

УДК 621.73

В. О. ЄВСТРАТОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТОЧНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ**

Статтю присвячено порівнянню та оцінюванню технологічних процесів точного об'ємного штампування. Показані протиріччя у визначеннях понять «точне об'ємне штампування» (ТОШ). Розглянуті важливі аспекти точності виготовлення деталей гарячим об'ємним штампуванням та холодним видавлюванням. Обговорене питання про класифікацію точних методів об'ємного штампування.

Ключові слова: технологія, штампування, об'ємне штампування, точне об'ємне штампування, видавлювання, п'ять видів розмірів деталей, які виготовляють видавлюванням.

Вступ. Суперечності у визначенні понять точного об'ємного штампування (ТОШ). Під точним штампуванням В.Т. Мецгерін розумів наближення розмірів штампів до розмірів деталі [1]. Він стверджував, що ТОШ дозволяє отримати такі штампівки, які не потребують навіть шліфування робочих поверхонь та поверхонь з'єднання, тобто, отримувати штампівки, які є готовими деталями, що не потребують подальшого механічного оброблення. Це означає, що припуски на штампування мають бути нульовими, а допуски на зношення інструменту – мінімальними. На жаль, практично це неможливо.

Аналіз останніх досліджень і літератури. Точність виготовлення деталей **гарячим об'ємним штампуванням** характеризується двома параметрами: припусками та допусками. Держстандарт 7505 регламентує припуски та допуски у таких межах (для прикладу візьмемо деталь вагою 0,63–1,6 кг. та розмірами від 50 до 120 мм).

Таблиця 1. – Припуски та допуски на штампівки, які виготовляють гарячим об'ємним штампуванням на пароповітряних молотах (ГОСТ 7505) [2]

Група точності	Припуск на оброблення (на один бік), мм	Допуск на гаряче штампування, мм (на зношення рівчака)
1	0,9	+0,63 -0,32
2	1,4	+1,2 -0,5
3	1,9	+2,0 -1,0

Треба зважати на те, що допуск залежить від норми стійкості. В роботі [3] показано, що стійкість сталевих матриць C_m (штук, деталей) і допуск на виготовлення стаканів ΔD (мм) зв'язані співвідношенням

$$C_m = \Delta D / w_g, \quad (1)$$

де w_g – відносне зношення матриці, мм/дет.

Наприклад, для матриць зі сталі Х12М при видавлюванні деталей типу стаканів зі сталі 20Х маємо відносне зношення матриці $w_g = (1,3 \dots 6,3) \cdot 10^{-7}$ мм/дет.

Зі співвідношення (1) витікає, що стійкість лінійно залежить від допуску на виготовлення деталі. Але зношення не може відбуватись безкінечно: є зношення інструмента, яке ми називаємо «критичним». Воно обумовлене такою зміною поверхні інструмента, яке призводить до схоплювання матеріалу заготовки і матеріалу штампа. «Критичне» зношення вимагає заміни інструмента. Отже, в загальному випадку маємо залежність, яка показана на рис. 1.

Припуски на виготовлення деталей не впливають на стійкість. Тому при гарячому точному об'ємному штампуванні припуски визначаються лише товщиною шару металу, який знеуглецьований (якщо це має суттєве значення для якості деталі),

а також товщиною шару металу, який необхідний для отримання заданої у кресленнику шорсткості та точності виготовлення деталі. Тому в загальному випадку залежність стійкості від припусків на оброблення деталей має вигляд, який показаний на рис. 2

