

ВПЛИВ ПРОТИТИСКУ, ЩО СТВОРЮЄТЬСЯ ТВЕРДИМ СЕРЕДОВИЩЕМ, НА ДЕФОРМІВНІСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

¹Вінницький національний аграрний університет
²Київський національний університет культури і мистецтв
³Вінницький національний технічний університет

В статті виконано дослідження процесу радіального видавлювання трубчастої заготовки з АДІ з використанням протитиску, яке створюється технічним свинцем. Для оцінки впливу історії навантаження на пластичність при об'ємному напруженому стані використано простір з координатами η , μ_σ , e_σ . Встановлено, що протитиск, який створюється свинцем, дозволяє уникнути спотворення форми заготовки та збільшити діаметр фланця, що видавлюється.

ВСТУП

Холодна штамповка металів видавлюванням широко використовується у всіх галузях машинобудування. Для виготовлення суцільних і пустотілих деталей з фланцями різних товщини і діаметрів в більшості випадків використовують процеси холодного радіального видавлювання. До переваг холодного видавлювання можна віднести високу точність і якість поверхні заготовок. Крім того, при холодній пластичній деформації відбувається зміцнення деформованого металу.

До негативних факторів, які обмежують поширення холодного радіального видавлювання можна віднести наявність високих питомих зусиль, а також несприятливу схему напруженого стану в області екватора фланця, що обмежує можливості отримання фланців відносно великих розмірів [1–3]. При вільному видавлюванні трубчастої заготовки, з початковим діаметром $d_{\text{зовн}} = 30$ мм, максимальний діаметр фланця, який можна отримати з алюмінію, становить $D_\phi = 34,36$ мм, при цьому має місце спотворення форми фланця [1, 2]. Для підвищення граничного ступеня формозміни та усунення спотворення форми фланця перспективною є схема радіального видавлювання з протитиском, яке може бути створене шляхом видавлювання твердого робочого середовища в клиноподібну або ступінчасту порожнину [4–6].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

В даній роботі виконано дослідження процесу радіального видавлювання трубчастої заготовки з алюмінію АДІ з використанням протитиску, який створюється технічним свинцем. Схема видавлювання наведена на рис. 1.

На рис. 1 показано заготовку з $d_{\text{вн}} = 20$ мм і $d_{\text{зовн}} = 30$ мм висотою $h = 55$ мм і свинцеве кільце із зовнішнім діаметром рівним діаметру порожнини, в яку видавлюється фланець ($d_{\text{пор}} = 120$ мм) і внутрішнім діаметром рівним зовнішньому діаметру заготовки.

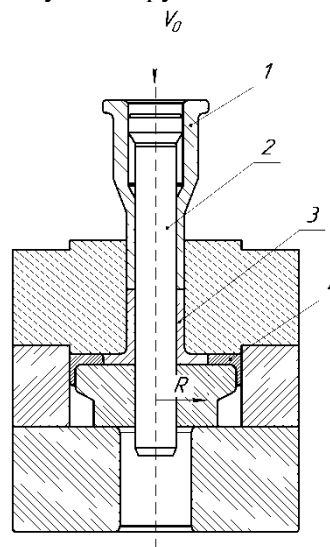


Рисунок 1 – Схема радіального видавлювання осесиметричних деталей з відносно тонким фланцем: 1 – пуансон, 2 – оправка, 3 – заготовка, 4 – свинець

Отримана після видавлювання заготовка показана на рис. 2 (ширина щілини $\delta = 2$ мм). Діаметр фланця отриманої заготовки становить $D_{\phi} = 59,6$ мм.

