

оптимальним отримання деталі з заданими параметрами за допомогою процесу холодного витягування з попередньо спрофільованої заготовки.

З урахуванням отриманих даних моделюванням технологія виготовлення деталі „сідло” повинна включати наступні операції: вирубка циліндричної заготовки з листа; гнуття заготовки по відповідному радіусу; витягування; пробивання отвору в донній частині під відбортування; відбортування.

#### **Висновки:**

1. Створена скінченно-елементна модель операцій гнуття і подальшого витягування циліндричним пуансоном з урахуванням технологічної спадковості металу після гнуття.

2. Проведено моделювання процесів гнуття і подальшого витягування. Визначені максимальні розміри заготовок після витягування, які можливо отримати без руйнування. Встановлені зусилля витягування та розподіл використання ресурсу пластичності.

3. На основі результатів розрахункового аналізу обраний оптимальний радіус заокруглення витяжного пуансона для даної конфігурації деталі, який складає 10 мм.

**Список літератури:** 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке // В.П.Романовский; – 6-е изд., переаб. и доп. – Л: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с. 2. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации // В.А. Кроха; М.: Машиностроение, 1980. – 158 с. 3. Рудман Л.И. Справочник конструкторов штампов: Листовая штамповка // Под общ. ред. Л.И.Рудман; – М.: Машиностроение. 1988. – 496 с. 4. Матвеев А.Д. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка // Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с. 5. Калюжний В.Л. Моделирование процесса вытяжки с утонением ступенчатым пуансоном заготовок из высокоуглеродистой стали. // В.Л. Калюжний, О.В. Калюжний, В.В. Піманов; Технологические системы. -2008.- №4 (44). - С. 75-79.

#### **УДК 621.73(035)**

**КУХАРЬ В.В.**, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь  
**БУРКО В.А.**, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

#### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ПОКОВКИ «СОПЛО» ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОСАДКОЙ ЗАГОТОВКИ СО СВОБОДНЫМ ФОРМОИЗМЕНЕНИЕМ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Выполнена количественная оценка и уточнена методика расчета бочкообразования при горячей осадке медных (М1) заготовок с диапазоном начальных отношений  $D_0/H_0 = 0,511 \div 1,917$ . На основе полученных данных усовершенствована технология штамповки поковки «Сопло», штампуемой из технической меди (М1), в результате чего масса исходной заготовки снижена на 5 %.

Виконана кількісна оцінка та уточнена методика розрахунку бочкоутворення при гарячому осаджуванні мідних заготовок (М1) із діапазоном початкових співвідношень  $D_0/H_0 = 0,511 \div 1,917$ . На підставі отриманих даних удосконалена технологія штампування поковки «Сопло», яка штампується з технічної міді (М1), у результаті маса вихідної заготовки знижена на 5 %.

A quantitative estimation is executed and methodology of calculation of barrelling is specified at the hot upsetting of copper (M1) billets with the range of initial relations  $D_0/H_0 = 0,511 \div 1,917$ . On the basis of the obtained data has improved technology of producing a forged part "Nozzle" stamped from a technical copper (M1), as a result weight of initial billet was reduced by 5 %.

Осадка является наиболее распространенной технологической операцией. При горячей штамповке осадку используют на предварительных переходах для сбива окалины и приближения формы заготовки к конфигурации поковки, при этом, в зависимости от сложности поковки, осадку могут совмещать с элементами формовки, выдавливания, прошивки и т.п., что требует некоторого усложнения штампового инструмента.

Инженерные расчеты процессов осадки связаны с определением конечной формы осаженой заготовки. Неравномерность деформации при осадке принято оценивать по коэффициенту бочкообразности (рис. 1 и рис. 2), обозначаемому  $\lambda_{\delta}$  [1, 2]:

$$\lambda_{\delta} = (V_{\delta} / V_{заг}) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $V_{заг}$  – объём заготовки;

$V_{\delta}$  – объём, образующий бочку (см. рис. 1, а).