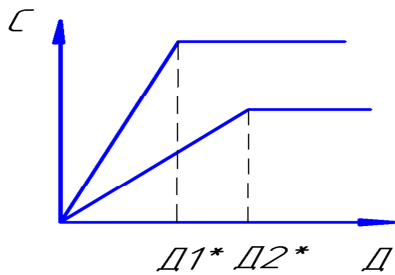


Рис. 1 – Графік залежності стійкості С від допусків на виготовлення Д

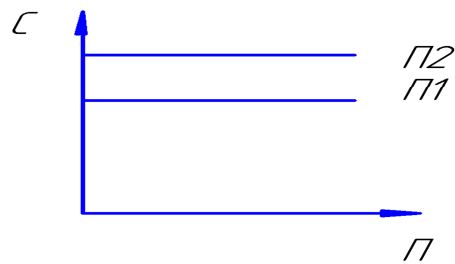


Рис. 2 – Графік залежності стійкості С від припусків на виготовлення П

Для гарячого об'ємного штампування на ПШМ, КГШП, ГKM припуски та допуски регламентовані Державним стандартом 7505, який діє з 1955 року. У стандарті передбачено виготовлення деталей трьох груп точності, але для збільшення точності передбачена четверта група точності – плоске холодне карбування.

Холодне карбування здійснюється лише по окремих поверхнях штампованки за допомогою спеціальних штампів на карбувальному пресі, як це показано на рис. 3. Воно забезпечує зменшення припусків на оброблення (або навчить повністю їх ліквідує), а допуски на виготовлення деталей доводить до рівня, який забезпечує нормальне функціонування карбованої деталі у вузлі.

Точність виготовлення деталей **холодним об'ємним штампуванням** стандартами не регламентовано. Навіть в роботі [6], де детально розглядається конструювання штампованок, мови про припуски й допуски немає. Тому припуски та допуски можна встановлювати у відповідності із вимогами замовника.

Мета досліджень, постановка проблеми. В нашій роботі [3] обґрунтована й запропонована система допусків, яка базується на таких основних положеннях.

1. Передбачено три ступеня точності деталей, які виготовляють холодним видавлюванням на пресах або холодновисаджувальних автоматах: 1) підвищену (П); 2) нормальну (Н) та 3) оптимальну (О).

2. Підвищену точність (П) слід використовувати лише в тому випадку, коли це призводить до зменшення загальної трудомісткості виготовлення деталі і дозволяє використати високопродуктивні процеси фінішного оброблення. Наприклад, при виготовленні толокових (поршньових) пальців двигунів внутрішнього згоряння на зовнішній діаметр пальця можна призначати мінімальний допуск (у відповідності з ступенем точності П, хоч це й призведе до зменшення стійкості штампа для видавлювання), а для чистового механічного оброблення використовувати високопродуктивне безцентрове шліфування. Для ступеня точності П допуски призначають за згодою із замовником.

3. Нормальну точність Н бажано використовувати в тому випадку, коли елемент поверхні, яка отримана видавлюванням, не піддається наступному обробленню, а працює в поєднанні з іншою деталлю. Для ступеня точності Н діаметральні допуски встановлюють по таблиці 2. Вони приблизно відповідають 11-му квалітету для d і D та 12-му квалітету для d_c .

