

АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ГНУТТЯ ТОВСТОЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ З ВАЖКОДЕФОРМІВНОГО МАТЕРІАЛУ ДО ПАРАМЕТРІВ ПРЕСОВОГО УСТАТКУВАННЯ

При розробці технологічних процесів штампування перед технологами, зазвичай, стає низка проблем, дві основні з яких умовно можна назвати: 1) проектувальною та 2) перевіркою. Як правило, головним документом, що лягає в основу технології, яка розробляється, є креслення деталі з зазначенням щодо неї технічних вимог. *Проектувальна* проблема пов'язана з визначенням переходів штампування та довідковими розрахунками сил, що потрібні для виконання цих штампувальних переходів. Розрахунок переходів супроводжується розробкою штампного оснащення, в якому будуть виконуватись технологічні операції. Знаючи габаритні розміри штампів та максимальне зусилля, що необхідне для забезпечення потрібної формозміни на найбільш енергоємному переході, обирають пресове устаткування із певним запасом на розбіжність у властивостях матеріалу, що деформують, притупленість розмірів інструменту, технологічні невідповідності та ін. Тобто перемножують максимальну силу деформування на коефіцієнт запасу, який для кривошипних та гідравлічних пресів становить 1,25, й обирають найближчий більший за номінальною силою прес зі стандартизованого ряду [1, 2]. Якщо спроектоване штампове оснащення вільно розміщується у штамповому просторі обраного пресу, то рішення щодо вибору цього устаткування приймають остаточно. Але вирішення проектувальних проблем, які повинні супроводжуватись закупівлею деформуючого устаткування, в теперішній час зустрічається вкрай рідко й виправдовує себе лише в умовах стабільних масових замовлень на певну номенклатуру продукції.

У сучасних умовах розвитку машинобудування та сумісних галузей найбільш поширеною є друга проблема – *перевірочна*, коли після отримання технологами креслення деталі (й відповідних технічних вимог) їм потрібно перевірити можливість її виготовлення на існуючому на підприємстві устаткуванні. Тобто постає потреба розробити такий технологічний ланцюг операцій, які будуть адаптовані до цехового устаткування зі здатністю до швидкої переналадки виробництва на нову продукцію [2]. У такому випадку вдаються до прийомів подрібнення переходів, диференційованого деформування, локальної формозміни зі збільшенням кількості різнорідних операцій, що найбільш виправдано при дрібносерійному виробництві.

До найбільш поширених процесів у листоштампувальному виробництві відносять гнуття заготовок. Розрахунок технологічних переходів і проектування штампів для гнуття заготовок певної конфігурації виконують, наприклад, за рекомендаціями відомих довідників [3, 4]. При цьому враховують пружинення матеріалу та коректують кут і радіус виконавчих розмірів пуансона та матриці, до того ж перевіряють, чи не є радіус гнуття меншим, ніж гранично допустимий для матеріалу, що використовують [5, 6]. Розрахунок розмірів розгортки вихідної заготовки суттєво залежить від величини відношення радіуса r згинання (радіус на внутрішній поверхні гнutoї деталі) до товщини S_0 листової заготовки, тобто значення відносного радіуса r/S_0 . У виробничій практиці зустрічаються гнуті деталі з широким діапазоном відношення r/S_0 , причому для виробів із $r/S_0 \geq 15,0$ доцільним є гнуття із прикладанням напружень осьового розтягу [2, 4, 6], або, при круговому гнутті, застосування згинальних вальців [7]. Згинання заготовок на величину відносного радіуса $r/S_0 < 1,0$ потребує впровадження калібрувальних операцій [2–4, 6], або реалізацій схем стисненого гнуття [8]. Останні заходи пов'язані зі збільшенням деформуючої сили та перевіркою спроможності устаткування виконати натискання (або удар), що калібрує. В теперішній час відомі технологічні прийоми, що дозволяють зменшити силу формозмінювальної операції [9], але вони мають досить обмежене застосування.

