

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-357-20>

УДК 621.664

ЗАЙКА СЕРГІЙ

Центральноукраїнський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7444-9706>e-mail: borodavichus@gmail.com**ЗАЙКА АНДРІЙ**

Центральноукраїнський національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0009-2828-9751>e-mail: zaika_andrii@ukr.net**ЛИСЕНКО ОЛЕКСАНДР**

Центральноукраїнський національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3385-1771>e-mail: Ac74@i.ua**СКІБІНСЬКИЙ ЯРОСЛАВ**

Центральноукраїнський національний технічний університет

<https://orcid.org/0009-0007-1242-0327>e-mail: yaroskibik@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЧАВУНУ ДЕФОРМУЮЧИМ ПРОТЯГУВАННЯМ

Для підвищення ефективності металообробної промисловості необхідна розробка та впровадження у виробництво нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій. Одним з напрямків вирішення даної проблеми є впровадження технологічних процесів, які містять в собі операцію деформуючого протягування, що у порівнянні з традиційними процесами обробки дозволяє значно підвищити якість та знизити собівартість. Тому, визначення можливості застосування процесу деформуючого протягування для обробки нерівножорстких деталей типу корпусних з малопластичних матеріалів є актуальною задачею.

Процес деформуючого протягування ефективно застосовується при обробці пластичних матеріалів, а для обробки малопластичних, таких як чавуни, не має достатніх рекомендацій по їх використанню. Це може бути пояснено тим, що їх малий ресурс пластичності не привертав уваги спеціалістів по деформуючому протягуванню. Таке положення речей пояснюється тим, що пластичність, як властивість матеріалу сприймалася або незмінною величиною, або величиною, яка може тільки знижуватися.

У статті аналізується можливість підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну методом деформуючого протягування на основі вивчення особливостей механіки взаємодії інструмента з виробом.

За результатами проведених досліджень запропонована нова конструкція інструменту для фінішної обробки отвору корпусу гідропідсилювача та виготовлено експериментальний зразок деформуючої протяжки. Проведені дослідження інструменту у експериментальних випробуваннях.

Доведена можливість та доцільність використання деформуючого протягування для фінішної обробки високоточних отворів в нерівножорстких корпусних деталях.

Ключові слова: фінішна обробка, деформуюче протягування, нерівножорсткі корпусні деталі, різальний інструмент.

ZAIIKA SERHII, ZAIKA ANDRII,**LYSENKO OLEKSANDR, SKIBINSKYI YAROSLAV**

Central Ukrainian National Technical University

INCREASING THE EFFICIENCY OF PROCESSING HOLES IN CAST IRON BODY PARTS BY DEFORMATION BROACHING

To increase the efficiency of the metalworking industry, it is necessary to develop and implement new resource- and energy-saving technologies in production. One of the directions for solving this problem is the implementation of technological processes that include the operation of deformation broaching, which, in comparison with traditional processing processes, allows significantly improving quality and reducing cost. Therefore, determining the possibility of using the deformation broaching process for processing unevenly rigid parts such as body parts made of low-plastic materials is an urgent task.

The deformation broaching process is effectively used in the processing of plastic materials, but for the processing of low-plastic materials, such as cast iron, there are no sufficient recommendations for their use. This can be explained by the fact that their small plasticity resource did not attract the attention of specialists in deformation broaching. This state of affairs is explained by the fact that plasticity, as a property of the material, was perceived either as an unchanging value or as a value that can only decrease.

The article analyzes the possibility of increasing the efficiency of processing holes in cast iron body parts by the method of deformation broaching based on the study of the features of the mechanics of interaction of the tool with the product.

Based on the results of the research, a new design of the tool for finishing the hole in the hydraulic booster body was proposed and an experimental sample of the deformation broaching was manufactured. The tool was studied in experimental tests.

The possibility and feasibility of using deformation broaching for finishing high-precision holes in non-uniformly rigid 9+body parts was proven.

Keywords: finishing, deformation broaching, unevenly rigid body parts, cutting tools.

