

АДАПТАЦІЯ ПРОЦЕСУ ГНУТТЯ ТОНКОЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ ПІД ІСНУЮЧІ МОЖЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА

У статті проаналізовано різні способи отримання профільованої заготовки з тонколистового металу. Встановлено, що використання поетапного однокутового вільного згинання розширює можливості роботи з великим розмаїттям деталей і зменшує час переналаштування виробничих умов під різні профілі деталей. Виявлено, що обраний спосіб згинання фактично не торкається деталей інструменту повністю, що зменшує вплив сил тертя на заготовку. За рахунок цього формування деталі забезпечується мінімальним зусиллям прикладеним до пуансона.

Ключові слова: поетапне гнуття; тонколистова заготовка; технологічне зусилля; виробниче устаткування.

MOLODETSKA TETIANA
Vinnytsia National Technical University

ADAPTATION OF THE PROCESS OF BENDING THIN-SHEET BILLETS TO THE EXISTING PRODUCTION CAPABILITIES

The article analyzes all the advantages and disadvantages of stepwise single-angle free bending of a workpiece under the conditions of the existing technological equipment and tooling at the enterprise to ensure conditions for reducing the force of workpiece forming. It has been established that the use of stepwise single-angle free bending expands the possibilities of working with a wide variety of parts and reduces the time for reconfiguring production conditions for different part profiles. It was found that the chosen bending method does not actually touch the tool parts completely, which reduces the effect of friction forces on the workpiece. Due to this, the part is formed with minimal effort applied to the punch. In the event that the load is relieved and the elastic recoil of the material leads to an incorrect angle, it can be easily adjusted by applying more force.

The article highlights the main problems faced in production. The main ones are design and verification problems. The design problem is to determine the stages of bending, because this is what is accompanied by the development of technological tooling, which takes into account the overall dimensions of the punch and die and the necessary efforts to shape the thin sheet billet. The verification problem is to ensure that the required part can be manufactured using the existing production equipment.

This work is devoted to the topical issue of expanding the technological capabilities of pressing equipment by developing and analyzing flexible technological solutions that reduce the force regimes in the manufacture of stepwise single-angle bending of parts. Thanks to the solution of verification tasks and the proposed options for bending sheet metal products, priority solutions were established that allowed the use of production equipment for the manufacture of a small series of "Lopat" parts.

Keywords: step bending; thin sheet billet; technological effort; production equipment.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В сучасному виробництві для отримання профільованих деталей з тонколистового металу широко застосовують процеси поетапного гнуття. Останнє є технологічно простим і дає змогу використовувати листозгинальні преси як з числовим програмним управлінням так і без нього, використовуючи матриці та пуансони відповідної форми.

На практиці широко застосовують наступні способи формоутворення деталей:

1) V-подібне згинання. Найбільш поширений спосіб гнуття за допомогою матриці та пуансона. Таке згинання поділяють на три підгрупи: нижнє згинання, "вільне" гнуття і карбування;

2) Нижнє пресування. Пуансон притискає лист металу до матриці, форма якої формує кінцевий кут майбутньої заготовки. Внутрішній радіус скошеного листа визначається радіусом самої матриці. За такого способу до пуансона можна докласти значне зусилля, зменшити пружинення і забезпечити високу точність;

3) U-подібне згинання. Технологія схожа з V-подібним згинанням. Відмінність - матриця і пуансон мають U-подібний профіль, забезпечуючи такий самий вигин металу. Це досить простий спосіб деформації листового металу.

V-подібне згинання розширює можливості роботи з великим розмаїттям деталей і зменшує час переналаштування виробничих умов під різні профілі деталей. При цьому методі між листом металу і стінками V-подібної матриці існує повітряний зазор, лист залишається "в повітрі" і не стикається зі стінками матриці. Пуансон впливає на метал зверху в одній точці, а матриця тільки двома точками вгорі V-подібного паза. Геометрія згину формується тільки за рахунок глибини занурення пуансона в матрицю. Ширина струмка на матриці найчастіше вибирається з розрахунку 10-15 товщин металу, а інструмент має кут набагато гостріший, ніж деталь після згинання [1].

Переваги вільного згинання:

- Висока гнучкість: без зміни згинальних інструментів ви можете отримати будь-який кут згинання, що знаходиться в проміжку між кутом розкриття V-подібної матриці. Наприклад, у разі використання пуансона 30° і матриці 30° можна отримати кут згину на деталі 135°, 90°, 60°, 45° та ін.