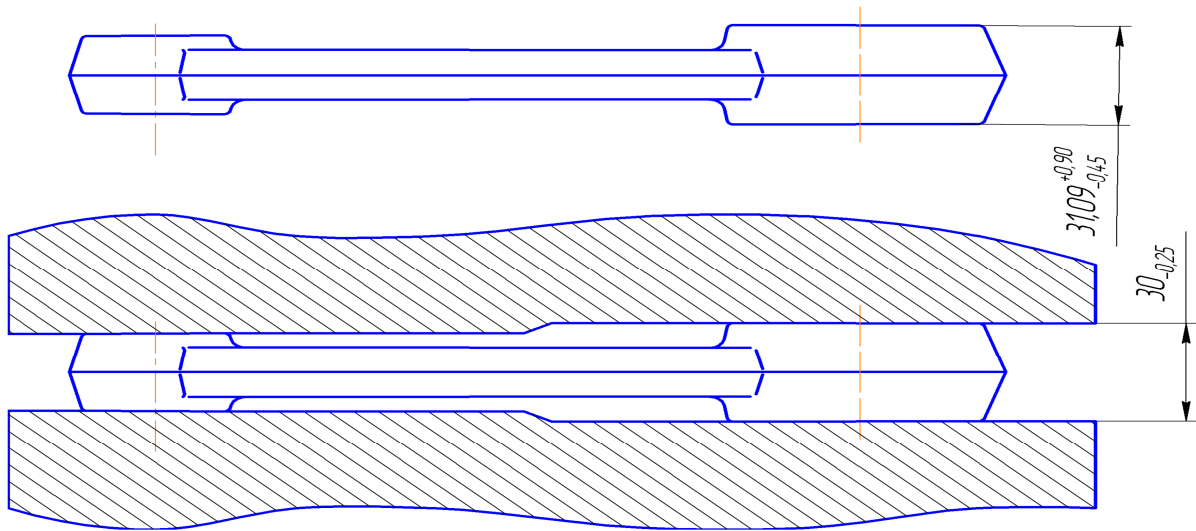


Рис. 3 – Схема карбування плоских поверхонь гонка (шатуну)

Зазначимо, що застосування допусків по табл.2 також не дозволяє повністю використати ресурс стійкості інструмента. В серійному та масовому виробництві це призводить до зниження економічної ефективності штампування. Тому допуски ступеня точності Н (особливо в масовому виробництві, коли стійкість вища за розмір партії) непридатні.

Таблиця 2 – Діаметральні допуски на деталі нормальної точності (Н)

Діаметр деталі, мм	Допуски на діаметр, мм		
	d	D	d_c
До 10 (включно)	+0,03...- 0,12	+ 0,12...-0,03	+0,19...-0,04
Від 10 до 18	+0,04...- 0,15	+ 0,15...-0,04	+0,20...-0,05
Від 18 до 30	+0,05...- 0,18	+ 0,18...-0,05	+ 0,22...-0,06
Від 30 до 50	+0,06...- 0,22	+ 0,22...-0,06	+ 0,25...-0,08
Від 50 до 80	+0,08...- 0,27	+ 0,27...-0,08	+ 0,30...-0,10
Від 80 до 120	+0,10...- 0,32	+ 0,32...-0,10	+ 0,35...-0,12

Примітки: d – діаметр отвору в деталі; D – зовнішній діаметр деталі;
 d_c – діаметр стрижня (позначення дані на рис. 4).

4. Оптимальну точність доцільно використовувати в тих випадках, коли елементи поверхонь, які видавлюються, підлягають подальшому механічному обробленню різанням, тобто, на ці елементи поверхні призначають певні припуски на механічне оброблення.

Детальний аналіз діаграм зношення та кривих щільності розподілу розмірів інструмента, а також математичних моделей зношення матриць та пуансонів показав, що поле допуску на видавлену деталь можна поділити на дві чітко визначені складові: симетричну частину ($\pm A$ для матриць і $\pm a$ для пуансонів), яка обумовлена дією випадкових чинників (неточність виготовлення інструмента, його пружна деформація, овальність тощо) та несиметричну частину ($+3$ для матриць і -3 для пуансонів), яка визначає напрямки зношення робочої поверхні інструмента [3].

Зважаючи на це, допуски на відповідні поверхні штампів, яка виготовлена в штампі, де для пуансонів і матриць використана сталь Х12М, доцільно вибрати так

$$\Delta d = \pm 0,42d^{0,36} - w_n N; \Delta D = \pm 0,42D^{0,36} + w_n N; \Delta d_c = \pm 0,67d_c^{0,36} + w_c N \quad (2)$$

Тут Δd – допуск на розмір отвору, мм; ΔD – допуск на зовнішній розмір, мм;

Δd_c – допуск на розмір стрижня, мм; (розміри d , D , d_c показані на рис. 4)

w_n, w_m, w_c – зношення пуансона, матриці та отвору в матриці для стрижня, мм/шт;

N – норма стійкості штампа, штук (деталей).

