

Холодне штампування заготовки гільзи гранатометного пострілу калібру 40×53 мм

М. В. Орлюк¹ • В. В. Піманов¹ • В. О. Жуков²

Received: 23 September 2021 / Accepted: 24 November 2021

Проблематика. Вибір раціонального способу штампування заготовок, що мають дві порожнини, зазвичай здійснюється за допустимим ступенем деформації, коефіцієнтом використання матеріалу, продуктивністю процесу без урахування впливу схеми деформування на кінцеві механічні властивості штампованого напівфабрикату.

Мета дослідження. Визначення раціонального способу штампування заготовки гільзи гранатометного пострілу калібру 40×53 мм за результатами комп'ютерного моделювання з використанням методу скінченних елементів. Матеріал гільзи – алюмінієвий сплав АД35. Заготовка має дві порожнини різних діаметрів та глибини.

Методика реалізації. За допомогою комп'ютерного моделювання з використанням методу скінченних елементів досліджено два варіанта штампування заготовки – двостороннє видавлювання та послідовне зворотнє видавлювання з кантуванням заготовки.

Результати дослідження. За результатами досліджень визначені особливості деформування за заданими схемами, а також енергосилові параметри та параметри НДС процесів. Встановлено, що обидва способи дозволяють отримати заготовки з заданими геометричними розмірами. При цьому послідовне зворотнє видавлювання забезпечує більш рівномірне та прогнозоване деформування матеріалу по поперечному перерізу заготовки, однак програє у продуктивності двосторонньому видавлюванню.

Ключові слова: порожниста заготовка, двостороннє видавлювання, зворотнє видавлювання, інтенсивність деформації, критерій руйнування.

Вступ

Раціональні технології виготовлення гільз стрілецьких та артилерійських набоїв неможливі без використання заготовок, отриманих штампуванням [1–5]. У виробництві більшості типорозмірів гільз використовуються заготовки з однією порожниною (заготовка типу стакан). Проте існують гільзи, наприклад гільзи гранатометного пострілу калібру 40×53 мм, для яких оптимальною, з точки зору збільшення коефіцієнту використання матеріалу, є заготовка з двома порожнинами, що мають різні діаметри та глибину (рис. 1).

Основним способом виготовлення подібних заготовок є штампування видавлюванням, яке може бути

реалізоване за двома схемами – двостороннім (одночасним) видавлюванням або послідовним зворотним видавлюванням порожнин з кантуванням заготовки [6, 7].

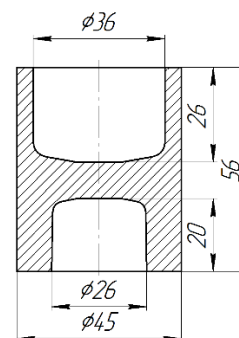


Рис. 1. Порожниста заготовка гільзи гранатометного пострілу калібру 40×53 мм

Двостороннє видавлювання вважається більш продуктивним та енергоефективним, однак для його

✉ М. В. Орлюк
tinorkpi@ukr.net

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

² КБ “Вектор”, Київ, Україна

реалізації потрібні штампи більш складної конструкції, габарити штампів збільшуються, а точність штампованого напівфабрикату (співвідношення порожнин) певною мірою зменшується.

Мета роботи

Метою даної роботи є визначення раціонального способу штампування заготовки гільзи гранатометного пострілу калібру 40×53 мм за результатами комп'ютерного моделювання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ).

Чисельні розрахунки

При виготовленні заготовок, які мають дві порожнини однакового діаметру та глибини, перевага надається холодному двосторонньому видавлюванню [6, 7]. Формоутворення порожнин при цьому зазвичай здійснюється без обмеження течії матеріалу заготовки по висоті. В нашому випадку напівфабрикат має порожнини різного діаметру і, у відповідності до закону найменшого опору [8], інтенсивніше формуватися буде порожнина меншого діаметру, а характер заповнення порожнин (їх глибина) буде залежати від сил тертя на контактних поверхнях. Це підтверджується результатами моделювання процесу двостороннього видавлювання в середовищі DEFORM (рис. 2). При моделюванні використовувалась пружно-пластична модель матеріалу, матеріал АД35, швидкість деформуючого інструменту – 5 мм/с. Сили тертя розраховувались за законом Зібеля, який рекомендовано використовувати для врахування тертя в операціях об'ємного штампування [9].

