Энгельсский технологический институт

Д. А. Тихонов

ВЫТЯЖКА ДЕТАЛЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Энгельс 2025 г.

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

ВЫТЯЖКА ДЕТАЛЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Методические указания

к выполнению практических занятий по дисциплине
« Технология холодной штамповки и прессования»
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» профиль подготовки «Технология машиностроения»

очной и заочной форм обучения

Электронное издание сетевого и локального распространения

Энгельс 2023

Цель работы – изучение технологических особенностей операций холодной вытяжки деталей типа тел вращения и расчет их основных технологических параметров.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Вытяжкой называется технологический процесс образования полой детали или заготовки из плоской исходной заготовки (Гост 18970 – 84). Вытяжкой можно изготавливать детали из листового материала толщиной от 0,02 мм до 30 мм и длиной от десятых долей мм до нескольких метров.. Различают вытяжку без утонения стенок и с утонением, прямую и обратную. Правильное определение размеров и формы плоской заготовки для вытяжки полых деталей позволяет наиболее полно использовать вытяжки и уменьшить размеры используемого листового материала. При вытяжке часто встречаются детали, представляющие тела вращения. Расчет формы и размеров плоской заготовки для них требует особого способа расчета.

Заготовка для деталей этого типа представляют собой круг. Размер диаметра плоской заготовки для этой группы деталей исходя из равенства площади поверхности, обьема или веса заготовки и вытягиваемой детали. Расчет по равенству площади поверхности применяется при вытяжке для деталей со стенками одинаковой толщины, т е без принудительного утонения стенок. При этом диаметр заготовки рассчитывается по формуле

$$D = \sqrt{4 \sum M / \pi} \qquad (1)$$

$\sum M$ - сумма элементарных поверхностей, составляющих вытягиваемую деталь.

Расчет площадей элементарных поверхностей производится по формулам, приведенным в приложении 1.

Если вытягиваемая деталь имеет сложную форму, то для ее расчета используется правило Гюльдена, по которому поверхность тела вращения, описываемого плоской кривой при вращении около ее оси, лежащей в

плоскости этой кривой и не пересекающей ее, равна произведению длины кривой на длину окружности, описываемой при этом центром тяжести кривой

$$M = 2 \pi L X \qquad (2)$$

L -длина образующей вытягиваемой детали;

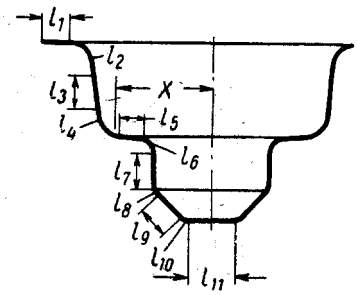
X - расстояние от оси детали до центра тяжести образующей.

Диаметр заготовки определяется по формуле

$$D = 8 \sqrt{L X} \qquad (3)$$

Порядок расчета диаметра плоской заготовки на основе приведенного правила Гюльдена следующий:

1. Вычерчивается в масштабе 2:1, 5:1 или 10:1 расчетная линия контура вытягиваемой детали и ее разбивка на отдельные элементарные участки – отрезки прямых линий или части окружности (рис 1)



.Рис 1 Расчетный контур детали

2. Определяется длина элементарных участков и положение центра их тяжести. Для отрезков прямой центр тяжести находится посредине. Для отрезков, являющихся частью окружности, положение центра тяжести приведено в таблице 1

Таблица 1

Положение центра тяжести отрезка дуги

Центральный угол дуги α в градусах	Расстояние *A* до вертикальной оси *y'y* для углов, примыкающих к вертикали	Расстояние *A* до вертикальной оси *y'y* для углов, примыкающих к горизонтали	Расстояние от центра тяжести дуги до центра закругления
30	0,256*R*	0,955*R*	0,988*R*
45	0,373*R*	0,901*R*	0,978*R*
60	0,473*R*	0,827*R*	0,955*R*
90	0,637*R*	0,637*R*	0,90*R*

3.Умножается длина каждого элементарного участка на расстояние его центра тяжести от оси вращения – радиус центра тяжести. Радиус центра тяжести дуги выпуклых закруглений определяется выражением x = B+A , а для вогнутых закруглений x = B - A, где B – расстояние от оси детали до центра закругления.

