

УДК 621.73

Кухарь В. В.

**МЕТОДИКА УЧЕТА СМЯТИЯ ТОРЦЕВЫХ УЧАСТКОВ ЗАГОТОВОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА**

Поковки с изогнутой осью, производство которых ведут как способамиковки, так и способамиштамповки, относят к наименее технологичным изделиям, что отражено в известных классификациях А. М. Мансурова, А. В. Ребельского, Е. И. Семенова, М. В. Сторожева, С. Н. Хржановского и др. ученых. Существенного снижения отходов основного материала с облоем и заусенцем достигают за счет рациональных подготовительно-заготовительных операций фасонирования (профилирования) исходных заготовок. Некоторые прогрессивные технологические решения позволяют получать изделия с изогнутой осью объемной штамповкой без образования облоя [1], однако это обуславливает применение дорогостоящих электронных дозаторов массы заготовок, кинематически сложных разъемных штампов и пр., что привязывает технологию только к условиям массового производства.

Эффективными способами предварительного профилирования заготовок являются бештамповые технологии, при которых сложную конфигурацию фасонного полуфабриката получают инструментом простой формы [2]. Разработанные технологии, включающие продольный изгиб перед окончательной штамповкой поковок с изогнутой осью, не привязаны к серийности производства, а, следовательно, применимы при выпуске мелких и единичных серий металлопродукции. Изучение основных закономерностей формоизменения заготовок при продольном изгибе позволило разработать обобщенную методику расчета размеров заготовки и переходов штамповки, а на основе данного способа профилирования заготовок круглого поперечного сечения усовершенствованы технологические процессы горячей объемной штамповки поковок «вилка скользящая», «гайка барашек» [3]. В работе [4] исследовано искажение торцевых участков заготовок при продольном изгибе, учет которого необходим для обеспечения заполнения удаленных участков гравюр (отростков), исключения запрессовки заготовки в фиксирующих выточках осадочной плиты, контроля размеров смятия. Однако методика расчета величины смятия торцов и габаритных размеров исходной заготовки с учетом искажения торцевых участков до настоящего времени не предложена.

Целью работы является анализ формообразования торцевых участков и разработка методики расчета их искажения при профилировании продольным изгибом для учета величины смятия на стадии проектирования технологий кузнечно-штамповочного производства.

С привлечением метода планирования эксперимента получены регрессионные зависимости геометрических характеристик искажения торцов от отношения исходной высоты ( $L_0$ ) к диаметру ( $D_0$ ) заготовки и условной степени осадки  $\varepsilon_y = (L_0 - H_k) / L_0$ , где  $H_k$  – конечная высота заготовки [4]. Величина  $m_0 = L_0 / D_0$  – относительная высота заготовки. Данные уравнения регрессии использовали для рассмотрения двух основных задач:

Задача 1 – учет смятия торцов при дальнейшей штамповке профилированной заготовки в штамповочном ручье, в котором смятые торцевые участки размещают в крайних элементах или отростковых полостях гравюры;

Задача 2 – учет смятия торцов при производстве изделий с изогнутой осью, когда после продольного изгиба торцевые участки пластической деформации не подвергают.

Поясним выбор данных задач.

*Задача 1.* Чем выше отношение  $m_0$  при продольном изгибе заготовок, тем большая поверхность торца отрывается от плоскости осадочной плиты и наблюдается меньшее смятие торцевых участков. При дальнейшей штамповке профилированной заготовки в ручье для производства изогнутых поковок, в котором смятые торцевые участки размещают в крайних элементах или отростках гравюры, необходима проверка заполнения данных полостей металлом. Такую проверку при освоении новой технологии выполняют проведением опытной

штамповки или, в случае возможности наиболее полного учета условий деформирования, конечно-элементным моделированием течения металла. Отметим, что данные мероприятия увеличивают общую материалоемкость продукции и трудоемкость проектирования, а поэтому требуют разработки альтернативной инженерной методики.

**Задача 2.** При производстве изделий с изогнутой осью, когда после продольного изгиба торцевые участки пластической деформации не подвергают, необходимо сопоставление размеров смятия с размерами допустимых отклонений или припусками на дальнейшую механическую обработку изделия.

**Задача 1.** Рассмотрим вариант размещения изогнутой профилированной заготовки в гравюре штампа для штамповки поковок с изогнутой осью (рис. 1, а). При смятии торцевого участка на величину  $b$  необходимо увеличить длину отрезков профилированной заготовки, т. е. увеличить длину развертки профилированной заготовки на  $\Delta L$  (рис. 1, б) для заполнения углов штампа (УШ) (см. рис. 1, а). Рассматриваемое смятие образовано смещением части объема, при неизменной величине общего объема металла на участке отрезка. Выступающий за пределы гравюры металл вытесняется в облой на следующем штамповочном переходе.

