

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

**MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE**

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Інноваційні
технології та обладнання
обробки матеріалів у
машинобудуванні та
металургії**

№ 23 (1299) 2018

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: Innovative
technologies and equipment
handling materials in
mechanical engineering and
metallurgy**

No 23 (1299) 2018

Collected Works

The publication was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2018

Kharkiv
NTU "KhPI", 2018

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2018. – № 23 (1299) 2018. – 91 с. – ISSN 2519-2671.

Видання присвячене освітленню досягнень в галузі системного аналізу та управління технічними, технікоеконічними і соціальними системами, синтезу систем керування. Публікуються статті, що стосуються розробки інтелектуальних систем, застосування математичного моделювання в техніці, лінгвістиці та економіці, впровадження інформаційних технологій і розробки програмного забезпечення.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців в галузі системного аналізу, управління і комп'ютерних технологій.

The publication is devoted to the coverage of achievements in the field of system analysis and management of technical, technoeconomic and social systems, the synthesis of control systems. Articles are published on the development of intelligent systems, the application of mathematical modeling in technic, linguistics and economics, the introduction of information technology and software development.

For scientists, teachers of higher education, post-graduate students, students and specialists in the field of systems analysis, management and computer technology.

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України
КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України № 1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 року».

Офіційний сайт видання: <http://samit.khpi.edu.ua/Засновник>

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Заст. головного редактора

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Секретар

Горбунов К. О., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Заступник відповідального редактора:

Ю.О. Плєснецов, канд. техн. наук, ст.н.с., НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар:

О.А. Юрченко, канд. тех. наук, доц., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

І.С. Алієв, д-р техн. наук, проф., ДГМА, Україна
Г.А. Баглюк, д-р техн. наук, проф., ІПМ НАНУ, Україна
Б.Рюдигер, д-р техн. наук, проф., Німеччина
В.В. Драгобецький, д-р техн. наук, проф., КрНУ, Україна
С.В. Єршов, д-р техн. наук, проф., ДДТУ, Україна
В.Л. Калужний, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Україна
В.В. Кухарь, д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ», Україна
Р. Г. Пузир, д-р техн. наук, проф., КрНУ, Україна
Б.П. Середа, д-р техн. наук, проф., ДДТУ, Україна
Є.М. Смирнов, д-р техн. наук, проф., СТІ НІТУ «МІСіС», Росія;
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна
В.А. Тітов, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Україна
М.Є. Тараненко, д-р техн. наук, проф., НАУ «ХАІ», Україна
О.І. Тришевський, д-р техн. наук, проф., ХНТУСГ, Україна
С.В. Федоров, д-р техн. наук, проф., КІТУ, Росія
Є.А. Фролов, д-р техн. наук, проф., ПолтНТУ, Україна
В.Хомберг, д-р техн. наук, проф., Магдебурзький ун-т, Німеччина;
В.В. Чигиринський, д-р техн. наук, проф., ДДТУ, Україна

Editor-in-chief

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Deputy editor-in-chief

Marchenko A. P., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Secretary

Gorbunov K. O., docent, NTU "KhPI", Ukraine

The editorial board of the series:

Editor:

A.P. Marchenko, Dr. of Sciences, professor, NTU "KhPI", Ukraine

Deputy managing editor:

Y.O. Plesnetsov, PhD., senior scientist, NTU "KhPI", Ukraine

Secretary:

O.A. Yurchenko, PhD., sciences assoc., NTU "KhPI", Ukraine

Members of the Editorial Board:

I.S. Aliev, Dr. of Sciences, professor, DSEA, Ukraine
G.A. Bagluk, Dr. of Sciences, professor, IPMS NASU, Ukraine
B.Ryudyher, Dr. of Sciences, professor, Germany
V.V. Drahobetsky, Dr. of Sciences, professor, KNU, Ukraine
S.V. Ershov Dr. of Sciences, professor, DSTU, Ukraine
V.L. Kalyuzhny, Dr. of Sciences, professor, NTUU "KPI", Ukraine
V.V. Kukhar, Dr. of Sciences, professor, PSTU, Ukraine
R.G. Puzyr, Dr. of Sciences, professor, KNU, Ukraine
B.P. Sereda, Dr. of Sciences, professor, DSTU, Ukraine
E.M. Smirnov, Dr. of Sciences, professor, STI NITU "MISiS", Russia
G.M. Suchkov, Dr. of Sciences, professor, NTU "KhPI", Ukraine
M.E. Taranenko, Dr. of Sciences, professor, NAU "KhAI", Ukraine
V.A. Titov, Dr. of Sciences, professor, NTUU "KPI", Ukraine
O.I. Trishevsky, Dr. of Sciences, professor, KhNTUA, Ukraine
S.V. Fedorov, Dr. of Sciences, professor, KSTU, Russia
E.A. Frolov, Dr. of Sciences, professor, PNTU, Ukraine
V. Homberh, Dr. of Sciences, professor; MOGU, Germany
V.V. Chigirinsky, Dr. of Sciences professor, DSTU, Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ».
Протокол № 8 від 02 листопада 2018 р.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХП».
СЕРІЯ: ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ
У МАШИНОБУДУВАННІ ТА МЕТАЛУРГІЇ

Збірник наукових праць

№ 23 (1299) 2018

Наукові редактори: Марченко А.П., д-р техн. наук, професор, НТУ «ХП», Україна,
Плеснецов Ю.О., канд. техн. наук, ст. н. с., НТУ «ХП», Україна

Технічний редактор: Курандо О.С., інженер I категорії, НТУ «ХП», Україна

Відповідальний за випуск Обухова Г. Б., канд. техн. наук

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХП».
Кафедра обробки металів тиском
Тел.: (057) 707-60-40; e-mail: omd.conf@gmail.com

Обл.-вид. № 23-18.

Підп. до друку 18.10.2018 р. Формат 60x84 1/8. Папір офсетний. RISO-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк.
арк. 8,48. Обл.-вид. арк. 9,2.

Наклад 100 прим. Зам. № 19. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р..

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Видавництво та друк ФО-П Шейніна О.В.

61052, Україна, м. Харків, вул. Слов'янська, 3

Тел. 057 759-48-79

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 2779 від 28.02.2007 р.

ЗМІСТ

Ариф Намоглу, Чухлеб В.Л., Мишалов В. Д., Филиппи А.А., Зубко Ю.Ю., Пиндич Е.В. Модернизация оборудования и промышленное внедрение ресурсосберегающих процессовковки в условиях ООО «ДНЕПРОПРОЕСС СТАЛЬ».....	3
Балакин В.Ф., Степаненко А.Н., Гармашев Д.Ю. Усовершенствованный метод расчета площади контактной поверхности соприкосновения металла с валками при поперечно-винтовой прокатке.....	11
Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И. Адаптация модели простой продольной прокатки для анализа силовых параметров непрерывной продольной безоправочной прокатки труб.....	16
Драгобецкий В.В., Коцюба В.Ю., Молоштан Д.В., Шлык С.В., Наумова Е.А. Технологический мониторинг рабочих поверхностей матриц для импульсной штамповки.....	23
Калюжний В. Л., Ярмоленко О. С. Зусилля деформування, напружено-деформований стан і температурний розподіл у здеформованій заготовці при гарячому зворотному видавлюванні порожнистих виробів із латуні.....	28
Курне О.Г., Кухар В.В. Варіант модернізації стану 1700 ПрАТ «ММК ІМЕНІ ІЛЛІЧА».....	33
Лактионов Е. В., Кузьменко В. И., Биба Н. В., Левченко В. Н. Исследование и совершенствование технологии холодного выдавливания гайки специальной для автомобилестроения.....	39
Ноздрачева Е. Л., Манько В. В. Особенности контроля и диагностики камер запуска и приема очистных и диагностических устройств...	45
Плеснецов С. Ю. Метод та засіб ультразвукового електромагнітно-акустичного контролю феромагнітних металовиробів зі складною формою перетину з невеликим розміром.....	51
Полянский В. И. Оценка технологических возможностей различных схем механической обработки.....	57
Середа Б.П., Муковська Д.Я. Заходи підвищення продуктивності самоскидів в умовах кар'єру металургійного підприємства.....	62
Сиккульский В. Т., Сиккульский С. В., Кащеева В. Ю. Моделирование процесса формообразования монолитных панелей с помощью ANSYS.....	67
Фролов Е. А., Ясько С. Г., Кравченко С. И. Обеспечение качества поверхностей осесимметричных деталей при высокоскоростной вытяжке...	74
Чубенко В.А., Хіноцька А.А. Дослідження швидкісних умов поздовжнього прокатування.....	78
Явтушенко О. В., Проценко В. М., Явтушенко А. В. Розрахунок приймального валу горизонтально-кувальної машини на міцність і деформацію у програмному комплексі AUTOCAD MECHANICAL.....	83

