

УДК 621.744.7

Середа В. Г.
Кравец Е. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ВЫВОРОТА ДНИЩА ЗАГОТОВКИ

Процесс принудительного выворота применяют для деталей, которые имеют форму двустенных днищ, получаемых продавливанием обкатываемого днища внутрь заготовки. Таким способом можно получить корпуса роликов ленточных конвейеров, днища баллонов и сосудов и др. Физическое моделирование данного процесса связано с совершенствованием конструкции существующего обкатного оборудования, изготовлением оснастки и инструмента, что требует значительных затрат. Процесс принудительного выворота для получения профильных днищ, характеризующийся малой металлоемкостью и трудоемкостью, соответствует выдвигаемым промышленностью требованиям для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции [1, 2].

Целью работы является выбор метода моделирования процесса принудительного выворота днища заготовки, а также установление взаимосвязи подачи инструмента, пуансона и радиуса свободного изгиба.

При создании технологического процесса выворота необходимо определить основные параметры. При детальном анализе исследуемого процесса принимаются упрощающие допущения физического, геометрического и математического характера, влияние которых на точность результатов оценивается только экспериментальной проверкой. Чтобы данные, полученные в лабораторных условиях на модели, можно было распространить на натуральный объект, необходимо выполнить ряд условий, вытекающих из закона подобия. Применение теории подобия позволяет найти соотношения между величинами, которые описывают физическую природу исследуемого объекта, а также роль и значимость каждой переменной на протекание процесса, улучшая результаты многочисленных, грубых допущений и математических упрощений.

Все методы исследования процессов ОМД можно разделить на три класса: аналитические, экспериментальные и экспериментально-аналитические.

Аналитические методы основаны на замене исследования реального физического объекта математической моделью, поведение которой достаточно отражает поведение физического объекта. К аналитическим методам исследования относят следующие методы: инженерный, метод линий скольжения, энергетический, вариационные (прямой вариационный метод, метод верхней оценки, метод конечных элементов). Экспериментально – аналитические методы позволяют получить функции, описывающие перемещение частиц деформируемого тела. К экспериментально-аналитическим методам относят метод сопротивления материалов пластическому деформированию, визиопластический метод, метод муаровых полос, метод определения напряжений по распределению твердости [3].

Экспериментальное моделирование процесса принудительного выворота для определения зависимости радиуса свободного изгиба представляет значительные трудности, поэтому на основании анализа существующих методов исследования наиболее приемлемым путем нахождения этой зависимости является аналитический метод исследования, а именно метод конечных элементов.

Метод конечных элементов широко применяется для решения плоских и осесимметричных задач, что обосновывает его выбор для решения поставленной задачи моделирования процесса принудительного выворота.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, что любую непрерывную величину, такую как температура, давление, перемещение, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. Кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе точек рассматриваемой области [4, 5].

Существует ряд конечно-элементных комплексов, позволяющих решать задачи обработки металлов давлением. К ним относятся как универсальные комплексы ABAQUS, ANSYS, так и специализированные программы для решения задач обработки давлением Q-Form и Deform. Анализ показал, что применение конечно-элементного программного продукта Deform 3D является наиболее подходящим для решения данного типа задачи. Поэтому он был использован нами как инструмент теоретического анализа.

В основу рассматриваемой модели процесса принудительного выворота было положено продавливание донной части герметичного днища трубчатой заготовки пуансоном внутрь изделия с одновременным деформированием его наружной боковой поверхности.

Получаемая в этом случае расчетная схема способа обкатки двустенных днищ представлена на рис. 1.

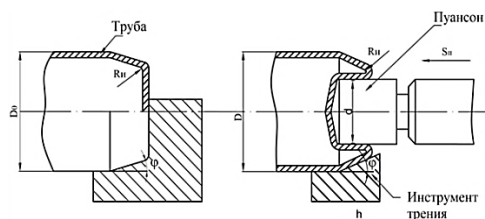


Рис. 1. Способ обкатки двустенных днищ

Способ обкатки двустенных изделий из труб заключается в следующем: обкатывают днище в виде усеченного конуса, меньшее основание которого продавливается пуансоном внутрь заготовки при одновременном деформировании боковой поверхности инструментом трения (рис. 1). Процесс будет протекать устойчиво, если соотношение режимов продавливания днища и деформирование наружной боковой поверхности будут обеспечивать переход от боковой поверхности к поверхности продавливаемого днища, протекая по радиусу свободного изгиба.