Для масового виробництва значення N треба брати якомога більшим. Для цього треба побудувати діаграму стійкості пуансонів та матриць [3] і визначити максимальні значення стійкості.

В першому наближенні значення відносних зношень робочих частин штампа можна приймати у такому вигляді (мм/шт): $w_n = (2,0 \pm 1,4) \cdot 10^{-7}$; $w_m = (1,85 \pm 0,65) \cdot 10^{-7}$; $w_c = (4,8 \pm 2,5) \cdot 10^{-7}$.

Припуски на механічне оброблення можна розраховувати, виходячи із співвідношень

$$P_d = (0,05 \dots 0,15) \sqrt{d}; \quad P_D = (0,05 \dots 0,15) \sqrt{D}; \quad P_L = (0,01 \dots 0,05) \sqrt{L}.$$

Ще раз підкреслимо, що розраховані припуски мають бути погоджені із замовником. Це має бути відображено на кресленку деталі, який підписують обидві сторони (виконавець і замовник). Кресленок є юридичним документом, на підставі якого регулюються усі взаємини між сторонами.

Важливо зазначити, що усі розміри деталей, які виготовляють видавлюванням, можна розділити на п'ять видів (рис. 4).

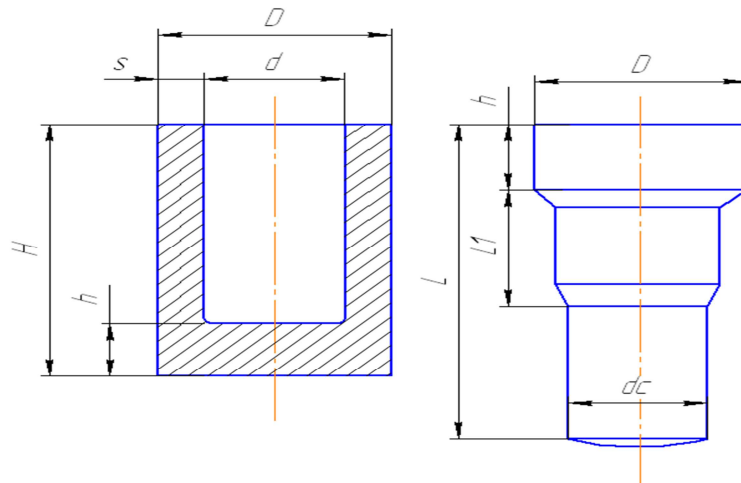


Рис. 4 – Класифікація видів розмірів штампованок [3]

Діаметральні розміри отворів (d) та зовнішніх поверхонь (D , d_c) досить стабільні. Вони визначаються пружно-пластичною деформацією та зношенням інструмента (пуансонів або матриць). Оскільки умови змащення внутрішніх поверхонь деталей значно гірші (на них коефіцієнти суцільності екрануючого та мастильного покриття значно нижчі), зношення пуансонів відбувається інтенсивніше, ніж зношення зовнішніх поверхонь. Тому допуски на розміри першого виду (Δd) більші за допуски на розміри другого виду (ΔD , Δd_c). Рекомендації з вибору допусків на перший та другий вид розмірів дано в табл. 2 або за формулами (1), залежно від того, яку групу точності ми використовуватимемо.

Розміри третього виду, які характеризують товщину донця h (фланця, або інших елементів штампованки, що визначаються закритою висотою преса), є менш стабільними, але достатньо точними. Відхилення цих розмірів (допуски) визначаються лише пружною деформацією системи прес-штамп у напрямку осі z . У зв'язку із розкидом твердості, а також коливаннями умов тертя для різних заготовок (в межах певної партії) зусилля деформації F_∂ можуть змінюватись на ΔF_∂ . Тому допуски на розміри третього виду складають

$$\Delta h = \Delta F_{\delta} / C_{ни}$$

Тут ΔF_{δ} – коливання зусилля деформації, H ;

$C_{ни}$ – жорсткість системи прес-штамп, $H/мм$.