УДК 621.7.044

*Е. А. ФРОЛОВ, С. Г. ЯСЬКО, С. И. КРАВЧЕНКО.¹³***ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВЫТЯЖКЕ**

Для оценки возможности вытяжки листовых изделий без потери устойчивости был проанализирован процесс высокоскоростного деформирования заготовок. Установлено, что процесс получения качественных деталей связан с регулированием скорости разгона штампуемого рельефа и фланцевой части заготовки за счет искусственного увеличения радиуса закругления у перетяжного ребра матрицы. На экспериментальном основании получена эмпирическая зависимость относительного радиуса закругления ребра матрицы от коэффициента вытяжки, что позволяет проектировать технологический процесс высокоскоростного формообразования.

Ключевые слова: высокоскоростная вытяжка, тонколистовая заготовка, гибкость, устойчивость.

*Є. А. ФРОЛОВ, С. Г. ЯСЬКО, С. І. КРАВЧЕНКО***ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИСОКОШВИДКІСНОМУ ВИТЯГУВАННІ**

Для оцінювання можливостей витягування листових виробів без втрати стійкості було проаналізовано процес високошвидкісного деформування заготовок. Встановлено, що процес отримання якісних деталей пов'язаний з регулюванням швидкості розгону штампованого рельєфу та фланцевої частини заготовки за рахунок штучного збільшення радіуса заокруглення у перетяжного ребра матриці. На експериментальній основі отримана емпірична залежність відносного радіуса заокруглення ребра матриці від коефіцієнта витягування, що дозволяє проектувати технологічний процес високошвидкісного формоутворення.

Ключові слова: високошвидкісне витягування, тонколистова заготовка, гнучкість, стійкість.

*YE. A. FROLOV, S. G. YASKO, S. I. KRAVCHENKO***QUALITY ASSURANCE OF SURFACES OF AXISYMMETRIC PARTS AT HIGH-SPEED STRETCH PRESSING**

To assess the possibility of drawing sheet products without loss of stability, the process of high-speed deformation of blanks was analyzed. Experiments show that the end of the flange acceleration period for thin sheet stamping coincides with the design of the workpiece into a spatial semi-finished product whose depth of punching depends linearly on the radius of curvature of the constriction of the matrix. If the value of the radius of curvature is less than optimal, further preampling of the semi-finished product is carried out due to the prevailing stretching of the material of the bottom part of the workpiece. It is established that the process of obtaining qualitative details is related to the regulation of the speed of acceleration of the stamped relief and the flange part of the workpiece due to an artificial increase in the radius of curvature at the perimeter of the matrix. On the experimental basis, an empirical dependence of the relative radius of the curvature of the edge of the matrix on the drawing coefficient is obtained, which allows designing the technological process of high-speed shaping. Experimental studies have shown that the corrugations on the surface that arise during stamping with increased radii of curvature, as compared with the usual ones, do not exceed the maximum permissible values when they are eliminated under conditions of biaxial stretching.

