

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

на тему:

«Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну
деформуючим протягуванням»
«Increasing the efficiency of processing holes in cast iron body parts by
deformation broaching»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2 року
магістратури, групи ГМ-23М-3, напряму
133 «Галузеве машинобудування»

Микита КОНДРАТЕНКО

Керівник: ст. викл., к.т.н.

Антон АПАРАКІН

Рецензент: доц., к.т.н.

Тимофій РУДЕНКО

Завідувач кафедри: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	133 Галузеве машинобудування
Освітньо-наукова програма	Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
Андрій ГРЕЧКА

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Микити КОНДРАТЕНКА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну деформуючим протягуванням

2. Керівник роботи: к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН

3. Строк подання роботи до захисту «20» травня 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

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

Завдання:

- розробити методику проведення досліджень;
- провести дослідження оброблюваного отвору нерівножорсткої деталі із чавуна деформуючим протягуванням;
- розробити конструкції інструменту та технологічного оснащення для деформуючого протягування корпусу гідропідсилювача;
- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання деформуючого протягування робочої порожнини корпусу гідропідсилювача;

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 2	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 3	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 4	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
1	ВСТУП	Лютий 2025	Вик.
2	СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	Лютий 2025	Вик.
3	ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ		
	КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСУ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА	Березень 2025	Вик.
4	МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ		
	ДОСЛІДЖЕНЬ	Березень 2025	Вик.
5	ХАРАКТЕРИСТИКА КОНСТРУКЦІЇ ІНСТРУМЕНТУ ТА		
	ПРИСТОСУВАННЯ	Березень 2025	Вик.
6	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ	Квітень 2025	Вик.
7	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Квітень 2025	Вик.
9	Графічна частина та оформлення	Травень 2025	Вик.

Дата видачі завдання « 03 » лютого 2025 р.

Керівник роботи _____ Антон АПАРАКІН

(підпис)

Завдання прийнято до виконання 03 » лютого 2025 р.

Здобувач

Микита КОНДРАТЕНКО

(підпис)

Анотація

Микита КОНДРАТЕНКО. Підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуну деформуючим протягуванням. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2025. – 69 с. Матеріали презентації 7 аркушів.

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

Для досягнення мети дослідження було вирішено такі задачі: розроблено методику проведення досліджень; проведено дослідження оброблюваного отвору нерівножорсткої деталі із чавуна деформуючим протягуванням; розроблено конструкції інструменту та технологічного оснащення для деформуючого протягування корпусу гідропідсилювача; виконано техніко – економічне обґрунтування доцільності використання деформуючого протягування робочої порожнини корпусу гідропідсилювача.

Актуальність: 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.

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

Практичне значення: запропонована нова конструкція інструменту для фінішної обробки отвору корпусу гідропідсилювача; на основі нової конструкції інструменту виготовлений експериментальний зразок деформуючої протяжки; проведені дослідження інструменту у експериментальних випробовуваннях.

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

Abstract

Mykyta KONDRATENKO. Increasing the efficiency of processing holes in cast iron body parts by deformation broaching. Master's Thesis: CNTU, 2025. - 69 p. Presentation materials 7 il.

The aim of the work is to improve the efficiency of machining holes in cast iron housing parts by the method of deforming broaching, based on the study of the mechanics of interaction between the tool and the workpiece.

To achieve the research goal, the following tasks were completed: a methodology for conducting research was developed; studies on machining a hole in a non-uniform rigidity cast iron part by deforming broaching were carried out; designs of tools and technological equipment for deforming broaching of a hydraulic booster housing were developed; a technical and economic feasibility study for the application of deforming broaching to the working cavity of the hydraulic booster housing was conducted.

Relevance: To enhance the efficiency of the metalworking industry, the development and implementation of new resource- and energy-saving technologies are essential. One of the approaches to solving this issue is the implementation of technological processes that include the operation of deforming broaching, which, compared to traditional machining processes, allows for significantly improved quality and reduced production costs. Therefore, determining the feasibility of applying the deforming broaching process for machining non-uniform rigidity housing-type parts made of low-plasticity materials is a relevant task.

Scientific novelty: The possibility and feasibility of using deforming broaching for the final machining of high-precision holes in non-uniform rigidity housing parts have been proven.

Practical significance: a new design of the tool for final machining of the hydraulic booster housing hole has been proposed; based on the new tool design, an experimental sample of the deforming broach was manufactured; experimental studies of the tool during testing were carried out.

Keywords: final machining, deforming broaching, non-uniform rigidity housing parts, cutting tool.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1. Огляд та аналіз літературних джерел згідно теми роботи.....	10
1.1.1. Особливості деформуючого протягування малопластичних матеріалів.....	10
1.1.2. Відомості про деформуюче протягування нерівножорстких деталей	15
1.2. Висновки, мета та задачі роботи.....	16
Розділ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТА ВИРОБНИЦТВА.....	18
Розділ 3. МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	
3.1 Методики проведення експериментальних досліджень.....	20
3.1.1 Досліджувальні матеріали, форма і розміри деталей,обладнання та інструмент.....	20
3.1.2 Методика вимірювань сил протягування.....	23
3.1.3 Методика дослідження характеристик якості оброблюваних деталей.....	25
3.2 Результати досліджень.....	26
3.2.1 Силіві залежності при деформуючому протягуванні.....	26
3.2.2 Якість обробленої поверхні.....	32
3.2.2.1 Шорсткість поверхні.....	32
3.2.2.2 Стан обробленої поверхні.....	41
3.2.3 Зміцнення поверхневого шару при деформуючому протягуванні.....	42
3.2.4 Вплив основних параметрів процесу деформуючого протягування на точність форми.....	41
Розділ 4. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ І РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНСТРУМЕНТА ТА ПРИСТРОЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРУ КОРПУСУ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА	
4.1 Характеристика конструкції інструменту та принцип його дії.....	44

4.1.1	Розрахунок на міцність деформуючих елементів.....	42
4.1.2	Розрахунок на міцність різьбового з'єднання.....	46
4.2	Характеристика конструкції технологічного оснащення та принцип його дії.....	48
4.2.1	Розрахунок допустимих напружень для болтового з'єднання.....	49
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕФОРМУЮЧОЇ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРУ КОРПУСУ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА		
5.1	Загальні вихідні дані.....	51
5.2	Визначення витрат на конструкторську підготовку виробництва.....	52
5.3	Визначення витрат на технологічну підготовку виробництва.....	53
5.4	Визначення витрат на виготовлення об'єкта та обґрунтування його оптової ціни.....	54
5.5	Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки) на новому обладнанні.....	57
5.6	Розрахунок показників економічної ефективності.....	62
5.7	Розробка плану виконання комплексу робіт з конструкторської підготовки виробництва.....	63
Загальні висновки.....		64
Список використаних літературних джерел.....		65

Вступ

Актуальність проблеми. Науково – технічний процес будь – якої держави в значній мірі залежить від рівня розвитку металооброблювальної 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 гідропідсилювача. Тому визначення можливості застосування процесу деформуючого протягування для обробки нерівножорстких деталей типу корпусних з малопластичних матеріалів є актуальною задачею.

Мета роботи – підвищення ефективності обробки отворів корпусних деталей із чавуна методом деформуючого протягування на основі вивчення особливостей механіки взаємодії інструмента з виробом.

Задачі роботи:

- розробити методику проведення досліджень;
- проведення досліджень оброблюваного отвору нерівножорсткої деталі із чавуна деформуючим протягуванням;
- розробка конструкції інструменту та технологічного оснащення для деформуючого протягування корпусу гідропідсилювача;
- розробити заходи щодо охорони праці та цивільного захисту;
- виконати техніко – економічне обґрунтування доцільності використання деформуючого протягування робочої порожнини корпусу гідропідсилювача.

Об’єкт і предмет досліджень. Об’єктом досліджень є процеси механічної обробки отворів корпусних деталей. Предмет досліджень – процес деформуючого протягування отворів у корпусних деталях.

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

Практична цінність роботи:

- запропонована нова конструкція інструменту для фінішної обробки отвору корпусу гідروпідсилювача;
- на основі нової конструкції інструменту виготовлений експериментальний зразок деформуючої протяжки;
- проведені дослідження інструменту у експериментальних випробовуваннях;
- виконане техніко – економічне обґрунтування доцільності використання нової конструкції інструмента.

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Огляд та аналіз літературних джерел згідно теми роботи

1.1.1. Особливості деформуючого протягування малопластичних матеріалів

Приведені роботи свідчать про широке використання процесу деформуючого протягування при обробці пластичних матеріалів. Однак існує велика кількість деталей, виготовлених з малопластичних, одним із яких являється 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.

Однак у роботі [4] вказується, що при певних умовах можливо підвисити ресурс пластичності малопластичних матеріалів (без зміни температури). Така здатність матеріалу виявляється під дією високого статичного тиску (в умовах всебічного стиску), яке "заліковує", 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 елемента з оброблюваною поверхнею виникають умови близькі до умов всебічного стиску [24], що теоретично обґрунтовує можливість пластичної обробки такого малопластичного матеріалу, як чавун. Результати практичної перевірки даного припущення, на прикладі обробки отворів у чавунних деталях [26] підтверджує його правильність.

Основними параметрами процесу деформуючого протягування являються: кут робочого конуса деформуючого елемента, 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 елемента. Це припущення добре узгоджується з даними робіт [12, 22, 24, 26] про те, що провідна роль при виявленні впливу на механіку процесу деформуючого протягування належить куту робочого конуса деформуючого елемента. 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 вхідних параметрів на умови протягування, запропоновану у роботі [24], використовуючи енергетичний підхід. Сутність його полягає у тому, що загальну роботу протягування можливо представити, як суму робіт роздачі заготовки A_p , роботи тертя між інструментом і виробом $A_{тр}$ і роботи згину поверхні деталі у зоні контакту $A_{и}$

$$A = A_p + A_{тр} + A_{и} \quad (1.1)$$

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 елемента 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. У роботі [12] приводиться залежність (рис.1.1, 1.2) між α і l , графічно вираженою у вигляді параболи, у якій максимальне зниження функції відбувається у діапазоні зміни α від 0 до 60° . Так як обидві функції приймають мінімальні значення в області малих значеннях кута α , то можна припустити, що залежність загальної роботи $A = f(\alpha)$ носить аналогічний характер. Однак, із – за

впливу багатьох параметрів (характеристика матеріалу, технологічна змазка, попередня обробка поверхонь та ін.) важко визначити розрахунковим шляхом оптимальне значення α з точки зору мінімальних енергозатрат, але практичне підтвердження про існування такого оптимуму мається у роботах [22, 26] (рис.1.3, 1.4). Найкращим результатом при оптимізації процесу протягування являється сполучення мінімальних енергозатрат на процес і отримання високої якості обробки. Тому, найбільшу цікавість представляють випробування процесу обробки при зміні кута робочого конуса у межах від 0 до 8° .

Переваги деформуючого протягування чавунів у порівнянні з обробкою різанням доводяться у багатьох роботах. Так, у роботах [5, 6, 8, 9, 10, 13, 27] відмічається підвищення зносостійкості і міцності поверхні. Це пов'язано з поверхневим наклепом, у роботі [27] 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 [6]. 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 [11, 15, 16, 20, 21, 23, 25]. Відмічається, що чистова обробка можлива тільки при попередній високій якості поверхні і форми отвору. Це пов'язано з обмеженням можливих деформацій, із – за малого ресурсу пластичності. Рекомендується, для зниження величини мікронерівностей поверхні, перед деформуючим протягуванням виконувати електрохімічну обробку.

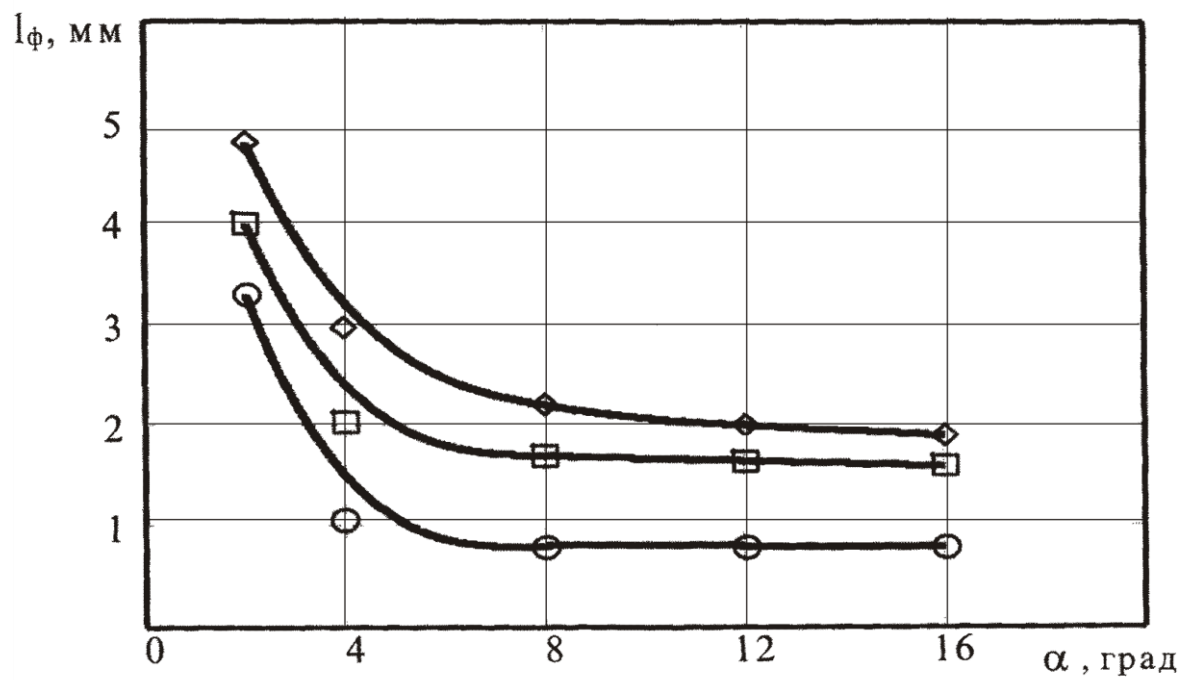


Рис.1.1. Залежність фактичної довжини контакту від кута робочого конусу деформуючого елемента. Сталь 45, HB 200, $d_0 = 35$ мм, $a_n = 0,5$ мм. ○ – $t_0 = 5$ мм, □ – $t_0 = 10$ мм, ◇ – $t_0 = 15$ мм.

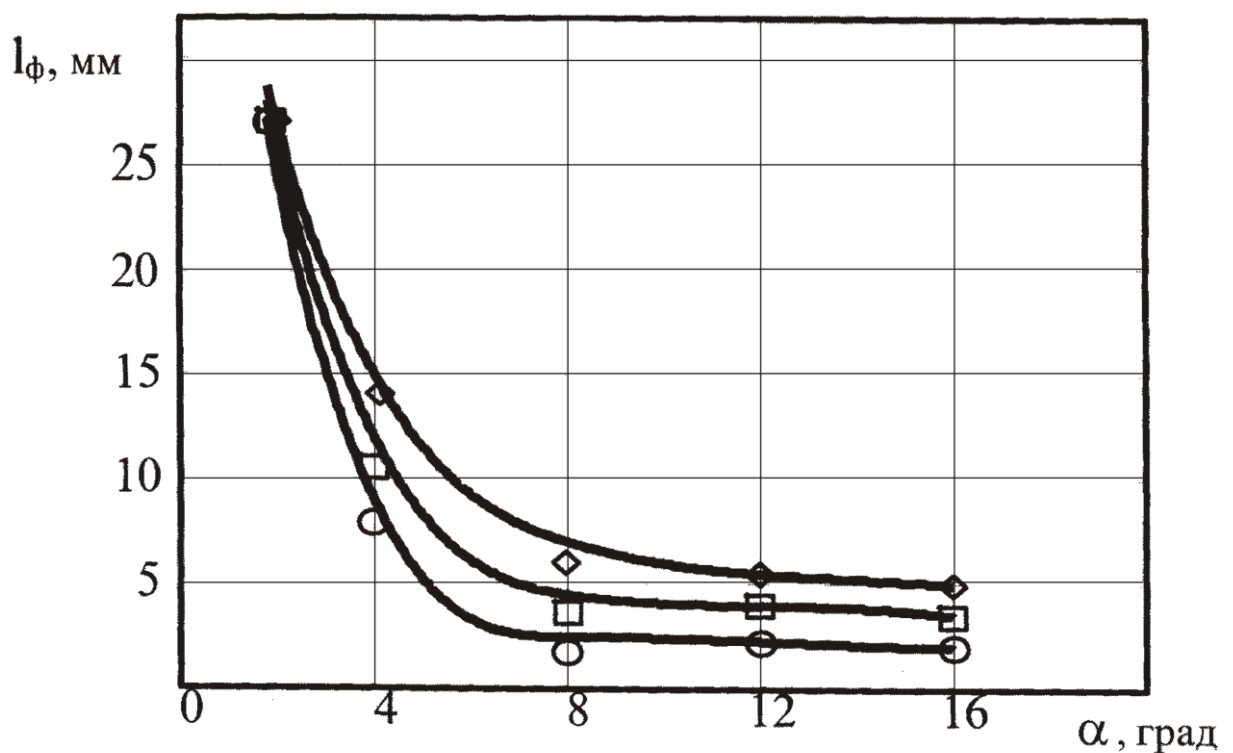


Рис.1.2. Залежність фактичної довжини контакту від кута робочого конусу деформуючого елемента. Сталь 45, HB 200, $d_0 = 35$ мм, $a_n = 2$ мм. ○ – $t_0 = 5$ мм, □ – $t_0 = 10$ мм, ◇ – $t_0 = 15$ мм.