- Менші витрати на інструмент, можна обійтися одним комплектом для багатьох завдань.
- Менше необхідне зусилля згинання порівняно з іншими методами згинання.

Недоліки вільного згинання:

- Менш точні кути. У зв'язку з тим, що інструмент впливає на метал тільки в трьох точках, то заготівля може повести себе непередбачувано, і кут згину по всій довжині буде нерівномірний, особливо якщо в заготовці є залишкові напруження після розкрою. Теоретичні значення $\pm 45^\circ$, але практично може досягати декількох градусів.
- Менша точність повторень, на яку сильно впливають відмінності в якості матеріалу заготовок.
- Більший ефект зворотного пружинення за рахунок більшої пружної деформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Прорахунок, підбір технологічних переходів та проектування виробничої оснастки для поетапного гнуття заготовок необхідного профілю виконують за рекомендаціями довідника [2]. При цьому важливо враховувати пружинення матеріалу та коректувати внутрішній радіус згину на деталі, перевірити чи не є радіус гнуття меншим, ніж гранично допустимий для матеріалу, що використовують [3]. Відомі роботи, що пропонують технологічні прийоми, які зменшують силу деформуючої операції [4], але вони мають обмежене застосування.

Фахівці стикаються з рядом проблем, дві основні з яких можна назвати проектувальною та перевіркою. Зазвичай, основним документом, що лежить в основі розробки технології, є креслення деталі з вказівкою на технічні вимоги. Проектувальна проблема полягає у визначенні переходів гнуття, бо саме розрахунок цих переходів супроводжується розробкою технологічної оснастки, де враховуються габаритні розміри пуансону та матриці і необхідні зусилля [5]. Володіючи даними про габаритні розміри необхідного пуансону та матриці та обрахувавши максимальне зусилля, необхідне для формозміни листової заготовки, обирають пресове устаткування з певним запасом на технологічні невідповідності.

У сучасних умовах розвитку машинобудування та інших галузей часто зустрічається друга проблема – перевірка [3]. Після отримання технічних креслень деталі технології повинні перевірити можливість виготовлення на існуючому устаткуванні виробництва. Це потребує розробки технологічного алгоритму операцій, адаптованих до наявної оснастки з можливістю швидкої адаптації до нового виробу.

Незважаючи на значну кількість досліджень у процесах формозміни листових заготовок, слід уважно перевіряти можливість виконання технологічних переходів на підбраному виробничому устаткуванні, розробляючи заходи, що зменшують силові режими, навіть при досить простому профілі деталі, що деформують.

Метою статті є аналіз технологічного варіанту поетапного однокутового вільного згинання тонколистової заготовки з використанням пуансону та V-подібної матриці для виготовлення дрібної серії профільованих деталей.

Виклад основного матеріалу.

В основі розробок були покладені потреби адаптувати технологію формоутворення деталі «Лопать» (рис.1, складальна одиниця вальця механізму подачі зерносушарки) шляхом поетапного однокутового вільного згинання заготовки до технологічної оснастки виробництва.

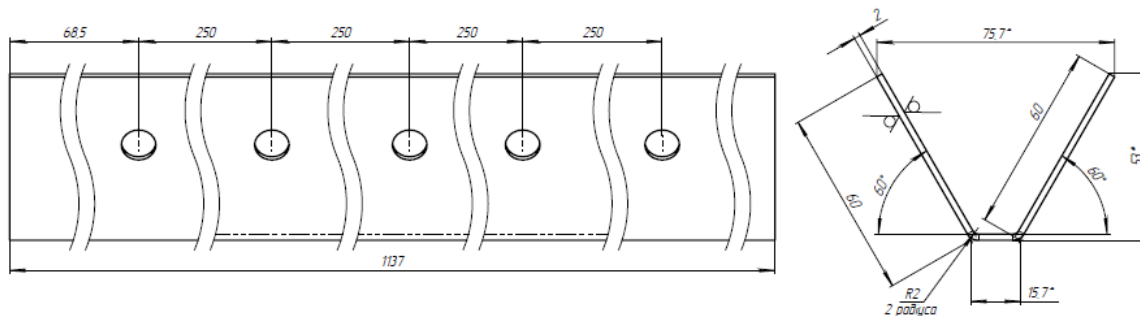


Рис. 1. Деталь «Лопать»

Вільне згинання листів металу реалізується на листозгинальному верстаті. Лист під тиском пуансона (верхнього згинального інструменту) вдавлюється в "струмок" матриці, що має V-форму. Фактично згинання за цього способу виконується за трьома точками, коли лист стикається з пуансоном, що формує лінію згину, і з краями "струмка" нижнього інструменту – матриці (рис.2). Між листом і дном "струмка" залишається повітряний простір, тому такий вид згинання називають "вільним".