Зазвичай коливання зусилля складає $\Delta F_{\delta} = \pm (0,08...0,14)F_{\delta}$. Вертикальна жорсткість системи прес-штамп складає $0,3...0,5$ від вертикальної жорсткості преса. Для пресів, які призначені для видавлювання, Л.І. Живов дає $C_{пр} = (2,9...8,3) Мн/мм$. Отже, жорсткість системи прес-штамп складає $C_{ни} = (1,2...3,3) Мн/мм$. Низька жорсткість штампа для холодного об'ємного штампування передусім визначається значною пружною деформацією пуансонів. Наприклад, пуансон довжиною 100 мм під навантаженням, яке характерне для холодного видавлювання (≈ 1 ГПа), деформується аж на 1 мм. Таким чином, коливання механічних властивостей заготовок та умов тертя на їхніх поверхнях призводять до різної пружної деформації системи прес-штамп в процесі видавлювання різних деталей, а через це й до різних розмірів третього виду.

Розміри четвертого та п'ятого видів (висота стакану H або довжина стрижня L , які показані на рис. 4, визначаються точністю об'єму заготовки. Чим більші відхилення об'єму заготовки ΔV від номінального, тим більші відхилення розмірів H або L від номінальних. Розраховуючи допуски на ці розміри, треба враховувати й відхилення розмірів третього виду Δh .

Для деталей типу стаканів маємо $\Delta H = (4\Delta V + \Delta h \pi d^2) / \pi(D^2 - d^2)$.

Для деталей типу стрижнів маємо $\Delta L = (4\Delta V + \Delta h \pi D^2) / \pi d_c^2$.

Відхилення цих розмірів (четвертого та п'ятого виду) можуть бути дуже значними (до міліметрів), якщо заготовки виготовлені із значними коливаннями об'єму. Щоб зменшити відхилення цих розмірів від номінальних, треба підвищити точність вихідних заготовок. Це можна зробити, наприклад, за допомогою додаткової операції калібрування заготовки [4,5].

Для деталей типу стаканів маємо ще один (шостий) дуже важливий показник точності штампування: ексцентричність внутрішньої поверхні відносно зовнішньої, яка однозначно визначається різностінністю $\Delta s = s^{max} - s_{min}$. Цей показник є дуже важливим, оскільки він визначає необхідність припусків на оброблення або отвору, або зовнішньої поверхні деталі.

Якщо маємо деталь типу стакану (яка має тільки одну зовнішню поверхню), особливо у випадку фігурної форми внутрішньої поверхні (овальну або багатогранну) за умов жорстких вимог до різностінності припуск призначають на зовнішню поверхню, бо в цьому випадку значно полегшується механічне оброблення. Але, якщо маємо деталь із східчастою зовнішньою поверхнею (кілька ступінчастих елементів), то припуск призначають виключно на внутрішню поверхню, бо це мінімізує втрати металу в стружку та об'єм механічного оброблення.

Зазначене вище свідчить про те, що точність штампованих виробів треба визначати, як мінімум, двома критеріями: допусками та припусками на виготовлення деталей.

Проте в обробленні металів тиском широкого використання набув показник КВМ – коефіцієнт використання металу. Він визначається, як відношення маси обробленої деталі до норми витрати металу на виготовлення цієї деталі. На жаль, через погане знайомство інженерів-конструкторів з сучасними ефективними методами штампування, деякі деталі видаються дуже нетехнологічними з точки зору оброблення металів тиском: сьогодні конструктори, як і колись, орієнтуються на технологію оброблення деталей різанням, а не штампуванням чи видавлюванням. Тому в деяких деталях передбачаються дуже великі напуски. Прикладів можна навести багато.