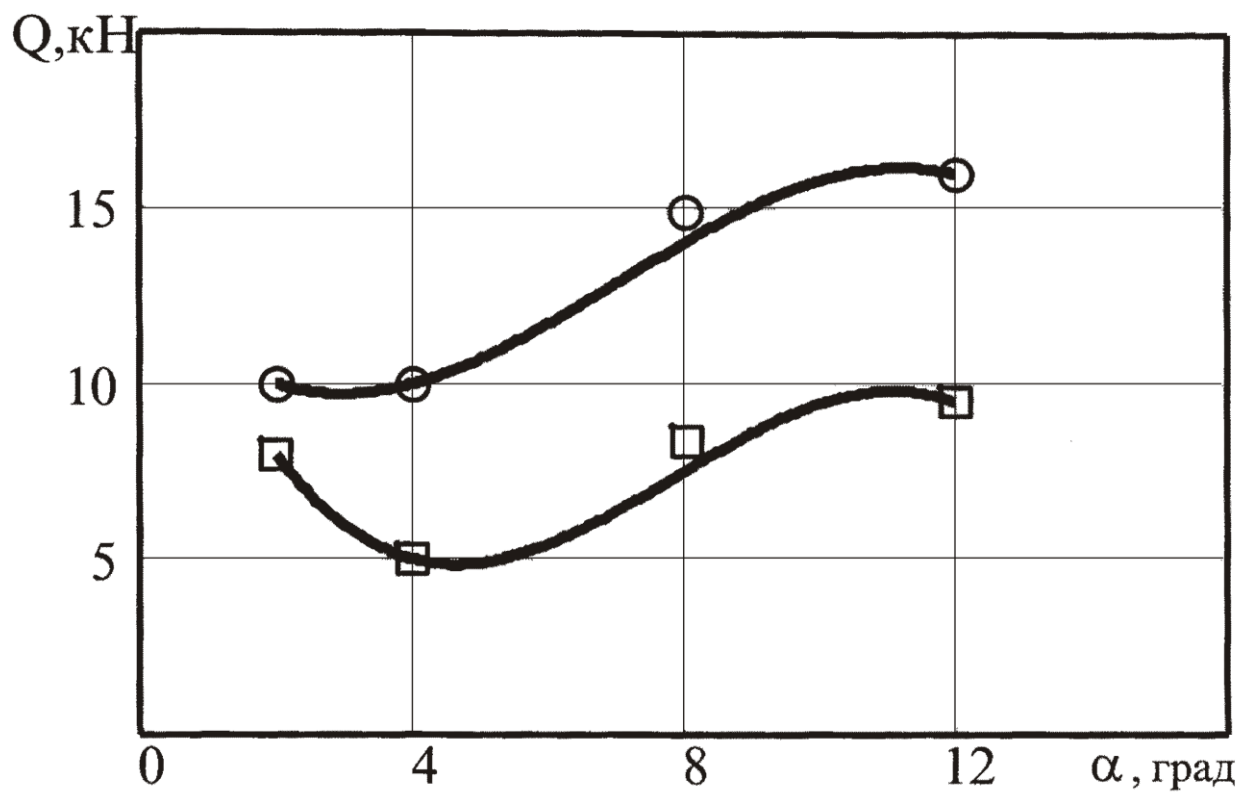


Рис.1.3. Залежність сили протягування від кута робочого конуса деформуючого елемента. Матеріал СЧ20, НВ 1,7 ГПа, $d_0 = 35,5$ мм, $a_n = 0,05$ мм. $\sum \varepsilon = 0,25$,
 $\circ - t_0 = 10$ мм, $\square - t_0 = 5$ мм.

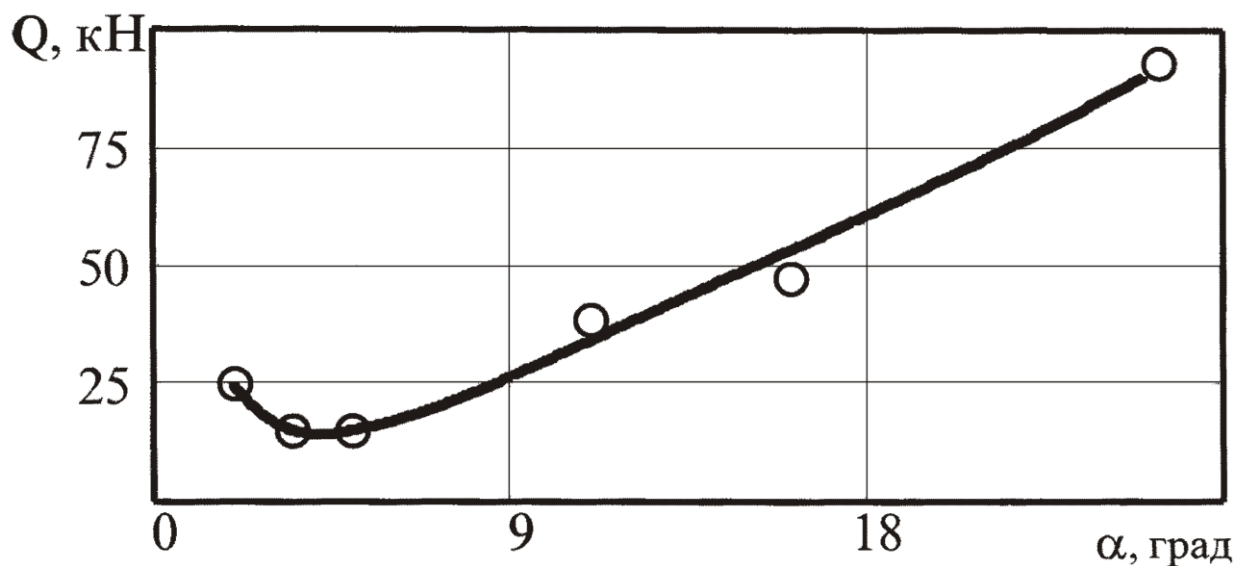


Рис.1.4. Залежність сили протягування від кута робочого конуса деформуючого елемента. Матеріал Сталь 45, $d_0 = 30$ мм, $t_0 = 17$ мм.

Питання якості обробки чавунів деформуючим протягуванням розглянуті у роботі [23]. Відмічається стійке отримання величини шорсткості поверхні

$R_a = 0,16 - 0,32$ мкм, при використанні керосину у якості змащування. Твердість оброблюваної поверхні підвищується на 25 %.

У роботах [20, 21] даються рекомендації по вибору натягів обробки. Вказується, що їх вибір залежить, насамперед, від міцності деталі і необхідної точності обробки. При цьому, так як при деформуванні чавунів не ставиться задача пластичного фермозмінювання деталі, то пропонується використовувати натяги у межах 0,05 – 0,5 мм.

Питання вибору технологічної змазки вирішується у роботі [17]. Відмічається, що при протягуванні графітомістких чавунів спостерігається незалежність умов тертя від виду застосованої рідкої змазки. Цей факт пов'язаний з явищем міграції графіту в процесі деформування поверхні.

У підсумку, можна зробити наступний висновок: існує обмежена кількість робіт по деформуючому протягуванні чавуну і, більшість з них, розглядають не проблему в цілому, а розв'язок конкретної промислової задачі. Зовсім не приділено увага обробці нерівножорстких деталей із чавуна, хоча таких деталей велика кількість.

1.1.2. Відомості про деформуюче протягування нерівножорстких деталей

Питанню деформуючого протягування нерівножорстких деталей присвячена дуже обмежена кількість робіт [1, 2, 3, 7, 14, 18, 19]. Навіть, характеристика деталям дається по різному: асиметричної форми [1], нерівномірної товщини стінки [7, 19], різної жорсткості [2], перемінної товщини стінки [3] і перемінної жорсткості [14]. Усі ці роботи присвячені вивченню обробці сталей.

Тільки у трьох з них [1, 2, 19] представлені результати теоретичних досліджень. Розглянуті деякі питання, зв'язані з уточненням характеру розподілу напруг та їх вплив на радіальні остаточні деформації. У роботі [19] приведена емпірична залежність для визначення оптимального натягу обробки. У роботі [7] рекомендується при обробці пластичних матеріалів застосовувати сумарні натяги порядку 0,05-0,15 мм.

У роботах [7, 14, 18] на прикладах рішення конкретних виробничих задачах показані результати обробки нерівножорстких деталей.

Приклад протягування отворів у виробах із сталі 30ХГСА на горизонтально протяжному верстаті протяжками із швидкоріжучої сталі розглянутий у роботі [18]. Показано, що для протягування деталей з переміною стінкою номінальний натяг не повинен перевищувати 0,02 мм. Для подібних деталей рекомендується застосування цангових затискних пристроїв, які дозволяють отримувати точність отвору у межах другого класу.

Автори роботи [7], на підставі експерименту з протягування втулок із сталі 45, які мають 4 симетричні лиски, показали, що при збільшенні натягу відбувається зростання росту величини некруглості оброблюваного отвору, а також шорсткості поверхні.

Оригінально вирішується проблема отримання форми отвору високої точності при обробці деталей з переміною товщиною стінки у роботі [3]. Колектив авторів пропонує деформуючу протяжку, спеціально розроблену під конкретний вид деталі. З ціллю збереження геометричної форми при високій якості оброблюваної поверхні, форма поперечного перерізу протяжки обрана в залежності від характеру пружної радіальної деформації отвору, обумовленої нерівномірністю товщини стінки деталі. Використання такої протяжки рекомендовано при номінальному натягу, який перевищує 0,05 мм.

Із аналізу розглянутих робіт слідує, що чітко не визначені умови обробки нерівножорстких деталей, єдина загальна рекомендація – вести обробку з малими номінальними натягами.

1.2. Висновки, мета та задачі роботи

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 чавуна, до яких перш за все відносяться корпусні деталі.

На основі зроблених висновків сформульовані мета та задачі роботи.

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

Задачі роботи:

1. Розробити методику проведення досліджень.
2. Проведення досліджень оброблюваного отвору нерівножорсткої деталі із чавуна деформуючим протягуванням.
3. Розробка конструкції інструменту та технологічного оснащення для деформуючого протягування корпусу гідропідсилювача.
4. Розробити заходи щодо охорони праці та цивільного захисту.
5. Виконати техніко – економічне обґрунтування доцільності використання деформуючого протягування робочої порожнини корпусу гідропідсилювача.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТА ВИРОБНИЦТВА

Об'єктом виробництва є корпус гідропідсилювача (рис.2.1). Корпус гідропідсилювача є основною деталлю виготовленою із сірого чавуну СЧ 20 ГОСТ 1412-85 (НВ 170...216), який має границі міцності: при розтягуванні – 200 МПа, при згині – 400 МПа. Структура чавуну на рис 2.2. 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 $R_a=0,28$ мкм. Для прецизійних отворів корпусів гідропідсилювача за технічними вимогами ставлять жорсткі вимоги: точність діаметрального розміру – не нижча за 0,02 мм; оброблювана деталь по отвору розбивають на 4 групи: 1) від 20,020 до 20,015мм; 2) менш ніж 20,015 до 20,010 мм; 3) менш ніж 20,010 до 20,005 мм; 4) менш ніж 20,005 до 20,000 мм; похибка геометричної форми (круглості та циліндричності) у межах допуску на групу, тобто не більше за 0,02 мм; на поверхні отвору механічні пошкодження та литті дефекти не допускаються; точність відливки 8-0-0-7 т ГОСТ 26645-75.

Фізичний склад сірого чавуну СЧ 20

Таблиця 2.1

Оброблюваний матеріал	Вид деталі	C	Cr	Si	Mn	Ti	S	P	НВ, ГПа
СЧ 20	Втулки та зразки	3,07	0,01	0,5	2,95	0,08	-	-	1,7

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.



Рис. 2.1. Корпус гідропідсилювача

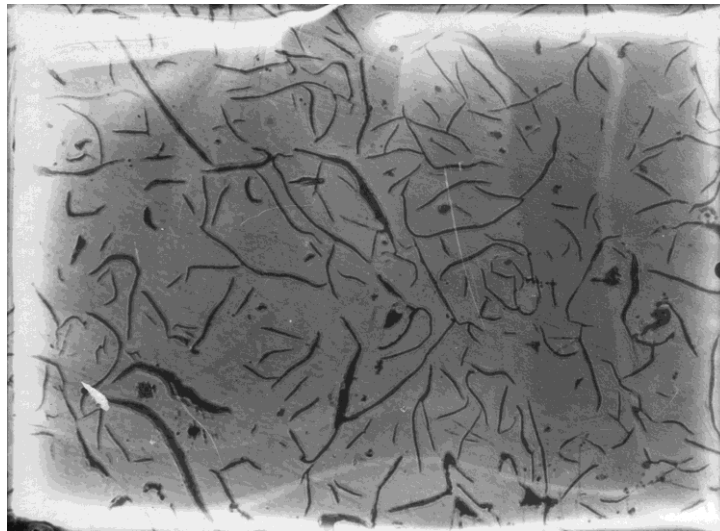


Рис. 2.2. Структура чавуна

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.

МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Методики проведення експериментальних досліджень

3.1.1. Досліджувальні матеріали, форма і розміри деталей, обладнання та інструмент

При проведенні досліджень у якості оброблюваного матеріалу використовували чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-85 (НВ 170...216), який широко застосовується у машинобудуванні для виготовлення відповідальних деталей.

Основна кількість дослідів по виявленню закономірностей деформуючого протягування нерівножорстких деталей було проведено на втулках з чавуну, які були виготовлені 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. 3.1. 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 – $e = 0; 4; 8; 12; 16$ 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 R_a складає 2,0 мкм.

Вихідна твердість використаного матеріалу контролюється на пристрої ХПО – 250 при навантаженні $Q = 1,87$ кН, у якості індикатора використовується кулька $d = 2,5$ мм.

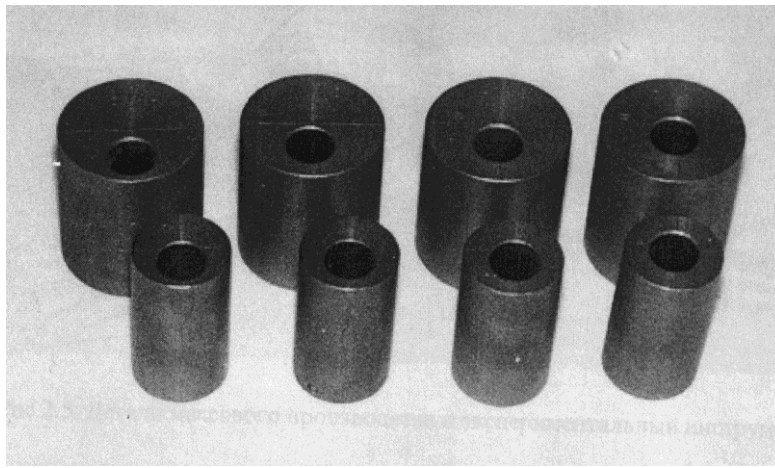


Рис. 3.1. Загальний вигляд оброблюємих деталей

Інструментом для проведення досліджень є спеціально розроблена конструкція деформуючої прошивки рис. 3.2, 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 виготовленні 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. Контроль точності виготовлення кілець (кути конусів, діаметр) здійснювався на пристрої ДИП6.

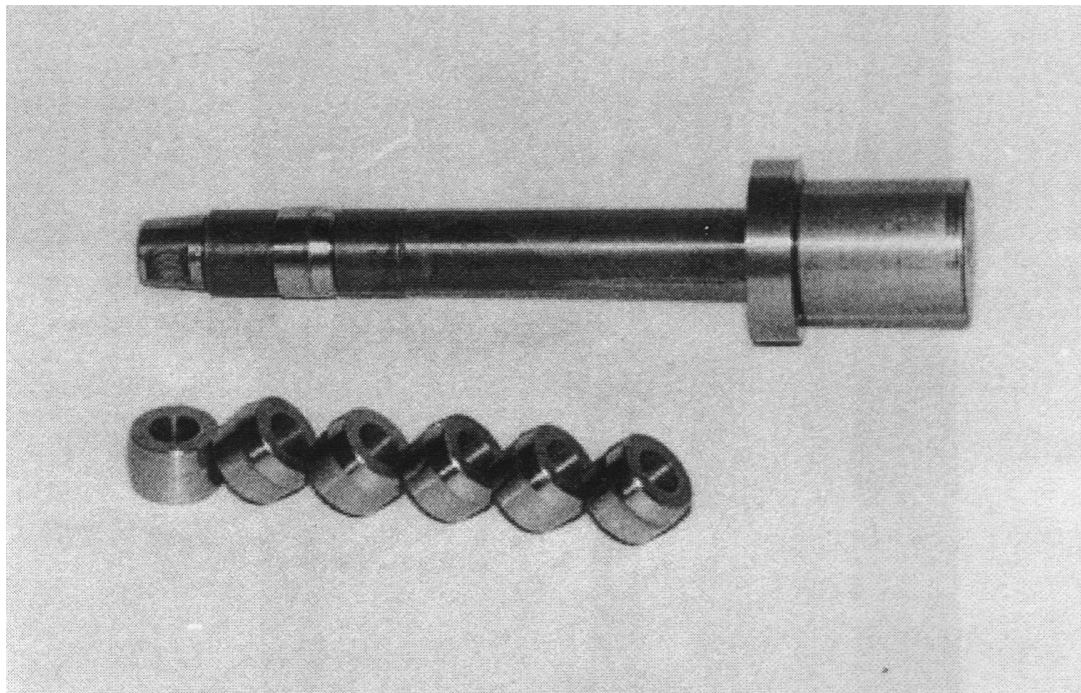


Рис. 3.2. Інструмент для проведення досліджень

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.

