

УДК 621.961

Левандовская И. В.
Середа В. Г.**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ МАЛОУХОДНОЙ ШТАМПОВКЕ
ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

В различных отраслях народного хозяйства и в быту применяется большое количество тонкостенных металлических изделий, изготавливаемых штамповкой, основной формоизменяющей операцией которой является вытяжка. Кроме одно- или многопереходной вытяжки при штамповке таких изделий используются вырубка, обрезка и другие технологические операции, выбор которых определяется формой, размерами изделия и плоской заготовки, а также свойствами металла [1, 2]. Соответственно технология штамповки пустотелых листовых изделий является многооперационной, что определяет значительную трудоемкость процесса и сравнительно большие отходы металла. Трудоемкость изготовления листовых изделий с размерами в плане примерно до 60 мм в массовом и крупносерийном производстве можно снизить за счет применения штамповки в ленте, но это приводит к существенному усложнению конструкции и повышению стоимости штампов [2, 3].

Если размеры изделия в плане больше или применение штамповки в ленте экономически нецелесообразно, для вытяжки используют штучные заготовки, получаемые из групповой (полосы, ленты) вырубкой или отрезкой. Штамповка в этом случае ведется с ручной или автоматической подачей заготовок в штамп во всех операцией. В таком случае можно получить форму плоской заготовки, которая после вытяжки исключает при заданной точности размеров изделия обрезку полуфабриката или уменьшить величину припуска на обрезку, что повышает экономические показатели штамповки [4, 5].

Наибольшую экономию металла при штамповке цилиндрических изделий можно получить, если вырубку штучной заготовки из групповой выполнить после первой вытяжки в целой ленте [6, 7]. Тогда при первой вытяжке в матрицу втягивается часть металла, который идет в отход при вырубке плоской заготовки, что обеспечивает повышения коэффициента использования материала.

Цель работы – экспериментальное определение показателей формоизменения первого перехода вытяжки, в целой ленте, необходимых для выбора оптимальной ширины ленты (полосы) при использовании предложенной технологии штамповки пустотелых цилиндрических изделий.

Показатели формоизменения определяются формой и соотношением размеров полуфабриката, степенью вытяжки в первом переходе, возможностью перемещения передней и задней частей заготовки относительно вытяжкой матрицы.

При вытяжке деталей с фланцем наружный размер фланца необходимо получить при вырубке полуфабриката после первого перехода вытяжки. Поэтому наименьшая ширина групповой заготовки после первой вытяжки:

$$b_1 = d_{\phi} + 2\Delta D,$$

где d_{ϕ} – диаметр фланца готового изделия; ΔD – припуск на обрезку.

В этом случае дополнительные потери металла на боковые перемычки, которые необходимы при вырубке плоской заготовки, исключаются. Следовательно, ширина групповой заготовки уменьшается при заданных размерах и площади полуфабриката.

При вытяжке цилиндрических изделий без фланца полуфабрикат можно вырубать, отделяя полуфабрикат от групповой заготовки острой кромкой на вытяжном пуансоне [2].

Полуфабрикат в данном случае имеет форму цилиндра с дном, площадь срединной поверхности которого равна площади срединной поверхности изделия. При этом на групповой заготовке образуется большой заусенец, который будет мешать установке заготовки в штампе при вытяжке последующего полуфабриката. Поэтому представляется целесообразным вытягивать в первом переходе полуфабрикат с узким фланцем, который после вырубki полуфабриката устраняется в специальном штампе, обеспечивая необходимую точность изделия по высоте [2].

Наименьшая ширина групповой заготовки после первой вытяжки в данном случае можно определить по формуле:

$$b_1 = d_m + 2(r_m + \Delta D),$$

где d_m – диаметр фланца готового изделия;

r_m – радиус закругленного рабочего ребра матрицы.

Если для получения требуемого диаметра цилиндрического изделия потребуются следующие переходы, то остаток фланца после вырубki первого полуфабриката может устраняться во втором переходе вытяжки.

В последующих переходах вытяжки высота цилиндрического изделия может оказаться не одинаковой вдоль периметра за счет устранения разнотолщинности цилиндрической части, если зазор между цилиндрическими поверхностями матрицы и пуансона в указанных переходах будет меньше, чем в первом, как обычно принимается при вытяжке без преднамеренного утонения [2]. Эта разнотолщинность в основном формируется при деформировании плоской части групповой заготовки, так как напряженное состояние и пластическое течение металла в плоской части заготовки изменяется вдоль периметра цилиндрической матрицы.

