

УДК 621.983

к.т.н. Митичкина Н. Г.,
Токарев А. В.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, omdim.dstu@gmail.com)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ

Работа посвящена разработке способа получения трубной заготовки ограниченной длины из листовой, содержащего переходы вырубки, совмещенной штамповки и обрезки. Предложен штамп совмещенного действия, осуществляющий вытяжку с прижимом цилиндра, пробивку его дна, отгибку торообразного участка и протяжку за один ход пресса, позволяющий получить равномерную толщину изделия и снизить металлоотходы. Разработана методика расчета технологического усилия для совмещенной штамповки трубной заготовки. Произведена оценка эффективности методики расчета на основании результатов конечно-элементного моделирования.

Ключевые слова: штамп, трубная заготовка, вытяжка, протяжка, отгибка, пробивка, усилия, совмещенная штамповка.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Современные тенденции рыночной экономики характеризуются нестойким спросом на продукцию народного потребления, что вызывает необходимость расширения номенклатуры производства при снижении массовости выпуска. Изготовление новых видов изделий позволяет снизить простои оборудования и повысить прибыльность предприятия. В частности, для снижения простоев прессового оборудования на машиностроительных предприятиях можно рекомендовать получение изделий, имеющих высокий потребительский спрос, таких как трубные заготовки (бочата, резьбы, сгоны и т. д.), используемые для соединения элементов трубопроводов отопительных, водопроводных систем и т. д. Для их изготовления используют стали, алюминиевые и медные сплавы. Одним из методов получения таких изделий является штамповка из листа — обычно штамповка вытяжкой с утонением с последующим удалением дна полученной полый заготовки. Преимуществом в этом случае является высокая равнотолщинность получаемой заготовки, а недостатком — высокие отходы металла и несколько переходов вытяжки [1, 2]. По-

этому актуальным вопросом является снижение количества переходов при штамповке таких изделий и повышение коэффициента использования металла.

Постановка задачи. Для снижения количества переходов штамповки и повышения точности изделий используют штампы совмещенного действия. Снижение отходов металла возможно при использовании пробивки дна вытянутого цилиндра и отгибки полученного контура, что позволит часть металла, идущего в отход, использовать в изделии. В связи с этим **целью** настоящей работы явилась разработка способа получения трубных заготовок ограниченной длины путем применения совмещенной штамповки.

Объект исследования — процесс совмещенной штамповки трубной заготовки ограниченной длины.

Предмет исследования — закономерности формообразования трубных заготовок способом совмещенной штамповки.

Задачи исследования:

– разработка штампа совмещенного действия для штамповки трубной заготовки ограниченной длины, обеспечивающего снижение металлопотерь и высокое качество изделия;

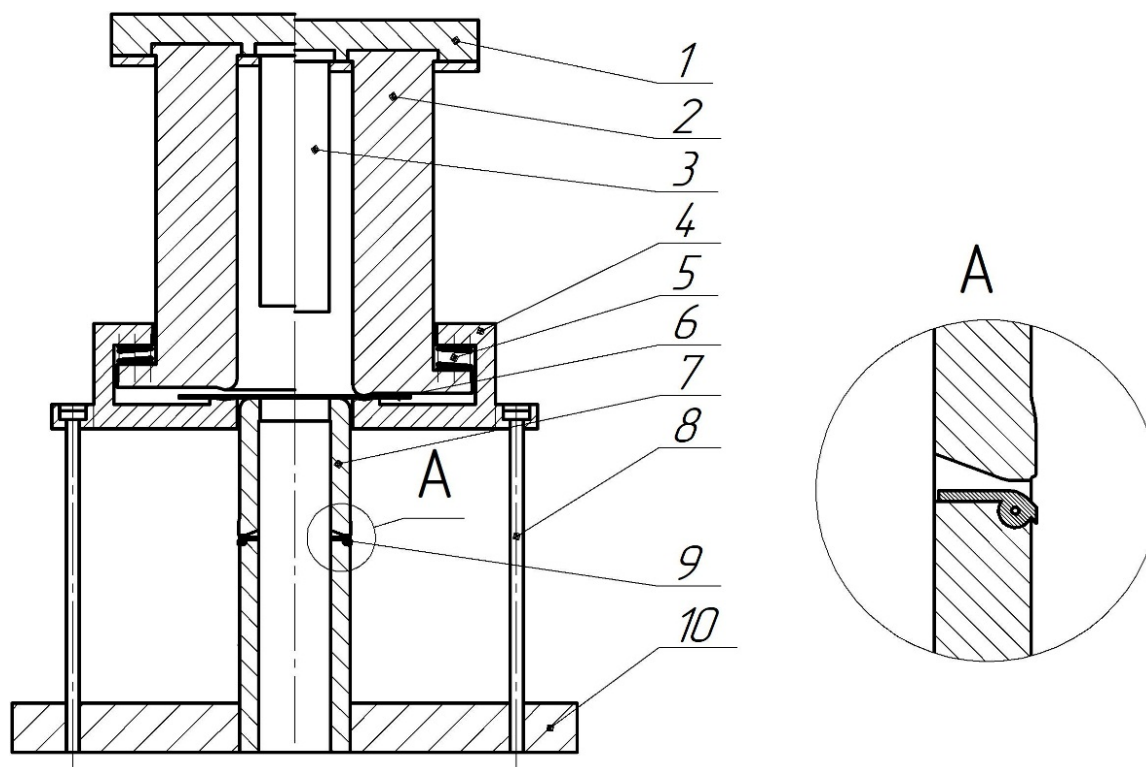
– разработка приближенной методики оценки необходимого усилия для нового способа совмещенной штамповки;