Стаття надійшла до редакції / Received 29.07.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.08.2025

Постановка проблеми

Науково-технічний процес будь-якої держави в значній мірі залежить від рівня розвитку металообробної промисловості. Для підвищення її ефективності необхідна розробка та впровадження у виробництво нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій. Одним з напрямків вирішення даної проблеми є впровадження технологічних процесів, які містять в собі операцію деформуючого протягування, що у порівнянні з традиційними процесами обробки дозволяє значно підвищити якість та знизити собівартість корпусу гідروпідсилювача. Тому визначення можливості застосування процесу деформуючого протягування для обробки нерівножорстких деталей типу корпусних з малопластичних матеріалів є актуальною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій

Приведені роботи свідчать про широке використання процесу деформуючого протягування при обробці пластичних матеріалів [1, 2, 3]. Однак існує велика кількість деталей, виготовлених з малопластичних матеріалів, одним із яких є чавун. З розвитком нової техніки застосування чавуну не знижується. Це обумовлено низкою його властивостей.

Процес деформуючого протягування ефективно застосовується при обробці пластичних матеріалів, а для обробки малопластичних, таких як чавун, не має достатніх рекомендацій по їх використанню. Це може бути пояснено тим, що їх малий ресурс пластичності не привертав уваги спеціалістів по деформуючому протягуванню. Таке положення речей пояснюється тим, що пластичність, як властивість матеріалу сприймалася або незмінною величиною, або величиною, яка може тільки знижуватися [4].

Однак у роботі [5] вказується, що при певних умовах можливо підвищити ресурс пластичності малопластичних матеріалів (без зміни температури). Така здатність матеріалу виявляється під дією високого статичного тиску (в умовах всебічного стиску), яке «затягує» мікротріщини, що утворюються і таким чином перешкоджає процесу крихкого руйнування. Пластичність не змінна властивість матеріалу, а величина, котра залежить від попередньої пластичності обробки матеріалу. Причому, у результаті такої обробки пластичність може, як підвищуватися, так і знижуватися.

При обробці деталей методом деформуючого протягування у зоні контакту робочого елементу з оброблюваною поверхнею виникають умови близькі до умов всебічного стиску [5], що теоретично обґрунтовує можливість пластичної обробки такого малопластичного матеріалу, як чавун. Результати практичної перевірки даного припущення, на прикладі обробки отворів у чавунних деталях [6] підтверджує його правильність.

Основними параметрами процесу деформуючого протягування є: кут робочого конуса деформуючого елементу, номінальний натяг на деформуючий елемент і його сумарна величина. Однак в зв'язку з тим, що при обробці чавуна (малопластичного матеріалу) застосовуються малі сумарні натяги, то найбільш ефективний засіб керування процесом обробки - варіювання величиною кута робочого конуса деформуючого елементу. Це припущення добре узгоджується з даними робіт [7, 8, 9] про те, що провідна роль при виявленні впливу на механіку процесу деформуючого протягування належить куту робочого конуса деформуючого елементу. Такий стан речей визначений тим, що при зміні вказаного параметру якісно змінюється механізм взаємодії інструменту з деталлю. Цю зміну можливо прослідкувати, використовуючи схему оцінки впливу різних входних параметрів на умови протягування, запропоновану у роботі, використовуючи енергетичний підхід. Сутність його полягає у тому, що загальну роботу протягування можливо представити, як суму робіт роздачі заготовки, роботи тертя між інструментом і виробом і роботи згину поверхні деталі у зоні контакту.

Причому компоненти роботи протягування мають різну ступінь впливу: найбільший вплив виявляє робота сил тертя, потім згину і в найменшій ступені – роздачі.

Вплив кута робочого конуса деформуючого елементу на роботу роздачі мінімально і визначається тільки висотою хвилі позаконтактної деформації. Робота згину поверхні деталі у більшій ступені визначається кутом α , так як при його зростанні поверхнева міцність матеріалу деталі призводить до викривлення поверхонь, прилягаючих до контактної області. При цьому мінімальним величинам кутів робочого конуса відповідає мінімальна величина роботи згину. Вплив α на третю складову роботи протягування – роботу сил тертя зв'язано з зміною площі контакту. Однак, через вплив багатьох параметрів (характеристика матеріалу, технологічна змазка, попередня обробка поверхонь тощо.) важко визначити розрахунковим шляхом оптимальне значення α з точки зору мінімальних енергозатрат. Найкращим результатом при оптимізації процесу протягування є сполучення мінімальних енергозатрат на процес і отримання високої якості обробки. Тому, найбільшу зацікавленість мають випробування процесу обробки при зміні кута робочого конуса у межах від 0 до 80.