В результате получаем на конце трубчатой заготовки вывернутую внутрь цилиндрическую полость днища, диаметр которого равен диаметру оправки.

Для реализации данного способа необходимо установить связь между режимами деформирования торцевой поверхности днища с перемещением инструмента.

При вывороте донной части с образованием двустенного днища методом обкатки продавливание днища происходит при неизменных параметрах конической поверхности и является установившемся, что позволяет получить внутреннюю полость неограниченной длины.

Поскольку относительная исходная толщина заготовки $S/D \cdot 100\% > 1\%$, то технологические расчеты необходимо производить, как и при вытяжке, по средней линии.

Переход размеров реального днища к расчетному по средней линии производится по формулам:

$$\begin{aligned} D &= D_0 - S; \\ d &= d - S_1; \\ R_{u.нар.} &= R_u - \frac{S_1}{2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где D – диаметр трубы по средней линии;

D_0 – диаметр трубы;

S – толщина стенки трубы;

S_1 – толщина стенки днища;

$R_{u.нар.}$ – наружный радиус изгиба;

R_u – радиус изгиба по средней линии.

Выворот днища внутрь заготовки происходит при постоянных параметрах конической поверхности под углом φ . Определим зависимость перемещения пуансона S_n по расчетным размерам днища D , d , R_u при осевой подаче инструмента h (рис. 2).

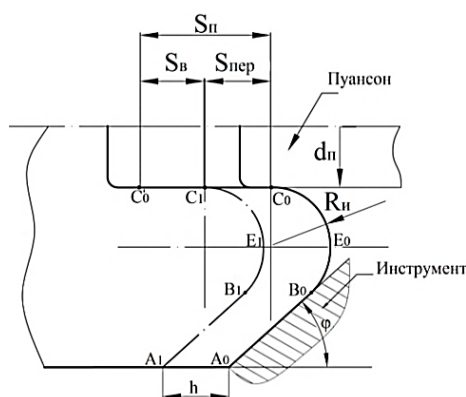


Рис. 2. Продвигание дна при неизменных параметрах заготовки

Перемещение пуансона S_n будет определяться суммой приращения длины вывернутого дна $S_в$ и величины переноса пуансона $S_{пер}$ из-за подачи инструмента на величину h (рис. 3).

$$S_n = S_в + S_{пер}. \quad (2)$$

Тогда, подставив значения $S_в$ из выражения и S_n из выражения в исходное уравнение (2), получим:

$$S_n = 2 \cdot h. \quad (3)$$

Исследуемая схема представлена на рис. 3. Применялся следующий порядок моделирования. Вначале строилась геометрическая модель заготовки и инструмента (пуансон, кольцо и опора). Инструмент определялся как жесткий недеформируемый элемент расчетной схемы. Затем на трубчатой заготовке генерировалась конечно-элементная сетка, состоящая из 100000 тетрагональных элементов (рис. 3, а).

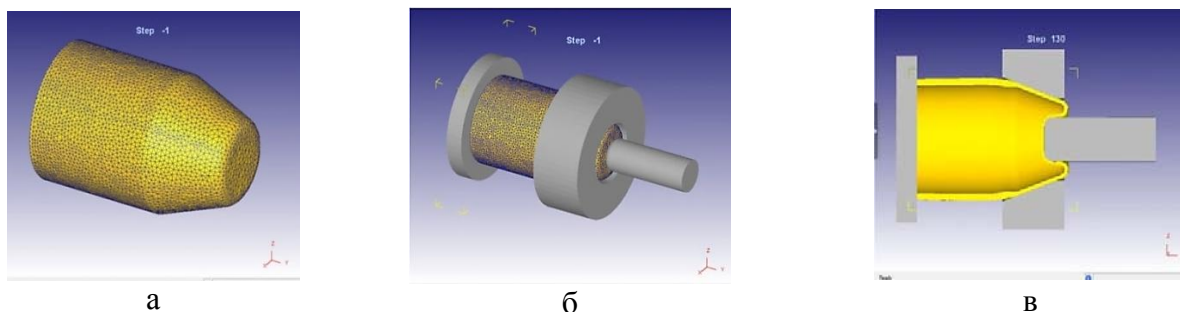


Рис. 3. Геометрическая (а) и конечно-элементная модель (б), модель в процессе деформирования (в), используемые при анализе процесса принудительного выворота

Осесимметричной трубчатой заготовке задавались следующие значения: диаметр заготовки 108 мм, материал свинец С2, температурное значение процесса принудительного выворота – 20° (холодное деформирование) толщина стенки 2 мм, 3 мм и 4 мм, угол конуса заготовки φ 20°, 30°, 40°, а инструменту: скорость движения пуансона 2 мм/с, скорость движения кольца 1 мм/с.

