

УДК 621.7.043

Бильчук М. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА ФЛАНЦЕВ

Детали типа фланцев широко применяются в различных отраслях промышленности, в частности, в арматуростроении. Отрасль арматуростроения на сегодняшний день вполне продвинута и конкурентноспособна. Однако остается актуальным вопрос повышения эффективности производства и снижения себестоимости изделий арматуростроения [1].

Чем ближе размеры поковок к готовым деталям и чем выше их точность, тем меньше их металлоемкость и трудоемкость последующей обработки резанием. Применение техпроцесса безоблойной горячей объемной штамповки в разъемных матрицах позволяет достичь максимального приближения размеров и конфигурации поковок к чистовым деталям, что приводит к существенной экономии денежных средств, а также повышает их механические свойства [2].

Наибольшие силы деформирования и раскрытия инструмента возникают на заключительной стадии процесса при вытеснении избытка металла в компенсационную полость. Поэтому наиболее интересна и рассматривается именно эта стадия процесса. Напряженно-деформированное состояние металла считается осесимметричным, а сам металл – идеально жесткопластичным.

Модель жесткопластичного тела упрощает решение большинства задач обработки металлов давлением. Она предполагает [3, 4] несжимаемость материала; его мгновенный переход из абсолютно недеформированного (жесткого) состояния в пластическое, когда нагрузки превышают предельную величину, и подобный обратный переход; отсутствие упругих деформаций [5].

Одним из методов определения силовых параметров является метод верхней оценки [3].

Известны две модификации энергетического метода. Первая из них основана на моделировании течения металла в очаге деформации при помощи непрерывно деформируемых областей (блоков), как правило, прямоугольной формы – энергетический метод решения задач ОМД. Вторая основана на моделировании течения металла в очаге деформации при помощи жестких (недеформируемых), как правило, треугольных областей (блоков) – метод верхних оценок.

Для упрощения постановки и решения задач ОМД деформируемые заготовки в очаге деформации разбиваются на зоны с различными формами распределения кинематически возможных перемещений. Размеры и конфигурации зон очага деформации выбираются с таким расчетом, чтобы внутри них кинематически возможные перемещения описывались наиболее простыми зависимостями [6].

Целью работы является снижение материальных затрат, уменьшение потребления энергии и увеличение производительности технологического процесса штамповки деталей типа фланцев.

Благодаря исследованиям, выполненным на кафедре СПД МГТУ «Станкин» [7], созданы расчетные зависимости для определения силовых параметров разработанной технологии безоблойной штамповки золотника (деталь типа фланца с развитой втулочной частью). Расчетная схема представлена на рис. 1 и введены следующие допущения: деформируемый материал является жесткопластичным, однородным, неупрочняемым и несжимаемым. Величина σ_S в каждой из рассматриваемых зон пластического течения соответствует скорости деформации $\dot{\epsilon}$, которая оценивается как среднеинтегральная интенсивность скоростей деформации (1):

$$(\dot{\varepsilon}_i)_C = \frac{q}{\sigma_S} \cdot \frac{\frac{dV}{dt}}{V}, \quad (1)$$

где $\frac{q}{\sigma_S}$ – расчетное среднее давление в долях σ_S в рассматриваемой зоне;

$\frac{dV}{dt}$ – скорость изменения объема металла, смещаемого деформирующим инструментом; V – объем металла в рассматриваемой пластической зоне.

Пластическая деформация развивается в очагах высотой H , заключенных в объеме между плоскостью торца пуансона и гравюрой верхней полуматицы, а также в объеме между плоскостью нижней и верхней полуматрицами. Между очагами в полости верхней полуматрицы L и в полости нижней полуматрицы под очагом располагаются жесткие зоны, неподверженные пластической деформации.

Очаг деформации состоит из двух плоско-цилиндрических областей 1, 2, в каждой из которых осевая v_z и радиальная v_r скорости течения зависят соответственно лишь от осевой и радиальной координат, а сдвиги локализованы на границах этих областей, области 3, 4 и 5 являются жесткими.