Переваги деформуючого протягування чавунів у порівнянні з обробкою різанням доводяться у багатьох роботах. Так, у роботах [6, 5] відмічається підвищення зносостійкості і міцності поверхні. Це пов'язано з поверхневим наклепом, у роботі [5] відмічається, що його глибина досягає 0,08 мм при обробці ковких чавунів.

Порівняльний аналіз процесу деформуючого протягування і хонінгування при обробці чавунів приводить автор роботи [10]. Відмічається дві основні переваги протягування: поверхнєве зміцнення і

відсутність шаржування, що недопустимо в умовах експлуатації оброблюваних поверхонь, як пар тертя.

Проблеми чистової обробки чавунів деформуючим протягуванням розглянуті у роботах [5, 9, 10]. Відмічається, що чистова обробка можлива тільки при попередній високій якості поверхні і форми отвору. Це пов'язано з обмеженням можливих деформацій, через малий ресурс пластичності. Рекомендується, для зниження величини мікронерівностей поверхні, перед деформуючим протягуванням виконувати електрохімічну обробку.

У результаті проведеного огляду та аналізу літературних джерел, зроблені наступні висновки:

- механіка процесу деформуючого протягування пластичних матеріалів вивчена достатньо добре на рівножорстких деталях;
- обробка чавунних деталей отримує все більший розвиток, але її закономірності розглянуті на обмеженій кількості їх видів;
- у літературі недостатньо даних щодо вивченню ресурсу пластичності чавунів у процесі деформуючого протягування і його залежності від параметрів обробки;
- у літературі мало даних щодо обробки деформуючим протягуванням нерівножорстких деталей з чавуну, до яких перш за все відносяться корпусні деталі.

На основі зроблених висновків сформульовані цілі статті.

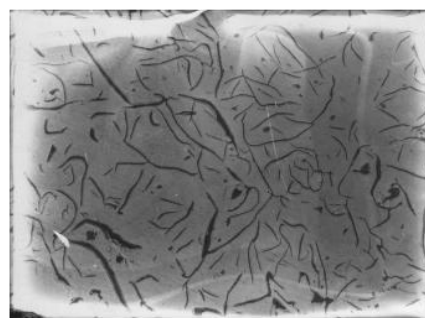
Метою роботи є: підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну методом деформуючого протягування на основі вивчення особливостей механіки взаємодії інструмента з виробом.

Виклад основного матеріалу

Об'єкт виробництва – корпус гідропідсилювача (рис. 1, а), який є основною деталлю виготовленою із сірого чавуну СЧ 20 (твердість по Брінелю – НВ 170...216), який має границі міцності: при розтягуванні – 200 МПа, при згині – 400 МПа. Структура чавуну наведена на (рис. 1, б). В отворі корпусу гідропідсилювача є три кільцеві проточки, до яких по каналам підводиться і відводиться робоча рідина. Отвір корпусу гідропідсилювача обробляється за 9 квалітетом, має розмір $\varnothing 20+0,02$ мм і шорсткість поверхні $Ra=0,28$ мкм.



а)



б)

Рис. 1. Об'єкт виробництва: а) корпус гідропідсилювача; б) структура чавуну

Базовий технологічний процес обробки отвору корпусу гідропідсилювача $\varnothing 20+0,02$ мм включає такі операції свердлування, зенкерування, алмазне розвертання з використанням комплекту, який складається з чотирьох алмазних розверток.

Недоліком існуючого технологічного процесу є низька продуктивність та висока вартість алмазних розверток.

Впровадження нового технологічного процесу з використанням методу деформуючого протягування дозволяє значно підвищити продуктивність обробки з використанням інструменту, який має низьку собівартість та значно більшу стійкість ніж алмазні розвертки.

Основна кількість дослідів по виявленню закономірностей деформуючого протягування нерівножорстких деталей було проведено на втулках з чавуну, які були виготовленні з відливок однієї партії постачання.