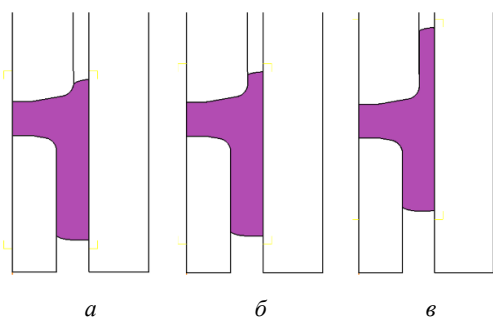
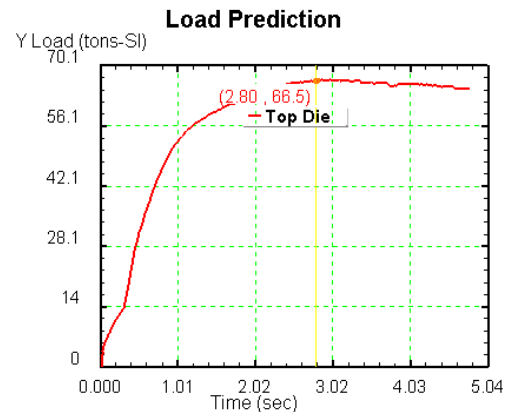


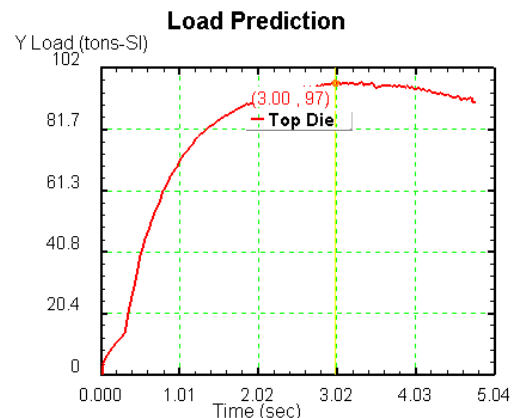
Рис. 2. Вплив сил тертя на формування порожнин за двостороннього видавлювання; а – фактор тертя 0; б – фактор тертя 0,1; в – фактор тертя 0,4

Як видно з рис. 2, порожнина більшого діаметру утворюється лише за значних сил тертя. Але варіант штампування зі значними силами тертя певної величини не може бути прийнятним для масового виробництва, оскільки такий процес видавлювання буде нестабільним (забезпечити певне постійне значення сил тертя в реальних умовах неможливо). Крім того значні

сили тертя, в свою чергу, призведуть до інтенсивного зношування робочих деталей штампу (пуансонів, матриці-контейнера), тобто до зниження стійкості штампового оснащення та точності штампованих напівфабрикатів, а також збільшення енергосилових витрат. Так з рис. 3 видно, що збільшення фактору тертя за Зібелем з 0,1 до 0,4 призводить до збільшення технологічного зусилля у 1,5 рази.



а



б

Рис. 3. Вплив сил тертя на технологічне зусилля двостороннього видавлювання а – фактор тертя 0,1; б – фактор тертя 0,4

При цьому результати моделювання показують, що навіть за значних сил тертя отримати необхідні розміри порожнин без примусового обмеження течії металу в напрямку порожнини меншого діаметру неможливо. В свою чергу, при обмеженні течії металу по висоті напівфабрикату практично втрачаються усі переваги двостороннього вільного видавлювання, окрім збільшеної продуктивності процесу (можливості отримати заготовку за одну операцію).

Так, наприклад, при обмеженні течії металу для формування порожнини меншого діаметру не можна використовувати пуанسونи з калібруючим пояском, оскільки за такої геометрії буде відбуватись повне заповнення порожнини та охоплення пуансона металом (рис. 4).