В соответствии с принятыми допущениями расчетной схемы, граничные условия для составляющих скоростей v_z и v_r области 1, 2 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Граничные условия

№ области	Граничные условия	
для области 1	$v_z = 0$ при $z = H$	$v_r = v_1$ при $r = \frac{d}{2}$
	$v_z = v$ при $z = 0$	$v_r = 0$ при $r = 0$
для области 2	$v_z = v$ при $z = H$	$v_r = 0$ при $r = \frac{D}{2}$
	$v_z = v_1$ при $z = 0$	$v_r = v_1$ при $r = \frac{d}{2}$

Плоскости нижней полуматрицы сообщена малая виртуальная скорость V_i , направленная в сторону верхней полуматрицы. Используя граничные условия и частное решение условия несжимаемости (2), (3) [5]:

$$v_z = c_1 z + c_2; \quad (2)$$

$$v_r = -0,5 c_1 r + c_3/r; \quad v_\varphi = 0, \quad (3)$$

где c_1 , c_2 и c_3 – произвольные постоянные и условие непрерывности нормальных составляющих скоростей на поверхностях разрыва скоростей, получим кинематически возможные поля скоростей (табл. 2).

Равенство мощностей всех внутренних и внешних сил, действующих на деформируемый металл, имеет вид (4):

$$Pv + P_i v_i = N_{i1} + N_{i2} + N_{AI} + N_{JD} + N_{CE} + N_{GM} + T_{CI} + T_{CM} + T_{GF} + T_{FD} + T_{DE} + T_{BJ}, \quad (4)$$

где P – сила штамповки; P_i – реактивная сила, действующая на верхнюю полуматрицу; N_{i1}, N_{i2} – мощности внутренних сил в областях 1, 2; $N_{AI}, N_{JD}, N_{CI}, N_{GM}$ – мощности среза, развиваемые максимальными касательными напряжениями $\sigma_s / \sqrt{3}$ на разрывах касательных составляющих скоростей на границах областей деформации AI, ID, CI, GM ; $T_{CI}, T_{CM}, T_{GF}, T_{FD}, T_{DE}, T_{BJ}$ – мощности сил внешнего трения штампуемого металла о стенки инструмента.

Используемый метод расчета основан на условии, что процесс деформации должен осуществляться при минимально возможных энергетических затратах. Поэтому активные и реактивные силы P и P_i могут быть получены после группировки рассчитанных членов равенств (4) содержащих скорость пуансона v и виртуальную скорость v_i , и обращения в нуль соответствующих множителей при них.

Таблица 2

Кинематически возможные поля скоростей

№ области	Поле скоростей
для области 1	$v_z = -\frac{v}{H}z + v$
	$v_r = \frac{v}{2H}r + \left(\frac{d^2}{8H}(v - v_i) + \frac{(v - v_i)D^2}{8H} - \frac{vd^2}{8H} \right) \frac{1}{r}$
для области 2	$v_z = \frac{v - v_i}{H}z + v_i$
	$v_{r2} = 0,5 \frac{(v_i - v)}{H}r + \frac{(v - v_i)D^2}{8Hr}$

Отсюда, сила штамповки вычисляется (5):

$$\begin{aligned}
 P = & \frac{\sigma_s d^2 \pi}{4} + 2\pi\sigma_s + \frac{D^2}{8} \ln \frac{D}{d} - \frac{2\sigma_s d \pi}{\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s (d - d_3) \pi}{2H\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s \pi D^2 (d - d_3)}{8H\sqrt{3}} - \\
 & - \frac{\sigma_s \pi d^2 (d - d_3)}{4H\sqrt{3}} + \frac{\sigma_s \pi d_1}{2\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi D^2 d_1}{8\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi d^2 d_1}{4\sqrt{3}H} - \frac{\sigma_s \pi (D^3 - d_2^3)}{8\sqrt{3}H} + \\
 & + \frac{\sigma_s \pi D^2 (D - d_2)}{8\sqrt{3}H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d - d_1)}{8H} - \frac{\mu \sigma_s \pi d^2 (d - d_1)}{4H} - \frac{\mu \sigma_s \pi d^2 d}{2H} + \\
 & + \frac{\mu \sigma_s \pi D H}{2} - \frac{\mu \sigma_s \pi (d_2^3 - d^3)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d_2 - d)}{8H} - \frac{\mu \sigma_s \pi (D^3 - d^3)}{8H} + \\
 & + \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (D - d)}{8H} + \frac{\mu \pi \sigma_s d_3^2}{4H} - \frac{\mu \pi \sigma_s d^2 d_3}{4H} + \frac{\mu \pi \sigma_s D^2 d_3}{8H}.
 \end{aligned} \quad (5)$$

Величина реактивной силы P_i , действующей на нижнюю полуматрицу, при штамповке золотника определяется группировкой и сложением множителей при виртуальной скорости v_i в равенстве мощностей (4).

