

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НИЗКИХ КОРОБОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ БЕЗ ФЛАНЦА МЕТОДАМИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Кондратьев В.И.

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

Ключевые слова: листовая штамповка, автоматизация проектирования, коробка сложной формы, разработка алгоритмов, исследование геометрии, соотношение между углами, взаимосвязи длин сторон, конструирование детали, модель деформации, проектирование заготовки, конструирование переходов, постоянство объема, программный модуль.

Аннотация. Процессы листовой штамповки занимают значительное место в машиностроительном производстве. Для них характерно постоянное появление новых видов изделий в связи с совершенствованием конструкций машин. Зачастую это более сложные детали. Поэтому существует потребность в создании технологий изготовления новых деталей. Кроме того, в современных CAD системах отсутствуют совершенные средства проектирования технологий изготовления деталей, изготавливаемых способами вытяжки. Тема работы посвящена разработке технологии проектирования изготовления деталей сложной формы, получаемых способами листовой штамповки. Цель работы обусловлена необходимостью разработки общей методики конструирования коробчатых деталей произвольной формы. Исследованы особенности геометрии детали. Получены соотношения между углами и линейными размерами. Разработаны методики конструирования заготовки и переходов. Для исследования использованы методы математического моделирования. На основе полученных зависимостей разработаны алгоритмы и программный модуль проектирования детали сложной формы.

WORKING OUT OF ALGORITHMS AND THE PROGRAM MODULE OF DESIGNING OF MANUFACTURING TECHNIQUES OF LOW BOXES OF THE DIFFICULT FORM WITHOUT THE FLANGE METHODS SHEET PUNCHING

Kondratyev V.I.

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

Keywords: sheet punching, designing automation, box of the difficult form, working out of algorithms, geometry research, parity between corners, interrelations of lengths of the parties, detail designing, model of deformation, preparation designing, designing of transitions, volume constancy, program module.

Abstract. Processes sheet punching occupy an important place in machine-building manufacture. For them constant occurrence of new kinds of products in communication with perfection of designs of cars is characteristic. Frequently it more difficult details. Therefore there is a requirement for creation of manufacturing techniques of new details. Besides, in modern CAD systems there are no perfect design tools of manufacturing techniques of the details made in the ways of an sheet extract. The work theme is devoted working out of technology of designing of manufacturing of details of the difficult form received in the ways of sheet punching. The work purpose is caused by necessity of working out of the general technique designing box-shaped details of any form. Features of geometry of a detail are investigated. Parities between corners and the linear sizes are received. Techniques of designing of preparation and transitions are developed. For research methods of mathematical modeling are used. On the basis of the received dependences algorithms and the program module of designing of a detail of the difficult form are developed.

Введение

Процессы листовой штамповки занимают значительное место в машиностроении. Для них характерно постоянное появление новых видов деталей, зачастую с более сложной формой, что ведет к усложнению проектирования технологического процесса. Одним из важнейших направлений повышения производительности и качества проектно-технологических работ является применение вычислительной техники и программных средств. Решение этой задачи связано с разработкой алгоритмов для разработки

программных средств. Следует отметить, что известные САД системы не содержат совершенных средств проектирования технологии листовой штамповки процесса вытяжки. Задача разработки алгоритмов затрудняется тем, что существующие методики рассчитаны для ручного проектирования и являются приближенными или зачастую совсем отсутствуют. В УрФУ имени первого президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина ведутся работы по разработке алгоритмов в аналитической форме и программных модулей для автоматизации проектирования технологии холодной листовой штамповки процесса вытяжки деталей различной формы.

В настоящей работе исследуется процесс вытяжки детали типа коробка сложной формы [1]. В известной литературе [2-11] по технологии вытяжки представлена информация для прямоугольных коробок, ориентированная на ручное проектирование, и нет полной информации для проектирования технологии изготовления коробок сложной формы. В работе получены математические модели конструирования заготовки и проектирования параметров переходов.