Характерные напряженно-деформируемые зоны в плоской части можно определить, рассматривая начальный момент деформирования, когда боковая сторона групповой заготовки является прямолинейной, т.е. сохраняет свою первоначальную форму, толщина плоской части не изменилась, а предел текучести в этой части можно принять постоянным. В этом случае можно построить сетку характеристик, удовлетворяющую краевым условиям, если допустить, что на внутренней границе плоского фланца отсутствуют касательные напряжения, а передняя и задняя зона групповой заготовки могут свободно перемещаться относительно матрицы. В области, где идет пластическая деформация, имеет место плоское напряженное состояние. Главное нормальное напряжение, перпендикулярное плоскости заготовки:

$$\sigma_3 = 0,$$

а действующие в плоскости σ_1 и σ_2 могут быть растягивающими и сжимающими, т. е. положительными и отрицательными. Если считать $\sigma_1 > \sigma_2$, то условие Треска имеет вид:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \sigma_T.$$

При указанных условиях сетку характеристик можно построить в области, где:

$$\sigma_1 \sigma_2 \leq 0,$$

и она будет совпадать с сеткой линий скольжения, что всегда имеет место при плоской деформации [8].

Сетка линий скольжения, удовлетворяющая статическим условиям задачи, показана на рис. 1. В области ABC линии скольжения – ортогональные прямые, пересекающие боковую поверхность заготовки AC под углом 45° . В области BDE – прямые, перпендикулярные

к линии BE , и ортогональные к ним кривые, равноотстоящие от BE на длину не больше BC . В области EMF сетка состоит из прямых, пересекающих границу EF под углом 45° , и эвольвент окружности радиуса $r_1 = r/\sqrt{2}$ с центром O .

