

УДК 621.7.043

*Р. Г. АРГАТ, Р. Г. ПУЗИР, Р. А. ВАКУЛЕНКО***ВПЛИВ АНІЗОТРОПІЇ І ЗМІЦНЕННЯ МЕТАЛУ НА ВТРАТУ СТІЙКОСТІ ФЛАНЦЯ ПРИ ВИТЯГУВАННІ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ДЕТАЛІ БЕЗ СКЛАДКОУТРИМУВАЧА**

Пропонується теоретична залежність для розрахунку граничної товщини заготовки з урахуванням зміцнення і анізотропії вихідного металу при витяжці циліндричної деталі без притиску фланця. Плоска анізотропія в порівнянні з витягуванням ізотропного матеріалу додатково навантажує одні ділянки внутрішнього контуру фланця заготовки і розвантажує інші, в цілому погіршуючи умови витяжки, що призводить до утворення гофрів і фестонів на торці заготовки. Врахування зміцнення і анізотропії заготовки при розрахунку поля напружень і деформацій, а також при визначенні інтервалів безпритискового штампування пов'язане з більшим наближенням до фізичної сутності деформування листового металу і отриманням більш точних теоретичних моделей. Результати розрахунків по отриманій залежності збігаються з раніше відомими даними, достовірно відображають вплив коефіцієнта витягування, плоскої анізотропії і початкового діаметра заготовки на критичну товщину пластини. Діаметр заготовки найбільше впливає на втрату стійкості, з його збільшенням зростає коефіцієнт витягування і відповідно товщина пластини. Отримана залежність розкриває повніше вплив діаметра заготовки на результати і якщо коефіцієнт витяжки залишити незмінним при збільшенні початкових розмірів заготовки, то товщина пластини також збільшиться, так як в формулу для розрахунку радіус заготовки входить в другому ступені. Це положення узгоджується з поняттям відносної товщини заготовки. Формула придатна для використання при проектуванні технологічних процесів холодного штампування, при цьому необхідною умовою є визначення механічних характеристик металу і його параметрів анізотропії безпосередніми випробуваннями на підприємстві. Так як метал навіть однієї партії може мати значні розбіжності за своїми механічними показниками. Це дозволить на етапі вибору способу витяжки уникнути додаткових пробних операцій і скоротить час підготовки виробництва і призведе до економії металу. Відмінною особливістю даної залежності є врахування практично всіх факторів технологічного процесу витяжки, а також основного множника, який враховує розподіл напружень при формоутворенні.

Ключові слова: плоска анізотропія, гранична товщина, відносна товщина, коефіцієнт витяжки, поле напружень, деформація.

*Р. Г. АРГАТ, Р. Г. ПУЗЫРЬ, Р. А. ВАКУЛЕНКО***ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ И УПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА НА ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ФЛАНЦА ПРИ ВЫТЯЖКЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ БЕЗ СКЛАДКОДЕРЖАТЕЛЯ**

Предлагается теоретическая зависимость для расчета предельной толщины заготовки с учетом упрочнения и анизотропии исходного металла при вытяжке цилиндрической детали без прижима фланца. Плоская анизотропия по сравнению с вытягиванием изотропного материала дополнительно нагружает одни участки внутреннего контура фланца заготовки и разгружает другие, в целом ухудшая условия вытяжки, приводит к образованию гофр и фестонов на торце заготовки. Учет упрочнения и анизотропии заготовки при расчете поля напряжений и деформаций, а также при определении интервалов безприжимной штамповки связан с большим приближением к физической сущности деформирования листового металла и получением более точных теоретических моделей. Результаты расчетов по полученной зависимости совпадают с ранее известными данными, достоверно отражают влияние коэффициента вытяжки, плоской анизотропии и начального диаметра заготовки на критическую толщину пластины. Диаметр заготовки более всего влияет на потерю устойчивости, с его увеличением возрастает коэффициент вытяжки и соответственно толщина пластины. Полученная зависимость раскрывает полнее влияние диаметра заготовки на результаты и если коэффициент вытяжки оставить неизменным при увеличении начальных размеров заготовки, то толщина пластины также увеличится, так как в формулу для расчета радиус заготовки входит во второй степени. Это положение согласуется с понятием относительной толщины заготовки. Формула пригодна для использования при проектировании технологических процессов холодной штамповки, при этом необходимым условием является определение механических характеристик металла и его параметров анизотропии непосредственными испытаниями на предприятии. Так металл даже одной партии может иметь значительные расхождения по своим механическим показателям. Это позволит на этапе выбора способа вытяжки избежать дополнительных пробных операций и сократит время подготовки производства и приведет к экономии металла. Отличительной особенностью данной зависимости является учет практически всех факторов технологического процесса вытяжки, а также основного множителя, который учитывает распределение напряжений при формообразовании.