Результати досліджень щодо класифікації точних методів об'ємного штампування. Отже, загальну класифікацію точних методів об'ємного штампування розроби-

ти практично неможливо, бо є три класифікаційні ознаки, які визначають точність штампованки: 1) критерій мінімуму припусків на виготовлення штампованок; 2) критерій мінімуму допусків на виготовлення штампованок; 3) критерій мінімуму витрат металу на виготовлення штампованок.

Цілком очевидно, що для гарячого видавлювання та усіх інших процесів оброблення металів тиском в гарячому стані, допуски на виготовлення завжди більші, ніж для холодного видавлювання, бо на пружні деформації деталі та інструмента при гарячому видавлюванні накладаються ще й термічні деформації, які пов'язані з коливаннями температури закінчення штампування.

Наш досвід показав, що суттєве підвищення точності за рахунок зменшення допусків цілком можливе шляхом використання таких заходів: 1) використання дистанцерів для гідравлічних пресів; 2) використання блоків штампів з чотирма плитами; 3) раціонального конструювання пуансонотримача; 4) зворотного розташування напрямних колонок; 5) застосування компенсаторів непаралельності плит штампа. Рис. 5 дає уявлення про зазначені заходи.

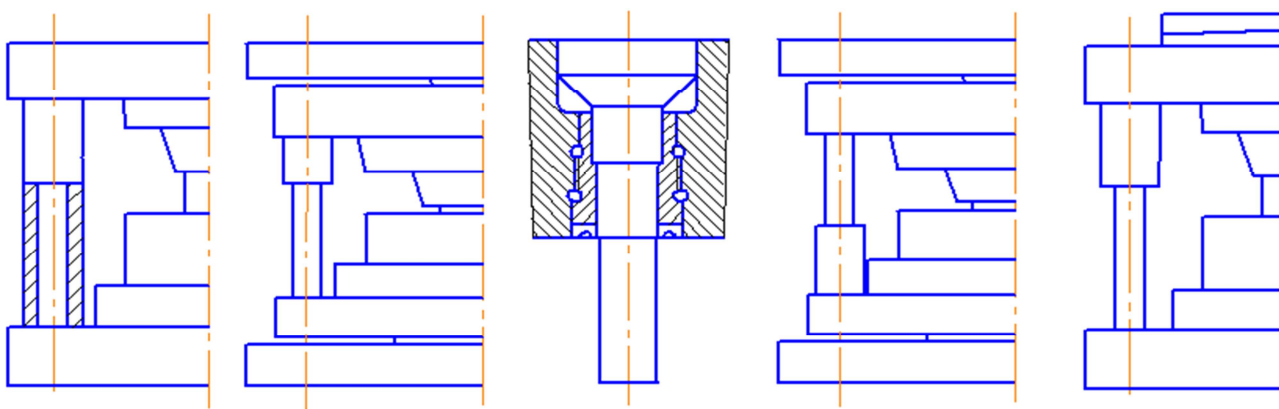


Рис. 5 – Схеми штампів, які дозволяють зменшити допусків на видавлювання

Гідравлічні преси (навіть у тому разі коли вони мають регулятори тиску) не можуть забезпечити точного положення поковзня у крайньому нижньому положенні. Тому використання дистанцерів у вигляді чотирьох втулок (рис. 5, а), які шліфовані по довжині комплектно, забезпечує точну і стабільну закриту висоту преса, що забезпечує сталість розмірів третього виду (Δh).

Блоки штампів з чотирма плитами (рис. 5, б) дозволяють практично повністю виключити пружну деформацію внутрішніх плит та колонок, чим значно підвищується точність видавлювання (зокрема, показник Δs). Але це стає можливим лише в тому випадку, коли між опорними плитами та плитами, в яких розташовані напрямні колонки та втулки, передбачені проміжки 2...5 мм. В цьому випадку деформація столу та поковзня преса не призводить до деформації внутрішніх плит із напрямними вузлами.

