УДК 621.777.4

Алієва Л. І., Абхарі П. Б., Малій Х. В., Самоглядов А. Д., Шимко О. І.

ФОРМОУТВОРЕННЯ ПУСТОТІЛИХ ДЕТАЛЕЙ СПОСОБАМИ КОМБІНОВАНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ

У сучасній промисловості широко використовуються корпусні вісесиметричні деталі (штуцери, корпусу зарядів, перехідники, сопла і т. д.) циліндричної або конічної форми з різними потовщеннями або фланцями, з постійною або змінною товщиною стінки. Холодне об'ємне штампування (ХОШ) видавлюванням є ефективним методом виготовлення деталей такої форми зі сплавів, що мають досить високу пластичність і низький опір деформуванню [1].

Для виготовлення широко поширених в промисловості деталей типу стакану з фланцем використовуються в різній послідовності всі основні способи холодного видавлювання. Традиційно такі пустотілі деталі отримують способом зворотного видавлювання [2]. До факторів, які обмежують можливості процесів ХОШ, відносять високі навантаження на інструмент і простоту форм штампованих деталей. Обмеженням цих способів є також нерівномірність деформованого стану, яка особливо проявляється при видавлюванні складнопрофільованих деталей, коли в різних зонах заготовки, що деформується, спостерігається значна різниця в характері напружено-деформованого стану [1, 2].

Перспективним напрямком розвитку технології є пошук і вивчення нових схем штампування, що забезпечують оптимізацію силового режиму і розширення можливостей процесів холодного деформування [2, 3]. З точки зору зниження робочих навантажень на інструмент найбільш перспективним способом одержання пустотілих циліндричних деталей з фланцем і конічних деталей є комбіноване видавлювання [4]. Комбіновані схеми можна віднести і до способів, що забезпечує суттєве розширення можливостей технологій ХОШ.

Способи поздовжнього зворотно-прямого видавлювання є в даний час найбільш дослідженими і поширеними методами отримання деталей типу стаканів і гільз з відростком (рис. 1, схема 1) [1–3]. Однак, і для їх вдосконалення запропоновані нові оригінальні методи, такі як видавлювання з активним тертям, крученням, з рідинним тертям та ін. [2, 3].

Спосіб радіально-зворотного видавлювання має перевагу в продуктивності і точності деталей, що обумовлено обробкою деталі в одній і тій же матриці без переміщення на послідовних операціях видавлювання пустотілої частини і фланця (рис. 1, схема 2) [4]. У роботах, присвячених даному способу, розглянуті в основному силовий режим процесу і особливості формозміни заготовки [5, 6]. В роботі [6] також виконаний комп'ютерний (в програмному комплексі Deform 2D) аналіз режиму течії металу з урахуванням впливу кута торця пуансона в процесах зворотного і комбінованого радіально-зворотного видавлювання заготовок зі сталі, що пройшла загартовування. Вивченню граничних можливостей процесу видавлювання деталей типу стакану з фланцем присвячена робота [7].

До способів, що значно знижують енергетичні витрати, можна віднести і послідовне комбіноване радіально-пряме видавлювання з роздачею, що забезпечує формоутворення подовжених пустотілих деталей типу гільз і стаканів в оптимальному режимі (рис. 1, схема 3) [8–10].

Зворотне видавлювання конічних стаканів є вельми енергоємним методом штампування, що обумовлено значною поверхнею контактного тертя. Тому і для такого типу деталей спосіб комбінованого видавлювання може бути ефективним (рис. 1, схема 4). Енергосиловий режим і деякі особливості отримання пустотілих деталей типу конічних стаканів видавлюванням розглянуті в статтях [11, 12].

