

Косарєв В. С.
Чучин О. В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРОЖНИСТИХ ДЕТАЛЕЙ З ФЛАНЦЕМ В ПРОЦЕСІ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Проведені теоретичні дослідження процесу закритого комбінованого зворотне–радіального видавлювання деталі «Стакан з фланцем» з алюмінієвого сплаву А2017 в програмі DEFORM 2D/3D. Запропонований метод дозволив повністю усунути дефект затиску та недозаповнення матеріалом заготовки нижнього кута порожнини в фланцевій зоні, завдяки використанню додаткової кінематики одночасно верхньої та нижньої напівматриць на протилежному базовому варіанту, в якому для деформації заготовки використовувався тільки активний верхній пуансон. Усунення цих дефектів стало можливим завдяки використанню додаткової кінематики одночасно верхньої та нижньої напівматриць. Досліджувалось викривлення ділильної сітки, розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i та розподіл інтенсивності напружень σ_i в перетині заготовки, яка деформується. Дослідження графіку залежності сили видавлювання від ходу верхнього пуансона в 73 мм показало, що максимальне значення сили в 160 кН можна побачити на етапі формування фланцю та повного заповнення матеріалом заготовки порожнини в нижній напівматриці. Після формування фланцю без дефектів та повного заповнення матеріалом заготовки порожнини в нижній напівматриці змінюється рух напівматриць. Далі до кінця процесу на етапі зворотного видавлювання сила деформації постійно зростає (до 150 кН). Результати теоретичних досліджень можуть бути використані в практичній діяльності на виробництві для підвищення якості та ефективності виготовлення деталей «Стакан з фланцем».

Ключові слова: холодне об'ємне штампування, видавлювання, порожниста деталь з фланцем, метод скінчених елементів, викривлення ділильної сітки, розподіл інтенсивності деформацій, розподіл інтенсивності напружень, пуансон, напівматриця.

Процеси холодного деформування характеризуються високими питомими і повними силами на інструмент, що знижують його стійкість і стабільність процесу [1–3]. Способи деформування, які спрямовані на зниження цих обмежень, передбачають створення більш сприятливих для силового режиму різномірних схем напружено-деформованого стану, зменшення площі контакту активного деформуючого інструменту із заготовкою, зниження навантажень на інструмент за рахунок забезпечення більшого ступеня свободи витікання металу або розвиненої радіальної течії (роздачі металу) [3]. Поєднання схем поздовжнього і поперечного видавлювання можливе в комбінованих способах деформування. При цьому можна виготовляти за одну операцію складні за формою порожнисті і суцільні деталі з фланцями або відростками [4].

Порожнисті деталі з фланцем широко застосовуються в автомобільній, авіаційній, машинобудівній та інших галузях промисловості. В цих виробках оптимально поєднуються легкість, міцність, функціональність та стійкість.

Подальший розвиток та вдосконалення технологій виготовлення цих деталей має великий потенціал для сучасного виробництва.

Метою даної роботи є вдосконалення базового варіанта виготовлення деталі «Стакан з фланцем» в процесі комбінованого зворотне–радіального видавлювання з одним активним верхнім пуансоном через появу таких дефектів як затиск та недозаповнення матеріалом заготовки нижнього кута порожнини в фланцевій зоні напівматриці. Для цього запропонований процес комбінованого зворотне–радіального видавлювання з додатковою кінематикою одночасно верхньої та нижньої напівматриць. Отримані в ході дослідження результати будуть використані для вдосконалення процесу виготовлення деталі «Стакан з фланцем» та підвищення якості цих деталей.

Представлені в статті результати теоретичних досліджень були отримані в програмі DEFORM 2D, яка базується на методі скінчених елементів (МСЕ). Ця програма дозволила визначити в перетині заготовки, яка деформується, напружено деформований стан і силовий режим процесу.

Деталь «Стакан з фланцем» виготовляється з алюмінієвого сплаву А2017, для якого характерні висока міцність та зносостійкість (рис. 1), модуль Юнга 68900, коефіцієнт Пуассона 0,33 при температурі 20 °С.