Процеси гнуття товстостієвих заготовок з важкодеформівних матеріалів потребують значної сили для виконання формозмінювальної операції, ситуація ще більш ускладнюється, коли деталь має великі габарити. Незважаючи на те, що напружено-деформований стан, який реалізується в осередку деформації при гнутті товстого листа, найбільш відповідає процесам гнуття зі зсувом [10], процеси, що розробляють, характеризуються суттєвою енергоємністю. При формозміні важкодеформівних матеріалів слід особливо ретельно перевіряти можливість виконання технологічних переходів на певному виробничому устаткуванні, виконувати диференційоване деформування та розробляти заходи, що зменшують силові режими, навіть при досить простій формі деталі, що виготовляють.

Метою роботи є розробка й аналіз технологічних варіантів гнуття товстостієвої заготовки з високолегованої хромонікелевої сталі для виготовлення дрібної серії деталей на невиробничому пресовому устаткуванні.

В основу розробок були покладені потреби адаптувати технологію виробництва деталі «Напівстакан нижній» (рис. 1, складальна одиниця системи охолодження кристалізаторів машини безперервного лиття заготовок) у невеликій кількості (до 100 шт.) до умов лабораторного преса ПР-500 (номінальна сила $P_n = 5$ МН). Матеріал заготовки – сталь 08Х18Н10, товщина листа $S_0 = 15$ мм (див. рис. 1). Доведення кінцевих ділянок до кута 89° виконують операціями механічної обробки.

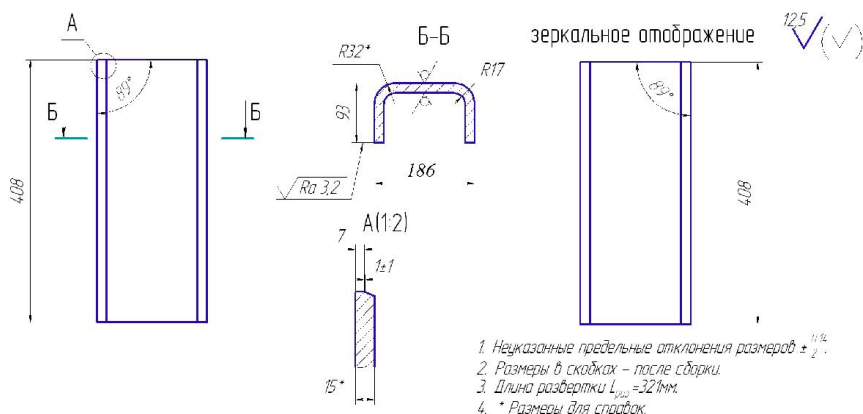


Рис. 1. Деталь «Напівстакан нижній»

(маса 15,4 кг, матеріал – Лист $\frac{Б - ПН - 15,0 \text{ ГОСТ } 19903 - 74}{08X18H10 \text{ ГОСТ } 7350 - 77}$)

Внутрішній радіус при гнутті деталі дорівнює $r = 17$ мм, тобто $r/S_0 = 1,133$, тоді визначаємо, що коефіцієнт стоншення становить $\xi = 0,96$ [2, 4]. Виходячи з довідкових даних [11], для матеріалу, що використовують, характеристика відносного звуження становить $\psi = 0,55$; характеристика відносного подовження – $\delta = 0,38$. Лінії гнуття доцільно розташовувати поперек волокон прокатаного листа. Тоді перевіримо умови можливості деформування матеріалу без руйнування.

Ступінь деформації крайніх волокон при гнутті [2]:

$$\varepsilon_z = \frac{2(r/S_0)(1-\xi) + \xi(2-\xi)}{2(r/S_0) + \xi} = 0,337 < \delta = 0,38. \quad (1)$$

Поперечне звуження при умовах згинання [2]:

$$\psi_z = \frac{\delta}{1+\delta} = 0,234 < \psi = 0,55. \quad (2)$$

Мінімально припустимий радіус при згинанні [2]:

$$\left(\frac{r}{S_0}\right)_{\min} = \frac{\xi(2-\xi-\delta)}{2(\delta+\xi-1)} = 0,931 < r/S_0 = 1,133. \quad (3)$$

Таким чином, при формоутворюванні деталі гнуттям до потрібних розмірів руйнування зовнішніх волокон матеріалу не відбудеться. Кут пружинення при кожному з двох кутів згинання $\alpha_{pr} \approx 1,0^\circ$ [2, 4].

