

УДК 621.771

Алиева Л. И.
Жбанков Я. Г.
Абхари П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ С ПОДВИЖНОЙ МАТРИЦЕЙ

Полые изделия типа труба с фланцем весьма распространены в машиностроении. Традиционные способы изготовления подобных деталей на предприятиях машиностроения – это сварка труб и механическая обработка резаньем, основными недостатками которых являются соответственно плохое качество детали за счет появления шва и большие потери металла на стружку.

Также распространенной технологией изготовления полых деталей является листовая штамповка. Принято считать, что этой технологии присуща высокая производительность, точность и качество изделий. Благодаря последовательному или совмещенному сочетанию операций вытяжки, пробивки, протяжки, и др. можно получить детали весьма хорошего качества. Общим недостатком методов листовой штамповки является многооперационность штамповки и нерациональный расход материала. Последнее обстоятельство оказывается существенным фактором при изготовлении деталей из цветных металлов и сплавов.

Технологические процессы холодного выдавливания полых деталей отличаются высокой эффективностью [1–3].

Благоприятная макроструктура металла и высокое качество поверхности детали получаются в результате выдавливания. Вместе с этим улучшаются и экономические показатели, за счет снижения расхода металла и трудоемкости изготовления, а в ряде случаев и за счет улучшения эксплуатационных свойств.

Одной из проблем производства деталей типа втулок с фланцем является дефектообразование в процессе выдавливания. Так при выдавливании относительно высоких фланцев на трубе возникает такой дефект формы как радиальная утяжина [4].

Выдавливание высоких фланцев без образования утяжины на внутренней поверхности возможно по схеме радиального выдавливания с подъемной матрицей.

Данный способ является новым и важно знать энергосиловые параметры процесса для выбора оборудования и проектирования штамповой оснастки.

Целью данной работы является исследование силового режима процесса радиального выдавливания с подвижной матрицей.

Процесс радиально выдавливания на оправке исследовался энергетическим методом «баланса мощностей» [5]. Основными упрощениями данного метода является то, что задача сводится к осесимметричной, а материал рассматривается как изотропный, идеально жестко пластичный. Схема процесса представлена на рис. 1. Очаг деформации можно условно разбить на 3 блока.

Кинематически возможные поля скоростей (КВПС) для данных блоков приведены в табл. 1.

В схеме, представленной на рис. 1, зона 0 является оптимизированной. При выдавливании относительно низких фланцев она должна вырождаться, и высота очага деформации будет равна высоте фланца. При выдавливании высоких фланцев зона 0 появляется, и тогда высота очага деформации будет меньше высоты фланца.

Значения приведенного давления определялись из условия баланса мощностей внешних и внутренних сил на кинематически возможных скоростях перемещений для случая, когда очаг деформации равен высоте фланца (зона 0 вырождается):

$$N_a = N_d + N_c + N_T = N_{d2} + N_{d3} + N_{c12} + N_{c23} + N_{T01}^1 + N_{T01}^2 + N_{T02} + N_{T02}^2 + N_{T03}^1 + N_{T03}^2 + N_{T03}^3 \quad (1)$$

где N_a – активная мощность, затрачиваемая на весь процесс;

$N_{д2}, N_{д3}$ – мощности пластической деформации в зонах 2 и 3;

$N_{т01}^1, N_{т01}^2, N_{т02}, N_{т02}^2, N_{т03}^1, N_{т03}^2, N_{т03}^3$ – мощности сил контактного трения заготовки и инструмента;

$N_{с12}, N_{с23}$ – мощности сил среза на поверхностях разрыва скоростей.