4.Определяется произведение l_i x_i для каждого участка и заносится в расчетную таблицу, подсчитывается их сумма

$$LX = l_1x_1 + l_2x_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots \; l_nx_n \qquad (4)$$

5.Определяется диаметр исходной заготовки по формуле (3)

Расчет числа операций вытяжки при превращении плоской заготовки в пространственную деталь – одна из наиболее ответственных задач, решаемых при разработке технологического процесса вытяжки. От правильности решения этой задачи зависит трудоемкость изготовления детали. Рассмотрим несколько типовых случаев.

1 ВЫТЯЖКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ ФЛАНЦА

Общий коэффициент вытяжки определяется выражением

$$m = d / D \qquad (5)$$

d - наружный диаметр вытягиваемой детали;

D - диаметр плоской заготовки.

При вытяжке деталей за несколько операций необходимо установить коэффициент вытяжки для каждой отдельной операции, исходя из того, что произведение коэффициентов вытяжки на всех операциях должно быть равно итоговому (общему) коэффициенту вытяжки

$$m_o = m_1\, m_2 \ldots\ldots m_n \qquad (6)$$

Где $m_1 = d_1/D$ – коэффициент вытяжки первой операции

$m_2 = d_2/d_1$ - коэффициент вытяжки второй операции, d_2 - диаметр полуфабриката после второй операции вытяжки.

Рекомендуемые значения коэффициентов вытяжки на первой и последующих операциях приведены в приложении 2.

Высота полуфабриката для первой вытяжки определяется из выражения

$$H_1 = 0.25 \left(\frac{D}{m_1} - d \right) = 0.43 \frac{r_1}{d_1} \left(d_1 + 0.32\, r_1 \right) \qquad (7)$$

r_1- радиус сопряжения дна и стенки.

У полуфабриката после 1-ой вытяжки значение радиуса сопряжения стенок и дна принимается равным

$$r_1 = 0.5\, r_m \qquad (8)$$

r_m- радиус закругления кромки матрицы.

На последующих операциях вытяжки значение радиуса постепенно уменьшается до указанных на чертеже, но не более r_i = 0,25 диаметра пуансона. Промежуточные значения радиуса можно принять из выражения

$$r_i = \frac{d_{i-2} - d_{i-1} - s}{2} \qquad (9)$$

Для любой промежуточной вытяжки высота полуфабриката определяется выражением

$$Hi = 0.25 \left(\frac{D}{m_1\, m_2\, m_i} - d_i \right) + 0.43 \frac{r_i}{d_i} \left(d_i + 0.32\, r_i \right) \qquad (10)$$

2. ВЫТЯЖКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦАМИ

При малом размере фланца (Dфл / d = 1,1 –1,2) число вытяжных операций и размеры вытяжки полуфабрикатов рассчитываются аналогично вытяжке цилиндрических деталей без фланца. Для деталей с широкими фланцами максимально допустимое отношение для первой вытяжки приведено в таблице приложения 3. Детали, у которых отношение больше приведенных в указанной таблице вытягиваются за несколько операций. Число операций вытяжки для этого случая приведено в таблице 4 приложения 3. При этом коэффициент вытяжки на первой операции необходимо брать по таблице 5 приложения 3, а для второй и последующих операций – по таблице 6 данного приложения.

Высота вытяжки после первой операции рассчитывается по формуле

$$H_1 = 0.25 \left(\frac{D}{m_1} - \frac{D^2_{фл}}{d_1} + 3.44\, r_1 \right) \qquad (11)$$

Высота h_i для любой из последующих вытяжек находится из выражения

$$H_1 = 0.25 \left(\frac{D}{m_1\, m_2\, m_i} - \frac{D^2_{фл}}{d_1} + 3.44\, r_1 \right) \qquad (12)$$

Величина радиусов r_i определяется по аналогичным формулам (8) и (9)

3. ВЫТЯЖКА СТУПЕНЧАТЫХ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ

Примеры ступенчатых деталей типа тел вращения приведены на рис 3

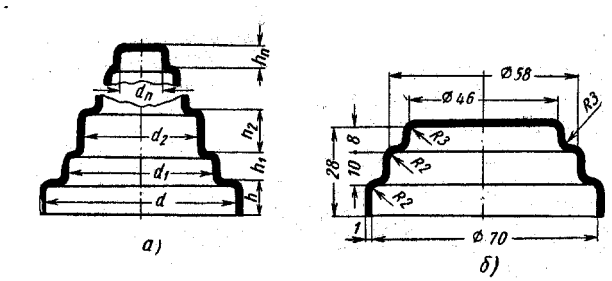


Рис 3 Ступенчатые полые детали

Возможность вытяжки за одну операцию устанавливается путем сопоставления значений коэффициента вытяжки для первой операции простой цилиндрической детали без фланца и условного коэффициента вытяжки, вычисляемого по формуле

$$m_y = \frac{k_1 d_1/D^1 + k_2 d_2/D_2 + \ldots\ldots + k_n d_n/D}{k_1 + k_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + k_n} \qquad (13)$$