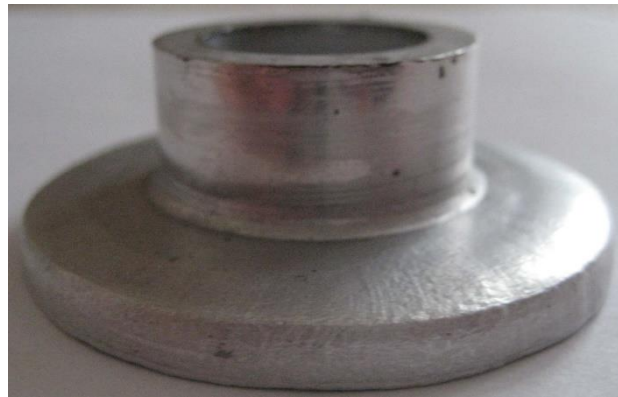


Рисунок 2 – Заготовка після видавлювання

В роботі [4] отримано наближене вирішення процесу радіального видавлювання з протитиском інженерним і чисельним методами. При цьому тверде робоче середовище видавлювали в горизонтально розташовану клиноподібну порожнину, утворену площинами рознімання верхньої і нижньої матриць і розташовану в середній, за висотою, частиною видавлюваного фланця. При такій схемі видавлювання значно спрощується вирішення задачі пластичної течії металу, проте істотно ускладнюється конструкція необхідного пристосування. У даній роботі щілина розташована вертикально, як показано на рис. 1, що спрощує конструкцію пристосування для видавлювання і дозволяє отримати таке пристосування менших розмірів.

Для розрахунків напружено-деформованого стану в даній роботі використано метод скінченних елементів. Умови тертя на поверхнях контакту заготовки та інструмента задавали за законом Кулона. Коефіцієнт тертя брали рівним 0,3.

Криві течії алюмінію і свинцю апроксимували залежностями:

для сплаву алюмінію АД1

$$\sigma_u = 136e_u^{0,22}, \quad (1)$$

для технічного свинцю

$$\sigma_u = 13,4e_u^{0,06}. \quad (2)$$

Напружено-деформований стан і закон його зміни протягом всього процесу формозміни розраховували в характерних точках заготовки, показаних на рис. 3.