Ключевые слова: плоская анизотропия, граничная толщина, относительная толщина, коэффициент вытяжки, поле напряжений, деформация.

*R. G. ARHAT, R. G. PUZYR, R. A. VAKULENKO***INFLUENCE OF ANISOTROPY AND STRENGTHENING OF METAL ON THE LOSS STABILITY OF THE FLANGE WHEN DRAWING CYLINDRICAL DETAILS WITHOUT THE FOLDER**

A theoretical relationship is proposed for calculating the maximum thickness of the workpiece, taking into account the hardening and anisotropy of the original metal when drawing a cylindrical part without pressing the flange. Compared to pulling an isotropic material, flat anisotropy additionally loads some areas of the internal contour of the blank flange and unloads others, generally worsening the drawing conditions, leading to the formation of corrugations and festoons at the end of the blank. Accounting for the hardening and anisotropy of the workpiece in the calculation of the stress and strain fields, as well as in the determination of pressureless stamping intervals is associated with a large approximation to the physical nature of sheet metal deformation and the production of more accurate theoretical models. The results of calculations based on the obtained dependences coincide with previously known data, reliably reflect the influence of the drawing ratio, flat anisotropy and the initial diameter of the workpiece on the critical thickness of the plate. The diameter of the workpiece most of all affects the loss of stability, with its increase the drawing ratio increases and, accordingly, the thickness of the plate. The dependence obtained more fully reveals the effect of the diameter of the workpiece on the results and if the drawing ratio is left unchanged with an increase in the initial dimensions of the workpiece, the plate thickness will also increase, since the radius of the workpiece enters the second degree in the formula for calculating. This position is consistent with the concept of the relative thickness of the workpiece. The formula is suitable for use in the design of technological processes of cold forming, while the necessary condition is the determination of the mechanical characteristics of the metal and its anisotropy parameters by direct testing at the enterprise. So even a single metal batch can have significant differences in their mechanical performance. This will allow to avoid additional trial operations at the stage of selection of the method of drawing and will reduce the time of pre-production and lead to metal savings. A distinctive feature of this relationship is the consideration of almost all factors of the technological process of drawing, as well as the main factor, which takes into account the distribution of stresses during shaping.

Keywords: flat anisotropy, boundary thickness, relative thickness, drawing ratio, stress field, deformation.

Вступ. Деформування металів і сплавів в холодному стані призводить до різних ефектів пластичної деформації [1, 2], а також до необхідності врахування впливу зміцнення і початкової анізотропії металу на кінцевий і проміжні результати стану формоутворення [3–5].

Плоска анізотропія в порівнянні з витяжкою ізотропного матеріалу додатково навантажує одні ділянки внутрішнього контуру фланця заготовки і розвантажує інші, в цілому погіршуючи умови витяжки [6]. Це призводить до утворення гофрів і фестонів на торці заготовки. Тому необхідність врахування зміцнення і анізотропії заготовки при розрахунку поля напружень і деформацій, а також при визначенні інтервалів безприжимного штампування, пов'язана з суттєвим наближенням до фізичної сутності деформування листового металу і отриманням більш точних теоретичних моделей.