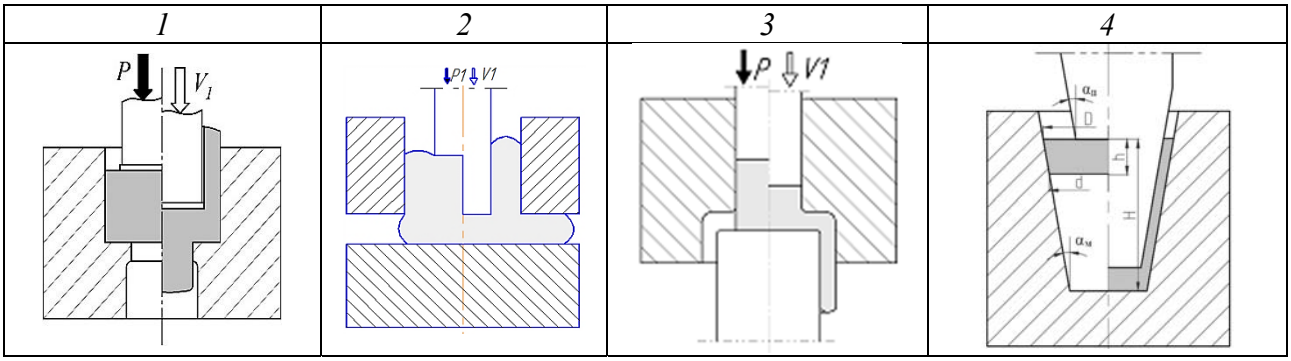


Рис. 1. Схеми комбінованого видавлювання пустотілих деталей

Таким чином, для вирішення питання про застосування того чи іншого способу комбінованого видавлювання необхідно розширити уявлення про закономірності формоутворення деталей і, зокрема, оцінити деформований стан та можливості технологічних схем деформування.

Метою даної роботи є дослідження деформованого стану та можливостей формоутворення порожнистих деталей різними способами комбінованого поперечно-поздовжнього видавлювання.

Для дослідження деформованого стану заготовки при радіально-зворотному видавлюванні використовували методи комп'ютерного та мікроструктурного аналізів, а також метод ділильних сіток. Результати експериментальних досліджень деформованого стану в процесі комбінованого радіально-зворотного видавлювання показали результати (рис. 2 і 3, а) близькі до отриманих при СЕ-моделюванні [7]. З початку процесу осередок деформації радіального і зворотного видавлювання рознесені один від одного, що перешкоджає виникненню поверхонь з високим градієнтом деформацій і інтенсивними зсувами. Цю особливість наявності розділеного осередку деформації з двома автономними ділянками слід враховувати при виборі поля швидкостей і аналізі силового режиму і формозміни заготовки в процесі штампування.

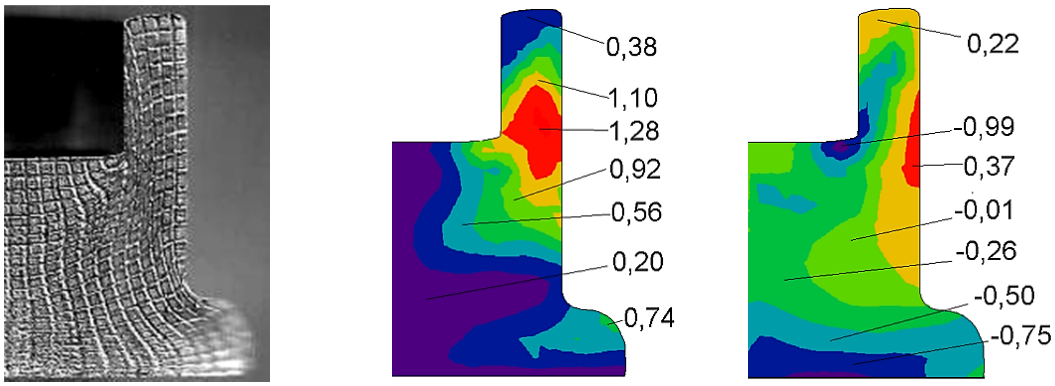


Рис. 2. Викривлення сітки і поля деформацій при видавлюванні стакану з фланцем

Особливість також і в тому, що хоча інтенсивна деформація і зосереджується в окремих зонах у вихідних отворів, в проміжній зоні, яку прийнято вважати жорсткою, деформація також наростає і в цілому деталь стає в достатньому ступені рівноміцною. Перевагою способу є протікання процесу в оптимальному режимі, що саморегулюється. Ця особливість дозволяє, наприклад, домогтися досить чіткого формування фігурного фланця в закритій порожнині без побоювання перевантаження інструменту.

Металографічному дослідженню піддавалися зразки з латуні 68. Загальний вигляд із зазначенням зразків для проведення дослідження наведено на рис. 3, б. В ході дослідження визначено хімічний склад металу, виконані виміри мікротвердості по перетину зразків, вивчена мікроструктура матеріалу. Зразки для дослідження мікроструктури металу – мікрошліф були виготовлені на шліфувально-полірувальному верстаті LaboPol-5. Мікроструктура металу отримана методом травлення водним розчином соляної кислоти і піддавалася дослідженню за допомогою великого фотомікроскопа відбитого світла «NEOPHOT 30». Макроструктура металу сфотографована за допомогою дослідного стереомікроскопічного мікроскопа системи SZX16 (OLYMPUS).

