

УДК 621.983

Мороз Н. Н.
Драгобецкий В. В.
Мосьпан Д. В.
Пузырь Р. Г.

РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ЭЛЕМЕНТОМ ЖЕСТКОСТИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ГИБКОЙ

Одной из задач, стоящей перед теорией и практикой формоизменяющих операций листовой штамповки, является увеличение степени деформации заготовки, изыскание путей снижения деформирующих усилий и затрат на технологическую оснастку и инструмент. В условиях единичного и мелкосерийного производства одним из эффективных методов формоизменения длинномерных деталей с элементами жесткости является последовательная штамповка. Детали с одним элементом жесткости и ряд деталей одинарной и двойной кривизны могут быть изготовлены методами последовательной гибки свободно опертых пластин и плит без применения штампов [1].

Установлено [2], что отдельные части контура свободно опертой пластины могут подниматься с опоры. Например, у квадратной пластины, свободно опертой по контуру и нагруженной сосредоточенной нагрузкой, приложенной в центре, появляются пластические шарниры и происходит изменение формы. При нагружении прямоугольных и треугольных пластин некоторые части пластин (углы) поднимаются вверх, а участки в окрестности действия нагрузки – вниз, т. е. происходит самопроизвольное формоизменение заготовки.

В работе [1] описан способ последовательной гибки деталей с элементом жесткости. Этот метод позволил значительно снизить деформирующие усилия (в 2–4 раза) и нашел применение при изготовлении деталей вагонных конструкций. В предложенном способе, при разгибании полок, деформация центрального участка происходит без воздействия контактных напряжений. Кривизна формообразуемого элемента жесткости не определяется рабочими поверхностями инструмента, а возникает в результате действия момента. Появление момента связано с образованием пар сил приложенных к торцу отогнутых полок и реакциями, приложенными к элементу заготовки, свободно опертому на поверхность постели прессы. По мере изменения кривизны элемента жесткости происходит горизонтальное перемещение площадок контакта в горизонтальном направлении. При этом возникают силы трения, препятствующие формоизменению элемента жесткости. На величину конечного прогиба при заданной ширине полок влияют: усилие необходимое для отгибания полок Q , величина радиуса сопряжения элемента жесткости с полкой r , угол наклона полок β , показатели упрочнения материала заготовки. Для дальнейшего использования предложенного способа формоизменения необходимо разработать методику расчета технологических параметров процесса.

Целью данного исследования является определение размеров заготовки по чертежу детали, предварительного угла отгиба полок и деформирующих усилий при последовательных операциях гибки.

Определим размеры заготовки, в рассматриваемом процессе гибки. Расчет заготовки ведется по геометрическим параметрам срединной поверхности детали. Заданными размерами (рис. 1) являются ширина полки – a ; радиус сопряжения полки с элементом жесткости – r , ширина элемента жесткости (пролет) – $2b$; величина смещения линии контакта заготовки с опорной поверхностью – h ; стрела прогиба элемента жесткости, как правило, составляет половину длины пролета, т. е. – $b/2$. Изменением толщины заготовки в условиях свободно или цилиндрического изгиба можно пренебречь.

Необходимо определить величину смещения h и радиус дуги элемента жесткости R . Используем понятие – степень точки относительно данной окружности.

Степень точки F (см. рис. 1) будет равна $p^2 = \epsilon^2 = \frac{\epsilon}{2} \cdot \left(R - \frac{\epsilon}{2} \right)$, или в общем случае:

$$p^2 = \epsilon^2 = \kappa \frac{\epsilon}{2} \cdot \left(R - \kappa \frac{\epsilon}{2} \right), \quad (1)$$

где κ – долевая часть стрелы прогиба элемента жесткости относительно длины пролета;

R – радиус кривизны элемента жесткости.