Вихідне взаємне розташування інструмента, оброблюваної деталі і робочого органу пресу показано на рис. 3.3.

При проведенні досліджень у якості змащування використовувалося мастило И 20.

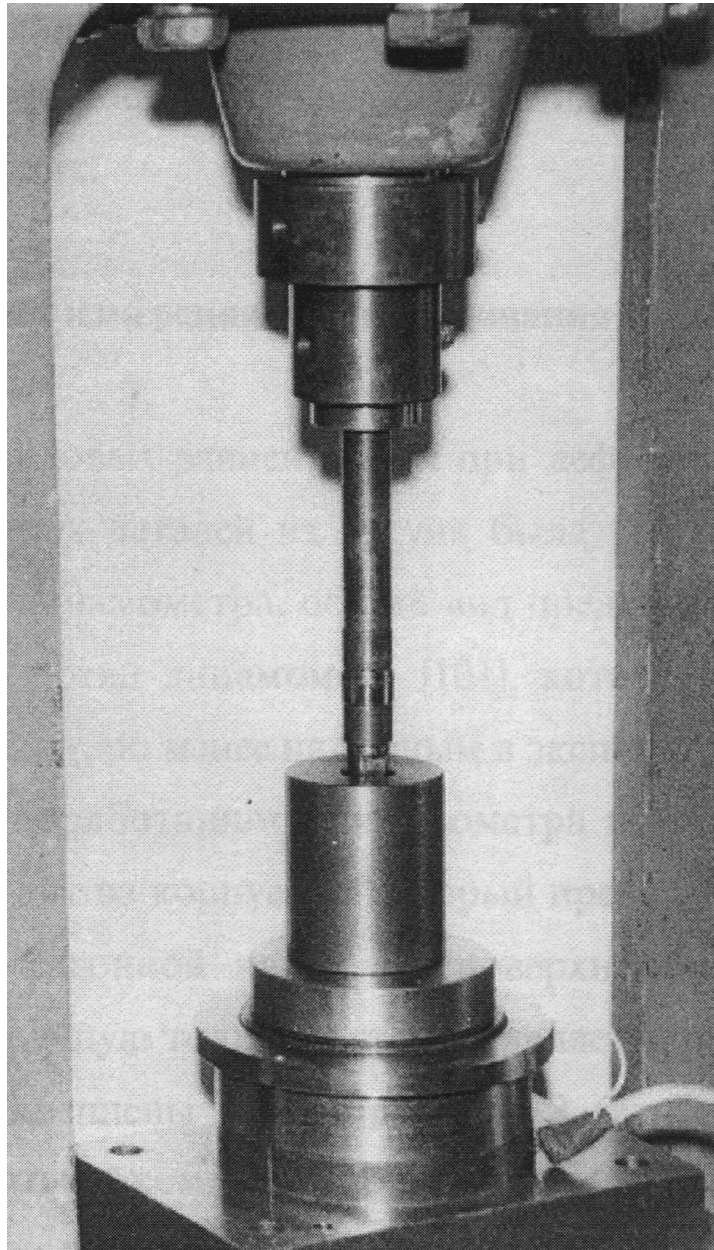


Рис. 3.3. Загальний вигляд робочої зони гідравлічного пресу мод. ГМ2901 при проведенні експериментів

Крім того з метою практичного застосування процесу в умовах реального виробництва були проведені випробовування на деталях масового виробництва – корпусах гідропідсилювача $d = 20$ мм. (рис. 2.1) експериментальним інструментом рис. 3.4, які мають складну зовнішню конфігурацію, що обумовлює перемінну жорсткість основного отвору корпусу у різних перетинах.



Рис. 3.4. Деталь масового виробництва і експериментальний інструмент

3.1.2. Методика вимірювань сил протягування

Для вияву силових залежностей при деформуючому протягуванні нерівножорстких деталей з чавуна була розроблена універсальна конструкція динамометра, загальний вид представлений на рис. 3.5. У якості аналогу використовувався динамометр [28], який являється більш складним у виготовленні, але менш надійним у експлуатації.

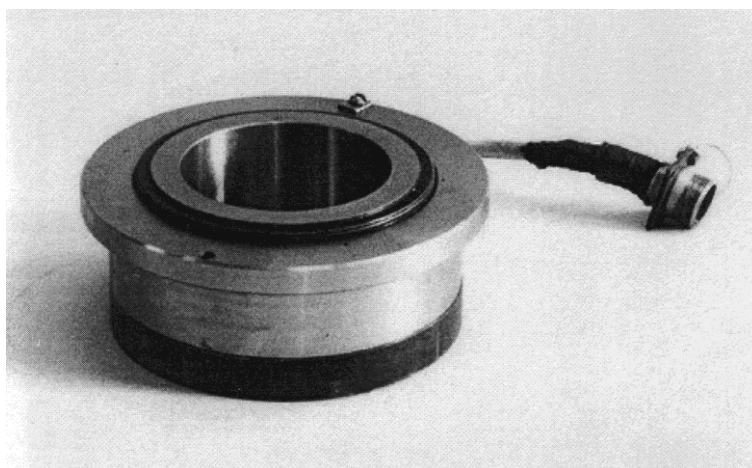


Рис. 3.5. Загальний вид динамометра для заміру сил протягування експериментальних втулок

Конструкція розробленого динамометра представлена на рис. 3.6. Динамометр складається з корпусу 3, який являє собою пустотілий циліндр з фасонною зовнішньою поверхнею. Центральна частина, яка має постійну товщину стінки, являється робочим пружним елементом. На ній закріплені чотири робочих датчика 2, а на примикаючому буртику – чотири компенсаційних 1. З'єднання датчиків у єдиний електричний ланцюг виконано за напівмостовою схемою. Запобіжний кожух 6, який захищає датчики від пошкоджень, центрується пазом в гайці 5. Для первинної обробки сигналу використовувався підсилювач УТ-4, а для візуального спостереження і графічної реєстрації – шлейфовий осцилограф н-115. Тарування системи здійснювалося з допомогою стандартного динамометру ДОСМ-3-1, який розрахований на вимір навантажень до 10 кН. Плавна зміна зусиль навантаження вироблялася за допомогою простого гвинтового пристрою, що дозволило досить точно відтарувати систему.

Замір осьового зусилля здійснювався на кожному циклі деформуванням, при цьому графічна реєстрація сигналу дозволила зафіксувати процес зміни сили протягування на протязі всього циклу обробки.

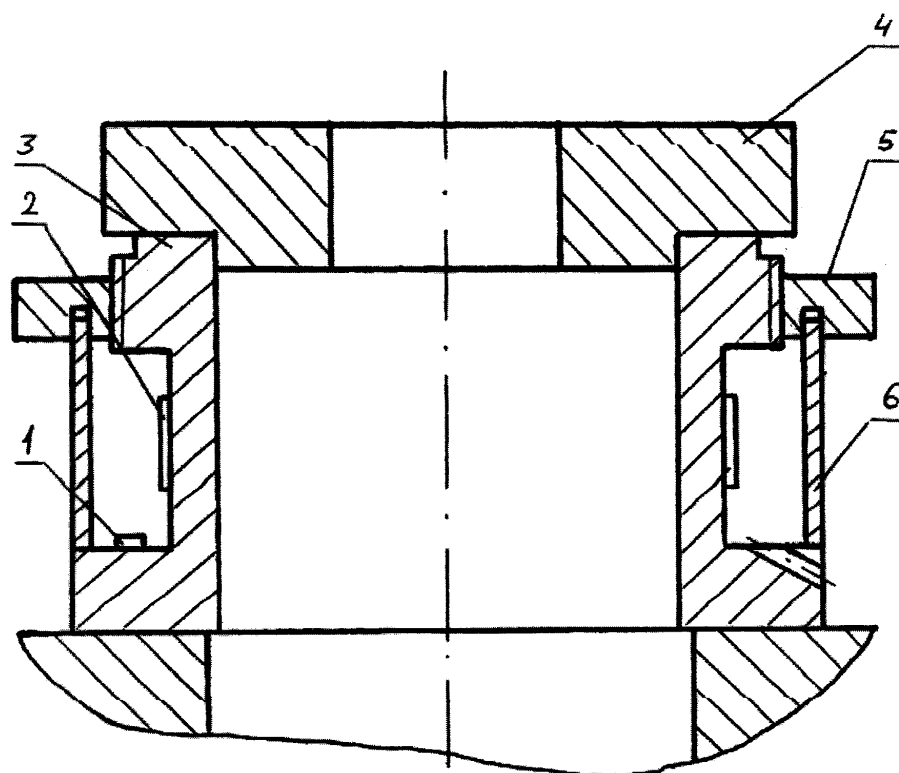


Рис. 3.6. Динамометр для замірів сил протягування при проведенні експериментів

3.1.3 Методика дослідження характеристик якості оброблюваних деталей

В основу використаної методики оцінки точності форми покладені рекомендації роботи [29]. Заміри внутрішнього діаметру здійснюється нутроміром з індикаторною головкою годинникового типу з ціною поділки 0,002 мм, а зовнішнього – мікрометром з ціною поділки 0,01 мм. Причому діаметр фіксувався у двох взаємо перпендикулярних напрямленнях, одне з яких співпадало з площиною симетрії втулки, що давало можливість фіксувати момент утворення еліпсності. Контроль точності здійснювався після кожного циклу деформування. Для здобуття уявлення про розподіл точності форми отвору по довжині заготовки заміри використовувалися на трьох рівнях, а для наочного уявлення про відхилення формі отвору, після кожного циклу деформування використовувалася запис круглограми на кругломірі "Tolyround 73" рис.3.7.

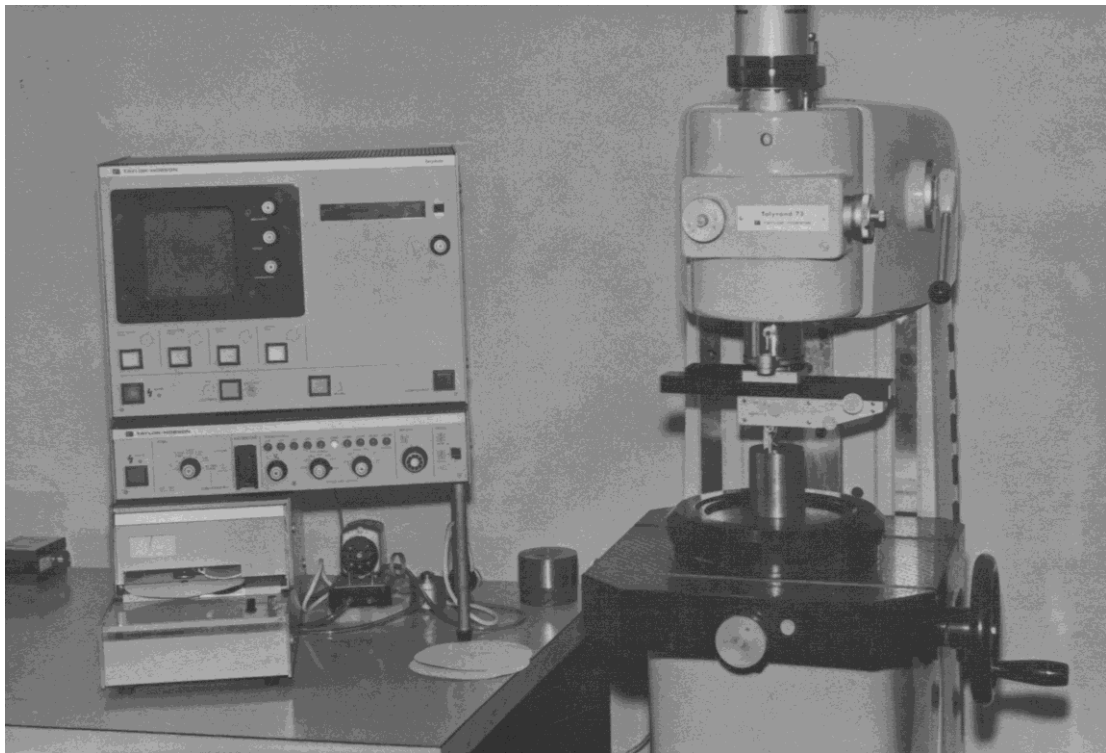


Рис. 3.7. Кругломір "Tolyround 73"

Проведений 100% контроль шорсткості оброблюваних втулок. З ціллю виключення впливу крайового ефекту на точність отриманих величин шорсткості вимірювалися у середній частині втулки, а для виключення впливу випадкових погрешностей виміру, викликаних особливостями побудови оброблюваного матеріалу, однотипні заміри проводилися тричі.

Основними задачами при проведенні замірів було здобуття залежності зміни шорсткості від кількості циклів деформування та вияв впливу нерівножорсткості втулки на розподіл шорсткості по колу оброблюваного отвору. Рішення першої задачі досягнуто шляхом виконання замірів шорсткості після кожного циклу деформування, а другий – заміром шорсткості зі сторони мінімальної і максимальної товщини стінки втулки.

Основна частина замірів виконана на профілометрі мод. 296, при цьому базова довжина виміру вибиралася в залежності з рекомендаціями роботи [30].

Для запису профілограм, що дозволяє отримати наочне уявлення про мікрорельєф обробленої поверхні, використовувався профілограф – профілометр "Talysurf-5" (Англія).

3.2. Результати досліджень

3.2.1. Силіві залежності при деформуючому протягуванні

Аналіз впливу параметрів процесу деформуючого протягування та геометричних параметрів оброблюваної деталі на довжину контакту інструменту з виробом, самі по собі не можуть надати глибокого розуміння, що відбувається у процесі обробки явищ без вивчення силових факторів процесу. Крім цього, знання закономірностей зміни осьової сили дозволяє оцінювати енергоємність досліджуваного процесу та правильно вибирати устаткування і технологічне оснащення.

Для вивчення залежностей осьового зусилля деформування від кута робочого конуса деформуючого елемента і товщини стінки оброблюваної деталі, виконувався вимір осьового зусилля після кожного циклу обробки.

На рис. 3.8 приведені залежності осьової сили Q від сумарного номінального натягу, які отримані при обробці втулок з сірого чавуну СЧ 20 з зовнішнім діаметром обробки $D = 60$ мм, постійним номінальним натягом $a_n = 0,06$ і кутами робочого конуса деформуючих елементів $\alpha = 2; 4; 8; 12$, у якості змащування використовувалося індустріальне масло И20.

Аналіз рис. 3.8 дає можливість оцінювати діапазон зміни сили протягування при обробці деталей з безкінечною товщиною стінки. Як помітно він коливається від 5 до 15 кН у використуваному діапазоні кутів деформуючих елементів. Причому, чітко видно вплив цих кутів – чим вище значення кута деформуючого

елементу, тим більша сила протягування. Це пояснюється розподілом складових осьової сили, що виникає при протягуванні. Це сила тертя і сила нормального тиску. Необхідно відзначити, що при протягуванні чавуна сила нормального тиску значно вище сили тертя із за низького коефіцієнту тертя. При збільшенні кута деформуючого елемента все більший вплив на величину осьової сили робить сила нормального тиску, яка у більшій мірі починає впливати на формоутворення поверхні, що призводить до більш інтенсивного деформування. У відповідності з цим виникає зростання осьової сили.

Криву зусилля протягування можна умовно розділити на дві частини. Перша - різкий підйом, викликаний постійно зростаючим фактичним натягом. Друга частина кривої характеризує досягнення стану, близького до стабільного між зростанням пружнопластичної деформації оброблюваної деталі та збільшенням натягу. Така стабілізація настає раніше при обробці деформуючими елементами з більшими кутами робочого конуса.

Відмінність рис. 3.8 від рис. 3.9 полягає лише в одному параметрі – величина товщини стінки деталі, тобто – її жорсткість. Помітно, що сили протягування значно менше при обробці втулок з меншою товщиною стінки. Взаємне розташування характеристик зберігається. Цікаво, що не виникає зупинка зростання осьової сили. Можливо, це виникає із за недостатнього сумарного натягу, але характеристики, приведені на рис. 3.8 мають початок горизонтальної ділянки при такій величині натягу. Можна припустити, що на ці відмінності спричинила вплив різна жорсткість деталей. Необхідно відзначити, що інтенсивність зростання осьової сили менша при обробці деталей меншої жорсткості. Це легко пояснюється з аналізу відповідних пластичних деформацій. При обробці втулок меншої жорсткості – менше пружна усадка, а отже, подальший фактичний натяг менше і сила протягування менша.

На значення сили протягування впливає ще один параметр, а саме – величина валика попередньої пружнопластичної деформації перед деформуючим елементом. Його виникнення в процесі протягування призводить до збільшення фактичного натягу обробки, а отже, до збільшенню сили протягування. Необхідно відзначити, що виникнення пластичної деформації такого вигляду виникає раніше

на деталях більшої жорсткості із за того, що при їх обробці фактичний натяг більший.