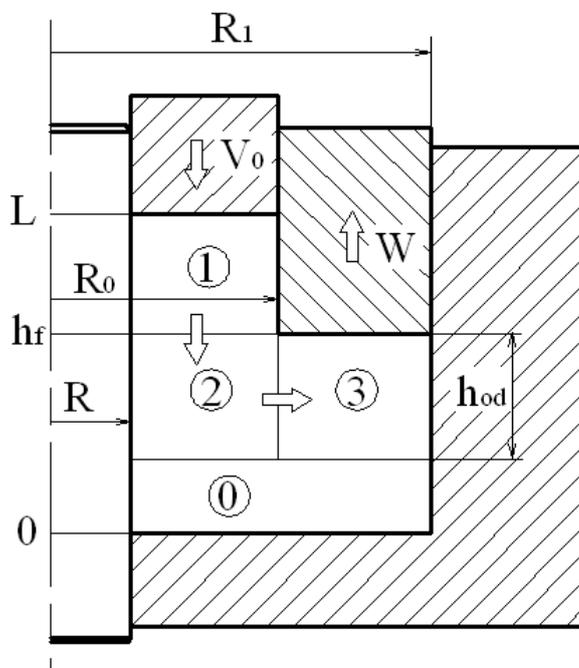


Рис. 1. Схема радиального выдавливания с подвижной матрицей

Таблица 1

Кинематически возможные поля скоростей

Номер зоны	КВПС
1	$\begin{cases} V_r = -V_0 \\ V_z = 0 \end{cases}$
2	$\begin{cases} V_r = \frac{V_0}{2(h_x - h)} \cdot \left(\frac{R^2}{r} - r \right) \\ V_z = \frac{V_0}{h_x - h} \cdot (z - h_x) \end{cases}$
3	$\begin{cases} V_z = \frac{\lambda \cdot V_0}{(h - h_x)} \cdot (z - h_x) \\ V_r = \frac{\lambda \cdot V_0}{2(h - h_x)} \cdot \left(\frac{R_1^2}{r} - r \right) \end{cases}$ <p>где $\lambda = \frac{R_0^2 - R^2}{2(h - h_x) \cdot R_0}$</p>

Уравнение баланса мощностей в случае, когда высота очага деформации меньше высоты выдавливаемого фланца, выглядит следующим образом:

$$N_a = N_d + N_c + N_T = N_{d2} + N_{d3} + N_{c12} + N_{c02} + N_{c23} + N_{c03} + N_{T01}^1 + N_{T01}^2 + N_{T02} + N_{T03}^1 + N_{T03}^2, \quad (2)$$

где N_a – активная мощность, затрачиваемая на весь процесс;

N_{d2} , N_{d3} – мощности пластической деформации в зонах 2 и 3;

N_{T01}^1 , N_{T01}^2 , N_{T02} , N_{T03}^1 , N_{T03}^2 – мощности сил контактного трения заготовки и инструмента;

N_{c12} , N_{c02} , N_{c23} , N_{c03} – мощности сил среза на поверхностях разрыва скоростей.

Мощность внешних активных сил равна:

$$N_a = p \cdot A \cdot V_0 = \pi(R_0^2 - R^2) \cdot p \cdot V_0, \quad (3)$$

где p – удельное усилие пуансона.

Мощность пластической деформации:

$$N_d = \sigma_s \int_V \dot{\varepsilon}_i dV, \quad (4)$$

где V – объем соответствующей зоны очага деформации:

$$dV = r \cdot dr \cdot d\theta \cdot dz.$$

Мощность сил среза на поверхностях разрыва скоростей определяют по формуле:

$$N_c = \int_s \tau_s [V] \cdot dS, \quad (5)$$

где S – поверхность разрыва скорости; $[V]$ – результирующая величина разрыва скорости на данной поверхности.

Мощность сил контактного трения определим по формуле:

$$N_T = \tau_k \int_s V_k \cdot dS, \quad (6)$$

Силы контактного трения равны, $\tau_k = 2\mu\sigma_s/\sqrt{3}$, где коэффициент трения μ меняется в пределах 0...0,5.

Подставив в баланс мощностей все найденные ранее значения мощностей, и сократив на $G_s \cdot V_0 \cdot \pi(R_0^2 - R^2)$, получим приведенное давление процесса радиального выдавливания.

Использованием программы MathCAD было определено приведенное давление процесса радиального выдавливания фланцев с подвижной матрицей. Построены графики зависимости высоты очага деформаций от геометрических параметров процесса (рис. 2).

