

shkola, 2003. – 479 p. (Rus.)

10. Beshenkov S.N. Economic-mathematical methods in management / S.N. Beshenkov. – Smolensk : Madzhenta, 2005. – 54 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Гранкин
д-р физ.-мат. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 27.10.2014

УДК 621.83

© Кухарь В.В.¹, Бурко В.А.²

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ МЕДНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ (КРУГЛЫХ В ПЛАНЕ) ПОКОВОК НА ОСНОВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ БОКОВОГО ПРОФИЛЯ ЗАГОТОВОК СВОБОДНОЙ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ОСАДКОЙ

Обоснована целесообразность комбинирования операций предварительного осаждения и прошивки заготовок вне гравюр штампов с операциями последующей завершающей штамповки в штампах при производстве осесимметричных поковок. Операции могут быть выполнены на различном оборудовании, при этом показана необходимость учета закономерностей бочкообразования заготовок при подготовительной осадке перед последующими штамповочными переходами. Предложена обобщенная методика проектирования технологий комбинированной штамповки осесимметричных поковок, учитывающая закономерности формоизменения на операциях осадки и прошивки. Выполнено промышленное внедрение более совершенных технологий горячей объемной штамповки поковок «Сопло» и «Головка кислородной фурмы», позволившее сэкономить до 7,7 % технической меди на каждом изделии.

Ключевые слова: заготовка, технология, подготовительная осадка, горячая объемная штамповка, осесимметричная медная поковка.

Кухарь В.В., Бурко В.А. Ресурсозберігаючі технології штампування мідних осесимметричних поковок на основі попереднього формування бічного профілю заготовок вільним підготовчим осаджуванням. Обґрунтована доцільність комбінування операцій попереднього осадження і прошивки заготовок поза гравюрами штампів з операціями подальшого завершального штампування в штампах при виробництві осесимметричних поковок. Операції можуть бути виконані на різному устаткуванні, при цьому показана необхідність обліку закономірностей бочкообразования заготовок при підготовчому осіданні перед подальшими штампувальними переходами. Запропонована узагальнена методика проектування технологій комбінованого штампування осесимметричних поковок, що враховує закономірності формоизменения на операціях осаджування і прошивки. Виконано промислове впровадження досконаліших технологій гарячого об'ємного штампування поковок "Сопло" і "Голівка кисневої фурми", що дозволило заощадити до 7,7 % технічної міді на кожному виробі.

Ключові слова: заготовка, технологія, підготовче осіджування, гаряче об'ємне штампування, осесимметрична мідна поковка.

¹ д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, kvv.mariupol@mail.ru

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Мариуполь, burko@mariupol.org.ua

V.V. Kukhar, V.A. Burko. Resource saving technologies of die forging of copper axially asymmetric (round in shape) forgings on the basis of preliminary forming of forgings side profile formation forming of the forged billets parts by means of free preliminary upsetting. The advisability of combining of operations of preliminary upsetting and broaching of billets outside die bed contours with the operations of subsequent finishing stamping in die blocks at manufacturing of axially asymmetric forgings was substantiated. The operations could be performed on different equipment, the necessity of taking into account the peculiarities of the barrel shape of forgings during the preliminary upsetting prior to the subsequent stamping passes being shown. The necessity of account of conformity to law of change of form material is reasonable at the chosen chart of deformation and set temperature mechanical terms at the choice of transitions of stamping and constructing of brooks of stamps. Proposed was a generalized method of designing of the processes of combined die-forging of axially asymmetric forgings that takes into account the regularities of shape alternation at the operations of setting and broaching. Conformities to law of formation of barrel of copper purveyances that are specified, other things being equal, in number, and sometimes and qualitatively, differ from conformities to law of formation of barrel of steel purveyances, that allows to apply operations preparatory free fallouts of purveyances at the technological planning. More advanced up-to-date technologies of hot die-forging of forgings of "Nozzle" and "Oxygen lance head" type were implemented, it allowing achieving 7.7% saving of industrial copper per each single part.

Keywords: forgings, technology, preliminary upsetting, hot die forging, axially asymmetric copper forging.

Постановка проблеми. Осесимметричные поковки, изготавливаемые с применением операций предварительной осадки заготовок в торец, являются весьма распространенными изделиями, штампуемыми на кривошипных горячештамповочных прессах. Такие поковки, включенные в первую группу соответствующей классификации [1], штампуют в открытых и закрытых штампах. Среди представителей круглых в плане поковок достаточно много изделий из меди и медных сплавов. Проектирование технологических процессов штамповки поковок из цветных металлов и сплавов должно осуществляться с учетом технологических и теплофизических свойств материала заготовки для исключения его разрушения и подсыпания, включать анализ вариантов изготовления детали с минимальными затратами металла и труда [2]. При этом на этапах выбора переходов штамповки и конструирования ручьев штампов следует учитывать закономерности формоизменения материала при выбранной схеме деформирования и заданных термомеханических условиях. Применение операции подготовительной свободной осадки заготовок при технологическом проектировании требует принимать во внимание закономерности бочкообразования медных заготовок, которые, при прочих равных условиях, количественно, а иногда и качественно, отличаются от закономерностей бочкообразования стальных заготовок и в настоящее время изучены недостаточно.