Геометричні розміри циліндричної заготовки та деталі наступні: радіус заготовки $R_0 = 35$ мм, висота заготовки $L = 88$ мм, товщина стінки стакану $s = 15$ мм, товщина фланцю $h_f = 15$ мм, радіус заокруглення $r = 3$ мм.

В теоретичних дослідженнях змінювалась тільки висота заготовки L , розміри інших параметрів були незмінними.

В розрахунках приймалося значення коефіцієнта тертя за Зібелем $\mu = 0,08$ [5].

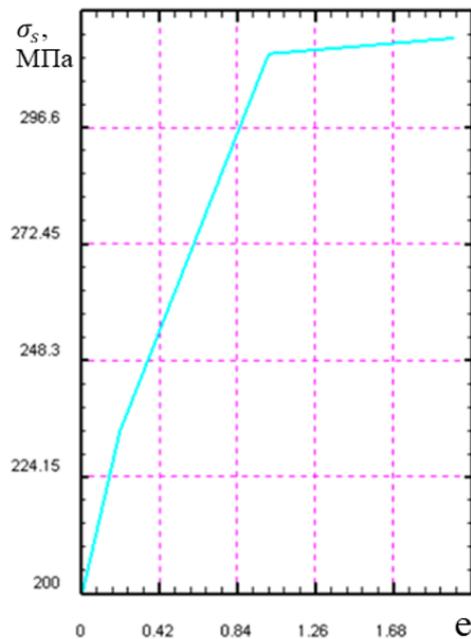


Рис. 1. Графік залежності напруження текучості σ_s (МПа) від логарифмічної деформації ϵ для матеріалу А2017

В базовому варіанті виготовлення деталі «Стакан з фланцем» (рис. 2) застосовується закрите комбіноване зворотне–радіальне видавлювання з одним активним інструментом – верхнім пуансоном, повний хід якого дорівнює 73 мм.

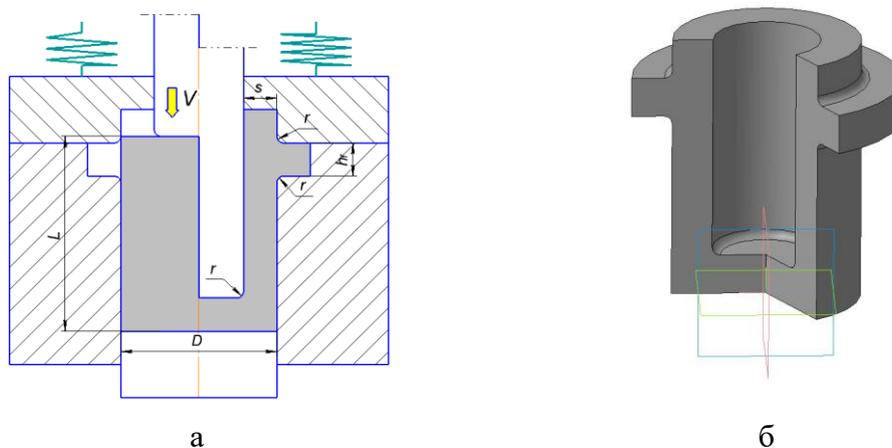


Рис. 2. Схема процесу комбінованого зворотне–радіального видавлювання деталі «Стакан з фланцем» (а) та одержуваний напівфабрикат (б)

При ході верхнього пуансона на 48 мм в зоні фланцю з'являється такий дефект як затиск (рис. 3). При подальшому деформуванні заготовки цей дефект тільки збільшується. Окрім цього, можна бачити ще і не заповнення матеріалом заготовки нижнього кута порожнини в фланцевій зоні.