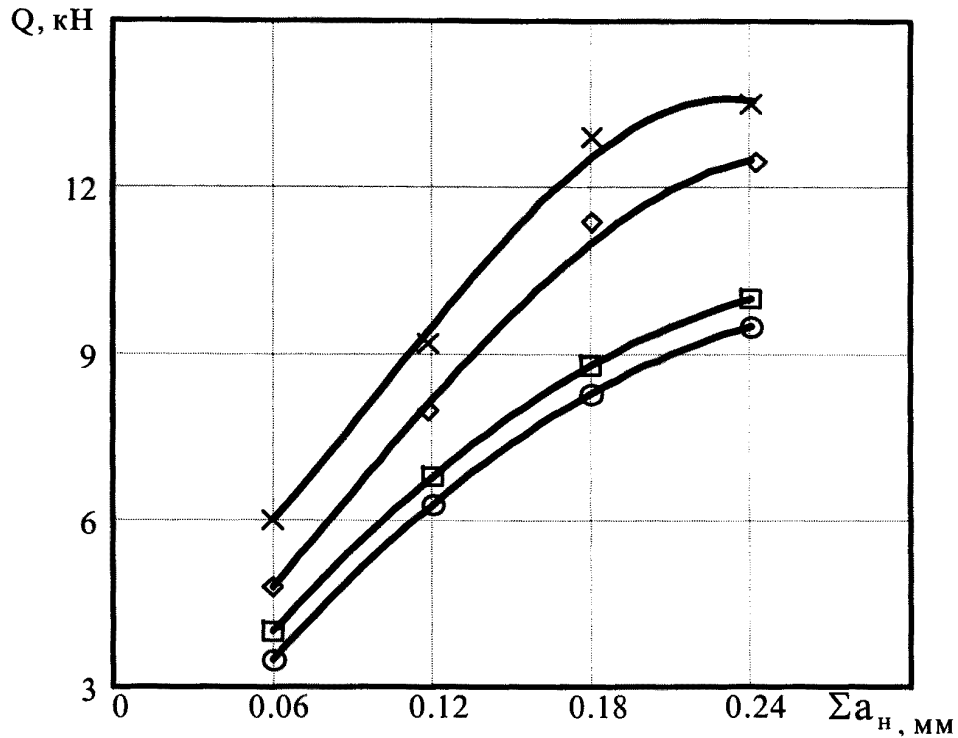


Рис. 3.8. Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,06$ мм, $\circ - \alpha = 2^\circ$, $\square - \alpha = 4^\circ$, $\diamond - \alpha = 8^\circ$, $\times - \alpha = 12^\circ$.

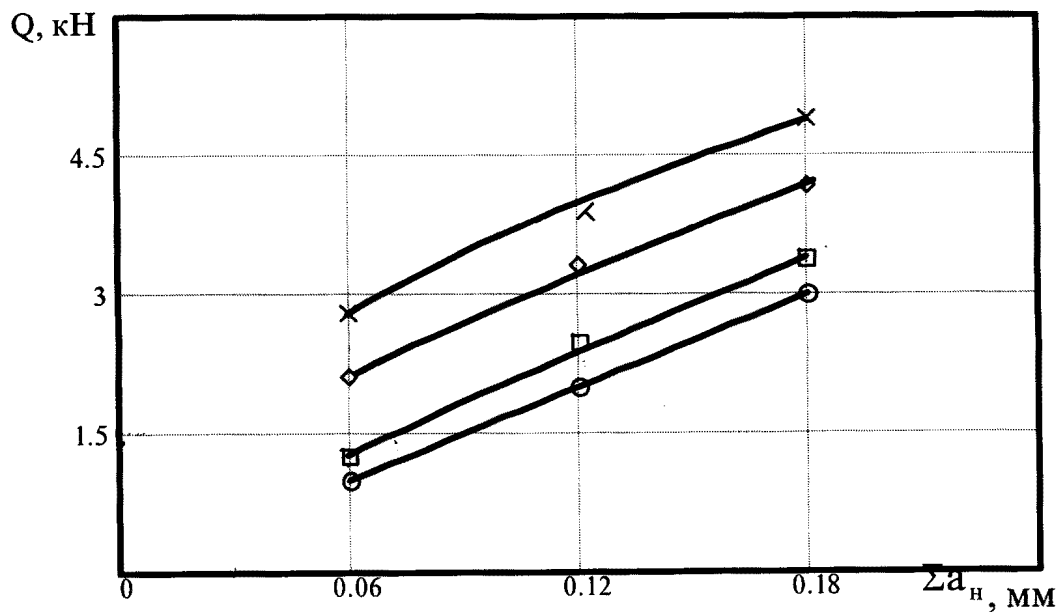


Рис. 3.9 Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з перемінної товщини стінки з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $t_{\min} = 4$ мм, $a_n = 0,06$ мм, $\circ - \alpha = 2^\circ$, $\square - \alpha = 4^\circ$, $\diamond - \alpha = 8^\circ$, $\times - \alpha = 12^\circ$.

У якості підтвердження зробленого вище висновку розглянемо рис. 3.10, де представлені залежності з обробки деталей різної жорсткості. Параметри обробки: номінальний натяг 0,06 мм; кут деформуючого елементу $\alpha = 4^\circ$; діаметр оброблюваного отвору $d = 20$ мм; мінімальна товщина стінки $t = 4-12$ мм. Вибір, для більш глибокого вивчення, кута деформуючого елементу $\alpha = 4^\circ$ пояснюється тим, що по даним робіт [2, 31] використання вказаного кута деформуючого елементу призводить до мінімальних енерговитрат при протягуванні.

На рис. 3.10 добре видно, що характеристика більш жорсткої втулки має більш крутий підйом та досягає більших значень при однаковій кількості циклів деформування. Необхідно відмітити, що на інтенсивність зростання впливає не тільки збільшення фактичного натягу, але й пружні властивості втулки. Так, при рівній величині натягу на деформуючий елемент, величина пружної усадки більше при обробці деталей з більшою товщиною стінки, а отже більше і фактичний натяг на наступний деформуючий елемент. Тому, при обробці деталей з більшою товщиною сила протягування більша.

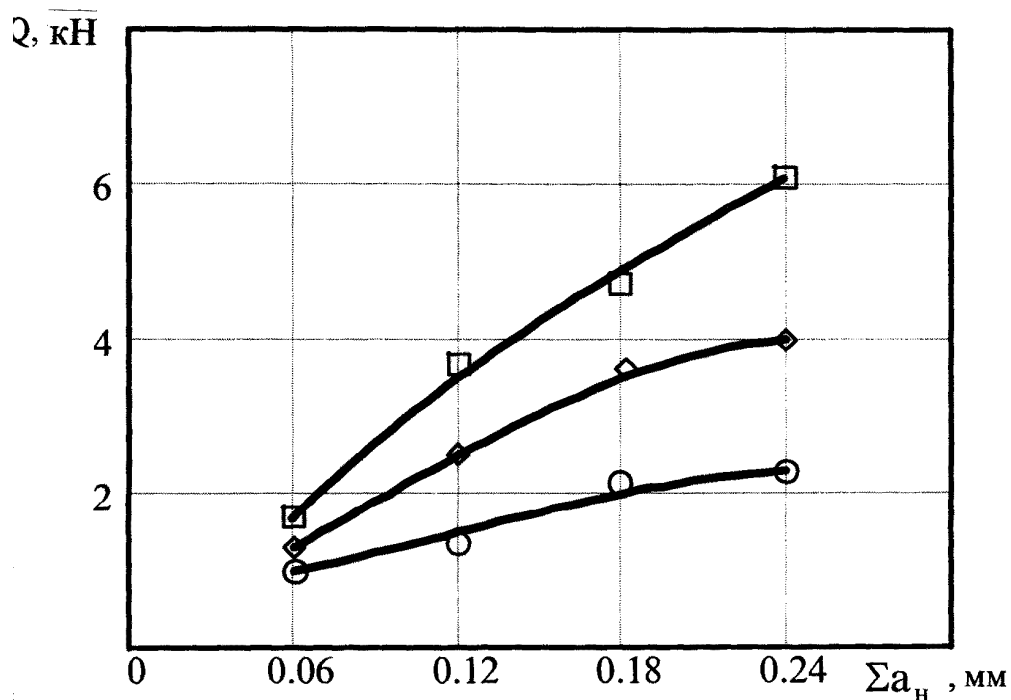


Рис. 3.10 Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $a_n = 0,06$ мм, $\alpha = 4^\circ$, ○ – $t = 4$ мм, ◇ – $t = 8$ мм, □ – $t = 12$ мм

Представлена картина впливу жорсткості деталей на зусилля протягування буде не повною без вивчення цих залежностей при інших величинах номінального натягу. На рис. 3.11 та 3.12 приведені результати обробки з номінальним натягом $a_n = 0,06$ мм. Сумісний аналіз рис. 3.11 з рис. 3.8 дозволив виявити відмінності у зусиллях обробки при деформуванні з різними номінальними натягами. Зовнішній вигляд кривих не має відмінностей, тобто якісна картина не змінюється. Тому, вплив кута робочого конусу деформуючого елементу на силу протягування якісно не залежить від натягів обробки, а кількісно спостерігається пряма залежність між зростанням величини кута робочого конусу і силою протягування.

Вплив фактичного натягу на силу протягування добре продемонстровано на перших циклах обробки на обох рисунках. За міцних рівних умов, фактичні натяги відрізнялися у півтора рази і зусилля протягування також відрізняються приблизно у півтора рази. Звідси слідує, що зміна зусилля протягування прямо пропорційно зміні фактичного натягу на деформуючий елемент. Цей висновок дає можливість прогнозувати силу протягування при використанні нових величин натягів.

Розглянутий вплив різних складових процесу протягування на величину осьової сили не буде повним без вивчення впливу механічних властивостей оброблюваного матеріалу. А так як при деформуючому протягуванні, коли пластична деформація зосереджена у тонкому поверхневому шарі, з усіх механічних властивостей найбільше значення має твердість матеріалу то по ній і класифікували матеріали. Додатково досліді по деформуванню виконані на наступних марках чавуна – СЧ12 та КЧ33. Вибір цих марок обґрунтований їхнім широким використанням у промисловості.

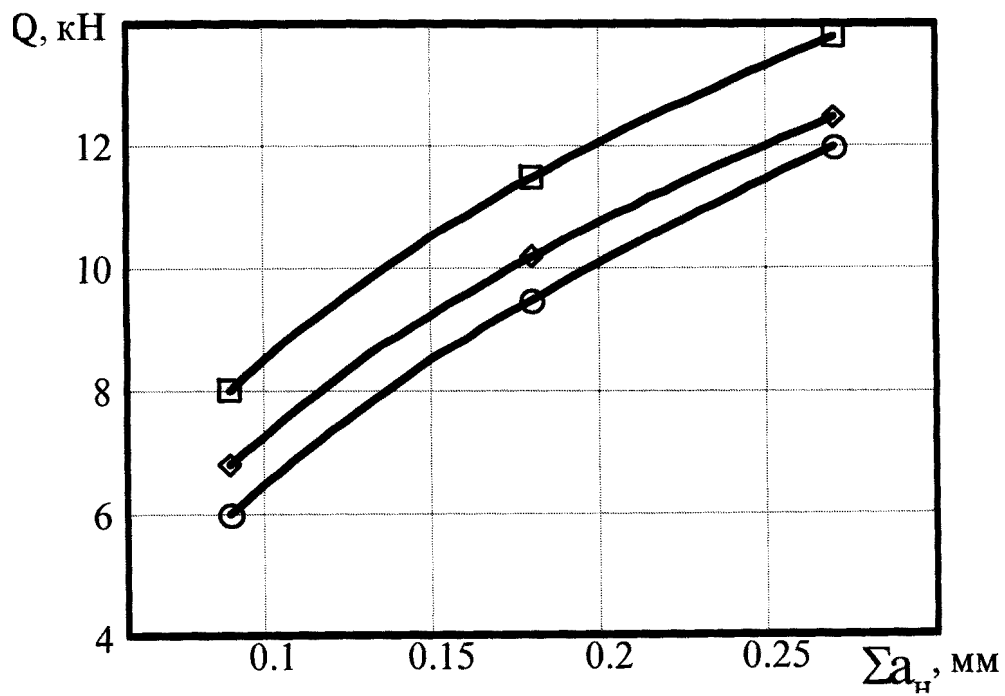


Рис. 3.11. Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,09$ мм, $\circ - \alpha = 2^\circ$, $\square - \alpha = 4^\circ$, $\diamond - \alpha = 8^\circ$, $\times - \alpha = 12^\circ$.

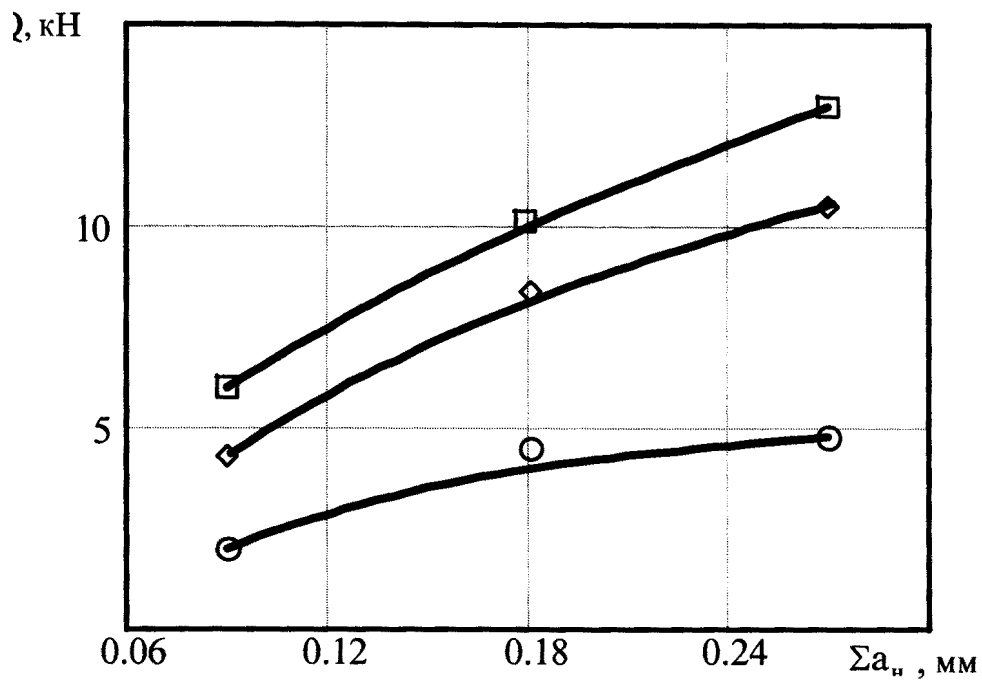


Рис. 3.12. Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з перемінної товщини стінки з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,09$ мм, $\alpha = 4^\circ$, $\square - t = 20$ мм, $\diamond - t_{min} = 12$ мм, $\circ - t_{min} = 4$ мм.

На рис 3.13 показані залежності сили протягування від номінального натягу при обробці згаданих вище чавунів. Параметри обробки: кут робочого конусу деформуючого елемента $\alpha = 4^\circ$, номінальний натяг $a_n = 0,06$ мм. Оброблюванні втулки мали рівну жорсткість по колу, зовнішній діаметр $D = 40$ мм та діаметр оброблюваного отвору $d = 20$ мм.

Аналіз на рис. 3.13 показує, що характер зміни кривої сили не залежить від виду оброблюваного матеріалу, але значення осьового зусилля на кожному переході пов'язано з його твердістю. Так для обробки матеріалів з більшим її значенням необхідне більше зусилля деформування. Це пояснюється тим, що при обробці твердість більша робота деформування.

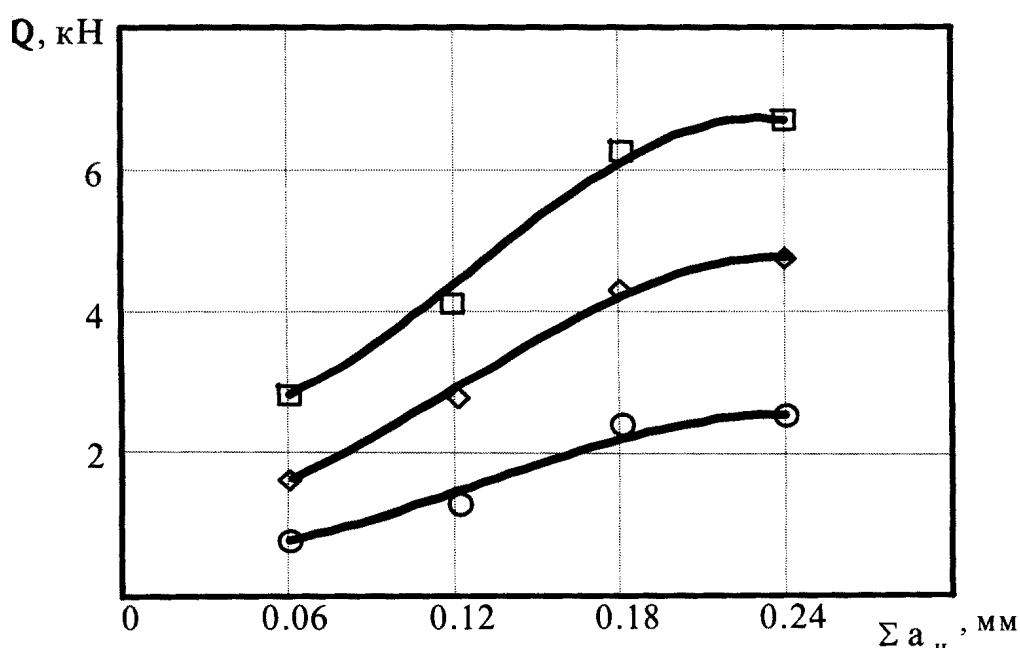


Рис. 3.13 Залежність сили протягування від сумарного номінального натягу при обробці втулок з різних марок чавунів; $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,06$ мм, $\alpha = 4^\circ$, ○ – КЧ 33, НВ 1,16 Гпа; □ – СЧ20, НВ 1,7 Гпа, ◇ – СЧ12, НВ 1,21 Гпа.

