

УДК 621.7

ВЕРХНЯЯ ОЦЕНКА УДЕЛЬНЫХ СИЛ ВЫДАВЛИВАНИЯ ВТУЛОК С ФЛАНЦАМИ

Логутенкова Е.В.¹, Антонюк Ф.И.¹

¹Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Россия (248600, Калуга, ул. Баженова, 2), e-mail: iwtbhn@mail.ru

Изложены результаты исследования удельных деформирующих сил прямого выдавливания втулок с фланцами. Задача решена методом верхней оценки на основе кинематически возможного поля скоростей, составленного из единичных деформированных областей. Каждая область представляет собой элементы с условно фиксированными размерами, которые взаимосвязаны условием нежимаемости. Показаны преимущества решения методом ячейковой оптимизации в сравнении с прочими методами. По сравнению с другими методами решения подобных задач, расчетные зависимости отличаются простотой, компактностью и структурностью. Они позволяют определить удельные силы как на стационарной, так и нестационарной стадиях процесса выдавливания. Полученное решение позволило оценить влияние конструктивных элементов втулок с фланцами и условий трения в штампе на величину удельных сил.

Ключевые слова: выдавливание, удельные силы, пластическая деформация, поковки, трение.

UPPER BOUNDS FOR SPECIFIC FORCES EXTRUSION SLEEVES WITH FLANGE

Logutenkova E.V.¹, Antonyuk F.I.¹

¹Moscow State Technical University n.a. Bauman, Kaluga Branch, Russia (248600, Kaluga, street Bazhenova, 2), e-mail: iwtbhn@mail.ru

The results of investigation of specific deforming forces direct extrusion of plugs with flanges. The problem is solved by the upper bound on the basis of kinematically possible velocity field composed of a single deformed areas. Each region is a conditionally elements with a fixed size, which are interconnected nezzhimaemosti condition. The advantages of the solution method acheikova optimization compared to other methods. Compared with other methods of solving such problems, the calculated dependences are simple, compact and structurally. They allow you to identify the specific forces on stationary and non-stationary stages of extrusion. The resulting solution allowed to assess the impact of structural elements flanged bushings and friction conditions in the die on the value of specific forces.

Keywords: extrusion, specific strength, plastic deformation, forging, friction.

При проектировании технологических процессов холодной объемной штамповки особенно важное значение приобретает знание о величине удельных деформирующих сил, так как этот показатель является главным ограничением области применения холодной объемной штамповки.

Известно, что экономически целесообразная стойкость штампов обеспечивается, если величина удельных деформирующих сил не превышает 2000...2500 МПа [1, 4]. Для расчетов указанного параметра применяют различные теоретические методы прикладной теории пластичности. Среди таких методов особое место занимает метод верхней оценки (МВО), так как он достаточно универсален по широте диапазона решаемых задач и по сравнению с другими методами характеризуется существенно меньшей трудоемкостью. В частности, задачи по определению нагрузок можно решать не только аналитически, но и графо - аналитическим способом. Он более «нагляден», так как инженеру легче представить, каким должно быть кинематически возможное поле скоростей, чем поле напряжений. Опыт

показывает, что даже сравнительно простое кинематически возможное поле скоростей позволяет найти верхнюю оценку для нагрузки, которая не более чем на 15% может превышать результат точного решения [2]. Под последним понимают решение, удовлетворяющее полной системе уравнений не только для скоростей, но и для напряжений.

Верхняя оценка удельных сил

В выполненной работе для определения удельных деформирующих сил холодного выдавливания втулок с фланцами применена разновидность МВО – метод единичных деформируемых областей, называемый также методом ячейковой оптимизации. Его сущность заключается в том, что очаг пластической деформации (ОПД) делят на несколько прямоугольных единичных областей – элементов с условно фиксированными размерами. Затем единичные области объединяют условием несжимаемости [3].

Для таких областей верхние оценки известны и соответствуют деформации прямоугольной полосы при осадке (односторонней или свободной). При объединении единичных областей указанные верхние оценки приводят к активной поверхности, передающей удельную нагрузку с единой скоростью. Для определения нефиксированных размеров (ОПД) верхнюю оценку удельных сил минимизируют.