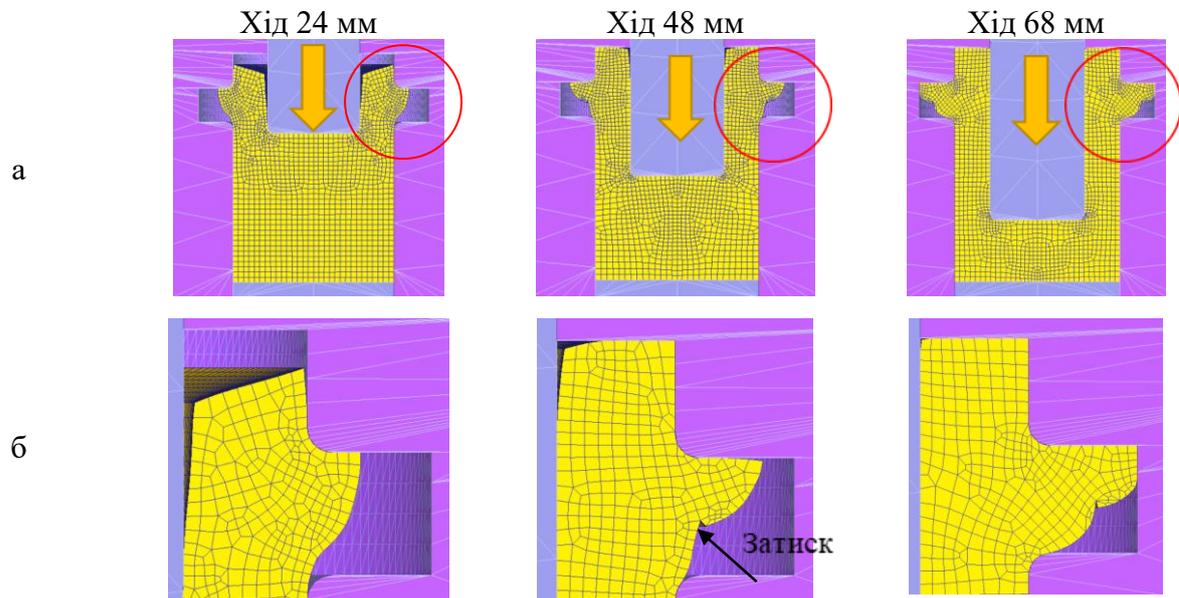


Рис. 3. Викривлення ділильної сітки (а) та збільшене відповідне місце затиску матеріалу заготовки у фланцевій зоні (б) в процесі комбінованого видавлювання на різних стадіях

Для усунення цих дефектів запропоновано модифікацію технологічного процесу, яка полягає у використанні в процесі комбінованого зворотне–радіального видавлювання додаткової кінематики одночасно верхньої та нижньої напівматриць (рис. 4–6). Повний хід верхнього пуансона, як і в базовому варіанті, дорівнює 73 мм.

На початковій та проміжній стадіях (рис. 4, а, б) для виготовлення якісного бездефектного фланцю здійснюється одночасне переміщення в одному напрямку верхнього пуансона 2 і верхньої 4 та нижньої 5 напівматриць з однаковою швидкістю $V_1 = 1$ мм/с (швидкість верхнього пуансона не змінюється до кінця процесу видавлювання) і ходом всіх рухомих інструментів $S = 24$ мм.

Після цього верхня 4 та нижня 5 напівматриці змінюють напрямок руху на протилежний (рис. 4, в), тобто переміщуються в протилежному напрямку до верхнього пуансона 2, але вже зі швидкістю $V_2 = 0,5$ мм/с. При цьому хід верхнього пуансона 2 дорівнює $S = 49$ мм та обох напівматриць $S = 24$ мм. Це сприяє течії матеріалу заготовки в зворотному напрямку, зменшує силу деформування та забезпечує кінцевий висотний розмір деталі «Стакан з фланцем».

Аналіз (рис. 5) викривлення ділильної сітки, розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i та інтенсивності напружень σ_i , (МПа) в перетині заготовки, яка деформується, на проміжній (1) стадії процесу комбінованого видавлювання з додатковою кінематикою верхньої та нижньої напівматриць показав, що у фланцевій зоні стакану відсутній такий дефект, як затиск, повністю заповнена матеріалом заготовки вся порожнина цієї зони в нижній напівматриці 5, максимальне значення інтенсивності деформації 1,5 у верхній частині фланця і дні стакану (рис. 5, б) та максимальне значення інтенсивності напружень 350 МПа в тих же зонах (рис. 5, в).