Вибір основних геометричних розмірів був виконаний з врахуванням типорозмірів, які найчастіше використовуються у промисловості. В зв'язку з цим експериментальні зразки представляли собою циліндричні втулки висотою $h = 70$ мм з отвором $d = 20$ мм розташовані паралельно вісі. Більша частина випробовувань (досліджень) була проведена на втулках двох типорозмірів зовнішнього діаметра $D = 40$ мм; $D = 60$ мм. (рис. 2). Для моделювання умов деформування широкого спектру нерівножорстких деталей, отвори виконувалися з різними ексцентриситетами відносно вісі втулки. Так при зовнішньому діаметрі $D = 40$ мм ексцентриситет приймає значення $e = 0; 2; 4; 6$ мм, а мінімальна товщина стінки $t_{\min} = 10; 8; 6; 4$ мм; відповідно при $D = 60$ мм. ексцентриситет $e = 0; 4; 8; 12; 16$ мм, а $t_{\min} = 20; 16; 12; 8; 4$ мм.

Попередня обробка втулок виконувалась на токарному верстаті мод. 1К62, що дозволила отримати отвір, похибка форми якого не перевищувала $0,02$ мм, а шорсткість Ra складає $2,0$ мкм.

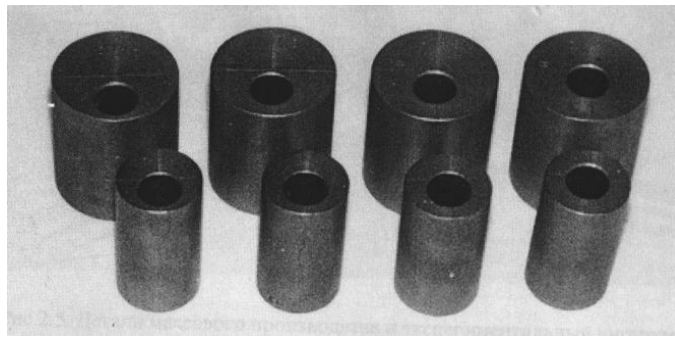


Рис. 2 Загальний вигляд оброблених деталей

Інструментом для проведення досліджень є спеціально розроблена конструкція деформуючої прошивки рис. 3, на якій у якості робочих елементів було використано деформуюче кільце із сталі Р6М5 з діапазоном зовнішніх діаметрів $d = 20,00; 20,03; \dots 20,27$ мм. Деформуючі елементи були виготовлені двох типів: перший тип – робочий конус $\alpha = 2^\circ$, оброблений $\alpha_1 = 8^\circ$; другий – $\alpha = 4^\circ$, $\alpha_1 = 12^\circ$; ширина стрічки $b = 0,3 - 0,5$ мм.

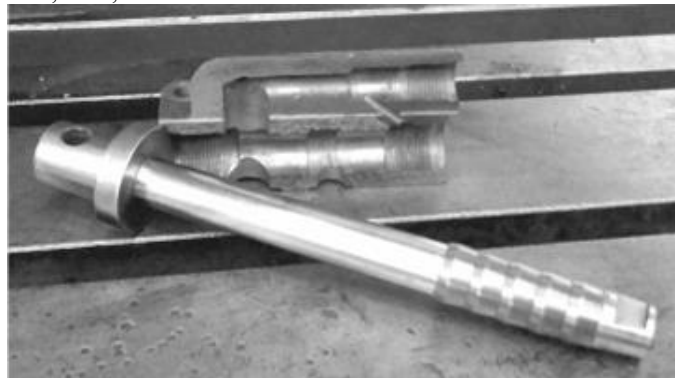


Рис. 3 Інструмент для проведення досліджень

Досліди з деформуючого протягування проводилися на гідравлічному пресі ГМ2901 з робочою швидкістю штоку $V = 0,05$ м/с для забезпечення точності взаємного положення деформуючих елементів і оброблюваного отвору протяжка жорстко закріплювалася на робочому органі пресу.

При проведенні досліджень у якості змащування використовувалося мастило І 20.

Крім того з метою практичного застосування процесу в умовах реального виробництва були проведені випробовування на деталях масового виробництва – корпусах гідропідсилювача $d = 20$ мм. (рис.1, а) експериментальним інструментом (рис. 4), які мають складну зовнішню конфігурацію, що обумовлює перемінну жорсткість основного отвору корпусу у різних перетинах.