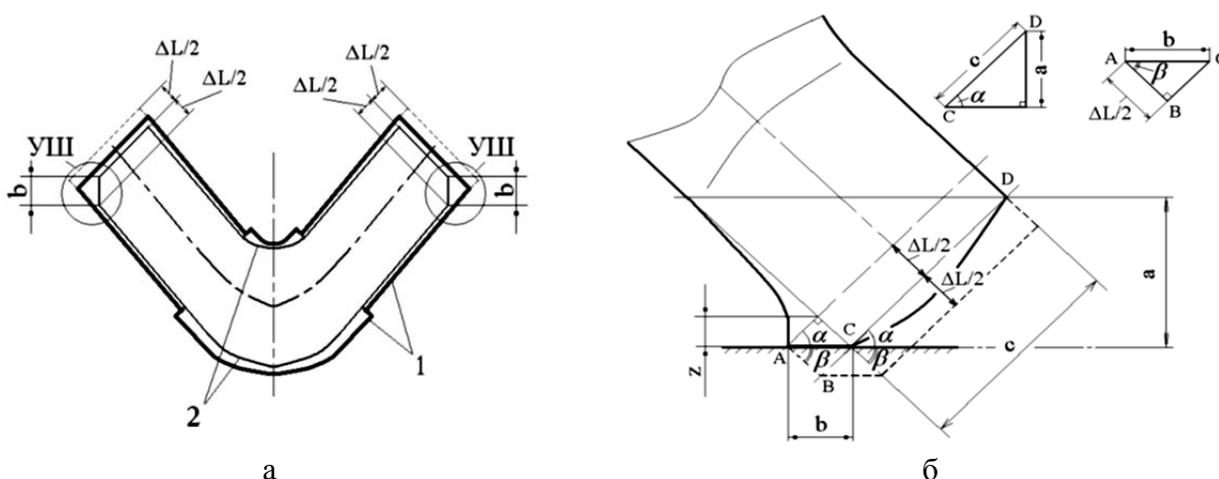


Рис. 1. К учету искажения торцов заготовки, профилированной продольным изгибом, при дальнейшей штамповке:

а – размещение поковки в гравюре штампа; б – схема к расчету увеличения длины развертки профилированной заготовки; 1 – контуры ручья; 2 – контуры заготовки

Из треугольника  $ABC$  (см. рис. 1, б) находим:  $\Delta L / 2 = b \cdot \cos \beta$ , причем угол  $\beta = (90^\circ - \alpha)$ . Исходя из геометрических соотношений по рис. 2, б, по известным величинам  $a$  и  $c$  [4], нетрудно вычислить:  $\alpha = \arcsin(a/c)$ .

Тогда окончательно получим:

$$\Delta L = 2 \cdot b \cdot \cos \left[ 90^\circ - \arcsin \left( \frac{a}{c} \right) \right]. \quad (1)$$

При известной длине эпюры диаметров ( $L_e$ ) уточненное укорочение оси заготовки ( $\delta$ ), профилируемой продольным изгибом:

$$\delta = 1 - \frac{L_e + \Delta L}{L_0} = \frac{L_k + \Delta L}{L_0}. \quad (2)$$

Учитывая, что  $D_0 = 1,08 \cdot \sqrt[3]{(V_e + \Delta V_e)/m_0}$ , где  $V_e$  и  $\Delta V_e$  – объем эпюры диаметров и дополнительный объем, связанный с приращением длины профилированной заготовки на  $\Delta L$ , выражение (2) представим в виде:

$$\delta = 1 - 0,926 \frac{L_e + \Delta L}{m_0 \cdot 3 \sqrt{\frac{V_e + \Delta V_e}{m_0}}} \quad (3)$$

При этом  $(L_e + \Delta L) = L_e \left(1 + \frac{\Delta L}{L_e}\right)$ , а также  $(V_e + \Delta V_e) = V_e \left(1 + \frac{\Delta V_e}{V_e}\right) = V_e \left(1 + \frac{\Delta L}{L_e}\right)$ .

Вычислим начальное расчетное значение отношения  $m_{0,0}$ , при котором для заданных  $V_e$  и  $L_e$  величина  $\delta = 0$ . Тогда, из выражения (3), после преобразований получим:

$$m_{0,0} = 0,891 \left(1 + \frac{\Delta L}{L_e}\right) \sqrt{\frac{L_e^3}{V_e}} \quad (4)$$

или, учитывая, что  $L_e = L_0(1 - \delta)$ , при  $\delta = 0$  запишем:

$$m_{0,0} = 0,891 \left(1 + \frac{\Delta L}{L_0}\right) \sqrt{\frac{L_e^3}{V_e}} \quad (5)$$

Тогда, используя уравнение (1), запишем уточненное выражение для вычисления относительной высоты цилиндрической заготовки:

$$m_0^* > 0,891 \left(1 + \frac{2 \cdot b \cdot \cos \left[90^\circ - \arcsin\left(\frac{a}{c}\right)\right]}{m_0 \cdot D_0}\right) \sqrt{\frac{L_e^3}{V_e}} \quad (6)$$

Учитывая, что параметры  $a = a(m_0; \varepsilon_y)$ ,  $b = b(m_0; \varepsilon_y)$  и  $c = c(m_0; \varepsilon_y)$  представляют собой функции, определяемые регрессионными уравнениями, приведенными в работе [5], то выражение (6) является трансцендентным неравенством. При инженерном рассмотрении в указанные функции в качестве  $m_0$  подставляют значение, вычисленное по уравнению (4).