На рис.1 показано кинематически возможное поле скоростей, состоящее из двух прямоугольников, деформируемых стесненной (односторонней) осадкой.

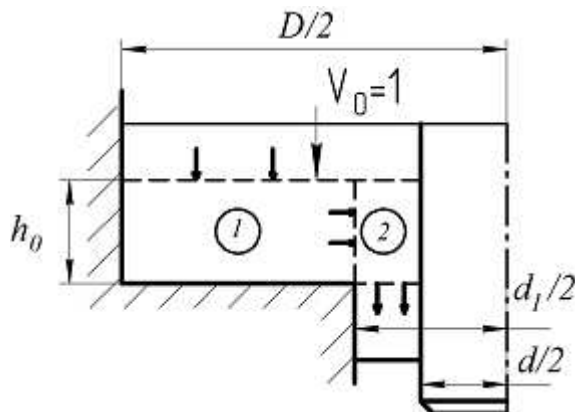


Рис.1. Кинематически возможное поле скоростей

Используя известные тривиальные решения для односторонней осадки полосы, можно, исходя из обозначений размеров на рис.1 определить удельные деформирующие силы для зоны 1 и 2 соответственно[2, 5]:

$$\frac{p_1}{\sigma_s} = 1,15 \cdot \left(1 + \frac{(2 \cdot \mu + 1) \cdot (D - d_1)}{8 \cdot h_0} \right) \cdot \left(\frac{D - d_1}{D - d} \right); \quad (1)$$

$$\frac{p_2}{\sigma_s} = 1,15 \cdot \left(1 + \frac{(2 \cdot \mu + 1) \cdot h_0}{2 \cdot (d_1 - d)} \right) \cdot \left(\frac{D - d_1}{D - d} \right); \quad (2)$$

где σ_s – напряжение текучести упрочняемого материала поковки с учетом интенсивности деформации;

μ – коэффициент контактного трения на рабочих поверхностях штампа;

h_0 - высота очага пластической деформации.

Так как верхние оценки (1) и (2) определены с учетом приведения к единичной скорости ($V_0=1$) и единичной поверхности ($D-d$), то для получения суммарной средней удельной силы выдавливания втулки достаточно сложить (1) и (2):

$$\frac{p}{\sigma_s} = \left[2 + (2 \cdot \mu + 1) \left(\frac{(D-d_1)}{8 \cdot h_0} + \frac{h_0}{2 \cdot (d_1-d)} \right) \right] \cdot \left(\frac{D-d_1}{D-d} \right) + \frac{h_0 \cdot \mu}{D-d}, \quad (3)$$

Высоту ОПД на стационарной стадии процесса выдавливания определим из условия

минимума удельной силы, приравняв частную производную $\frac{\partial \left(\frac{p}{\sigma_s} \right)}{\partial h}$ нулю.

В результате получим:

$$h_0 = 0,5 \cdot \sqrt{(D-d_1) \cdot (d_1-d)}.$$

Из анализа формулы видно, что высота очага деформации зависит от диаметров фланца $\left(\frac{D-d_1}{2} \right)$ и толщины стенки втулки $S = \frac{(d_1-d)}{2}$.

С учетом изменения условий трения на верхней торцевой поверхности фланца величина удельных деформирующих сил на нестационарной стадии выдавливания ($h < h_0$) определится по формуле:

$$\frac{p}{\sigma_s} = 1,15 \cdot \left(2 + \frac{\mu \cdot (D-d_1)}{h} + \frac{(2\mu+1) \cdot h}{2 \cdot (d_1-d)} \right) \cdot \left(\frac{D-d_1}{D-d} \right) + \frac{h \cdot \mu}{D-d}, \quad (4)$$

В формуле (4) последнее слагаемое учитывает трение на вертикальной поверхности матрицы и оправки.

Анализ формул (3) и (4) показывает, что величина удельной силы выдавливания втулок зависит от высоты фланца (h), его диаметров ($D-d_1$), а также от толщины стенки втулки $\left(S = \frac{(d_1-d)}{2} \right)$. Используя полученные зависимости (3) и (4), определим степень и характер влияния указанных конструктивных элементов втулок на величину удельных сил на стационарной стадии выдавливания (Рис.2).