Рис. 4 Деталь масового виробництва та експериментальний інструмент

У ході виробничих досліджень нового інструменту контролювався вплив процесу деформуючого протягування на шорсткість обробленої поверхні. На (рис. 5) у вигляді гістограми показана зміна шорсткості обробленої поверхні отвору корпусу гідропідсилювача при поелементному протягуванні, а також, для порівняння, представлена величина параметру R_a , яка отримана у результаті лезового розвертання. Як видно з рисунка, лезове розвертання отвору корпусу гідропідсилювача створює відносно високу шорсткість обробленої поверхні ($R_a = 2,0$ мкм), однак, в процесі подальшого деформуючого протягування воно значно зменшується і після пластичної деформації мікронерівностей при зворотному ході протяжки досягає $R_a = 0,28$ мкм, чого не можливо отримати лезовим розвертанням.

На (рис. 6) наведені криві розподілу опорних ліній мікронерівностей отвору корпусу гідропідсилювача, отриманих різними способами обробки.

На (рис. 7) наведені відповідні профілограми мікронерівностей. Як випливає з цих рисунків, деформуюче протягування забезпечує більш сприятливий мікрорельєф обробленої поверхні, ніж лезове та алмазне розвертання. Тому можна вважати, що несуча здатність мікронерівностей, отриманих протягуванням, буде більшою в порівнянні з несучою здатністю мікрорельєфу, сформованого іншими способами обробки.

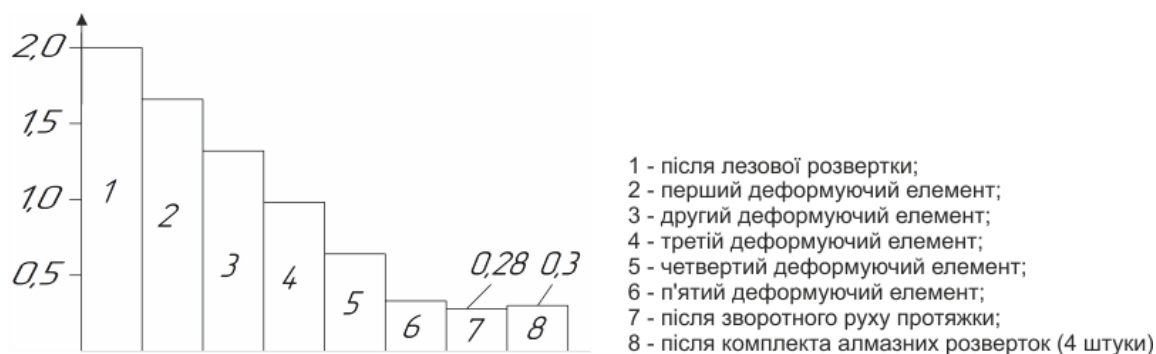


Рис. 5 Зміна шорсткості обробленої поверхні отвору корпусу гідропідсилювача при поелементному протягуванні та при лезовому розвертанні

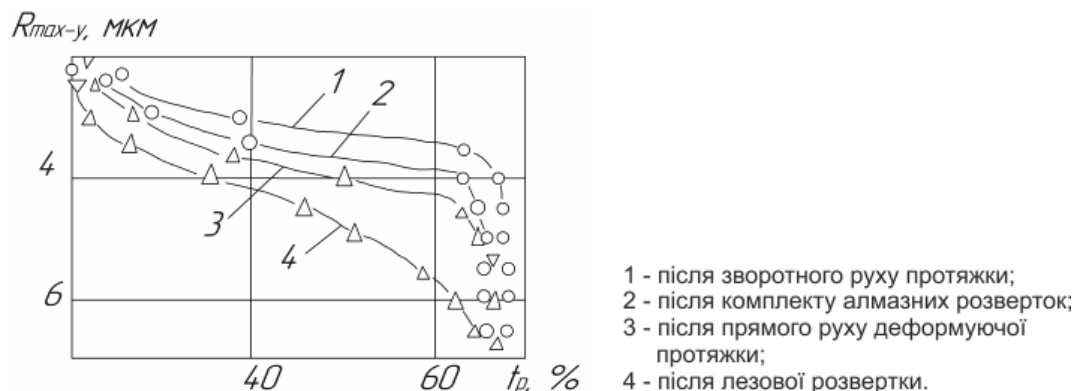


Рис. 6 Криві розподілу опорних ліній мікронерівностей отвору корпусу гідропідсилювача, отриманих різними способами обробки



Рис. 7 Профілограми мікронерівностей отвору корпусу гідропідсилювача, отриманих різними способами обробки