Keywords: high speed drawing, thin sheet workpiece, flexibility, stability.

Введение. Высокоскоростная штамповка позволяет получать сложные по форме и точные по размерам изделия при значительной экономии металла и трудоемкости изготовления штамповой оснастки.

Анализ проблемы и постановка задачи исследования. Большое значение приобретает дальнейшее совершенствование процессов высокоскоростного пластического формообразования тонколистового материала.

Важной проблемой обработки металлов давлением является устойчивость процесса деформирования, как одного из основных условий получения изделий высокого качества. Повышение устойчивости формообразующих операций тонколистовой штамповки при применении импульсного нагружения обеспечивает снижение брака гофры на фланце и волнистость на поверхности детали (рис. 1) [1–4].

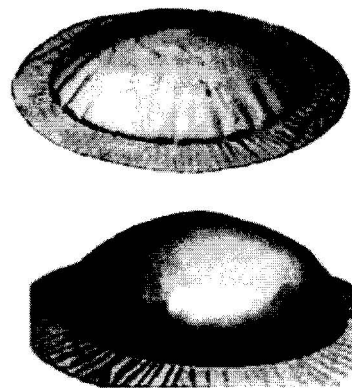


Рис. 1 – Характерный брак изделий при высокоскоростной вытяжке тонколистовых деталей. Возникновение потери устойчивости при высокоскоростной вытяжке зависит от скорости деформирования различных зон заготовки (фланцевая и донная части) и характера напряженного состояния присущего листовому металлу [4, 5]

Цель работы: разработка рекомендаций обеспечивающих изготовление качественных тонколистовых изделий с гибкостью $\lambda = d/\delta > 200$ (d, δ – диаметр и толщина стенки изделия) при высокоскоростной штамповке вытяжкой.

Основной материал. Для оценки возможности вытяжки без образования гофра на фланце и предотвращения чрезмерного утонения донной части изделия проанализируем условия вытяжки тонколистовой заготовки.

Как известно [5], перемещение материала при высокоскоростной штамповке можно разделить на два этапа: перемещение заготовки в период разгона и в период торможения.

Эксперименты показывают, что окончание периода разгона фланца при тонколистовой штамповке совпадает с оформлением заготовки в пространственный полуфабрикат, глубина проштамповки которого линейно зависит от величины радиуса закругления перетяжного ребра матрицы R_{np} . Если величина радиуса закругления меньше оптимальной, то дальнейшая доштамповка полуфабриката осуществляется за счет преобладающего растяжения материала донной части заготовки.

Для оценки кинематических условий вытяжки фланца можно воспользоваться уравнением [6]:

$$\frac{M \cdot v^2}{2} = k \cdot \pi \cdot d_0 \cdot \sigma_s \cdot \delta \cdot l \cdot e + \frac{M_\phi \cdot v_\phi^2}{2}, \quad (1)$$

здесь M, M_ϕ – соответственно масса донной части и фланца,

v, v_ϕ – скорости перемещения донной части и фланца,

σ_s – предел текучести штампуемого материала, k – коэффициент динамичности,

d_0, δ, l – соответственно диаметр и толщина стенки детали, длина участка зоны одноосного растяжения,

e – деформация участка зоны.

Кинематическое условие (1) позволяет при известных значениях членов во второй части уравнения определить критические скорости перемещения донной части заготовки v в любой момент времени. Знание допустимой скорости перемещения донной части позволяет целенаправленно управлять технологическим режимом штамповки: внешней нагрузкой, геометрией матрицы, допустимой глубиной проштамповки f_n .

Так как наиболее значима оценка конечного этапа формообразования, то проведем анализ условия вытяжки (1) в период торможения фланца, когда скорость перемещения фланца $v \rightarrow 0$. Коэффициент динамичности $k \approx 1,2 \div 1,4$, средняя деформация зоны одноосного растяжения, примыкающей к перетяжному ребру матрицы, $e \leq 0,1$.