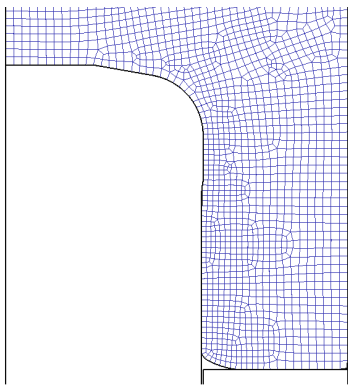


Рис. 4. Картина заповнення порожнини при обмеженні течії металу по висоті напівфабрикату

Це практично унеможлиблює виштовхування відштампованої заготовки із штамп та може призвести до руйнування пуансона або елементів штампного оснащення при виштовхуванні. Тому при двосторонньому видавлюванні з обмеженням течії металу пуансон, що формує порожнину меншого діаметру, має бути або циліндричним (при цьому значно зростають зусилля виштовхування заготовки зі штамп), або конусним (зусилля виштовхування зменшуються, проте зменшується й коефіцієнт використання матеріалу). Крім цього значно зростає зусилля видавлювання в кінці процесу (рис. 5), а утворення порожнин відбувається послідовно (рис. 6).

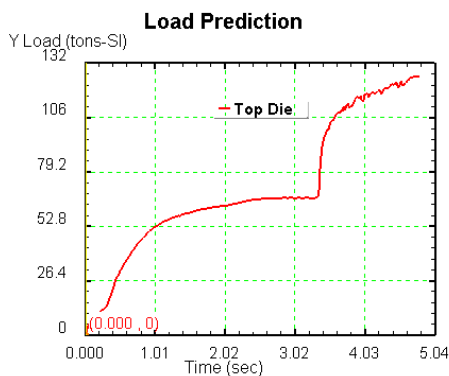


Рис. 5. Графік зміни зусилля двостороннього видавлювання з обмеженням течії металу

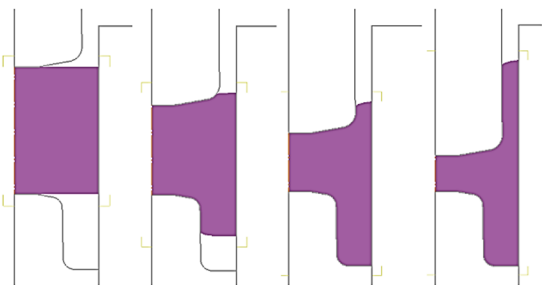


Рис. 6. Послідовність формування порожнин при двосторонньому видавлюванні з обмеженням течії металу

Забезпечення ж надійного виштовхування відштампованого напівфабрикату зі штамп при штампуванні за даною схемою призводить до ще більшого ускладнення конструкції штамп [7].

Під час натурного експерименту по штампуванні заготовки за схемою двостороннього видавлювання в штампі, схема якого зображена на рис. 7, відбулось руйнування деформуючої частини нижнього пуансона (рис. 8). Причиною стала недостатня жорсткість системи штамп-прес та відсутність жорсткого направлення верхнього пуансона відносно контейнера-матриці, що призвело до зміщення в процесі деформування осі верхнього пуансона відносно осі штамп.

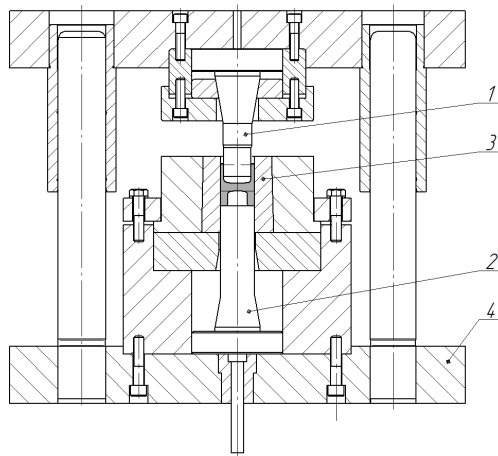


Рис. 7. Схема штамп для двостороннього видавлювання з обмеженням течії металу: 1 – верхній пуансон; 2 – нижній пуансон; 3 – контейнер-матриця; 4 – штампний блок з колонками-втулками та виштовхувачем



Рис. 8. Заготовка з відламаною деформуючою частиною нижнього пуансона

Поява ексцентриситету у розташуванні пуансонів та контейнера в процесі деформування призводить до нерівномірного заповнення металом нижньої порожнини, що підтверджується результатами моделювання (рис. 9). Це, в свою чергу, створює несиметричне (неврівноважене) навантаження деформуючої частини нижнього пуансона.