Стійкість пластичного формоутворення листового металу – одна з основних умов отримання штампованих виробів високої якості. Втрата стійкості формоутворення характеризується виникненням великих місцевих деформацій, які зазвичай призводять або до руйнування металу, або до утворення неприпустимо великих спотворень форми виробу. Підвищення стійкості формотворчих операцій листового штампування забезпечує зниження браку і значну економію металу, сприяє збільшенню надійності роботи автоматичних і потокових ліній штампування, покращує якість продукції [7, 9].

Хвилястість, що є наслідком втрати стійкості за схемою Ейлера, утворюється на стиснутих і стиснуто-розтягнутих ділянках листової заготовки і призводить до спотворення форми виробу.

Велика частина опублікованих робіт за цим типом втрати стійкості відноситься до дослідження утворення хвилястості на плоскому фланці при витяжці деталей, що мають форму тіл обертання. У цих роботах рішення задачі про стійкість фланця дано за аналогією з рішенням задачі про пружно-пластичному випинанні стисненого стрижня методом Енгессера-Кармана, тобто приймалося, що формули для пружного випинання пластин і оболонок справедливі і при їх випинанні за межею пружності, якщо модуль пружності замінити наведеним модулем. Однак розрахунок на стійкість стиснутих ділянок листової заготовки при її формоутворенні є типовим завданням теорії пластичності [7, 10].

Точне рішення задачі про напружений стан фланця листової анізотропної заготовки при глибокій витяжці пов'язано з великими математичними труднощами. Тому для її вирішення з метою визначення параметрів інструменту і заготовки, а також технологічних факторів, які усувають хвилястість або ж максимально її зменшують, були прийняті припущення та гіпотези листового штампування, а також приймалося наступне: нехтували зміною товщини фланця, тобто вважали, що фланець знаходиться в умовах плоскої деформації; пластична ортотропія листового металу; придбана в процесі пластичної деформації анізотропія мала і не

робить істотного впливу на його початкову анізотропію; ефект Баушінгера відсутній; метал заготовки підпорядковується законам пружно-пластичного зміцненого середовища в зоні виникнення гофрів; сили зростають повільно і швидкості деформацій невеликі; процес пластичного формоутворення вважаємо рівноважним процесом деформації, що складається із сукупності наступних одне за іншим рівноважних пластичних станів, кожне з яких відповідає певній стадії навантаження. Але для пошуку точних рішень, щодо визначення граничної товщини заготовки для витяжки без притиску необхідно було враховувати, як зміцнення металу, так і його анізотропію механічних властивостей [11, 13].

Мета роботи. Формування теоретичних залежностей для розрахунку граничної товщини заготовки з урахуванням зміцнення і анізотропії вихідного металу при витяжці циліндричної деталі без притиску фланця.

Виклад основного матеріалу. Розвитком теорії витяжки анізотропного металу займалися такі дослідники як С. П. Яковлев, В. В. Шевельов, В. Д. Кухар, В. Д. Головлєв, Ю. М. Аришенський, Д. Н. Цой, Ф. І. Рузанов і ін. Для знайдення рішень використовували теорію пластичності анізотропного тіла Р. Хілла. Так, наприклад, в роботі Головлєва В. Д. [7], наводяться залежності для розрахунку критичної товщини анізотропної заготовки, для якої ще гофроутворення не спостерігається

$$s_k = \frac{3}{\pi} b \sqrt{2\mu |\sigma_u| \frac{L_k}{E_p}}, \quad (1)$$

де b – ширина фланця;
 μ – коефіцієнт, який залежить від анізотропії;
 σ_u – головні нормальні тангенціальні напруження, що діють за напрямом осі анізотропії;

$$L_k = \frac{N}{M};$$

$$M = B_1 \frac{b^2}{a^2} + B_2 \frac{a^2}{b^2} + B_3;$$

$$N = F_1 + F_2 \frac{a^2}{b^2};$$

$$B_1 = \frac{3}{2} \left(\frac{3}{2} - \frac{4}{\pi} \right) \left(\frac{c_{22}}{g} - \frac{4\psi}{3K_\sigma} \right);$$

$$B_2 = \frac{3}{64} \left(\frac{c_{11}}{g} - \frac{\psi}{K_\sigma} m_\sigma^2 \right);$$

