

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЕЙ КОНСТРУИРОВАНИЯ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

Кондратьев В.И.

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург*

Ключевые слова: штамповка, проектирование, оптимизация, раскрой, методика, САПР, программа, модуль, заготовка, геометрия, радиус, технология, параметры, деталь, переход, расчет, размер, объем.

Аннотация. Тема работы посвящена совершенствованию проектирования технологии изготовления вытянутых коробчатых деталей способами листовой штамповки. Предложены точные формулы для расчета параметров заготовки и переходов для вытяжки деталей типа вытянутая коробка, решена задача раскроя листового материала на заготовки и разработан программный модуль формирования карты эскизов и карты раскроя, который включен в состав САПР.

WORKING OUT OF ALGORITHMS AND PROGRAM MODULES OF DESIGNING OF BOX-SHAPED DETAILS

Kondratyev V.I.

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin,
Ekaterinburg*

Keywords: punching, designing, optimisation, open, a technique, CAD, the program, the module, preparation, geometry, radius, technology, parametres, a detail, transition, calculation, the size, volume.

Abstract. The work theme is devoted perfection of designing of manufacturing techniques of the extended box-shaped details by ways of sheet punching. Exact formulas for calculation of parametres of preparation and transitions for an extract of details of type the extended box are offered, the problem opening a sheet material on preparations is solved and the program module of formation of a card of sketches and a card opening, which is included in structure SAPR is developed.

Процесс листовой штамповки относится к одному из широко используемых в машиностроении. Для него характерна высокая динамика развития, связанная с необходимостью постоянного освоения производства все новых видов деталей и способов их изготовления. Поэтому для многих процессов отсутствуют методики или существуют пробелы в методиках расчета технологических параметров [1-4].

Кроме того, расчет ряда технологических параметров требует выполнения весьма значительных вычислений. Например, при вытяжке деталей, когда требуется определять изменяющуюся геометрию детали по переходам при условии сохранения постоянства объема и при расчете размеров заготовки, а также при решении задач раскроя листового металла на заготовки. В литературе зачастую приводятся приближенные формулы для расчетов вручную.

Совершенствование проектных работ требует разработки методов проектирования на основе точных зависимостей для расчета параметров технологии, что возможно на базе применения вычислительной техники.

Поэтому в Уральском федеральном университете на кафедре "Информационные технологии и автоматизация проектирования" ведутся работы по созданию алгоритмов и программных модулей для расчета технологических параметров при различных процессах листовой штамповки. В свою очередь программные модули объединяются в САПР листовой штамповки.

В предлагаемой работе рассматривается процесс вытяжки коробчатой детали с двумя углами (рис. 1).

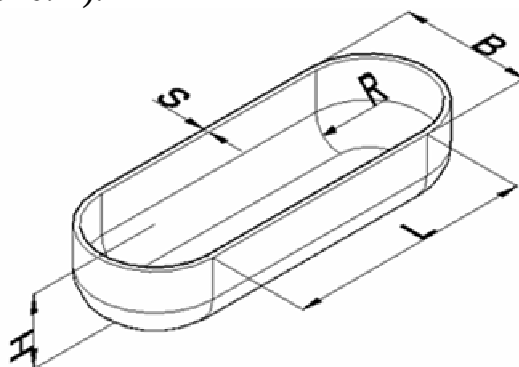


Рис. 1. Коробка без фланца

Для расчета параметров заготовки получены следующие зависимости.

Во-первых, принята следующая модель формоизменения [4]:

- в углах вытяжка происходит идентично вытяжке круглого стакана;
- боковые стенки деформируются способом гибки.

Для вычисления объема стакана из условия постоянства объема получена формула

$$V_{cm} = \pi \cdot \left\{ \left(\frac{B}{2} - s - R \right)^2 \cdot s + \frac{2}{3} \cdot [(R + s)^3 - R^3] + \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{B}{2} - s - R \right) \cdot [(R + s)^2 - R^2] \right\} + \pi \cdot s \cdot (H - R - s) \cdot (B - s). \quad (1)$$

Объем участка коробки в зоне гибки вычисляется по следующим зависимостям:

$$V_{гиб} = 2 \cdot s \cdot L \cdot (H - R - s) + s \cdot L \cdot [B - 2 \cdot (R + s)] + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot L \cdot s \cdot (2 \cdot R + s). \quad (2)$$

Эти зависимости легли в основу расчета параметров заготовки (рис. 2).