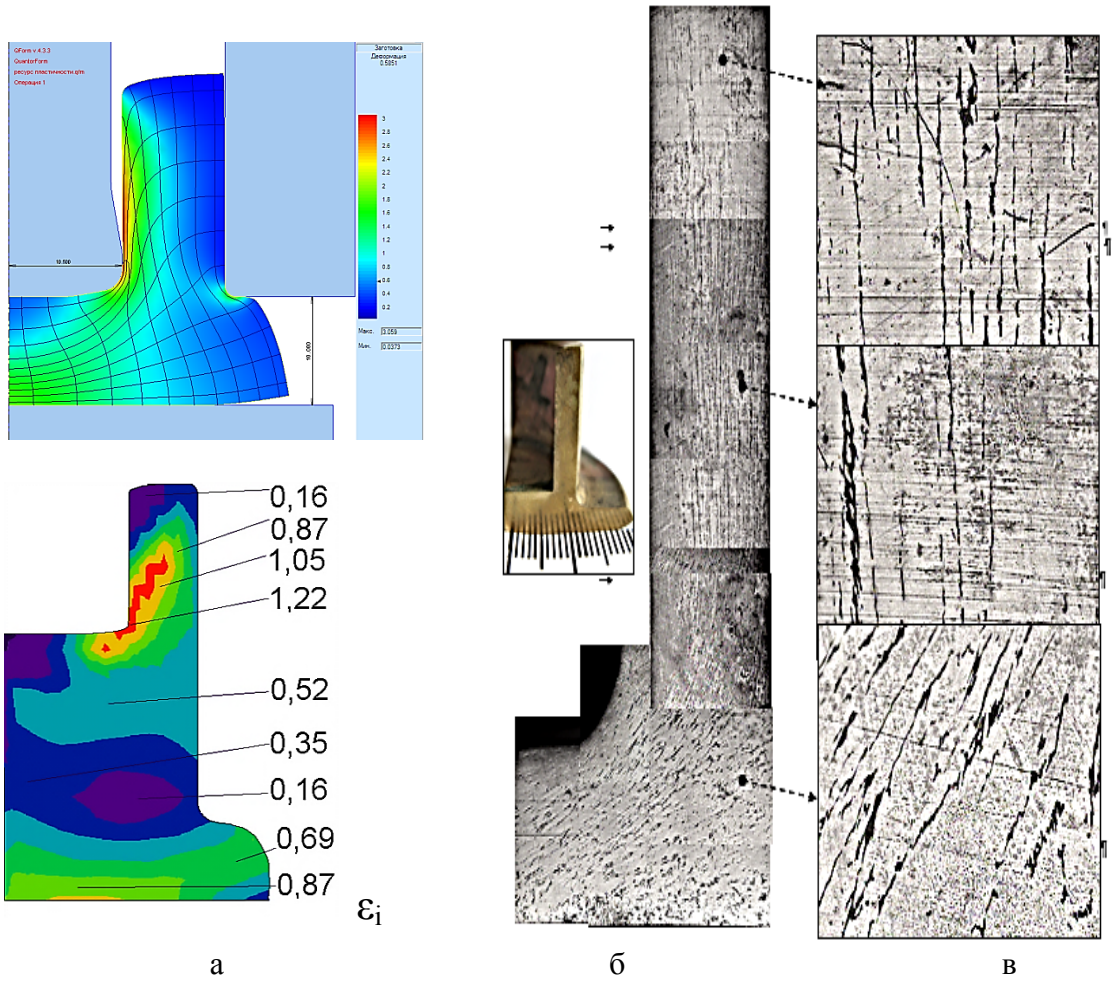


Рис. 3. Деформований стан при комбінованому видавлюванні (а), макроструктура (× 25) і мікроструктура (× 100) металу деталі (б, в)

З отриманих картин видно, що пропрацьованість структури металу відповідає картині розподілу деформацій, отриманих методом ділильних сіток. Найбільш деформовані ділянки прилягають до внутрішньої поверхні стакані і в зоні переходу від дна порожнини до стінки стакану. Біля дна стакану також розташовується зона, де спостерігається підвищена ступінь деформації. Тут метал заготовки піддається безперервному стиску протягом всього процесу деформування. Зони, що прилягають до верхньої кромки стакану, деформовані слабкіше, але в цілому отримали достатнє зміцнення.