– оценка эффективности способа совмещенной штамповки трубной заготовки и методики расчета необходимых усилий на основе конечно-элементного моделирования.

Методика исследования. Для оценки необходимого усилия штамповки использовался инженерный метод. Оценку эффективности способа совмещенной штамповки производили методом конечно-элементного моделирования. При этом использованы следующие параметры модели: материал заготовки — сталь 1008 (аналог стали 08), температура деформации 20 °С, начальная толщина заготовки 1 мм, диаметр листовой заготовки 100 мм, наружный диаметр трубного изделия 50 мм, диаметр отверстия под отгибку 30 мм, ра-

диус скругления пуансона и матрицы 5 мм, коэффициент трения между инструментом и заготовкой 0,12, конечная толщина трубы после протяжки 0,7 мм, угол ската матрицы при протяжке 15°.

Изложение материала и его результаты. На основании выявленных недостатков получения трубных изделий из листовой заготовки методами холодной штамповки предлагается новый способ получения трубных заготовок ограниченной длины, позволяющий получить изделие за три перехода: вырубку, совмещенную штамповку и обрезку полой заготовки. Для штамповки трубной заготовки предложен штамп оригинальной конструкции совмещенного действия, обеспечивающий процесс вытяжки с прижимом, пробивку дна и отгибку полученного контура. Конструкция штампа представлена на рисунке 1.



1 — верхняя плита штампа; 2 — вытяжная матрица с перетяжным ребром; 3 — пробивной пуансон; 4 — прижим; 5 — пружины; 6 — заготовка; 7 — пуансон-матрица; 8 — ограничитель вертикального перемещения; 9 — съемник; 10 — нижняя плита штампа

Рисунок 1 — Схема конструкции штампа совмещенного действия для получения трубной заготовки (начальный момент и момент прижима заготовки)

Для штамповки заготовку *б* устанавливают на прижим *4*. При ходе пресса верхняя плита *1* опускается, и прижим прижимает заготовку к вытяжной матрице с перетяжным ребром *2*. Далее происходит процесс вытяжки пуансоном-матрицей *7*, который входит в вытяжную матрицу за счет движения верхней части штампа вниз. Вытяжка осуществляется на предельную глубину, рассчитываемую для каждого деформируемого материала индивидуально. По достижении предельной глубины заготовка входит в контакт с пробивным пуансоном *3* (рис. 2, *а*) и с помощью пуансон-матрицы отделяет отход по замкнутому контуру. При этом отход удаляется на провал. Далее при движении верхней части штампа вниз пуансон-матрица отгибает полученное отверстие, а калибровочный поясok на пуансон-матрице протягивает заготовку (рис. 2, *б*), после чего отштампованная заготовка при движении верхней части штампа вверх удаляется съемником *9*. Для обеспечения соосности верхней и

нижней частей штампа предусмотрен ограничитель вертикального перемещения *8*.

Штамп рекомендуем устанавливать на пресс простого действия со значительным рабочим ходом или гидравлический пресс, что делает его универсальным в использовании. Для выбора пресса необходимо оценить необходимое усилие штамповки.

При совмещенной штамповке общее усилие вычисляется как сумма усилий операций, входящих в процесс штамповки за один ход пресса. Так, в случае совмещенной штамповки трубных заготовок ограниченной длины общее усилие штамповки определяется по формуле

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4,$$

где P_1 — усилие вытяжки с прижимом;
 P_2 — усилие пробивки;
 P_3 — усилие отгибки торообразного участка заготовки;
 P_4 — усилие протяжки.