Анализ последних исследований и публикаций. Операция осадки, в том числе бойками различной конфигурации, наиболее соответствует одному из принципов проектирования энергоэффективных технологий штамповки – принципу максимума свободных внеконтактных поверхностей, сформулированному И.М. Володиным [3]. Деформирование сопровождается бочкообразованием заготовки, т.е. формированием профиля боковой поверхности, что позволяет предложить ряд безручьевых способов подготовительного профилирования заготовок [4]. Для прогнозирования формоизменения с некоторой погрешностью пользуются данными, полученными при осадке свинцовых образцов, используемых для физического моделирования процессов горячей деформации. Данный подход не учитывает количественную разницу размеров бокового профиля заготовок из разных материалов при различных условиях деформирования [5, 6]. Это может привести к неправильному назначению линии разреза штампов, незаполнению гравюр материалом, чрезмерному вытеканию металла в облой, повышенному износу штампов. Поэтому часто при моделировании процессов осадки для отражения адекватной картины формоизменения предварительно экспериментально получают зависимости напряжений от деформаций при заданных скоростях деформирования и температурах [7, 8], которые ис-

пользуют в пакетах конечно-элементного анализа.

Различия показателей бочкообразности при осадке заготовок из разных материалов объясняются объективными причинами. Во-первых, из-за отличия коэффициентов трения на контакте материалов «сталь-медь», «сталь-свинец», «сталь-сталь» и т.п., причем выделение влияния таких факторов как температура, скорость и степень деформации, размеры заготовок является затруднительным [9]. Давление металла на инструмент в процессе осадки также непостоянно. Во-вторых, на количественные показатели формоизменения оказывают влияние реологические свойства материалов, т.е. форма кривой упрочнения при заданных термомеханических условиях [9]. Классические представления, опирающиеся на принципы постоянства объема и наименьшего сопротивления, не берут во внимание влияние реологических свойств материалов на конечное формоизменение, различие которого объясняется только разными коэффициентами контактного трения, а, следовательно, различным объемом металла, вовлеченного в жесткие приконтактные зоны, и различными размерами очага деформации [5, 6]. В настоящее время преобладающим является мнение, что влиянием свойств материалов на количественные показатели формоизменения пренебрегать нельзя [9, 10].

Известны исследования процессов деформации материалов на основе меди при повышенных температурах [11], на основании которых усовершенствована технология производства круглых в плане изделий электротехнического назначения. В работе [12] выполнен анализ влияния исходной формы боковой поверхности медных заготовок и условий контактного трения на конечное формоизменение полуфабриката, при этом для практических целей предложены специальные карты трения и методика определения оптимальной формы бокового профиля заготовки перед осадкой. Следует отметить, что данные исследования проведены только для условий холодной деформации при комнатной температуре заготовки, а указанную методику трудно реализовать на практике из-за сложностей предварительной профилировки заготовок на вогнутый профиль боковой поверхности.

В работе [13] выполнено исследование закономерностей бочкообразования заготовок из меди марки М1 при осадке в холодном (18 °) и горячем (850 °С) состоянии. Данные закономерности целесообразно учитывать при проектировании энергоресурсосберегающих технологий штамповки круглых в плане поковок для формирования рациональной формы предварительно-го полуфабриката.

Цель статьи – разработка малоотходных технологий комбинированной горячей объемной штамповки осесимметричных поковок из меди на основе установления рациональных режимов предварительной осадки заготовок.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- на основании модели бочкообразования заготовок при осадке разработать обобщенную методику проектирования технологий комбинированной штамповки осесимметричных поковок из цветных металлов, при этом учесть возможность комбинирования операций осадки, прошивки, предварительной и окончательной штамповки;

- усовершенствовать технологию горячей объемной штамповки осесимметричных медных поковок применительно к конкретным производственным условиям.

Изложение основного материала. Известно, что на прессовом оборудовании для получения простых стальных поковок необходимы один – три ручья, а для сложных поковок – до пяти ручьев, включая осадку [1]. При штамповке же цветных металлов применение многоручьевых штампов зачастую нецелесообразно, т.к. после каждой деформирующей операции необходимо удалять дефекты на поверхности заготовок [2].

Как правило, используют два метода штамповки на прессах [2]: а) из предварительно подготовленной заготовки, получаемой открытой ковкой на плоских или фасонных бойках; б) из мерной заготовки без предварительной подготовки. В первом случае подготовленную фасонную заготовку штампуют в одноручьевом штампе с одним или несколькими нагревами. Заполнение полости штампа металлом зависит от формы полуфабриката и штамповочного ручья, а схемы деформирования следует выбирать такими, при которых получение требуемой формы происходит за счет выдавливания, а не за счет осадки [2], что также является отличительной особенностью технологий штамповки поковок из цветных металлов. Многопереходную штамповку осуществляют в одном штампе или специальных предварительных штампах, постепенно доводящих форму заготовки до окончательных размеров поковки. Предварительные переходы

рассчитывают так же, как и для поковок, штампуемых из конструкционных сталей. При этом подготовительная осадка медных заготовок под штамповку поковок типа дисков, сопровождающаяся интенсивным бочкообразованием (рис. 1), способствует лучшему заполнению гравиур, т.е. служит для фасонирования заготовок.

Инженерные расчеты процессов осадки связаны с определением конечной формы осажденной заготовки. Неравномерность деформации при осадке принято оценивать по коэффициенту бочкообразности (рис. 1), обозначаемому по Я.М. Охрименко λ_δ [6], а по А.В. Ребельскому θ [14]:

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

где $V_{заг}$ – объём заготовки;
 V_δ – объём, образующий бочку (см. рис. 1, а).