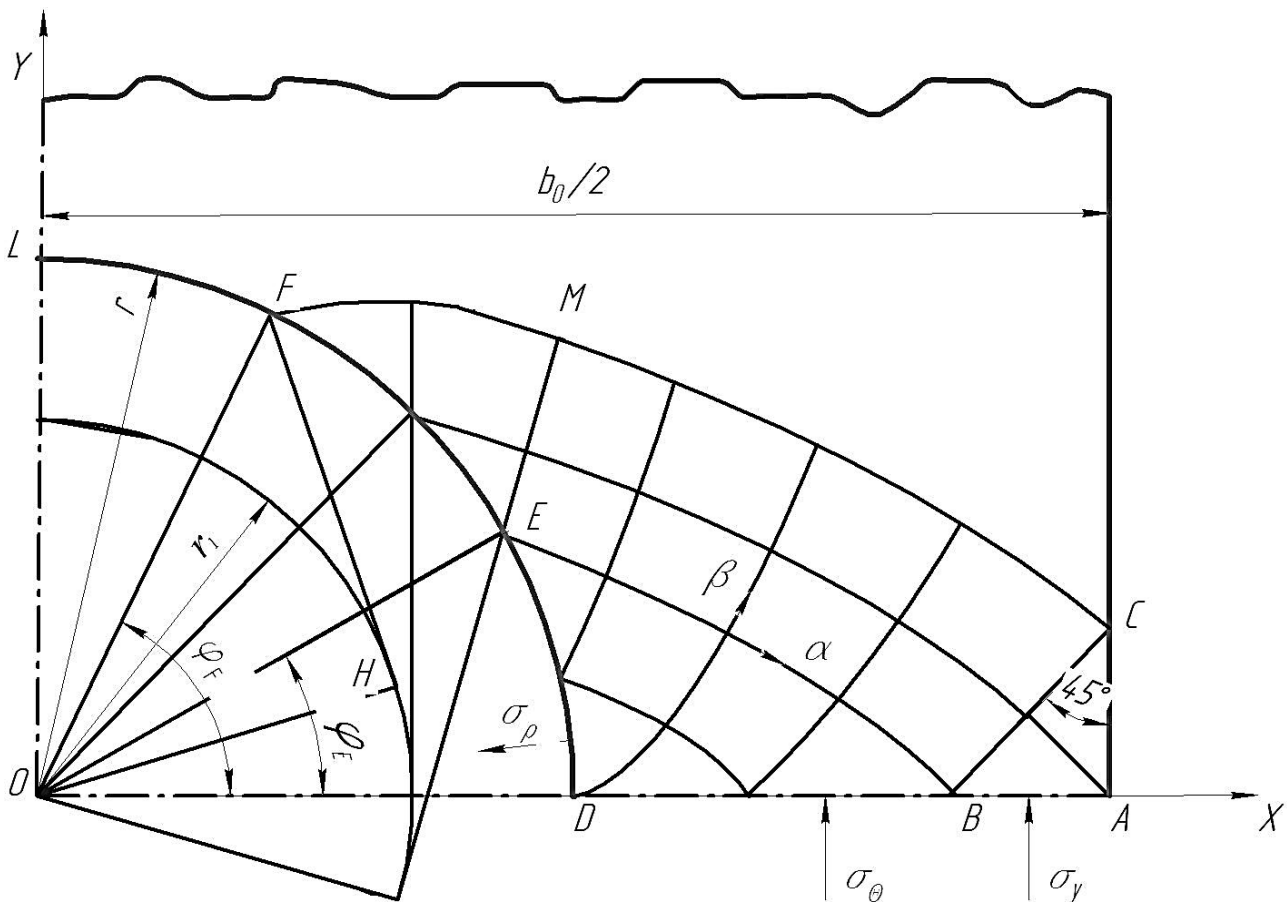


Рис. 1. Схема линий скольжения в начальный момент вытяжки в целой ленте

В области ABC , которая примыкает к прямоугольной боковой стороне заготовки, имеет место равномерное напряженное состояние. Поэтому на участке AB :

$$\sigma_y = -\sigma_T.$$

На участке BD действует сжимающее нормальное напряжение:

$$\sigma_\theta = -\sigma_T \left(1 - \ln \frac{x_B}{x}\right), \quad r \leq x \leq x_A.$$

На участке DE постоянное растягивающее нормальное напряжение:

$$\sigma_\rho = \sigma_T \ln \frac{x_B}{r}.$$

На участке EF растягивающее напряжение изменяется пропорционально углу поворота границы и определяется выражением:

$$\sigma_\rho = \sigma_T \left(\ln \frac{x_B}{r} + \varphi - \varphi_E\right), \quad \varphi_E \leq \varphi \leq \varphi_F.$$

На участке FL по условию пластичности Треска могут действовать радиальные напряжения:

$$\sigma_\rho = \sigma_1 = \sigma_T$$

и перпендикулярные к ним:

$$0 \leq \sigma_\rho \leq \sigma_1.$$

Так как напряжения вдоль границы $ABDEFL$ при заданных r, b_0, x_A известны, то положение точки B определяется из условия равновесия выделенной части заготовки. На нее действуют только силы, вызванные напряжениями вдоль указанной границы. Составляющая равнодействующей силы, совпадающая с осью Y , равна 0.

Таким образом, при деформировании заготовки в ней возникают зоны сжатия, прилегающие к боковым сторонам, зона с одним сжимающим и одним растягивающим главным напряжением, зона с двумя растягивающими главными напряжениями. В первой зоне в соответствии с ассоциированным законом течения будет наблюдаться утолщение заготовки, во второй толщина не изменяется, а в третьей – утонение.

Зона сжатия увеличивается с уменьшением b_0/d и по мере увеличения высоты цилиндрической части. Для предотвращения недопустимой разнотолщинности изделия зазор между матрицей и прижимом следует принимать минимально допустимым.

При первой вытяжке уменьшается длина заготовки, и ее ширина по мере увеличения высоты полуфабриката. Наименьшая допустимая ширина определяется размерами фланца после вырубki полуфабриката и припуском на обрезку. Исходную ширину групповой заготовки следует выбрать таким образом, чтобы при оптимальной деформации площадь полуфабриката равнялась площади изделия с припуском на обрезку. Так как площадь заготовки увеличивается при вытяжке в целой полосе, то имеется возможность при необходимых размерах полуфабриката после вырубki уменьшить ширину исходной заготовки, чтобы не увеличивать припуск на обрезку. Одновременно необходимо выбрать шаг подачи заготовки таким образом, чтобы перемычка между смежными полуфабрикатами была оптимальной.

Для этого следует определить перемещения задней и передней недеформируемых частей заготовки относительно матрицы во время вытяжки при заданном уменьшении ширины заготовки, сумма которых определяет уменьшение длины деформируемой части заготовки.