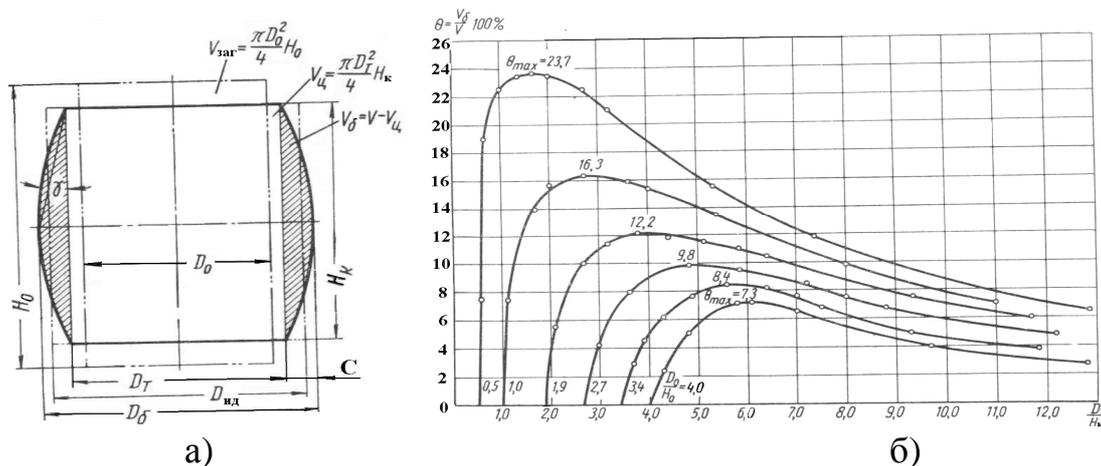


Рис. 1. Бочкообразность цилиндрической заготовки при осадке [1, 2]:

а – форма и размеры осаженой заготовки;

б – изменение коэффициента бочкообразности (здесь  $\theta = \lambda_{\delta}$ ) в зависимости от увеличения текущего коэффициента контакта  $D_{т}/H_{к}$

Закономерность бочкообразования при осадке (рис. 1, б) характеризуется возрастанием и последующим уменьшением в процессе обжатия и может быть описана выражением, предложенным Я.М. Охрименко [1, 2]. Для определения  $\lambda_{\delta}$  авторы [1, 2] предлагают использовать экспериментальные графики (рис. 1, б), полученные для условий осадки свинцовых заготовок, или громоздкие приближенные эмпирические зависимости, описывающие полученное семейство кривых и действительные при  $D_0/H_0 \leq 5$ :

$$\lambda_{\delta} = \frac{5a \left( 15 - \frac{D_0}{H_0} \right) \left[ \left( 1 - 0,1 \frac{D_0}{H_0} \right) + 0,06 \frac{D_0}{H_0} a \right]_{\leq 0,15}}{(a+1)^2 \sqrt{D_0/H_0}}; \quad a = \frac{D_{ид}}{H_{к}} - \frac{D_0}{H_0}. \quad (2)$$

Данное аналитическое описание графической зависимости (см. рис. 1, б) не учитывает влияния температуры металла, его химического состава, сил трения на контактной поверхности, скорости деформации, что зачастую приводит к значительному перерасходу меди и затрудняет прогнозирование неравномерности деформации при осадке.

Авторами в работах [3, 4] предложена уточненная методика и программное обеспечение для прогнозирования бочкообразования при осадке заготовок из технической меди. Для функционального описания бочкообразования медных образцов были использованы подходы, предложенные в работе [5], где обращено внимание на типовое сходство экспериментальных кривых с кривыми, соответствующими известному из теплофизики закону излучения Планка, который описывают простым экспоненциальным выражением. Следовательно, громоздкое уравнение (2) может быть заменено более простой экспоненциальной функцией, которую, с учетом граничных условий, в общем виде записывают как [3, 4]:

$$\lambda_{\sigma} = a_0 \cdot \left( \frac{D_{уд}}{H_k} - \frac{D_0}{H_0} \right)^{a_1} \cdot e^{-a_2 \cdot \left( \frac{D_{уд}}{H_k} - \frac{D_0}{H_0} \right)}, \quad (3)$$

где  $Y(x) = \lambda_{\sigma}(\%)$ ;  $x = D_{уд}/H_k$ ;  $x_0 = D_0/H_0$ ;

$a_0, a_1, a_2$  – искомые коэффициенты, определяемые из условий эксперимента, т.е. учитывающие условия его проведения.

Выражение (3) с достаточной степенью точности соответствует закону нормального распределения с асимптотикой. Подбор коэффициентов  $a_0, a_1$  и  $a_2$  и построение функций бочкообразности проводили при помощи специализированной компьютерной программы, написанной в среде Borland Delphi 7.0, на основе данных, полученных в результате эксперимента по осадке медных (М1) заготовок [3, 4].