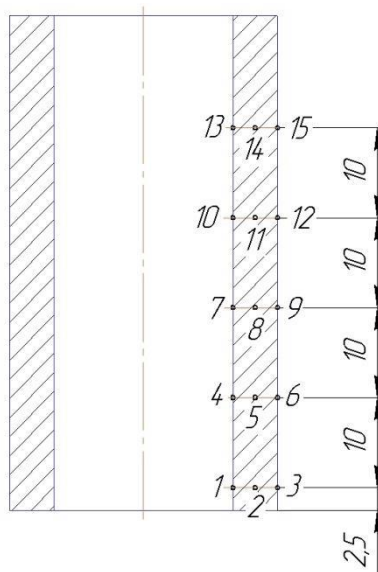


Рисунок 3 – Характерні точки заготовки

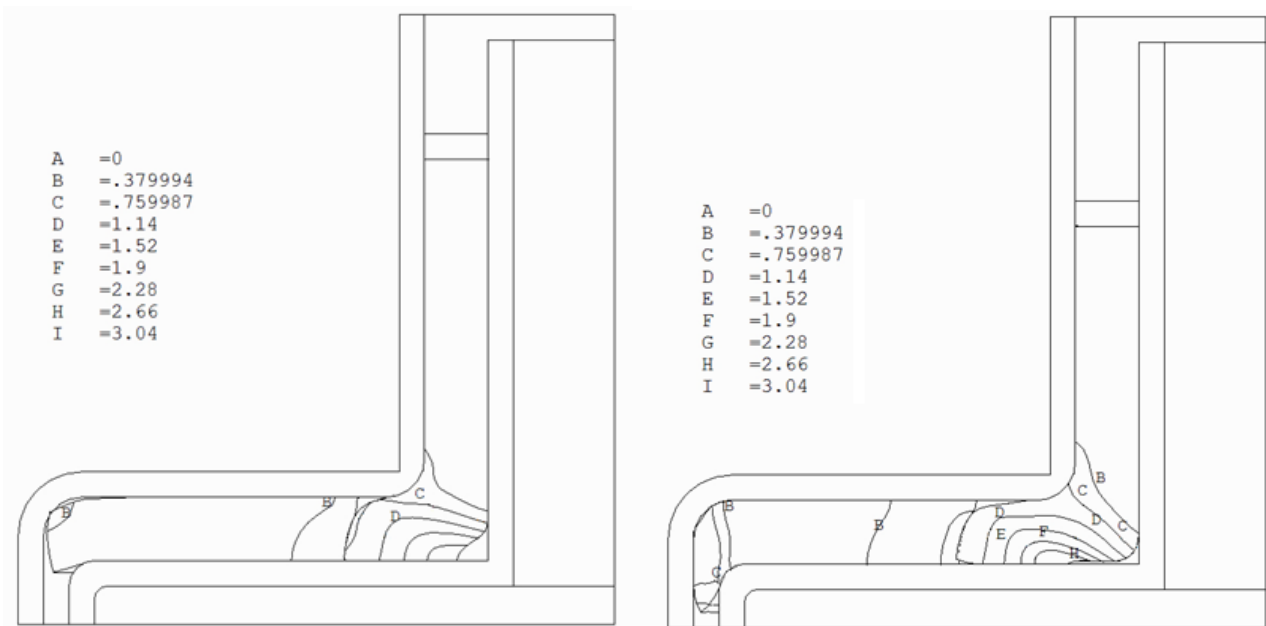


Рисунок 4 – Розподіл ступеня деформації e_u по тілу заготовки, на різних етапах деформування

Результати розрахунку напружено-деформованого стану в точках 1–15 були використані для побудови траєкторій навантаження цих точок в координатах η , μ_σ , e_u . Оскільки у якості параметра обрано одну з координат – ступінь деформації e_u , то рівняння траєкторії навантаження мають вигляд

$$\eta = \eta(e_u), \mu_\sigma = \mu_\sigma(e_u).$$

Значення показника жорсткості напруженого стану η та параметра Надаї–Лоде μ_σ [3] розраховували за формулами

$$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}, \mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}. \quad (3)$$

Поверхню граничних деформацій алюмінію АД1 в координатах η , μ_σ , e_u апроксимували залежністю, яка отримана в роботі [4],

$$e_p(\eta, \mu_\sigma) = 1,20 \exp(0,5246\mu_\sigma - 0,32540\eta).$$

Отримані траєкторії навантаження в координатах η , μ_σ , e_u показані на рис. 5.