Такий же аналіз на кінцевій (2) стадії процесу комбінованого видавлювання показав, що отримана якісна без дефектів з потрібними геометричними розмірами деталей «Стакан з фланцем», з максимальними значеннями інтенсивності деформації 2,5 на внутрішній бічній поверхні отвору стакану і в зоні дна та максимальними значеннями інтенсивності напружень 350 МПа і розташуванням цих напружень приблизно в тих же зонах, що і на проміжній (1) стадії процесу.

Був побудований графік залежності (рис. 6) сили видавлювання (кН) від ходу верхнього пуансону (повний хід дорівнює 73 мм).

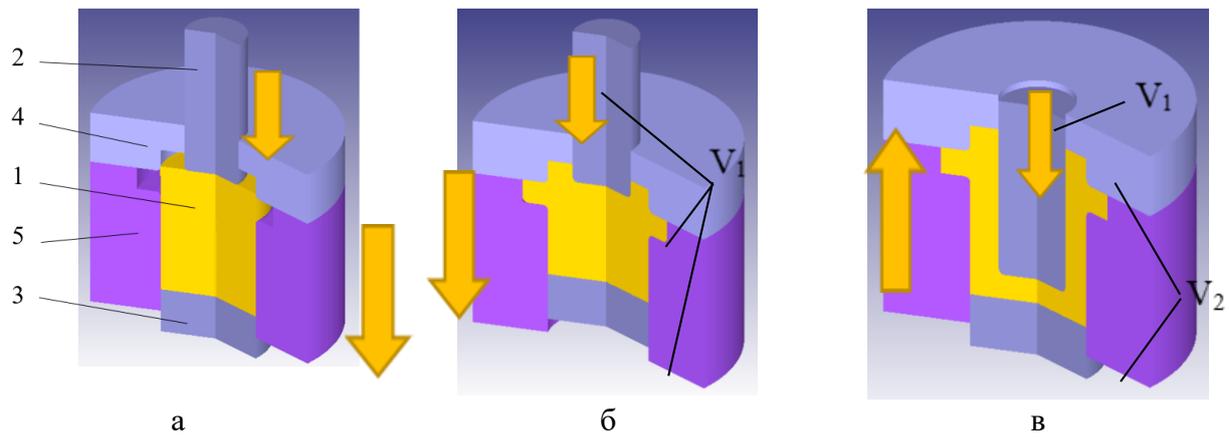


Рис. 4. Комбіноване видавлювання деталі «Стакан з фланцем» з додатковою кінематикою верхньої та нижньої напівматриць ($V_1 = 1$ мм/с, $V_2 = 0.5$ мм/с) на початковій (а), проміжній (б) та кінцевій (в) стадіях:

1 – заготовка, яка деформується; 2 – верхній активний пуансон; 3 – нижній пуансон (протипуансон); 4 – верхня напівматриця; 5 – нижня напівматриця