$$B_3 = \frac{3}{4c_{33}} + \frac{3}{2} \left(\frac{1}{\pi} - \frac{1}{4} \right) \left(\frac{c_{12}}{g} + \frac{4\psi}{3K_\sigma} m_\sigma \right);$$

$$F_1 = \left(\frac{3}{2} - \frac{4}{\pi} \right) \beta;$$

$$F_2 = \frac{1}{8} m_\sigma;$$

$$\psi = \frac{3}{4} (1-n);$$

$$g = c_{11} c_{22} - c_{12}^2;$$

$$K_\sigma = c_{11} + 2c_{12} m_\sigma + c_{22} m_\sigma^2;$$

$$m_\sigma = \frac{\sigma_v}{\sigma_u}$$

– відношення головних нормальних напружень в осях анізотропії;

E_p – модуль пластичності анізотропного матеріалу;

n – постійна величина (показник зміцнення), що характеризує здатність металу до зміцнення;

a – довжина півхвилі;

β – коефіцієнт, вибирається у межах $\frac{1}{2} \div \frac{1}{3}$;

c_{11}, c_{12}, c_{22} – константи анізотропії.

В роботі Яковлева С. С. [8] наведені дані, засновані на схожому підході з попереднім дослідженням, для відносної критичної товщини пластини, що забезпечує витяжку без гофрування з урахуванням анізотропії: для сталі 08кп – $s_k = 0,0247 \pm 0,0003$, для латуні – $s_k = 0,0299 \pm 0,0004$.

Раніше [10, 15] були виведені залежності для теоретичного розрахунку товщини заготовки, що забезпечує витяжку без притиску фланця. Результати розрахунків по ним дають деякі розбіжності з емпіричними формулами Шофмана Л. І. [11]. Товщина пластини виявляється дещо завищеною. Тому необхідно доопрацювати теоретичний результат шляхом врахування зміцнення і анізотропії вихідного металу.

Уточнення отриманих залежностей будемо вести відповідно до припущень, представлених в [7], які узгоджуються з теорією пластичності анізотропного тіла Р. Хілла: пластична ортотропія листового металу; придбана в процесі пластичного деформування анізотропія листового металу незначна і не робить істотного впливу на його початкову анізотропію; матеріал заготовки стискаємо; зміцнення металу ізотропне; ефект Баушінгера відсутній. Вираз для сичення модуля анізотропного металу заготовки матиме вигляд [7]

$$E_{ca} = \mu c_{11} E_c, \quad (2)$$

Для матеріалу з круговою симетрією при

$$R_x = R_y = R_0; R_{xy} = \frac{R_0}{1+2R_0}; c_{11} = c_{22};$$

$$\Delta = 0; c_{13} = c_{23} = 0 \quad \text{з (2) будемо мати}$$

$$E_{ca} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1+R_0}{2+R_0} E_c. \quad (3)$$

Враховуючи анізотропію, знайдемо напруження в осередку деформації за аналогією з [9, 12]

$$\sigma_r = \frac{1}{\sqrt{\mu\psi}} \sigma_{ec} \ln \frac{r_u}{r}, \quad (4)$$

де

$$\mu = \frac{3}{2 \left(1 + \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y} \right)},$$

$$\psi = \frac{(c_{11} + c_{12})(c_{22} + c_{12})}{c_{11} + 2c_{12} + c_{22}} - c_{12}^2,$$

Тоді співвідношення до критичної товщини пластини матиме вигляд

$$h^2 = 0,041 \frac{2}{3} \frac{r_u^2}{E_c} \frac{2+R_0}{1+R_0} \frac{1}{\sqrt{\mu\psi}} \sigma_{ec} \ln \frac{r_u}{r}. \quad (5)$$

Уявімо показник пластичності E_c і усереднену інтенсивність напружень з урахуванням зміцнення у вигляді [13, 14]

$$E_c = C \varepsilon_i^{n-1}, \quad (6)$$

$$\sigma_{ec} = C \varepsilon_i^n, \quad (7)$$

де C і n – константи матеріалу, визначені дослідом на розтягнення зразків.