Для виготовлення пустотілих деталей типу стакану і гільз застосування способів радіально-прямого видавлювання з роздачею доцільно, оскільки площа впливу деформуючого пуансона на заготовку істотно менше діаметра порожнини одержуваного стакану, а це прямий

шлях до зниження потрібних сил для видавлювання. При цьому, можливості радіально-прямого видавлювання не обмежені отриманням тільки вісесиметричних виробів типу стакану з постійною товщиною стінки по висоті порожнини, з симетрично розташованим зовнішнім осьовим відростком або без нього [10]. Новий спосіб видавлювання передбачає отримання профільованих стаканів зі змінною товщиною стінки, що може істотно розширити номенклатуру штампованих виробів і підвищити ефективність процесу радіально-прямого видавлювання з роздачею [13]. Для підтвердження можливостей способу радіально-прямого видавлювання була проведена (спільно з Чучіним О. В., канд. техн. наук, доц.) серія дослідів з виготовлення порожнистих деталей зі складним зовнішнім і внутрішнім контурами. Мірні заготовки виготовляли з прокату (матеріал АД1 і свинець С1) діаметром 28 мм і довжиною від 55 до 65 мм. Відповідно до патенту [13], складний зовнішній та внутрішній контур пустотілих деталей отримували за послідовні переходи, які забезпечували необхідну кінематику руху складових частин робочих інструментів (пуансонів і матриць) і переналагодження на необхідні розміри цієї ділянки деталі, що штампується.

Отримані пустотілі деталі мали циліндричну зовнішню і внутрішню бокові поверхні з однією або двома сходинками на внутрішній боковій поверхні. Для отримання сходинок на внутрішній боковій поверхні пустотілого виробу було потрібно на відповідних переходах зменшити поперечні розміри нижніх пуансонів, а для отримання бічних конічних поверхонь необхідно було збільшити діаметри отворів формотворчих ділянок матриць. Пустотілий виріб зі змінною товщиною стінки по висоті порожнини (з однією сходинкою на внутрішній боковій поверхні) було отримано за два переходи (рис. 4). Після отримання на першому переході пустотілого напівфабрикату з товщиною стінки 3 мм і на другому переході за рахунок зменшення діаметра робочої ділянки нижнього пуансона з 50 мм до 44 мм радіально-прямим видавлюванням була сформована сходинка на внутрішній боковій поверхні.

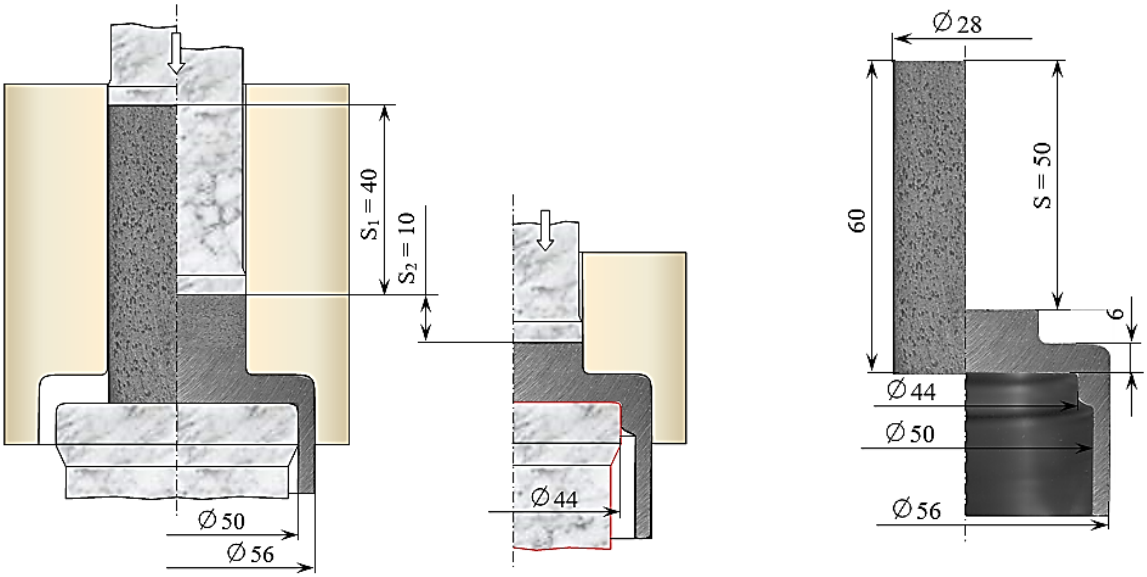
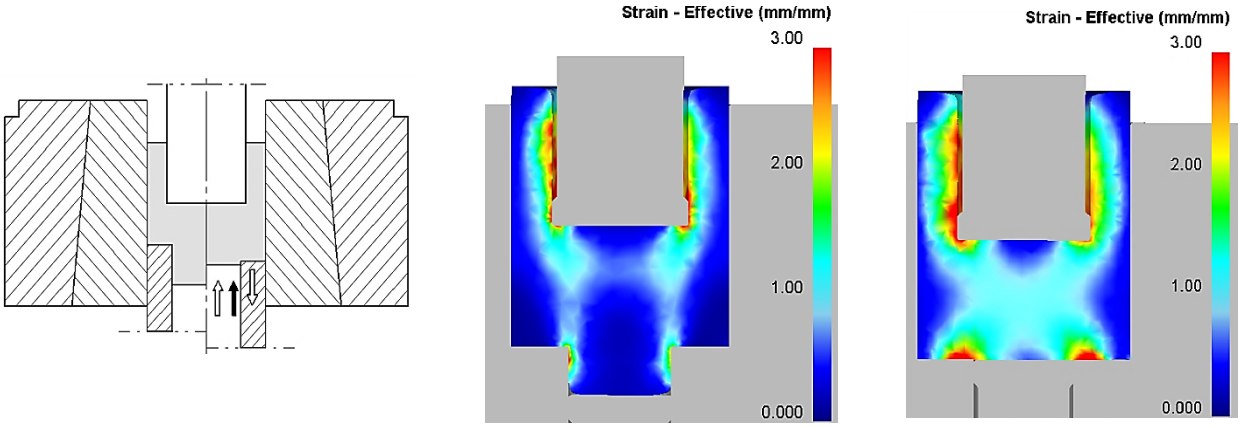


