

Алієв І. С.  
Абхарі П. Б.  
Корденко М. Ю.  
Савченко О. К.

## ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ ТИПУ «ПЕРО» СПОСОБОМ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

Технологічні процеси видавлювання відрізняються різноманітністю варіантів виконання та широкими можливостями в формоутворенні прецизійних деталей. Холодне деформування значно підвищує продуктивність праці, в порівнянні з обробкою різанням, а також і з гарячими процесами обробки металів тиском, що пов'язано зі зручністю застосування засобів механізації та автоматизації і зменшенням припусків та напусків на обробку [1–3].

Нові способи холодного поперечного (радіального і бокового) видавлювання дозволяють отримати штампуванням деталі складних просторових конфігурацій з різними бічними відростками в роз'ємних і рухливих матрицях [4–7].

Поперечне бокове видавлювання використано для виготовлення деталей з відростками і фланцями не круглої форми [6]. В роботі [7] наведено результати пошуку схем виготовлення деталей складних конфігурацій з порожнистими відростками круглого та прямокутного перерізу способом бокового видавлювання.

Комбінування простих способів поздовжнього і поперечного видавлювання також дозволяє підвищити складність конфігурації, зовнішнього профілю, фланця або відростка порожнистої деталі, що виготовляється за одну операцію [8–10]. Залежно від характеру поєднання простих схем поперечного та поздовжнього видавлювання в одному комбінованому процесі способи підрозділяють на суміщені і послідовні способи видавлювання [11, 12].

Послідовними способи можуть бути за часом деформування або за шляхом течії металу.

В групу так званих способів комбінованих за часом видавлювання відносимо схеми поетапного видавлювання в рухомих інструментах, в яких прості схеми течії виконуються на різних стадіях процесу (рис. 1, рядок А). За рахунок переміщення матриці або контрпуансону чергуються схеми деформування з радіальною і зворотною течією металу (схеми А1, А2). При цьому формується складний ступінчастий профіль порожнистої деталі з перемінною товщиною стінки [8, 10]. Розроблені і особливі схеми із зустрічною течією металу, що видавлюється з роздільних (автономних) осередків деформації (схема А3) [8, 11].

У способів послідовного радіально-поздовжнього видавлювання за шляхом деформування, які призначені для отримання порожнистих деталей, можна виділити два основних різновиди схем видавлювання – з роздачею металу [8, 11] і з обтисненням металу при його радіальній течії [12, 13]. Схеми видавлювання з витіканням назовні, тобто з течією металу від центру заготовки до периферії, відрізняються послідовним за шляхом течії (деформування) металу виконанням прийомів радіального та поздовжнього (прямого або зворотного) видавлювання.

Способи послідовного радіально-прямого видавлювання з обтисненням трубчастих заготовок на оправці відрізняються тим, що в них спочатку проводиться радіальне видавлювання металу в напрямку від периферії до центру, а потім виконується пряме видавлювання поздовж поверхні оправки [12, 13]. При використанні конічної оправки, здатного до зворотно-поступального переміщення, можна отримати порожнисті деталі із змінною товщиною стінки. При профілюванні оправки (рис. 1, схема Б1) і за умови постачання оправки незалежним приводом для поздовжнього переміщення та повороту навколо осі можна отримати деталі з внутрішньою поверхнею, яка профільована поздовжніми канавками, фасонним контуром, або у вигляді ряду ступенів [13].

Деталі з зовнішньою фасонною поверхнею у вигляді поздовжніх виступів, розташованих паралельно осі або спіральних пер (рис. 1, схема Б2) можна отримати комбінуванням зворотного видавлювання глухій порожнини і боковим видавлюванням відростків-пер.

Ці способи видавлювання відрізняються можливістю активного регулювання кінематики течії металу і руху робочого інструменту. Наприклад, регулювання подачі металу в порожнину матриці, за рахунок керованого переміщення матриці, поліпшує і керування технологічними режимами деформування та якістю деталей, що штамуються (рис. 1, схема Б3) [4, 5]. Розглянуті особливості нових способів видавлювання потребують необхідності виконання додаткових силових і кінематичних впливів на заготовку і вимагають застосування штампів більш складних конструкцій з роз'ємними і рухливими інструментами (матрицями і контрпуансонами).