Підставивши дані формули в (5) і провів нескладні перетворення з урахуванням $\varepsilon_i = 0,5\varepsilon_\theta$, отримаємо

$$h^2 = 0,041 \frac{r_u^2}{3} \frac{2+R_0}{1+R_0} \left(1 - \frac{r}{r_u} \right) \frac{1}{\sqrt{\mu\psi}} \ln \frac{r_u}{r}. \quad (8)$$

Виразимо коефіцієнти анізотропії μ, ψ через їх параметри, підставив один з коренів Бесселевої функції і остаточно будемо мати

$$h^2 = 0,0045 r_u^2 \frac{2+R_0}{1+R_0} \left(1 - \frac{r}{r_u} \right) \sqrt{\frac{2(1+R_0)}{1+2R_0}} \ln \frac{r_u}{r}. \quad (9)$$

Обговорення результатів. Зробимо розрахунок для наступних параметрів деформування: $d = 25$ мм, $D = 40$ мм, $R_0 = 1$. Матимемо

$$h^2 \geq 0,0045 \cdot 20^2 \frac{3}{2} \left(1 - \frac{12,5}{20} \right) \sqrt{\frac{4}{3}} \ln \frac{20}{12,5} \geq 0,545$$

$$\text{і } h \geq 0,738 \text{ мм.}$$

Порівняння результатів, отриманих із залежностей [9, 10, 13–15] і (9) з умовою втрати стійкості показує, що врахування анізотропії металу

заготовки дозволяє більш точно відшукати критичну товщину вихідного металу. Розбіжність становить не більше 8,5 %.

Аналізуючи формулу (9), можна зробити висновок, що збільшення показника анізотропії від 0,5 до 2 зменшує критичну товщину заготовки. Фланець напівфабрикату з матеріалу з великим показником R_0 буде більш стійкий при деформації. Це збігається з висновками Головлєва В. Д. і Жаркова В. А., де показано, що з ростом показників анізотропії опірність деформації фланця зменшується і гранична ступінь витяжки збільшується. Однак, плоска анізотропія загалом негативно позначається на процесі деформації і погіршує умови формоутворення. При цьому товщина заготовки повинна бути збільшена в 1,6–2 рази в порівнянні з деформацією ізотропного металу.

Интерес представляє також порівняння результатів з формулою Головлєва В. Д. (1) і експериментальними даними Яковлєва С. С., які наведені вище. Розрахунок проводимо для умов: $d = 45$ мм, $D = 90$ мм. Для сталі 08кп $R_0 = 1,706$ [8]. Знаходимо відносно критичну товщину пластини $\bar{h} = s/D$.

$$h^2 \geq 0,0045 \cdot 45^2 \frac{2+1,706}{1+1,706} \left(1 - \frac{22,5}{45}\right) \cdot \sqrt{\frac{2(1+1,706)}{1+2 \cdot 1,706}} \ln \frac{45}{22,5} \geq 4,785,$$

$$h \geq 2,19 \text{ мм} \quad \bar{h} = 2,19/90 = 0,0243.$$

За формулою Головлєва В. Д. $\bar{h} = 0,0237$, за експериментальними даними Яковлєва С. С. $\bar{h} = 0,0247$, за емпіричною формулою Шофмана Л. І. $D - d \leq (18 \div 22)s$ $\bar{h} = 0,0227$. Найбільша розбіжність результатів з формулою Шофмана Л. І. складає трохи більше 6 %.

Висновки. Тому можна зробити висновок про те, що результати розрахунків по залежності (9) збігаються з раніше відомими даними, достовірно відображають вплив коефіцієнта витяжки, плоскої анізотропії і початкового діаметра заготовки на критичну товщину пластини. При цьому на втрату стійкості найбільше впливає діаметр заготовки. З його збільшенням зростає коефіцієнт витяжки і відповідно товщина пластини. Однак залежність (9) більш повно розкриває вплив діаметра заготовки на результати. Якщо коефіцієнт витяжки залишити незмінним при збільшенні початкових розмірів заготовки, то товщина пластини також збільшиться, так як в формулу для розрахунку радіус заготовки входить в другому ступені. Це положення узгоджується з поняттям відносної товщини s/D за Романовським В. П. [12]. Для того, щоб виконувалася нерівність $100s/D \leq 4,5(1 - m_1)$ при збільшенні діаметра заготовки, але при незмінному коефіцієнті витяжки – необхідно збільшити товщину матеріалу.