Ураховуючи необхідність звести до мінімуму експлуатацію преса, розглянемо технологію двокутового гнуття деталі за один робочий хід (див. рис. 2). Для виключення пружинення, забезпечення оформлення полок та кутів потрібно виконувати згинання з підтисканням полиць та правкою-калібруванням.

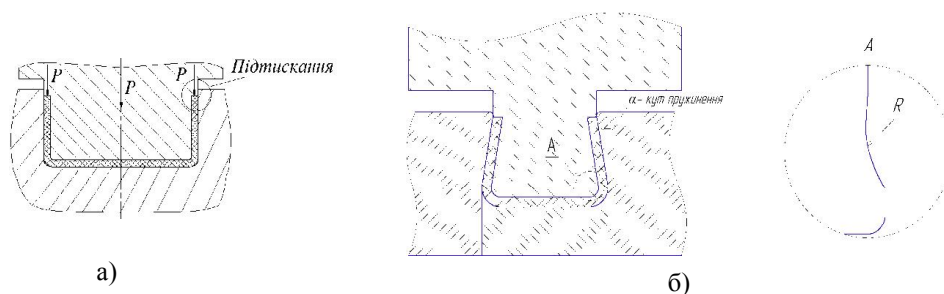


Рис. 2. Схема двокутового згинання з підтисканням полиць:

а – без урахування кута пружинення; б – з урахуванням кута пружинення.

Сила, що потрібна для реалізації такої операції [4, 6]:

$$P = P_{gn} + P_{pk} + P_{pt} = 0,7 \cdot \frac{B \cdot S_0^2 \cdot \sigma_b}{r + S_0} + qF + Q^*, \quad (4)$$

де P_{gn}, P_{pk} та P_{pt} – сила згинання, правки-калібрування та притискання відповідно;

$B = 408$ мм – ширина штаби (заготовки);

$\sigma_b = 528$ МПа – границя міцності матеріалу заготовки [11];

$Q^* = (0,6 \dots 0,7)P$ – сила притискача;

$q = 140$ МПа – тиск матеріалу на інструмент [4] (при $S_0 = 15$ мм);

$F = 186 \times 408 = 75888$ мм² – площа металу під пуансоном.

Розрахунки за формулою (4) дають результат $P = 19,9$ МН, що значно більше, ніж номінальна сила преса (5 МН). Таким чином, необхідні технологічні заходи зі зменшення зусилля гнуття для можливості використання наявного устаткування.

Серед можливих технологічних заходів розглядали варіанти:

- Варіант 1. Послаблення механічних властивостей місця згинання нагріванням металу;

- Варіант 2. Поелементне гнуття з подальшим окремим калібруванням у разі необхідності;

- Варіант 3. Профільовання або зміна форми вихідної заготовки.

Варіант 1. Аналізуючи перший варіант, одразу було відкинуто рішення з повним нагріванням заготовки через нераціональність, збільшене окалиноутворювання та відсутність технічної можливості. Місцеве нагрівання ділянок листової заготовки для зменшення σ_b важко реалізувати без спеціальних нагрівальних пристроїв, тому від цього рішення також відмовились.

Варіант 2. Поелементне штампування реалізують послідовним виконанням однокутового гнуття у штампі, при цьому контактні поверхні пуансона та матриці можуть бути виконаними плоскими (рис. 3) або профільованими (рис. 4) з радіусним вирізом з одного боку. Пуансон виконують криволінійним для забезпечення вільного розміщення зігнутої полиці (рис. 3, б та рис. 4, б). У випадку наявності фінішного калібрування кут інструменту треба зменшити до 88° , інакше, враховуючи пружинення, виконують кут 89° (див. рис. 3). Застосування профільованого пуансона та матриці (див. рис. 4) незначно підвищить силу на операції гнуття, але знизить силові

витрати на операції калібрування (рис. 4, б) та дозволить компенсувати кут пружинення. Калібрування, в такому випадку, виконують у звичайному двокутовому штампі (штампі для двокутового згинання).