Рис. 4. Виготовлення профільованого пустотілого виробу типу стакану зі сходинкою на внутрішній поверхні

Як було відзначено, недоліком способів видавлювання пустотілих деталей є неоднорідність механічних властивостей металу виробів, яка особливо проявляється у виробів з великою товщиною дна, коли товщина дна деталі дорівнює радіусу порожнини або вище його. У той час коли в стінці стакану метал набуває хорошого пропрацювання, в центральній зоні донної частини ступінь деформації незначний [11].

Зниження нерівномірності деформації за новим способом досягається тим, що деформування відбувається в два етапи таким чином, що на першому етапі одночасно виконують зворотне видавлювання стінки стакану і пряме видавлювання з утворенням технологічного відростка в донній частині стакану, а на другому етапі відбувається витіснення (на зразок радіального видавлювання) металу з відростка назад в донну частину стакану (рис. 5) [14].



а б в

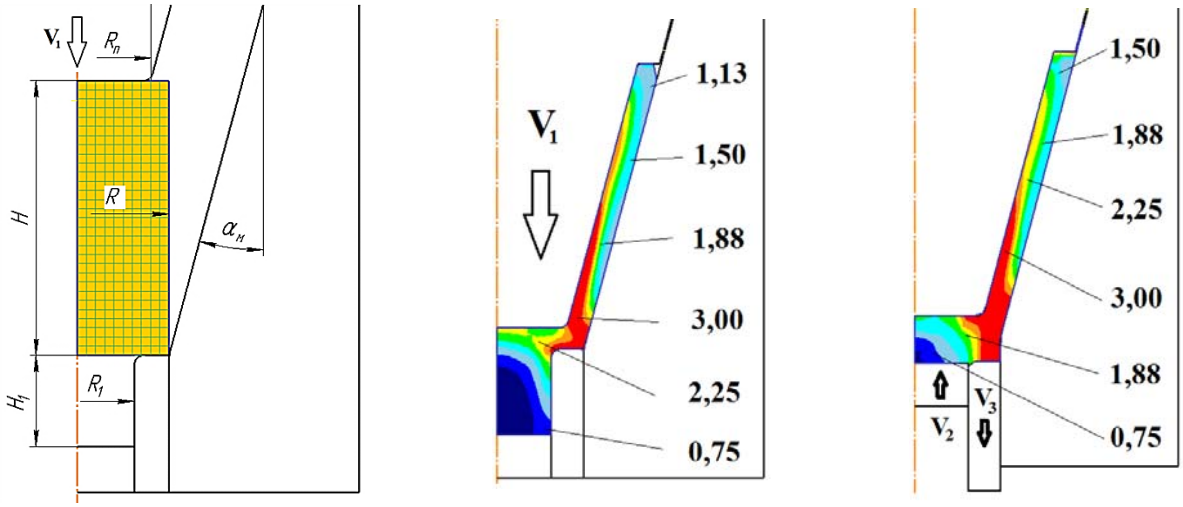
Рис. 5. Спосіб зниження нерівномірності деформування пустотілих деталей: схема процесу (а) і поля деформацій (б, в)

Застосування даного способу можливо і при виготовленні конічних стаканів. Моделювання процесу комбінованого видавлювання проводилось в програмному комплексі Deform 2D. Матеріал заготовки – алюміній Al-1100. Знакозмінна деформація, якій піддається метал за рахунок спочатку прямого переміщення металу у відросток, а потім зворотного – в донну частину стакану, забезпечує хороше пропрацювання металу деталі (див. рис. 6, б і в). Для видавлювання використані заготовки з розмірами R = 20 мм, H = 60 мм (рис.6, а). Кути нахилу матриці і пуансона були прийняті $\alpha_м = \alpha_п$ = 15 °, а умовам контактного тертя на обох інструментах відповідав коефіцієнт тертя μ = 0,08. Радіус відростка склав R_1 = 12,5 мм, а висота H_1 = 20 мм. Радіус пуансона Rn = 16 мм. Хід верхнього пуансона S_1 = 55 мм, а нижнього – S_2 = 12 мм.