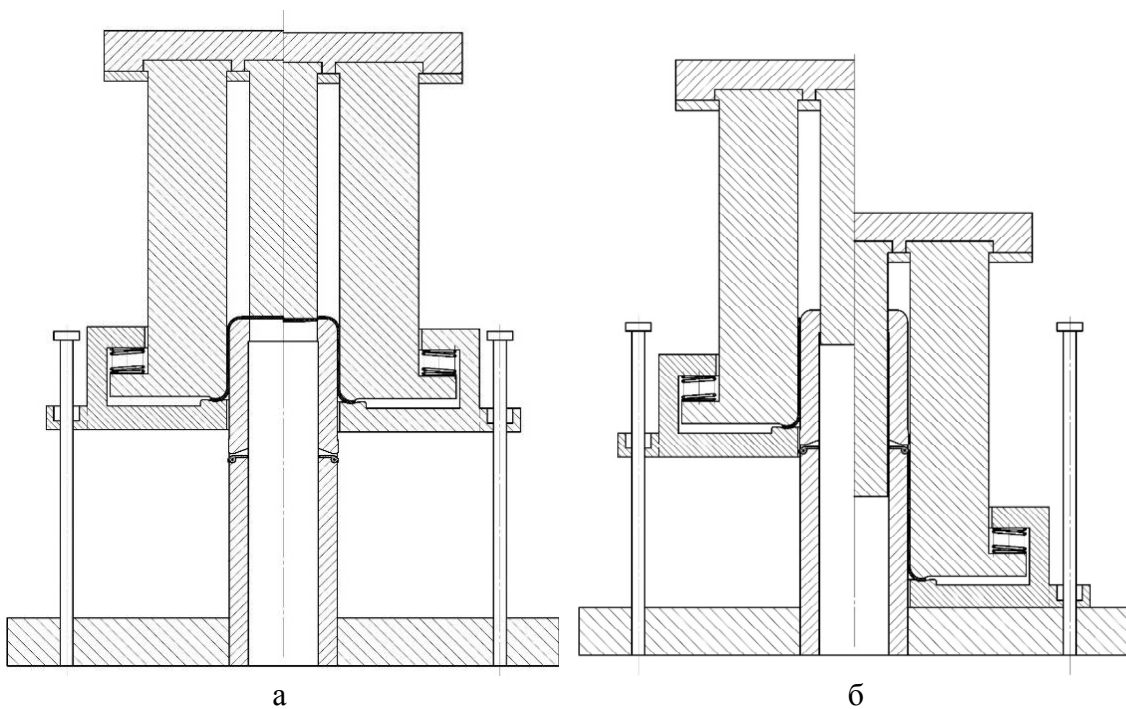


Рисунок 2 — Стадии штамповки: а — вытяжки и пробивки, б — отгибки и протяжки

Составляющие P_1 , P_2 , P_4 не представляют трудностей для теоретической оценки, так как рассмотрены в трудах многих авторов, однако требуют пояснения для составления общей методики расчета. Так, усилие вытяжки с прижимом для прессы простого действия [3]

$$P_1 = P_p + Q,$$

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_{\sigma} \left[(1,1 \ln K_{\sigma})^{\frac{1}{1-\Psi_{\text{ш}}}} + \frac{\mu Q}{\pi R S \sigma_{\sigma}} + \frac{S}{2r_m + S} \right] (1 + 1,6\mu),$$

где σ_{σ} — предел прочности материала заготовки;

K_{σ} — коэффициент вытяжки, определяемый как отношение диаметра заготовки D к диаметру первой вытяжки d_1 ;

$\Psi_{\text{ш}}$ — равномерное сужение образца при растяжении;

μ — коэффициент трения;

r_m — радиус скругления матрицы;

α — угол охвата заготовкой радиуса скругления вытяжной матрицы;

Q — усилие прижима для первой вытяжки цилиндрических деталей, определяемое по формуле [2]

$$Q = 0,25\pi [D^2 - (d_1 - 2r_m)^2] q,$$

где q — удельное давление прижима.

Усилие пробивки P_2 определяется по формуле [3]

$$P_2 = \pi d_{\text{омв}} S \sigma_{\text{ср}},$$

где $d_{\text{омв}}$ — диаметр пробиваемого отверстия;

$\sigma_{\text{ср}}$ — напряжение среза.

