Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич
Должность: ректор
Дата подписания: 25.01.2022 11:32:12
Уникальный программный ключ:
9ba7d3e34c0[illegible]

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)
Кафедра «Машиностроительных технологий и оборудования»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«__6__» февраля 2017 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОЦЕССЕ ГИБКИ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Методические указания к выполнению практической работы по дисциплине «Технологическое обеспечение качества» для студентов направления подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
(очной и заочной формы обучения)

Курск 2017

УДК 621.(923)

Составитель: О.С. Зубкова, И.М. Смирнов

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Машиностроительные технологии и оборудование»
А.А. Горохов

Определение размеров заготовки при процессе гибки листового металла: методические указания по выполнению практической работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. О.С. Зубкова. Курск, 2017. 17 с., ил. 8, табл. 8, Библиогр.: с. 17.

Содержат сведения о методах расчета заготовки при процессе гибки листового металла.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС по направлению подготовки дипломированных специалистов 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Работа предназначена для студентов очной, очно - заочной и заочной формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60х84 1/16. Печать офсетная.
Усл. печ. л. . Уч. - изд. л. . Тираж 30 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Цель занятия

Изучить теоретические основы процесса гибки листового металла, получить практические навыки определения размеров заготовок при гибке.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Гибка листового металла осуществляется в результате упругопластической деформации, протекающей различно с каждой из сторон изгибаемой заготовки.

Слои металла внутри угла изгиба (со стороны пуансона) сжимаются и укорачиваются в продольном и растягиваются в поперечном направлении. Наружные слои (со стороны матрицы) растягиваются и удлиняются в продольном и сжимаются в поперечном направлении. Между удлиненными и укороченными слоями (волокнами) находится нейтральный слой, длина которого равна первоначальной длине заготовки.

В результате утонения материала и искажения формы поперечного сечения нейтральный слой в месте изгиба не проходит посередине сечения, а смещается в сторону малого радиуса.

Следует различать два технологических случая гибки:

а) гибку с малым радиусом закругления при большой степени пластической деформации;

б) гибку с большим радиусом закругления при небольшой степени пластической деформации.

Гибка в штампах может выполняться двумя способами:

а) без прижима заготовки;

б) с прижимом заготовки.

Гибка без прижима применима лишь для деталей невысокой точности (7-й класс), так как допускает смещение заготовки в процессе гибки. Гибка с прижимом применяется для деталей повышенной точности (5-й класс), так как не допускает смещения заготовки в процессе гибки.

Более высокой точности при гибке (3,4-й классы) достигают за счет применения технологических баз и дополнительной

фиксации заготовки, а также за счет введения дополнительной калибровки.

В холодной штамповке в большинстве случаев применяется гибка с малым радиусом закругления, сопровождаемая уменьшением толщины материала и смещением нейтрального слоя в сторону сжатых волокон, а для узких полос, кроме того, изменением прямоугольной формы поперечного сечения в трапециевидную (рис.1).