Були отримані і проаналізовані поля розподілу інтенсивності деформацій після етапу комбінованого видавлювання стакану з відростком (див. рис. 6, б) і після зворотного переміщення металу відростка в донну частину стакану і завершення процесу (див. рис. 6, в). Встановлено, що як і у випадку видавлювання циліндричних стаканів, інтенсивність деформацій в донній частині виробів помітно зростає за рахунок застосування знакозмінного деформування (прямого видавлювання відростка і радіального видавлювання металу з відростка в донну частину деталі). Дно конічного стакану має більш високу ступінь пропрацювання металу, ніж в процесі простого видавлювання.

Для зіставлення способів зворотного і комбінованого видавлювання конічних стаканів було проведено моделювання процесів в програмному комплексі Deform 3d. Розміри одержуваних деталей однакові для двох розглянутих випадків (рис. 7). Товщина дна кінцевого виробу становила 5 мм, товщина стінки стакану – 3,75 мм, висота – 50 мм. Внутрішній діаметр матриці дорівнює 28 мм. Діаметр пуансона склав – 20,5 мм (див. рис. 7, А, Б). Кут конусності матриці і пуансона дорівнює 10°. Циліндрична заготовка мала діаметр 28 мм і висоту 30 мм. Для процесу комбінованого видавлювання використовується конічна заготовка з великим діаметром 41 мм, висотою 12,5 мм і кутом конусності 10°, що корисно для кращого центрування в матриці. Матеріал заготовки алюмінієвий сплав АД31. Умовами контактного тертя на робочих поверхнях відповідали коефіцієнти тертя 0,08–0,4 (за Зібелем).

Комбіноване видавлювання дозволяє отримати деталі з високою точністю розмірів і з якісною структурою за рахунок зсувних деформацій.



а б в

Рис. 6. Схема процесу комбінованого видавлювання конічного стакану (а) і поля розподілу інтенсивності деформацій (б, в)

Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією по перетину стінок і донної частини деталі можна оцінити за розподілом інтенсивності деформації ε_i в заготовці після видавлювання. На рис. 7 такий розподіл деформації дано для варіантів зворотного (рядок А) і комбінованого (рядок Б) для послідовних стадій по ходу пуансона, зазначеного на рис. 7 в міліметрах.

Перед початком зворотного видавлювання вихідна заготовка розташована на дні матриці (див. рис. 7, А). Поступальний рух пуансона забезпечує течію металу в зворотному напрямку в змінний зазор між матрицею і пуансоном, в результаті чого відбувається формування стінки стакану деталі переважно за рахунок стиснення. Стінка деталі, отриманої зворотним видавлюванням, має зону максимальної інтенсивної пластичної деформації, яка проходить здебільшого на внутрішній поверхні стакану, як це спостерігалося і при видавлюванні циліндричних стаканів. Однак при зворотному видавлюванні залишається слабко пророблена зона виробу під пуансоном.

Формозміна заготовки на основній стадії процесу комбінованого видавлювання (див. рис. 7, Б) відбувається за схемою комбінованої течії: метал продавлюється вниз і видавлюється вгору, в стінку деталі при одночасному виникненні активних сил тертя і зсувних компонент деформації. При досягненні заготовкою торця противопуансона процес переходить у заключну стадію, для якої характерно стиснення металу в зонах дна і стінки і зворотного видавлювання металу.

При комбінованому видавлюванні пропрацювання структури має більш рівномірний характер з меншою довжиною зони максимальної інтенсивної деформації єі. Для обох схем видавлювання характерна низька пропрацюваність верхнього торця стінки деталі.

Одним з технологічних факторів, що впливають на формозміну заготовки, є умова контактного тертя, яка задається величиною коефіцієнта тертя. При співвідношенні радіусу пуансона до радіусу матриці в діапазоні від 0,4 до 0,8 збільшення коефіцієнта тертя на пуансоні більшою мірою впливає на силові параметри процесу, а при мінімальних значеннях коефіцієнта тертя – ще і на формозміну. При великих значеннях співвідношення радіусів і менших силах тертя, на поверхні інструментів спостерігається більш інтенсивне переміщення металу в прямому напрямку.