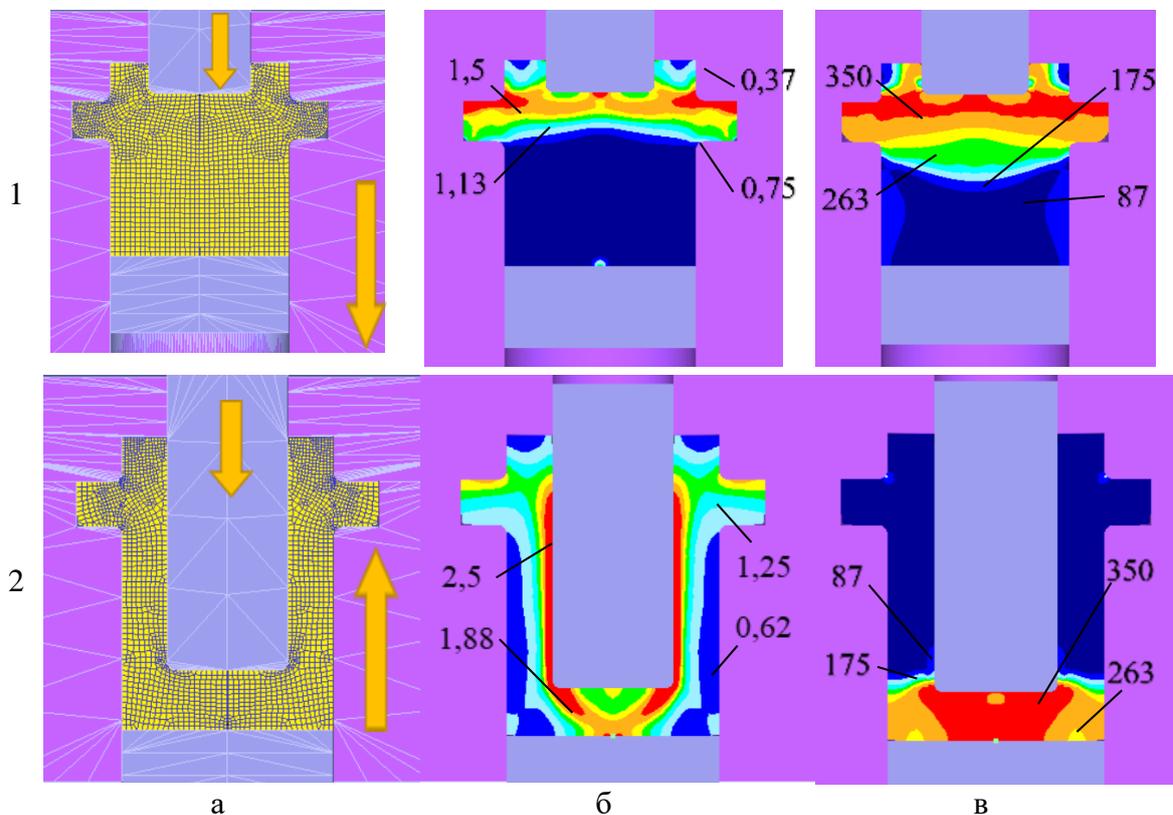


Рис. 5. Викривлення ділильної сітки (а), розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i (б) та розподіл (в) інтенсивності напружень σ_i (МПа) в перетині заготовки, яка деформується, на проміжній (1) та кінцевій (2) стадіях процесу комбінованого видавлювання з додатковою кінематикою верхньої та нижньої напівматриць

Від початку деформації заготовки відбувається постійне зростання сили до максимальних значень (160 кН). На цій стадії відбувається формування фланцю без дефектів та повне заповнення матеріалом заготовки порожнини в нижній напівматриці (закрите видавлювання). Після цього верхня та нижня напівматриці змінюють напрямок руху на протилежний, тобто переміщуються в протилежному напрямку до верхнього пуансона, а величина сили деформації на верхньому пуансоні знижується до найменших значень (70 кН). Далі до кінця процесу на етапі зворотного видавлювання сила деформації постійно зростає (до 150 кН).