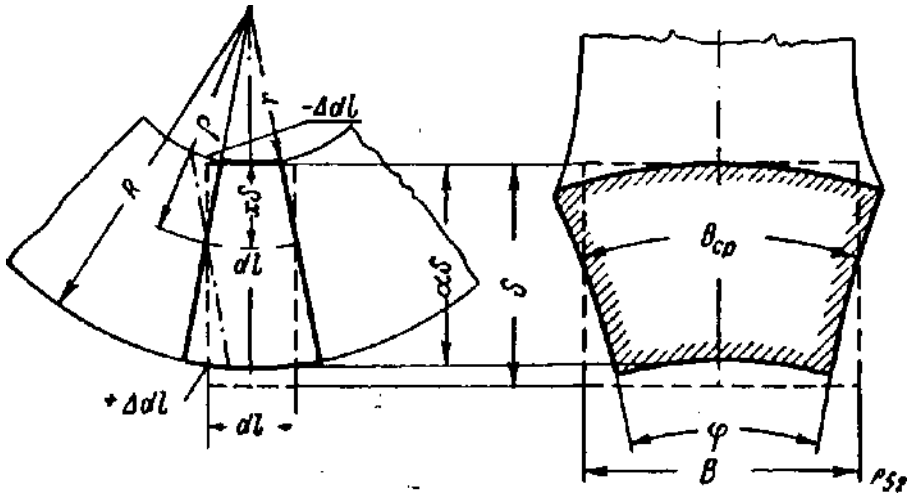


Рис. 1 Схема процесса гибки

Радиус кривизны нейтрального слоя при чистом изгибе образца прямоугольного сечения находится по следующей формуле:

$$\rho = \frac{R+r}{2}\alpha\beta = (r + 0.5\alpha)\alpha\beta \qquad (1)$$

где: R –наружный радиус изогнутой детали в мм;
r – внутренний радиус гибки в мм

$\alpha = \frac{S_1}{S}$ - коэффициент уточнения (2)

$\beta = \frac{B_{\text{ср}}}{B}$ - коэффициент уширения (3)

где: S - толщина образца, мм
S_1 - толщина образца после изгиба в месте утонения, мм;
B- ширина изгибаемого слоя, мм;
$B_{ср}$ - средняя ширина изгибаемого слоя, мм.

Эта формула определяет текущее положение нейтрального слоя и характеризует непрерывное смещение его к центру кривизны в процессе изгиба, так как радиус, а, следовательно, и положение нейтрального слоя зависит главным образом от относительного радиуса изгиба *r/S* и коэффициента утонения α. Коэффициент β при $B > 2S$ равен единице.

Необходимо особо отметить, что нейтральный слой не является тем или иным физическим слоем, который можно обнаружить визуально или другим способом, а представляет собой условную криволинейную поверхность, проходящую через отдельные слои заготовки.

Обычно вместо радиуса нейтрального слоя применяют коэффициент x, определяющий расстояние этого слоя от внутреннего радиуса изгиба:

$$xS = \rho - r \qquad (4)$$

В случае гибки широких заготовок этот коэффициент находится по формуле:

$$x = \frac{\rho - r}{S} = \frac{\alpha^2}{2} - \frac{r}{S}(1 - \alpha) \qquad (5)$$

В таблице 1 приведены проверенные на практике значения коэффициента x для гибки на 90° широких заготовок из стали 10.. 20.

Таблица 1 - Значения коэффициента *x* для гибки на 90° (сталь 10... 20)

Отношение $\frac{r}{S}$	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
Коэффициент *x*	0,30	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,385	0,405
Отношение $\frac{r}{S}$	1,0	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Коэффициент *x*	0,42	0,44	0,45	0,455	0,46	0,47	0,475	0,48

Формула для радиуса кривизны нейтрального слоя справедлива и одинаково применима для любого угла изгиба, но коэффициенты утонения для разных углов различны (например, при гибке на 90° и 180°).

На рисунке 2 представлен график зависимости коэффициента x, определяющего положение нейтрального слоя, от отношения r/S для случая гибки мягкой стали на 90° (кривая 1) и на 180° (кривая 2).