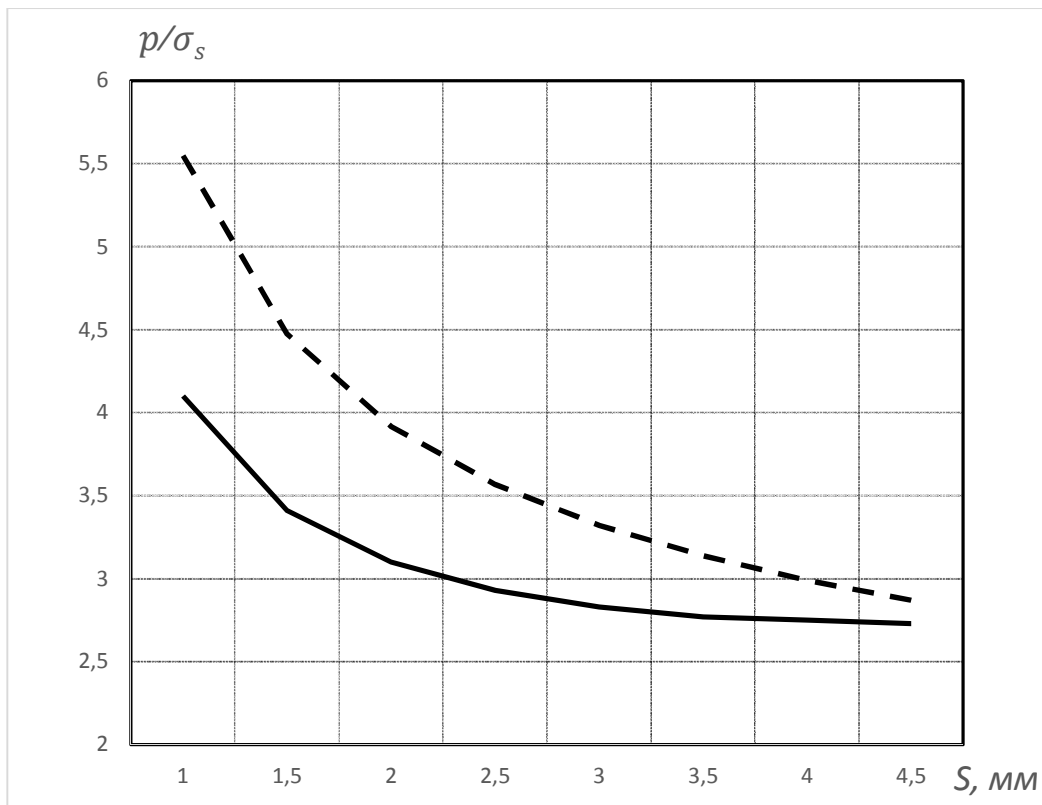


Рис.2. Влияние конструктивных элементов втулок на величину удельных сил

Из графиков на рис.2 видно, что при постоянной высоте фланца ($h = 9$ мм), увеличение его диаметра от 50 (сплошная линия) до 70 мм (прерывистая линия) вызывает более интенсивный рост удельной силы по сравнению с влиянием уменьшения толщины стенки втулки от 4,5 до 1 мм.

Выводы

1. С помощью метода верхней оценки получены формулы, позволяющие оценить величину удельных сил выдавливания втулок с учетом их конструктивных параметров и условий контактного трения в полости штампа на стационарной и нестационарной стадиях процесса.

2. Используя верхнюю оценку удельных сил выдавливания втулок с фланцами выполнен сравнительный анализ влияния размеров фланца и толщины стенки втулки на величину удельных сил.

Список литературы

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т.Т.3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г.А. Навроцкого, - М.: Машиностроение, 1987. 384с.
2. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением.— М.: Машиностроение, 1979г. 215с.

3. Унксов Е.П., Джонсон У., Колмогоров В.Л. и др. Теория пластических деформаций металлов / Под ред. Е.П. Унксова, А.Г. Овчинникова. М.: Машиностроение, 1983. 598с.
4. Холодная объемная штамповка: Справочник / Под ред. Г.А. Навроцкого – М.: Машиностроение, 1973. 496с.
5. Шофман Л.А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки. – 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1964. 375с.

Рецензенты:

Астахов М.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика», Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Калуга.

Шаталов В.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии обработки материалов», Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Калуга.