Несколько сложнее оценка величины зоны одноосного растяжения. Ее значение можно

установить либо экспериментальным путем с помощью скоростной видеосъемки, либо воспользоваться результатом проделанных ниже вычислений.

При определении размеров зоны одноосного растяжения – сжатия примем, что положение каждой точки деформирующейся донной части заготовки может быть описано системой уравнений постоянства объема при пластическом течении и дифференциальных соотношений между скоростями деформаций, записанных в соответствии с известной методикой [7] в сферической системе координат. Так как процесс деформирования осесимметричен, то перекосы и скручивание в тангенциальном направлении отсутствуют. Поэтому тангенциальная составляющая скорости равна $v_\theta = 0$, сдвиговые скорости деформаций $\varepsilon_{r\theta} = \varepsilon_{\theta r} = \varepsilon_{\theta r}$. Также учтем, что перемещения и скорости в направлении радиуса деформирующейся оболочки весьма мало влияют на положение зоны двухосного растяжения, следовательно, можно принять радиальную скорость $v_r = 0$. Тогда полная система уравнений [7] упростится:

$$\frac{\partial v_\theta}{r \partial \theta} + \frac{v_\theta}{r} \cdot \operatorname{ctg} \theta = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_\theta}{\partial r} - \frac{v_\theta}{r} = 0; \quad (3)$$

где v_θ – меридианная составляющая вектора скорости, r, θ – координаты в сферической системе: радиус и угол, определяющие положение точки в меридианном сечении.

Система уравнений (2) и (3) имеет смысл только для зоны двухосного растяжения и допускает два решения:

$$v_\theta = -r \cdot \operatorname{ctg} \theta + C_1 \quad (4)$$

и

$$v_\theta = r\theta + C_2 \quad (5)$$

при значениях $\theta \leq 22^\circ$. Тогда размер зоны одноосного растяжения – сжатия можно найти:

$$l = r_0 - r_i = r_0 - \frac{r_0^2 + f_n^2}{2f_n} \cdot \sin 22^\circ. \quad (6)$$

Учтем, что на этапе торможения скорость перемещения фланца может быть принята $v_{cp} = 0$, а длина $l \approx (10 \div 15)$.

Тогда после нескольких преобразований уравнения (1) установим, что скорость донной части заготовки (относительно фланца) не должна превосходить

$$v \leq 3 \sqrt{\frac{\sigma_s}{\lambda \cdot \gamma}} \quad (7)$$

здесь γ – плотность штампуемого материала.

Выражение (7) показывает, что увеличение габаритов изделия (увеличение гибкости λ) приводит

к необходимости предусматривать мероприятия уменьшения скорости, которая при $\lambda > 400$ имеет значения $v \leq 25$ м/с.

Анализ условий (1) и (7) позволяет прийти к выводу, что вытяжка фланца происходит в наиболее оптимальных условиях, когда скорость фланца v_ϕ не равна нулю и стремится к значениям v . Поэтому при высокоскоростной штамповке увеличение степени вытяжки связано с управлением периодом разгона штампуемой заготовки. Одним из решений этой задачи можно считать искусственное увеличение радиуса закругления протяжного ребра матрицы.

На основании экспериментов по штамповке деталей с гибкостью $150 < \lambda < 1000$ была получена полуэмпирическая зависимость относительного радиуса закругления протяжного ребра матрицы $\bar{R}_{np} = R_{np}/\delta$:

$$\bar{R}_{np} = (0,375 \cdot k_0 - 0,5) \lambda \quad (8)$$

устанавливающая связь со степенью вытяжки $k_0 = D_0/d$ (D_0 – диаметр заготовки) и гибкостью, λ . График зависимости (8) приведен на рис. 2. Точками показаны значения \bar{R}_{np} , совпадающие со значениями, рекомендуемыми практикой листовой штамповки [8].

График $\bar{R}_{np} = f(k_0; \lambda)$ может служить номограммой для определения оптимальных радиусов закругления перетяжных ребер при известных значениях начальной степени вытяжки k_0 и гибкости λ .