3.2.2. Якість обробленої поверхні

3.2.1.1. Шорсткість поверхні

При експлуатації машин та механізмів, робочі елементи яких працюють, як пари тертя, поряд з фізико-механічними властивостями матеріалу, важливу роль у підвищенні експлуатаційних характеристик грає шорсткість поверхні. Нижче представлені результати досліджень впливу кута робочого конуса деформуючого елемента, номінального натягу, кількості циклів деформування, вигляду

оброблюваного матеріалу на її величину. Всі залежності представлені, як функції від сумарного номінального натягу.

Розглянемо вплив кута деформуючого елемента на шорсткість поверхні рис 3.14 представлені результати обробки рівножорстких втулок з товщиною стінки $t = 20$ мм. Отримані залежності добре узгоджуються з даними роботи [26], де приведені результати обробки подібного матеріалу, але з великим діаметром обробки.

Залежність шорсткості поверхні від сумарного натягу носить екстремальний характер. Ліва гілка графіка відображує процес інтенсивного змінання мікронерівностей, тобто падіння величини шорсткості, а друга – інтенсивне зростання, викликане переміщенням поверхневого шару матеріалу. При обробці деформуючим протягуванням матеріалів з малим ресурсом пластичності, ефект переміщення зв'язаний з отриманням великих деформацій зсуву тонким поверхневим шаром. У результаті, зерна поверхневого шару витягуються в напрямку руху деформуючого елемента, відповідно зменшується їх величина у поперечному напрямку, що призводить до втрат взаємодії між ними та різкому зростанню шорсткості – лущення поверхні. Подібне явище, при обробці чавуна, спостерігалось автором роботи [26].

На рис. 3.14 видно, що при обробці поверхонь з більшими кутами робочих конусів деформуючих елементів відбувається більш інтенсивна зміна шорсткості. Така залежність пов'язана з напрямом прикладання рівнодіючої сили деформування. З зростанням кута робочого конуса відбувається зміна напрямку прикладання сили нормального тиску, що призводить до збільшення деформацій зсуву. Тому при обробці з кутом робочого конуса деформуючого елемента $\alpha = 12^\circ$, досягнення низької величини шорсткості відбувається раніше, але раніше настає і момент лущення оброблюваної поверхні, тобто процеси деформування протікають більш інтенсивно.

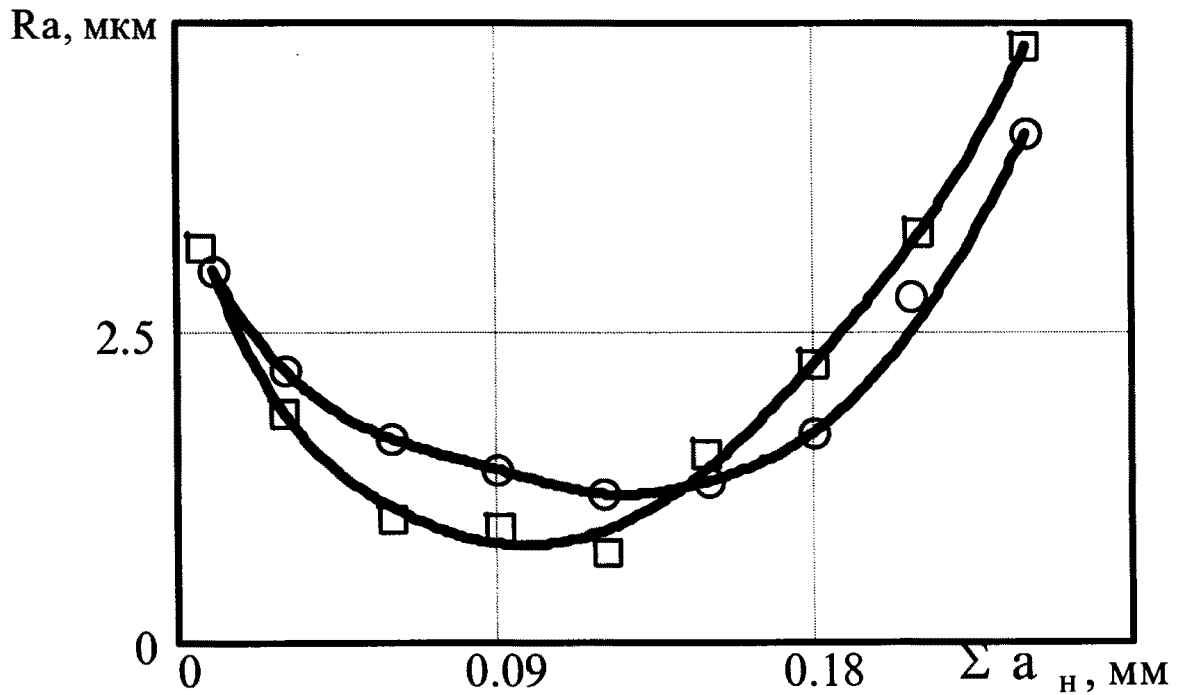


Рис. 3.14. Залежність шорсткості оброблюваної поверхні від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,03$ мм, $\circ - \alpha = 4^\circ$, $\square - \alpha = 12^\circ$.

Відмінність рис. 3.15 від попереднього полягає в тому, що на ньому представлені залежності, отримані при обробці втулок з мінімальною товщиною стінки $t = 4$ мм. Як видно, зниження шорсткості відбувається менш інтенсивно. Це пояснюється тим, що при меншій товщині стінки деталі більша частина роботи витрачається на їх пружну деформацію, і менше її залишається для пластичної деформації поверхневого шару.

При обробці втулок з малою товщиною стінок, в прийнятих межах зміни параметрів протягування, неможливо довести оброблювану поверхню до перезміцнення. Це пов'язано з обмеженням допустимої сили протягування, із за малої міцності втулок. Однак при обробці з кутом робочого конуса $\alpha = 12^\circ$ помітно деяке зростання величини шорсткості і при малій кількості циклів деформування.

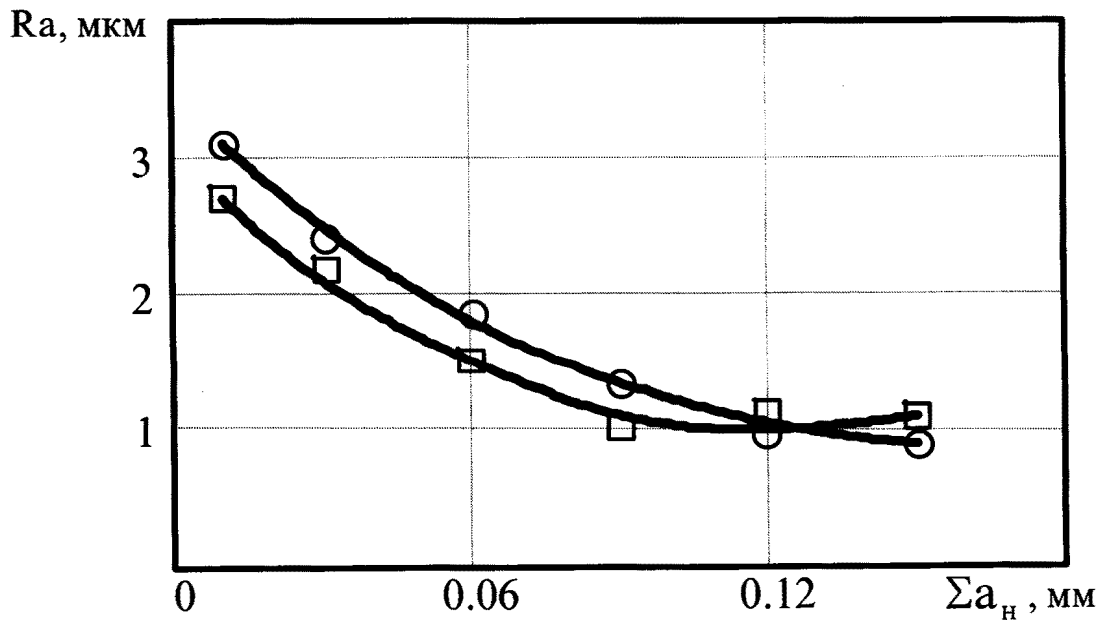


Рис. 3.15. Залежність шорсткості оброблюваної поверхні від сумарного номінального натягу при обробці втулок з перемінної товщини стінки з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $t_{\min} = 4$ мм, $a_n = 0,03$ мм, $\circ - \alpha = 4^\circ$, $\square - \alpha = 12^\circ$.

На рис. 3.16 та 3.17 представлені профілограми поверхні при обробці втулок з зовнішнім діаметром $D = 60$ мм та різними товщинами стінок. Номінальний натяг обробки $a_n = 0,06$ мм. По профілограмам легко прослідкувати етапи формування шорсткості поверхні. З зростанням деформацій, шорсткість оброблюваної поверхні на початку зменшується, а потім, різко зростає. Ці етапи добре відслідковуються і на приведених вище рисунках. Необхідно відзначити, що при обробці товстостінної втулки рис. 3.16 перші признаки перезміцнення, у вигляді самотніх піків перезміцненого матеріалу, помічені після третього циклу деформування. А подібні явища на втулці з меншою товщиною стінки рис. 3.17, з'являються після четвертого циклу обробки і, при цьому, мають менш виражений характер. Можна зробити висновок, що при обробці деталей з меншою жорсткістю відбувається деяке запізнювання процесів, зв'язаних з деформацією, із за запізнення зростання фактичного натягу. Наступні етапи деформування призводять до руйнування втулки з меншою товщиною стінки, і різкому зростанню величини шорсткості на втулці з безкінечною товщиною стінки. Різке підвищення шорсткості не можна розглядати, як шкідливе явище – це візуально фіксуючий момент перезміцнення поверхні. В роботах [32, 33] обґрунтовується

корисність такого явища, при використанні протягування, як чорнової операції. Через перезміцнення, подальший процес різання виробляється з меншими витратами енергії.

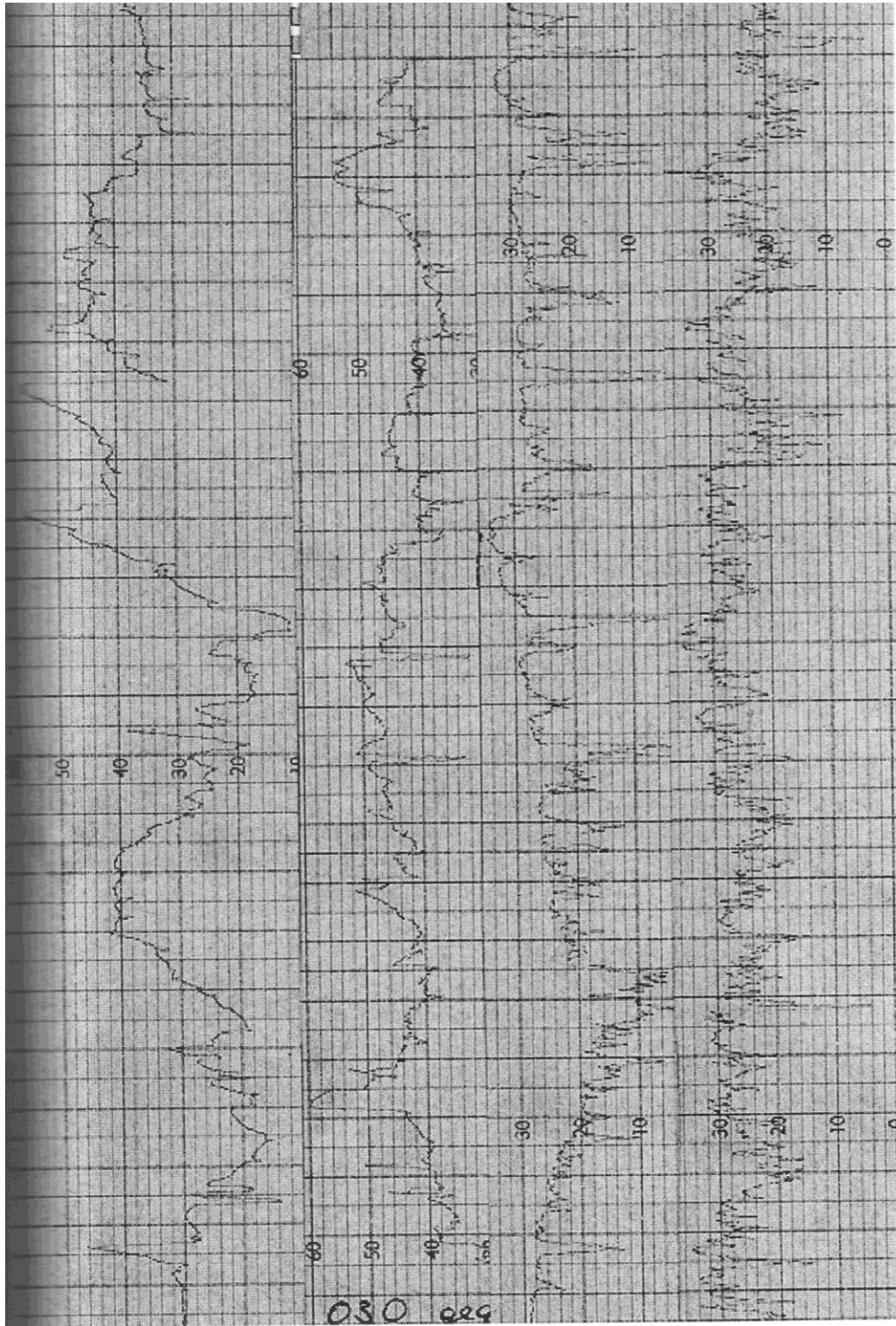


Рис. 3.16 Профілограма поверхні при обробці втулки перемінної товщини стінки СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $a_n = 0,03$ мм, $\alpha = 4^\circ$, 1 – $\Sigma a_n = 0,06$ мм, 2 – $\Sigma a_n = 0,12$ мм, 3 – $\Sigma a_n = 0,18$ мм, 4 – $\Sigma a_n = 0,24$ мм, $V_v 1000$, $V_h 20$

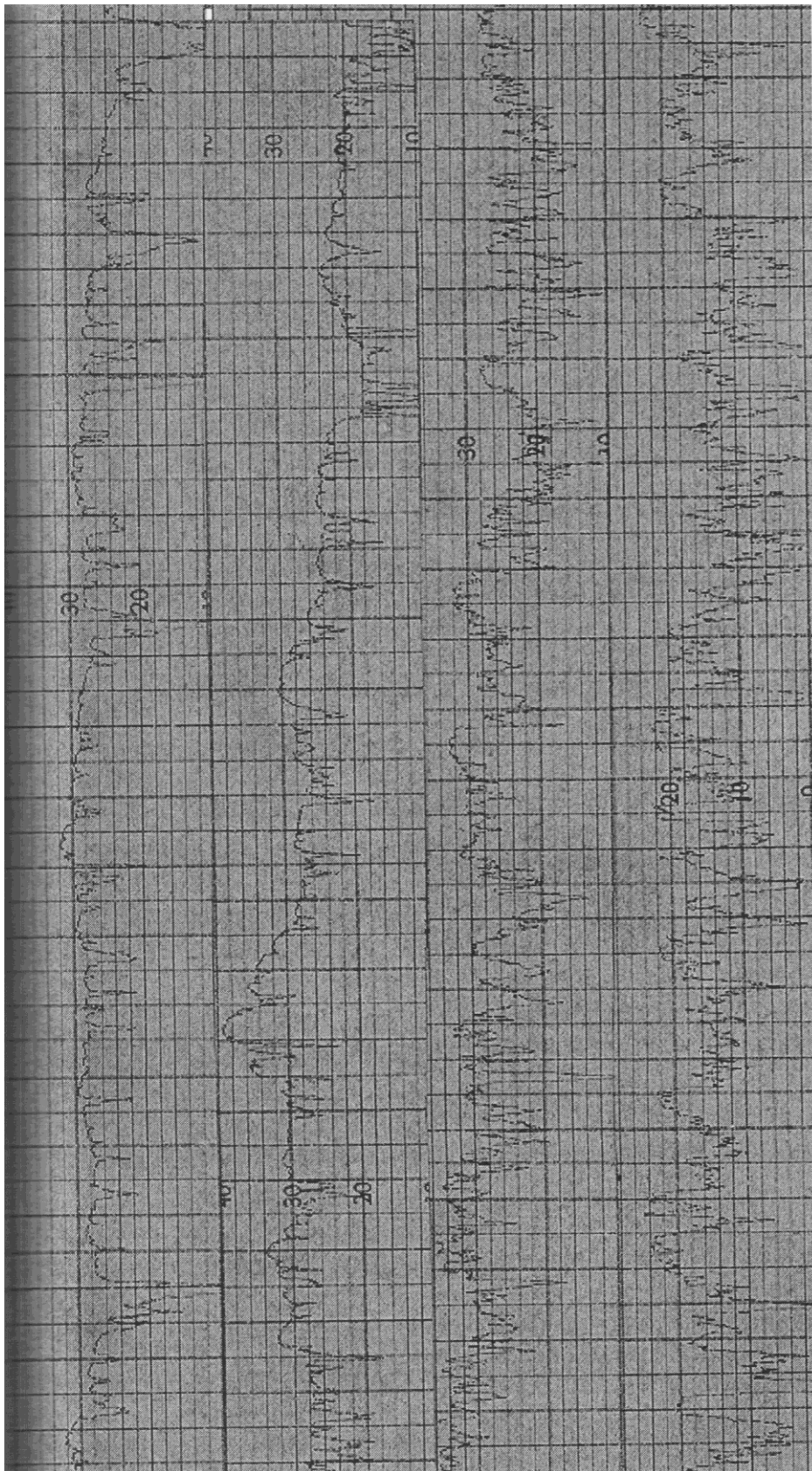


Рис. 3.17 Профілограма поверхні при обробці втулки СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $t_{\min} = 4$ мм, $a_n = 0,03$ мм, $\alpha = 4^\circ$, 1 – вихідний профіль, 2 – $\Sigma a_n = 0,06$ мм, 3 – $\Sigma a_n = 0,12$ мм, 4 – $\Sigma a_n = 0,18$ мм, $V_v 1000$, $V_h 20$

При розробці нового технологічного процесу обробки деталі з використанням операції деформуючого протягування особлива увага має бути приділена правильному вибору натягу на деформуючий елемент, так як їх величина найбільшою мірою визначає радіальні навантаження які можуть привести до руйнування оброблюваної деталі. Тому, правильний вибір режимів

деформування повинен забезпечити необхідну якість поверхні при зберіганні цілісності деталі. Використовуючи залежності, представлені на рис.3.18 можливий підбір необхідного натягу, ґрунтуючись на результатах обробки втулок з товщиною стінки $t = 20$ мм. Запропонований вибір з наступних величин натягів: $a = 0,03; 0,06; 0,09$ мм. Охарактеризувати зміни величин мікронерівностей при обробці з різними натягами можна наступним чином: зі збільшенням номінального натягу інтенсивність деформування збільшується. Це твердження підтверджується лівими гілками залежностей. Так для досягнення шорсткості $R_a = 1$ мкм, було потрібно три цикли обробки з номінальним натягом $a = 0,03$ мм і, тільки один з номінальним натягом $a = 0,09$ мм.