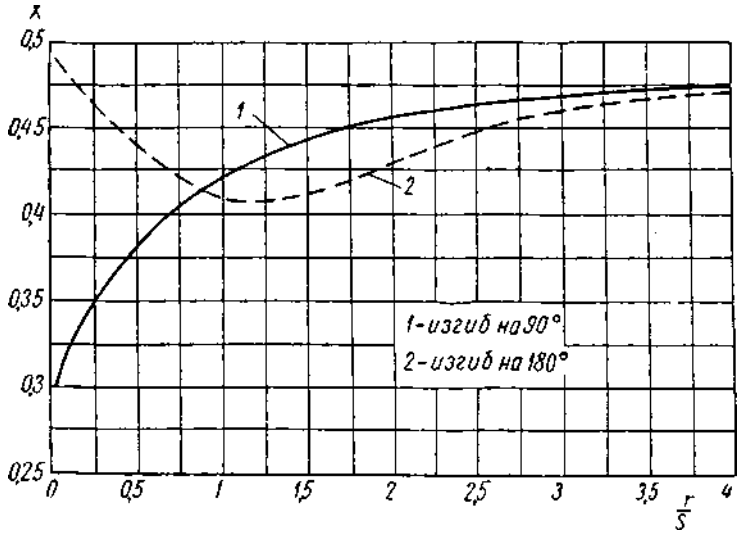


Рис. 2 - Коэффициенты, определяющие положение нейтрального слоя при гибке

В холодной штамповке широко применяется операция закатки петель шарниров, производимая путем торцового давления пуансона, имеющего полукруглую выемку (рис. 3). При этом имеет место более сложная пластическая деформация, состоящая из консольного цилиндрического изгиба и несимметричного сжатия от силы трения.

Консольный цилиндрический изгиб осуществим до соотношения $R < 3{,}3S$, до которого не происходит потери устойчивости заготовки. Поэтому закатка шарнирных петель обычно производится при соотношении R=(2..3,2)S. При большем значении R закатку следует производить с применением оправки диаметром, равным внутреннему диаметру петли.

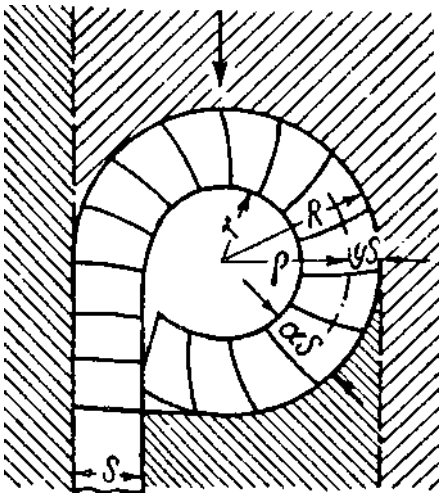


Рис. 3 - Торцовая закатка шарнирных петель

Радиус кривизны нейтрального слоя в случае торцовой закатки может быть найден по формуле:

$$\rho = R - yS \qquad (6)$$

В таблице 2 приведены приближенные значения ρ/S и y в зависимости от заданного отношения R/S для стали 10... 20 .

Таблица 2 - Коэффициенты ρ/S и y

Коэффициенты	Значения коэффициентов при относительном радиусе R/S								
	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2
ρ/S	1,2	1,38	1,56	1,74	1,92	2,11	2,3	2,5	2,7
y	0,4	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49	0,5	0,5	0,5

Рассмотренный выше нейтральный слой является нейтральным слоем деформаций (первоначальной длины) и имеет большое практическое значение, так как точное определение его положения необходимо для нахождения правильной длины заготовки, предельно допустимого радиуса изгиба и прочее.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВОК ПРИ ГИБКЕ

Определение размеров плоских заготовок, подлежащих гибке, основано на равенстве длины заготовки длине нейтрального слоя изогнутой детали, причем положение нейтрального слоя находят по табл. 1, а радиус кривизны р - по формуле (1).

Различают два основных случая определения размеров заготовки:

а) при гибке с закруглением (по радиусу);

б) при гибке под углом без закругления (с калибровкой угла).

2.1 Гибка с закруглением (по радиусу)

При гибке с закруглением длина заготовки равна сумме длин прямых участков и длины нейтрального слоя в изогнутом участке.

Длина нейтрального слоя в изогнутом участке определяется по формуле:

$$l_H = \frac{\pi\varphi}{180}(r + xS) \qquad (7)$$

или при φ = 90°

$$l_H = \frac{\pi}{2}(r + xS) \qquad (8)$$

где: l_H - длина нейтрального слоя изогнутого участка, мм;

г - радиус изгиба, мм;

φ - угол изогнутого участка, град;

х - коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя (табл.1);

S - толщина заготовки, мм.