Эксперименты показали, что гофры на поверхности, возникающие при штамповке с увеличенными по сравнению с обычно принятыми [8] радиусами закругления, не превышают предельно допустимые значения при их устранении в условиях двухосного растяжения

$$\bar{h} = \frac{h}{b} = 0,1 + \left(\frac{k_0}{k_\phi} \right)^2 \cdot (k_0 - 1) \leq 1,2, \quad (9)$$

здесь h, b – максимальная высота и ширина гофра на поверхности детали,

k_ϕ – степень вытяжки фланца, $k_\phi = D_0/D_\phi$ (D_0, D_ϕ – диаметры заготовки до и после вытяжки).

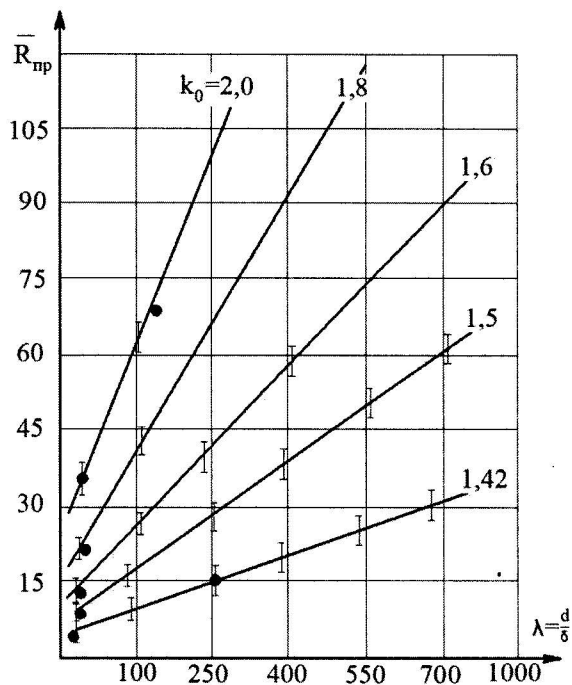


Рис. 2 – Рекомендуемые значения оптимальных радиусов закругления протяжных ребер

На рис. 3 показаны детали типа полусфер, отштампованные из заготовок АМц толщиной 0,5 мм диаметром 300 мм ($\lambda = 600$).

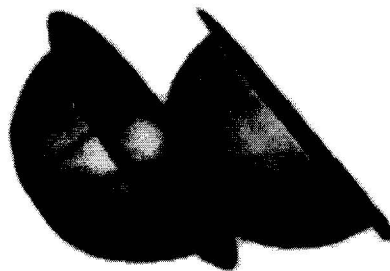


Рис. 3 – Детали типа «полусфера» отштампованные методом пневмоударной штамповки жидкостью

Утонение отштампованных деталей не превышало 20%. Глубина штамповки полуфабриката, как показали эксперименты, может находиться по формуле

$$f_n = \frac{f}{k_r} + \Delta, \quad (10)$$

где f – глубина детали,

k_r – технологический коэффициент $k_r \leq 1,25$,

Δ – экспериментальный коэффициент $\Delta = 1,04 \div 1,1$.

Заключение. Полученные в работе зависимости (8), (9), (10) позволяют прогнозировать техпроцесс высокоскоростной штамповки тонкостенных качественных деталей за счет искусственного регулирования величин радиусов закругления перетяжных ребер в матрице.