Полученные алгоритмы применены для разработки САПР проектирования технологии листовой штамповки.

Методы решения задачи

Для решения поставленной задачи проектирования технологии процесса вытяжки применены методы моделирования. Так, процесс вытяжки рассматриваемой коробки моделируется подобно коробкам прямоугольной формы следующим образом: прямолинейные участки коробки подвергаются деформации гибки, а в скругленных углах часть детали подвергается вытяжке подобно вытяжке стакана цилиндрической формы с диаметром, равным двум радиусам скруглений.

Решение задачи проектирования заготовки решается путем создания плоской модели заготовки, полученной на соответствующих прямолинейных участках детали путем развертывания, а в зоне скруглений с радиусом, равным радиусу круглой заготовки, для вытяжки цилиндрического стакана с радиусом, равным радиусу в углах детали.

Плавный переход у заготовки от прямолинейного участка к круговому реализуется с учетом постоянства объема.

Для решения задачи конструирования переходов получены математические модели для получения параметров переходов с учетом постоянства объема и коэффициента вытяжки

Результаты

Технология изготовления коробки заключается в конструировании самой коробки с учетом припуска на подрезку и, как будет показано в дальнейшем, определения зависимостей между длинами сторон и величинами углов, разработки методики конструирования заготовки и конструирования переходов.

1. Конструирование коробки и определение параметров заготовки

Для решения задач конструирования заготовки и определения параметров переходов коробки сложной формы [1-7] требуется получение зависимостей для расчета объема коробки (рис. 1).

Получены зависимости для расчета объема коробки из условия постоянства объема.

Анализ геометрии рассматриваемой детали (рис. 1) показал, что сумма углов составляет 360° , то есть суммарный объем угловых частей коробки равен объему стакана с радиусом R_2 .

Для расчета объема стакана получена формула:

$$V_{CT} = \pi \left\{ (R_2 - R_1)^2 s + \frac{2}{3} [(R_1 + s)^3 - R_1^3] + \frac{\pi}{2} (R_2 - R_1) [(R_1 + s)^2 - R_1^2] \right\} + \\ + \pi s (H - R_1 - s) (2R_2 + s),$$

где R_1 – внешний радиус скругления заготовки между дном и вертикальной стенкой; R_2 – внешний радиус скругления заготовки между смежными стенками; H – высота коробки; s – толщина стенки коробки.

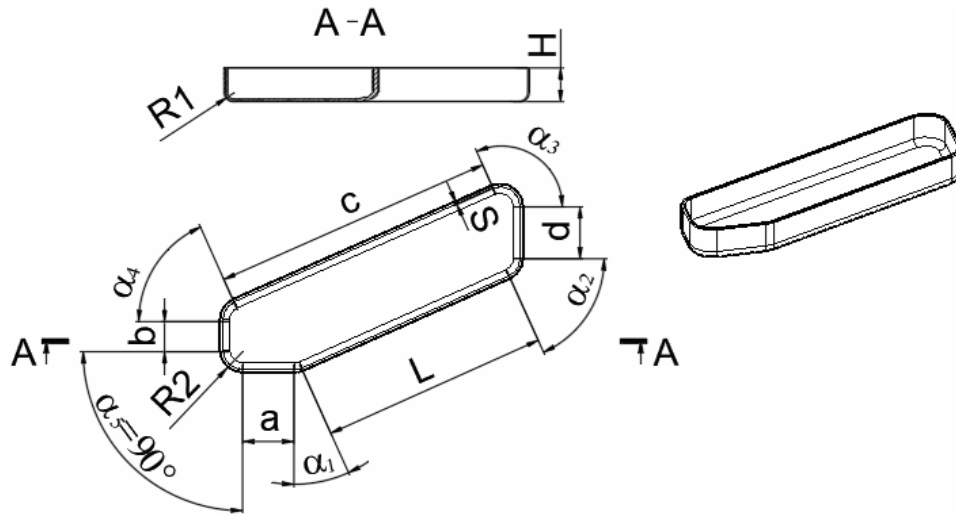


Рис. 1. Схема и модель коробки

Суммарный объем цилиндрических сегментов на участках, примыкающих к донной части коробки:

$$V_{\text{цил}} = \pi[(R_1 + s)^2 - R_1^2] \cdot (a + b + c + d + L) / 4,$$

где a, b, c, d, L – длины прямолинейных участков коробки.