Зазвичай таке згинання металу пресом застосовується при виконанні замовлень на одиничні та дрібні серії, оскільки інші методи потребують великого часу для переналагодження лінії, що скорочує можливість роботи з великим розмаїттям деталей і збільшує ймовірні терміни переходу від випуску однієї деталі до іншої. Відповідно, більш легке налагодження між різними деталями проводиться, якщо це поетапне однокутове вільне згинання тонколистового металу.

У цьому разі обладнання для згинання заготовки – це верстат із числовим програмним керуванням. Зміна інструментів для згинання (пуансонів або матриць), а також завантаження нових програм згинання може займати лічені хвилини, що дає змогу практично миттєво переходити від одного виробу до зовсім іншого, причому не тільки за геометричною формою, а й за товщиною металу.

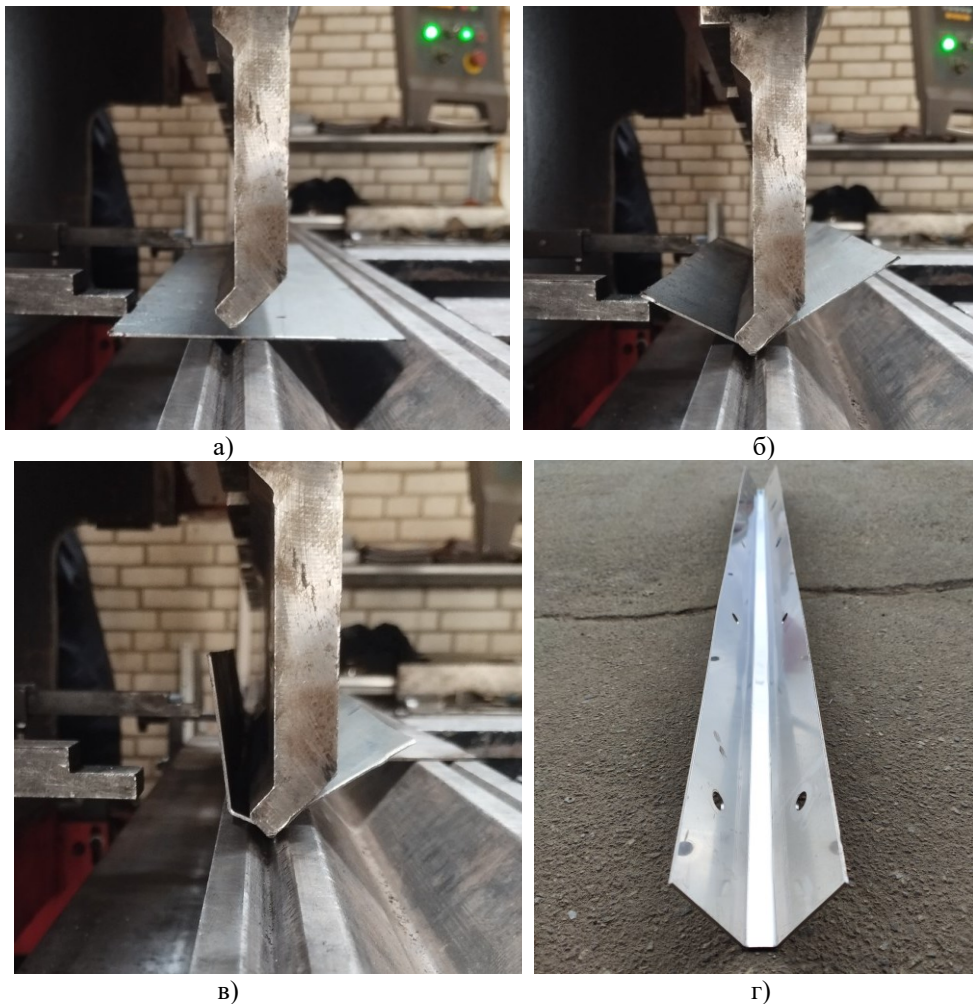


Рис. 2. Процес вільного гнуття: а) початкове положення заготовки, б) перший етап формування профілю, в) другий етап формування профілю, г) готова деталь.