В результаті аналізу результатів вимірювань горизонтальної деформації пуансонів визначено, що найкращою конструкцією пуансонотримача слід вважати конструкцію, яка показана на рис. 5, в. Пуансон закріплюється в пуансонотримачі по перехідному садінню (переважно по $H7/n6$ або $H7/k6$). Це забезпечує, з одного боку, точне центрування пуансона у пуансонотримачі, а з другого – можливість легкої заміни зношеного пуансона. Пуансонотримач центрується у верхній плиті штампа по двом циліндричним поверхням D_1 та D_2 по садіннях $H7/h6$, а закріплюється за допомогою різі, яка розташована між центруючими поверхнями. Щоб різь можна було не шліфувати після остаточного виготовлення пуансонотримача, а нарізати її різцем перед термічним обробленням, треба зро-

бити різь на 0,3...0,6 мм слабшою, ніж це передбачено стандартом на різь. Довжина нарізаної частини пуансонотримача має бути довшою за довжину поверхонь D_1 та D_2 .

Зворотне розташування напрямних колонок (рис. 5, з) дозволяє значно підвищити точність деталей типу стаканів [3], зокрема зменшити Δs .

Застосування компенсаторів непаралельності плит штампа (рис. 5, д) можна використати у тому разі, коли технологічна точність преса недостатньо висока. В цьому разі треба виміряти непаралельність плити поковзня відносно підштампової плити преса і розрахувати клинуватість компенсатора.

Крім того, для зменшення допусків на виготовлення деталей холодним видавлюванням треба дбати про точність вихідних заготовок. Якщо діаметр заготовки менший за діаметр матриці, то значно збільшуватиметься допуск Δs . Якщо об'єм заготовки матиме значні коливання, то допуски на розміри H та L також матимуть значні коливання, що призведе до необхідності введення додаткових операцій різання (знімати припуски по довжині).

Щоб зменшити напуски, треба використовувати відомі методи [8,9]: 1) штампування без штампувальних нахилів; 2) комбіноване штампування; 3) розкочування.

Щоб зменшити витрату металу на виготовлення тієї чи іншої штампованки, треба орієнтуватись не на різання, а сучасні методи оброблення металів тиском.

Висновки.

1. Термін «Точне об'ємне штампування», на жаль, не є визначеним.
2. Для порівняння технологічних процесів штампування і видавлювання термін «Точне об'ємне штампування» необхідно розглядати з трьох різних сторін: як точність припусків, точність допусків та як коефіцієнт використання металу.
3. Для холодного об'ємного штампування на пресах та холодновисаджувальних автоматах допуски на виготовлення деталей не регламентовані жодним стандартом. Автор рекомендує передбачити три ступеня точності деталей: 1) підвищену (П); 2) нормальну (Н) та 3) оптимальну (О).
4. Щоб підвищити точність штампованок, рекомендується кілька конкретних шляхів (див. рис. 5).

Список літератури: 1. Прогрессивные методы точной объемной штамповки в закрытых штампах. – М.: НИИМАШ, 1971. 2. Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в двух томах. Под ред. М. В.Сторожева. – М.: Машиностроение, 1967. 3. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Харьков, Выща школа, 1987. 4. Евстратов В. А., Рудь В. И., Иванов О. М. Матрица для объемного деформирования. – АС СССР №1386347. – БИ №13, 07.04.1988. 5. Евстратов В. А., Подгорная В. А. Штамп для изготовления точных заготовок //Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2008, №2. 6. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х томах. Том 3. Холодная объемная штамповка / Под ред. Г. А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. 7. Живов Л. И., Овчинников А. Г. Кузнечно-штамповочное оборудование. Прессы. – Харьков, Выща школа, 1966. 8. Лобанов В. К. Штамповка поковок без штамповочных уклонов. 9. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х томах. Том 2. Горячая объемная штамповка / Под ред. Е. И. Семенова. – М.: Машиностроение, 1986.