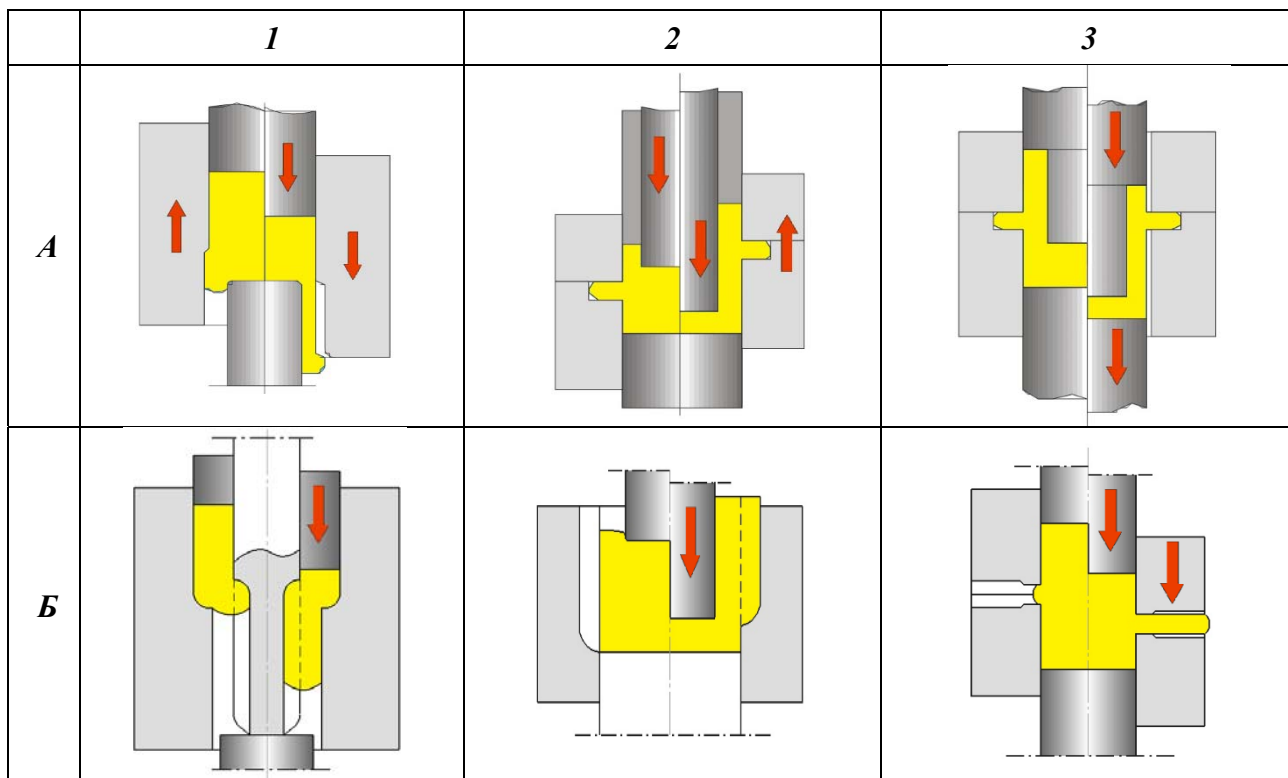


Рис. 1. Способи поперечного і комбінованого видавлювання

Метою роботи є вивчення силового і деформаційного режиму процесу видавлювання деталей з зовнішніми похилими відростками в залежності від кількості і параметрів відростків.

Проведено теоретичне дослідження свинцевих і алюмінієвих деталей з діаметром циліндричної частини  $d = 28$  мм і діаметром хвостового оперення  $Dn$  від 35 до 60 мм.

Вихідними параметрами (рис. 2) для розрахунку є:

– геометрія інструмента і заготовки, отримані за допомогою програми Solid Works ( $h = 1-3$  мм,  $D = 20$  мм,  $T = 30$  мм,  $H = 45$  мм,  $\alpha = 60^\circ$ );

– швидкість і напрямок руху інструменту ( $V = 1...3$  мм/с);

– температурний режим ( $t = 20^\circ C$ );

– характеристики деформованого матеріалу ( $\sigma_s = 115...153$  МПа)

За допомогою програмного забезпечення DeForm 3D був досліджений процес комбінованого зворотно-бокового видавлювання деталі «хвостовик» з різною кількістю пер (рис. 1), а саме з шістьма, чотирма, трьома і двома перами. За допомогою даної програми було визначено накопичений ступінь деформації, сила процесу на різних стадіях і напруження, що виникають в заготовці під час деформування.