Соотношение изменений ширины и длины заготовки исследовали при вытяжке цилиндрических полуфабрикатов с наружным диаметром 40 мм. Исходная заготовка имела толщину $S = 1$ мм, ширину $b_0 = 56-80$ мм, длину $l = 125$ мм. Все заготовки изготавливались из одного листа. Материал заготовки – сталь 08 кп в состоянии поставки. Предел прочности стали при испытаниях на растяжение вдоль и поперек листа 339...342 МПа, под углом 45° относительно длины – 356...363 МПа. Длина всех заготовок совпадала с длиной листа.

Вытяжка выполнялась в штампе, обеспечивающем зазор между торцом матрицы и прижимом 1,2 мм, что соответствует требованиям вытяжки на прессе двойного действия, а односторонний зазор между матрицей и пуансоном – 1,5 мм, что соответствует рекомендациям справочной литературы [2, 3]. Вытяжка осуществлялась ступенями. После каждой ступени замерялась минимальная ширина заготовки b_i и l_i , что позволяло определить изменение ее длины и ширины:

$$\Delta l_i = l_0 - l_i; \quad \Delta b_i = b_0 - b_i.$$

Вытяжка выполнялась до обрыва дна широких заготовок или до втягивания плоской части узкой заготовки в рабочее отверстие матрицы, если обрыва не было, а усилие деформирования уменьшалось. Матрица и прижим смазывались смазкой ЦИАТИМ-202 ГОСТ 11 110-75, что исключало налипание металла заготовки на матрицу.

Результаты опытов по вытяжке отдельных заготовок различной ширины представлены на рис. 2.

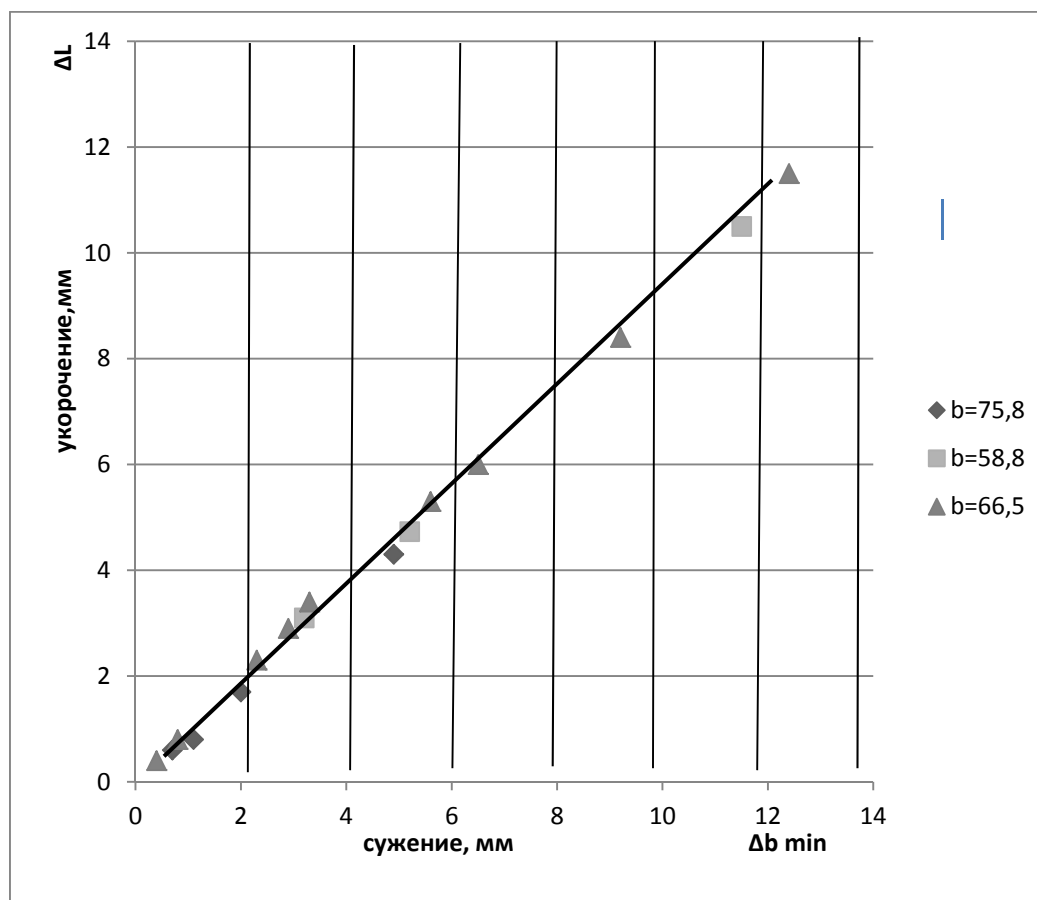


Рис. 2. Зависимость величины укорочения заготовки Δl от максимальной величины сужения заготовки Δb