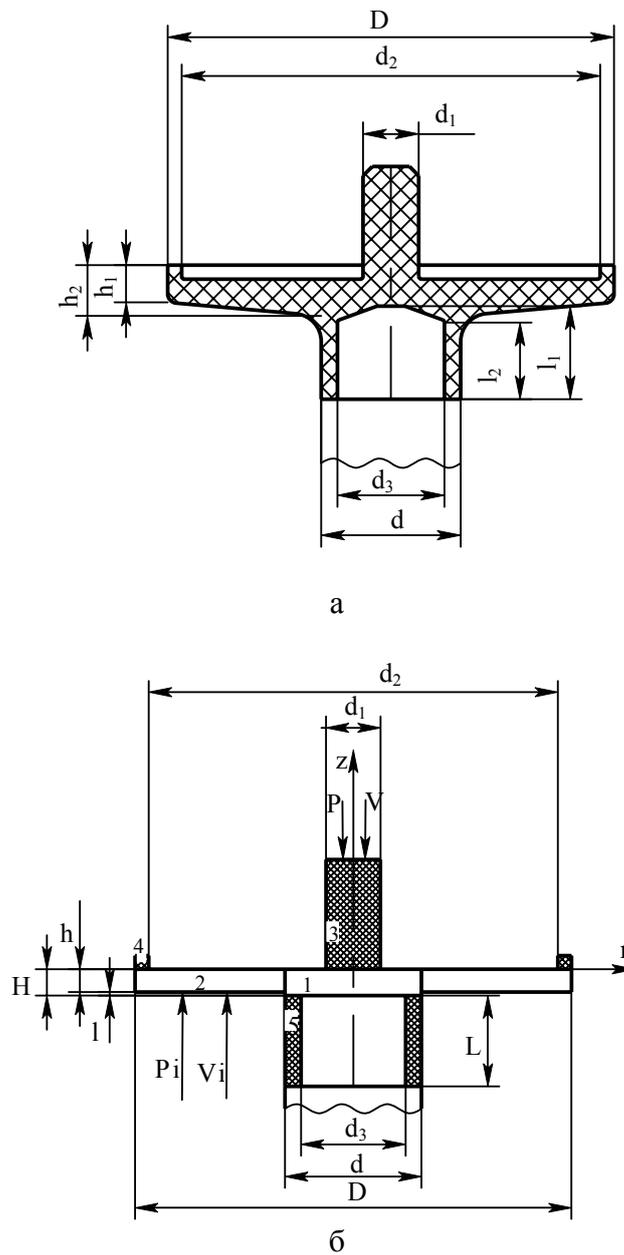
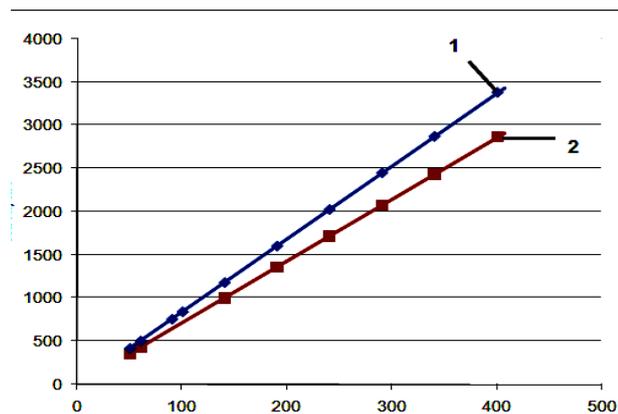


Рис. 1. Параметрическая расчетная схема (а) и штамповки золотника (б)

Величина P_i рассчитывается (6):