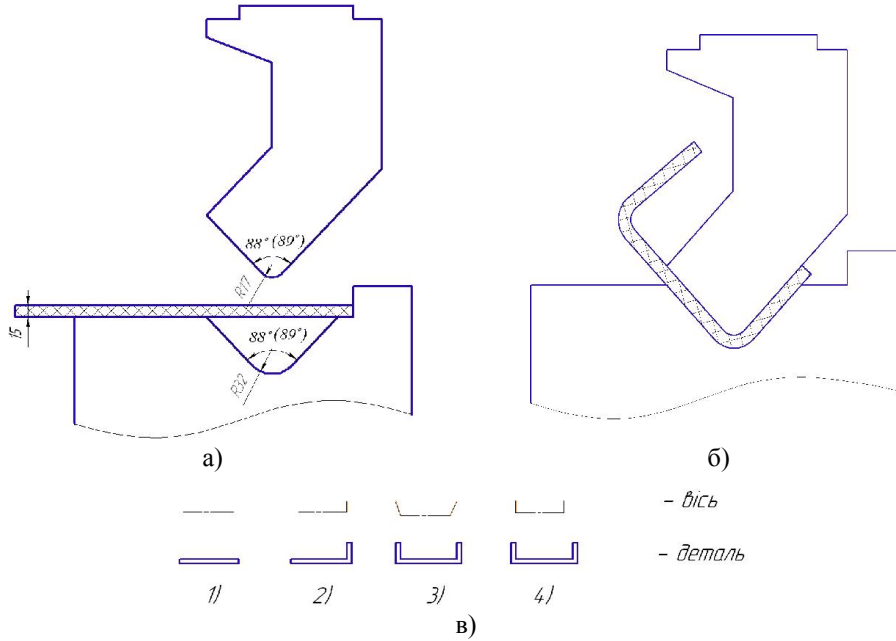


Рис. 3. Поелементне гнуття деталі інструментом із плоскими контактними поверхнями:
а – початкове положення; б – другий перехід; в – схеми переходів.

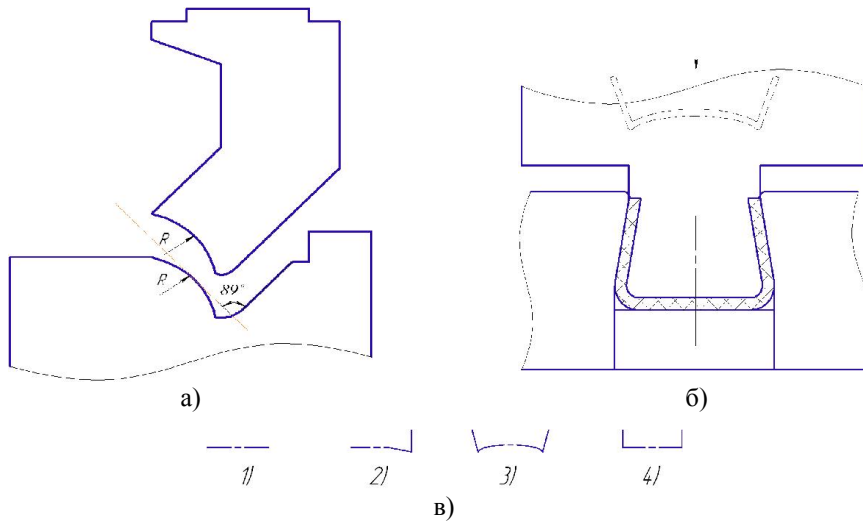


Рис. 4. Поелементне гнуття деталі інструментом із профільованими контактними поверхнями:
а – інструмент; б – калібрування;
в – схеми переходів (вісь заготовки на переходах).