D - диаметр плоской заготовки;

d_1,d2,d_n - диаметры ступеней вытягиваемой детали;

k1,k2,k3 - коэффициенты пропорциональности, выражающие отношение высот соответствующих ступеней

$k_1=h_1/h_2$ $k_2 = h_2/h_3$ $k_{n-1} = h_{n-1}/ h_n$ $k_n = 1$

Если вытянуть деталь за одну операцию нельзя, то общее число вытяжных операций определяется исходя из отношения наименьшего диаметра вытягиваемой ступенчатой детали к начальному диаметру заготовки.

Размеры и форму промежуточных вытяжек определяется с учетом следующих факторов

1.Вначале вытягиваются ступени больших диаметров, а затем меньших, постепенно увеличивая их высоту.

2. Независимо от формы вытягиваемой детали обьем вытягиваемого металла на всех операциях должен быть равен обьму металла окончательно оформленной детали.

3. Если штампуемая деталь имеет допуски по 7-8 квалитету. То кроме вытяжки необходима еще дополнительная операция калибровки соответствующих поверхностей на специальных калибрующих штампах.

4. ВЫТЯЖКА КОНИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

К этой группе деталей относятся конические детали с малой высотой. Существует 2 способа вытяжки деталей подобного типа:

- способ последовательных цилиндров;
- способ параллельных конусов.

В первом случае вытягивается цилиндрический колпачок, диаметр которого примерно соответствует диаметру основания конуса детали, а затем уже за несколько операций вытягивают ступенчатый колпачок, профиль которого вписан в контур готовой детали. И, наконец, в калибрующем штампе разглаживаются ступени, т.е придается детали окончательная форма. Недостаток способа – толщина стенки по высоте детали неодинакова, деталь имеет разностенность и искривленность образующей.

При втором способе промежуточные вытяжки имеют форму конуса и цилиндра, причем на каждой последующей операции поверхность конуса увеличивается за счет сокращения поверхности цилиндра, вплоть до образования полного конуса. Число для получения полой конической детали определяется следующим образом.

1) Коническая поверхность произвольно разбивается на несколько ступеней (обычно 3-5), вписывающихся в контур конуса и определяются размеры диаметра и высота каждой полученной ступени (для упрощения расчетов можно разбить на ступени одинаковой высоты).

2) определяется условный коэффициент вытяжки по формуле (13) для ступенчатых цилиндрических деталей.

3) Численная величина $m_{ус}$ сравнивается с коэффициентом вытяжки для данного материала (табл . Если значения коэффициента $m_{ус} < m_1$, то устанавливается количество операций вытяжки из соотношения

$$m_0 = m_1\ m_2\ m_3 \quad m_n$$

где m_1 – коэффициент вытяжки первой операции;

m_2,m_3 и т.д. – коэффициенты вытяжки второй и последующих операций.

Радиус перехода от дна к стенке принимается равным $r = 8\ s$. Диаметр плоской части дна предыдущей заготовки должен превышать диаметр такой же последующей заготовки. Радиус перехода от дна к стенке на предпоследней вытяжке должен быть равен радиусу готовой детали.

Предельная высота конической детали, получаемой вытяжкой, может быть рассчитана по формуле:

$$H < 0.5 \frac{\sigma_b \quad d_д}{\sigma_T \quad tg\,(\alpha + \mu)}$$

$d_д$ - диаметр дна детали;

α - угол наклона стенки детали;

β - коэффициент внешнего трения детали о стенку матрицы ($\mu = 0{,}1 – 0{,}15$)

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.Получить задание на выполнение работы.

2. Рассчитать размеры плоской заготовки

3. Определить количество операций вытяжки.
4. Определить форму и размеры полуфабриката для каждой операции вытяжки.
5. Оформить операционные эскизы.
6. Рассчитать усилия вытяжки на одну из операций
7. Составить отчет по работе

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1.Цель работы.