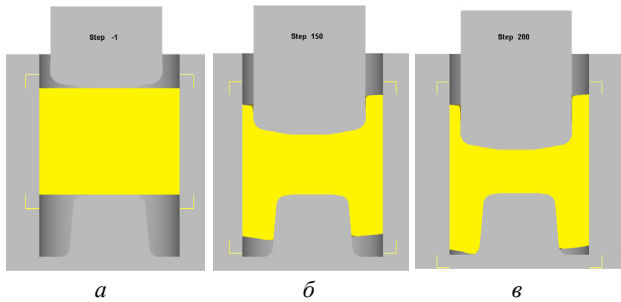


Рис. 9. Послідовність формоутворення порожнин за наявності ексцентриситету між верхнім та нижнім пуансонами та контейнером

На рис. 10 представлено картину розподілу радіальних напружень в перерізі напівфабрикату, а на рис. 11 – розподіл нормального тиску на деформуючій частині нижнього пуансону. На рис. 10 видно, що в повністю заповненій (лівій) частині нижньої порожнини напівфабрикату радіальні стискаючі напруження коливаються в межах 600...1200 МПа, в правій частині – 300...900 МПа. Відповідно зліва на деформуючій частині нижнього пуансону питомі зусилля становлять приблизно 800...900 МПа, а справа питомі зусилля змінюються в широкому діапазоні 500...800 МПа.

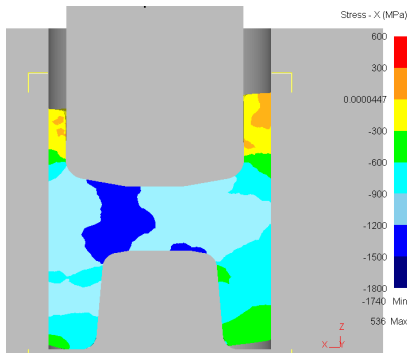


Рис. 10. Розподіл радіальних напружень в перерізі напівфабрикату при штампуванні з ексцентриситетом у розташуванні пуансонів

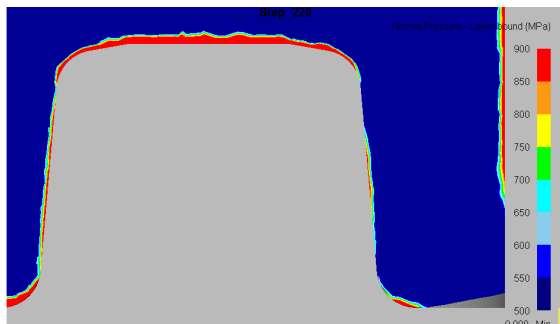


Рис. 11. Розподіл нормального тиску на деформуючій частині нижнього пуансону при штампуванні з ексцентриситетом у розташуванні пуансонів

Таке несиметричне навантаження викликає появу згинаючого моменту, прикладеного до деформуючої частини нижнього пуансону. При згині, відповідно, виникають додаткові розтягуючі напруження, які, з урахуванням можливих негативних факторів (недотримання режимів термічної обробки пуансону, наявності концентраторів напружень на радіусному переході та ін.), спровокували появу тріщини в місці радіусного переходу та руйнування пуансону.

З урахуванням вищезазначених недоліків двостороннього видавлювання з обмеженням течії металу по висоті, альтернативним та конкурентним варіантом штампування подібних напівфабрикатів може стати послідовне зворотне видавлювання порожнин з кантуванням заготовки [6], яке виконується в послідовності, зображеній на рис. 12. Такий варіант менш продуктивний, потребує більшої кількості пресового обладнання та штампового оснащення, але є більш прогнозованим. Величина сил тертя при послідовному штампуванні також буде впливати на зусилля штампування та стійкість інструменту, але практично не буде впливати на кінцеві розміри відштампованого напівфабрикату.