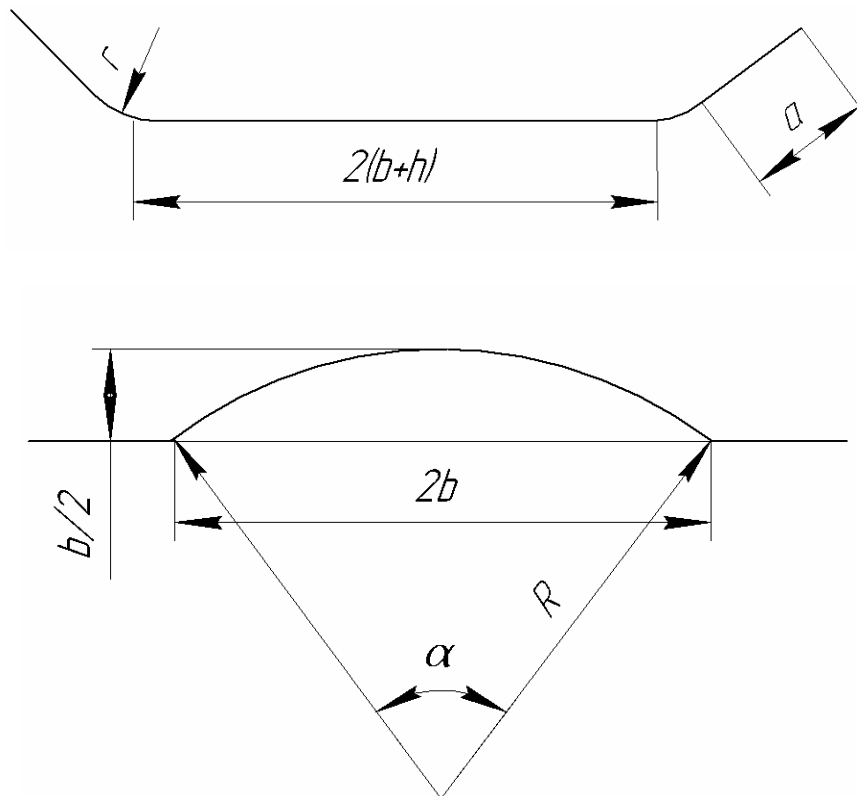


Рис. 1. Схема заготовки в процессе гибки

Начальная длина элемента заготовки, из которого формируется элемент жесткости, равна $2(\epsilon + h)$.

С учетом (1) $R = 2,5\epsilon$ и учитывая, что центральный угол изгиба $\alpha = \frac{180^\circ \cdot 2(\epsilon + h)}{\pi R}$,

а $\sin \alpha = \frac{\epsilon}{R} = 0,4$, получим $h = 0,48\epsilon$.

Таким образом, размер заготовки составит:

$$L_{заг} = 2a + \pi R + 2,96\epsilon. \quad (2)$$

Для определения угла отгибания полков необходимо определить силовые параметры процесса формирования элемента жесткости. При этом следует учесть, что при разгибании полки не должны потерять устойчивость и деформироваться упруго. В элементе сопряжения полки с элементом жесткости также не должны возникать пластические деформации, т. к. это приведет к энергетическим потерям в процессе деформоизменения.

Максимальные напряжения в полках для условий чистого (цилиндрического) изгиба определяются по зависимости [3]:

$$\sigma = \pm \frac{\sigma_{0a}}{\sigma^2} \leq \sigma_{m\phi}, \quad (3)$$

где $\sigma_{m\phi}$ – предел пропорциональности.

В этом выражении напряжения σ линейно изменяются по толщине заготовки и максимальны на нижней и верхней поверхностях полков.

Напряжения в материале заготовки, имеющем первоначальную кривизну (рис. 1) участок сопряжения полки с элементом жесткости, определяются из уравнения равновесия в радиальном направлении [2]:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = \frac{\sigma_\phi - \sigma_r}{r}, \quad (4)$$

где σ_r – радиальное напряжение;

σ_ϕ – тангенциальное напряжение.

Вводя функцию Эри ϕ , получаем:

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{d\phi}{dr} \quad \text{и} \quad \sigma_\phi = \frac{d^2\phi}{dr^2}. \quad (5)$$

Значение функции Эри ϕ , определяется из условия неразрывности [2]. С использованием условия пластичности Треска – Сен-Венана в работе [2] получено значение изгибающего момента на единицу длины который в нашем случае будет предельным:

$$M_1 = \frac{\sigma_S \left[(r + \delta)^2 - r^2 \right]^2 - 4(r + \delta)^2 r^2 \cdot \left[\ln \left(1 + \frac{\delta}{r} \right) \right]^2}{2 \left[r^2 - (r + \delta) \right]^2 + 2r^2 \ln \left(1 + \frac{\delta}{r} \right)}. \quad (6)$$

Значение этого момента не должно превосходить момента необходимого для формирования элемента жесткости. Последний определяется по зависимостям, предложенным в работе [4].

Работа, совершаемая при разгибании полки единичной ширины равна $A_1 = Pa\alpha$, где α – угол загиба полки. Эта работа переходит в работу упругого разгибания элемента сопряжения полков с элементом жесткости и работу упруго-пластического деформирования элемента жесткости. Для тонких заготовок степенную зависимость $\sigma = A \cdot \varepsilon^n$ можно рассматривать по всей высоте (т. е. и на упругую область), тогда формула для определения работы будет иметь вид:

$$A_2 = \left[\frac{M}{1+n} - \frac{(1-n)E\varepsilon_P^2}{2(1+n)\chi_0} \right] \phi, \quad (7)$$

где M – момент внутренних сил;

χ_0 – кривизна нейтрального слоя;

n – показатель упрочнения;

φ – центральный угол.