Анализ графиков (см. рис. 2) позволил установить, что при низких высотах выдавливаемых фланцев высота очага деформации равна высоте фланца. На графиках это выглядит как прямая зависимость между высотой фланца и высотой очага деформации. При выдавливании высоких фланцев высота очага деформации несколько меньше высоты фланца. И при увеличении высоты фланца высота очага деформации остается постоянной для определенных геометрических параметров. Установлено, что на высоту очага деформации влияют внутренний радиус выдавливаемой детали, радиус выдавливаемого фланца и коэффициент

трения. Так при увеличении относительной величины внутреннего радиуса выдавливаемой детали $\bar{R} = R/R_0$ с 0,2 до 0,8 относительная высота очага деформации $\bar{h}_{od} = h_{od}/R_0$ уменьшатся с 0,5 до 0,25.

При увеличении относительной величины наружного радиуса выдавливаемого фланца $\bar{R}_1 = R_1/R_0$ с 1,1 до 1,7 высота очага деформации возрастает от 0,3 до 0,7.

При увеличении коэффициента трения от 0,1 до 0,5 высота очага деформации уменьшается от 0,5 до 0,4.

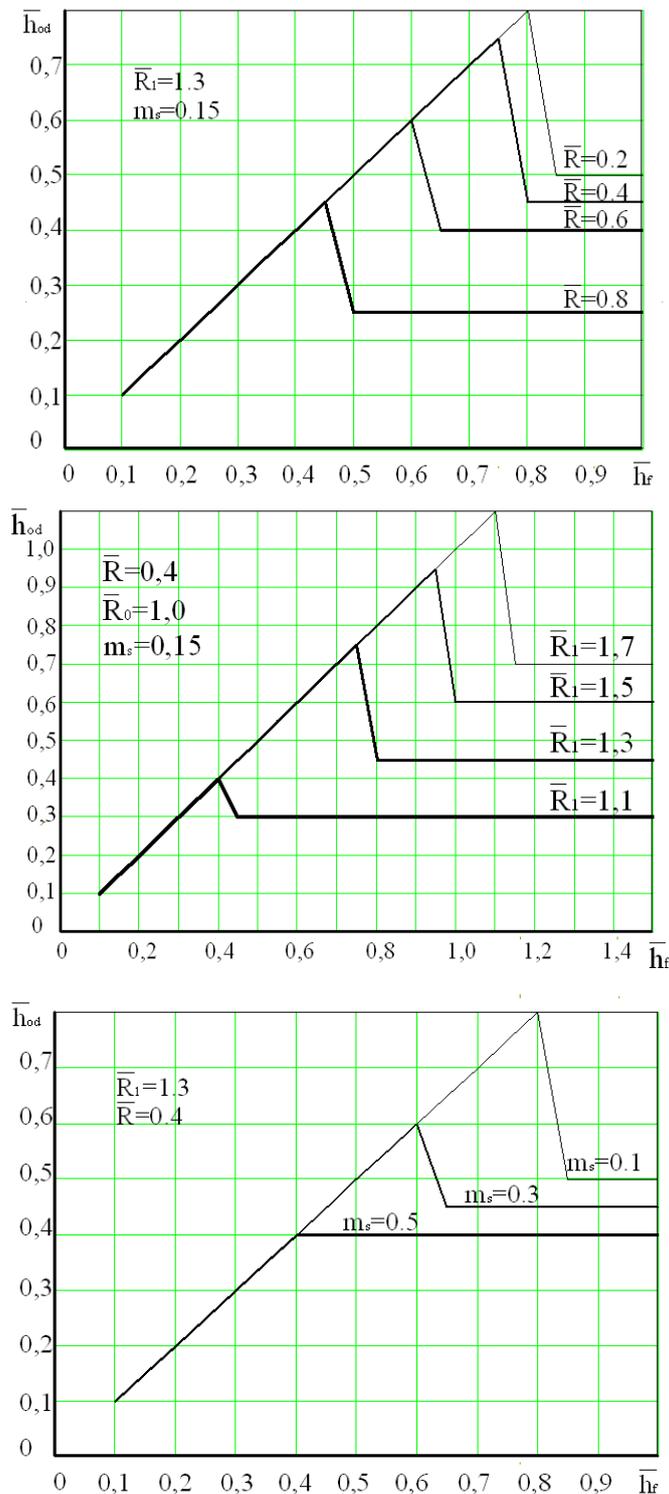


Рис. 2. Графики зависимости относительной высоты очага деформации процесса радиального выдавливания с подвижной матрицей от геометрических параметров процесса