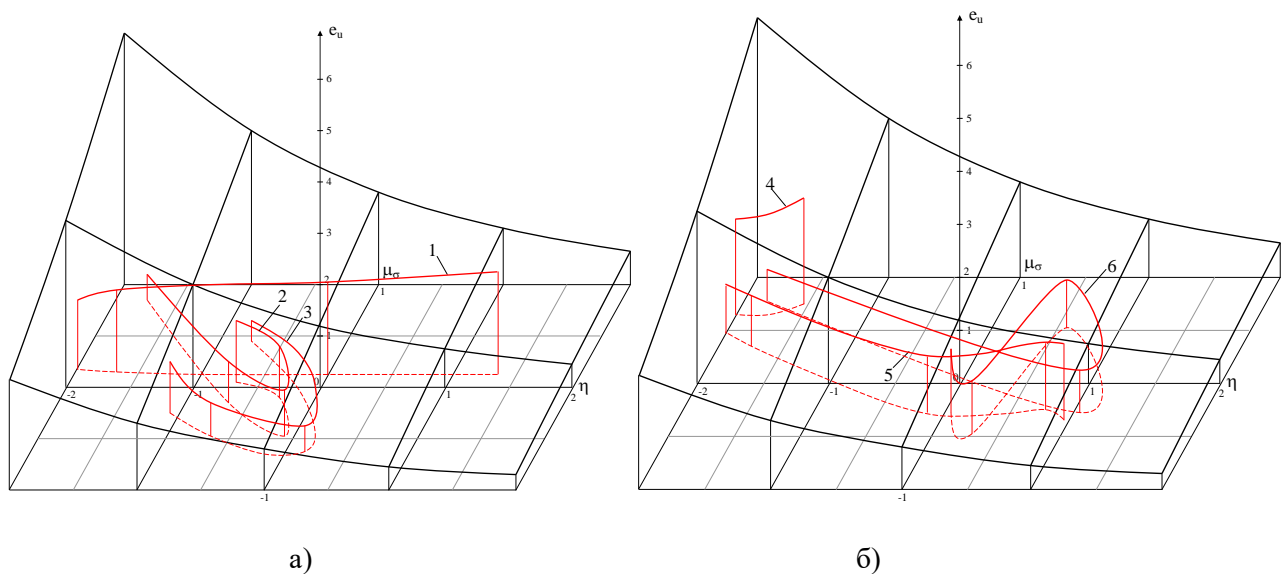


Рисунок 5 – Поверхня граничних деформацій для алюмінію АД1 і траєкторії навантаження при видавлюванні з протитиском в координатах η , μ_σ , e_u

Ступінь деформації e_u розраховували за формулою

$$e_u = \int_0^t \dot{\varepsilon}_u d\tau, \quad (4)$$

в якій було використано значення інтенсивності швидкостей деформацій $\dot{\varepsilon}_u$, яке отримано за допомогою методу скінчених елементів.

Оскільки траєкторія навантаження $\eta(e_u)$, $\mu_\sigma(e_u)$ має значну кривизну (див. рис. 5), то величину використаного ресурсу пластичності розраховували за критерієм Г. Д. Деля [7], який дозволяє розраховувати величину використаного ресурсу пластичності ψ як при немонотонному, так і при складному монотонному навантаженні. Для оцінки впливу історії навантаження на пластичність при об'ємному напруженому стані використано простір з координатами η , μ_σ , e_u , в якому цей критерій набуває вигляду [8]

$$\psi = \sqrt{\psi_{ij} \psi_{ij}}, \quad (5)$$

де

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u^*} \left(1 - a + 2a \frac{e_u^*}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_{ij} \frac{de_u^*}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}, \quad (6)$$

$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{de_u}$; e_u^* – ступінь деформації при відповідних значеннях η і μ_σ ; $e_p = \int_0^{t_p} \dot{\varepsilon}_u d\tau$ – гранична деформація; t_p – час деформування до руйнування; константу a брали рівною $a = 0,2$.

Значення de_u береться в точці з координатами η , μ_σ , e_u за формулою (6).

Враховуючи те, що для всіх точок значення μ_σ знаходиться в інтервалі $-1 \leq \mu_\sigma \leq 1$, а значення η не перевищують одиниці, тому траєкторії навантаження будували в інтервалах значень $-2 \leq \eta \leq 1$, $-1 \leq \mu_\sigma \leq 1$.

Обрані на рис. 5 інтервали значень показника жорсткості напруженого стану η та параметра Надаї–Лоде обумовлені тим, що при $\eta < -2$, $\mu_\sigma > 0$ інтенсивність процесів накопичення пошкоджень дуже низька. При зменшенні показника η процеси заліковування стають більш інтенсивними. При $\eta < 4$ процеси заліковування супроводжуються зміною структури деформованого металу. Тому такі умови пластичної деформації часто використовують для поліпшення механічних характеристик матеріалів [9].

На рис. 5 наведені траєкторії навантаження точок 1–6. Частина траєкторій для значень $\eta < -2$ не відображено.

Аналіз характеру траєкторій навантаження показав, що для точок 5, 6, 9, 12, 15 характерно немонотонне навантаження, в інших точках має місце складне навантаження в умовах об'ємного напруженого стану. Тому величину використаного ресурсу пластичності ψ розраховували за критерієм (5) для всього інтервалу значень η , μ_σ та e_u . Результати розрахунків ψ_η за формулою (5) з використанням компонент тензора пошкоджень (6) наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Результати розрахунків ψ_η за (5) з використанням (6)

№ точки	1	2	3	4	5
ψ_η	0,60	0,48	0,52	0,30	0,47
№ точки	6	7	8	9	10
ψ_η	0,43	0,28	0,36	0,51	0,08
№ точки	11	12	13	14	15
ψ_η	0,28	0,46	0,06	0,08	0,08

Найбільш небезпечною, з точки зору руйнування, є точка 1, в якій використаний ресурс пластичності становив $\psi = 0,6$.