Список літератури

1. Чигиринский В. В. *Современное производство колес автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники: [Монография]*. В. В. Чигиринский, В. Л. Мазур, С. В. Беликов и др. Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2010. 309 с.
2. Борисевич В. К., Загирняк М. В., Драгобецкий В. В. Выбор оптимальных параметров вытяжки листовых заготовок. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2009. № 2. С. 38–41.
3. Каложный В. Л., Запороженко А. С., Пиманов В. В. Интенсификация технологий изготовления вальцов «Балон 180x184». *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2012. № 2 (31). С. 136–140.
4. Огородников В. А. *Деформируемость и разрушение металлов при пластическом деформировании*. Киев: УМК ВО, 1989. 150 с.
5. Мосьян Д. В., Драгобецкий В. В., Пузырь Р. Г. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КДПУ, 2008. Вип. 6 (53), частина 2. С. 64–66.
6. Жарков В. А. Методика разработки технологических процессов вытяжки с учетом анизотропии листовых материалов. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1991. № 9. С. 12–15.
7. Головлєв В. Д. *Расчеты процессов листовой штамповки*. М: Машиностроение, 1974. 136 с.
8. Яковлев С. С., Ремнев К. С. Складкообразование при вытяжке осесимметричных деталей из анизотропного материала. *Изв. вузов. Машиностроение*. 2014. № 9 (654). С. 39–47.
9. Пузырь Р. Г., Троцько О. В., Черкашенко В. Ю. Влияние геометрических параметров цилиндрической заготовки на напряженно-деформированное состояние при раздате коническими пуансонами. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2012. № 4 (33). С. 114–121.
10. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г. Определение геометрических параметров листовой заготовки для вытяжки осесимметричных деталей, устраняющих потерю устойчивости фланца. *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов*. Краматорск: ДГМА, 2013. № 2 (35). С. 118–123.
11. Шофман Л. А. *Теория и расчеты процессов холодной штамповки*. М.: Машиностроение, 1964. 375 с.
12. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке*. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
13. Puzyr R., Savelov D., Argat R., Chernish A. Distribution analysis of stresses across the stretching edge of the die body and bending radius of deforming roll during profiling and drawing of cylindrical workpiece. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 1. P. 27–32.
14. Puzyr R., Naikova T., Trotsko O., Argat R. Determining experimentally the stress-strained state in the radial rotary method of obtaining wheels rims. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. VOL. 4. № 1 (82). 2016. P. 52–60.
15. Аргат Р. Г., Пузырь Р. Г., Долгих О. Н. Оценка приемов, увеличивающих степень деформации при вытяжке цилиндрических деталей без складкодержателя. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХП"*: зб. наук. пр. Сер.: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. Харків: НТУ "ХП", 2017. № 36 (1258). С. 5–9.

References (transliterated)

1. Chigirinskij V. V., Mazur V. L., Belikov S. B., Kolesnik F. I., Legotcin G. I., Slepynin A. G., Shevchenko T. G. *Sovremennoe proizvodstvo koles avtotransportnyh sredstv i sel'skhozjajstvennoj tehniki* [Modern production of wheels of motor vehicles and agricultural machinery]. Dnepropetrovsk, RIA «Dnepr-VAL», 2010, 309 p.
2. Boresevich V. K., Zagerniak M. V., Dragobetskiy V. V. *Choice of optimum parameters extend of sheet preparations*. Forge-stamp manufacture. 2009, № 2, pp. 38–41.
3. Kalyughniy V. L., Zaporozhenko A. P., Pimanov V. V. Intensification of technologies of making of good is «Bulb 180x184». *Treatment of materials pressure: collection of scientific labour*. Kramatorsk: DSMA, 2012, № 2 (31), pp. 136–140.