2.Эскиз детали и исходные данные для расчета

3. Технологические расчеты размеров заготовки и полуфабрикатов на каждой операции.

4.Операционные эскизы на все операции вытяжки.

5.Расчет усилий на одну из операций.

6.Выводы по работе.

4 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое коэффициент вытяжки и какие факторы определяют его величину?

2. Чем определяется количество операций вытяжки?

3.Чем отличается технологический процесс вытяжки цилиндрических деталей с фланцами?

4. Какие существуют способы вытяжки конических поверхностей? Их преимущества и недостатки.

5.Основные расчетные соотношения при вытяжке цилиндрических поверхностей?

6.Как определить количество операций вытяжки конических поверхностей?

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки,- М.-Машиностроение.-1993.-204 с.

2. Малов А.Н. Технология холодной штамповки. - М.-Машиностроение .- 1986.-654 с.

Относительная глубина первой вытяжки $\frac{h_1}{d_1}$ для цилиндрических деталей с фланцем (по данным В. П. Романовского)

Относительный диаметр фланца $\frac{D_{фл}}{d}$	Относительная толщина заготовки $\frac{S}{D}100$				
	2—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,1
До 1,1	0,90—0,75	0,82—0,65	0,70—0,57	0,62—0,50	0,50—0,45
1,3	0,80—0,65	0,72—0,56	0,60—0,50	0,53—0,45	0,47—0,40
1,5	0,70—0,58	0,63—0,50	0,53—0,45	0,48—0,40	0,42—0,35
1,8	0,58—0,48	0,53—0,42	0,44—0,37	0,39—0,34	0,35—0,29
2,0	0,51—0,42	0,46—0,36	0,38—0,32	0,34—0,29	0,30—0,25
2,2	0,45—0,35	0,40—0,31	0,33—0,27	0,29—0,25	0,26—0,22
2,5	0,35—0,28	0,32—0,25	0,27—0,22	0,23—0,20	0,21—0,17
2,8	0,27—0,22	0,24—0,19	0,21—0,17	0,18—0,15	0,16—0,13
3,0	0,22—0,18	0,20—0,16	0,17—0,14	0,15—0,12	0,13—0,10

Примечание. Бо́льшие значения соответствуют увеличенным радиусам закругления (от r $(10 \div 12)\,S$ для $\frac{S}{D}100 = 2 \div 1{,}5$ до $r = (20 \div 25)\,S$ для $\frac{S}{D}100 = 0{,}2 \div 0{,}06$ при уменьшении r до $r \leqslant 0{,}5\,h$ по мере увеличения диаметра фланца и уменьшения относительной глубины вытяжки). Меньшие значения соответствуют уменьшенным радиусам закруглений у дна и фланца $[r \approx (4 \div 8)\,S]$.

Таблица

Зависимость числа операции вытяжки от размеров детали с фланцем

$\frac{D_{фл}}{d}$	$\frac{h_1}{d_1}$		
	0,5	1,0	2,0
1,5	1	2	3
2	2	3	4
3	3	4	5

Таблица

Коэффициент последующих вытяжек для цилиндрических деталей с фланцем (по данным В. П. Романовского)

Коэффициент вытяжки	Относительная толщина заготовки $\frac{S}{D}100$				
	2,0—1,5	1,5—1,0	1,0—0,6	0,6—0,3	0,3—0,15
m_2	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80
m_3	0,75	0,78	0,79	0,80	0,82
m_4	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84
m_5	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86

Коэффициенты вытяжки m_1 и m_2 для цилиндрических деталей без фланца, вытягиваемых в инструментальных штампах при комнатной температуре