ВИСНОВКИ

З аналізу отриманих результатів випливає, що найбільш небезпечними, з точки зору руйнування, є точка 1, яка знаходиться на внутрішній поверхні заготовки і точки 3, 9 на зовнішній поверхні заготовки. В точках 10, 13, 14, 15 значення використаного ресурсу пластичності мінімальні.

Необхідно відзначити, що при видавлюванні трубчастої заготовки без протитиску максимальний діаметр фланця, який можна було отримати з алюмінію, не перевищував $D_{\phi} = 34,36$ мм. При цьому отриманий фланець має конічну форму. При використанні протитиску, що створюється пластичним середовищем, величина використаного ресурсу пластичності в найнебезпечнішій точці 1 не перевищувала $\psi \leq 0,6$ при діаметрі фланця $D_{\phi} = 59,6$ мм.

Застосування в процесі радіального видавлювання з протитиском у якості пластичного середовища технічного свинцю дозволило підвищити граничну ступінь формозміни заготовки та усунути спотворення форми фланця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания / И. С. Алиев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 2. – С. 7–9.
2. Носаков А. А. Прогнозирование дефектов типа утяжин при точной штамповке выдавливанием / А. А. Носаков, Е. М. Солодун, Л. И. Алиева // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ-Хмельницький : ДДМА. – 2002. – С. 105–110.
3. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
4. Оценка деформируемости заготовок при радиальном выдавливании с противодавлением / Е. И. Коцюбивская, И. О. Сивак, Л. И. Алиева, С. В. Куценко // Обработка материалов давлением : сб. научн. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 29–33.
5. Алиев И. С. Теоретический анализ процесса выдавливания фланцев с противодавлением / И. С. Алиев // Физика и техника высоких давлений. – 1990. – Вып. 34. – С. 42–46.
6. Алиев И. С. Моделирование процесса радиального выдавливания фланцев с применением противодействия / И. С. Алиев, Я. Г. Жбанков, Е. И. Коцюбивская // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : тематичний зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 53–58.
7. Дель Г. Д. Пластичность деформированного металла / Г. Д. Дель // Физика и техника высоких давлений. – 1982. – № 11. – С. 28–32.
8. Сивак И. О. Оценка пластичности металлов при холодной пластической деформации / И. О. Сивак, Е. И. Сивак, С. И. Сухоруков // Известия ТулГУ. Серия: Механика твердого деформируемого тела и обработка металлов давлением. – Тула : ТулГУ, 2007. – Вып. 2. – С. 114–121.
9. Сивак Р. І. Залежність пластичності металів від історії навантаження при об'ємному напруженому стані / Р. І. Сивак, О. В. Нахайчук, В. А. Огородніков // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВДАУ, 2009. – С. 79–83.

REFERENCES

1. Aliyev I. S. Technological possibilities for new ways of combined extrusion / I. S. Aliyev // Forging and stamping production. – 1990. – №2. – P. 7-9.
2. Nosakov A. A. Prediction of sink marks at the exact defect type extruding / A. A. Nosakov, E. M. Solodun, L. I. Aliyeva // Improving processes and equipment forming in metallurgy and mechanical engineering: Coll. scien. pap. – Kramatorsk-Khmelnyskyi: DDMA. – 2002. – P. 105-110.
3. Ogorodnikov V. A. Deformability and fracture of metals with plastic deformation / V. A. Ogorodnikov – K. : UMK VO, 1989. - 152 p.
4. Evaluation of formability of blanks during radial extrusion backpressure / E. I. Kotsyubivskaya, I. O. Sivak, L. I. Aliyeva, S. V. Kutsenko // Metal forming: Coll. scien. pap. – Kramatorsk: DGMA, 2008. – №1 (19). – P. 29-33.
5. Aliyev I. S. Theoretical analysis of the extrusion flange backpressure / I. S. Aliyev // High Pressure Physics and Engineering. – 1990. – Vol. 34. – P. 42-46.
6. Aliyev I. S. Modeling the process of radial extrusion flanges using the counter / I. S. Aliyev, Y. G. Zhbakov, E. I. Kotsyubivskaya // Improving processes and equipment forming in metallurgy and mechanical engineering: Coll. scien. pap. – Kramatorsk: DDMA, 2006. – P. 53-58.