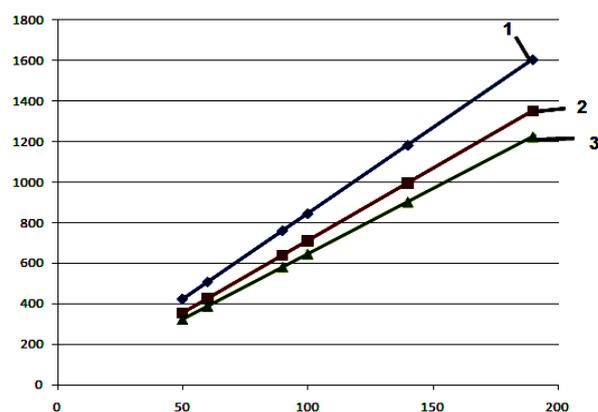
$$\begin{aligned}
 P_i = & -2\pi\sigma_s \frac{D^2}{8} \ln \frac{D}{d} + \frac{\sigma_s d \pi}{2\sqrt{3}} - \frac{\sigma_s \pi D^2 d_1}{8\sqrt{3}H} + \frac{\sigma_s \pi d^2 d_1}{8\sqrt{3}H} + \frac{\sigma_s \pi (D^3 - d_2^3)}{8\sqrt{3}H} - \\
 & - \frac{\sigma_s \pi (D^3 - D d_2)}{8\sqrt{3}H} - \frac{\mu \sigma_s \pi D (d - d_1)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi d^2 (d - d_1)}{8H} - \frac{\mu \sigma_s \pi D H}{2} + \frac{\mu \sigma_s \pi (d_2^3 - d^3)}{8H} - \\
 & - \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (d_2 - d)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi (D^3 - d^3)}{8H} - \frac{\mu \sigma_s \pi D^2 (D - d)}{8H} + \frac{\mu \sigma_s \pi d^2 d_3}{8H} - \frac{\mu \pi \sigma_s D^2 d_3}{8H}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Для оценки величины активной и реактивной силы были построены линейные зависимости по выражениям (5) и (6). На рис. 2 приведены линейные зависимости для оценки сил при деформировании поковки золотник.



1 – технологическая (активная) сила, кН;
2 – сила противодействия (реактивная), кН

а



1 – при $\mu = 0,15$; 2 – при $\mu = 0,20$;
3 – при $\mu = 0,30$

б

Рис. 2. Графики зависимостей сил от напряжения текучести (а) и технологической силы от коэффициента трения (б)

Учитывая, что сопротивление деформированию латуни ЛС59-1 при 800 °С составляет $\sigma_s = 60$ МПа, необходимые силы составят:

- активная – 500 кН;
- реактивная – 430 кН.

ВЫВОДЫ

Проведенное математическое моделирование в рамках энергетического метода позволило получить аналитические зависимости для определения технологических сил на наиболее нагруженной стадии деформирования, необходимые для дальнейшего проектирования штампового инструмента, и выборы технологического оборудования. Полученные при математическом моделировании параметры были проверены при компьютерном моделировании и экспериментальной штамповке. Получена хорошая сходимость результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьюхин В. В. Разработка ресурсосберегающей технологии штамповки фланцевых переходов / В. В. Третьюхин // Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов : сборник докладов. – М. : МГТУ «СТАНКИН», 2007. – 120 с.
2. Барков В. С. Оценка параметров компенсационной полости при горячем выдавливании сплошных поковок с фланцами / В. С. Барков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 9. – С. 3–5.
3. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1971. – 457 с.
4. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов. – М.-Л. : Наука, 1969. – 420 с.
5. Степанский Л. Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением / Л. Г. Степанский. – М. : Машиностроение, 1979. – 213 с.
6. Шестаков Н. А. Расчеты процессов обработки металлов давлением в Matchcad / Н. А. Шестаков. – М. : МГИУ, 2008. – 344 с.
7. Николаев В. В. Разработка технологии горячей штамповки фланцев с развитой втулочной частью / В. В. Николаев // Кузнечно-штамповочное производство. – 2004. – № 6. – С. 13–15.

Бильчук М. В. – магистр, инженер МГТУ «Станкин».

МГТУ «Станкин» – Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва, Россия.

E-mail: belkka-87@mail.ru