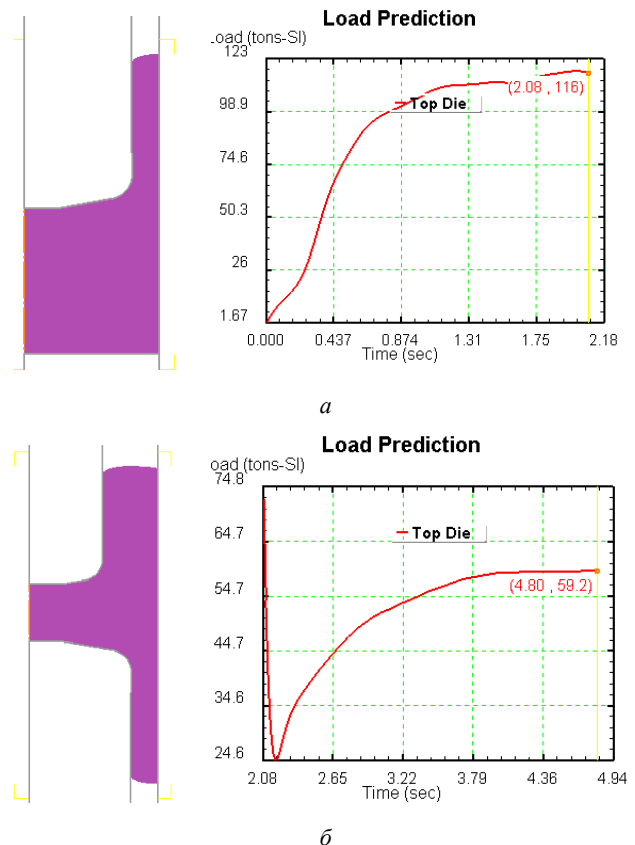


Рис. 12. Послідовне зворотне видавлювання порожнин з кантуванням заготовки: а – формування порожнини більшого діаметру та діаграма зусилля; б – формування порожнини меншого діаметру після кантування (перевороту) заготовки та діаграма зусилля

При моделюванні для прогнозування ймовірності руйнування матеріалу заготовки в процесі деформування [10, 11] використовувався критерій руйнування Normalizet C&L, значення якого визначаються за формулою

$$C = \int \frac{\bar{\epsilon} \sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon},$$

де $\bar{\epsilon}$ – накопичена пластична деформація, $d\bar{\epsilon}$ – приріст накопиченої деформації, σ^* – максимальне головне напруження, $\bar{\sigma}$ – інтенсивність напружень.

Як видно з рис. 13 картини розподілу значень критерію руйнування по поперечному перерізу заготовок, отриманих як двостороннім видавлюванням з обмеженням течії металу, так і послідовним видавлюванням з кантуванням подібні, а максимальні значення критерію руйнування знаходяться у межах 0,07...0,08 та не перевищують граничних значень [10, 11]. Тобто в нашому випадку видавлювання за даними схемами має відбуватись без руйнування напівфабрикату в процесі деформування.

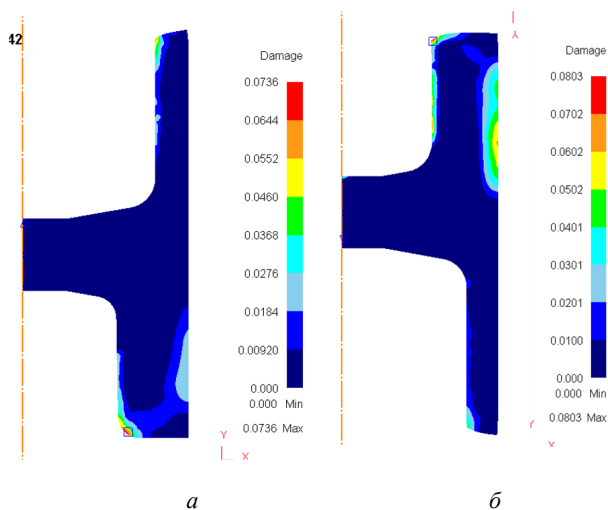


Рис. 13. Картина розподілу значень критерію руйнування Normalizet C&L: *a* – при двосторонньому видавлюванні порожнин з обмеженням течії металу; *б* – при послідовному зворотному видавлюванні з кантуванням