Суммарный объем боковых стенок на участках a, b, c, d, L :

$$V_{\text{бс}} = s(H - R_1 - s) \cdot (a + b + c + d + L).$$

Объем донной части коробки:

$$\begin{aligned} V_{\text{дн}} = & \frac{1}{2} \{ [b + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_4 / 2)] + (R_2 - R_1)] \cdot \{ (R_2 - R_1) + a + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] \} \cdot s + \\ & + \frac{1}{2} \{ [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + d + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2)] \}^2 \cdot \cos(180 - \alpha_3) \cdot \sin(180 - \alpha_3) \cdot s + \frac{FC + DB}{2} \times \\ & \times DF \cdot s + \left[(R_2 - R_1)^2 - \frac{\pi(R_2 - R_1)^2 \cdot \alpha_5}{360^\circ} \right] \cdot s + \left[(R_2 - R_1)^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_4 / 2) - \frac{\pi(R_2 - R_1)^2 \cdot \alpha_4}{360^\circ} \right] \cdot s + \\ & + \left[(R_2 - R_1)^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2) - \frac{\pi(R_2 - R_1)^2 \cdot \alpha_3}{360^\circ} \right] \cdot s + \left[(R_2 - R_1)^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2) - \frac{\pi(R_2 - R_1)^2 \cdot \alpha_2}{360^\circ} \right] \cdot s + \\ & + \left[(R_2 - R_1)^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1 / 2) - \frac{\pi(R_2 - R_1)^2 \cdot \alpha_1}{360^\circ} \right] \cdot s \end{aligned}$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$, – величины углов между смежными стенками коробки;

$$FC = [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_1 / 2)] + L + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2)];$$

$$DB = [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + c +$$

$$+ \{ [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + d + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2)] \cdot \cos(180^\circ - \alpha_3) \} - [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)];$$

$$DF = [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + d + [(R_2 - R_1) \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2)] \cdot \sin(180^\circ - \alpha_3).$$

Объем коробки

$$V_{\text{кор}} = V_{\text{СТ}} + V_{\text{цил}} + V_{\text{бс}} + V_{\text{дн}}.$$

Из геометрии определены соотношения между углами коробки:

$$\alpha_2 = 180 - \alpha_3; \alpha_4 = \alpha_2; \alpha_1 = \alpha_3 - 90.$$

Установлены взаимосвязи между линейными размерами детали

$$\begin{aligned} b = & \{ \{ \{ R_2 \cdot [\operatorname{tg}(\alpha_1 / 2) + \operatorname{tg}(\alpha_2 / 2)] + L \} \cdot \sin(\alpha) \} + \{ \{ R_2 \cdot [\operatorname{tg}(\alpha_2 / 2) + \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + d \} - \\ & - \{ \{ R_2 \cdot [\operatorname{tg}(\alpha_4 / 2) + \operatorname{tg}(\alpha_3 / 2)] + c \} \cdot \sin(\alpha) \} \} \} - [R_2 \cdot [\operatorname{tg}(\alpha_4 / 2 + 1)]] \end{aligned}$$

Для расчета параметров заготовки принята следующая схема деформации.