Усилие отгибки (спрямления) P_3 торообразного участка заготовки можно определить аналогично усилию отбортовки отверстий по формуле

$$P_3 = 2\pi R S \sigma_{\rho \max} \sin \alpha,$$

где α — угол спрямления;

где P_p — расчетное усилие вытяжки, определяемое как

$$P_p = 2\pi r S \sigma_{\rho \max} \sin \alpha,$$

где r — граничный радиус вытяжки;

S — начальная толщина заготовки;

$\sigma_{\rho \max}$ — наибольшее радиальное напряжение в опасном сечении, определяемое по формуле

R — радиус трубной заготовки по срединной линии;

S — толщина заготовки;

$\sigma_{\rho \max}$ — максимальное радиальное напряжение при спрямлении.

Максимальное радиальное напряжение при спрямлении, полученное методом совместного решения уравнений равновесия и условия пластичности с учетом упрочнения, определяется аналогично радиальному напряжению при отбортовке, но с учетом отсутствия изгиба, по формуле

$$\sigma_{\rho \max} = \sigma_s \left(1 - \frac{r_{\text{омв}}}{R} + \frac{S}{4r_n + 2S} \right) (1 + \mu\alpha),$$

где σ_s — напряжение течения;

$r_{\text{омв}}$ — радиус пробитого отверстия;

r_n — радиус скругления пуансона;

μ — коэффициент трения между пуансоном и заготовкой.

Усилие протяжки P_4 можно определить по формуле [3]

$$P_4 = \frac{4\sigma_s}{\sqrt{3}} (1 + \mu \text{ctg} \varphi) \frac{(1 + \varphi) \sin \varphi}{1 + 2 \sin \varphi} \times \pi [(d + S_{\delta}) S_{\delta}],$$

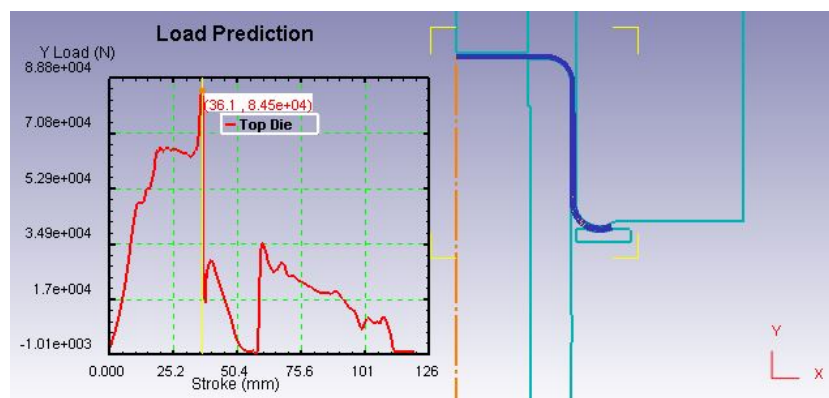
где S_{δ} — конечная толщина трубной заготовки;

φ — угол скоса матрицы под протяжку.

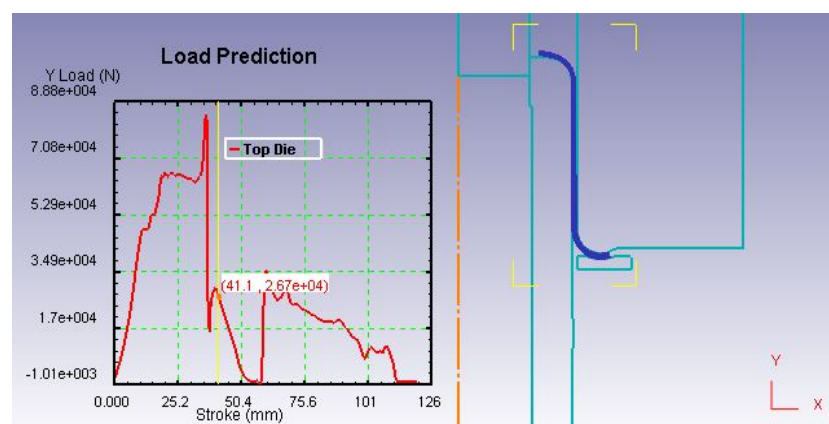
Для оценки возможности совмещенной штамповки трубных заготовок из листовой

и необходимого усилия штамповки осуществлено двумерное конечно-элементное моделирование процесса (рис. 3). Значения