Задача 2. Рассмотрим вариант, когда профилированная заготовка в области торцов не подвергается дальнейшей пластической деформации. В данном случае величина смятия  $b$  не должна превышать суммы гипотенуз треугольников  $NMG$  и  $MKF$  (рис. 2), катетами в которых являются припуски на механическую обработку (и/или величины допускаемых отклонений):  $\Pi/2$  – односторонний припуск (допуск),  $\Pi_k$  – концевой припуск (допуск). Запишем:

$$b \leq (x_1 + x_2) \quad (7)$$

Односторонние смятия вычислим как:

$$p = b \cdot \cos \alpha; \quad q = b \cdot \sin \alpha, \quad (8)$$

при этом угол  $\alpha$ , как и для предыдущего случая:  $\alpha = \arcsin(a/c)$ .

Величины  $x_1$  и  $x_2$  находим в виде соотношений (см. рис. 2):

$$x_1 = \frac{\Pi/2}{\cos \alpha} \quad \text{и} \quad x_2 = \frac{\Pi_k}{\sin \alpha} \quad (9)$$

Учитывая, что  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ , окончательно запишем:

$$x_1 = \frac{\Pi/2}{\sqrt{1 - (a/c)^2}} \quad \text{и} \quad x_2 = \frac{\Pi_k}{(a/c)} \quad (10)$$

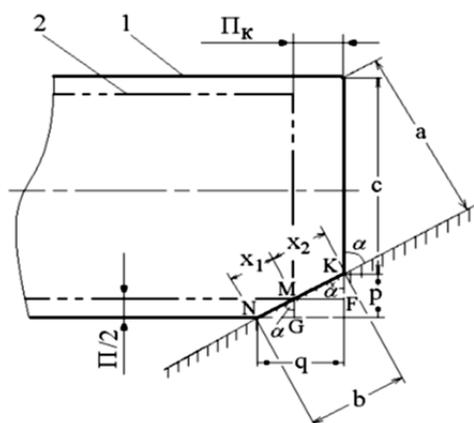


Рис. 2. К учету искажения торцов заготовок при финишной операции профилирования продольным изгибом:

1 – контур поковки; 2 – контур детали

Тогда условие (7) принимает вид:

$$b \leq \left[ \frac{\Pi / 2}{\sqrt{1 - (a/c)^2}} + \frac{\Pi_k}{(a/c)} \right]. \quad (11)$$

Величины  $\Pi$  и  $\Pi_k$  устанавливаются соответствующими стандартами, а параметры  $a = a(m_0; \varepsilon_y)$ ,  $b = b(m_0; \varepsilon_y)$  и  $c = c(m_0; \varepsilon_y)$  вычисляются из уравнений регрессии [4].

Разработанная методика применена при расчете переходов и размеров заготовки для спаренной штамповки поковки «рым-болт» и при промышленном освоении технологии производства поковки «скоба» в условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «ММК им Ильича».

## ВЫВОДЫ

Разработана методика прогнозирования смятия торцов заготовок и получено аналитическое выражение для уточнения размеров цилиндрической заготовки, профилируемой продольным изгибом перед штамповкой поковки с изогнутой осью и наличием отростков. Разработана методика контроля смятия торцевых участков путем сравнения с величинами предельных отклонений изделия для случая финишной гибки продольным изгибом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимощенко В. А. Безоблойная штамповка поволоков с изогнутой осью / В. А. Тимощенко, В. В. Ермилов. – Кишинев : Штиинца, 1980. – 84 с.
2. Гринкевич В. А. Бесштамповое профилирование на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях / В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2010. – № 5. – С. 19–23.
3. Кухарь В. В. Малоэкономные инновационные решения в технологии и оборудовании кузнечно-штамповочного производства / В. В. Кухарь // Металл и литые Украины. – 2008. – № 9. – С. 33–36.
4. Кухарь В. В. Формоизменение при профилировании продольным изгибом заготовок с различной формой поперечного сечения / В. В. Кухарь // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – № 60. – С. 169–173. – (Серія «Машинобудування»).

Кухарь В. В. – канд. техн. наук, доц. ПГТУ.

ПГТУ – Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь.

E-mail: kvv\_mariupol@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.10.2012 г.