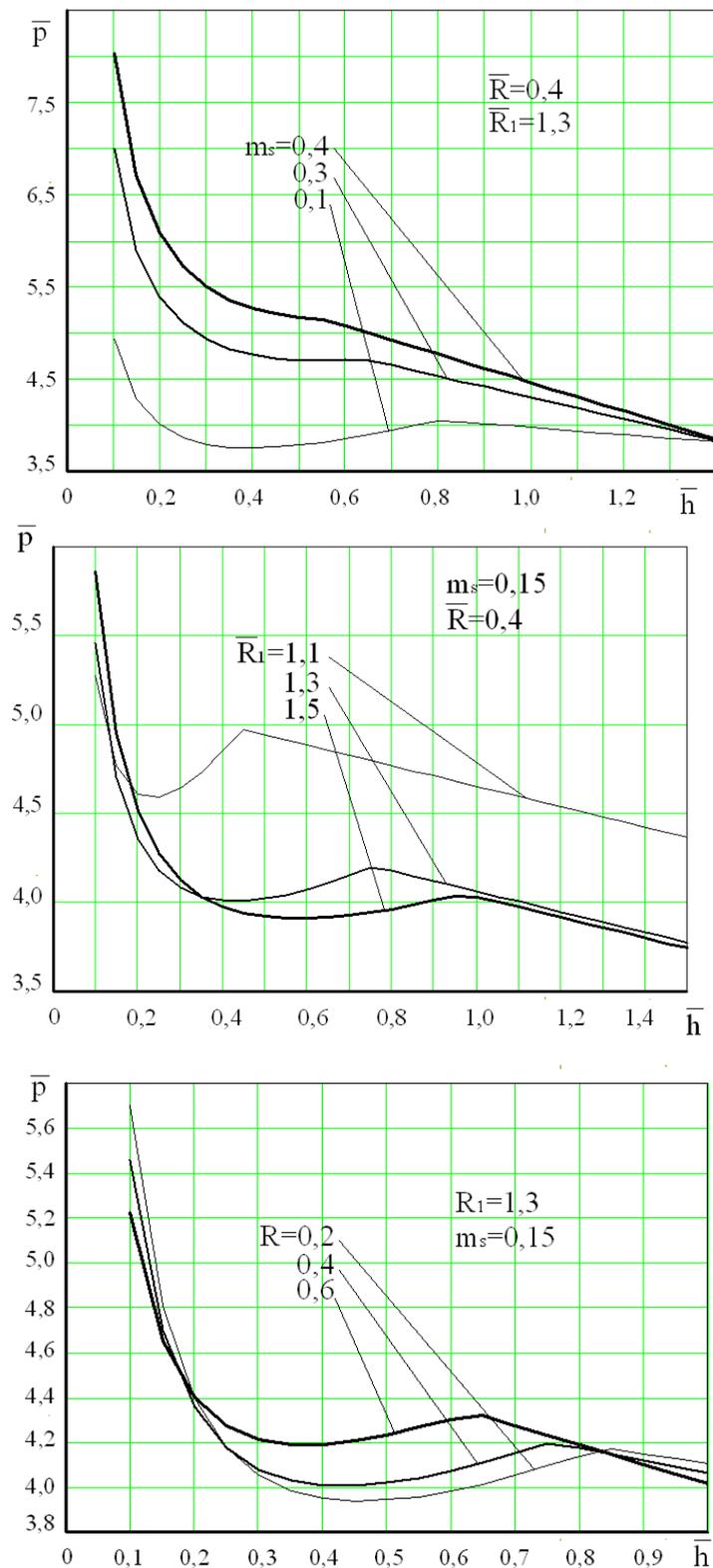


Рис. 3. Графики зависимости приведенного давления процесса радиального выдавливания с подвижной матрицей от геометрических параметров процесса

