

УДК 621.73.043

Кухарь В.В.*(Приазовский государственный технический университет /
Национальная металлургическая академия Украины)*

УТОЧНЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕННОГО ОБЪЕМА ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ЗАГОТОВОК ОСАДКОЙ РАДИУСНЫМИ ПЛИТАМИ

Шляхом аналітичного розгляду задачі осаджування заготовок випуклими подовженими плитами виконане уточнене рішення визначення зміщеного об'єму, який є показником такого важливого технологічного критерію, як ступень деформації заготовки при осаджуванні. Основна складність полягає у розрахунках об'єму, який розміщений між контактною поверхнею та приторцевими випуклостями деформованої заготовки, що потребує залучення чисельних або табличних методів інтегрування.

By the way of analytical consideration of upsetting processes by longitudinal convex flags is most accuracy design in determination of dismissed volume of billet for shown of important technological characteristic as degree of deformation during upsetting of billet is execute. The basic difficulty is concludes in calculation of volume placed between contact surface and near ends convexes of deformed billet with necessary in using of numerical or tables methods of integration.

Вступление

Объемную штамповку на кривошипных горячештамповочных прессах принято считать более предпочтительной, чем штамповку поковок на паровоздушных штамповочных молотах, из-за реализации жестких припусков и допусков на размеры изделий, более низких требований к квалификации операторов-штамповщиков, снижения вибронагрузки на работников и промышленные здания и т.п. Однако трудности, связанные с необходимостью проведения подготовительно-заготовительных операций в штамповом пространстве прессов, требуют поиска бесштамповых способов профилирования заготовок перед изготовлением поковок усложненной конфигурации [1]. Получение профилированных полуфабрикатов инструментом упрощенной формы осуществимо путем расширения возможностей операций на основе осадки, которые, чаще всего, неэффективно используют только в целях сбива окалины. Ряд последних исследований в области процессов осадки [2–6] подтверждают разнообразие нерешенных задач формоизменения такой, казалось бы, простой операции.

При использовании для усовершенствования технологий штамповки подготовительной осадки заготовок выпуклыми продолговатыми (радиусными) плитами [7] необходимо точно назначать степень деформации осадки, которая оказывает существенное влияние на геометрическое формоизменение, неравномерность деформации, энергосиловые параметры и другие характеристики. Величина степени деформации при осадке определяется смещенным объемом, вычисление которого представляет отдельную математическую задачу [8]. Данное решение [8] не учитывает возможности перехода к полярным координатам при рассмотрении горизонтального поперечного сечения заготовки. Выполнение такого перехода с одновременным использованием резервов промежуточных решений при помощи уточненного интегрирования в САЕ-среде позволяет осуществить более точное вычисление смещенного объема при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами.

Основная часть

Целью настоящей работы является уточнение задачи вычисления смещенного объема в процессе внедрения выпуклой плиты в цилиндрическую заготовку на подготовительно-заготовительном переходе штамповки.

В связи с наличием существенной неравномерности деформации по высоте заготовки, осадку которой проводят выпуклым инструментом, для оценки степени деформации становится неприменимой известная формула: $\varepsilon = \{(H_0 - h) / H_0\} \times (100 \%)$, где H_0 и h – начальная и конечная высота заготовки соответственно.

Аналитическое рассмотрение задачи определения величины смещенного объема при внедрении выпуклой продолговатой осадочной плиты в торец заготовки проводим согласно схеме, представленной на рис. 1. Принимаем допущение центрального симметричного внедрения выпуклой продолговатой плиты радиусом R в изотропную цилиндрическую заготовку с начальным радиусом r_0 , т.е. исходный диаметр заготовки $D_0 = 2r_0$. Процессы формоизменения в верхней и нижней частях заготовки, т.е. относительно её горизонтальной оси, считаем симметричными, что позволяет рассматривать только верхнюю половину заготовки. Поперечное сечение деформированной заготовки аппроксимируем кругом радиусом r .

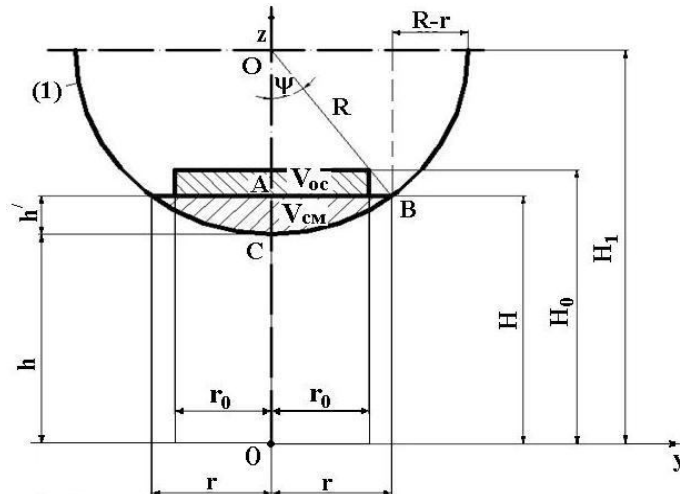


Рис. 1. - Расчетная схема осадки цилиндрической заготовки радиусными плитами

Уравнение окружности с центром $(0; H_1)$, описывающей проекцию выпуклой осадочной плиты радиусом $R > r$ на плоскость yz , согласно рис. 1, представляет собой выражение:

$$(z - H_1)^2 + y^2 = R^2. \quad (1)$$

Объем половины исходной цилиндрической заготовки вычисляем как $V_{заг} = (\pi \cdot r_0^2 \cdot H_0)/2$. При этом смещенный объем V , находящийся за контурами профилированной заготовки, можно приближенно представить в виде суммы двух объемов (см. рис. 1): $V = V_{0c} + V_{0cm}$, причем:

$$V_{0c} = \pi \cdot r_0^2 (H_0 - H), \quad (2)$$

$$V_{0cm} = \iint_{D_{cm}} (z_A - z_C) dx dy, \quad (3)$$

где z_A и z_C – координаты по оси $0z$, определяемые точками A и C , а именно половинами максимальной и минимальной высоты заготовки после внедрения радиусных плит;

D_{cm} – область радиусом r , соответствующая проекции на горизонтальную плоскость xy поверхности контакта радиусной плиты и осаживаемой заготовки.

Из уравнения (1) имеем:

$$(z - H_1)^2 = R^2 - y^2. \quad (4)$$

Откуда:

$$z = -\sqrt{R^2 - y^2} + H_1 \quad \text{или} \quad z = H_1 - \sqrt{R^2 - y^2}. \quad (5)$$

Значит можно определить координаты: $z_A = H$ и $z_C = H_1 - \sqrt{R^2 - y^2}$.

Тогда запишем выражение (3) в следующем виде:

$$V_{cm} = \iint_{D_{cm}} \left(H - H_1 - \sqrt{R^2 - y^2} \right) dx dy. \quad (6)$$

Находим: $H_1 = H + AO$, где из треугольника ΔOAB имеем: $AO = \sqrt{R^2 - r^2}$, откуда:

$$H = H_1 - \sqrt{R^2 - r^2}. \quad (7)$$

Соответственно, подставляя выражение (7) в интеграл (6), запишем:

$$V_{cm} = \iint_{D_{cm}} \left(H_1 - \sqrt{R^2 - r^2} - H_1 - \sqrt{R^2 - y^2} \right) dx dy = \iint_{D_{cm}} \left(\sqrt{R^2 - y^2} - \sqrt{R^2 - r^2} \right) dx dy. \quad (8)$$

Для выполнения интегрирования перейдем к полярным координатам:

$$\left. \begin{aligned} x^2 + y^2 &= r_0^2; \\ x &= \rho \cos \varphi, y = \rho \sin \varphi; \\ \rho^2 \cos^2 \varphi + \rho^2 \sin^2 \varphi &= r_0^2; \\ \rho &= r_0; dx dy = \rho d\rho d\varphi. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Тогда имеем:

$$V_{cm} = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{r_0} \left(\sqrt{R^2 - \rho^2 \sin^2 \varphi} - \sqrt{R^2 - r^2} \right) \rho d\rho. \quad (10)$$

После решения внутреннего интеграла с помощью пакета Mathcad, получим:

$$\begin{aligned} V_{cm} &= \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{6} \left(\frac{2(R^2 - \rho^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{-\sin^2 \varphi} + 3\sqrt{R^2 - r^2} \cdot \rho^2 \right) \right) \Bigg|_0^{r_0} d\varphi = \\ &= \int_0^{2\pi} \left(-\frac{1}{3} \cdot \frac{(R^2 - r_0^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{\sin^2 \varphi} + \frac{1}{3} \frac{R^3}{\sin^2 \varphi} + 3\sqrt{R^2 - r^2} \cdot r_0^2 \right) d\varphi. \end{aligned} \quad (11)$$

Откуда проводим решение:

$$\begin{aligned} V_{cm} &= -\frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \frac{(R^2 - r_0^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{\sin^2 \varphi} d\varphi + \frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \frac{R^3}{\sin^2 \varphi} d\varphi + 3 \int_0^{2\pi} \sqrt{R^2 - r^2} \cdot r_0^2 d\varphi = \\ &= -\frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \frac{(R^2 - r_0^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{\sin^2 \varphi} d\varphi - \frac{1}{3} R^3 \cdot \operatorname{ctg} \varphi \Bigg|_0^{2\pi} + 3\sqrt{R^2 - r^2} \cdot r_0^2 \cdot \varphi \Bigg|_0^{2\pi}. \end{aligned} \quad (12)$$

Ввиду симметричных пределов интегрирования среднее выражение $\frac{1}{3} R^3 \cdot \operatorname{ctg} \varphi$ уравнения (12) принимаем равным нулю. Тогда запишем:

$$V_{cm} = -\frac{1}{3} \int_0^{2\pi} \frac{(R^2 - r_0^2 \cdot \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{\sin^2 \varphi} d\varphi + 3\sqrt{R^2 - r^2} \cdot r_0^2 \cdot 2\pi. \quad (13)$$