Здесь:

$$M = \chi_0 EI_{упр} + \chi_0^n \kappa_{II} I_{нл}; \quad (8)$$

$$I_{упр} = \frac{2}{3} b y_p^3; \quad I_{нл} = \frac{2b}{n+2} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^{n+2} - y_p^{n+2} \right],$$

b – ширина сечения;

y_p – высота упруго деформированной зоны;

h – высота сечения.

Далее определим предельную продольную нагрузку на полки. Предельная продольная нагрузка полки, которая приводит к потере устойчивости, зависит от угла отгиба полки и составляет:

$$P_{кр} \sin \varphi = \frac{F \delta^3 \pi^2 E}{B^2}, \quad (9)$$

где E – модуль упругости стали;

F – площадь поперечного сечения полки;

δ – толщина заготовки.

Усилие, необходимое для изгиба полок, соответствует условиям свободной гибки и определяется довольно просто из условия равенства моментов внутренних и внешних их сил.

В нашем случае ставится задача максимального снижения деформирующих усилий и нет смысла отгибания полок на угол 90° , при котором давления гибки должны быть бесконечно велики [5].

При аппроксимации диаграммы $\sigma_i - \varepsilon_i$ степенной зависимостью давление гибки определяется из выражения [5]:

$$q = \frac{4R^2 B \left(\frac{S_0}{2R} \right)^{d+2}}{(\alpha + 2)(A - R\varphi)^2}, \quad (10)$$

где q – давление гибки;

S_0 – толщина заготовки;

R – радиус нейтральной оси изгиба;

A – длина отгибаемой полки с учетом радиуса сопряжения;

φ – угол гибки;

$a = A - R\varphi$.

Приведенные данные позволяют установить последовательность расчета силовых и геометрических параметров процесса.

Расчет параметров процесса производится в следующей последовательности. По чертежу детали определяем размеры заготовки по зависимости (1). После этого определяем значение изгибающего момента необходимого для оформления элемента жесткости (9). По

известной ширине полки и радиусу сопряжения полки с элементом жесткости определяем усилие прессы $Q = M / (r+a)$. Далее определяем максимальные напряжения в полке и предельный момент на участке сопряжения полки с элементом жесткости. Напряжения в полках не должны превышать предела пропорциональности материала заготовки. В противном случае возникают энергетические потери на пластическую деформацию предварительно отштампованных заготовок. Если это происходит, необходимо по согласованию с конструкторами уменьшать радиус сопряжения и повторить расчет, начиная с определения размеров заготовки. После этого определяем усилие необходимое усилие для изгиба полок.

По предложенной методике был произведен расчет процесса формоизменения детали грузового вагона с элементом жесткости «лист верхний». Деталь изготовлена из материала 09Г2С, толщина листа – 8 мм, длина заготовки 3000 мм. Геометрия заготовки соответствовала форме полученной детали. Расчетное усилие деформирования составило 10,16 МН. При этом усилие потери устойчивости полок происходила при $\beta = 76^\circ$. Для штамповки деталей был использован кромкогиб усилием 12 МН.

ВЫВОДЫ

Разработан метод расчета геометрических и силовых параметров процесса формоизменения длинномерных деталей с элементом жесткости путем последовательной гибки полок и свободно опертой заготовки с изогнутыми полками, позволяющий на заключительной стадии формоизменения исключить пластическую деформацию элемента сопряжения и полок и потерю устойчивости последних.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драгобецкий В. В. *Высокоэффективные технологии самопроизвольного изменения тонколистовых заготовок* / В. В. Драгобецкий, Д. В. Мосьпан, Н. Н. Мороз // *Прогрессивные методы и технологии процессов обработки металлов давлением : мат. междунаrodn. научн.-техн. конф. – Бал. гос. техн. ун-т. : СПб., 2009. – С. 77–81.*
2. Джонсон У. *Теория пластичности для инженеров* / У. Джонсон, П. Б. Меллор. – М. : Машиностроение, 1979. – 568 с.
3. Бояришинов С. В. *Основы строительной механики машин* / С. В. Бояришинов. – М. : Машиностроение, 1973. – 456 с.
4. Лысов М. И. *Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки* / М. И. Лысов. – М. : Главполиграфпром, 1966. – 236 с.
5. Исаченков Е. И. *Штамповка резиной и жидкостью* / Е. И. Исаченков. – М. : Машиностроение, 1990. – 368 с.

Мороз Н. Н. – канд. техн. наук, доц. КНУ им. М. Остроградского;

Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф. КНУ им. М. Остроградского;

Мосьпан Д. В. – аспирант КНУ им. М. Остроградского;

Пузырь Р. Г. – канд. техн. наук, доц. КНУ им. М. Остроградского.

КНУ им. М. Остроградского – Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского, г. Кременчуг.

E-mail: mykolai.moroz@gmail.com