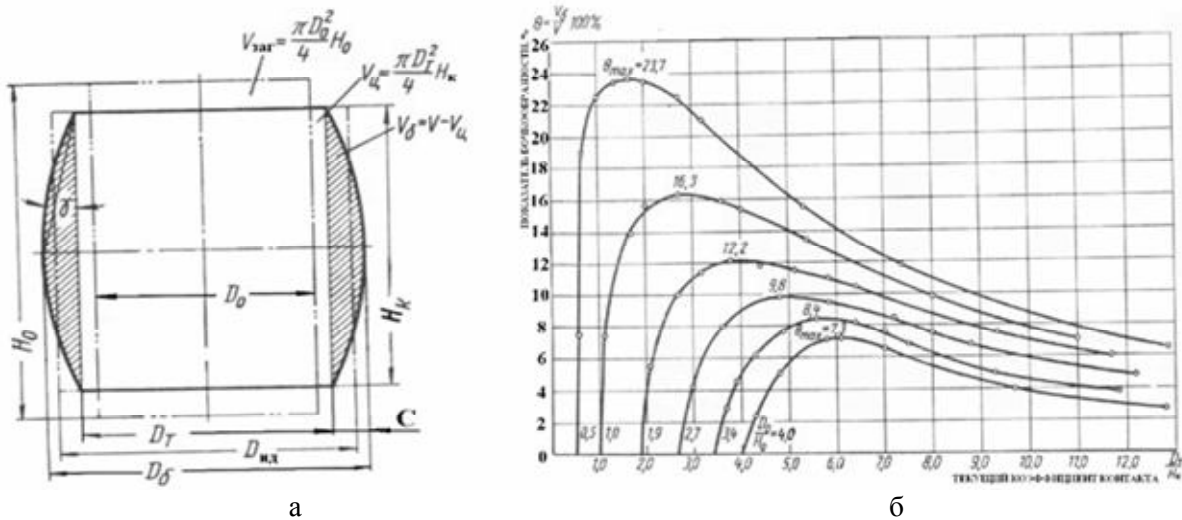


Рис. 1 – Типовая бочкообразность цилиндрической заготовки при осадке [6, 14]: а – форма и размеры осажденной заготовки; б – изменение коэффициента бочкообразности (здесь $\theta = \lambda_\delta$) в зависимости от увеличения текущего коэффициента контакта D_0/H_k , полученная Охрименко Я.М. [6] для свинцовых заготовок

Закономерность бочкообразования при осадке (рис. 1, б) характеризуется возрастанием и последующим уменьшением в процессе обжатия и может быть описана выражением, предложенным Я.М. Охрименко [6, 14]. Для определения λ_δ авторы [6, 14] предлагают использовать экспериментальные графики (рис. 1, б), полученные для условий осадки свинцовых заготовок, что вносит ошибки при прогнозировании формоизменения заготовок из других материалов. Или используют громоздкие приближенные эмпирические зависимости, описывающие полученное семейство кривых и действительные при $D_0/H_0 \leq 5$ [6, 14]:

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

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 [13, 15] 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 [16], 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 [13, 15]:

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

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

a_0 , a_1 , a_2 – эмпирические коэффициенты, найденные после обработки результатов 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 предложено проводить при помощи специализированной компьютерной программы, написанной в среде Borland Delphi 7.0, на основе данных, полученных в результате эксперимента по осадке медных (М1) заготовок [13, 15].

Программа позволяет проводить графическое построение функций бочкообразности медных заготовок с различными начальными коэффициентами контакта (D_0/H_0) (см. рис. 2) [13, 15].

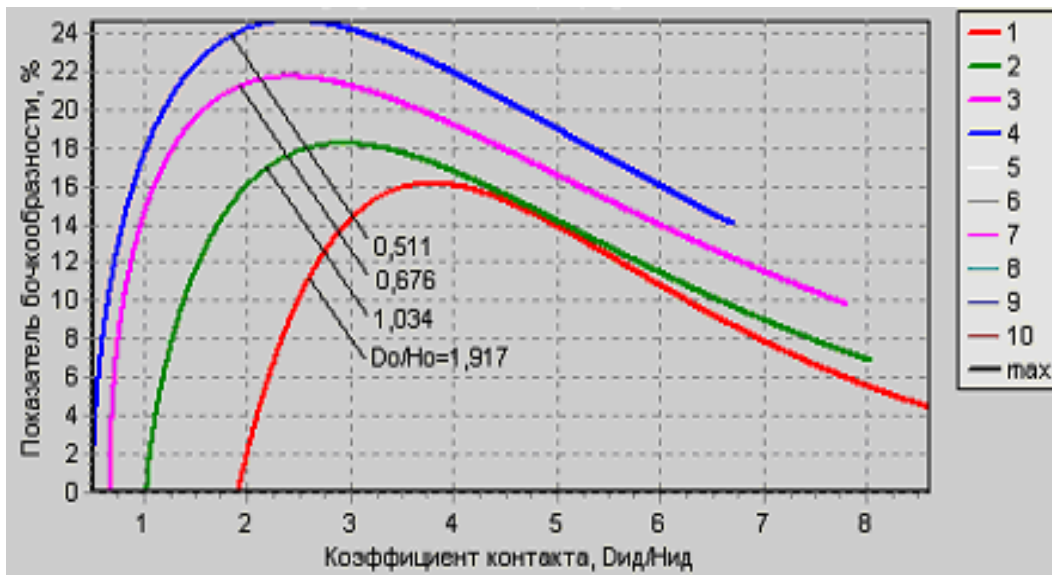


Рис. 2 – График-скрин из программного обеспечения по определению коэффициентов бочкообразности после горячей осадки медных заготовок с различными начальными коэффициентами контакта (D_0/H_0)

На рис. 3 приведена расчетная схема бочкообразования заготовки при осадке и сводный график для определения коэффициентов бочкообразности при горячей и холодной осадке плоскими плитами медных (марка М1) заготовок с различными значениями коэффициента контакта.