Программа позволяет проводить графическое построение функций бочкообразности медных заготовок с различными начальными коэффициентами контакта ( $D_0/H_0$ ) (см. рис. 2). [3, 4].

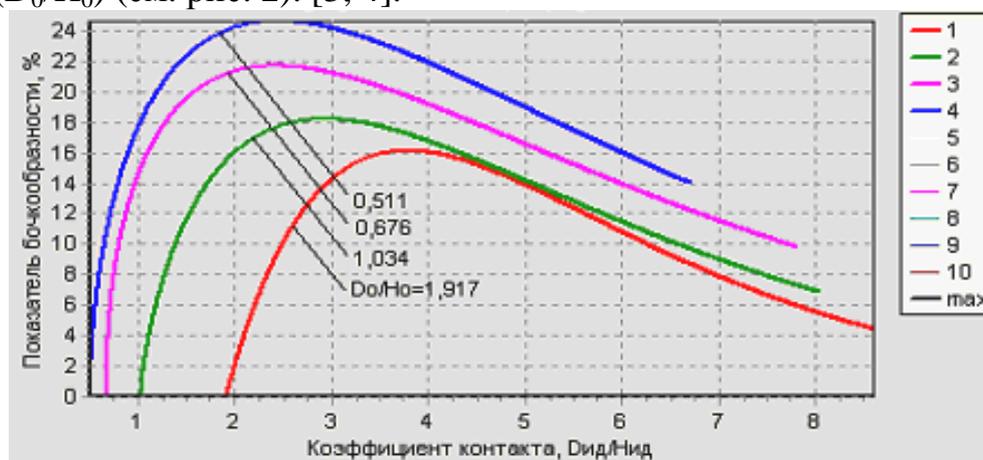


Рис. 2. Сводный график коэффициентов бочкообразности медных заготовок с различными начальными коэффициентами контакта ( $D_0/H_0$ )

Целью настоящей работы является совершенствование технологических процессов штамповки поковок круглых в плане на основе предварительной осадки медных заготовки со свободным формоизменением боковой поверхности.

В условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «МК «Азовсталь», находящегося в структуре подразделений механической службы завода, изготавливают поковки «Сопло» (№ 041462-4, материал медь М1) для дутьевых воздушных водоохлаждаемых фурм доменного цеха. Фурмы сменные штамповарные. По одному из вариантов устаревшей технологии поковку «Сопло» изготавливали на гидравлическом прессе 25 МН из заготовки массой 8,85 кг, нагрев которой производили в камерной печи до температуры 850 °С. Штамповку проводили плашмя с расположением оси поковки в горизонтальной плоскости, из-за чего на отверстия назначали напуски. Для дальнейшей механообработки до размеров детали (рис. 3), масса которой составляет 4,8 кг, поковки передаются в ремонтно-механический цех.