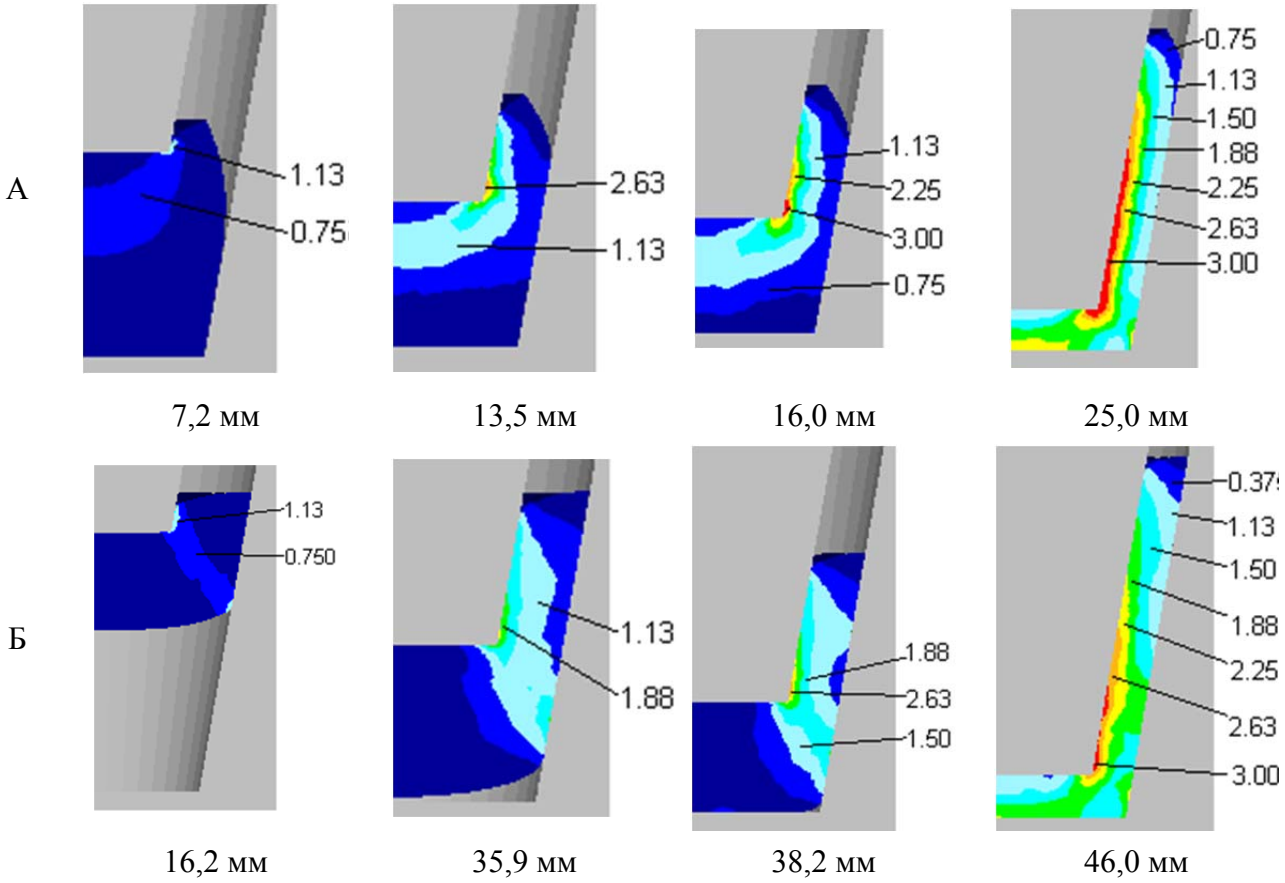


Рис. 7. Розподіл інтенсивності деформації ε_i за перетином заготовки по ходу процесу (в мм) при зворотному (А) і комбінованому видавлюванні (Б)

Комп'ютерні моделі показують, що коли значення коефіцієнтів тертя на матриці і пуансоні мінімальні і сприяють більш інтенсивному течією металу в прямому напрямку і товщина стінки стакану досягає певної величини, на основній стадії видавлювання в стінці стакану формується лінія розділу течії металу в прямому і зворотному напрямках. Вплив лінії розділу на формозміну може виражатися і в появі дефекту у вигляді утяжини, тобто порожнечі перед торцем пуансона, викликаної випереджаючим переміщенням металу вниз. Оцінка впливу ступеня обтиснення (співвідношення радіусів пуансона і матриці) і кутів нахилу інструментів на власну появу дефекту у вигляді утяжини перед торцем пуансона вимагає подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

Для видавлювання деталей типу стакану з фланцем, розташованим у дна деталі слід використовувати схему, яка поєднуватиме способи зворотного і радіального видавлювання. Для оцінки деформованого стану при комбінованому радіально-зворотному видавлюванні стакану з фланцем використані методи ділильних сіток і мікроструктурного аналізу. Встановлено, що процес протікає при наявності двох автономних осередків деформації, а найбільш інтенсивно деформовані зони прилягають до внутрішньої поверхні порожнини. Результати досліджень мають якісний збіг з результатами аналізу методом скінченних елементів.