Исходную заготовку принимают идеализированной с начальным диаметром D_0 и высотой H_0 . Коэффициент бочкообразности изменяется с увеличением степени деформации ε при осадке. Соответственно, показатель λ , необходимый для инженерных расчетов формоизменения, для материала при заданных условиях деформирования зависит от начального коэффициента контакта D_0/H_0 и степени деформации при осадке $\varepsilon = (H_0 - H_k)/H_0$, которую можно выразить через текущий коэффициент контакта D_{uo}/H_k , где $D_{uo} = D_0/\sqrt{1-\varepsilon}$ – идеальный диаметр при равномерной осадке заготовки; соответственно $H_k = H_0(1-\varepsilon)$ – конечная высота

заготовки после осадки.

Аналогично выражению (3), семейство кривых $\lambda = f(D_{ид} / H_k; D_0 / H_0)$ удовлетворительно описывает экспоненциальная модель изменения бочкообразности при осадке, выраженная через степень деформации:

$$\lambda = a_0 \cdot \frac{D_0}{H_0} \left(\frac{1}{(1-\varepsilon)^{3/2}} - 1 \right)^{a_1} \cdot \exp \left[-a_2 \cdot \frac{D_0}{H_0} \left(\frac{1}{(1-\varepsilon)^{3/2}} - 1 \right) \right]. \quad (4)$$

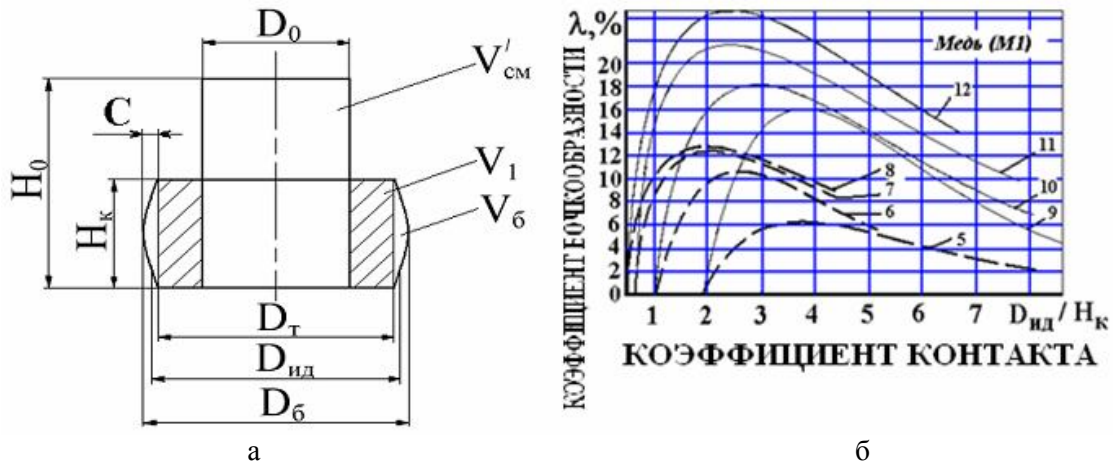


Рис. 3 – Бочкообразность медных заготовок при осадке: *a* – баланс объемов заготовки при осадке плоскими плитами; *C* – прогиб образующей бочки; *Dб*, *DТ*, *Dид* – конечные диаметральные размеры; *Vб*, *V1* и *Vсм* – конечные объемные характеристики и смещенный объем заготовки; *б* – изменение коэффициента бочкообразности медных заготовок в процессе осадки при различных начальных коэффициентах контакта (*D0/H0*): 5 – 18 °С, *D0/H0* = 1,899; 6 – 18 °С, *D0/H0* = 1,026; 7 – 18 °С, *D0/H0* = 0,65; 8 – 18 °С, *D0/H0* = 0,502; 9 – 850 °С, *D0/H0* = 1,917; 10 – 850 °С, *D0/H0* = 1,034; 11 – 850 °С, *D0/H0* = 0,676; 12 – 850 °С, *D0/H0* = 0,511

После обработки данных эксперимента для условий горячей (850 °С) осадки медных (М1) заготовок получены зависимости данных коэффициентов от начального коэффициента контакта:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= 8,384 \cdot (D_0 / H_0)^2 - 24,674 \cdot (D_0 / H_0) + 39,88; \\ a_1 &= 0,388 \cdot e^{0,495 \cdot (D_0 / H_0)}; \quad a_2 = 0,211 \cdot e^{0,488 \cdot (D_0 / H_0)}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Средняя погрешность между расчетами коэффициента бочкообразности λ по модели (4), с учетом зависимостей (5), и данными эксперимента для меди М1 составляет 13 %. Сравнение значений коэффициента λ для геометрически подобных заготовок, осажённых до одинаковых степеней осадки ε при различных условиях, показало, что расчеты по модели Я.М. Охрименко [6] при горячей осадке меди приводят к занижению результатов до 6 % (следует отметить, что для случая холодной осадки меди наблюдается занижение результатов до 44 %).

После вычисления параметра λ проводят инженерные расчеты конечных размеров:

$$\left. \begin{aligned} D_T &= D_{ид} \sqrt{1 - 0,01\lambda}; \quad C = \frac{3}{4} D_T \left(\sqrt{1 + \frac{0,01\lambda}{1 - 0,01\lambda}} - 1 \right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow D_б = D_T + 2C. \quad (6)$$

Технология 1. Штамповка поковки «Сопло». 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 штампосварные. По одному из вариантов устаревшей технологии поковку «Сопло» изготавливали на гидравлическом прессе 25 МН из

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. 5). Согласно формоизменению по предложенной схеме (см. рис. 5), объем поковки составляет 939590 мм^3 , т.е. при плотности меди 8940 кг/м^3 , 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 $D/H = 87/173 = 0,503$.