Однак отримання необхідних геометричних розмірів не єдина задача виробництва гільз стрілецьких та артилерійських набойів та заготовок до них. Не менш важливим є забезпечення заданих механічних властивостей металу у поперечному перерізі напівфабрикатів та готових виробів. За результатами моделювання певною мірою спрогнозувати механічні властивості можна за величиною інтенсивності деформації. На рис. 14 показано картину розподілу інтенсивності деформації напівфабрикатів, отриманих двостороннім та послідовним зворотним видавлюванням (фактор тертя за Зібелем 0,1).

Як видно з рис. 14 при послідовному зворотному видавлюванні (рис. 14, *б*) у поперечному перерізі напівфабрикату маємо більш рівномірну картину розподілу інтенсивності деформації як по товщині стінок, так і по перемичці між порожнинами. Максимальне значення інтенсивності деформації менше, ніж при двосторонньому видавлюванні (2,3 проти 2,6).

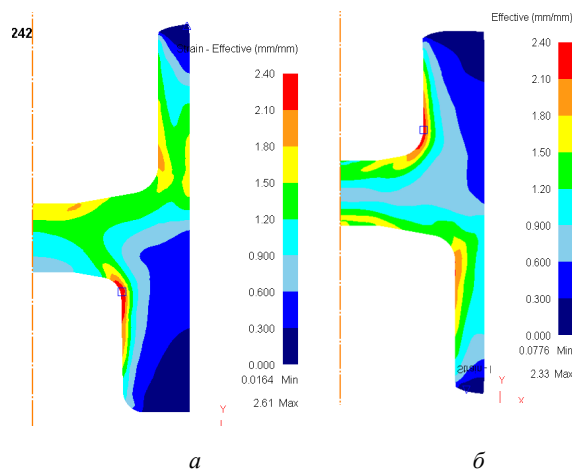


Рис. 14. Розподіл інтенсивності деформації (фактор тертя за Зібелем 0,1): *a* – при двосторонньому видавлюванні порожнин з обмеженням течії металу; *б* – при послідовному зворотному видавлюванні з кантуванням

При збільшених силах тертя (фактор тертя за Зібелем 0,4) нерівномірність розподілу інтенсивності деформації при двосторонньому видавлюванні значно зростає (рис. 15, *a*). Максимальне значення інтенсивності деформації становить 3,2, а в поперечному перерізі утворюються локалізовані значно зміцнені зони, в яких інтенсивність деформації перевищує 1,5. У результаті готовий виріб буде мати у поперечному перерізі значний градієнт механічних та пластичних властивостей, що збільшує ймовірність утворення локалізованих осередків деформації та концентраторів напружень при динамічному навантаженні гільз під час пострілу. А це у свою чергу може призвести до руйнування гільзи, що є неприпустимим [1].

При послідовному зворотному видавлюванні з кантуванням зростання сил тертя призводить лише до незначного зростання максимального значення інтенсивності деформації, але, в цілому, картина розподілу інтенсивності деформації залишається практично незмінною (рис. 14 *a*, 15 *a*), тобто результати деформування за схемою послідовного видавлювання менше залежать від впливу зовнішніх факторів, ніж при двосторонньому.

Внутрішні поверхні порожнин теж краще пропрацьовані при послідовному видавлюванні, ніж при двосторонньому. Відповідно під час навантаження (під дією тиску порохових газів при пострілі) гільза із заготовки, що отримана послідовним видавлюванням, буде

деформуватись і змінювати свою геометрію більш прогнозовано.