Сила однокутового згинання [2, 4]:

$$P_{0max} = \frac{4(1,5 + \delta) \cdot B \cdot S^2 \cdot \sigma_b}{6 \cdot 2 \cdot r \cdot \sin \frac{\alpha_X}{2}}, \quad (5)$$

де $\alpha_X = (90^\circ - \alpha_{pr}) = 89^\circ$.

Розрахунки за формулою (5) показали, що $P_{0max} = 2,7$ МН. Тоді, враховуючи 30 %-й запас на тертя, затуплення радіусів інструменту тощо, визначали потрібну силу преса як $P = 1,3 \cdot P_{0max} = 3,51$ МН < 5 МН. Таким чином, за силою на формозмінювальній операції процес є виконуваним на встановленому устаткуванні.

Другий варіант передбачає збільшення операцій та кількості ходів преса, що є досить прийнятним у виробничих умовах дрібносерійного виробництва, але небажано для зростання інтенсивності експлуатації устаткування лабораторії. Крім того, за таким варіантом потрібно виготовляти більш широкий набір інструментів, пуансонів та матриць, що неодмінно приведе до збільшення матеріалоємності.

Варіант 3. Зміна форми вихідної заготовки може бути ототожнена з ослабленням поперечного перерізу на ділянці згинання за рахунок виконання надрізів на певну глибину h' . Завдяки такому рішенню товщина листового матеріалу в місці згинання зменшиться з початкового значення S_0 до величини $(S_0 - h')$, достатньої для виконання формозмінювальної операції на потрібному устаткуванні (рис. 5).

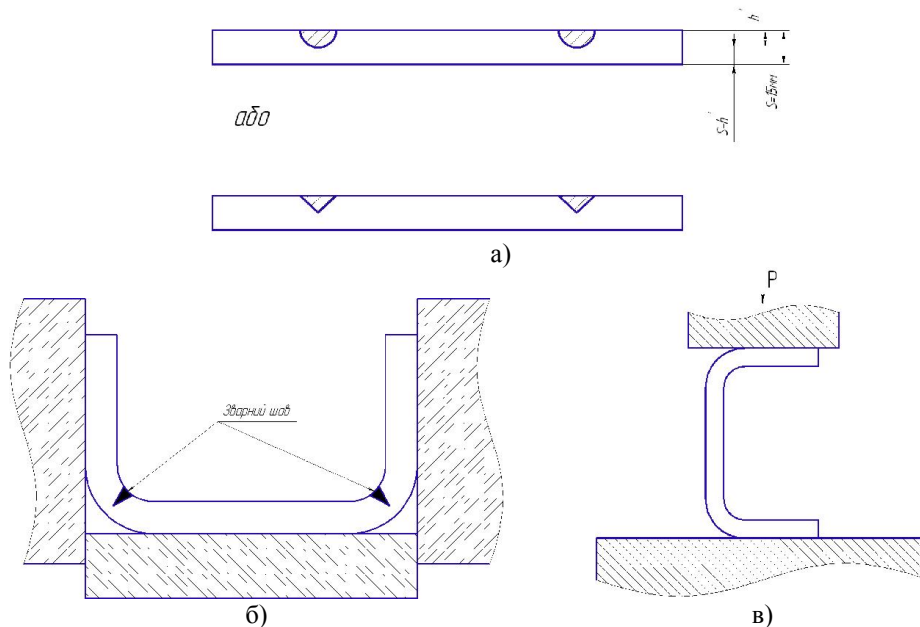


Рис. 5. Технологічні рішення, що дозволяє зменшити силу гнуття:
а – листова заготовка з надрізами; б – зварювання місць надрізу зігнутої заготовки; в – підгинання полиць.