Интеграл выражения (13) обозначим через J и решаем его с помощью замены переменных:

$$J = \int \frac{(R^2 - r_0^2 \cdot \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}{\sin^2 \varphi} d\varphi = \left| \begin{aligned} t &= \operatorname{tg} \varphi; \quad \varphi = \operatorname{arctg} t, \\ d\varphi &= \frac{dt}{1+t^2}; \quad \sin^2 \varphi = \frac{t^2}{1+t^2} \end{aligned} \right|. \quad (14)$$

Отражая ход решения, запишем:

$$J = \int \frac{\left(R^2 - r_0^2 \cdot \frac{t^2}{1+t^2} \right)^{\frac{3}{2}}}{\frac{t^2}{1+t^2}} \cdot \frac{dt}{1+t^2} = \int \frac{\left(R^2(1+t^2) - r_0^2 t^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{t^2(1+t^2)^{\frac{3}{2}}} dt = \int \frac{\left(R^2 + R^2 t^2 - r_0^2 t^2 \right)^{\frac{3}{2}}}{t^2(1+t^2)^{\frac{3}{2}}} dt. \quad (15)$$

Для взятия последнего интеграла (15) могут быть задействованы численные или табличные методы. Например, решая данный интеграл с помощью Mathcad, получаем:

$$\begin{aligned} J = & R^2 \cdot \frac{\sqrt{R^2 + R^2 t^2 - r_0^2 t^2}}{t} - \ln \left[t \cdot \sqrt{-R^2 + r_0^2} + \sqrt{\left(-R^2 + r_0^2\right)t^2 - R^2} \right] \cdot R^4 + \\ & + \ln \left[t \cdot \sqrt{-R^2 + r_0^2} + \sqrt{\left(-R^2 + r_0^2\right)t^2 - R^2} \right] \cdot r_0^2 \cdot R^2 - \\ & - \ln \left[t \cdot \sqrt{-R^2 + r_0^2} + \sqrt{\left(-R^2 + r_0^2\right)t^2 - R^2} \right] \cdot r_0^4 - \\ & - \frac{1}{2} r_0^3 \cdot \operatorname{arctg} \frac{\left(2i \cdot R^2 - 2i \cdot r_0^2\right)(t+i) - 2r_0^2}{2r_0 \sqrt{\left(-R^2 + r_0^2\right)(t+i)^2 + \left(2i \cdot R^2 - 2i \cdot r_0^2\right)(t+i) - r_0^2}} + \\ & + \frac{1}{2} r_0^3 \cdot \operatorname{arctg} \frac{\left(-2i \cdot R^2 + 2i \cdot r_0^2\right)(t-i) - 2r_0^2}{2r_0 \sqrt{\left(-R^2 + r_0^2\right)(t-i)^2 + \left(-2i \cdot R^2 + 2i \cdot r_0^2\right)(t-i) - r_0^2}}. \end{aligned} \quad (16)$$

Степень деформации ε при осадке выпуклыми продолговатыми плитами может быть найдена через смещенные объемы, а именно:

$$\varepsilon = (V/V_{заг}) \cdot (100\%). \quad (17)$$

Выводы

Таким образом, основная сложность при уточненных расчетах смещенного объема в процессах осадки заготовок радиусными плитами заключается в поиске объема области, заключенной между поверхностью контакта и границами приторцевых выпуклостей. Результаты методов расчета смещенного объема при осадке заготовок радиусными плитами, в перспективе, могут быть сопоставлены с экспериментальными данными.

Литература

1. Гринкевич В. А. Разработка концепции бесштампового профилирования заготовок на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях / В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Зб. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПИ» – 2009. – № 32. – С. 26–32.
2. Дмитриев А. М. Общая теория осадки и высадки цилиндрических заготовок / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2004. – №1. – С.82–103.
3. Зильберг Ю. В. Некоторые вопросы теории прокатки и осадки металла / Ю. В. Зильберг // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – №1. – С. 69–73.
4. Воронцов А. Л. Исследование осадки цилиндрической заготовки с затрудненным течением металла на одном из торцов / А. Л. Воронцов // Вестник машиностроения. – 2009. – №2. – С. 67–74.
5. Воронцов А. Л. Теория осадки малопластичных материалов в пластичных оболочках / А. Л. Воронцов // Вестник машиностроения. – 2009. – №3. – С. 71–75.
6. Добров И. В. Анализ процессов трения твердых и пластически деформируемых тел в механике машин на примере осадки симметричной заготовки плоскими бойками / И. В. Добров // Кузнечно-штамповочное производство – Обработка металлов давлением. – 2009. – №3. – С. 3–9.
7. Пат. № 44484 (Україна), МПК(2009), В21К, В21J. Спосіб штампування поковок пластин / В. В. Кухар, В. А. Бурко, О. О. Лаврентік, А. В. Дубініна. – № u200902832; Заявл. 26.03.2009; Опубл. 12.10.2009 – Бюл. №19. – 5с.:іл.
8. Кухарь В. В. Смещенные объемы при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми плитами / В. В. Кухарь, В. А. Бурко // Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2008. – № 1(19). – С. 177–182.