Угол изогнутого участка только при φ = 90° равен углу гибки, во всех же других случаях он составляет (рис.4):

$$\varphi = 180° - \alpha, \qquad (9)$$

где: α — внутренний угол гибки.

В таблице 3 приведены примеры определения размеров заготовок для наиболее распространенных случаев гибки по радиусу.

Расположение нейтральной линии (*xS*) определяется в зависимости от отношения *r/S* и находится по таблице 1.

Длина заготовки равна сумме длин прямых участков и длин нейтрального участка:

$$L = l_1 + l_2 + \ldots + l_n + l_{H1}\, l_{H2} + \ldots + l_{H(n-1)} \qquad (10)$$

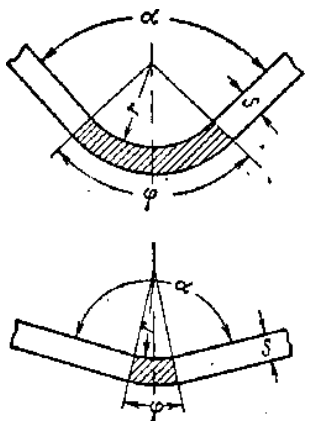
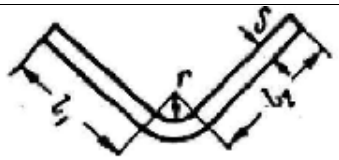
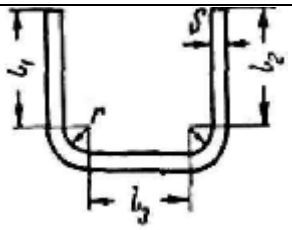
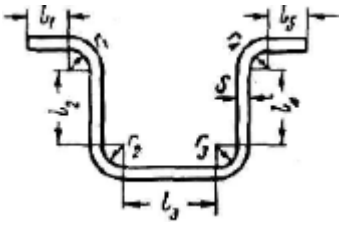
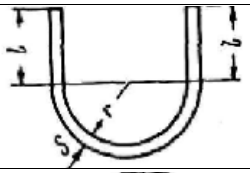
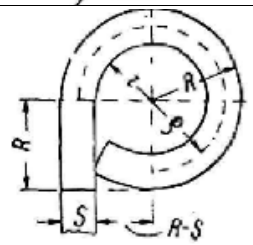


Рис. 4 - Соотношение между углом изогнутого участка и углом гибки (φ= 180° -α)

Таблица 3 - Определение размеров заготовки при гибке с закруглением (по радиусу)

Тип гибки	Эскиз	Длина заготовки в мм
Одноугловая гибка под прямым углом с закруглением		$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2(r + xS)}$
Двухугловая гибка под прямым углом с закруглением		$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(r + xS)$
Многоугловая гибка под прямыми углами с закруглениями		$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi}{2(r+xS)} + \frac{\pi}{2}(r_2 + x_2S) + \cdots\frac{\pi}{2}(r_{n-1} + x_{n-1}S)$
Полукруглая (U-образная) гибка		$L = 2l + \pi(r + xS)$
Торцовая гибка (закатка) шарнирной петли		$L = 1{,}5\pi\rho + 2R - S$ $\rho = R - yS$
Примечание. Коэффициент *x* - см. табл. 1, коэффициент *y* - см. табл. 2.		

2.2 Гибка под углом без закругления (с калибровкой угла)

В случае гибки под углом без закругления размеры заготовки находят исходя из равенства объемов заготовки и изогнутой детали, с учетом утонения в месте изгиба. Длина заготовки определяется как сумма длин прямых участков и прибавки на образование углов:

$$L = l_1 + l_2 + \cdots l_n + kS(n-1) \qquad (11)$$

где: n — число прямых участков;

$l_1, l_2, \ldots\ l_п$ — длины прямых участков в мм;

k - коэффициент, составляющий 0,38... 0,40 при закруглении пуансона радиусом r = 0,05S и 0,45... 0,48 при закруглении пуансона радиусом r= 0,1S, причем меньшие значения относятся к толщине материала S < 1мм, а большие - к толщине S = 3... 4мм.

