

ТЕОРИЯ, РАСЧЕТЫ, ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 62.531.8

М. И. ПОКСЕВАТКИН, А. А. ИВАНАЙСКИЙ, кандидаты техн. наук; **Е. А. ИВАНАЙСКАЯ; С. В. ГЕРМАН;**
Е. М. БАСОВА (АлтГТУ, г. Барнаул)
E-mail: aspirant007@list.ru

Моделирование процесса обратного выдавливания тонкостенных полых изделий с активизацией контактных скольжений металла

Разработана математическая модель процесса обратного выдавливания тонкостенных полых изделий с активизацией контактных скольжений на дне матрицы (торце выталкивателя). Спроектирован трехмодульный оптимизационный алгоритм, дающий возможность управлять силовыми и кинематическими параметрами процесса с целью повышения его эффективности.

A mathematical model of the process of reverse extrusion of thin-walled hollow products with the activation of contact slides on the bottom of the matrix (the end of the ejector) is developed. A three-module optimization algorithm has been designed, which makes it possible to control the power and kinematic parameters of the process in order to increase its efficiency.

Ключевые слова: математическая модель; обратное выдавливание; тонкостенные изделия; активизация контактных скольжений металла; алгоритм; эффективность.

Keywords: mathematical model; reverse extrusion; thin-walled products; activation of metal contact slides; algorithm; efficiency.

Процесс обратного выдавливания полых изделий (см. рис. 1) принято делить на три стадии [1]:

- распрессовка заготовки;
- стабильное течение металла в очаге деформации при неизменном усилии, когда глубина распространения пластической деформации меньше высоты подпуансонного участка заготовки ($h_d < h_z$);
- завершающая стадия процесса, когда весь подпуансонный участок заготовки охвачен пластической деформацией ($h_d \geq h_z$).

Формирование тонкостенных полых изделий штамповкой выдавливанием протекает в условиях всестороннего объемного неравномерного сжатия и сопровождается высоким сопротивлением деформации, обусловленным высокой замкнутостью очага деформации, относительно малой его толщиной в заключительной стадии процесса и вредным действием контактных сил трения.

Названные факторы составляют основу параметрической характеристики процесса обратного выдавливания, необходимой для его моделирования.

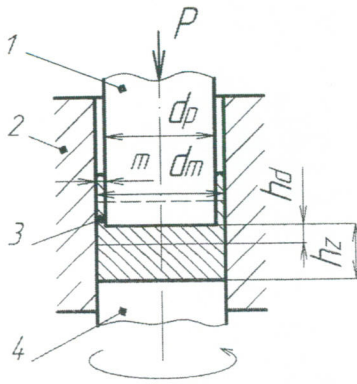


Рис. 1. Схема процесса обратного выдавливания:

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – выталкиватель; P – усилие; d_p и d_m – соответственно, диаметры пуансона и матрицы; H и D – исходные высота и диаметр заготовки; h_d – высота очага деформации; h_z – текущая высота подпуансонного участка заготовки; m – толщина стенки изделия

Степень замкнутости очага деформации Z является важным показателем, определяющим силовые и кинематические условия процесса. При формировании осесимметричного изделия показатель замкнутости можно ориентировочно определить по соотношению длин контурных очертаний очага деформации в диаметральной сечении.

Так, применительно к штамповке полых изделий типа стакана показатель Z рассчитывают по соотношению (см. рис. 1):

$$Z = (d_m - d_p) / (d_m + d_p + 2m + 2h_z) = m / (d_m + h_z). \quad (1)$$

Для первой стадии процесса величину h_z принимают равной высоте H исходной заготовки.

Соотношение (1) можно представить как степень замкнутости Z_s очага деформации в процентном выражении:

$$Z_s = [1 - m / (d_m + h_z)] 100\%. \quad (2)$$

К примеру, при выдавливании тонкостенного стакана диаметром $d_m = 40$ мм с толщинами стенки m и дна стакана t равными $m = t = h_z = 2$ мм степень замкнутости очага деформации составляет 95,2 %. При холодном деформировании углеродистых сталей сопротивление деформации в этом слу-

чае достигает величины порядка 550...700 МПа.