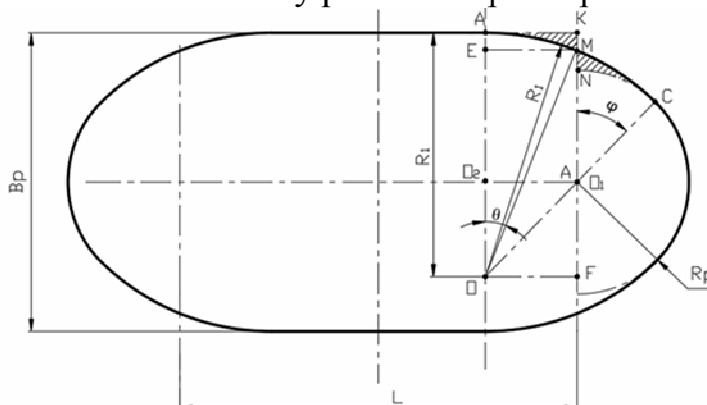


Рис. 2. Развертка коробки

Размеры заготовки определяются из условия того, что в зонах скруглений заготовка подвергается вытяжке, соответствующей схеме вытяжки цилиндра

диаметром равным ширине коробки B , а ширина заготовки определяется из условия того, что боковая стенка коробки подвергается изгибу.

Таким образом, получаем: выражение для радиуса заготовки R_p

$$R_p = \sqrt{\frac{V_{cm}}{\pi s}},$$

выражение для ширины заготовки

$$B_p = B + 2H - 4(s + R) + \pi\left(R + \frac{s}{2}\right).$$

В последнем выражении длина скругленных участков определяется по среднему радиусу скругления. Выражение для определения угла φ получается из условия равенства заштрихованных сегментов: $S_{akm} = S_{mnc}$, что обеспечивает условие постоянства объема заготовки. В итоге значение φ определяется из решения системы уравнений:

$$R_1 \cdot (R_1 - R_p) \cdot \sin \varphi - \frac{1}{2} \cdot \varphi \cdot (R_1^2 - R_p^2) - \frac{1}{2} (R_1 - R_p)^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi = 0,$$

$$R_1 = \frac{\left(\frac{B_p}{2} - R_p \cdot \cos \varphi\right)}{(1 - \cos \varphi)}.$$
(3)

Диапазон изменения угла φ :

$$\varphi < \pi/2; \sin \varphi < \frac{L}{2 \cdot (R_1 - R_p)}.$$

Решение задачи раскроя листового металла на заготовки решается следующим образом.

Вписывается развертка коробки в заготовку прямоугольной формы с учетом перемычек, необходимых для вырубki развертки в штампе.

Таким образом, если ширина и длина развертки равны соответственно B_p и $(L + 2 \cdot R_p)$, то размеры прямоугольной заготовки равны $B_p + 2 \cdot a$ - ширина и $L + 2 \cdot (R_p + a)$ - длина.

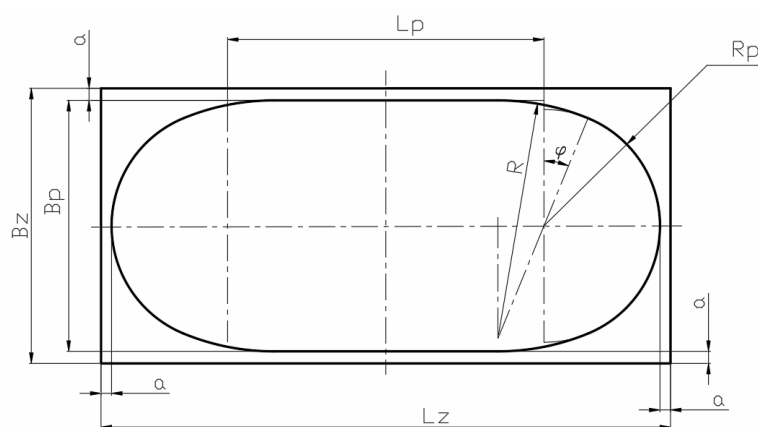


Рис. 3. Заготовка для раскроя

Сортаменты листов выбираются согласно ГОСТ 19904-90

Для решения этой задачи применяется метод динамического программирования.