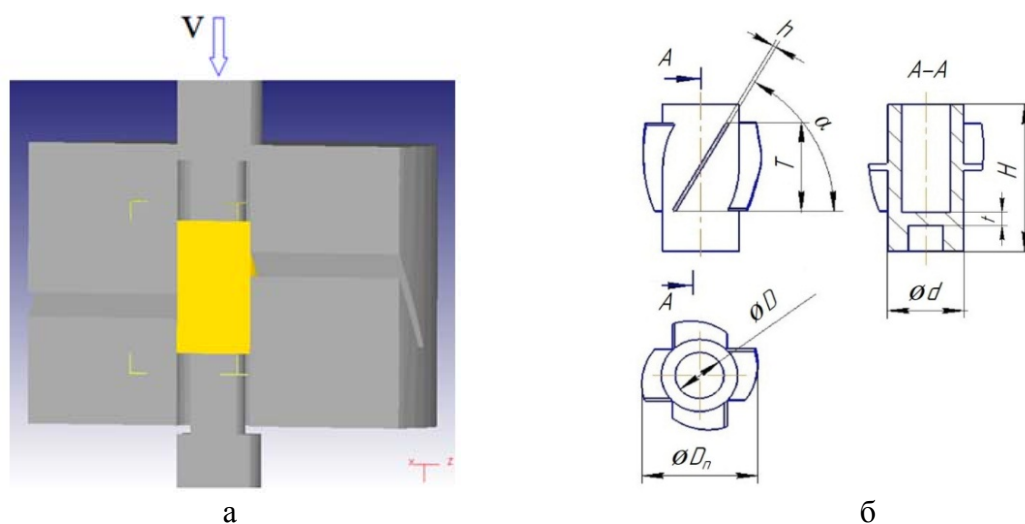


Рис. 2. Схема процесу видавлювання (а) та деталь з бічними елементами «пера» (б)

Результати моделювання течії металу при штампуванні деталей типу «пера» при різних кількостях відростків представлені на рис. 3.

Отримання боковим видавлюванням деталей з перами (рис. 3) характеризується кількома стадіями. Метал на початковій стадії тече одночасно в бокові відростки в прямому і зворотному напрямку, утворюючи внутрішню порожнину циліндра. Після утворення внутрішніх порожнин метал тече тільки в поперечні порожнини. Накопичений ступінь деформації є найбільшим в місцях переходу від циліндричної частини в область поперечних відростків, а також на площині самого пера при штампуванні порожнистих деталей з відростками.

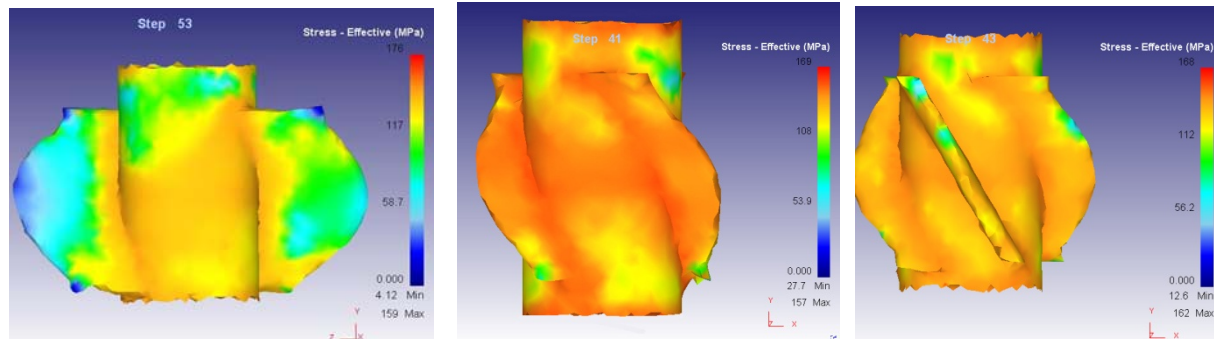


Рис. 3. Формування видавлюванням деталей з двома, трьома і чотирма перами

Силовий режим процесу комбінованого зворотно-бокового видавлювання можна умовно розділити також на три послідовні стадії.