Эти данные показывают, что изменение длины практически равно изменению ширины групповой заготовки. Следовательно, участок групповой заготовки, который используется для изготовления цилиндрического изделия с фланцем или без фланца, имеет форму квадрата, сторона которого равна ширине указанной заготовки.

При обычной многопереходной штамповке в целой ленте цилиндрических изделий этот участок имеет форму прямоугольника, так как ширина ленты увеличивается по сравнению с диаметром расчетной заготовки за счет боковых перемычек. Шаг же подачи принимается не больше указанного диаметра [3], так как передняя часть ленты, на которой расположены раньше отштампованные полуфабрикаты, не может перемещаться относительно матрицы первого перехода вытяжки. Данное обстоятельство существенно снижает допустимую деформацию и, соответственно, допустимую высоту полуфабриката в этом переходе обычной вытяжки в ленте по сравнению с принятой схемой в данном исследовании.

Вытяжка в целой групповой заготовке сопровождается увеличением площади полуфабриката по сравнению с первоначальной площадью заготовки, которое зависит от относительной ширины заготовки b_0/d , относительной глубины вытянутого полуфабриката, свойств материала, условий деформирования. Влияние относительной ширины заготовки на предельное увеличение площади заготовки в первом переходе исследовалось при вытяжке цилиндрических изделий диаметром 40 мм с фланцем из стальных заготовок различной ширины в описанном выше штампе. Вытяжка прекращалась, когда усилие вытяжки начинало снижаться. При этом у вытянутой части широкого образца начинает отрываться дно. У узких образцов наименьшая ширина на несколько миллиметров превышала наибольший размер отверстия матрицы, который равен сумме диаметра матрицы и удвоенного радиуса закругления

рабочего ребра последней. После измерения размеров всех элементов деформированного образца определена его площадь. Площадь цилиндрической части с закруглениями у дна и фланца вычисляется по срединной поверхности. Относительное приращение площади заготовки определялось по выражению:

$$\Delta\eta = \frac{F - F_0}{b_0^2},$$

где F – площадь образца после деформирования, равная сумме площадей всех его элементов;

F_0 – площадь прямоугольного образца перед деформированием;

b_0^2 – площадь части образца, затраченной на образование цилиндрического образца с фланцем, диаметр которого равен минимальной ширине образца после деформации.

Влияние относительной ширины заготовки на относительное приращение ее площади приведено на рис. 3. Относительное и абсолютное приращение площади заготовки с увеличением относительной ширины изменяется немонотонно: при определенном значении b_0/d в конкретных условиях относительное приращение площади достигает максимума. Практически это значение является предельным, при котором глубина вытяжки не ограничивается обрывом дна. Если относительная ширина заготовки больше предельной, то обрыв дна неизбежный, когда глубина изделия превзойдет определенное значение. Допустимая глубина вытяжки и относительное приращение площади уменьшаются с ростом b_0/d , когда последняя больше предельного. Если относительная ширина заготовки меньше предельной ширины, то площадь полуфабриката увеличивается с ростом величины b_0/d . Таким образом, при выборе заготовки и размеров полуфабриката после вырубki, когда требуемые размеры изделия не обеспечивает одна вытяжка, необходимо стремиться, чтобы принятая относительная ширина заготовки в первом переходе максимально приближалась к предельному значению этого параметра, который в нашем случае составляет 1,7. Однако при вытяжке узких заготовок принятая значение b_0/d должно всегда быть меньше предельного, а широких – больше.