Так, в зонах прямолинейных участков заготовка подвергается гибке, а в области угловых скруглений реализуется процесс вытяжки стакана с радиусом R_2 . Подобная схема применяется для прямоугольных коробок [2-7]. Здесь для расчета заготовки применяется метод Звороно. Этот метод рассчитан для ручного построения заготовок. В случае применения компьютерных технологий требуется разработка аналитических зависимостей. А для коробок сложной формы требуется разработка методики для различных размеров углов и для различных соотношений между высотами отгибаемой части и радиусами заготовок в зонах скруглений.

Рассмотрим участок с прямым углом (рис. 2).

Здесь R_α радиус заготовки для вытяжки стакана с радиусом R_2 , определяемый по формуле $R_\alpha = \frac{V_{cm}}{\pi \cdot s}$.

Определим R_α , который является минимальным, когда можно применять методику Звороно. Определим его из условия равенства площади сектора ВКА и площади треугольника CBD плюс площадь сектора CLB.

В результате выполненных расчетов получены зависимости

$$R_\alpha = 0,547 \cdot H_p,$$

где H_p – длина развертки боковой стенки коробки.

Область применения методики Звороно

$$0,547 \cdot H_p < R_\alpha < H_p.$$

Получим аналитические зависимости для случая применения методики Звороно (рис. 3).

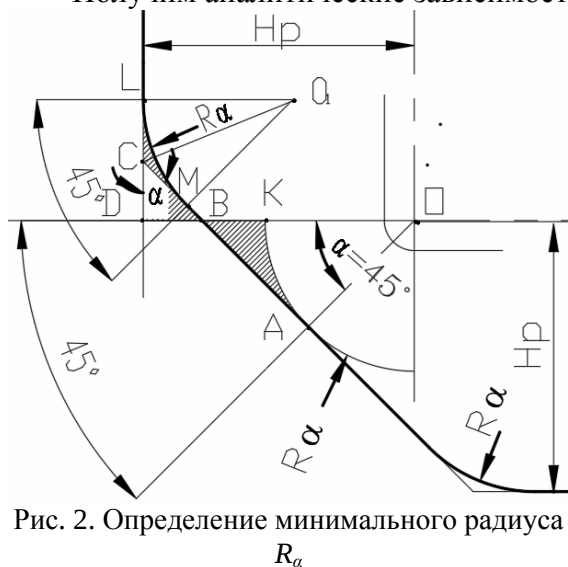


Рис. 2. Определение минимального радиуса R_α

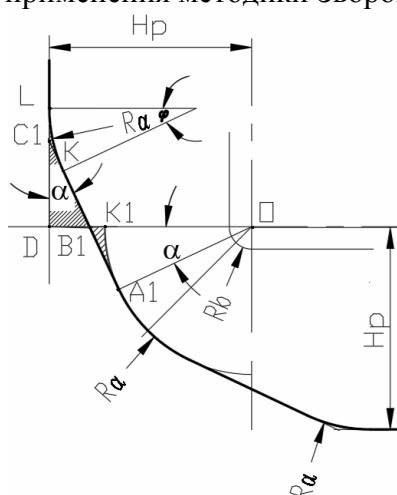


Рис. 3. Схема построения заготовки по методу Звороно

С учетом равенства вычитаемой и прибавляемой площадей получена зависимость

$$\cos \alpha = \frac{2R_\alpha}{R_b + H_p + R_\alpha}.$$

Анализ показал, что эта формула может быть справедлива и для других углов (рис. 4).

Эта зависимость справедлива когда угол α , меньше или равен значению рассматриваемого угла коробки $\alpha_i/2$, то есть когда можно провести две или одну касательную к радиусу $R_\alpha = \frac{V_{cm}}{\pi \cdot S}$.

Для других случаев в рассматриваемой работе предложена следующая методика расчета параметров заготовки в зоне углов (рис. 5).

С учетом равенства вычитаемой и прибавляемой площадей получены следующие зависимости для определения угла β .