2.3 Упрощенный расчет длины заготовки

Для упрощения подсчетов и удобства пользования в заводских условиях может применяться способ расчета длины заготовки для гибки, не требующий больших вычислений и основанный на той же формуле (1) радиуса нейтрального слоя.

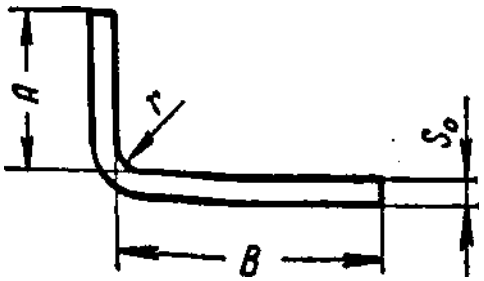


Рис. 5 - Схема к определению длины заготовки (табл.4)

Длина заготовки определяется как сумма внутренних размеров А и В изогнутой детали (рис. 5) и поправки a (таблица 4):

$$L = A + B \pm a \qquad (12)$$

Величина поправки подсчитана по формуле:

$$a = \frac{\pi}{2}\rho - 2r \qquad (13)$$

Как видно из таблицы 4, при известных соотношениях (слева от жирной ломаной линии) поправка берется со знаком плюс, а при других соотношениях (справа от жирной линии) - со знаком минус (вычитается).

Данные таблицы 4 применимы для мягкой стали и цветных сплавов при одноугловой и двухугловой гибке с радиусом закругления r> 0,18 без прижима боковых полок и без растяжения заготовки вследствие малого зазора.

2.4Закатка петель шарниров (рис. 8)

Длина заготовки при торцовой гибке шарнирной петли рассчитывается по формуле:

$$L = 1.5\pi\rho + 2R - S \quad (14)$$

где: R - внешний радиус петли, мм; S - толщина заготовки, мм;
ρ - радиус кривизны нейтрального слоя, мм,

$$\rho = R - yS, \quad (15)$$

где: y - коэффициент, определяющий положение нейтрального слоя (табл. 2).

Таблица 4 - Величина поправки а для расчета заготовок при гибке

S, мм	Значения поправки *a* при радиусах гибки *r* в мм																
	0,1	0,2	0,3	0,4	05	0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10
03	0,125	01	0,07	0,035	0,00	-0,125	-0,21	-0,3	-0,42	-0,64	-0,85	-1,05	-1,5	-1,9	-2,34	-3,2	-4,07
0,4	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	-0,06	-0,14	-022	-035	-056	-0,78	-1	-1,4	-1,84	-2,25	-3,1	-4
0,5	0,22	0,2	0,18	0,15	0,12	0	-0,07	-0,16	-028	-0,48	-0,7	-0,9	-1,34	-1,75	-2,2	-3	-3,9
0,8	0,36	0,35	0,33	0,31	0,28	0,18	0,11	0,04	-0,07	-0,3	-0,5	-0,7	-1,12	-1,57	-1,96	-2,8	-3,66
1	0,45	0,43	0,43	0,41	0,38	0,3	0,23	0,15	0,05	-0,14	-0,35	-0,57	-0,96	-1,38	-1,82	-2,66	-3,5
12	0,52	0,53	0,53	0,51	0,48	0,4	0,35	0,25	0,15	-0,01	-0,23	-0,45	-0,82	-1,25	-1,67	-2,52	-3,38
15	—	0,65	0,65	0,66	0,63	0,56	0,50	0,45	0,35	0,15	-0,22	-0,21	-0,62	-1,02	-1,47	-2,30	-3,12
2	—	0,85	0,86	0,87	0,88	0,81	0,76	0,70	0,63	0,46	0,28	0,09	-0,27	-0,68	-1,10	-1,93	-2,78
25	—	—	1,07	1,08	1,08	1,07	1,01	0,96	0,88	0,75	0,57	0,39	0,05	-0,35	-0,75	-1,60	-2,45
3	—	—	1,28	1,30	1,31	1,32	1,26	1,2	1,13	1,00	0,87	0,69	0,35	-0,02	-0,40	-1,25	-2,20
4	—	—	—	1,72	1,73	1,74	1,77	1,71	1,64	1,51	1,39	1,25	0,92	0,57	0,22	-0,54	-1,36
5	—	—	—	2,14	2,15	2,16	2,17	2,22	2,18	2,07	1,91	1,77	1,55	1,16	0,80	0,10	-0,70