Перша стадія – початок штампування з розпресування вихідної заготовки в порожнині невеликим зростанням сили до певної величини, потім друга стадія – комбіноване видавлювання з практично незмінною силою, характеризує зворотне видавлювання (формування верхньої і нижньої порожнини), а також одночасне затікання металу в бокові похилі порожнини. Третя стадія супроводжується різким збільшенням сили, яке настає при зближенні центральних пуансонів на критичну величину (товщина перемички  $t$  менше половини діаметра отвору  $D$ ). Зростання сил на цій стадії може бути пов'язане і з можливим заповненням кутів поперечної порожнини при формуванні відростків.

Вплив товщини пера на силовий режим процесу і на напружений стан було досліджено при штампуванні деталі «хвостовик» з двома перами. Був розглянутий процес комбінованого видавлювання деталей з різною товщиною пера ( $h = 3$  мм,  $h = 2$  мм,  $h = 1$  мм). Розрахунки показали, що зменшення товщини пера з 3 мм до 1 мм призводять до збільшення

напружень в значних розмірах. З графіків, наведених на рис. 4, можна сказати, що максимальна сила на заключній стадії процесу буде при штампуванні деталі з товщиною пера  $h = 1$  мм  $P = 310$  кН, що на 40 % більше, ніж при штампуванні деталі з товщиною пера  $h = 2$  мм і на 72 % більше, ніж для деталі з товщиною пера  $h = 3$  мм. На проміжній стадії різниця складає відповідно 45 % та 21 %.

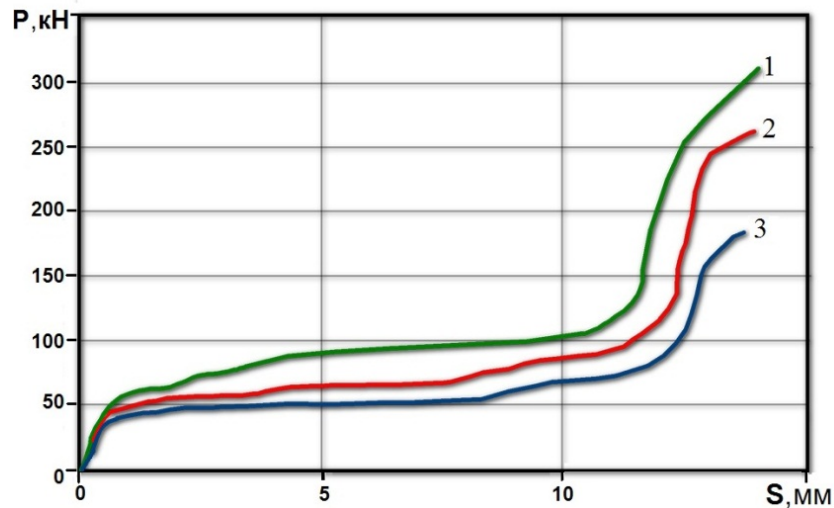


Рис. 4. Графік залежності сили видавлювання від товщини пера:  
1 –  $h = 3$  мм; 2 –  $h = 2$  мм; 3 –  $h = 1$  мм при  $n = 2$

Формування на деталі декількох бічних пер (див. рис. 3) незначно впливає на особливості розвитку силового режиму, але суттєво впливає на рівень силових параметрів.

Зростання кількості бічних пер викликає підвищення ступеня свободи витікання металу з порожнини матриці і тим самим зниження гідростатичного тиску в осередку деформації. В цілому це сприяє помітному зниженню потрібних сил для видавлювання деталі (рис. 5).