7. Del G. D. Plasticity deformed metal / G. D. Del // High Pressure Physics and Engineering. – 1982. – №11. – P. 28-32.

8. Sivak I. O. Assessment of metal plasticity during cold plastic deformation / I. O. Sivak, E. I. Sivak, S. I. Sukhorukov // Proceedings of the TSU. Series: Solid deformable body mechanics and metal forming. – Tula: Tula State University, 2007. – Vol. 2. – P. 114-121.

9. Sivak R. I. dependence plasticity of metals loading history with a volume stressed state / R. I. Sivak, A. V. Nahaychuk, V. A. Ogorodnikov // Proceedings of Vinnytsia State Agrarian University. Series: Engineering; – Vinnitsa: VSAU. – 2009. – P. 79-83.

Р. І. Сивак¹, К. І. Коцюбівська², С. І. Сухоруков³

ВПЛИВ ПРОТИТИСКУ, ЩО СТВОРЮЄТЬСЯ ТВЕРДИМ СЕРЕДОВИЩЕМ, НА ДЕФОРМІВНІСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ РАДІАЛЬНОМУ ВИДАВЛЮВАННІ

¹Вінницький національний аграрний університет

²Київський національний університет культури і мистецтв

³Вінницький національний технічний університет

При виготовленні суцільних і пустотілих деталей з фланцями різних товщини і діаметрів в більшості випадків використовують процеси холодного радіального видавлювання.

Для підвищення граничного ступеня формозміни та усунення спотворення форми фланця перспективною для використання є схема радіального видавлювання з протитиском.

В даній роботі виконано дослідження процесу радіального видавлювання трубчастої заготовки з алюмінію АД1 з використанням протитиску, який створюється технічним свинцем.

Для побудови траєкторій навантаження характерних точок заготовки в координатах η , μ_σ , e_u проведено розрахунок напружено-деформованого стану за допомогою методу скінченних елементів.

Для оцінки впливу історії навантаження на пластичність при об'ємному напруженому стані було розраховано величину використаного ресурсу пластичності ψ . Для цього використовували критерій Г. Д. Деля, який дозволяє розраховувати величину ψ як при немонотонному, так і при складному монотонному навантаженні.

Згідно з розрахунками найбільш небезпечною, з точки зору руйнування, є точка, яка знаходиться на торці заготовки. В цій точці використаний ресурс пластичності становив $\psi = 0,6$.

Застосування в процесі радіального видавлювання з протитиском у якості пластичного середовища технічного свинцю дозволило підвищити граничну ступінь формозміни заготовки та усунути спотворення форми фланця.

Ключові слова: радіальне видавлювання; трубчаста заготовка; протитиск; ступінь деформації; ресурс пластичності; показники напруженого стану.

Сивак Роман Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці, Вінницький національний аграрний університет, e-mail: sivak_r_i@mail.ru

Коцюбівська Катерина Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук, Київський національний університет культури і мистецтв, e-mail: katu_sivak@mail.ru

Сухоруков Сергій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: ssergeii@ukr.net

INFLUENCE BACKPRESSURE CREATED A SOLID MEDIUM, ON DUCTILITY THE RADIAL EXTRUSION BILLETS

¹Vinnitsia National Agrarian University
²Kyiv National University of Culture and Arts
³Vinnytsia National Technical University

In the manufacture of solid and hollow parts with flanges of different thickness and diameters are used in most cases cold radial extrusion processes.