Список литературы

1. Исаченков, Е.И. Основные направления повышения эффективности и качества листовой и объемной штамповки. *Качество и эффективность при листовой и объемной штамповке: сб. науч. МДНТП, 1977, –*, С. 3–8.
2. Кривцов, В.С. Состояние и перспективы применения импульсных источников энергии для технологических процессов обработки металлов. [*Авиационно-космическая техника и технология: тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – Вып. 11/47. – Харьков: 2007. – С. 10–18.
3. Нарыжный, А.Г. Факторы и этапы, определяющие точность импульсной штамповки осесимметричных деталей. *Авиационно-космическая техника и технология: тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».* – № 11/47. – Харьков, 2007. – С. 125–132.
4. А.Я. Мовшович, Л.Г. Кузнецова, Е.А. Фролов, И.В. Манаенков Технологические предпосылки получения высокоточных деталей вытяжкой из листа методом пневмоударной штамповки. *Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: темат. зб. наук. пр. ДДМА.* – Краматорськ, 2009. – С. 352–356.
5. Мошнин Е.Н. *Технология штамповки крупногабаритных деталей.* – Москва: Машиностроение, – 1973. – 240 с.
6. Мельников, Э.Л. *Холодная штамповка днищ.* – Москва: Машиностроение, 1976. – 184 с.
7. Алексеев, Ю.Н. *Вопросы пластического течения металлов.* – Харьков: Изд-во ХГУ, 1958. – 187 с.
8. Романовский, В.П. *Справочник по холодной штамповке: справочное издание.* – 6-е изд., перераб. и доп., – Ленинград: Машиностроение, 1979. – 520 с.
2. Krivtsov V.S., Borisevich V.K.. Sostoyanie i perspektivy primeneniya impulsnykh istochnikov energii dlya tekhnologicheskikh protsessov obrabotki metallov [State and perspectives of using pulse energy sources for technological processes of metal processing]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya* [Aerospace Engineering and Technology], 2007, no. № 11 (47), pp. 10–18.
3. Naryzhnyy A.G. Faktory i etapy opredelyayushchie tochnost impulsnoy shtampovki osesimmetrichnykh detaley [Factors and stages that determine the accuracy of pulse punching of axisymmetric parts]. *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya* [Aerospace Engineering and Technology], 2007, no. № 11 (47), pp. 125–132.
4. Movshovich A. Ya., Kuznetsova L. G., Frolov Ye. A., Manaenkov I. V. Tekhnologicheskie predposylki polucheniya vysokotochnykh detaley vytyazhkoj iz lista metodom pnevmoudarnoy shtampovki [Technological preconditions for obtaining high-precision details by drawing from sheet by the method of pneumatic impact punching]. *Temat. zb. nauk. pr. DDMA. Udokonalennja procesiv i obladnannja obrobky tyskom v metalurghiji i mashynobuduvanni* [Improvement of processes and equipment for pressure treatment in metallurgy and machine building]. *Kramatorsk, Donbass State Machine-Building Academy Publ.*, 2008, no. 88, pp. 166–172.
5. Moshnin Ye.N. Tekhnologiya shtampovki krupnogabaritnykh detale. [Technology of stamping large-sized parts]. *Moscow, Mashinostroenie Publ.*, 1973. 240 p.
6. Melnikov E.L. Kholodnaya shtampovka dnishch [Cold stamping of bottoms]. *Moscow, Mashinostroenie Publ.*, 1976. 184 p.
7. Alekseev Yu.N. Voprosy plasticheskogo techeniya metallor [Questions of plastic flow of metals]. *Kharkiv, KhGU Publ.*, 1958. 187 p.
8. Romanovskiy V. P. Spravochnik po kholodnoy shtampovke [Reference book on cold stamping]. *Leningrad, Mashinostroenie Publ.*, 1979. 520 p.

References (transliterated)

Поступила (received) 25.09.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Фролов Євгеній Андрійович (Фролов Евгений Андреевич, Frolov Evgeniy Andreevych), – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою технології машинобудування, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна. E-mail: frolov.poltntu@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2691-5386.

Ясько Станіслав Георгійович (Ясько Станислав Георгиевич, Yasko Stanislav Georhyevych) – аспірант, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна. E-mail: s.g.yasko@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6228-705X.

Кравченко Сергій Іванович (Кравченко Сергей Иванович, Kravchenko Sergiy) – кандидат технічних наук, доцент, ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, Полтава, Україна. E-mail: 050Ser09@i.ua; ORCID: 0000-0003-3250-8645.