Для оцінки продуктивності нового інструменту проводився хронометраж операцій протягування, лезового та алмазного розвертання. Порівняльний аналіз результатів хронометражу показав, що впровадження у технологічний процес обробки отвору корпусу гідропідсилювача операції

протягування дозволяє у 1,5 рази знизити основний час на алмазне розвертання. Такий ефект можна пояснити тим, що попередня алмазному розвертання операція протягування призводить до появи на обробленій поверхні рисок, які сприяють інтенсифікації зняття необхідного припуску. Крім того в результаті деформуючого протягування виникає зміцнення поверхневого шару внутрішньої порожнини на досить значну глибину, що також поліпшує оброблюваність матеріалу корпусу гідропідсилювача.

Для визначення розподілу твердості по товщині стінки вимірювання проводилися на твердомірі ХПО – 250 при навантаженні на індентор 50Н на спеціальних шліфах.

На (рис. 8) наведено графік залежності розподілу твердості по товщині стінки при протягуванні отвору корпусу гідропідсилювача з чавуну СЧ 20 при номінальному натягу на елемент $a = 0,02$ мм і куті робочого конуса деформуючого елемента $\alpha = 4^\circ$. Із графіка слідує, що для поверхневого шару деталі, який прилягає до обробленої поверхні, твердість складає HV 2,2 ГПа за шкалою Віккерса. Ця твердість відповідає граничному зміцненню обробленого матеріалу. Зміцнення поверхневого шару дозволяє підвищити зносостійкість обробленої поверхні, в результаті забезпечує подовження терміну працездатності пари тертя. А алмазне розвертання зміцнення поверхневого шару не дає і має недолік – шаржування обробленої поверхні, яке призводить до втрати точності пар тертя та суттєво зменшується строк служби.

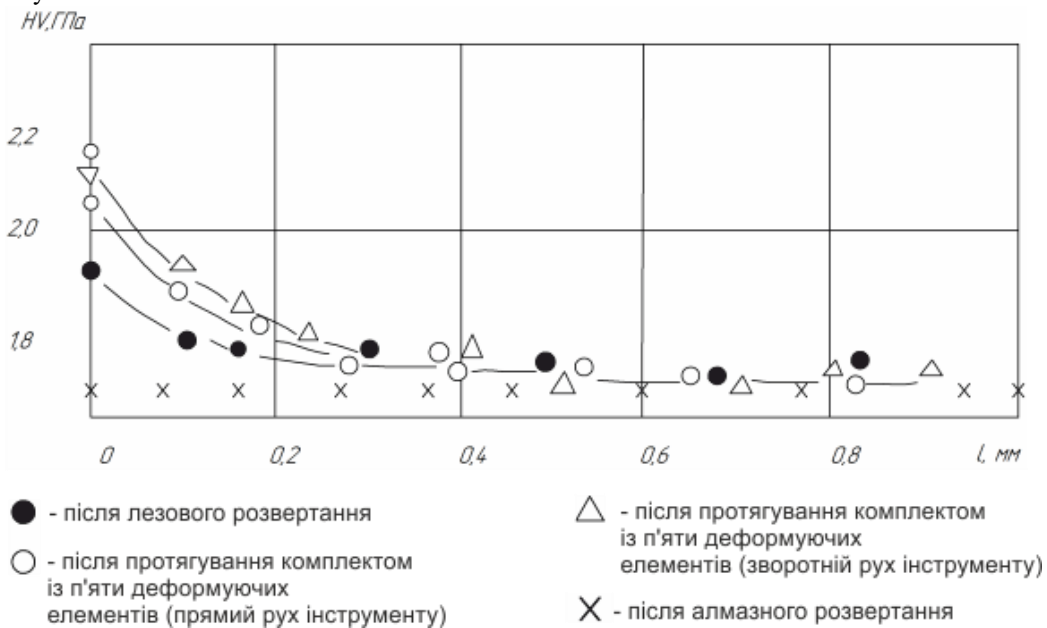


Рис. 8 Графік залежності розподілу твердості по товщині стінки при протягуванні отвору корпусу гідропідсилювача

Аналіз кривих показує, що при деформуванні деталей на твердість поверхневого шару впливає вихідна товщина стінки деталі. По мірі збільшення стінки твердість поверхневого шару збільшується. Це пов'язано з відповідним зростанням контактних тисків, які діють на оброблену поверхню. Цей аналіз також показує, що величина сумарної деформації впливає не тільки на ступінь зміцнення оброблюваного матеріалу, але також і на інтенсивність і глибину зміцнення.