Права частина графіків на рис 3.18 відображає процес зростання величини шорсткості оброблюваної поверхні. З рисунка слідує, що при рівному сумарному натягу, зростання величини мікронерівностей відбувається більш інтенсивно при обробці з меншим номінальним натягом. Це пояснюється тим, що при використанні малих натягів сумарна робота сил тертя більше, а отже більш інтенсивно відбувається деформування поверхні.

Істотним недоліком обробки з великими номінальними натягами є складність отримання визначеного параметра шорсткості. Це пов'язано з різкою зміною вказаної величини. Тому, в реальних умовах застосування процесу деформуючого протягування, можна рекомендувати схему протягування, у якій попередня обробка поверхні буде виконуватися з великими натягами, а остаточна – з малими.

Вплив властивостей оброблюваного матеріалу на шорсткість поверхні надано на рис. 3.19. Обробка матеріалів з більш високою твердістю супроводжується менш інтенсивним падінням шорсткості. Таке явище пов'язане з тим, що для деформування матеріалів з більшою твердістю необхідно створювати великі контактні навантаження. Хоча в приведеному діапазоні матеріалів значних відмінностей в характері залежностей немає.

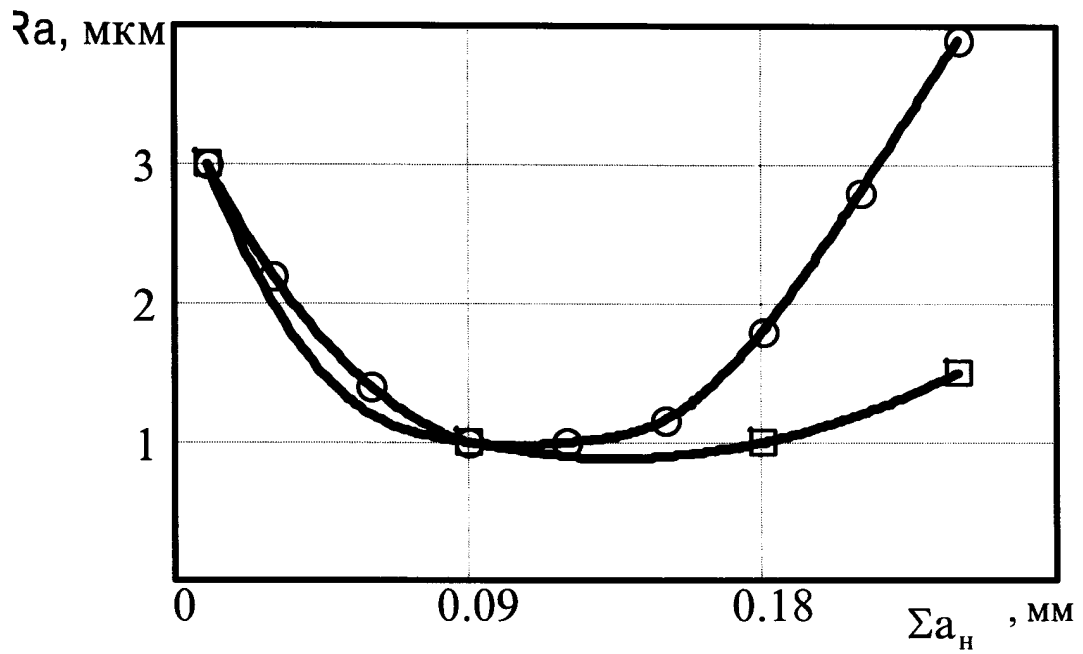


Рис. 3.18 Залежність шорсткості оброблюваної поверхні від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 60$ мм, $\alpha = 4^\circ$,
○ – $a_n = 0,03$ мм, □ – $a_n = 0,09$ мм.

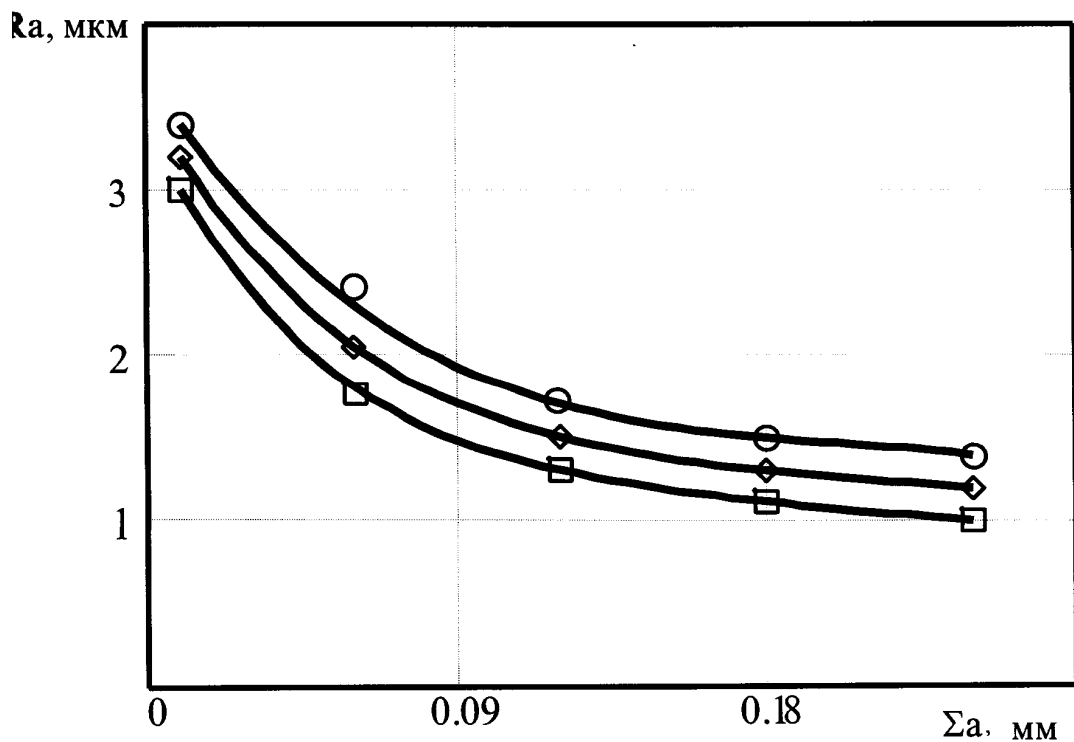


Рис. 3.19 Залежність шорсткості оброблюваної поверхні від сумарного номінального натягу при обробці втулок з СЧ 20, $d = 20$ мм, $D = 40$ мм, $\alpha = 4^\circ$,
 $a_n = 0,03$ мм, ○ – СЧ20, ◇ – СЧ12, □ – КЧ 33.

3.2.2.2. Стан обробленої поверхні

У ході виробничих досліджень нового інструменту контролювався вплив процесу деформуючого протягування на шорсткість обробленої поверхні. На слайді 3 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.

Далі на слайді 3 показані криві розподілу опорних ліній мікронерівностей отвору корпусу гідропідсилювача, отриманих різними способами обробки, а поряд приведені відповідні профілограми мікрорельєфу. Як впливає 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.

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 розвертанню 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.

3.2.3. Зміцнення поверхневого шару при деформуючому протягуванні

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

У якості прикладу на слайді 4 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 конусу 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.

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.

3.2.4. Вплив основних параметрів процесу деформуючого протягування на точність форми

Досліди, які проводилися на корпусах гідропідсилювачів із чавуна СЧ20, показали, що при протягуванні отворів з малою товщиною стінки величина сумарної деформації, кут робочого конусу 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 куті робочого конуса деформуючого елемента.

**РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ І РОЗРАХУНОК РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ІНСТРУМЕНТА ТА ПРИСТРОЮ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАПРОПОНОВАНОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ОТВОРУ КОРПУСУ
ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА**

4.1. Характеристика конструкції інструменту та принцип його дії

Конструкція інструменту представлена на листі ДММВ.111204.600 СБ. Протяжка складається з оправки 1, гайки 2, деформуючих елементів 3, 4, 5, 6, 7. Перший деформуючий елемент (кільце) має Ø 19,96 мм, а наступні збільшуються на 0,02 мм. Деформуючі елементи закріплені гайкою. Хвостовик кріпиться з допомогою штифта (розрахунок наведений у розділі Охорона праці).

Деформуюче протягування виконується у двох режимах: при прямому русі інструмент працює в режимі прошивки, а при зворотному русі – в режимі протяжки. При зворотному русі виникає пластична деформація.

4.1.1 Розрахунок на міцність деформуючих елементів

Розрахунок на міцність робочих елементів протяжок виконується для визначення їх основних геометричних розмірів: товщини стінки, висоти, ширини циліндричної стрічки та її відстані до торця.

Даний розрахунок виконано по методиці, в якій передбачалось, що деформуючий елемент виготовлений з твердого сплаву і має симетрично навантажену форму. Тобто, зона контакту елемента з обколюваною поверхнею, знаходиться на однакових відстанях від його торців, а висота цього елемента вибрана з умови його рівномірності на згин і стиск. Деформуючий елемент такої форми, якщо він має оптимальну висоту, володіє найбільшою несучою спроможністю при найменшій витраті металу на його виготовлення.

Розрахунок почнемо виконувати з визначення товщини стінки за емпіричною формулою:

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{Q^{0,735} \cdot K_L^{0,71} \cdot 0,938^l}{f^{0,43} \cdot [\sigma_{из}]^{0,735} \cdot D^{0,36}}, \quad (4.1)$$

де Q – сила протягування;

K_L – коефіцієнт висоти деформуючого елементу (відношення фактичної висоти L_k деформуючого елемента до його оптимальної висоти $L_{\text{опт}}$);

l – фактична ширина контакту робочої поверхні елементу з оброблюваною поверхнею, яка залежить від діаметру отвору d_0 і товщини стінки t_0 деталі до обробки, а також від величини фактичного натягу a_ϕ ;

f – коефіцієнт тертя при деформуючому протягуванні;

$[\sigma_{\text{из}}]$ – допустиме напруження від згину для твердого сплаву;

D_k – зовнішній діаметр деформуючого елементу, приймаємо конструктивно.

$Q = 10$ кН; $K_L = 1,3$; $l = 1,1$ мм при $d_0 = 80$ мм; $t_0 = 5$ мм; $a_\phi = 0,25$; $f = 0,037$.

Допустиме напруження від згину для твердого сплаву визначається за формулою:

$$[\sigma_{\text{из}}] = \frac{\sigma_{\text{из}} \cdot K_{\text{п.с.}}}{K_{3,n}} \quad (4.2)$$

де $\sigma_{\text{из}}$ – фактична межа міцності твердого сплаву при згині.

$$\sigma_{\text{из}} = 4,26 \cdot D_k^{-0,36} \cdot t_k^{-0,45} \cdot \sigma_{\text{из.ст}} \quad (4.3)$$

де $\sigma_{\text{из.ст}}$ – межа міцності твердого сплаву при згині, обумовлений ГОСТом;

$K_{\text{п.с.}}$ – коефіцієнт, який залежить від посадки деформуючого елементу на стержень протяжки.

$$K_{\text{п.с.}} = 1,1 \cdot d_k^{0,33} \cdot t_k^{-0,42} \cdot e^{\frac{310 \Delta^{1,1}}{d_k}} \cdot K_\phi \quad (4.4)$$

де d_k – діаметр отвору деформуючого елементу;

e – основа натурального логарифму;

Δ – зазор або натяг між поверхнею отвору деформуючого елементу і оправкою протяжки, при натягу має додатній знак, а при зазорі – від’ємний;

K_ϕ – коефіцієнт форми отвору деформуючого елементу.

$d_k = 13$ мм;

$\Delta = -0,0235$ мм;

$K_\phi = 1$ для циліндричних отворів;

$t_k = 3,8$ мм, приймаємо попередньо.

$$K_{n.c.} = 1,1 \cdot 13^{0,33} \cdot 3,8^{-0,42} \cdot e^{\frac{3100,0235^{1,1}}{13}} \cdot 1 = 0,99$$

Приймаємо $K_{п.с.} = 1$.

$K_{з.п.}$ – коефіцієнт запасу міцності, $K_{з.п.} = 2,2$.

Для ВК10М $\sigma_{из.ст} = 1617 \text{ Н/мм}^2$

$$\sigma_{из} = 4,26 \cdot 20,04^{-0,36} \cdot 3,8^{-0,45} \cdot 1617 = 1284 \text{ Н / мм}^2.$$

$$[\sigma_{из}] = \frac{1284 \cdot 1}{2,2} = 584 \text{ Н / мм}^2.$$

$$t_k = 0,329 \cdot \frac{(10^4)^{0,735} \cdot 1,3^{0,71} \cdot 0,938^{1,1}}{0,037^{0,43} \cdot 584^{0,735} \cdot 80^{0,36}} = 2,55 \text{ мм.}$$

Для подальшого розрахунку використано прийняте значення $t_k = 3,8 \text{ мм}$.

Знаходимо висоту деформуючого елементу.

$$L_K = K_L \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{l^2}{4} + \frac{8 \cdot \nu \cdot R_K \cdot W}{\pi \cdot (R_K^2 - r_K^2)}} \right], \quad (4.5)$$

де R_K і r_K – зовнішній радіус і радіус отвору деформуючого елементу відповідно.

$$R_K = \frac{D_K}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ мм};$$

$$r_K = \frac{d_K}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ мм};$$

ν – відношення межі міцності твердого сплаву при згині до межі міцності при стиску, для ВК10М $\nu = 0,54$;

W – момент опору згину деформуючого елементу в перерізі перпендикулярному до вісі, мм^3 . Значення W знаходимо по формулі:

$$W = \frac{9 \cdot (R_K^4 - r_K^4) \cdot (R_K^2 - r_K^2) - 8 \cdot (R_K^3 - r_K^3)^2}{12 \cdot (R_K^3 - r_K^3) - 18 \cdot (R_K^2 - r_K^2) \cdot r_K} \cdot \pi, \quad (4.6)$$

$$W = \frac{9 \cdot (40^4 - 6,5^4) \cdot (40^2 - 6,5^2) - 8 \cdot (40^3 - 6,5^3)^2}{12 \cdot (40^3 - 6,5^3) - 18 \cdot (40^2 - 6,5^2) \cdot 6,5} \cdot 3,14 = 18210 \text{ мм}^3.$$

$$L_K = 1,3 \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1,1^2}{4} + \frac{8 \cdot 0,54 \cdot 10,02 \cdot 18210}{3,14 \cdot (40^2 - 6,5^2)}} \right] = 9,1 \text{ мм.}$$

Визначимо мінімальну допустиму (з конструктивних міркувань) висоту $L_{к.д.}$ деформуючого елемента:

$$L_{\kappa.д.} = \frac{a_{\phi}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + b + 2 \cdot (b_{\text{фас}} + c), \quad (4.10)$$

де b – ширина циліндричної стрічки, $b = 0,25$ мм;

α – кут робочого конусу $\alpha = 5^\circ$;

$b_{\text{фас}}$ – ширина фаски, $b_{\text{фас}} = 0,8$ мм;

c – неробоча ділянка робочого конусу, що дорівнює довжині зворотного конусу, $c = 3$ мм.

$$L_{\kappa.д.} = \frac{0,25}{2 \cdot \operatorname{tg} 5} + 0,25 + 2 \cdot (0,8 + 3) = 8 \text{ мм.}$$

Умова міцності виконується, так як мінімально допустима висота $L_{\kappa.д.}$, більше розрахованої висоти деформуючого елемента.