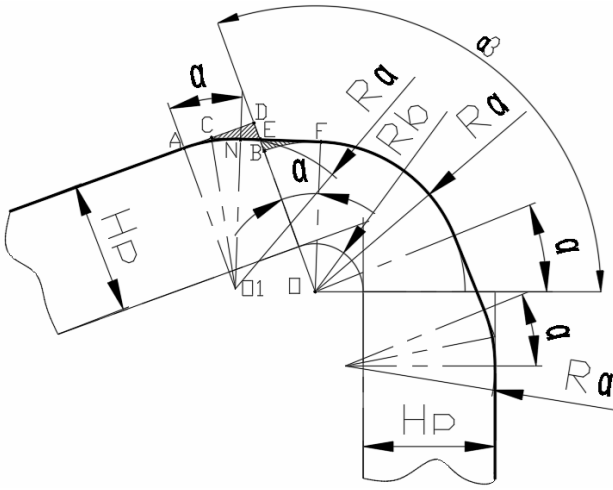


Рис. 4. Схема к определению формы и размеров заготовки в угле α_3

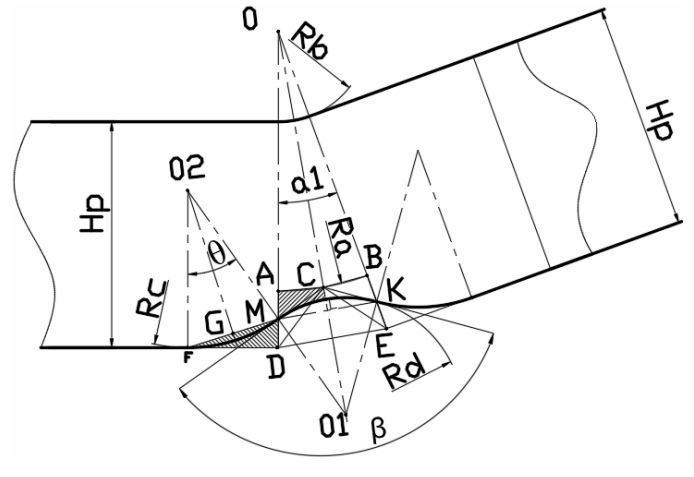


Рис. 5. Аппроксимация участка заготовки в зоне угла α_1

$$\begin{aligned}
 & \frac{R_\alpha^2 \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]} \cdot \sin(90 + \alpha_1/4) \cdot \sin(90 + \alpha_1/4 - \beta/2)}{2 \cdot \sin(\alpha_1/2)} + \\
 & + \frac{[\sin(90 + \alpha_1/4) \cdot R_\alpha \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]}]}{2 \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta/2) \cdot [\sin(\beta/2 - \alpha_1/2)]^2} - \pi \cdot R_d^2 \cdot \frac{90 - \beta/2}{360} = \\
 & = \frac{\left\{ R_b + H_b - R_\alpha - \frac{\sin(90 + \alpha_1/4 - \beta/2) \cdot R_\alpha \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]}}{\sin(\beta/2 - \alpha_1/2)} \right\}^2}{2 \cdot \operatorname{tg}(90 - \beta/2 - \alpha_1/2)} + \\
 & + \left\{ \frac{\left[R_b + H_b - R_\alpha - \frac{\sin(90 + \alpha_1/4 - \beta/2) \cdot (R_\alpha \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]})}{\sin(90 + \alpha_1/4 - \beta/2)} \right]}{\sin(\beta/2 - \alpha_1/2) \cdot \operatorname{tg}(\beta/2)} \right\}^2 \cdot \left(2 - \frac{\pi \cdot \vartheta}{360^\circ} \right); \\
 & R_b = R_2 - R_1; \\
 & R_d = \frac{\frac{\sin(90 + \alpha_1/4) \cdot R_\alpha \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]}}{\sin(\beta/2 - \alpha_1/2)}}{\operatorname{tg}(90 - \beta/2)}.
 \end{aligned}$$