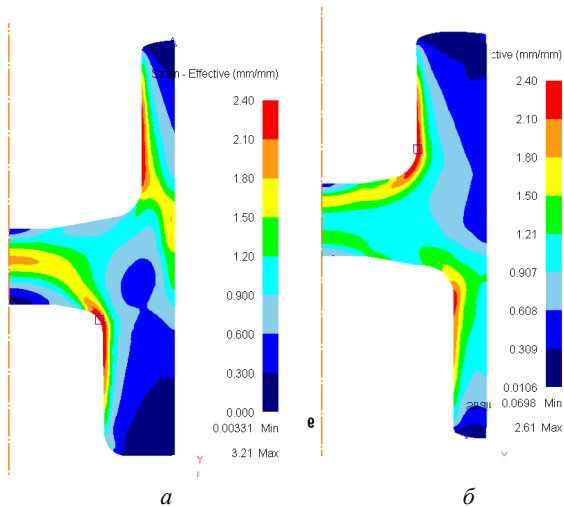


Рис. 15. Розподіл інтенсивності деформації (фактор тертя за Зібелем 0,4): *a* – при двосторонньому видавлюванні порожнин з обмеженням течії металу; *б* – при послідовному зворотному видавлюванні з кантуванням

Висновки

Отримані результати досліджень свідчать про те, що відштампувати задану заготовку можна як за схемою двостороннього, так і за схемою послідовного зворотного видавлювання. Обидва варіанти забезпечують

отримання необхідних геометричних розмірів заготовки гільзи калібру 40×53 мм за практично однакових енергосилових витрат.

Однак при двосторонньому видавлюванні з обмеженням течії металу по висоті, спостерігається значна нерівномірність деформування у поперечному перерізі відштампованого напівфабрикату як по висоті, так і по товщині стінок, яка при погіршенні умов деформування (при зростанні сил тертя) лише збільшується. При послідовному зворотному видавлюванні картина розподілу інтенсивності більш рівномірна та прийнятна з точки зору подальшої експлуатації готового виробу.

Значна нерівномірність механічних властивостей металу, викликана нерівномірністю деформування за схемою двостороннього видавлювання, може призвести до руйнування готової деталі під дією значних динамічних навантажень. Відповідно для вирівнювання механічних властивостей в такому випадку необхідна додаткова термічна обробка. При використанні заготовок, отриманих послідовним видавлюванням, така термічна обробка може не знадобитись.

Тому у виробництві гільз гранатометних пострілів калібру 40×53 мм при виборі варіанту штампування заготовок вирішальним може стати не продуктивність, притаманна двосторонньому видавлюванню, а прогнозованість та стабільність результатів деформування при послідовному зворотному видавлюванні з можливістю реалізації даного процесу на відносно простому та надійному штамповому оснащенні.

References

- [1] A.N. Malov, *Proizvodstvo patronov strelkovogo oruzhiya*, Moscow: Oborongiz, 1947.
- [2] N.P. Ageeva, Ed., *Spravochnik po tekhnologii patronnogo proizvodstva*, Vol. 1, Balt. gos. tekhn. un-t. SPb., 2011.
- [3] A.R. Safaryants, *Tekhnologiya patronno-gil'zovogo proizvodstva*. TsNII informatsii, 1975.
- [4] V.L. Kaliuzhnyi, O.S. Yarmolenko and K.L. Marchuk, “Shtampuvannia iz malovuhletsevoi stali zahotovky hilzy serednikh rozmiriv. Mechanics and Advanced Technologies,” Vol. 5, No. 1, 2021, pp. 113–121. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.1.234466
- [5] V.L. Kaliuzhnyi *et al.*, “Pidvyshchennia produktyvnosti taznyzhennia vytrat metalu pry shtampuvanni latunnykh hilz velykoi dovezhy,” *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, No. 2(30), 2021, pp. 85–95.
- [6] G.A. Navrotskogo, Ed., “Kholodnaya ob'emnaya shtampovka,” in *Kovka i shtampovka: Spravochnik*, Vol. 3, Moscow: Mashinostroenie, 1987.
- [7] G.A. Navrotskogo, Ed., *Kholodnaya ob'emnaya shtampovka. Spravochnik*, Moscow: Mashinostroenie, 1973.
- [8] M.V. Storozhev and E.A. Popov, *Teoriya obrabotki metallov davleniem*, Moscow: Mashinostroenie, 1977.
- [9] A.M. Laptev, Ya.Yu.Tkachenko and V.I. Zhabin, “Postroenie diagrammy dlya opredeleniya koeffitsienta treniya v formule Levanova po metodu osadki kol'tsa,” in *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnykh trudov*, Kramatorsk: DGMA, No. 3(28), 2011, pp. 129–132.
- [10] M.V. Orliuk, “Ghranychni znachennja kryterijiv rujnuvannja pry modeljuvanni procesiv vytjaghuvannja v seredovyshhi DEFORM,” *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnykh trudov*. No. 2(45), 2017, pp. 22–29. <https://doi.org/10.7748/ncyp.29.10.22.s27>
- [11] S. Stebunov, A. Vlasov and N. Biba, Prediction of the fracture in cold forging with modified Cockcroft-Latham criterion [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918309594>