Мінімальна відстань h' від торця деформуючого елемента до циліндричної стрічки:

$$h' = \frac{L'_{\kappa.д.} + l}{2} \quad (4.11)$$

де $L'_{\kappa.д.}$ – прийнята з умови міцності та конструктивних міркувань висота деформуючого елемента.

$$L'_{\kappa.д.} \geq L_{\kappa.д.}$$

Приймаємо $L'_{\kappa.д.} = 15$ мм.

$$h' = \frac{15 + 1,1}{2} = 5,55 \text{ мм.}$$

Приймаємо 6 мм.

Приведений розрахунок дає гарантію, що деформуючий елемент, який має знайдені значення геометричних розмірів, задовольняє вимоги міцності на згин та стиск.

4.1.2 Розрахунок на міцність різьбового з'єднання

У конструкції деформуючої протяжки для фінішної обробки корпусу гідропідсилювача використовується різьбове з'єднання М10.

При розрахунку різьбового з'єднання оправка – гайка будемо розглядати його у напруженому стані, тобто з попереднім затягуванням. При затягуванні гайки, в оправці виникає зусилля на розтяг та зусилля на скручування. При

спрощеному розрахунку напруженого з'єднання розраховуємо на розтяг, скручування враховуємо збільшенням осової сили на розтяг на 10 %.

Проектний розрахунок різьбового з'єднання, навантаженого осовою статичною силою проведено по наступній методиці.

Умова міцності оправки:

$$\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot [\sigma_p] = Q_p \quad (4.12)$$

звідкіля

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot [\sigma_p]}}, \quad (4.13)$$

де Q_p – розрахункове осове зусилля, Н;

$[\sigma_p]$ – допустиме напруження розтягу, Н/мм²;

d_1 – внутрішній діаметр різьби, мм.

$$Q_p = 4 \cdot 10^3 \cdot 1,1H,$$

$$[\sigma_p] = 0,23 \cdot \sigma_m = 0,23 \cdot 360 = 82,8 \text{ Н / мм}^2,$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 1,1}{3,14 \cdot [82,8]}} = 8,3 \text{ мм}.$$

Таким чином для даного з'єднання буде достатня різьба М10.

Розрахунок на міцність різьбового з'єднання при змінних навантаженнях проводимо по амплітуді циклу та по найбільшій напрузі циклу.

Умова міцності по амплітуді циклу:

$$n_a = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma \cdot \sigma_a} \geq [n_a] \quad (4.14)$$

де n_a – дійсний запас міцності по амплітуді;

$[n_a]$ – допустимий запас міцності;

σ_{-1} – межа витривалості при розтягу матеріалу гладкого зразку при симетричному циклу; $\sigma_{-1} = 240 \text{ Н/мм}^2$;

K_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень; $K_\sigma = 3,5$.

σ_a – амплітуда змінних напружень:

$$\sigma_a = \frac{\chi \cdot Q}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}}, \quad (4.15)$$

де χ – коефіцієнт зовнішнього навантаження, $\chi = 0,05$.

$$\sigma_a = \frac{0.05 \cdot 4400}{2 \cdot \frac{3,14 \cdot 10^2}{4}} = 1,4 \text{ Н / мм}^2,$$

$$n_a = \frac{240}{3,5 \cdot 1,4} = 48,9 \geq 2,5 = [n_a]$$

Умова міцності по амплітуді циклу виконується.

Перевірка умови міцності по найбільшому напруженні циклу.

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m}{\sigma_0 + 2 \cdot \sigma_a} \geq [n], \quad (4.16)$$

де n – дійсний коефіцієнт запасу міцності по максимальному навантаженню;

σ_T – межа текучості матеріалу; $\sigma_T = 360 \text{ Н/мм}^2$;

σ_0 – напруження від початкового зтягування;

$[n]$ – допустимий коефіцієнт запасу міцності по максимальним напруженням, $[n] = 1,25$

$$\sigma_0 = \frac{4 \cdot Q_0}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma_0], \quad (4.17)$$

де Q_0 – сила попереднього зтягування, Н:

$$Q_0 = K \cdot Q, \quad (4.18)$$

де K – коефіцієнт запасу щільності стику, $K = 1,3$;

$$Q_0 = 1,3 \cdot 4400 = 5720 \text{ Н},$$

$$\sigma_0 = \frac{4 \cdot 5720}{3,14 \cdot 10^2} = 73 \text{ Н / мм}^2,$$

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_0 + 2 \cdot \sigma_a} = \frac{360}{73 + 2 \cdot 1,4} = 4,7 \geq 1,25$$

Умови міцності по найбільшому напруженні циклу виконується.

4.2. Характеристика конструкції пристрою

Пристрій який представлений на листі ДММВ.111204.700 СБ. Він складається з плити 3 до якої кріпиться корпус 1 та упор 2. Плита має кільцевий виступ, який забезпечує центрування оброблюємого отвору відносно вісі інструменту.

Установлення пристрою на верстаті виконується з використанням спеціальної оправки, яка дозволяє забезпечити співвісність штоку верстата і отвору пристрою.

4.2.1. Розрахунок допустимих напружень для болтового з'єднання

Допустимі напруження для болтових з'єднань визначають за формулою:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[s_T]}, \quad (4.19)$$

де $[s_T]$ – допустимий коефіцієнт запасу міцності для болтів з неконтролюємим затягуванням; приймаємо $[s_T] = 4,5$;

σ_T – границя текучості; приймаємо $\sigma_T = 250 \text{ Н/мм}^2$.

$$[\sigma] = \frac{250}{4.5} = 55.56 \text{ Н / мм}^2.$$

Для герметичності з'єднання болти ставляться з попереднім затягуванням при збиранні.

Необхідна сила затягування болта

$$F_0 = K_{\text{зат}} \cdot (1 - \chi) \cdot F. \quad (4.20)$$

де $K_{\text{зат}}$ – коефіцієнт запасу попереднього затягування; при постійному навантаженні, $K_{\text{зат}} = 1,75$;

χ – коефіцієнт зовнішнього навантаження, $\chi = 0,45$;

F – навантаження на один болт, Н:

$$F = \frac{F_{\text{max}}}{z}. \quad (4.21)$$

де F_{max} – максимальна сила тиску, $F_{\text{max}} = 2000 \text{ Н}$;

z – кількість болтів, $z = 3$.

$$F = \frac{2000}{3} = 666.67 \text{ Н}.$$

$$F_0 = 1.75 \cdot (1 - 0.45) \cdot 666.67 = 641.67 \text{ Н}.$$

Розрахункова сила затягування болта

$$F_p = 1.3 \cdot F_0 + \chi \cdot F. \quad (4.22)$$

$$F_p = 1.3 \cdot 641.67 + 0.45 \cdot 666.67 = 1134.17 \text{ Н}$$

На початку проектного розрахунку орієнтовно задаються діаметром різьби для відповідного інтервалу діаметрів приймають коефіцієнт запасу міцності. Якщо в результаті розрахунку буде отриманий діаметр, який не лежить у прийнятому раніше інтервалі діаметрів, то задаються іншим значенням діаметру і повторюють розрахунок. Розрахунок на міцність болтових з'єднань проводиться згідно умови міцності

$$\sigma = \frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot d_p^2} \leq [\sigma] \quad (4.23)$$

де σ – розрахункове напруження у болту, Н/мм²;

F_p – розрахункова сила, Н;

d_p – розрахунковий діаметр різьби, мм.

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot [\sigma]}}, \quad (4.24)$$

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 1134.17}{3.14 \cdot 55.56}} = 7.6 \text{ мм.}$$

Приймаємо різьбу М10 з шагом $p = 1,5$ мм, для якої

$$d_p = d - 0.94 \cdot p, \quad (4.25)$$

$$d_p = 10 - 0.94 \cdot 1.5 = 8.59 \text{ мм,}$$

$$8,59 \text{ мм} \geq 7,6 \text{ мм}$$

Остаточно приймаємо болт М10.

$$\sigma = \frac{4 \cdot 1134.17}{3.14 \cdot 8.59^2} = 19.58 \text{ Н / мм}^2,$$

$$19,58 \text{ Н/мм}^2 \leq 55,56 \text{ Н/мм}^2$$

Умови міцності болтових з'єднань виконується.

Розділ 5

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕФОРМУЮЧОЇ ПРОТЯЖКИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОТВОРУ КОРПУСУ ГІДРОПІДСИЛЮВАЧА

5.1. Загальні вихідні дані

Базовий технологічний процес обробки отвору корпусу гідропідсилювача $\varnothing 20+0,02$ мм (який виготовлений на ПрАТ «Гідросила – Леда», м. Кропивницький) включає 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.

Річна потреба в гідропідсилювачах складає 15000 одиниць.

Техніко-економічні показники базового та проектного процесів зведено до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники

№ з/п	Показники	Умовне позначення	Одиниця виміру	Величина за варіантом	
				базовим	проектним
1	2	3	4	5	6
1.	Річна програма випуску	N_d	шт.	15000	15000
2.	Трудомісткість операції	$T_{\text{нор}}$	год.		
	а) алмазне розвертування			9,0	

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
	б)деформуюче протягування				1,1
3.	Кількість одиниць обладнання	Q	шт.		
	а)Вертикально- свердлильний верстат 2Н135			1	
	б) Прес 6320				1
4.	Оптова ціна одиниці обладнання	$\Phi_{\text{бал}}$	грн.		
	а)Вертикально- свердлильний верстат 2Н135			150000	
	б) Прес 6320				97000
5	Сумарна потужність електродвигунів	N_B	кВт	1,7	3
6	Коефіцієнт завантаження електродвигунів				
	- за потужністю	K_N		0,8	0,8
	- за часом	K_D		0,75	0,75
7.	Група ремонтної складності механічної/електричної частин верстата	R_M/R_e	УРО		
	а)Вертикально- свердлильний верстат 2Н135			8/5,5	
	б) Прес 6320				6/3

5.2. Визначення витрат на конструкторську підготовку виробництва

Витрати на проектування конструкції визначаються за формулою:

$$B_{нк} = H_{op} \cdot T_{кон} \cdot 3_{сз}^{\kappa} \cdot \left(1 + \frac{K_{\partial}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_e \quad (5.1)$$

де H_{op} – кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції нового вузла, шт.;

$T_{кон}$ – сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка всередньому припадає на одне найменування оригінальної деталі;

$З_{сз}^к$ – середньогодинна заробітна плата конструктора, грн./год.;

K_{∂} – додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c – єдиний соціальний внесок (ЄСВ), %;

H_{ϵ} – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної та додаткової заробітної плати конструкторів).

$$H_{\epsilon} = H_{op} \cdot T_{кон} \cdot З_{сз}^к \cdot \frac{\%H_{\epsilon}}{100} \quad (5.2)$$

де H_{ϵ} складає 45% від основної заробітної плати конструкторів, тоді

$$H_{\epsilon} = 6 \cdot 20 \cdot 101,92 \cdot \frac{45}{100} = 5502,07 \text{ грн}$$

$$B_{пк} = 6 \cdot 20 \cdot 101,92 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 5502,07 = 21916,0 \text{ грн}$$

5.3. Визначення витрат на технологічну підготовку виробництва

Витрати на технологічну підготовку виробництва визначають за формулою:

$$B_m = H_{op} \cdot T_{тех} \cdot З_{сз}^к \cdot \left(1 + \frac{K_{\partial}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon} \quad (5.3)$$

де $T_{тех}$ – сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальної деталі;

$З_{сз}^к$ – середньогодинна заробітна плата технолога, грн./год.;

H_{ϵ} – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної заробітної плати технологів).

$$H_{\epsilon} = H_{op} \cdot T_{кон} \cdot З_{сз}^к \cdot \frac{\%H_{\epsilon}}{100}$$

де $\% H_{\epsilon}$ складає 45 %, тоді

$$H_{\epsilon} = 6 \cdot 18 \cdot 96,20 \cdot \frac{45}{100} = 4675,97 \text{ грн}$$

$$B_{нк} = 6 \cdot 18 \cdot 96,20 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) + 4675,97 = 18390,24 \text{ грн}$$

5.4. Визначення витрат на виготовлення інструменту та обґрунтування його оптової ціни

Трудовісткість виготовлення інструменту (T_o) визначають в нормо-годинах за формулою:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_i, \quad (5.4)$$

$$T_o = T_z + T_m + T_{т} + T_{\epsilon} + T_c = 0,1 + 12,5 + 1,5 + 1,3 + 0,5 = 15,9 \text{ нормо-год.}$$

де T_z , T_m , $T_{т}$, T_{ϵ} , T_c – трудовісткість заготівельних, механічних, термічних, гальванічних, складальних робіт.

Визначаємо основну заробітну плату виробничих робітників

$$З_{ор} = \sum_{i=1}^n C_{\text{рі}} \cdot T_i, \quad (5.5)$$

де n – кількість і-тих видів робіт;

$C_{\text{рі}}$ – середньо-годинна тарифна ставка робітників, які виконують і-тий вид робіт, з врахуванням шкідливих умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на механічних роботах:

$$З_{ор}^{\text{мех}} = 82,586 \cdot 12,5 = 1032,33 \text{ грн.}$$

- Витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum_{i=1}^n З_{ор_i} \cdot \frac{П_{\text{ео}(i)}}{100}, \quad (5.6)$$

де $П_{\text{ео}(i)}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному і-му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$B_o^{\text{мех}} = 1032,33 \cdot \frac{322}{100} = 3324,09 \text{ грн.},$$

- Цехові витрати:

$$K_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{ор_i} \cdot \frac{П_{\text{цв}(i)}}{100}, \quad (5.7)$$

де $\Pi_{цв}$ – відсоток цехових витрат по кожному і-му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$K_{цех}^{мех} = 1032,33 \cdot \frac{232}{100} = 2394,99 \text{ грн}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Трудомісткість виготовлення й окремі види витрат, які включені до собівартості інструменту

Види робіт	Трудомісткість робіт, нормо год	Середній розряд	Середньо годинна тарифна ставка робітника, грн	Основна заробітна плата робітників, З _{ор} , грн	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання, В _о		Загальноцехові витрати, К _{цех}	
					%	грн	%	грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заготівельні	0,1	2	95,829	9,58	245	23,48	132	12,65
Механічні	12,5	4	82,586	1032,33	322	3324,09	232	2394,99
Термічні	1,5	3	92,191	138,29	285	394,12	250	345,72
Гальванічні	1,3	3	83,249	108,22	280	303,03	150	162,34
Складальні	0,5	4	95,829	9,58	245	23,48	132	12,65
Всього	15,9	-	-	1329,71	-	4131,42	-	2974,33

Повну собівартість інструменту розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних і звітних калькуляцій. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$C_{пов} = M_o + M_d + \Pi_n + T_v - B_{зв} + E_{тех} + \Pi_{тех} + Z_{ор} + Z_{др} + B_c + B_{ин.цп} + B_o + B_{цех} + B_{зав} + B_{ин} + B_{пв}, \text{ де}$$

M_o, M_d – відповідно витрати на основні та допоміжні матеріали, грн;

Π_n – покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби, грн;

$B_{зв}$ – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн;

T_v – транспортно-заготівельні витрати, грн;

E_{tex}, P_{tex} – енергія та паливо на технологічні цілі, грн;

$Z_{др}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн;

B_c – відрахування у соціальні фонди (ЄСВ), грн;

$B_{ин.уп}$ – відшкодування зносу інструмента та пристосувань цільового призначення, грн;

$B_{зав}, B_{пв}$ – загальнозаводські витрати та позавиробничі витрати, грн;

$B_{ин}$ – інші виробничі витрати, грн.