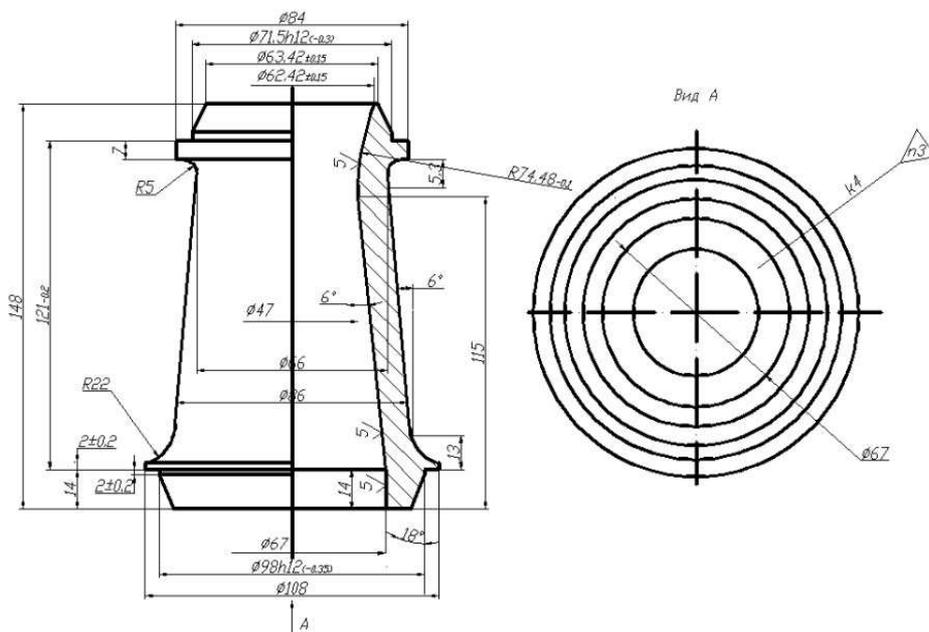


Рис. 3. Рабочий эскиз детали «Сопло 041462-4»

На основании предложенной в работах [3, 4] методики разработана новая технология штамповки медной поковки «Сопло» с изменением конструкции поковки (без изменения конструкции детали) и использованием в технологических переходах осадки со свободным формоизменением боковой поверхности с последующей прошивкой полости коническим пуансоном для формирования наметки под отверстие (рис. 4).

Чертеж поковки сопла условно разбивали на два участка: короткий стержневой с длиной 51 мм и диаметром 88 мм, а также конический с длиной 69 мм и максимальным диаметром 114 мм (см. рис. 3 и рис. 4).

Для обеспечения формирования конусной части поковки при прошивке коническим прошивником необходимо, чтобы диаметр бочки высаженной заготовки был не меньше  $D_6 = (114+88)/2 = 101$  мм. (см. рис. 4). Согласно формоизменению по предложенной схеме (см. рис. 4), объем поковки составляет

939590 мм<sup>3</sup>, т.е. при плотности меди 8940 кг/м<sup>3</sup>, доработанная поковка «Сопло» имеет массу 8,4 кг. При диаметре заготовки D = 87 мм длина исходной заготовки, вычисляемая из условия сохранения объема, составит L = 224 мм.

Тогда длина высаживаемой части H = (224-51) = 173 мм, т.е. начальный коэффициент контакта будет составлять D/H = 87/173 = 0,503.

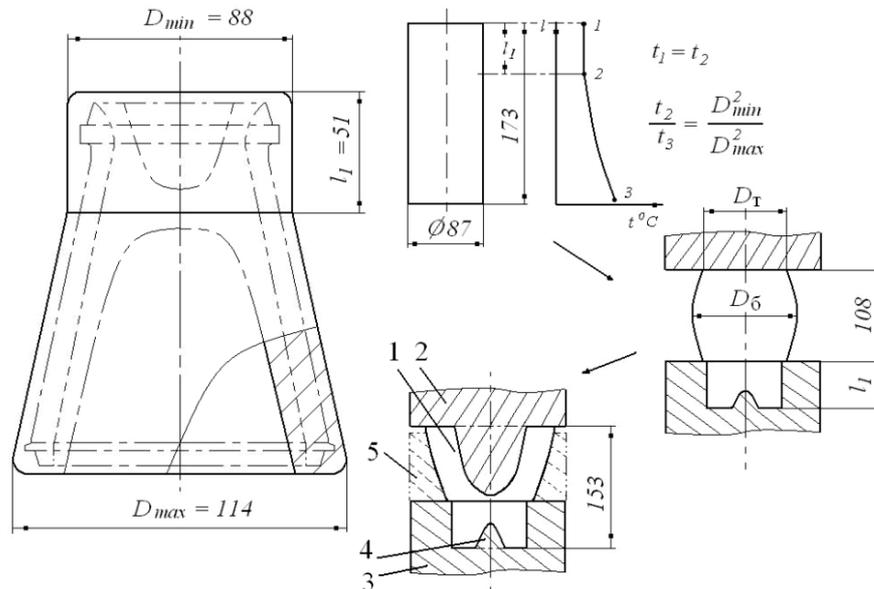


Рис. 4. Переходы штамповки поковки «Сопло»:

1 – поковка; 2 – верхний штамп с прошивником; 3 – нижний штамп; 4 – прошивник нижнего штампа (наличие не обязательно); 5 – полость нижнего штампа или съемная штамповая надставка для точной штамповки

Принимая размер D<sub>6</sub> = 102 мм и D<sub>T</sub> = 88 мм, далее имеем [1, 2]:

$$102 = 88 + \frac{3}{2} 88 \left( \sqrt{1 + \frac{\lambda'_6}{1 - \lambda'_6}} - 1 \right), \quad (4)$$

откуда λ'<sub>6</sub> = 0,1825, т.е. коэффициент бочкообразности λ<sub>6</sub> = 18,25 %.