Исходные данные: B – ширина листа; L – длина листа; B_z – ширина заготовки; L_z – длина заготовки.

Требуется определить оптимальное число заготовок, которые можно разместить вдоль ширины листа [6,7].

Решение

А. Определяется число шагов итерации: $n = 2$.

Б. Рассчитывается максимальное число заготовок размером L_z , уместяющихся вдоль ширины листа: $q = \text{int} \frac{B}{L_z}$.

С. Рассчитывается максимальное число заготовок размером B_z , уместяющихся вдоль ширины листа: $m = \text{int} \frac{B}{B_z}$.

Д. Определяется длина остатка листа после размещения m заготовок вдоль ширины листа: $DLT = B - m \cdot B_z$.

Е. Определяется значение функции цели на этапе 1, которая имеет вид:

$$f_{1i} = \max_{k_{1i}} \{B_z \cdot k_{1i}\}, \text{ где } \max\{k_{1i}\} = m; k_{1i} = (i = 1, 2, 3, \dots, m).$$

Ж. Определяются значения $x_{1i} = (DLT + 0 \cdot B_z, DLT + 1 \cdot B_z, \dots, DLT + m \cdot B_z)$.

Помещаются в таблицу сравниваемые допустимые решения для каждого значения x_{1i} .

Табл. 1.

x_{1i}	$B_z \cdot k_{1i}$				Оптимальное решение	
	$k_{10} = 0$	$k_{11} = 1$	.....	$k_{1m} = m$	$f_1(x_1)$	k'_1
$DLT + 0 \cdot B_z$	0	–	–	–	0	0
$DLT + 1 \cdot B_z$	0	B_z	–	–	$1 \cdot B_z$	1
.....	.....	.....	.....	.....	.....	2
$DLT + i \cdot B_z$	.....	.....	.....	.....	$i \cdot B_z$	.....
.....						
$DLT + m \cdot B_z$	0	$1 \cdot B_z$	$i \cdot B_z$	$m \cdot B_z$	$m \cdot B_z$	m

З. Определяется значения функции цели на этапе 2, которая имеет вид:

$$f_2(x_{2i}) = \max \{L_z \cdot k_{2\gamma} + f_1(x_{2i} - L_z \cdot k_{2\gamma})\},$$

$$k_{2\gamma} = (\gamma = 1, 2, 3, \dots, q).$$

И. Определяются значения $x_{2i} = (DLT + 0 \cdot B_z, DLT + 1 \cdot B_z, \dots, DLT + m \cdot B_z)$.

Помещаются в таблицу 2 сравниваемые допустимые решения для каждого значения x_{2i} .

Здесь

$$i = (0, 1, 2, \dots, m); \gamma = (0, 1, 2, \dots, q);$$

$$F_{i\gamma} = L_z \cdot k_{2\gamma} + \text{int} \left(\frac{DLT + i \cdot B_z - L_z \cdot k_{2\gamma}}{B_z} \right) \cdot B_z,$$

Табл. 2.

x_{2i}	$L_z \cdot k_2 + f_1(x_2 - L_z \cdot k_2)$						Оптимальное решение	
	$k_{20} = 0$	$k_{21} = 1$	.....	$k_{2\gamma} = \gamma$	.....	$k_{2q} = q$	$f_2(x_{2i})$	$k_2^{i\gamma}$
$DLT + 0 \cdot B_z$	0	–	–	–	–	–	0	0
$DLT + 1 \cdot B_z$	F_{10}	–	–	–	–	–	$\max F_{1\gamma}$	$k_2^{1\gamma}$
.....								
.....								
$DLT + i \cdot B_z$	F_{i0}	F_{i1}$	.....	F_{i\gamma}$	.....	F_{iq}	$\max F_{i\gamma}$	$k_2^{i\gamma}$
.....								
.....								
$DLT + m \cdot B_z$	F_{m0}	F_{m1}$	.....	F_{m\gamma}$	.....	F_{mq}	$\max F_{m\gamma}$	$k_2^{m\gamma}$

Одинаково ориентированные заготовки группируются по ширине листа, что позволяет в ряде случаев, когда разность длины листа и суммарной длины заготовок, размещенных вдоль листа больше ширины заготовки, а суммарная ширина этих заготовок больше длины заготовки, разместить дополнительные заготовки.