Cold stamping of a cartridge case blank for 40×53 mm caliber grenade launcher ammunition

M.V. Orlyuk, V.V. Pimanov, V.O. Zhukov

Problems. The choice of a rational method for stamping blanks with two hollows is usually carried out according to the permissible degree of deformation, the coefficient of material utilization, and the productivity of the process without taking into account the effect of the deformation pattern on the final mechanical properties of the stamped semi-finished product.

Purpose of the study. Determination of a rational method for stamping a blank of a 40×53 mm grenade launcher cartridge case based on the results of computer modeling using the finite element method. Cartridge case material - AD35 aluminum alloy. The workpiece has two hollows with different diameters and depths.

Implementation technique. By means of computer modeling using the finite element method, two options for stamping of a workpiece are researched - double-sided extrusion and sequential reverse extrusion with tilting of the workpiece.

Research results. Based on the results of the research, the features of deformation according to the given schemes, as well as the energy-force parameters and parameters of the stress-strain state of the processes, are determined. It has been established that both methods make it possible to obtain blanks with specified geometric dimensions. At the same time, sequential back extrusion provides a more uniform and predictable deformation of the material along the cross-section of the workpiece, but loses in productivity to double-sided extrusion.

Conclusions. The obtained research results can be used as criteria when choosing the optimal option for stamping of a workpiece with two hollows by cold extrusion.

Keywords: workpiece with hollows, double-sided extrusion, reverse extrusion, deformation intensity, fracture criterion.

Холодная штамповка заготовки гильзы гранатометного выстрела калибра 40×53

М. В. Орлюк, В.В. Пиманов, В.О. Жуков

Проблематика. Выбор рационального способа штамповки заготовок, имеющих две полости, обычно осуществляется по допустимой степени деформации, коэффициенту использования материала, производительности процесса без учета влияния схемы деформирования на конечные механические свойства штампованного полуфабриката.

Цель исследования. Определение рационального способа штамповки заготовки гильзы гранатометного выстрела калибра 40×53 мм по результатам компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов. Материал гильзы - алюминиевый сплав АД35. Заготовка имеет две полости с разными диаметрами и глубиной.

Методика реализации. С помощью компьютерного моделирования с использованием метода конечных элементов исследованы два варианта штамповки заготовки - двустороннее выдавливание и последовательное обратное выдавливание с кантованием заготовки.

Результаты исследования. По результатам исследований определены особенности деформирования по заданным схемам, а также энергосиловые параметры и параметры НДС процессов. Установлено, что оба способа позволяют получить заготовки с заданными геометрическими размерами. При этом последовательное обратное выдавливание обеспечивает более равномерное и прогнозируемое деформирование материала по поперечному сечению заготовки, однако проигрывает в производительности двустороннему выдавливанию.

Выводы. Полученные результаты исследований могут использоваться в качестве критериев при выборе оптимального варианта штамповки заготовки с двумя полостями холодным выдавливанием.

Ключевые слова: полая заготовка, двустороннее выдавливание, обратное выдавливание, интенсивность деформации, критерий разрушения.