Досліди, які проводилися на корпусах гідропідсилювачів із чавуну СЧ20, показали, що при протягуванні отворів з малою товщиною стінки величина сумарної деформації, кут робочого конуса та номінальний натяг на деформуючий елемент практично мало впливають на точність форми отвору як в подовжніх, так і в поперечних перерізах. В процесі накопичення деформації можливо як зменшення, так і деяке збільшення похибки форми отвору. Проте коливання похибки не перевищує 0,02 мм. Збільшення в деяких випадках похибки форми отвору, ймовірно, пов'язано з точністю виготовлення самого деформуючого елемента, його встановлення на оправці, а також базуванням деталі.

При обробці отворів корпусів гідропідсилювачів з більш значимою товщиною стінки із збільшенням сумарної пластичної деформації в усіх випадках зміни величини номінального натягу на деформуючий елемент та кута робочого конуса деформуючого елемента спостерігається спотворення форми отвору і зовнішньої циліндричної поверхні в осьовому перерізі – з'являється корсетність. При малому номінальному натягу на деформуючий елемент та куті робочого конуса поява корсетності виявлено після перших трьох – чотирьох циклів протягування. У міру збільшення кута робочого конуса деформуючого елемента і номінального натягу, початок спотворення форми отвору зміщується у сторону меншої кількості циклів деформування.

Що ж стосується точності форми отвору у поперечному перерізі, то в міру наближення товщини стінки до нескінченної, в процесі деформуючого протягування вихідна похибка форми отвору зменшується.

Якщо до оброблюваних отворів пред'являються високі вимоги по точності форми, то деформуюче протягування деталей з нескінченної (або близької до нескінченної) товщиною стінки можливо застосовувати у якості фінішної операції тільки при малих номінальних натягах на деформуючий елемент та кути робочого конусу деформуючого елементу.

Висновки

1. Розроблено нову конструкцію інструменту для фінішної обробки отвору корпусу гідропідсилювача

2. Проведені дослідження працездатності інструмента згідно яких встановлено, що деформуюче протягування забезпечує:

- точність форми обробленого отвору 0,005 мм;
- шорсткість поверхні отвору – Ra 0,28 мкм;
- зміцнення поверхневого шару до 28 %.

Таким чином, досягнуто мети – підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну методом деформуючого протягування на основі вивчення особливостей механіки взаємодії інструмента з виробом.

Література

1. Єрьомін П. М., Кириченко А. М., Гречка А. І. Забезпечення різання при зворотному русі деформуюче-ріжучої протяжки для обробки отворів у деталях із чавуну. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2014. Вип. 1(84). Кременчук: КрНТУ. С. 107–112.

2. Єрьомін П. М., Кириченко А. М., Солон О. В. Моделювання холодного пружно-пластичного деформування отворів у втулках із сірого чавуна методом кінцевих елементів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2014. Вип. 1(84). Вінниця: ВНАУ. С. 15–22.

3. Єрьомін П. М., Чернявський О. В., Солон О. В. Моделювання протягування деталей із сірого чавуна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2014. Вип. 2(84). Вінниця: ВНАУ. С. 21–27.

4. Єрьомін П. М., Чернявський О. В., Студенець С. Ф. Дослідження взаємодії деформуючого елемента протяжки із оброблюваною поверхнею деталей із графітовмісних чавунів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2014. Вип. 44. Кіровоград: КНТУ. С. 115–121.

5. Немировський Я. Б. Наукові основи забезпечення точності при деформуючому протягуванні: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. Київ, 2018. 40 с.

6. Єрьомін П. М., Чернявський О. В., Гречка А. І. Розширення технологічних можливостей комбінованого протягування отворів в деталях з малопластичних металів. У: Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези доповідей X Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції (м. Суми, 26–30 жовт. 2010 р.). Суми: СДУ, 2010. С. 7.

7. Єрьомін П. М., Кириченко А. М., Гречка А. І. Забезпечення процесу різання при зворотному русі деформуюче-різальної протяжки для обробки отворів у деталях із чавуну. У: Машинобудування – очима молодих: збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції (м. Кременчук, 30 жовт. – 1 листоп. 2013 р.). Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2013. С. 48.