Минимальное значение угла $\beta_{\min}$ определяется из выражения

$$\tan(\beta_{\min}/2) = \frac{(R_b + H_p) \cdot \sin(\alpha_1/2)}{(R_b + H_p) \cdot \cos(\alpha_1/2) - R_\alpha}.$$

Максимальное значение угла $\beta_{\max}$ определяется численным методом из выражения

$$\frac{R_b + H_p - R_d - \frac{\sin(90 + \alpha_1/4 - \beta_{\max}/2) \cdot R_d \cdot \sqrt{2[1 - \cos(\alpha_1/2)]}}{\sin(\beta_{\max}/2 - \alpha_1/2)}}{\operatorname{tg}(90 - \beta_{\max}/2 + \alpha_1/2)} \leq 2(\alpha + R_2 + R_2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1/2)).$$

2. Определение количества и параметров переходов

Составление методики определения количества переходов основывается на методике для прямоугольных коробок.

Низкими коробками считают такие, которые вытягивают за одну операцию (приближенно при $H/B \leq (0,6...0,8)$ [5] (где H – высота коробки, B – ширина коробки).

Наибольшая высота коробок без фланца, вытягиваемых за одну операцию для мягкой стали примерно составляет [5]:

$$H = (0,35 \div 0,70)B \text{ при } r = (0,05 \div 0,10)B \text{ и } \frac{S}{B} \cdot 100 = 0,2 \div 0,5,$$

$$H = (0,80 \div 1,20)B \text{ при } r = (0,20 \div 0,30)B \text{ и } \frac{S}{B} \cdot 100 = 1,5 \div 2,0.$$

где r – внутренний радиус скруглений между боковыми стенками коробки;

Промежуточным значением является $H = (0,6 \div 0,8)B$.

Эти данные достаточно близки к [2].

Коэффициент вытяжки m для первой и второй операций определяется как для круглого стакана с радиусами в углах коробки и высотой равной высоте коробки:

$$m_1 = r_1 / R_\alpha \text{ и } m_2 = r_2 / r_1,$$

где r_1 и r_2 – радиусы внешнего скругления в углах коробки; m_1 и m_2 – коэффициенты вытяжки для первой и второй операций соответственно.

Значения этих коэффициентов можно брать из таблицы 1 [5].

Табл. 1. Значения коэффициентов вытяжки m_1 и m_n

Материал	Значения коэффициентов	
	Для первой операции m_1	Для последующих операция m_n
Сталь 08ВГ	0,25 ÷ 0,40	0,40 ÷ 0,55
Сталь декапированная		

Приведем последовательность решения задачи по определению параметров переходов:

1. Расчет параметров коробчатой детали (определение V_{cm}).

2. Вычисление радиуса $R_\alpha = \sqrt{\frac{V_{cm}}{\pi \cdot S}}$ заготовки стакана в углах коробки.

3. Расчет коэффициента вытяжки для стакана в углах коробки m_{cm} :

$$m_{cm} = R_2 / R_\alpha.$$

4. Рассматривается возможность изготовления детали за один переход, т.е. определяется соотношение между допустимым m_1 и расчетным m_{cm} коэффициентами вытяжки

5. Если выполняется условие $m_{cm} \geq m_1$, то деталь можно отштамповать за одну операцию.

6. Если $m_{cm} < m_1$, то требуется больше одной операции.

7. Если требуется больше одной операции, то определяем из таблицы 1 m_1 и рассчитываем $r_2 = m_1 \cdot r_1$. Если $r_2 < r$, (r – заданный радиус детали по чертежу) то следующий переход не нужен.

Иначе рассчитываются размеры следующего перехода.

8. Затем выбирается из таблицы 1 допустимый коэффициент вытяжки m_n и определяем радиус скруглений у очередного перехода $r_n = m_n \cdot r_{n-1}$. Если $r_n < r$, то следующий переход не нужен. Иначе повторяем итерацию.