Из имеющихся листов выбирается лист с наибольшим коэффициентом использования металла.

Для конструирования промежуточных переходов в случае необходимости их применения получены следующие зависимости.

Определяется высота коробки по переходам при условии сохранения объема коробки.

$$V_{кор} - \pi \cdot \left\{ \left(\frac{B_i}{2} - s - R \right)^2 \cdot s + \frac{2}{3} \cdot [(R+s)^3 - R^3] + \frac{\pi}{2} \cdot \left(\frac{B}{2} - s - R \right) \cdot [(R+s)^2 - R^2] \right\} -$$

$$- s \cdot L_i \cdot [B_i - 2 \cdot (R+s)] - \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot L_i \cdot s \cdot (2 \cdot R + s) + \pi \cdot s \cdot (B_i - s) \cdot (R+s) +$$

$$+ 2 \cdot s \cdot L_i \cdot (R+s) = H_i \cdot s \cdot [\pi \cdot (B_i - s) + 2 \cdot L_i]$$

Обозначив левую часть уравнение как А, получаем:

$$H_i = \frac{A}{s \cdot [\pi \cdot (B_i - s) + 2 \cdot L_i]}. \quad (4)$$

Для определения ширины коробки B_i , соответствующей i -му переходу и длины перехода L_i следует воспользоваться коэффициентом вытяжки, применяемым для вытяжки стаканов, соответствующих половинам стаканов в углах коробки. Под фактическим коэффициентом вытяжки на первом переходе понимается отношение диаметра детали к диаметру $\left(\frac{B}{2 \cdot R_p} \right)$ заготовки.

В дальнейшем фактический коэффициент вытяжки определяется как отношение диаметра стакана следующего перехода к предыдущему $m_i = \frac{D_{i+1}}{D_i}$.

Алгоритм построения переходов выглядит следующим образом.

1. Рассчитывается фактический коэффициент вытяжки

$$m_{1f} = \frac{B}{2 \cdot R_p}.$$

2. Определяется по таблице допустимый коэффициент вытяжки m_1 .

3. Если фактический коэффициент вытяжки меньше допустимого ($m_{1f} < m_1$), то требуется дополнительный переход.

4. Определяются размеры перехода $B_1 = 2 \cdot R_p \cdot m_1$, $L_i = L - (B_1 - B)$, высота перехода определяется по (4).

5. Определяется фактический коэффициент вытяжки на следующем переходе

$$m_{2f} = \frac{B}{B_1}.$$

6. Определяется по таблице допустимый коэффициент вытяжки m_2 .

7. Если фактический коэффициент вытяжки больше допустимого ($m_{2f} < m_2$), то больше переходов не требуется.

8. Если фактический коэффициент вытяжки меньше допустимого ($m_{2f} < m_2$), то требуется дополнительный переход.

9. Определяются размеры перехода $B_2 = B_1 \cdot m_2$, $L_2 = L_1 - (B_2 - B)$, высота перехода определяется по (4)

Процесс продолжаем до получения конечных размеров детали.

Полученные зависимости были использованы для создания программного модуля формирования карт эскизов и раскроя, который включен в состав САПР.

Список литературы

1. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1989. – 303с.
2. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. – Ленинград: Машиностроение, 1967. – 504с.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Ленинград: Машиностроение, 1971. – 782с.
4. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1974. – 317с.
5. Тарновский И.Я., Вайсбурд Р.А., Еремеев Г. А. Автоматизация проектирования технологии горячей штамповки. – М: Машиностроение, 1969. – 208с.
6. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. – М.: Наука, 1971. – 298с.
7. Хемди А. Таха. Введение в исследование операций. – Москва, Санкт-Петербург, Киев: Вильямс, 2005. – 891с.

Сведения об авторе:

Кондратьев Владимир Иванович – к.т.н., доцент, УрФУ, г. Екатеринбург.