Експериментально доведено можливість виготовлення з вихідної суцільний заготовки складнопрофільованих пустотілих деталей із змінною товщиною стінки і ступінчастою порожниною або зовнішньою поверхнею способом послідовного радіально-прямого видавлювання – спосіб отримання деталей типу глибоких гільз і стаканів.

Запропоновано спосіб видавлювання деталей типу стакану з товстим дном, за яким з метою зниження нерівномірності деформації за перетином деталі метал в зоні дна стакану піддають знакозмінній деформації шляхом прямого видавлювання металу у відросток і поворотного радіального видавлювання в зону дна.

Проведено СЕ-моделювання процесу видавлювання пустотілої конічної деталі за допомогою програмного продукту Deform-2D. Розглянуто зміну картин розподілу інтенсивності деформацій у конічних деталей, отриманих зворотним і комбінованим видавлюванням. Підтверджено загальний характер розподілу деформацій у пустотілих деталей типу стакану з глухим отвором.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. – 144 с.

2. Алиев И. С. Интенсификация технологических процессов выдавливания полых деталей / И. С. Алиев, В. П. Еремин // Совершенствование процессов и машин обработки давлением : сб-к научн. тр. – К. : УМК ВО. – 1988. – С. 9–18.

3. Дмитриев А. М. Технология ковки и объемной штамповки. Часть 1. Объемная штамповка выдавливанием: учебник для вузов / А. М. Дмитриев, А. Л. Воронцов. – М. : Машиностроение–1, 2005. – 500 с.

4. Алиева Л. И. Процессы комбинированного деформирования и выдавливания // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2016. – № 1 (42). – С. 100–108.

5. Forming load and deformation energy in combined radial backward extrusion process / H. Y. Lee, B. B. Hwang, S. H. Lee // Proceedings of the Int. Conf. "Metal Forming 2012" 16-19.09.2012, AGH, Krakow. – P. 487–490.

6. Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process / Jeong-hoon Noh , Beong Bok Hwang , and Ho Yong Le // Metals and Materials International. - 2015. Vol. 21, No. 6, pp. 1091~1100. – doi: 10.1007/s12540-015-5276-y.

7. Технологическая деформируемость при штамповке стаканов с фланцем [Электронный ресурс] / Л. И. Алиева, С. В. Мартынов, Н. С. Грудкина, А. Д. Комиренко // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (11).– С. 20–24. – URL : http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/%E2%84%961(11%D0%95)_2013/article/5.pdf.

8. Исследование возможностей комбинированного продольно-поперечного выдавливания полых полуфабрикатов из прутковых заготовок / Г. А. Данилин, Н. П. Агеев, Д. С. Филин [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. ОМД. – 2015. – № 6. – С. 11–16.

9. Jafarzadeh H. Numerical studies of some important design factors in radial–forward extrusion process / H. Jafarzadeh, M. Zadshakoyan, E. Abdi Sobbouhi // Materials and Manufacturing Processes. – 2010. – №25. – P. 857–863.

10. Изготовление сложнопрофилированных деталей в процессе радиально-прямого выдавливания / Л. И. Алиева, И. С. Алиев, Д. А. Картамышев, Е. И. Донченко, О. В. Чучин // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2018. – № 2 (47) – С. 22–28.

11. Алиев И. С. Комбинированное выдавливание полых конических деталей из заготовок различной формы / И. С. Алиев, П. В. Гнездилов // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2015. – № 2 (41). – С. 162–165.

12. Экк Е. В. Определение формоизменения и усилия комбинированного выдавливания полых поковок конической формы / Е. В. Экк, А. Э. Даммер, В. Т. Кононов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 2. – С. 46–50.

13. Пат. 67960 Україна, B21K21/00, B21K23/04. Спосіб видавлювання порожнистих деталей з фасонною бічною поверхнею / І. С. Алієв, О. К. Савченко, Л. І. Алієва, О. В. Чучин ; заявник і патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № 2003076832 ; заявл. 21.07.03 ; опубл. 15.07.04, Бюл. № 7.

14. Пат. 107950 Україна, МПК B 21 J 5/12, B 21 K 21/00. Спосіб виготовлення порожнистих виробів типу стакана / Л. І. Алієва, Х. В. Гончарук, О. В. Шкира, Р. І. Сивак ; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201513100 ; заявл. 30.12.15 ; опубл. 24.06.16, Бюл. № 12.

Стаття надійшла до редакції 11.03.2019 р.