4. Ogorodnikov V. A. *Deformiruyemost' i razrusheniye metallov pri plasticheskom deformirovani* [Deformability and destruction of metals during plastic deformation]. Kiev: UMK VO, 1989, 150 p.
5. Mos'pan D. V., Dragobeckij V. V., Puzyr R. G. Opredelenie potrebnogo krutjashhego momenta pri radial'no-rotacionnom profilirovani obod'ev koles [Determination of the required torque at radial-rotational profiling of wheel rims]. *Visnik Kremenchuc'kogo derzhavnogo politehnicnogo universitetu imeni Mihajla Ostrograds'kogo* [Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University named after Mikhail Ostrogradsky]. Kremenchuk: KDPU, № 6.53, 2008, part 2, pp. 64–66.
6. Zharkov V. A. Technique of the development of technological processes of extraction, taking into account the anisotropy of sheet materials. *Forging production*. 1991, № 9, pp. 12–15.
7. Golovlev V. D. *Calculations of the processes of sheet punching (Stability of the formation of sheet metal)*. M.: Mechanical engineering, 1974, 136 p.
8. Yakovlev S. S., Remnev K. C. Wrinkling of axisymmetric parts made by drawing of an anisotropic material. *Proceedings of higher educational institutions: Mechanical engineering*, 2014, № 9 (654), pp. 39–47.
9. Puzyr R. G., Trotsko O. V., Cherkashchenko V. Y. Vliyanie geometricheskikh parametrov tsilindricheskoy zagotovki na napryazhenno-deformirovanoe sostoyanie pri razdache konicheskimi puansonami [Influence of geometrical parameters of cylindrical preparation on the intense deformed state at distribution by conic punches]. *Processing of materials pressure: collection of scientific works*. Kramatorsk: DGMA, 2012, № 4 (33), pp. 114–121.
10. Arhat R. G., Puzyr R. G. Opredeleniye geometricheskikh parametrov listvoy zagotovki dlya vytyazhki osesimmetrichnykh detaley, ustranyayushchikh poteryu ustoychivosti flantsa [Determination of the geometrical parameters of the sheet blank for drawing axisymmetric parts that eliminate the loss of stability of the flange]. *Processing of materials pressure: collection of scientific works*. Kramatorsk: DGMA, 2013, № 2 (35), pp. 118–123.
11. Shofman L. A. *Teoriya i raschety protsessov kholodnoy shtampovki* [Theory and calculations of processes of the cold stamping]. Moscow: Engineer, 1964, 375 p.
12. Romanovsky V. P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Cold stamping guide]. L.: Mechanical engineering, 1979, 520 p.
13. Puzyr R., Savelov D., Argat R., Chernish A. Distribution analysis of stresses across the stretching edge of die body and bending radius of deforming roll during profiling and drawing of cylindrical workpiece. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, № 1, pp. 27–32.
14. Puzyr R., Haikova T., Trotsko O., Argat R. Determining experimentally the stress-strained state in the radial rotary method of obtaining wheels rims. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems*. VOL. 4. № 1 (82), 2016, pp. 52–60.
15. Arhat R. G., Puzyr R. G., Dolgih O. N. Evaluation of techniques that increase the degree of deformation in the extraction of cylindrical parts without a storage holder. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment of materials processing in engineering and metallurgy*. Kharkiv, NTU "KhPI", 2017, № 36(1258), pp. 5–9.

Надійшла (received) 01.11.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аргат Роман Григорович (Аргат Роман Григорьевич, Arhat Roman) – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, старший викладач кафедри технологія машинобудування; м. Кременчук, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9247-5297>; e-mail: argat.rg@gmail.com.

Пузыр Руслан Григорович (Пузырь Руслан Григорьевич, Puzyr Ruslan) – доктор технічних наук, доцент, Коледж Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, доцент відділення машинобудування; м. Кременчук, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9791-9002>; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

Вакуленко Роман Андрійович (Вакуленко Роман Андреевич, Vakulenko Roman) – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент кафедри галузевого машинобудування; м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8845-962X>; e-mail: rom.vak311@gmail.com.