8. Єрьомін П. М., Немировський Я. Б., Чернявський О. В. Особливості розрахунку усадки отворів при деформуючому протягуванні деталей із чавуну. Високі технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. Харків: НТУ "ХПІ", 2014. Вип. 1(24). С. 109–121.

9. Єрьомін П. М., Чернявський О. В., Студенець С. Ф. Вплив умов деформування при обробці твердосплавними комбінованими протяжками на структуру та зміцнення поверхневого шару чавунів. Надтверді матеріали: створення, виробництво, дослідження, застосування: збірник. Київ: Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, 2015. Вип. 4. С. 91–99.

10. Nemirovskyy Ya., Chernyavskyy O., Eryomin P., Tsekhanov Yu. Issues about limit plastic deformations of deforming broaching of cast iron parts. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. 2016. № 1(81). Ternopil: TNTU. P. 88–97.

References

1. Yeremin P.M., Kyrychenko A.M., Grechka A.I. Ensuring cutting during reverse movement of a deforming-cutting broach for machining holes in cast iron parts Bulletin of the Kremenchuk Mykhailo Ostrogradsky National University. - Issue 1/2014 (84). - Kremenchuk: KrNTU, 2014. - P. 107-112

2. Yeremin P.M., Kyrychenko A.M., Solona O.V. Modeling cold elastic-plastic deformation of holes in gray cast iron bushings by the finite element method Collection of scientific papers of Vinnytsia National Agrarian University. Series "Technical Sciences". - Issue 1(84). - Vinnytsia: VNAU, 2014. - P. 15-22.

3. Yeremin P.M., Chernyavsky O.V., Solona O.V. Modeling of broaching of gray cast iron parts Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Series "Technical Sciences". - vol. 2(84). - Vinnytsia: VNAU, 2014. - pp. 21-27.

4. Yeremin P.M., Chernyavsky O.V., Studenets S.F. Research of interaction of the deforming element of broaching with the machined surface of parts made of graphite-containing cast irons National Interdepartmental Scientific and Technical Collection "Design, Production and Operation of Agricultural Machines". - vol. 44. - Kirovograd: KNTU, 2014 - pp. 115-121.
5. Nemirovsky Ya.B. Scientific foundations of ensuring accuracy in deforming broaching: author's abstract. dissertation. Doctor of Technical Sciences: 05.02.08/Ya.B. Nemirovsky. – Kyiv, 2018. – 40 p.
6. Yeremin P.M., Chernyavsky O.V., Grechka A.I. Expanding the technological capabilities of combined broaching of holes in parts made of low-plastic metals Mechanical engineering of Ukraine through the eyes of the young: progressive ideas - science - production: abstracts of reports of the X All-Ukrainian Youth Scientific and Technical Conference, Sumy, October 26-30, 2010 - Sumy: SDU, 2010. - P. 7
7. Yeremin P.M., Kyrychenko A.M., Grechka A.I. Ensuring the cutting process during the reverse movement of the deforming-cutting broach for processing holes in parts made of cast iron Collection of materials of the international scientific and technical conference "Mechanical engineering - through the eyes of the young" - Sumy. Kremenchuk, October 30 - November 1, 2013 - Kremenchuk: KrNU named after Mykhailo Ostrogradsky, 2013. - P. 48.
8. Yeremin P.M., Nemirovsky Ya.B., Chernyavsky O.V. Features of calculating the shrinkage of holes during deformation broaching of cast iron parts. High technologies in mechanical engineering: collection of scientific works. - Kharkiv, NTU "KhPI", 2014. - Issue 1(24).- P.109-121
9. Yeremin P.M., Chernyavsky O.V., Studenets S.F. The influence of deformation conditions during processing with hard alloy combined broaches on the structure and strengthening of the surface layer of cast irons / Collection "Superhard materials: creation, production, research, application", Kyiv, Institute of Superhard Materials named after V.M. Bakulya of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2015. - Vol. 4, 2015. - P.91-99.\
10. Ya. Nemirovskyy, O. Chernyavskyy, P. Eryomin, Yu. Tsekhanov Issues about limit plastic deformations of deforming broaching of cast iron parts Scientific Journal of the Ternopil National Technical Yniversity.-N1(81).-Ternopil, TNTU, 2016.-PP. 88-97.