Одним из ключевых технологических параметров процесса, существенно влияющих на силовые и кинематические условия выдавливания, является глубина распространения очага пластической деформации h_d (см. рис. 1). Сведения об этой величине h_d весьма разноречивы. Сторожев М. В. при всех отношениях d_p/d_m принимает $h_d = 0,167d_p$, что справедливо лишь при выдавливании тонкостенных стаканов [1].

С использованием принципа минимума полной энергии деформации для жестко-пластической среды в работе [1] найдена зависимость относительной глубины δ распространения очага пластической деформации от технологических параметров процесса.

После допущений и преобразований получено:

$$\delta = \frac{h_d}{d_p} = \sqrt{\frac{1+\mu}{12} \left(1 - \frac{d_p^2}{d_m^2}\right)} + 0,5 \left(\frac{2}{3} \frac{d_m}{d_p} + \frac{1}{3} \frac{d_p^2}{d_m^2} - 1 \right) / \left(1 + \mu \frac{d_p}{d_m}\right), \quad (3)$$

где μ – показатель трения.

Относительная высота δ_3 очага деформации в третьей стадии процесса при максимальном значении $\mu = 0,5$ находится по уравнению [1]:

$$\delta_3 = 0,11 \frac{1 - (d_p^2 / d_m^2)}{1 - 0,85 (d_p / d_m)}. \quad (4)$$

Вредное действие контактных сил трения снижают или устраняют посредством управления механикой контактного взаимодействия, принудительно изменяя кинематику контактных скольжений и активизируя касательные напряжения, например, при перемещении матрицы в осевом направле-

нии [2] или при вращении выталкивателя (дна матриц) [3–5].

При вращении дна матрицы увеличивается работа сил трения в связи с развитием контактных скольжений металла, и снижается, соответственно, работа внутренних сил за счет существенного уменьшения сдвиговых смещений в объеме очага деформации, что способствует снижению технологического усилия штамповки.

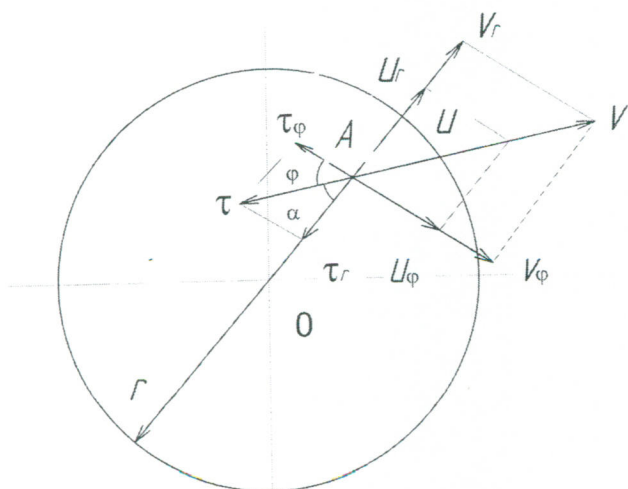


Рис. 2. Схема действия касательных напряжений и скоростей контактного скольжения металла на дне очага деформации при вращении выталкивателя (дна матрицы)

Как видно из рис. 2 радиальному перемещению u_r материальной частицы A препятствует касательное напряжение τ_r , противоположенное радиальной составляющей скорости скольжения V_r , и равное

$$\tau_r = \tau \cos \alpha, \quad (5)$$

где τ – результирующее касательное напряжение, противоположенное полной скорости скольжения V материальной точки A ; α – угол отклонения напряжения τ от вектора скорости радиального скольжения металла V_r [6].

Кроме радиальной составляющей V_r скорости скольжения V материальная точка A приобретает еще тангенциальную составляющую V_ϕ , которой противоположено

касательное напряжение τ_ϕ , действующее под углом ϕ к результирующему напряжению τ :

$$V_\phi = V \cos \phi; \quad \tau_\phi = \tau \cos \phi. \quad (6)$$

Касательное напряжение τ_ϕ создает момент трения $M_{тр}$:

$$M_{тр} = 2/3 F_{тр} r_i; \quad (7)$$

$$F_{тр} = \tau_\phi S_i = \tau \pi r_i^2 \cos \phi, \quad (8)$$

где S_i – площадь торца выталкивателя, ограниченная радиусом r_i , мм²; r_i – радиус контактной поверхности выталкивателя, соответствующий материальной точке A , мм.