Для определения высоты промежуточных переходов H' из условия постоянства объема получены зависимости

$$H' = \frac{A}{B} + R_1 + s,$$

$$\text{где } A = V_{кор} - V_{цил} - V_{дна} - \pi \cdot \left\{ (R_2' - R_1)^2 \cdot s + \frac{2}{3} \cdot [(R_1 + s)^3 - R_1^3] + \frac{\pi}{2} \cdot (R_2' - R_1) [(R_1 + s)^2 - R_1^2] \right\};$$

$$B = \pi \cdot s \cdot (2 \cdot R_1 + s) + s \cdot (a + b + c + d + L);$$

R_2' – внешний радиус скругления между боковыми стенками коробки текущего перехода.

Заключение

В результате проведенной работы получены зависимости между углами и линейными размерами коробки сложной формы. На основе принятой модели деформации детали разработана методика конструирования заготовки и переходов. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования технологии изготовления коробок другой формы.

С использованием полученных результатов разработан программный модуль на языке Visual Basic for Application в среде пакета SolidWorks и включен в состав САПР конструирования и проектирования технологии изготовления деталей, изготавливаемых способом вытяжки из листа [12-17] с получением чертежа детали и заготовки и карты эскизов [18-20].

Список литературы

1. Сковцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – Л.: Машиностроение, 1970. – 320 с.
2. Бурдуковский И.Г. Технология листовой штамповки: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 224 с.
3. Сидельников С.Б., Соколов Р.Е., Иванов Р.Е. Технология листовой штамповки: Учебное пособие. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 168 с.
4. Ильин Л.Н. Технология листовой штамповки. – М.: Дрофа, 2009. – 475 с.
5. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. – Л.: Машиностроение, 1980. – 432 с.
6. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
7. Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
8. Луканова Е.О., Евсюков С.А. Анализ напряженного состояния при совмещении раздачи, обжима, вытяжки и отбортовки // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 3. – С. 335-342.
9. Петров М.А., Хынг Ч.Д. Оценка степени влияния геометрии радиуса скругления матрицы на процесс микровытяжки с применением КЭ-моделирования // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – №10. – С. 20-27.
10. Воронцов А.Л., Лебедев Д.А. Исследование комбинированного выдавливания стаканов с конической донной частью. Часть 20. Методика расчета технологических параметров при начальной деформации свободным комбинированным выдавливанием // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2023. – № 4. – С. 3-11.
11. Феоктистов С.И., Андрианов И.К. Методика определения предельных коэффициентов глубокой вытяжки с учетом нелинейной пластичности и изменения толщины заготовки // Известия вузов. Машиностроение. – 2024. – № 7. – С. 3-11.
12. Тарновский И.Я., Вайсбурд Р.А., Еремеев Г.А. Автоматизация проектирования технологии горячей штамповки. – М.: Машиностроение, 1969. – 238 с.
13. Аведьян А. SolidWorks – САПР промышленного масштаба // САПР и графика. – 2005. – №1. – URL: <https://sapr.ru/article/6786>.
14. Дударева Н.Ю., Загайко С.А. SolidWorks 2011 на примерах. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 496 с.
15. Кондратьев В.И. Разработка VBA приложений в среде «AutoCAD»: Учебно-методическое пособие по дисциплине «Инженерная графика». Часть 1. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. – 68 с.
16. Куреннов Д.В., Кондратьев В.И. Моделирование конструкций и производство чертежей в среде графического пакета SolidWorks: Учебно-методическое пособие по курсу «Системы автоматизированного проектирования – САПР». – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 83 с.
17. Куреннов Д.В., Кондратьев В.И. Разработка VBA приложений в «SolidWorks»: Учебно-методическое пособие по курсу «Системы автоматизированного проектирования – САПР». – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 87 с.
18. ГОСТ 3.1105-84. Формы и правила оформления документов общего назначения. – М.: Стандартинформ, 1984. – 23 с.
19. ГОСТ 3.1103-2011. Основные надписи. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 35 с.
20. ГОСТ 3.1130-93. Общие требования к формам и бланкам документов. – М.: Стандартинформ, 2003. – 6 с.