Відстань між двох канавок, які надрізають, наприклад, фрезеруванням по всій довжині ліній згинання, дорівнює відстані між полицями деталі. Після розміщення надрізаної заготовки у штампі проводять гнуття. Причому, залежно від того, яка глибина надрізу h' , можливе проведення поелементного гнуття (за *варіантом 2*) або відразу двокутного згинання (за *варіантом 3*), залежно від достатності номінального зусилля преса. Більш оптимальним є проведення двокутного гнуття, яке характеризується меншою кількістю інструменту (потрібно виготовляти лише один штамп), меншою експлуатацією устаткування та більшою продуктивністю. Після гнуття заготовку виймають із штампового простору та перевіряють потребу калібрування. Далі виконують зварювання місць гнуття, де було виконане ослаблення (рис. 5, б), та, при необхідності, механічну обробку на потрібний внутрішній радіус. За потреби, полиці виробу після згинання можуть бути підігнуті за схемою рис. 5, в.

Для розрахунку глибини надрізу скористалися формулою джерела [6] для визначення сили двокутового гнуття при роботі штампа з пружинним виштовхувачем та калібруванням для одержання плоского дна виробу:

$$P_{max} = \frac{k_t \cdot k_z \cdot 2 \cdot (1,5 + \delta) \cdot B \cdot S_0^2 \cdot \sigma_b}{6 \cdot (S_0 + cS_0)}, \quad (6)$$

де $k_t = 1,3$ – коефіцієнт, що враховує сили тертя;

$k_z = 2,5$ – коефіцієнт, що враховує силові затрати на калібрування;

$c = 0,15$ – коефіцієнт, що враховує інструментальний зазор та розміри заготовки [6].

Підставляючи у вираз (6) замість S_0 значення товщини листової заготовки після надрізання ($S_0 - h'$), а замість P_{max} – номінальну силу преса P_n , після перетворень відносно h' отримали умову:

$$h' \geq S_0 - \frac{3 \cdot (1 + c) \cdot P_{max}}{k_t \cdot k_z \cdot (1,5 + \delta) \cdot B \cdot \sigma_b}. \quad (7)$$

Звідки визначили, що при $P_n = 5$ МН потрібно, щоб глибина надрізів у листовій заготовці була $h' \geq 3,5$ мм.

Реалізація третього варіанту можлива після аналізу умов експлуатації деталі та після узгодження такої технології із замовником. Даний варіант не виключає виготовлення деталей поелементним штампуванням при потребі значних деформуючих зусиль та наступного зварювання місць надрізів після згинання.

Крім означених варіантів, запропоновано маловитратне рішення поелементного гнуття за схемою рис. 6.

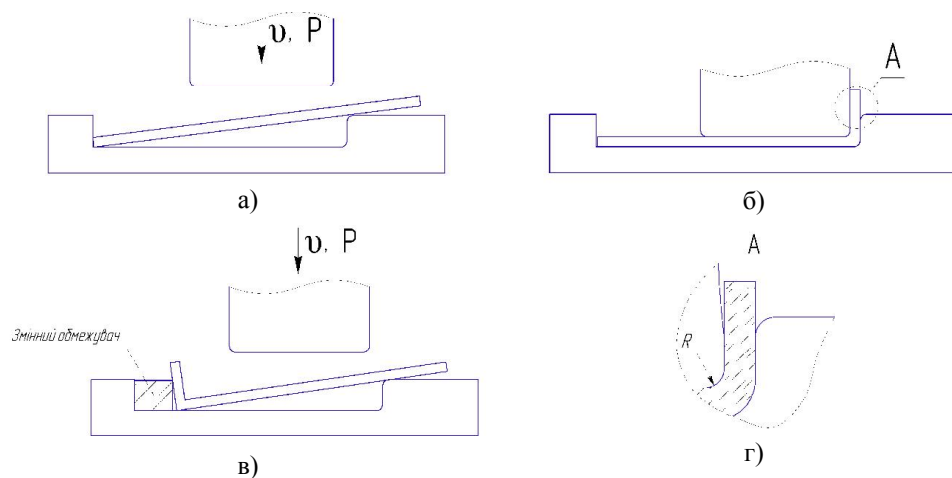


Рис. 6. Додатковий варіант поелементного гнуття:

а – встановлення заготовки у штамп на першому переході;

б – зігнута заготовка після першого переходу;

в – встановлення заготовки на другому переході;

г – піднутрений пуансон.