Также с использованием программы MathCAD были построены графики зависимости приведенного давления радиального выдавливания с подвижной матрицей от геометрических параметров процесса (рис. 3). Анализ графиков зависимости приведенного давления выдавливания от высоты приемной полости под выдавливание фланца позволил установить, что по силовому режиму, процесс радиального выдавливания с подвижной матрицей условно разделяется на 2 этапа. Первый этап – это, когда высоты очага деформации равна высоте

приемной полости под выдавливание фланца, и на этом этапе зависимость приведенного давления от роста высоты фланца имеет квадратичный характер и описывается параболой. На втором этапе высота очага деформации становится меньше высоты приемной полости под выдавливание фланца, и при дальнейшем увеличении высоты приемной полости высота очага деформации постоянна. На этом этапе наблюдается прямо пропорциональная зависимость между приведенным давлением выдавливания и высотой приемной полости. Снижение давления выдавливания объясняется уменьшением поверхности трения между инструментом и заготовкой.

Установлено, что при увеличении наружного радиуса выдавливаемого фланца приведенное давление выдавливания возрастает. Влияние внутреннего радиуса исходной заготовки имеет сложный характер. При увеличении величины внутреннего радиуса заготовки от 0,2 до 0,4 приведенное давление уменьшается, а при увеличении от 0,4 до 0,6 начинает возрастать.

ВЫВОДЫ

Процесс радиального выдавливания с подвижной матрицей позволяет изготавливать изделия типа втулок с относительно высоким фланцем без образования утяжины на внутренней поверхности детали.

Методом баланса мощностей разработана математическая модель радиального выдавливания с подъемной матрицей. Установлены зависимости высоты очага деформации от геометрических параметров процесса радиального выдавливания с подвижной матрицей и трения. Определили, что при увеличении относительной величины внутреннего радиуса выдавливаемой детали $\bar{R} = R/R_0$ с 0,2 до 0,8 относительная высота очага деформации $\bar{h}_{od} = h_{od}/R_0$ уменьшаются с 0,5 до 0,25. При увеличении относительной величины наружного радиуса выдавливаемого фланца $\bar{R}_1 = R_1/R_0$ с 1,1 до 1,7 высота очага деформации возрастает от 0,3 до 0,7. При увеличении коэффициента трения от 0,1 до 0,5 высота очага деформации уменьшается от 0,5 до 0,4.

Проведен анализ влияния геометрических параметров процесса на силовой режим. Установлено, что при увеличении наружного радиуса выдавливаемого фланца приведенное давление выдавливания возрастает. Влияние внутреннего радиуса исходной заготовки имеет сложный характер. При увеличении величины внутреннего радиуса заготовки от 0,2 до 0,4 приведенное давление уменьшается, а при увеличении от 0,4 до 0,6 начинает возрастать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Cold Forging of Hollow Cylindrical Components Having an Intermediate Flange – Ubet Analysis and Experiment* / H. Kudo, B. Avitzur, T. Yoshikai, J. Luksaza a. o. // *CIRP Annalen*, 1980. – № 29. – P. 129–133.
2. Алиев И. С. *Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания* // *Кузнечно-штамповочное производство*. – 1990. – № 2. – С. 7–9.
3. Алиева Л. И. *Выдавливание втулок с фланцем* / Л. И. Алиева, Р. С. Борисов // *Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні* : зб. наук. пр. В 2-х ч. Ч. 1. – Луцканськ : СНУ ім. В. Даля, 2003. – С. 99–105.
4. Aliev I. S. *Defectoobrazovaniye v processe radialno-pryatogo vidavlyvaniya na konusnoy opravke* [Электронный ресурс] / I. S. Aliev, Y. G. Zhabankov // *Herald of the DSEA*. – 2007. – № 1E (6). – Режим доступа : www.nbuv.gov.ua/e-journals/VDDMA/2007-2e10/07AISTCF.pdf.
5. *Теория обработки металлов давлением : учебник для вузов* / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – [Изд. 4-е, перераб. и доп.]. – М. : Машиностроение, 1977. – 423 с.

Алиева Л. И. – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры ОМД ДГМА;
Жбанков Я. Г. – аспирант ДГМА;
Абхари П. – ассистент кафедры ОМД ДГМА.

ДГМА Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: omd@dgma.donetsk.ua