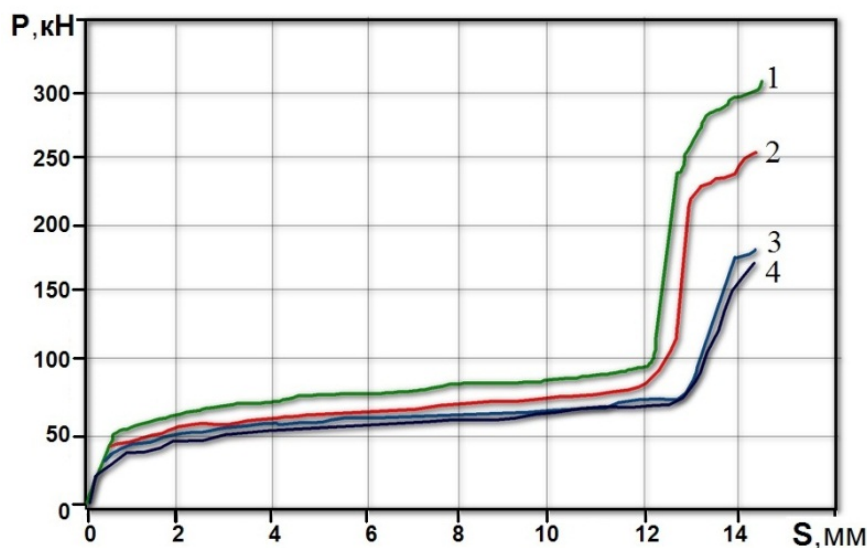


Рис. 5. Графік залежності сили видавлювання від числа пер:  
1 –  $n = 2$ ; 2 –  $n = 3$ ; 3 –  $n = 4$ ; 4 –  $n = 6$  при товщині пера  $h = 3$  мм

Максимальне значення сил деформування спостерігалось при видавлюванні деталі з двома перами, а саме 300 кН на заключній стадії і 95 кН на кінці проміжної стадії. Зростання кількості пер до 3-х викликає зниження сил видавлювання на 15 % в заключній стадії і на

18 % в проміжній стадії процесу. В подальшому, видавлювання деталі з 4-х пер супроводжується зниженням (у порівнянні з 3 перами) зусилля деформування ще на 13 % і 27 % відповідно на проміжній і заключній стадіях. Ця тенденція зберігається і при видавлюванні деталі з шістьма перами. Тобто відбувається подальше зниження сил на 4,5 % і 8 % на відповідних етапах процесу комбінованого видавлювання. В цілому, видавлювання деталі з шістьма перами потребує сил деформування на 43% (на 31% на проміжній стадії) менше у порівнянні з формуванням деталі з двома перами. Слід відмітити, що строго кажучи при деформуванні деталей з різними розмірами, однакою величиною ходу пуансона відповідають різні величини переміщеного об'єму металу, що надає співставленню зусиль приблизний або якісний характер.

Показники напружено-деформованого стану заготовки в процесі видавлювання розподілені відносно рівномірно по всьому об'єму деталі з декількома більшими величинами в місцях переходу до поперечних відростків (рис. 6). Накопичений ступінь деформації буде найбільшим в місцях переходу від циліндричної частини в область поперечних відростків, а також на площині самого пера при штампуванні порожнистих деталей з відростками. Максимальний ступінь деформації, що спостерігається в початковий період заповнення поперечних порожнин, в подальшому в процесі видавлювання змінюється незначно. Максимальні значення інтенсивності напружень виникають в деталі з двома перами і дорівнюють 176 МПа, а в шестиперевій деталі максимальні напруження складають 163 МПа.

Експериментальні дослідження були спрямовані на оцінку технологічних можливостей способів видавлювання суцільних і порожнистих деталей зі складним зовнішнім профілем (рис. 6). Процесу комбінованого видавлювання деталей даного типу характерні деякі обмеження. Забезпечення чіткого оформлення пер з прямокутним контуром представляє труднощі. Внаслідок нерівномірного витікання металу і під впливом контактної тертя периферія пера має закруглену форму. Особливо важко оформити верхні краї відростку, що обумовлено недостатністю об'єму металу, що видавлюється з порожнини деталі. Рішенню даної задачі сприяє ведення процесу за способом поетапного деформування: спочатку виконується бокове видавлювання відростків, а потім видавлювання порожнини зворотним або зворотно-боковим видавлюванням.