Надійшла до редколегії 23.10.2012

УДК 621.73

Сучасні технології точного об'ємного штампування / Євстратов В. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012. – №46(952). – С. 33-40 – Библиогр.: 9 назв.

Стаття посвящена сравненію и оценке технологических процессов точной объемной штамповки. Показаны противоречия в определении понятия «точная объемная штамповка» (ТОШ). Рассмотрены важные аспекты точности изготовления деталей горячей объемной штамповкой и холодным выдавливанием. Приведены рекомендации по повышению точности штамповок.

Ключевые слова: технология, штамповка, объемная штамповка, точная объемная штамповка, выдавливание, пять видов размеров деталей, изготавливаемых выдавливанием.

The paper is devoted to the modern technologies of precision volumetric die forging comparison and estimation. There are shown the contradictions in interpretation of the term “precision volumetric die forging”. The author examined important aspects of precision volumetric hot die forging und cold extrusion and leads to recommendations, witch gives possibility to raise the exactness.

Keywords: technologies, mechanical working, volumetric die forging, precision volumetric die forging, five kinds of the parts dimensions of cold extruded details.

УДК.621.771.63

А. С. ЗАБАРА, аспирант, НТУ «ХПІ»;

Ю. А. ПЛЕСНЕЦОВ, канд. техн. наук, зав. кафедрой, НТУ «ХПІ».

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО СЕЧЕНИЯ

В работе проведено моделирования процесса осадки заготовки с помощью метода конечных элементов. Полученные поверхностные деформации сопоставили с экспериментальными исследованиями. Сделан вывод о целесообразности моделирования процесса осадки заготовки с использованием метода конечных элементов.

Ключевые слова: специальный гнутый профиль замкнутого сечения, моделирование, технология, осадка трубы.

Введение. В условиях создания в Украине основ рыночной экономики, возникновения и обострения конкурентных отношений, проблема материалоемкости промышленной продукции и выведения ее по этому показателю на уровень, достигнутый в промышленно развитых странах, становится первоочередной.

Один из эффективных путей экономии металла – увеличение производства и поиск новых областей применения гнутых профилей. Гнутые профили проката – высокоэкономичный вид металлопродукции, изготавливаемой методом непрерывного профилирования листового материала на профилегибочных агрегатах различного типа.

Вопросом разработки сортамента специальных гнутых профилей замкнутого сечения (СПЗС) и освоение их производства в Украине уделяется значительное внимание в связи с эффективностью их применения. Наибольшее количество разработок в этом направлении выполнено в Украинском научно-исследовательском институте металлов (УкрНИИМете). В то же время, выполненный в УкрНИИМете комплекс работ направлен на реализацию технологий производства СПЗС из заготовки 3 мм и более.

Анализ последних исследований и литературы. В последние годы в обрабатывающей промышленности сохраняется устойчивая тенденция к автоматизации производственных процессов, требующей автоматизированного разветвленного складского хозяйства на основе стеллажных конструкций [1]. Высокоэкономичные гнутые профили находят все более широкое применение в складском хозяйстве, благодаря чему, не только обеспечивается экономия металла, но и значительно снижается трудоемкость изготовления, а также облегчается унификация узлов и элементов. Одним из основных элементов стеллажных конструкций является траверса (см. рис. 1).

В настоящее время в Украине траверсу изготавливают из двух с-образных профилей и уголка, для получения которой требуются их формовка и последующая сварка. Снижение трудоемкости изготовления, а также соответствие повышенным требованиям к экспортному исполнению стеллажных конструкций (технологичность сборки, надежность в эксплуатации, товарный вид) может быть обеспечено при замене сварных с-образных профилей с уголком специальным гнутым профилем замкнутого сечения (рис. 2).