С учетом уравнений (6)–(8) момент трения в точке A будет равен:

$$M_{тр} = 2/3 \pi \mu p r_i^3 \cos \phi, \quad (9)$$

где μ – показатель трения; p – давление на торце выталкивателя, МПа.

Для приближенных расчетов давления p при обратном выдавливании можно использовать уравнение, рекомендуемое в работе [1] для определения усилия закрытой прошивки при максимальном значении показателя сил трения $\mu = 0,5$:

$$p = \sigma_b (3 + 0,22/\delta), \quad (10)$$

где σ_b – предел прочности металла при температуре штамповки, МПа.

При скользящем взаимодействии вращающегося торца выталкивателя с дном очага деформации (дном формируемого изделия) вначале идет процесс граничного трения, разрушаются жировые и оксидные пленки, начинается сухое трение. Затем возникают ювенильные участки контактной поверхности штампуемого металла, и в точках контакта возможно образование адгезионных металлических связей (мостиков схватывания металлов), которые в результате трения контактных поверхностей немедленно разрушаются.

Одновременно с увеличением окружной скорости V_ϕ уменьшается соотношение τ_r/τ и, соответственно, увеличивается ра-

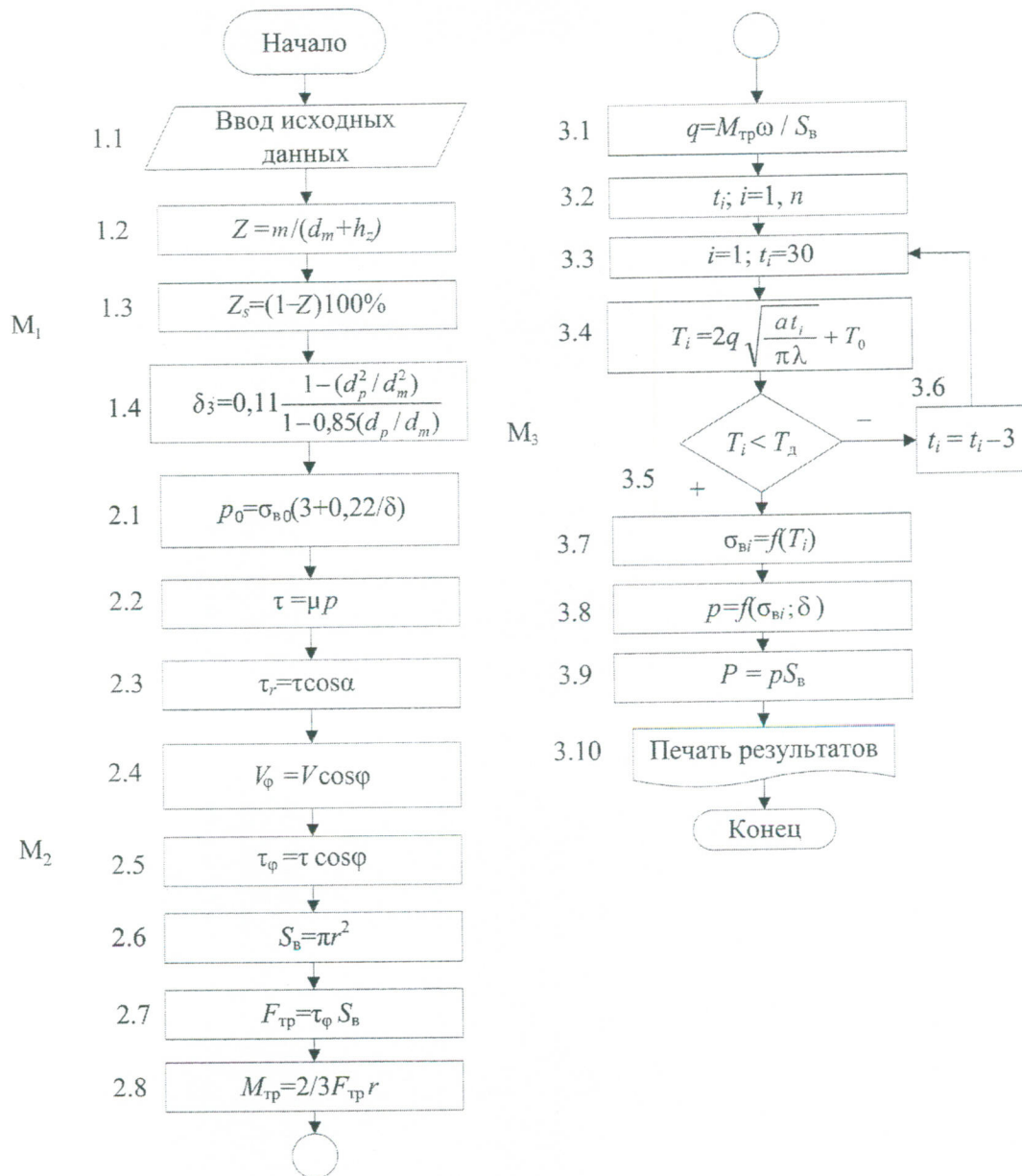


Рис. 3. Алгоритм рационализации силовых и кинематических параметров штамповки тонкостенных полых изделий

диальное течение металла U_r (см. рис. 2), что способствует снижению технологического усилия штамповки за счет развития пластической деформации в донной части изделия.

Вместе с тем возрастает вероятность появления мостиков схватывания металлов, снижающих качество донной поверхности изделия и стойкость инструмента, что связано с тепловой мощностью на контакте.

Тепловая мощность, возникающая при взаимодействии трущихся поверхностей

вследствие преобразования в теплоту работы контактных сил трения, определяется по выражению:

$$q = M_{тр} \omega / S_b, \quad (11)$$

где S_b – площадь донной поверхности выталкивателя, мм^2 ; ω – угловая скорость вращения выталкивателя, с^{-1} .

Тогда температуру T_i на донной поверхности изделия находят по формуле [7]:

$$T_i = 2q \sqrt{\frac{at}{\pi\lambda}} + T_0, \quad (12)$$

где a – температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$; t – время процесса, с ; λ – теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; T_0 – исходная температура донной поверхности изделия, $^\circ\text{C}$.