3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задача 3.1 Рассчитать длину заготовки с гибкой по радиусу (рис. 6)

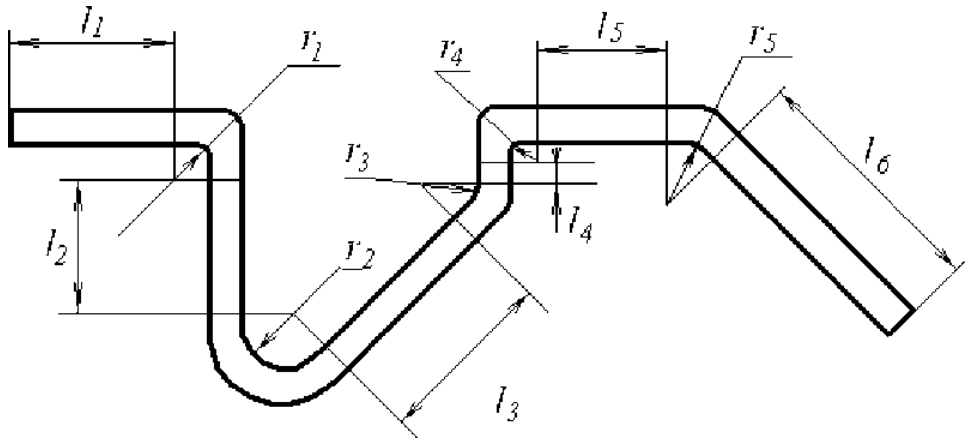


Рис. 6 - Заготовка с гибкой по радиусу

Таблица 5 - Данные к рисунку 6

Данные	Варианты*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S,мм	2	4	5	6	8	10	12	15	18	20
l_1 , мм	30	40	20	50	20	35	40	70	60	45
l_2; мм	30	50	55	20	40	40	35	60	30	30
l_3, мм	30	50	20	40	30	65	60	25	40	55
l_4, мм	60	50	40	60	60	60	30	45	55	60
l_5, мм	20	30	40	50	40	20	55	30	20	70
l_6, мм	30	40	30	60	35	15	20	30	40	15
r_1 , мм	4	2	10	6	10	7	20	10	40	40
α_1, град	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
r_2, мм	3	6	5	8	8	4	15	15	60	20
α_2, град	45	50	60	50	70	65	55	75	70	45
$r_з$, мм	6	4	3	4	6	10	10	20	10	10
α_3, град	135	130	120	130	110	115	125	105	110	135
r_4, ММ	4	8	10	2	10	5	20	30	20	15
α_4, град	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
r_5, мм	6	10	6	6	4	8	30	40	30	30
α_5, град	130	120	110	115	125	105	110	135	120	130

Задача 3.2 Рассчитать длину заготовки с гибкой без закругления (рис. 7)