In order to increase the marginal degree of forming and eliminating distortion of the flange promising to use a scheme of radial extrusion backpressure.

In this study, we carried out the study of the process of radial extrusion of tubular billet of aluminum AD1 using backpressure created by the technical lead.

For the construction of the load paths of characteristic points in the workpiece coordinate η , μ_{σ} , e_{ii} calculated the stress-strain state using the finite element method.

To test the effect of loading history on the plasticity of the value of used plasticity resource ψ was calculated at a volume stress. For this purpose, the criterion G. D. Delia that allows you to calculate the value ψ , as in the non-monotonic and monotonic loading at the complex.

According to calculations, the most dangerous in terms of destruction is the point which lies at the end of the workpiece. At this point, the used resource of ductility was $\psi = 0,6$.

The use in the process of radial extrusion backpressure as a plastic medium technological lead helped enhance the limit the extent of forming the blank and eliminate distortion of the flange.

Key words: radial extrusion; tubular processing; back pressure; degree of deformation; plasticity resource; an indicator of stress state.

Sivak Roman, Ph.D., associate professor, assistant professor the Department of general technical subjects and health disclaimers, Vinnytsia National Agrarian University, e-mail: sivak_r_i@mail.ru

Kotsyubivska Katerina, Ph.D., associate professor, associate professor the Department of computer science, Kyiv National University of Culture and Arts, e-mail: katy_sivak@mail.ru

Sukhorukov Sergei, Ph.D., associate professor, assistant professor the Department of mechanical engineering and automation technology, Vinnitsia National Technical University, e-mail: ssergeii@ukr.net

Р. И. Сивак¹, Е. И. Коцюбивская², С. И. Сухоруков³

ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ, СОЗДАВАЕМОГО ТВЕРДЫМИ СРЕДАМИ, НА ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ЗАГОТОВОК ПРИ РАДИАЛЬНОМ ВЫДАВЛИВАНИИ

¹Винницкий национальный аграрный университет,
²Киевский национальный университет культуры и искусств,
³Винницкий национальный технический университет

При изготовлении сплошных и пустотелых деталей с фланцами различных толщины и диаметров в большинстве случаев используют процессы холодного радиального выдавливания.

Для повышения предельной степени формоизменения и устранения искажения формы фланца перспективной для использования является схема радиального выдавливания с противодавлением.

В данной работе выполнены исследования процесса радиального выдавливания трубчатой заготовки из алюминия АД1 с использованием противодавления, создаваемого техническим свинцом.

Для построения траекторий нагрузки характерных точек заготовки в координатах η , μ_{σ} , e_{ii} проведен расчет напряженно-деформированного состояния с помощью метода конечных элементов.

Для оценки влияния истории нагружения на пластичность при объемном напряженном состоянии была рассчитана величина использованного ресурса пластичности ψ . Для этого

использовали критерий Г. Д. Деля, который позволяет рассчитывать величину ψ , как при немонотонном, так и при сложном монотонном нагружении.

Согласно расчетам наиболее опасной, с точки зрения разрушения, является точка, которая находится на торце заготовки. В этой точке использованный ресурс пластичности составил $\psi = 0,6$.

Применение в процессе радиального выдавливания с противодавлением в качестве пластической среды технического свинца позволило повысить предельную степень формоизменения заготовки и устранить искажения формы фланца.

Ключевые слова: радиальное выдавливание; трубчатые заготовки; противодавление; степень деформации; ресурс пластичности; показатели напряженного состояния.

Сивак Роман Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда, Винницкий национальный аграрный университет, e-mail: sivak_r_i@mail.ru

Коцюбовская Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных наук, Киевский национальный университет культуры и искусств, e-mail: katu_sivak@mail.ru

Сухоруков Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий и автоматизации машиностроения, Винницкий национальный технический университет, e-mail: ssergeii@ukr.net