Згідно з цим рішенням виконують послідовне згинання спочатку однієї полиці (див. рис. 6, а,б), потім розвертають заготовку у горизонтальній площині на 180° , встановлюють її у той самий штамп, де впритул до його стінки розміщують обмежувач, довжина якого дорівнює висоті полиці, та виконують гнуття другої полиці виробу (див. рис. 6, в). Даний штамп можливо використовувати для гнуття широкої номенклатури деталей з різною висотою полиць, для чого потрібний набір змінних обмежувачів. Для зменшення впливу сил тертя та часткової компенсації кута пружинення

пуансон виконують піднутрим з боку контактування із полицею виробу. У разі потреби, проводять калібрування які завершальну операцію.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що розробка гнучких, маловитратних технологічних рішень, які швидко переналагоджуються та адаптовані до умов виробництва з наявним устаткуванням, є актуальним науково-практичним завданням, яке пов'язане, здебільшого, з вирішенням перевірочних задач. При цьому для виготовлення дрібних партій деталей можливе використання не виробничого лабораторного устаткування.

2. Розроблені та проаналізовані технології гнуття товстолистових заготовок з важкодеформівних матеріалів, що дозволяють знизити силу формозмінювальної операції та розширити технологічні можливості пресового устаткування.

3. При використанні технології з надрізнанням товстолистової заготовки по товщині, згинанням та зварюванням (зварювальний шов по внутрішньому радіусу деталі) отримано аналітичний вираз для розрахунку глибини надрізу при двокуттовому гнутті залежно від номінальної сили устаткування, властивостей матеріалу та розмірів заготовки.

Перелік посилань

1. Справочник по оборудованию для листовой штамповки / Л. И. Рудман, А. И. Зайчук, В. Л. Марченко и др. ; под общ. ред. Л.И. Рудмана. – К. : Техника, 1989. – 231 с.
2. Ильин Л. Н. Технология листовой штамповки / Л. Н. Ильин, И. Е. Семенов. – М. : Дрофа, 2009. – 475 с.
3. Справочник конструктора штампов : листовая штамповка / под ред. Л. И. Рудмана. – М. : Машиностроение, 1988. – 496 с.
4. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский. – Л. : Машиностроение, 1979. – 520 с.
5. Формообразование деталей методом пластического изгиба / Мовшиович А. Я., Резниченко Н. К., Буденный М. М., Кочергин Ю. А. // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2011. – № 45. – С. 164–167.
6. Зубцов М. Е. Листовая штамповка / М. Е. Зубцов. – М.-Л. : Машгиз, 1958. – 459 с.
7. Сатонин А. В. Методика, оборудование и результаты экспериментального исследования процесса формовки обечаек на листогибочных машинах / А. В. Сатонин, А. Н. Филиппских, А. В. Завгородний // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні : зб. наук. пр. – Луганськ : вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – С. 253–257.
8. Ненашев В. Ю. Разработка и исследование процесса стесненного изгиба заготовок проглаживанием по пуансону / В. Ю. Ненашев, Л. А. Хасис, М. В. Лосев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – № 6. – С. 28–31.
9. Снижение деформирующих усилий при изготовлении листовых деталей с элементами жесткости / Д. В. Мосьпан, С. В. Шлык, Н. Н. Мороз, В. В. Драгобецкий // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ». – 2011. – № 46. – С. 73–77.
10. Грушко О. В. Моделирование зміцнення матеріалу в процесі штампування z-подібних заготовок / О. В. Грушко, Т. І. Молодецька // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – 2012. – № 1 (30). – С. 31–37.
11. Краткий справочник металлста / под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 960 с.

Рецензент: д.т.н., проф. Сивак І.О.

Стаття надійшла 04.09.2012