На основании параметрической характеристики процесса обратного выдавливания спроектирован трехмодульный оптимизационный алгоритм: модуль M_1 – ввод исходных данных и определение параметров очага деформации; M_2 – расчет силовых параметров очага деформации; M_3 – оптимизация теплофизических параметров процесса (см. рис. 3).

В блоке 1.1 вводят исходные данные: высоту H и диаметр D заготовки, диаметры пуансона d_p и матрицы d_m ; толщины стенки m и дна t формируемого изделия (стакана); диаметр выталкивателя d_b ; окружную V и угловую ω скорости вращения выталкивателя; марку штампуемой стали; исходную рекомендуемую T_0 и допустимую T_d температуры нагрева металла; предел прочности стали при температуре штамповки σ_b ; время процесса штамповки t .

В блоках 1.2–1.4 определяют параметры очага деформации.

В блоках 2.1–2.8 находят давление в очаге деформации при температуре штамповки и параметры действия контактных сил трения.

В блоке 3.1 модуля M_3 определяют тепловую мощность, вызванную действием сил трения, устанавливают шаг варьирования времени процесса ($i = 1, n$) и найденное время штамповки t_i (блоки 3.2, 3.3). Далее определяют температуру нагрева донной поверхности штампуемого изделия с учетом теплоты, полученной от действия контактных сил трения (блок 3.4). В блоке 3.5 проверяют допустимость полученной температуры. Если ее значение превышает допустимое по условию рекристаллизации, пластичности и др., то в блоке 3.6 уменьшают время штамповки на один шаг (3 с) и производят пересчет в блоках 3.2–3.4 до выполнения условия блока 3.5.

В блоках 3.7–3.9 пересчитывают давление p и усилие P штамповки с учетом полученной температуры T_i .

Алгоритм реализован компьютерной программой, которая успешно опробована.

Выводы. 1. Определены силовые параметры штамповки выдавливанием тонкостенных полых изделий (стаканов) в зависимости от степени замкнутости очага деформации, его сложности и высоты. Оценено вредное действие контактных сил трения.

2. Установлено влияние глубины распространения пластической деформации в подпуансонной области заготовки на силовые и кинематические условия штамповки.

3. Найдены зависимости, позволяющие оптимизировать температуру контактной поверхности изделия с целью развития пластической деформации и снижения технологического усилия штамповки.