Рис. 6. Зразки деталей, отриманих боковим і комбінованим видавлюванням

Штампування деталей з перами дозволило провести якісний і кількісний аналіз формоутворення, деформованого стану і перевірку розрахункових даних, отриманих в результаті теоретичного дослідження силового режиму. Для деталей з товщиною пера 3 мм розрахункові значення енергосилових параметрів, отриманих МСЕ, незначно (до 10 %) перевищують експериментальні значення. Для перевірки інших результатів комп'ютерних моделей потрібно продовження експериментальних досліджень з поширенням типорозмірів і марок матеріалів деталей.

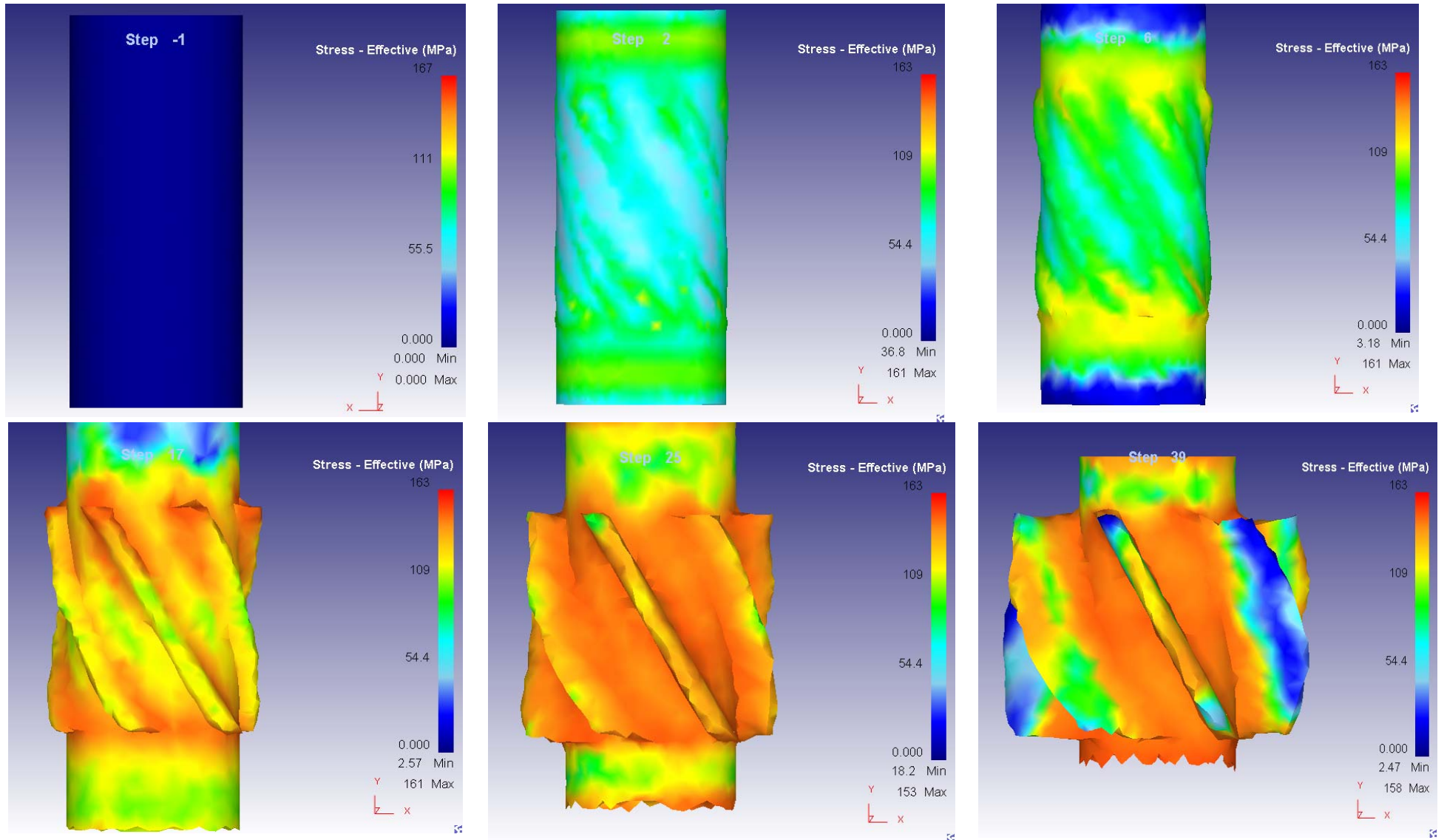


Рис. 7. Розподіл напружень для видавлювання поковки з шістьма перами в різних стадіях процесу