Розрахунки M_o, M_d, P_n зводимо до таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Склад матеріальних витрат на інструмент

№ п/п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Одиниця	Витрати (шт,кг)	Ціна, грн	Витрати на виріб, грн
1	2	3	4	5	6
1	Основні матеріали Сталь 45 BK10		9,2	42,18	388,06
		шт	0,42	2790,0	1171,80
	Всього основних матеріалів	-	-	-	1559,86

Для визначення повної собівартості розрахунки зводимо до таблиці 5.4:

Таблиця 5.4

Повна собівартість та оптова ціна деформуючої протяжки

№ п.п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн
1	2	3	4	5
1	Матеріали основні	M_o	таблиця 5.3	1559,86
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	62,39
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги інших підприємств	P_n	таблиця 5.3	-
4.	Транспортно-заготівельні витрати	T_b	6% від $(M_o + M_d + P_n)$	64,89
5.	Зворотні відходи (віднімаються)	$- B_{зв}$	5% від M_o	93,59

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$П_{\text{тех}}, E_{\text{тех}}$	59,8% від $З_{\text{ор}}$	795,17
7.	Всього матеріальні витрати			2388,72
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{\text{ор}}$	таблиця 5.2	1329,71
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{\text{др}}$	10% від $З_{\text{ор}}$	132,97
10.	Відрахування у соціальні фонди (ЄСВ)	$В_{\text{с}}$	22,0% від $(З_{\text{ор}} + З_{\text{др}})$	321,79
11.	Відшкодування зносу інструментів та пристосувань цільового призначення	$В_{\text{ін.цп}}$	12,2% від $З_{\text{ор}}$	162,22
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	$В_{\text{о}}$	таблиця 5.2	4131,42
13.	Цехові витрати	$В_{\text{цех}}$	таблиця 5.2	2974,33
14.	Загальнозаводські витрати	$В_{\text{зав}}$	221% від $З_{\text{ор}}$	2938,66
15.	Інші виробничі витрати	$В_{\text{ін}}$	3,4% від $З_{\text{ор}}$	45,21
16.	Виробнича вартість об'єкту	$С_{\text{вир}}$	$\Sigma_{\text{ст}}(8 \div 16)$	14425,04
17.	Позавиробничі витрати	$В_{\text{пв}}$	1% від $С_{\text{вир}}$	144,25
18.	Повна собівартість	$С_{\text{пов}}$	$С_{\text{вир}} + К_{\text{пв}}$	14583,33
19.	Прибуток	$П_{\text{н}}$	20% від $С_{\text{пов}}$	2916,67
20.	Оптова ціна інструмента	$Ц_{\text{опт}}$	$С_{\text{пов}} + П_{\text{н}}$	17500,0

5.5. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки) на новому обладнанні

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_{\text{с}} = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (5.8)$$

де $B_{\text{з}}$ – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування основних робітників, грн;

$B_{\text{ел}}$ – витрати на силову електроенергію, грн;

$B_{\text{дм}}$ – витрати на допоміжні матеріали. грн;

$B_{\text{р}}$ – витрати на ремонт обладнання, грн;

B_n – витрати на утримання площі, грн;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн;

B_n – втрати на налагодження верстата.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування:

$$B_3 = C_r \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.9)$$

де C_r – середньо-годинна ставка робітника (розряд робіт III), грн.;

$T_{\text{нор}}$ – час обробки деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_3^{\text{баз}} = 74,330 \cdot \frac{9,0}{60} \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) = 14,9626 \text{ грн.}$$

$$B_3^{\text{пр}} = 74,330 \cdot \frac{1,1}{60} \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) = 1,8288 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.10)$$

де $N_{\text{в}}$ – установлена потужність електродвигунів верстата, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи електродвигунів (приймають 0,65...0,8);

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймають 0,5...0,8);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом (приймають 0,3...0,5);

η_c – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів – (приймають 0,86...0,9);

η_m – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства – (приймають 0,92...0,96);

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт/год силовій електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{1,7 \cdot 0,7 \cdot 0,55 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,94} \cdot \frac{9,0}{60} \cdot 8,235 = 0,3909 \text{ грн},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{3 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,7}{0,88 \cdot 0,94} \cdot \frac{1,1}{60} \cdot 8,235 = 0,2070 \text{ грн}.$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{дм}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{нор}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.11)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного виробництва приймають 1).

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{75,5 \cdot 5,5 \cdot 9,0}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,6229 \text{ грн},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{75,5 \cdot 6 \cdot 1,1}{60 \cdot 100} \cdot 1 = 0,0831 \text{ грн}.$$

Витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту:

$$B_{\text{ip}} = \frac{(S_{\text{u}} + p \cdot S_{\text{пер}}) \cdot \gamma \cdot T_{\text{нор}}}{t_{\text{е}} \cdot (p + 1)} \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.12)$$

де S_{u} – первісна вартість універсального ріжучого інструменту, грн.;

p – кількість переточок ріжучого інструменту до повного зносу по лімітуючому розміру ріжучої грані

$S_{\text{пер}}$ – вартість однієї переточки, грн.;

γ – питома значення машинного часу роботи обладнання в загальному варіанті його роботи;

$t_{\text{е}}$ – економічна стійкість інструменту, хв.;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт обліку втрати інструменту.

Для базового варіанту витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту не розраховуємо, тому що одного комплексу алмазних розверток достатньо для обробки усієї партії деталі.

$$B_{\text{ip}}^{\text{пр}} = \frac{(17500,0 + 12 \cdot 70,7) \cdot 0,75 \cdot 1,0}{12000 \cdot (12 + 1)} \cdot 1,1 = 0,0970 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{R_m \cdot P_{вн} + R_e \cdot P_{вс}}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (5.13)$$

де $P_{вн}$, $P_{вс}$ – відповідно річні витрати на всі види ремонту на одну категорію ремонтної складності механічної та електричної частини верстата, грн./рік;

$F_{дрм}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для одиничного та дрібносерійного виробництва – 4015 год.).

$$B_p^{баз} = \frac{8,0 \cdot 990 + 5,5 \cdot 780}{4015} \cdot \frac{9,0}{60} = 0,4562 \text{ грн},$$

$$B_p^{пр} = \frac{6 \cdot 990 + 3 \cdot 780}{4015} \cdot \frac{1,1}{60} = 0,0378 \text{ грн}.$$

Витрати на утримання площі:

$$B_{п} = \frac{F_o \cdot K_f \cdot C}{F_{дрм}} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (5.14)$$

де F_o – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення)

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничого приміщення, грн/м².

$$B_{п}^{баз} = \frac{1,75 \cdot 4,0 \cdot 788}{4015} \cdot \frac{9,0}{60} = 0,2061 \text{ грн},$$

$$B_{п}^{пр} = \frac{0,69 \cdot 4,0 \cdot 788}{4015} \cdot \frac{1,1}{60} = 0,0099 \text{ грн}.$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a}{F_{дрм} \cdot 100} \cdot \frac{T_{нор}}{60}, \quad (5.15)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{бал}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість верстатів знаходимо за формулою:

$$\Phi_{бал} = Ц_{опт} \cdot (1 + K_{тр} + K_m + K_{ф}), \quad (5.16)$$

де $Ц_{опт}$ – оптова ціна верстата, грн;

$K_{тр}$, K_m , $K_{ф}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином:

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{баз}} = 150000 \cdot (1 + 0,07 + 0,05 + 0,06) = 177000 \text{ грн},$$

$$\Phi_{\text{бал}}^{\text{пр}} = 97000 \cdot (1 + 0,07 + 0,05 + 0,06) = 114460 \text{ грн},$$

Верстат, що проектується, на балансі підприємства враховується за повної собівартістю виготовлення.

$$B_a^{\text{баз}} = \frac{177000 \cdot 20}{4015 \cdot 100} \cdot \frac{9,0}{60} = 1,3225 \text{ грн},$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{114460 \cdot 20}{4015 \cdot 100} \cdot \frac{1,1}{60} = 0,1045 \text{ грн}.$$

Витрати на налагодження верстата:

$$B_n = C_{\text{гн}} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}) \cdot \frac{T_{\text{нал}} \cdot A}{60 \cdot N_{\text{д}}} \quad (5.17)$$

де $C_{\text{гн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн./год.;

A – кількість налагоджень за рік;

$T_{\text{нал}}$ – час налагодження, хв.;

$N_{\text{д}}$ – річна програма випуску деталей, шт./рік.

$$B_n^{\text{баз}} = 82,592 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) \cdot \frac{20 \cdot 24}{60 \cdot 15000} = 0,0591 \text{ грн},$$

$$B_n^{\text{пр}} = 92,945 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22,0}{100}\right) \cdot \frac{15 \cdot 24}{60 \cdot 15000} = 0,0499 \text{ грн}$$

Результати розрахунків зводимо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п.п	Експлуатаційні витрати	Умовне позначення	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1	2	3	4	5
1.	Заробітна плата робітника основна, додаткова з відрахуваннями на соціальні потреби (ЄСВ)	B_z	14,9626	1,8288
2.	Силова електроенергія	$B_{\text{ел}}$	0,3909	0,2070
3.	Допоміжні матеріали	$B_{\text{дм}}$	0,6229	0,0831
4.	Універсальний ріжучий інструмент	$B_{\text{ін}}$	-	0,0970
5.	Ремонт обладнання	B_p	0,4562	0,0378

1	2	3	4	5
6.	Утримання приміщення	B_{Π}	0,2061	0,0099
7.	Амортизація обладнання	B_a	1,3225	0,1045
8.	Налагодження обладнання	B_H	0,0591	0,0499
9.	Загальна сума	B_{ϵ}	18,0203	2,4180

5.6. Розрахунок показників економічної ефективності

Оскільки виготовлення інструменту буде відбуватися на підприємстві, яке його буде використовувати, річний економічний ефект від запропонованого варіанту техпроцесу обробки робочої порожнини даної деталі розраховуємо за формулою:

$$E_p = (B_{\epsilon}^{\delta} - B_{\epsilon}^{np}) \cdot N_d - E_H \cdot K_{\epsilon}, \quad (5.18)$$

де N_d – річна програма випуску деталей, шт./рік.;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; $E_H=0,16$.

K_{ϵ} – додаткові капітальні витрати у виробника, грн:

$$K_{\epsilon} = B_{\Pi} + B_m + C_{in}^{np} \cdot Q_{in}^{np} + \Phi_{бал}^{np} \cdot Q_{\epsilon}^{np} - (C_{in}^{\delta} \cdot Q_{in}^{\delta} + \Phi_{бал}^{\delta} \cdot Q_{\epsilon}^{\delta}), \quad (5.19)$$

де B_{Π} , B_m – відповідно, вартість конструкторської та технологічної підготовки виробництва, грн.;

C_{in}^{np} – собівартість виготовлення деформуючої протяжки, грн.;

C_{in}^{δ} – ціна базового інструменту, грн.;

$Q_{in}^{np}, Q_{in}^{\delta}$ – відповідно річна потреба в проектному та базовому інструменті, шт./рік.

$$K_{\epsilon} = 21916,0 + 18390,24 + 14583,33 \cdot 1 + 114460 \cdot 1 - (211000 \cdot 1 + 177000 \cdot 1) = -218650,43 \text{ грн}$$

$$E_p = (18,0203 - 2,418) \cdot 15000 + 0,16 \cdot (-218650,43) = 270000 \text{ грн}$$

Зростання продуктивності праці визначаємо за показником витрат часу ($t_{шт}$) на одиницю продукції в проектному варіанті в порівнянні з базовим:

$$П_n = 100 - \frac{t_{шт(пркт)}}{t_{шт(баз)}} \cdot 100\% , \quad (5.20)$$

$$П_n = 100 - \frac{1,1}{9,0} \cdot 100 = 87,7\% ,$$

В підсумку складаємо зведену таблицю техніко–економічних показників (табл. 5.6)

Таблиця 5.6

Підсумкові техніко – економічні показники базового та проектного варіанту

№	Показники	Одиниця	Варіанти		Зміна, % (+,–)
			Базовий	Проектний	
1	Річна програма обробки деталі із застосуванням інструменту	шт./рік	15000	15000	-
2	Штучний час обробки деталі	хв.	9,0	1,1	-87,7
3	Собівартість (повна) виготовлення деформуючої протяжки	грн.	-	14583,33	-
4	Оптова ціна інструменту	грн.	211000	17500,0	-91,7
5	Капітальні витрати на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн.		40307,0	
6	Річний економічний ефект	грн.		270000	

Загальні висновки

1 Розроблені нова конструкція інструменту для фінішної обробки отвору корпусу гідропідсилювача та пристрій для базування 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 %.

3. Виконано техніко – економічне обґрунтування доцільності використання нової конструкції інструменту. Річний економічний ефект складає 270000 грн., за рахунок заміни дорогого інструменту, а саме, комплекту із чотирьох алмазних розверток на деформуючу протяжку.

Список використаних літературних джерел

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. – Вип. 1/2014 (84). – Кременчук: КрНТУ, 2014. – 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». – вип. 1(84). – Вінниця: ВНАУ, 2014. – 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». – вип. 2(84). – Вінниця: ВНАУ, 2014. – 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 Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». – вип. 44. – Кіровоград: КНТУ, 2014 – С.115-121.
5. Пестунов В.М., Стеценко О.С., Єрьомін П.М., Проблеми тертя і способи його проявлення у верстатних системах Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – вип. 59. – Київ, НТУ «КПІ», 2010 – С.46-51
6. Єрьомін П.М., Чернявський О.В. Методи нанесення технологічних змащень і антифрикційних покриттів при деформуючому протягуванні Сучасні тенденції розвитку машинобудування та транспорту: матеріали Міжнародній науково-технічній конференції, м. Кременчук, 03–05 листопада 2008 р.
7. Єрьомін П.М., Чернявський О.В., Гречка А.І. Розширення технологічних можливостей комбінованого протягування отворів в деталях з малопластичних металів Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука –

виробництво : тези доповідей X Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції, м. Суми, 26-30 жовтня 2010 р. – Суми: СДУ, 2010. – С. 7

8. 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 Збірник матеріалів міжнародної науково-технічної конференції «Машинобудування – очима молодих» – м. Кременчук, 30 жовтня – 01 листопада 2013 р. – Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2013. – С. 48.

9. Єрьомін П.М., Немировський Я.Б., Чернявський О.В. Особенности расчета усадки отверстий при деформирующем протягивании деталей из чугуна Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків, НТУ «ХПІ», 2014. – Вип. 1(24).– С.109-121

10. Єрьомін П.М., Чернявський О.В., Студенець С.Ф. Вплив умов деформування при обробці твердосплавними комбінованими протяжками на структуру та зміцнення поверхневого шару чавунів/ Збірник «Сверхтвердые материалы: создание, производство, исследования, применение», Київ, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, 2015. – Вип. 4, 2015. –С.91-99

11. 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 University.–N1(81).–Ternopil, TNTU, 2016.–PP. 88-97.

12. Економічні розрахунки організаційно-планові розрахунки при розробці нових виробів. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – 36 с.

13. Планування діяльності підприємства. Методичні вказівки з використання сітьових методів в плануванні діяльності підприємства. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 30 с.

14. Павленко І.І. Захватні пристрої роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Захватні пристрої роботів: монографія. – Кропивницький: «КОД», 2020. –386 с.

15. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.

16. Валявський, І. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навч. посіб. / І. А. Валявський, О. В. Лисенко, І. А. Лисенко ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 281 с.
17. Shcherbyna K. Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks / K. Shcherbyna, A. Hrechka, V. Mazhara, T. Diachenko//Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2020. – Вип.50. – С.159-164
18. Щербина К.К. Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона / К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. пр. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 5 (36). – Ч. 2. – С. 31-38.
19. Годунко М.О. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А. Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). – С. 27-33.
20. Модульно-параметричний принцип розробки проектів шестеренних гідравлічних машин. / Апаракін А.Р. // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7 (38). – С. 51-58.
21. Годунко М.О. Дослідження можливості підвищення точності захватного пристрою робота за рахунок компенсуючої ланки затискного важеля. Годунко М.О., Мажара В.А., Кислун О.С., Щербина В.К., Писанка С.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки : зб. Наук пр. – Хмельницький : ХНУ, 2024. – Вип. №3. – С. 52-56.
22. Kyrychenko A. The principle of contradiction in scientific and pedagogical research on AI (methodological aspect) / A. Kyrychenko, Z. Stezhko // Вісник Львівського університету. Серія філос.-політолог. студії. - Львів: Видавничий дім «Гельветика», 2024. – Вип. 53. – С. 78-85.
23. Щербина К.К. Динамічний аналіз кільково-клинового хону в зоні малих переміщень / К.К. Щербина, В.А. Мажара, Д.Р. Торчілов, С.М. Заїка, В.М.

Масляніков / Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2024. – Т. 337. – Вип. 3 (2). – С. 250-254.

24. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.

19.Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.

25. Пузирьов О.Л. Аналіз ефективності впровадження волочильного стану для підготовки заготовок з металопрокату для верстатів з ЧПК / О.Л. Пузирьов, А.І. Гречка // Технології та інжиніринг. – К.: КНТУТД, 2024. – Вип. 5 (22). – С. 71-78.

26. Кириченко А. М. Аналіз кінематики верстата з двохкоординатним механізмом паралельної структури "біпод" / А. М. Кириченко, Л. В. Ленченко, С. М. Заїка // Вісник Тернопільського державного технічного університету. - Тернопіль : ТДТУ, 2008. - № 2. - С. 74-81

27. Кириченко А. М. Дослідження кінематики трьохкоординатного верстата з комбінованою структурою / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, Л. В. Ленченко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. - Кіровоград : КНТУ, 2008. - Вип. 20. - С. 97-103.

28. Кириченко А. М. Визначення силових характеристик приводів обладнання з механізмами паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДПУ, 2008. - Вип. 5 (52), ч. 2. - С. 50-53.

29. Заїка С. М. Точність верстатів із плоскими механізмами паралельної структури / С. М. Заїка, А. М. Кириченко // Вісник Сумського державного університету. Серія "Технічні науки". - Суми : СумДУ, 2010. - № 4. - С. 19-23.

30. Кириченко А. М. Особливі положення плоских механізмів паралельної структури / А. М. Кириченко, С. М. Заїка, А. М. Федотьєв // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. - Кременчук : КДУ, 2010. - Вип. 5 (64), ч. 1. - С. 94-99.
31. Надеин В.С. Повышение точности шевингования облегающими шеверами / В.С. Надеин, М.Г. Сторчак, А.В. Кривошея, С.Н. Заика, Д.В. Грынь // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы механического привода. - Харьков : НТУ "ХПИ". - 2012. - № 35. - С. 106-112.
32. Щербина К. Динамічний аналіз кульково-клинового хону в зоні малих переміщень / Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка С., Масляніков В. // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2024. - №3 (337). - С.250-254.
33. Щербина К., Мажара В., Торчілов Д., Заїка А., Масляніков В. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону з гвинтовими канавками // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. - Хмельницький: ХНУ, 2025. - №2 (349). - С.493-499.