Список литературы

1. Тарновский И. Я., Поздеев А. А., Ганаго О. А., Колмогоров В. Л. и др. Теория обработки металлов давлением. М.: Металлургия. 1963. 672 с.
2. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. М.: Машиностроение. 1983. 200 с.
3. Субич В. П., Степанов Б. А., Максименко А. Е. Объемная штамповка вращающимся инструментом // Кузнечно-штамповочное производство. 1995. № 2.
4. А. с. № 677800 СССР. Штамп для выдавливания полых деталей / М. И. Поксеваткин, М. А. Седешев. Оpubл. 1979. Бюл. № 29.
5. А. с. № 969408 СССР. Штамп для выдавливания полых деталей / М. И. Поксеваткин. Оpubл. 1980. Бюл. № 40.
6. Леванов А. Н., Колмогоров В. Л., Буркин С. П. и др. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Металлургия. 1976. 416 с.
7. Резников А. Н., Резников Л. А. Тепловые процессы в технологических системах. М.: Машиностроение. 1990. 288 с.
8. Поксеваткин М. И., Герман С. В., Басова Е. М. Повышение эффективности процессов получения тонкостенных полых деталей на основе активизации контактных сил трения // КШП. ОМД. 2015. № 7. С. 3–8.



КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО • ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

ВЫХОДИТ ЕЖЕМЕСЯЧНО

УЧРЕДИТЕЛИ:

ОАО «АвтоВАЗ»;

Московский государственный технологический университет «Станкин»;

ОАО «Тяжмехпресс»;

ООО «КШП ОМД»



СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ, РАСЧЕТЫ, ИССЛЕДОВАНИЯ

Поксеваткин М. И., Иванайский А. А., Иванайская Е. А., Герман С. В., Басова Е. М. Моделирование процесса обратного выдавливания тонкостенных полых изделий с активизацией контактных скользящих металлов.....3

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Овечкин Л. М., Сосёнушкин Е. Н., Сосёнушкин А. Е., Кривенко Г. Г. Оценка технологической эффективности процесса равноканального углового прессования.....8

Вайцехович С. М., Панов Д. В., Кривенко Г. Г., Березников Ю. И. Новые технологии оребрения труб и разработка рекомендаций по совершенствованию теплообменников.....12

РЕМОНТ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РЕНОВАЦИЯ

Кожевникова Г. В., Рудович А. О., Щукин В. Я. Повышение усталостной прочности валов посредством поперечно-клиновой прокатки.....19

СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Колмогоров Г. Л., Мельникова Т. Е. Гидродинамический эффект технологической смазки при осадке.....32

ИСПЫТАНИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬ

Тюрин В. А. Феноменология макросдвигов при деформировании бойками со скрецающимися рабочими поверхностями.....36

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в 2017 г.....42

Главный редактор

В. В. Каданников

Зам. главного редактора:

Е. А. Петрова

Редакционная коллегия:

Л. Б. Аксёнов, И. С. Алиев (Украина),
А. Э. Артес, Д. Банабик (Румыния),
А. А. Богатов, Р. З. Валиев, И. Ю. Ваславская,
С. И. Вдовин, А. Л. Воронцов, Ф. В. Гречников,
Ж. Журко (Словакия), В. В. Каданников,
А. П. Ковалёв, А. В. Корнилова, А. Т. Крук,
В. Д. Кухарь, А. Ф. Лещинская, А. Миленин
(Польша), И. Я. Мовшович (Украина),
Р. И. Непершин, С. С. Одинг, И. И. Просвирина,
Г. И. Рааб, Е. Н. Сосёнушкин, С. А. Стебунов,
А. И. Стешин, В. А. Тюрин, Ф. З. Утяшев,
В. Г. Шibaков, В. Ю. Шолом

Редакция:

ООО «КШП ОМД»

Адрес редакции: Москва, Вадковский пер., д. 18А.

Тел. (8 495) 724-94-22, (8 903) 724-94-22.

E-mail: kshp-omd@mail.ru

www.kshp-omd.ru

Адрес для отправки корреспонденции: 101472,

Решением Высшей аттестационной комиссии Министерства в «Перечень ведущих научных журналов и изданий...», в которых работ на соискание ученой степени кандидата и