## ВИСНОВКИ

Моделюванням методом скінчених елементів оцінювався вплив технологічних параметрів на силовий режим процесу видавлювання порожнистих деталей з відростками типу «перо» з алюмінієвого сплаву АД1. Встановлено на діаграмі «Сила - шлях» при видавлюванні деталей з перами наявність початкової і заключної стадій з інтенсивним зростанням сил деформування і проміжної стадії з плавним зростом зусилля.

Встановлено, що збільшення числа бічних (похилих під кутом  $60^{\circ}$ ) пер з двох до шести супроводжується зниженням сил деформування до 31 % на основній (проміжній) і до 43 % на заключній стадіях процесу. Вплив товщини відростка «перо» на силовий режим також є показовим: зменшення товщини пера в три рази (з 3 до 1 мм) викликає зростання сили видавлювання до 45 % на основній стадії процесу.

Експериментальні дослідження підтверджують якісно і кількісно результати комп'ютерного аналізу силового режиму і закономірності формоутворення деталі. Для формування більш чіткого контуру пера необхідне виконання прийому бокового видавлювання на окремому етапі комбінованого процесу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. Харьков: Вища школа, 1987. 144 с.
2. Овчинников А. Г. Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. Москва: Машиностроение, 1983. 200 с.
3. Авдеев В.М., Аксенов Л.Б., Алиев И.С. и др. Изготовление заготовок и деталей пластическим деформированием / под ред. К. Н. Богоявленского, В. В. Риса. Ленинград : Политехника, 1991. 351 с.
4. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*, 1988. 6. С. 1–4.
5. А. с. 662223 СССР. МКИ В21 J5/00. Способ выдавливания металлических изделий. Алиев И. С. 1979.
6. Paltasingh U. C., Sahoo S. K., Das P. R., Nayak K. C., Potnuru S. Lateral extrusion for round to-triangular head: experimental studies and three dimensional analyses. *International journal of research in aeronautical and mechanical engineering*. 2013. 1.2, pp. 1–8.
7. Stefan R. Hollow lateral extrusion—a newly developed cold forging process. Access mode: [http://www.umformtechnik.net/binary\\_data/154121\\_hollow\\_lateral\\_extrusion\\_stuttgart\\_rudolf\\_ifu\\_stuttgart.pdf](http://www.umformtechnik.net/binary_data/154121_hollow_lateral_extrusion_stuttgart_rudolf_ifu_stuttgart.pdf).
8. Алиев И. С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1990. 2. С. 7–10.
9. Алієв І. С. Методи пошуку нових технологічних способів видавлювання. Теорія та практика обробки матеріалів тиском : колективна монографія / Під ред. Богуслаєва В. О., Бобиря М. І., Тітова В. А., Качана О. Я. Запоріжжя: АТ «Мотор Січ», 2016. С. 364–385.
10. Басюк С. Т. Изготовление поковок сложной формы в штампах с разъемными матрицами. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1973. 7. С.8–11.
11. Алиева Л. И. Процессы комбинированного пластического деформирования и выдавливания. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА, 2016. 1 (42). С. 100–108.
12. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания: монография. Краматорск : ООО «Тираж - 51», 2018. 352 с. ISBN 978-966-379-846-2.
13. Aliieva L., Zhibankov Y. Radial-direct extrusion with a movable mandrel. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. 11, pp. 175–183.
14. Алиева Л. И., Титов А. В., Корденко М. Ю. Моделирование процессов поперечного бокового выдавливания. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА, 2019. 1 (48). С. 35–44.
15. Abhari P. The investigation of lateral extrusion process using finite element simulation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*. 2017. 5. 8. pp. 1703–1707. .
16. Савченко О. К. Жукова О. А. Боковое выдавливание корпусных деталей с отростками. *Обработка материалов давлением*. Краматорск : ДГМА, 2013. 1 (34). С. 96–99.