Используя график (см. рис. 3), находим, что при λ<sub>6</sub> = 18,25 % и D/H = 0,503 значение текущего коэффициента контакта D<sub>ид</sub>/H<sub>к</sub> = 1,0.

Учитывая, что:

$$H_k = H_0(1 - \varepsilon), \quad (5)$$

получим:

$$\frac{D_{ид}}{H_k} = \frac{D_0}{H_0} \cdot \frac{1}{(1 - \varepsilon)^{3/2}}. \quad (6)$$

Тогда запишем:

$$1 = 0,503 \frac{1}{(1 - \varepsilon)^{3/2}}, \quad (7)$$

откуда ε = 0,37 или 37 %.

Соответственно, высота высаженной части заготовки перед прошивкой будет составлять H<sub>к</sub> = H<sub>0</sub>(1 - ε) = 173(1 - 0,37) = 108 мм.

Для расширения возможностей управления набором металла в области формирования входной части сопла с  $\varnothing 114$  мм на уровне технологического предложения рекомендовано применение неравномерного нагрева (например, индукционным способом) или одностороннего подстуживания обратного торца заготовки перед осадкой при производстве данной продукции. При этом необходимо выполнение условия, согласно которому зональные температуры нагрева прямопропорциональны площадям поперечных сечений поковки, к которым они относятся [6, 7]. При равномерном нагреве заготовки нижняя её часть помещается в полость нижнего штампа глубиной 51 мм с целью оформления стержневого участка поковки. Исходный диаметр заготовки принят равным 87 мм для обеспечения её центрирования в полости нижнего штампа, имеющей диаметр 88 мм.

Формирование конической части поковки возможно как путем открытой прошивки с раздачей торцевой части за счет конусности прошивника верхнего штампа, так и формообразованием в полости нижнего штампа или полости штамповой надставки. Последний вариант повышает точность поковок и является предпочтительным. Выбор окончательного варианта определяется серийностью поковок.

**Вывод:** Разработана методика учета бочкообразования медных заготовок при предварительном профилировании осадкой перед штамповкой поковок круглых в плане. Усовершенствована технология, позволяющая в условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «МК «Азовсталь» снизить массу заготовки при штамповке поковки «Сопло» с 8,85 кг до 8,4 кг. При этом экономия меди М1 составила 5,08 %, коэффициент использования металла при штамповке повышен с 0,542 до 0,571.

**Список литературы:** 1. Охрименко Я. М. Теория процессовковки / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин. – М.: Высш. школа, 1977. – 295 с. 2. Ребельский А. В. Основы проектирования процессов горячей объёмной штамповки / А. В. Ребельский. – М.: Машиностроение, 1965. – 248 с. 3. Кухарь В. В. Неравномерность деформации при свободном формоизменении заготовок из цветных металлов и сплавов / В. В. Кухарь, О. А. Лаврентик, В. А. Бурко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2006. – Вип. 16. – С. 123–127. 4. Кухарь В. В. Бочкообразование при осадке черных и цветных металлов и сплавов / В. В. Кухарь, О. А. Лаврентик, В. А. Бурко // Труды международной научно-технической конференции «Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов». 26-28 сентября 2007 г. – Санкт-Петербург: изд-во СПбГПУ, 2007. – С.347–351. 5. Новые подходы к исследованию бочкообразования при осадке / В.В. Кухарь [и др.] // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: зб. наук. пр. – Краматорськ, 2005. – С. 241–246. 6. Кухарь В. В. Моделирование температурного поля неравномерно нагретой по длине заготовки при её остывании на штампе / В. В. Кухарь, О. А. Лаврентик, В. А. Бурко, М. В. Крестников // Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наукових праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2007. – Вип. 17. – С. 125–129. 7. Кухарь В. В. Математическая модель тепловых процессов в штампе и остывающей неравномерно нагретой заготовке // В. В. Кухарь, В. А. Бурко // Тезисы Международной научно-технической конференции «Машины и пластическая деформация металлов», посвященной 100-летию со дня рождения С. З. Юдовича, Запорожье, 20–23 ноября, 2007. – Запорожье: ЗНТУ, 2007. – С. 37–38.