В качестве закона трения использовался закон пластического трения Зибеля, коэффициент трения 0,08.

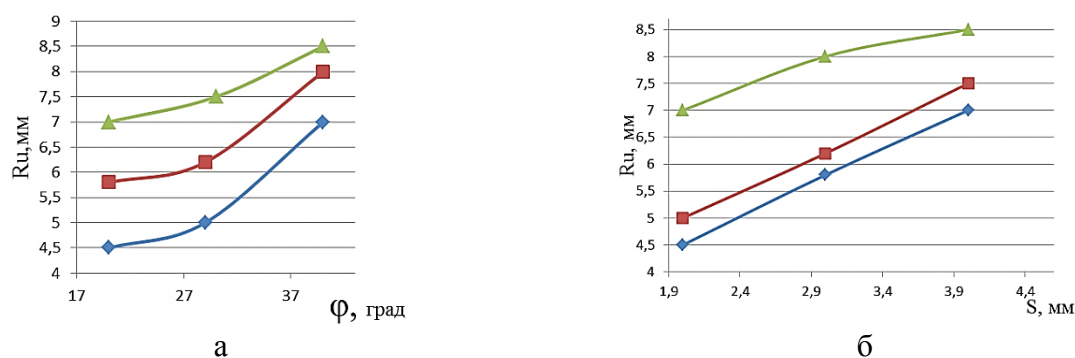
Используя эти модели для деформирования заготовок с различными исходными параметрами устанавливали значение радиуса свободного изгиба. Рассматривая участок установившегося процесса принудительного выворота, измеряли радиус сопряжения конусного дна с внутренней полостью. Полученные данные приведены в табл. 1.

На основании полученных данных построены графики зависимостей радиуса свободного изгиба от угла конуса заготовки и толщины стенки (рис. 4).

Таблица 1

Опытные данные по исследованию радиуса свободного изгиба процесса выворота

Толщина стенки S , мм	Угол конуса φ , град	Радиус свободного изгиба R_i , мм
2	20	4,5
	30	5
	40	7
3	20	5,8
	30	6,2
	40	8
4	20	7
	30	7,5
	40	8,5

Рис. 4. Зависимость радиуса свободного изгиба от угла конуса φ , град (а), зависимость радиуса свободного изгиба от толщины стенки, мм (б)

Как видно из графиков, R_i для трубы диаметром 108 мм составляет от 4,5 мм до 8,5 мм в зависимости от толщины стенки. С увеличением толщины стенки трубы с 2 мм до 4 мм R_i увеличивается с 4 мм до 8 мм. Изменение угла конуса приводит к небольшому увеличению радиуса свободного изгиба 4 мм до 8 мм.

ВЫВОДЫ

Проанализирована кинематика процесса выворота и установлена связь между подачей пуансона, подачей инструмента и радиуса свободного изгиба. Предложена модель процесса принудительного выворота с редуцированием, позволяющая математически описать процесс. На основании проведенных математических экспериментов установлено влияние толщины стенки и угла конуса днища на радиус свободного изгиба.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капорович В. Г. *Обкатка в производстве металлоизделий* / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1973. – 168 с.
2. *Производство изделий машиностроения горячей обкаткой* : монография / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 338 с.
3. Евстратов В. А. *Теория обработки металлов давлением* : учебник для вузов / В. А. Евстратов. – Харьков, 1982. – 248 с.
4. Овчаренко В. А. *Расчет задач машиностроения методом конечных элементов* : учебное пособие / В. А. Евстратов. – Краматорск : ДГМА, 2004. – 128 с.
5. Сабоннадьер Ж. К. *Метод конечных элементов и САПР* / Ж. К. Сабоннадьер. – М. : Мир, 1989. – 190 с.

Середа В. Г. – канд. техн. наук, доц. каф. МТО ДГМА;

Кравец Е. И. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: mto@dgma.donetsk.ua