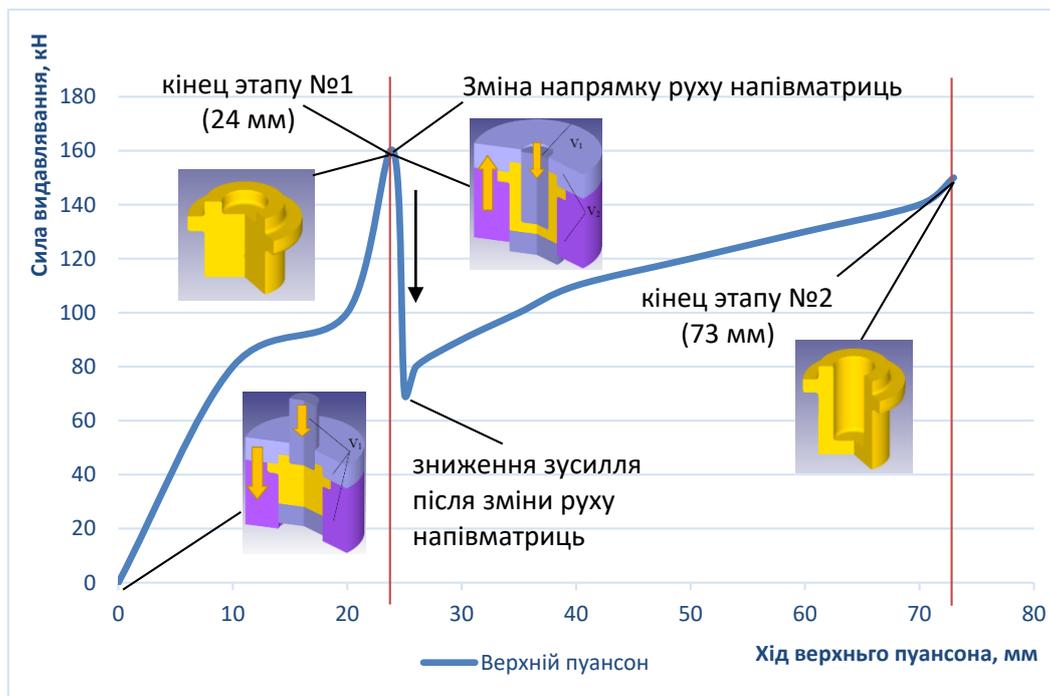


Рис. 6. Графік залежності сили видавлювання (кН) від ходу верхнього пуансона (мм)

ВИСНОВКИ

Для теоретичних досліджень процесу комбінованого зворотне-радіального видавлювання деталі «Стакан з фланцем» з алюмінієвого сплаву А2017 була використана програма DEFORM 2D/3D, яка базується на методі скінченних елементів. Запропонований метод дозволив повністю усунути дефект затиску та недозаповнення матеріалом заготовки нижнього кута порожнини в фланцевій зоні, завдяки використанню додаткової кінематики одночасно верхньої та нижньої напівматриць на протизагатованому базовому варіанту, в якому для деформації заготовки використовувався тільки активний верхній пуансон. Для отримання деталі «Стакан з фланцем» з потрібними розмірами і якістю на початковій та проміжній стадіях спочатку здійснюється одночасне переміщення в одному напрямку верхнього пуансона і верхньої та нижньої напівматриць з однаковою швидкістю $V_1 = 1$ мм/с і ходом всіх рухомих інструментів $S = 24$ мм, а потім верхня та нижня напівматриці змінюють напрямок руху на протилежний зі швидкістю $V_2 = 0,5$ мм/с і ходом верхнього пуансона $S = 49$ мм та обох напівматриць $S = 24$ мм. Аналіз розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i та інтенсивності напружень σ_i показав, що на проміжній стадії максимальне значення інтенсивності деформації дорівнює 1,5 у верхній частині фланця і дні стакану та максимальне значення інтенсивності напружень дорівнює 350 МПа в тих же зонах, на кінцевій стадії максимальне значення інтенсивності деформації дорівнює 2,5 на внутрішній бічній поверхні отвору стакану і в зоні дна та максимальне значення інтенсивності напружень дорівнює 350 МПа, що і на проміжній стадії. Розподіл деформацій і напружень набув більш рівномірного характеру у зоні фланця. Дослідження графіку залежності сили видавлювання від ходу верхнього пуансона в 73 мм показало, що максимальне значення сили в 160 кН можна побачити на етапі формування фланцю та повного заповнення матеріалом заготовки порожнини в нижній напівматриці. Після формування фланцю без дефектів та повного заповнення матеріалом заготовки порожнини в нижній напівматриці змінюється рух напівматриць. Далі до кінця процесу на етапі зворотного видавлювання сила деформації постійно зростає (до 150 кН). Ці результати можуть бути використані в практичній діяльності на виробництві для підвищення якості та ефективності виробництва деталей типу «Стакан з фланцем».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Євстратов В. А. Основи технології видавлювання та конструювання штампів. Харків : Вища школа, 1987. 144 с.
2. Alieva L., Goncharuk C. Technological possibilities of combined radial – longitudinal extrusion process. *XVIII International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering*. Series : Monographs. – Czestochowa, 2017. № 68. P. 102–107.
3. Алієва Л. І. Технологічні можливості процесів комбінованого радіально–поздовжнього видавлювання. *Технологічні системи*. 2017. № 1 (78). С. 31–40. http://technological-systems.com/images/journal/2017/files/ts78_4.pdf.
4. Алієва Л. І. Процеси комбінованого деформування та видавлювання. *Обробка матеріалів тиском*. Краматорськ : ДДМА, 2016. № 1 (42). С. 100–108.
5. Дмитрієв А. М., Воронцов А. Л. Вибір коефіцієнтів тертя для розрахунку технологічних параметрів штампування видавлювання. *Кувально-штампувальне виробництво*. 2004. №1. С. 23–26.