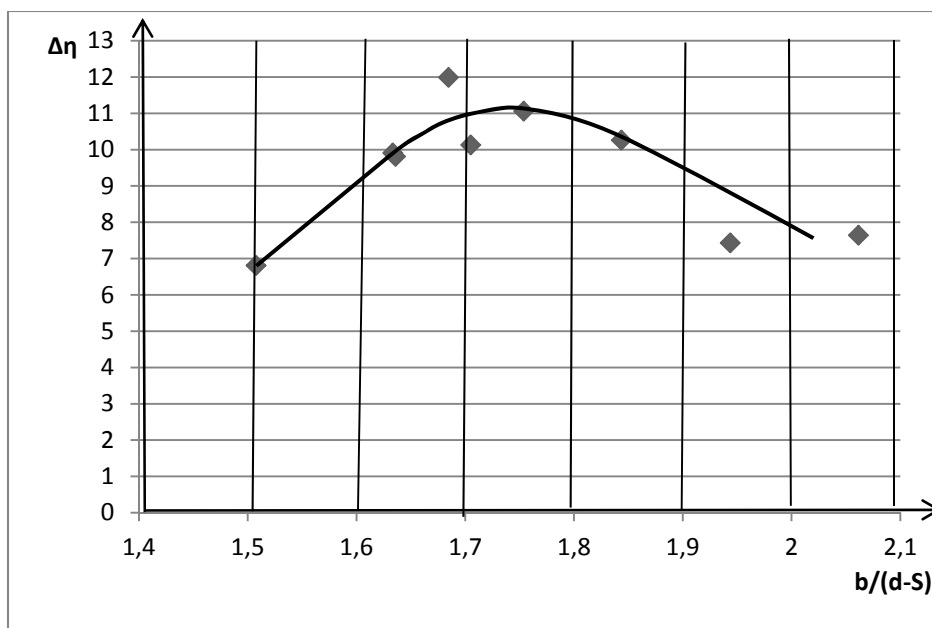


Рис. 3. Зависимость относительного приращения площади заготовки от ее относительной ширины

Когда определено ожидаемое приращение площади $\Delta\eta$, то ширина заготовки находится по выражению:

$$b_0 = 1,13\sqrt{F/(1 + \Delta\eta)},$$

где F – площадь изделия с учетом припуска на обрезку после первой вытяжки.

Оптимальные размеры полуфабриката после первой вытяжки и вырубки, ширина групповой заготовки выбираются подбором из условия, что они обеспечивают первую вытяжку без обрыва дна и наибольший коэффициент использования металла.

В зависимости от соотношения размеров и свойств металла технологический процесс с первой вытяжкой в целой групповой заготовке позволяет снизить расход металла на 5–15 % по сравнению с традиционными.

ВЫВОДЫ

Коэффициент использования металла в технологическом процессе штамповки цилиндрических деталей, который включает первую вытяжку в целой групповой заготовке и последующие операции после вырубki вытянутого полуфабриката, увеличивается, когда относительная ширина заготовки приближается к максимальному значению, позволяющему выполнить первую вытяжку без ограничения высоты полуфабриката. Ширину групповой заготовки и диаметр первой вытяжки следует выбирать с учетом указанного фактора. Выполненные исследования позволяют выбирать оптимальный технологический процесс штамповки листовых цилиндрических изделий различной формы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Е. А. *Технология и автоматизация листовой штамповки* / Е. А. Попов, В. Г. Ковалев, И. Н. Шубин. – 2-е изд. стер. – М. : Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 278 с.
2. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке* / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. *Справочник конструктора штампов. Листовая штамповка* / под общ. ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.
4. Стеблюк В. І. *Моделювання процесу витягування коробчастих виробів* / В. І. Стеблюк, О. В. Холявік, К. О. Лукасік // *Вестник Национального технического университета «Киевский политехнический институт»*. – Киев : Машиностроение, 2008. – № 52. – С. 351–358.
5. Яковлев С. П. *Штамповка анизотропных заготовок* / С. П. Яковлев, В. Д. Кухарь. – М. : Машиностроение, 1986. – 136 с.
6. Пат. 38566 Україна, МПК (2006) B21D 28/00. *Спосіб штампування листових виробів* / Левандовська І. В. ; заявитель и патентообладатель ДГМА. – № 200809698 ; заявл. 24.07.2008 ; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.
7. Левандовская И. В. *Малоотходная штамповка листовых цилиндрических деталей из групповой заготовки* / И. В. Левандовская, В. Г. Серeda // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 2 (27). – С. 99–101.
8. Качанов Л. М. *Основы теории пластичности* / Л. М. Качанов. – М. : Наука, 1969. – 420 с.

Левандовская И. В. – ст. преп. кафедры ВМ ДГМА;

Серeda В. Г. – канд. тех. наук, доц. кафедры МТО ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: janin23677@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 02.04.2012 г.