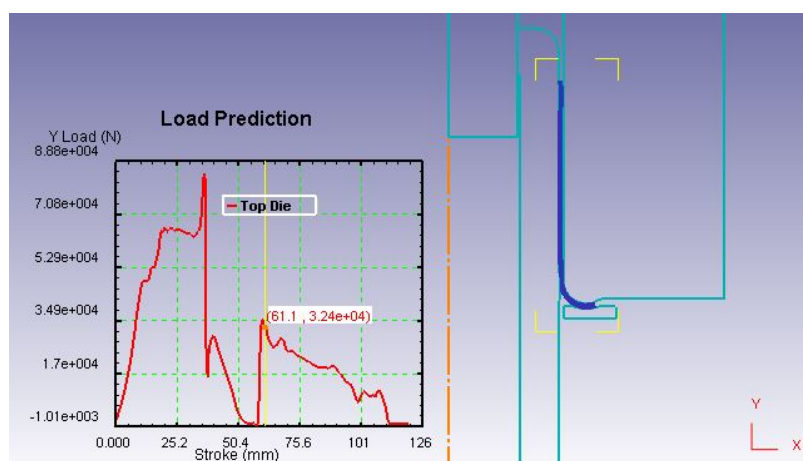
общего усилия во время моделирования рассматривались на матрице, так как она воспринимает все возникающие нагрузки.



а



б



в

а — процесс вытяжки в момент максимального усилия; б — процесс отгибки торообразного участка заготовки; в — процесс протяжки трубной заготовки

Рисунок 3 — Конечно-элементная модель совмещенной штамповки трубной заготовки ограниченной длины и диаграмма общего усилия процесса

Результаты моделирования и расчетов по предложенной модели представлены в таблице 1.

Анализ результатов показал, что расхождение в значениях общего усилия довольно мало — не превышает 2 %; если сравнивать по составляющим процесса, то наибольшее расхождение при расчете си-

лы спрямления, что может говорить о неточности предложенной формулы.

Сравнительная оценка металлоотходов при использовании предложенного способа и при применении вытяжки с утонением и обрезки дна показала снижение металлоотходов на 30 %. При расчете учитывались отходы только донной части полого изделия.

Таблица 1

Сравнительные результаты моделирования и расчетов по предложенной методике, кН

	P_1	P_2	P_3	P_4	P
Модель	84,5	19,00	28,90	35,3	192
Методика	89,216	23,55	38,46	37,756	189

Выводы и направление дальнейших исследований:

1. Предложена конструкция штампа для изготовления трубной заготовки, позволяющая осуществить процесс вытяжки, пробивки дна, его отгибки и протяжки за один ход пресса, обеспечивающая равномерную толщину получаемой заготовки и экономии металла за счет снижения отходов по сравнению с процессом вытяжки и удаления дна.

2. Проведено конечно-элементное моделирование совмещенного процесса

штамповки трубной заготовки, позволившее оценить необходимые усилия как поэтапно, так и общее.

3. Предложена методика расчета необходимого усилия штамповки при использовании штампа совмещенного действия. Сравнительный анализ результатов расчетов и моделирования показал хорошую сходимость, что позволяет применять методику для выбора необходимого оборудования.

Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную проверку результатов исследования.

Библиографический список

1. Попов, Е. А. *Технология и автоматизация листовой штамповки [Текст] : учеб. для вузов / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. — М. : МГТУ, 2000. — 479 с.*
2. Романовский, В. П. *Справочник по холодной штамповке [Текст] / В. П. Романовский. — [6-е изд., перераб. и доп.]. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. — 520 с.*
3. Аверкиев, Ю. А. *Технология холодной штамповки [Текст] : учебник для вузов / Ю. А. Аверкиев, А. Ю. Аверкиев. — М. : Машиностроение, 1989. — 304 с.*

© Митичкина Н. Г.

© Токарев А. В.

Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ОМДиМ ДонГТИ Денищенко П. Н., к.т.н., помощником нач. сортопрокатного цеха по технологии филиала № 12 ЗАО «Внеишторгсервис» Чичкан А. А.

Статья поступила в редакцию 05.03.2021.

PhD in Engineering Mitichkina N. G., Tokarev A. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

IMPROVING THE METHOD OF PIPE STOCK PRODUCTION BY COLD STAMPING METHOD

The work is devoted to the development of method for producing pipe stock of limited length from sheet, containing cutting transitions, combined stamping and edging. Combination die is proposed, which carries out drawing with pressing the cylinder, punching of its bottom, folding of the torus-shaped section and broaching in one press stroke, which allows obtaining a uniform thickness of the product and reducing metal wastes. The design procedure of technological force for combined stamping of pipe stock has been developed. The efficiency of calculation technique was assessed based on the results of finite element modeling.

Key words: *die, pipe stock, draw-forming, broaching, folding, punching, forces, combined stamping.*