REFERENCES

1. Evstratov V. A. Fundamentals of Extrusion Technology and Die Design. Kharkiv: Vyshcha Shkola, 1987. 144 p.
2. Alieva L., Goncharuk C. Technological Possibilities of the Combined Radial–Longitudinal Extrusion Process. *XVIII International Scientific Conference New Technologies and Achievements in Metallurgy, Material Engineering and Production Engineering*. Series: Monographs. Czestochowa, 2017. No. 68. P. 102–107.
3. Alieva L. I. Technological Possibilities of Combined Radial–Longitudinal Extrusion Processes. *Technological Systems*. 2017. No. 1 (78). P. 31–40. http://technological-systems.com/images/journal/2017/files/ts78_4.pdf.
4. Alieva L. I. Processes of Combined Forming and Extrusion. *Materials Working by Pressure*. Kramatorsk: DSEA, 2016. No. 1 (42). P. 100–108.
5. Dmitriev A. M., Vorontsov A. L. Selection of friction coefficients for calculating technological parameters of extrusion stamping. *Forging and Stamping Production*. 2004. No. 1. P. 23–26.

Kosarev V., Chuchin O. Research on the manufacturing of hollow parts with a flange in the process of combined extrusion.

Theoretical studies of the closed combined backward–radial extrusion process of the “Cup with Flange” part made of aluminum alloy A2017 were carried out using the DEFORM 2D/3D software.

The proposed method allowed to completely eliminate the clamping defect and underfilling of the lower corner of the cavity in the flange zone with the workpiece material, due to the use of additional kinematics of both the upper and lower half-matrixes, as opposed to the basic version, in which only the active upper punch was used to deform the workpiece. Elimination of these defects became possible due to the use of additional kinematics of both the upper and lower half-matrixes. The curvature of the dividing grid, the distribution of the intensity of deformations ϵ_i and the distribution of the intensity of stresses σ_i in the cross section of the workpiece being deformed were studied. The study of the graph of the dependence of the extrusion force on the stroke of the upper punch in 73 mm showed that the maximum force value of 160 kN can be seen at the stage of flange formation and complete filling of the cavity in the lower half-matrix with workpiece material. After the flange is formed without defects and the cavity in the lower half-die is completely filled with the workpiece material, the movement of the half-dies changes. Then, towards the end of the process, at the stage of reverse extrusion, the deformation force constantly increases (up to 150 kN).

The results of the theoretical studies can be applied in industrial practice to improve the quality and efficiency of manufacturing “Cup with Flange” parts.

Keywords: cold bulk forging, extrusion, hollow part with flange, finite element method, mesh distortion, strain intensity distribution, stress intensity distribution, punch, die.

Косарєв Віталій Сергійович – аспірант ДДМА

Kosarev Vitalii – Graduate student DSEA

E-mail: vit.kosarev97@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2506-2354>

Чучин Олег Володимирович – канд. техн. наук, ст. викладач ДДМА

Chuchin Oleg – Candidate of Technical Science DSEA

E-mail: ovch2111@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9728-9925>

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ-Тернопіль.

DSEA – Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk-Ternopil.