Розрахунок зусилля при поетапному однокутовому згинанні потрібний для забезпечення довгої роботи устаткування потрібно обмежувати навантаження відповідно до максимально допустимого. При V-подібному згинанні заготовка фактично не торкається деталей інструменту повністю, що зменшує вплив сил тертя на заготовку, тому щоб розрахувати необхідне зусилля для згинання заготовки на практиці використовують формулу (1):

$$P = \frac{1,42 \cdot L \cdot R_m \cdot S^2}{V} \quad (1)$$

де P – необхідне зусилля, Н, 1,42 – це коефіцієнт, що враховує тертя заготовки по кромці матриці, L – довжина заготовки, мм, R_m – межа міцності в кг/мм², S – товщина металу, мм, V – ширина розкриття матриці, мм.

Висновки

В результаті проведеного аналізу можна відзначити, що поетапне однокутве вільне згинання заготовки є маловитратним технологічним рішенням, за допомогою якого можна швидко адаптувати виробниче устаткування до потрібного профілю виробу.

Проаналізовано всі переваги та недоліки поетапного однокутового вільного згинання заготовки в умовах наявного технологічного обладнання та оснастки на підприємстві для забезпечення умов по зниженню зусилля формозміни заготовки. Обраний спосіб згинання, отримав свою назву від того факту, що деталь, яку обробляють, фактично не торкається деталей інструменту повністю, що зменшує вплив сил тертя на заготовку. За рахунок цього формування деталі забезпечується мінімальним зусиллям прикладеним до пуансона. У разі, якщо навантаження ослабне, і пружна віддача матеріалу призведе до неправильного кута, його легко відрегулювати, приклавши більше зусилля.

Література

1. Pahole I. Bending of sheet metal of complicated shapes (for 90° angle and more) in combined tools / I. Pahole, S. Bonifarti, M. Ficko, O. Vaupotic // Journal of achievements of materials and manufacturing engineering. – 2006. – Vol. 16, Issue 1-2. – P. 88–93.
2. Рудман Л.И. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л.И.Рудман, А.И. Зайчук, В.Л. Марченко и др. ; под ред. Л.И. Рудмана. – К. : Техника, 1989. – 231 с.
3. [Олексин В. І.](#) Правила проектування деталей із листового металу / В.І. Олексин, В.М. Рагулин // [«Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України»](#) : збірник тез міжнародної конференції. – Харків : ХНАДУ, 2023. – С. 182–183.
4. [Сатонин А.В.](#) Методика, обладнання і результати експериментального дослідження процесу формування обичайок на листозгинальних машинах / А.В. Сатонин, А.Н. Филипських, А.Н. Завгороний // [Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки металом тиском матеріалів у машинобудуванні: зб. наук. пр.](#) – Луганськ : Вид-во СНУ ім.Даля, 2011. – С. 253–257.
5. Cao J. Manufacturing of advanced smart tooling for metal forming / J. Cao, E. Brinksmeier, M. Fu and other // CIRP Annals – 2019. – Vol. 68. – P. 605–628.

References

1. Pahole I. Bending of sheet metal of complicated shapes (for 90° angle and more) in combined tools / I. Pahole, S. Bonifarti, M. Ficko, O. Vaupotic // Journal of achievements of materials and manufacturing engineering. – 2006. – Vol. 16, Issue 1-2. – P. 88–93.
2. Rudman L.Y. Spravochnyk po oborudovanyiu dlia lystovoi shtampovky / L.Y.Rudman, A.Y. Zaichuk, V.L. Marchenko y dr. ; pod red. L.Y. Rudmana. – K. : Tekhnyka, 1989. – 231 s.
3. Oleksyn V. I. Pravyla proektuvannia detalei iz lystovoho metalu / V.I. Oleksyn, V.M. Rahulyyn // «Rozbudova i vidnovlennia mashynobudivnoho kompleksu Ukrainy» : zbirnyk tez mizhnarodnoi konferentsii. – Kharkiv : KhNADU, 2023. – S. 182–183.
4. Satonyn A.V. Metodyka, obladnannia i rezultaty eksperymentalnoho doslidzhennia protsesu formuvannia obychaiok na lystozghynalnykh mashynakh / A.V. Satonyn, A.N. Fylypskykh, A.N. Zavhoronyi // Resursozberihaiuchi tekhnolohii vyrobnytstva ta obrobky metalom tyskom materialiv u mashynobuduvanni: zb. nauk. pr. – Luhansk : Vyd-vo SNU im.Dalia, 2011. – S. 253–257.
5. Sao J. Manufacturing of advanced smart tooling for metal forming / J. Cao, E. Brinksmeier, M. Fu and other // CIRP Annals – 2019. – Vol. 68. – P. 605–628.