References

1. Skvortsov G.D. Fundamentals of stamp design for cold sheet stamping. – L.: Mechanical Engineering, 1970. 320 p.
2. Burdukovsky I.G. Technology of sheet stamping: Textbook. – Yekaterinburg: Publ. house of the Ural. un-ty, 2019. – 224 p.
3. Sidelnikov S.B., Sokolov R.E., Ivanov R.E. Technology of sheet stamping: Textbook. – Krasnoyarsk: Sib. fed. un-ty, 2012. – 168 p.

4. Ilyin L.N. Technology of sheet stamping. – M.: Drofa, 2009. – 475 p.
5. Zubtsov M.E. Sheet stamping. – L.: Mechanical Engineering, 1980. – 432 p.
6. Romanovsky V.P. Handbook of cold stamping. – L.: Mechanical Engineering, 1979. – 520 p.
7. Averkiev Yu.A. Cold stamping technology. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 304 p.
8. Lukanova E.O., Evsyukov S.A. Stress state analysis when combining distribution, crimping, drawing and flanging // News of Tula state university. Technical sciences. 2019, no. 3, pp. 335-342.
9. Petrov M.A., Hyung Ch.D. Assessment of the degree of influence of the geometry of the radius of rounding of the matrix on the process of micro-stretching using CE modeling // Forging and stamping production. Pressure treatment of materials. 2023, no. 10, pp. 20-27.
10. Vorontsov A.L., Lebedev D.A. Investigation of combined extrusion of glasses with a conical bottom. Part 20. Methodology for calculating technological parameters during initial deformation by free combined extrusion // Forging and stamping production. Pressure treatment of materials. 2023, no. 4, pp. 3-11.
11. Feoktistov S.I., Andrianov I.K. Methodology for determining the limiting coefficients of deep drawing, taking into account nonlinear plasticity and changes in the thickness of the workpiece // News of universities. Mechanical engineering. 2024, no. 7, pp. 3-11.
12. Tarnovsky I.Ya., Vaisburd R.A., Ereemeev G.A. Automation of design of hot stamping technology. – M.: Mechanical engineering, 1969. – 238 p.
13. Avedyan A. SolidWorks – industrial scale CAD // CAD and graphics. 2005, no. 1. URL: <https://sapr.ru/article/6786>.
14. Dudareva N.Yu., Zagayko S.A. SolidWorks 2011 with examples. – SPb.: BHV-Petersburg, 2011. – 496 p.
15. Kondratiev V.I. Development of VBA applications in the "AutoCAD" environment: Educational and methodical manual on the discipline "Engineering graphics". Part 1. – Yekaterinburg: USTU-UI, 2006. – 68 p.
16. Kurennov D.V., Kondratiev V.I. Structural modeling and drawing production in the environment of the SolidWorks graphics package: Training manual for the course "Computer-aided design systems – CAD". – Yekaterinburg: UrFU, 2013. – 83 p.
17. Kurennov D.V., Kondratiev V.I. Development of VBA applications in SolidWorks: An educational and methodological guide for the course "Computer-aided design systems – CAD". – Yekaterinburg: UrFU, 2013. – 87 p.
18. GOST 3.1105-84. Forms and rules of registration of general-purpose documents. – M.: Standartinform, 1984. – 23 p.
19. GOST 3.1103-2011. Main inscriptions. General provisions. – M.: Standartinform, 2011. – 35 p.
20. GOST 3.1130-93. General requirements for forms and forms of documents. – M.: Standartinform, 2003. – 6 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Кондратьев Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент	Kondratyev Vladimir Ivanovich – candidate of technical sciences, associate professor
3732384kvi@mail.ru	

Получена 15.11.2024