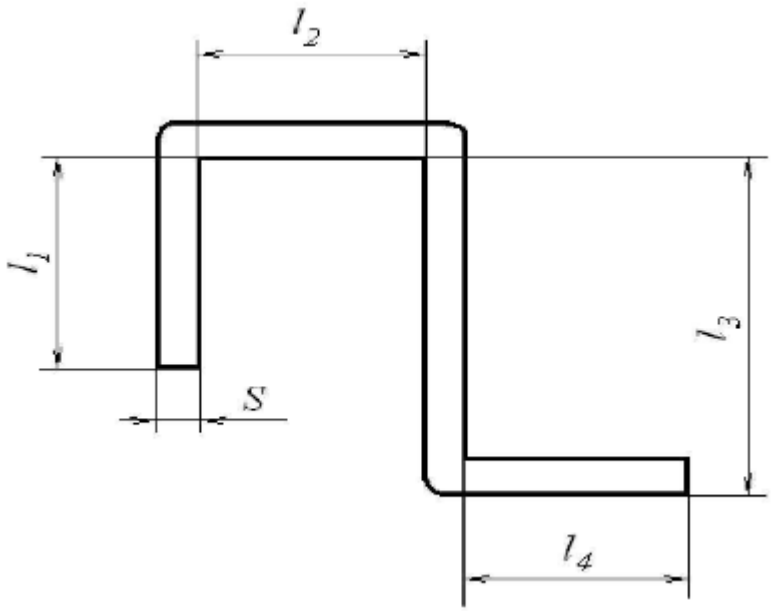


Рис. 7 - Заготовка с гибкой без закругления

Таблица 6 - Данные к рисунку 7

Данные в мм	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
l_1 , мм	20	35	40	70	60	45	30	40	20	50
l_2; мм	40	40	35	60	30	30	30	50	55	20
l_3, мм	30	65	60	25	40	55	30	50	20	40
l_4, мм	60	60	30	45	55	60	60	50	40	60
Радиус пуансона	0,02	0,06	0,04	0.1	0,075	0,2	0,125	0.3	0,175	0,4

Рассчитать длину заготовки шарнирной петли (рис. 8)

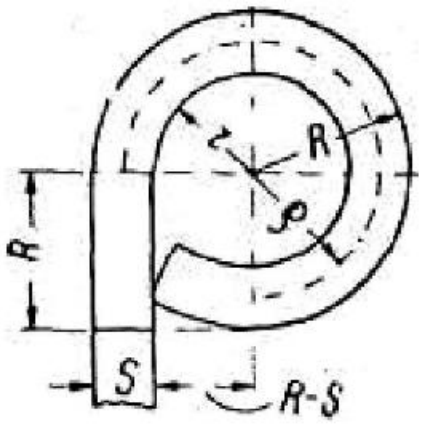


Рис.8 Петля шарнирная

Таблица 7 - Данные к рисунку 8

Данные в мм	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R	1,2	1,2	1,8	1,9	3	4,3	6,4	5,3	7,8	12,8
S	0,4	0,6	1	1,2	1,5	1,8	2	2,4	3	4

Рассчитать длину заготовки по упрощенному способу (рис. 5)

Таблица 8 - Данные к рисунку 5

Данные в мм	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	50	62	40	60	15	80	70	75	30	70
B	30	62	40	30	25	40	70	25	55	90
r	0,2	0,4	1	1,5	2	3	4	5	8	10
S	0,4	0,5	0,8	1	2	1,5	2,5	3	4	5

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите процессы, происходящие в металле при гибке листового материала.
2. Дайте характеристику нейтрального слоя.

3. Какие существуют способы гибки в штампах?
4. Определение размеров заготовки при гибке с закруглением.
5. Определение размеров заготовки при гибке под углом без закругления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.А. Технологическое обеспечение качества: практикум / В.А. Макаров, О.Г. Драгина, М.И. Седых, П.С. Белов. – М. – Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 102 с.

2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение–1, 2003 г. 912 с., ил .

3. Еригорьев, Л.Л. Холодная штамповка [Электронный ресурс]: справочное издание/ Еригорьев Л.Л., Иванов К.М., Юргенсон Э.Е., ред. Еригорьев Л.Л.— Электрон, текстовые данные.— СПб.: Политехника, 2011.— 665 с.