## REFERENCES

1. Evstratov V.A. Fundamentals of extrusion technology and the design of dies. Kharkov: High school. 1987, 144 p. (*in Russian*).
2. Ovchinnikov A.G. Fundamentals of the theory of stamping extrusion on presses. Moscow: Mechanical Engineering. 1983, 200 p. (*in Russian*).
3. Avdeev V.M., Aksenov L.B., Aliiev I.S., et al. Production of Blanks and Parts by Plastic Deformation. Eds. Bogoyavlensky K.N., Ris V.V.. Leningrad: Politehnika, 1991, 351 p. (*in Russian*).
4. Aliiev I.S. Technological processes of cold transverse extrusion. *Forging and stamping production*. 1988, 6, pp. 1–4. (*in Russian*).
5. Pat. 662223 USSR, MKI B21 J5/00. The method of extrusion of metal products. Aliiev I.S. 1979.
6. Paltasingh U.C., Sahoo S.K., Das P.R., Nayak K.C., Potnuru S. Lateral Extrusion for Round to-Triangular Head: Experimental Studies and Three Dimensional Analyses. *International journal of research in aeronautical and mechanical engineering*. 2013, 1, 2, pp. 1-8.
7. Stefan Rudolf. Hollow lateral extrusion – a newly developed cold forging process Access mode: [http://www.umformtechnik.net/binary\\_data/154121\\_hollow\\_lateral\\_extrusion\\_stuttgart\\_rudolf\\_ifu\\_stuttgart.pdf](http://www.umformtechnik.net/binary_data/154121_hollow_lateral_extrusion_stuttgart_rudolf_ifu_stuttgart.pdf).
8. Aliiev I.S. Technological capabilities of new methods of combined extrusion. *Forging and stamping production*. 1990, 2, pp. 7–10. (*in Russian*).
9. Aliiev I.S. Methods of trying new technological abilities of seeing. *The theory of this practice obrobki materialiv tiskom: a collective monograph*. Eds. Boguslaev V.O., Bobir M.I., Titov V.A., Kachan O.Ja. Zaporizhzhya: JSC “Motor Sich”. 2016, pp. 364–385. (*in Ukrainian*).
10. Basjuk S.T. Production of complex forgings in stamps with split dies. *Forging and stamping production*. 1973, 7, pp. 8-11. (*in Russian*).
11. Aliieva L.I. Processes of combined deformation and extrusion. *Materials working by pressure*. Kramatorsk: DSEA, 2016, 1(42), pp. 100–108. (*in Russian*).
12. Aliieva L.I. Improving the processes of combined extrusion: monograph. Kramatorsk: Ltd.”Tirazh–51“, 2018, 352 p. ISBN 978-966-379-846-2. (*in Russian*).
13. Aliieva L., Zhbankov Y. Radial-direct extrusion with a movable mandrel. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, 11, pp. 175–183.
14. Aliieva L.I., Titov A.V., Kordenko M.Ju. Modeling of lateral extrusion processes. *Material working by pressure*. Kramatorsk: DSEA. 2019, 1 (48), pp. 35-44. (*in Russian*).
15. Abhari P. The investigation of lateral extrusion process using finite element simulation. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2017, 5, pp. 1703–1707.
16. Savchenko O.K. Zhukova O.A. Lateral extrusion of body parts with branch. *Material working by pressure*. Kramatorsk: DSEA. 2013, 1 (34), pp. 96-99. (*in Russian*).

Алієв І. С. – д-р техн. наук, проф., зав. каф. ОМТ ДДМА;  
E-mail: [igramaliev@gmail.com](mailto:igramaliev@gmail.com);

Абхари П. Б. – д-р техн. наук, доц. каф. ОМТ ДДМА;  
E-mail: [payharies@gmail.com](mailto:payharies@gmail.com);

Корденко М. Ю. – аспірант каф. ОМТ ДДМА;  
E-mail: [kordenko.mariia@gmail.com](mailto:kordenko.mariia@gmail.com);

Савченко О. К. – канд. техн. наук, ст. викл. каф. ОМТ ДДМА;  
E-mail: [omd@dgma.donetsk.ua](mailto:omd@dgma.donetsk.ua).

ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.