Принимая размер $D_6 = 102$ мм и $D_T = 88$ мм, далее имеем [6, 14]:

$$102 = 88 + \frac{3}{2} 88 \left(\sqrt{1 + \frac{\lambda'_6}{1 - \lambda'_6}} - 1 \right), \quad (7)$$

откуда $\lambda'_6 = 0,1825$, т.е. коэффициент бочкообразности $\lambda_6 = 18,25$ %.

Используя график (см. рис. 3), находим, что при $\lambda_6 = 18,25$ % и $D/H = 0,503$ значение текущего коэффициента контакта $D_{ид}/H_k = 1,0$.

Учитывая, что:

$$H_k = H_0(1 - \varepsilon), \quad (8)$$

получим:

$$\frac{D_{ид}}{H_k} = \frac{D_0}{H_0} \cdot \frac{1}{(1 - \varepsilon)^{3/2}}. \quad (9)$$

Тогда запишем:

$$1 = 0,503 \frac{1}{(1 - \varepsilon)^{3/2}}, \quad (10)$$

откуда $\varepsilon = 0,37$ или 37 %.

Соответственно, высота высаженной части заготовки перед прошивкой будет составлять $H_k = H_0(1 - \varepsilon) = 173(1 - 0,37) = 108$ 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 [17, 18]. 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.

Усовершенствованная технология, позволят 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 $M1$ составила $5,08$ %, коэффициент использования металла при штамповке повышен с $0,542$ до $0,571$.

Технология 2. Штамповка поковки «Головка кислородной фурмы». Горячую объемную штамповку медной (M1) поковки «Головка кислородной фурмы» в условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» (в настоящее время цех находится в составе ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод») проводили после порезки медного прутка $\varnothing 90$ мм на мерные заготовки длиной $H_0 = 119$ мм. Резку осуществляют в штампах кривошипного прессы с номинальной силой 4 МН. Технический контроль выполняют линейкой и штангенциркулем после наружного ос-

мотра. Нарезанные мерные заготовки передают на кузнечный участок к нагревательным печам. Согласно технологической инструкции заготовки нагревают в газопламенной печи камерного типа до $t = 850...900$ °С, далее производят осадку заготовки и прошивку в подкладном кольце. После этого заготовки подогревают и осуществляют предварительную штамповку. Осадку, прошивку и предварительную штамповку в подкладном штампе, закрепляемом в хоботе кузнечного манипулятора, согласно изложенным выше рекомендациям, проводят на паровоздушном ковочном молоте. Для окончательной штамповки в размер поковки передают на кривошипный пресс (4 МН). Образовавшийся заусенец убирают механическим способом.

Учитывая, что прошивку заготовки проводят после осадки, то формулу А.В. Ребельского [14] для вычисления конечного наружного диаметра (D) прошитой заготовки записывали как

$$D = D_{уд} \sqrt{1 + \varepsilon_{np} (d / D_{уд})^2}, \quad (11)$$

где d – диаметр прошивня;

$\varepsilon_{np} = 1 - h_{np} / H_k$ – условная степень деформации при прошивке, здесь h_{np} – толщина дна заготовки при глухой прошивке.

Откуда, после преобразований, получили:

$$\varepsilon = 1 - \frac{D_0^2}{D^2 - \varepsilon_{np} d^2}. \quad (12)$$

Диаметр заготовки после прошивки должен быть меньше на 3...5 мм диаметра гравюры предварительного ручья штампа, который составляет 150 мм (диаметр заготовки, отштампованной в данном штампе, рис. 6, з). Откуда принимали $D = 147$ мм (рис. 6, в). Учитывая условия поставки меди, расчеты проводили при сохранении диаметра исходной заготовки $D_0 = 90$ мм (рис. 6, а), а также диаметра прошивня $d = 42$ мм (рис. 6, в). При сквозной прошивке $\varepsilon_{np} = 1$. Тогда, после вычислений по формуле (12), имеем: $\varepsilon = 0,58$ (т.е. 58 %), откуда получили $D_{ид} = 139$ мм. Объем гравюры для поковки составляет $V = 744000$ мм³. Тогда конечная высота заготовки после осадки: $H_k = V / (0,785 D_{уд}^2) = 744000 / (0,785 \cdot 139^2) = 49$ мм. Это позволило рассчитать начальную высоту заготовки: $H_0 = H_k / (1 - \varepsilon) = 49 / (1 - 0,58) = 117$ мм. Вычисляли отношения $h_{np} / H_k = 0$ и $d / D_{уд} = 0,302$. Воспользовавшись графиком Цшейле (приведен, например, в источнике [19, стр. 332]), находили $(H_{к.пр} / H_k) = 0,99$, где $H_{к.пр}$ – высота заготовки после прошивки.

Расчеты проверяли по условию образования бочки при осадке и её развития при прошивке. Отношение $D_0 / H_0 = 90 / 117 = 0,77$ и $D_{ид} / H_k = 139 / 49 = 2,83$. Тогда, по выражениям (4) и (5) рассчитывали коэффициент бочкообразности: $\lambda = 0,207$. Проведя вычисления по формулам (6), получили: $D_T = 124$ мм, $D_б = 146$ мм (рис. 6, б).

