учеб. для машиностроит. спец. ВУЗов /Арутюнова И.А., Барсукова Т.М. Под общ. ред. А.М.Дальского. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2004. – 448 с.: ил.
5. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.:Машиностроение, 1979. – 520 с.

Содержание

1 Методические указания к изучению дисциплины и выполнению домашних и контрольных работ	3
2 Варианты заданий	3
3 Теоретические задания к контрольной работе	6
4 Проектирование операции вырубki	11
Пример проектирования операции вырубki.....	22
5 Проектирование операции вытяжки	26
Пример проектирования операции вытяжки	36
Литература.....	38