Материал детали	Операции вытяжки	
	Первая	Последующие
Алюминий АДМ, АД1М и сплавы АМцМ	0,52—0,55	0,70—0,75
Дуралюмин Д16М и Д1М	0,56—0,58	0,75—0,8
Ковар	0,65—0,67	0,85—0,9
Латунь:		
Л62	0,52—0,54	0,70—0,72
Л68	0,50—0,52	0,68—0,72
Медь	0,50—0,55	0,72—0,80
Никель	0,48—0,53	0,70—0,75
Ниобий	0,65—0,67	0,84—0,87
Сталь:		
декапированная	0,54—0,58	0,75—0,78
08 холоднокатаная для глубокой вытяжки	0,52—0,56	0,75—0,78
1Х13 (ЭЖ1)	0,56—0,58	0,75—0,78
1Х18Н9 (ЭЯ)	0,50—0,52	0,70—0,75
1Х18Н9Т	0,52—0,55	0,78—0,81
ЭИ401 (ЭЯ1Мо)	0,51—0,54	0,77—0,8
Х18Н11Б, Х23Н18 (ЭИ147); Х20Н80Т	0,52—0,55	0,78—0,8
30ХГСА (ЭИ179)	0,62—0,7	0,80—0,84
Тантал	0,65—0,67	0,84—0,87
Титановые сплавы:		
ВТ1 (без подогрева)	0,58—0,6	0,80—0,85
ВТ5 (без подогрева)	0,60—0,65	0,80—0,85
Цинк	0,65—0,7	0,85—0,9

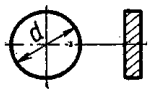
Примечания: 1. При вытяжке с подогревом коэффициенты вытяжки на первой операции m_1 принимаются следующие: 0,4 для алюминия АМ и АМц; 0,37 для дуралюмина Д16М и Д1М; 0,32—0,36 для магниевых сплавов МА1 и МА8; 0,4—0,45 для титановых сплавов ВТ1 и ВТ5 (о температурах подогрева см. стр. 214).

2. Меньшим значениям коэффициентов вытяжки соответствуют повышенная величина радиусов $r_м \geqslant (7 \div 8)\,S$ закругления рабочей кромки матрицы, а бо́льшим — малая величина радиусов закругления на матрице ($r_м < 6S$).

3. Меньшие значения коэффициентов вытяжки для $\frac{S}{D}100 = 0{,}62 \div 2{,}0$, а большие для 0,1—0,6.

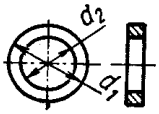
Поверхности простых геометрических форм

Круг



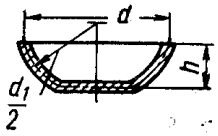
$$M = \frac{\pi}{4} d^2$$

Кольцо



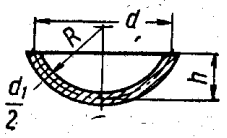
$$M = \frac{\pi}{4}(d_1^2 - d_2^2)$$

Шаровой сегмент



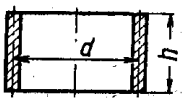
$$M = \pi d_1 h = 2\pi R h = \frac{\pi}{4}(d^2 + 4h^2)$$

Шаровой пояс



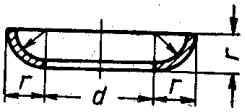
$$M = \pi d_1 h$$

Цилиндр



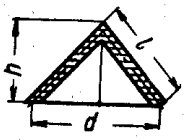
$$M = \pi d h$$

Четверть сферического кольца (выпуклая)



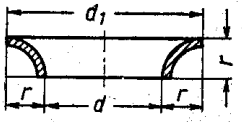
$$M = \frac{\pi}{4}(2\pi d r + 8r^2)$$

Конус



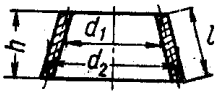
$$M = \frac{\pi}{4} d\sqrt{d^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2} d l$$

Четверть сферического кольца (вогнутая)



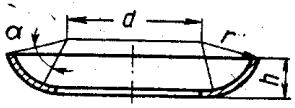
$$M = \frac{\pi}{4}(2\pi d_1 r - 8r^2) = \frac{\pi}{2}(\pi d r + 2{,}28r^2)$$

Усеченный конус



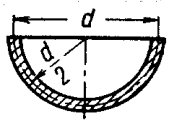
$$M = \frac{\pi}{4}(d_2^2 + d_1^2)\sqrt{(d_2 - d_1)^2 + 4h^2} = \frac{\pi}{2}(d_2 + d_1) l$$

Часть выпуклого сферического кольца



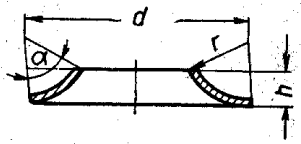
$$M = \pi\left(\frac{\pi r \alpha}{180} d + 2rh\right)$$

Полушарие



$$M = \frac{\pi d^2}{2}$$

Часть вогнутого сферического кольца



$$M = \pi\left(\frac{\pi r \alpha}{180} d - 2rh\right)$$