Выполняли учет развития бочкообразования (λ_{np}) при прошивке:

$$\lambda_{np} = \frac{\lambda}{\sqrt[3]{(H_{к.пр} / H_k)}}. \quad (13)$$

Откуда: $\lambda_{np} = 0,208$. Размеры прошитой заготовки: $H_{к.пр} = 48,5$ мм, $D_T = 124$ мм, $D = 147$ мм (см. рис. 6, в). Эквивалентный коэффициент подкатки при данных условиях составляет $K_{по} = 1,113$, что соответствует формовочному или пережимному ручью [1]. Таким образом, подтвердили, что деформированная заготовка свободно размещается в гравюре предварительного ручья (рис. 6). Отметим, что по базовой технологии $\varepsilon = 0,55$ принимаемая длина $H_0 = 117$ мм, что отличается от базовой технологии на 2 мм.

Штамповка по усовершенствованной технологии (см. рис. 7) внедрена в условиях кузнечно-прессового цеха ПАО «ММК им. Ильича» (ООО «Метинвест – Мариупольский ремонтно-механический завод»). При этом поковки отштамповывали на кривошипном прессе в закрытом штампе «в размер», образование заусенца не происходило. Разработанные мероприятия

позволили досягнути економії міді (М1) до 7,7 %.

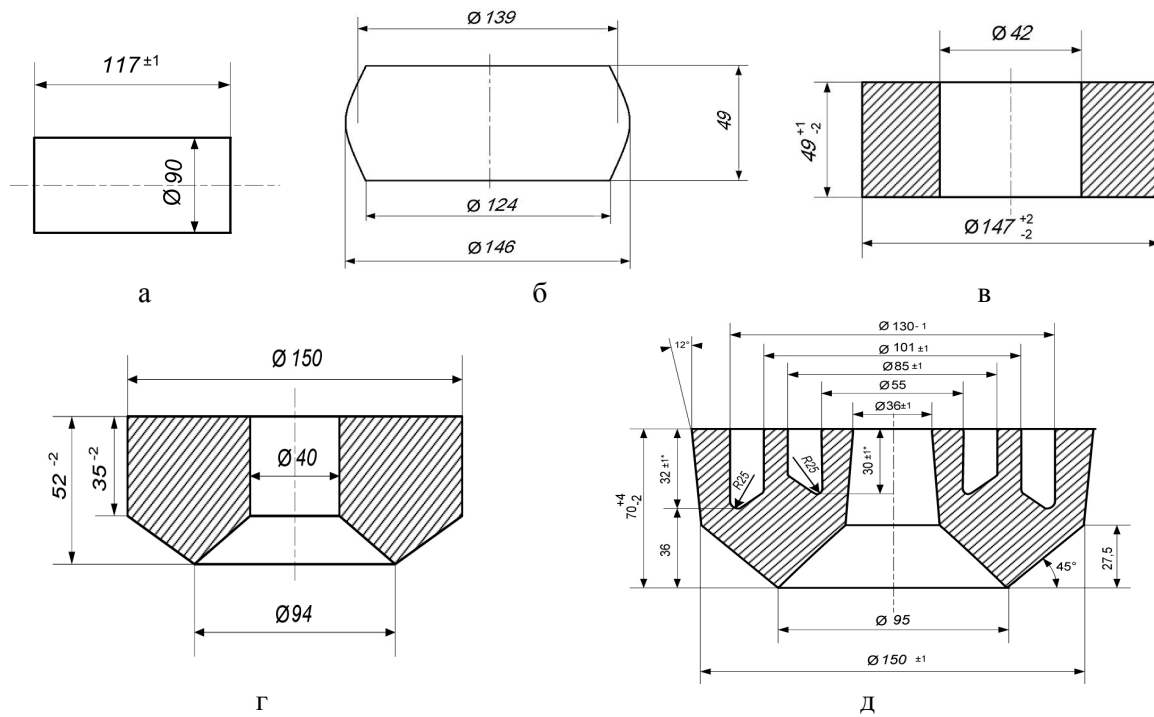


Рис. 6 – Эскизы переходов штамповки поковки «Головка кислородной фурмы»: а – мерная заготовка, б – заготовка после осадки, в – заготовка после прошивки, г – поковка после предварительного рудья, д – поковка после окончательного рудья

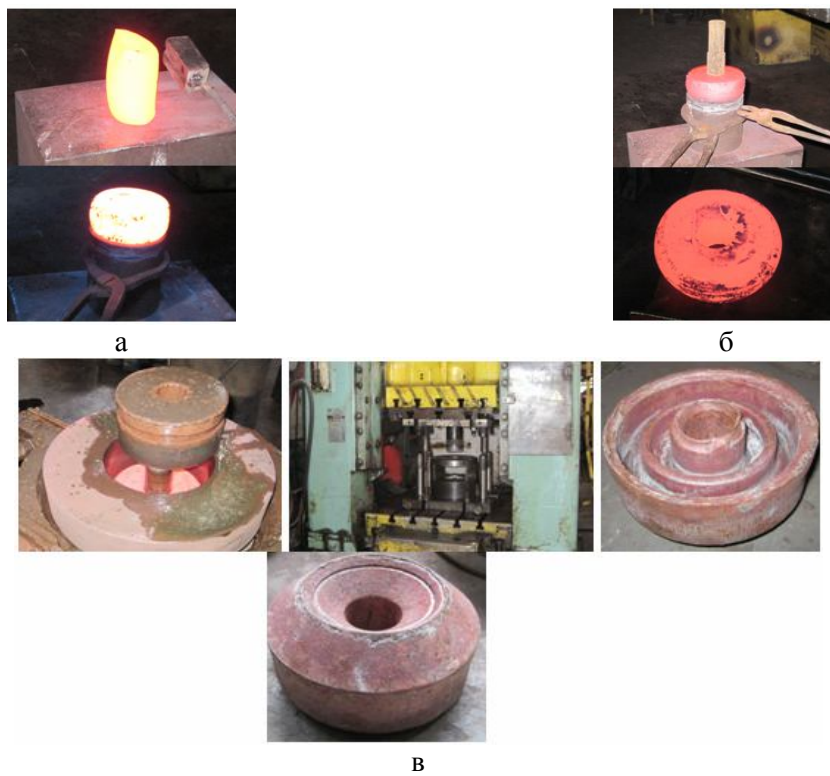


Рис. 7 – Промышленное внедрение штамповки «Головки кислородной фурмы»: а – заготовка и подготовительная осадка; б – прошивка и прошитая заготовка; в – предварительная и окончательная штамповка (фотографии оборудования и поковок)

Выводы

Разработана обобщенная методика проектирования технологий комбинированной объемной штамповки осесимметричных поковок, учитывающая закономерности формообразования полуфабриката на предварительных операциях осадки и прошивки. Данная методика адаптирована для штамповки медных поковок с учетом бочкообразования меди при предварительной осадке. В производственных условиях внедрены более совершенные технологии штамповки поковок «Сопло» и «Головка кислородной фурмы», которые позволили достичь экономии до 5...7,7% технической меди на каждом изделии.

Список использованных источников:

1. Ковка и штамповка: Справочник. В 4 т. / Ред. совет: Е.И. Семенов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. Е.И. Семенова. – 1986. – 592 с.
2. Ковка и штамповка цветных металлов: справочник / Н.И. Корнеев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1972. – 229 с.
3. Володин И.М. Система основных принципов проектирования процессов горячей объемной штамповки и созданные на её основе технологии / И.М. Володин, А.А. Ромашев // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2008. – № 9. – С. 19-29.
4. 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. – № 5. – 2010. – С. 19-23.
5. Воронцов А.Л. Определение формы боковой поверхности заготовки при осадке / А.Л. Воронцов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 3. – С. 7-16.
6. Охрименко Я.М. Теория процессов ковки / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин. – М.: Высшая школа, 1977. – 295 с.
7. Jerzy Kajtoch. Strain in upsetting process / Jerzy Kajtoch // Metallurgy and foundry engineering. – 2007. – Vol. 33. – № 1. – PP. 51-61.
8. Tahir Altinbalik. An upper bound analysis and determination of the barreling profile in upsetting / Tahir Altinbalik, Yilmaz Çan // Indian Journal of Engineering & Material Sciences. – December, 2011. – Vol. 18. – PP. 416-424.
9. Inverse analysis applied to the evaluation of friction and rheological parameters in hot forming of steel / D. Szyndler, M. Pietrzyk, J.G. Lenard, S.H. Fyke // Proc. 8th International Conference Metal Forming' 2000, Sept. 3-7, 2000. – Krakow; Poland, 2000. – PP. 101-106.
10. Shlomchack G.G. Rheological complexity of metals and anomalies of their deformation / G.G. Shlomchack, A.M. Melnik, I. Mamuzič // Metallurgija. – Zagreb, 1996. – Vol. 35, Br. 2. – PP. 83-86.
11. Gaponova O. Deforming of the copper-titanium powder materials at elevated temperatures / O. Gaponova, L. Ryabicheva // International Conference Deformation and fracture in structural pm materials DF PM 2008 Proceedings. – Stará Lesná, High Tatras, Slovak Republic, 2008. – PP. 202-206.
12. Rajeev Arya. Near net shape upsetting of cooper billet using friction determination curve / Rajeev Arya, Kuldip Singh Parihar, Pritesh Prajapati // International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. – January-March, 2012. – Vol. 1, Issue II. – PP. 51-54.
13. 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: из-во СПбГПУ, 2007. – С. 347-351.
14. Ребельский А.В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки / А.В. Ребельский; под ред. С.С. Соловцова. – М.: Машиностроение, 1965. – 248 с.
15. 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.
16. Новые подходы к исследованию бочкообразования при осадке / В.В. Кухарь [и др.] // Удо-

- сконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: зб. наук. праць. – Краматорськ, 2005. – С. 241-246.
17. 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. наук. праць. – Маріуполь: ПДТУ, 2007. – Вип. 17. – С. 125-129.
18. 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.
19. Теория обработки металлов давлением / И.Я. Тарновский [и др.]; под ред. И.Я. Тарновского. – М.: Металлургиздат, 1963. – 672 с.

Bibliography:

1. Die forging and stamping of non-ferrous metals: Reference books 4 volumes / E.I. Semenov [et al.]. – 1986. – 572 p. (Rus.)
2. Die forging and stamping of non-ferrous metals: Reference book / N.I. Korneev [et al.]. – Moscow: Mashinostroyenie, 1972. – 229 p. (Rus.)
3. Volodyn I.M. The system of basic principles of designing of the processes of die forging and technologies, created on such basis / I.M. Volodyn, A.A. Romashev // Forging and stamping production. Plastic working of metals. – 2008. – №9. – PP. 19-29. (Rus.)
4. Grinkevich V.A. Die-free profiling on presses with improvement of precision of shape deformation at finishing operations / V.A. Grinkevich, V.V. Kukhar, K.K. Diamantopulo // Forging and stamping production. Plastic working of metals. – №5. – 2010. – PP.19-23. (Rus.)
5. Vorontsov A.L. Determination of the shape of side surface of forgings at upsetting / A.L. Vorontsov // Forging and stamping production. Plastic working of metals. – 2007. – №3. – PP.5-17. (Rus.)
6. Okhrimenko Y.M. Theory of the processes of forging / Y.M. Okhrimenko, V.A Tyurin. – Moscow: Vysshaya shkola, 1977. – 295 p. (Rus.)
7. Jerzy Kajtoch. Strain in upsetting process / Jerzy Kajtoch // Metallurgy and foundry engineering. – 2007. – Vol. 33. – № 1. – PP. 51-61.
8. Tahir Altinbalik. An upper bound analysis and determination of the barreling profile in upsetting / Tahir Altinbalik, Yilmaz Çan // Indian Journal of Engineering & Material Sciences. – December, 2011. – Vol. 18. – PP. 416-424.
9. Inverse analysis applied to the evaluation of friction and rheological parameters in hot forming of steel / D. Szyndler, M. Pietrzyk, J.G. Lenard, S.H. Fyke // Proc. 8th International Conference Metal Forming' 2000, Sept. 3-7, 2000. – Krakow; Poland, 2000. – PP. 101-106.
10. Shlomchack G.G. Rheological complexity of metals and anomalies of their deformation / G.G. Shlomchack, A.M. Melnik, I. Mamuzič // Metallurgija. – Zagreb, 1996. – Vol. 35, Br. 2. – PP. 83-86.
11. Gaponova O. Deforming of the copper-titanium powder materials at elevated temperatures / O. Gaponova, L. Ryabicheva // International Conference Deformation and fracture in structural pm materials DF PM 2008 Proceedings. – Stará Lesná, High Tatras, Slovak Republic, 2008. – PP. 202-206.
12. Rajeev Arya. Near net shape upsetting of cooper billet using friction determination curve / Rajeev Arya, Kuldeep Singh Parihar, Pritesh Prajapati // International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. – January-March, 2012. – Vol. 1, Issue II. – PP. 51-54.
13. Kukhar V.V. Formation of a barrel-type shape at upsetting of non-ferrous and ferrous metals and alloys / V.V. Kukhar, O.A. Lavrentik, V.A. Burko // Works of International scientific and technical conference «Modern achievements in theory and technology of plastic working of metals», September 26-28th 2007 – St. Petersburg; issued by StPbstu, 2007. – PP. 347-351. (Rus.)
14. Rebelskiy A.V. Fundamentals of designing of the processes of hot die forging / A.V. Rebelskiy, edited by S.S. Solovtsov. – Moscow: Mashinostroyenie, 1965. – 248 p. (Rus.)
15. Kukhar V.V. Deformation unevenness at free alternation of shape of forgings, made of non-ferrous metals and alloys / V.V. Kukhar, O.A. Lavrentik, V.A. Burko // Reporter of the Priazovskiy state

- technical university: collection of scientific works. – 2006. – Issue 16. – PP. 123-127. (Rus.)
16. New approaches to investigation of formation of barrel shape at upsetting / V.V. Kukhar [et al.] Improvement of the processes and facilities of plastic working at mechanical engineering and metallurgy: collection of scientific works. – Kramatorsk, 2005. – PP. 241-246. (Rus.)
 17. Kukhar V.V. Modelling of temperature field of a non-uniformly heated along its length forging at its cooking inside the die / V.V. Kukhar, O.A. Lavrentik, V.A. Burko, M.V. Krestnikov // Reporter of the Priazovskyi state technical university: collection of scientific works. – 2007. – Issue 17. – PP. 125-129. (Rus.)
 18. Kukhar V.V. Mathematical model of thermal process in a die and inside non-uniformly heated forging / V.V. Kukhar, V.A. Burko // Theses of the International scientific and technical conference «Machines and plastic deformation of metals», dedicated to 100th anniversary of S.Z. Youdovich. – Zaporozhie: Zaporozhie National Technical University, November 20-23, 2007. – PP. 37-38. (Rus.)
 19. Theory of plastic working of metals / I.Y. Tarnovskiy [et al.] Edited by I.Y. Tarnovskiy. – Moscow: Metallurgizdat, 1963. – 672 p. (Rus.)

Рецензент: А.А. Іщенко
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 01.12.2014

УДК 621.983:669.16.221

© Анищенко А.С.*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ НОСКОВ ВОЗДУШНЫХ ДОМЕННЫХ ФУРМ

Спроектирована конструкция воздушной доменной фурмы с защитным чугуном покрытием и носком, отштампованным из листовой заготовки, разработана технология листовой штамповки носка, предложена формула для расчета высоты носка.

Ключевые слова: доменная фурма, носок, защитное покрытие, листовая штамповка.

Анищенко О.С. Розробка конструкції та технології штампування носків повітряних доменних фурм. Спроективана конструкція повітряної доменної фурми із захисним чавунним покриттям та носиком, що відштампований з листової заготовки, розроблена технологія листового штампування носика, запропонована формула для розрахунку висоти носика.

Ключові слова: доменна фурма, носик, захисне покриття, листове штампування.

O.S. Anishenko. Development of design and process of stamping of air blast-furnace lances's noses. A design of air blast tuyere with protective iron coating was created. The front portion of the tuyere is made by stamping from copper slab with the thickness 15 mm. The author developed the technology of tuyere's front. The technology enables to stamp the front part of the tuyere without blank holder to use the single-action hydraulic press force 2 MN. Stamped on the parts produced in the form of low surface waves. This surface improves the connection of cast iron with a copper piece. The front part of the tuyere with a larger height (length) is formed by stamping blanks from a solid copper. Increasing the height (length) of the front of the tuyere allows to move portions of its connection with conical bodies in areas with lower temperature heating. It increases the resistance welds in the compounds, and hence resistance tuyeres. Protection layer of cast

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, as4@ya.ru