

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ  
АГРАРНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЖБАНЧИК ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ

Допускається до захисту:  
завідувач кафедри Механізації  
сільського господарства  
канд.техн. наук, доцент  
\_\_\_\_\_ Анатолій Поляков  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ОТВОРІВ ПРИ  
ВІДНОВЛЕННІ ВТУЛОК ДОРНУВАННЯМ

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота  
на отримання ступеня вищої освіти магістра

Керівник: канд.техн.наук, доцент  
Анатолій Поляков

Оцінка: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
бали/за шкалою ЄКТС/за націон. шкалою

Київ - 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Аграрний  
Кафедра «Механізації сільського господарства»  
Рівень вищої освіти Другий - магістр  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Анатолій Поляков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**ЖБАНЧИКА ДМИТРА ВІКТОРОВИЧА**

1. Тема роботи: «Дослідження точності обробки отворів при відновленні втулок дорнуванням»  
керівник роботи Поляков А.М. канд.техн.наук, доцент  
затверджено наказом СНУ ім. В. Даля від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 2023 р. № \_\_\_\_\_
2. Строк подання здобувачем роботи 27.11.2023р. \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до роботи
  - 1) завдання кафедри;
  - 2) матеріали огляду літературних джерел; нормативно - технічна документація.
4. Зміст основної частини роботи:
  - Залишкова напруга при дорнуванні.
  - Методика проведення експериментальних досліджень.
  - Результати досліджень.
  - Охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу:
  - Актуальність використання дорнування.
  - Процес дорнування.- Схема дорнування.- Різновиди дорнів.
  - Розподіл діаметрів зубів дорна за його довжиною.
  - Схеми дорнування отворів.
  - Пристосування для розтягування циліндричних зразків.
  - Епюри окружних 1, радіальних 2 і осьових 3 залишкових напруг.
  - Результати дослідження залишкової напруги і точності отворів.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 15.09.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи              | Строк виконання кваліфікаційної роботи | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1     | Залишкова напруга при дорнуванні                 | 25.09.2023                             |          |
| 2     | Методика проведення експериментальних досліджень | 05.10.2022                             |          |
| 3     | Результати досліджень                            | 16.10.2023                             |          |
| 4     | Охорона праці                                    | 30.10.2023                             |          |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Дмитро Жбанчик

Керівник \_\_\_\_\_ Анатолій Поляков

## **АНОТАЦІЯ**

Жбанчик Д.В. «Дослідження точності обробки отворів при відновленні втулок дорнуванням»: кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»: 208 «Агроінженерія»/ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Київ, 2023, 74 с.

У кваліфікаційній роботі висвітлені результати аналізу сучасного стану технології відновлення отворів деталей типу втулок методом пластичної деформації – дорнуванням. Установлений вплив залишкових напруг на якість деталей після їх обробки дорнуванням.

Ключові слова: технологія, дорнування, залишкові напруги.

Кваліфікаційна робота: 74 сторінки, 16 таблиць, 20 рисунків, 31 літературних джерел.

## **ABSTRACT**

Zhbanchyk D.V. "Investigation of the accuracy of hole processing during the restoration of mandrel bushings": qualifying work for obtaining the degree of higher education "master": 208 "Agroengineering"/ Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. Kyiv, 2023, 74 p.

The qualification work highlights the results of the analysis of the current state of the technology of restoring the holes of parts such as bushings by the method of plastic deformation - mandrel. The influence of residual stresses on the quality of parts after their mandrel processing is established.

Key words: technology, mandrel, residual stresses.

Qualification work: 74pages, 16 tables, 20 figures, 31 literary sources.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП  | 7  |
| 1 ЗАЛИШКОВА НАПРУГА ПРИ ДОРНУВАННІ                                     | 9  |
| 1.1 Методи підвищення зносостійкості і міцності деталей                | 9  |
| 1.2 Дорнування   | 13 |
| 1.3 Пластичні деформації   | 19 |
| 1.4 Залишкова напруга при навантаженні                                 | 24 |
| 1.4.1 Залишкова напруга  | 24 |
| 1.4.2 Методи визначення залишкової напруги                             | 27 |
| 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ                     | 34 |
| 2.1 Виготовлення зразків, умови експериментів і технологічне оснащення | 34 |
| 2.2 Вимір розмірів зразків   | 44 |
| 2.2.1 Вимір зовнішніх і внутрішніх розмірів поверхонь деталі           | 44 |
| 2.2.2 Вимір залишкової напруги деталі                                  | 45 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ  | 49 |
| 3.1 Визначення залишкової напруги після дорнування                     | 49 |
| 3.2 Визначення залишкової напруги після повторного дорнування          | 52 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ  | 56 |
| 4.1 Вступ  | 56 |
| 4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників                            | 57 |
| 4.3 Мікроклімат  | 59 |
| 4.4 Шкідливі речовини і вентиляція виробничих приміщень                | 60 |
| 4.5 Виробничий шум   | 61 |
| 4.6 Освітлення   | 62 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 4.7 Електробезпека                    | 65 |
| 4.8 Пожежовибухобезпечність           | 68 |
| 4.9 Екологічність                     | 69 |
| 4.10 Безпека в надзвичайних ситуаціях | 70 |
| 4.11 Законодавчі акти                 | 71 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ                     | 72 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ            | 73 |

## ВСТУП

Найважливішим показником, що визначає попит на проєктований об'єкт, являється його якість. Забезпечення необхідної якості стає можливим при задоволенні експлуатаційних вимог, що пред'являються до деталей машин. Працездатність і надійність деталей забезпечуються за допомогою виконання наступних основних вимог : міцність, жорсткість і стійкість до різних дій (зносу, вібраціям, температурам та ін.). Виконання вимог міцності при статичному, циклічному і ударному вантаженнях повинно унеможливити, а також виникнення неприпустимих залишкових деформацій руйнування. Вимоги жорсткості до деталі або контактної поверхні зводяться до обмеження деформацій, що виникають під дією навантажень, порушують працездатність виробу, до недоступності втрати загальної устойчивости для довгих деталей, що піддаються стискуванню, і місцевою - у тонких елементів. Має бути забезпечена зносостійкість деталі, яка суттєво впливає на довговічність роботи механізму. Досить, щоб для кожної деталі виконувалися не усі перелічені вище вимоги, а тільки пов'язані з її експлуатацією. Деталі, які випробовують максимальну напругу на робочій поверхні (вигин, контактна напруга), для збільшення опору втомі піддають поверхневому зміцненню. Існують наступні методи поверхневого зміцнення : механічний, термічний, хіміко-термічний, лазерне загартування, іонна імплантація та ін. Якщо найдетальніше розглянути і вивчити механічний метод поверхневого зміцнення, то можна з'ясувати, що нині відсутні моделі напруги, що виникає в металі після багатократних вантажень.

Розглянемо декілька прикладів поверхневого зміцнення полого товстостінного циліндра механічним методом.

Якщо розглядати процес дорнування, то це виражається в неможливості визначення точної кількості дорнуючих кілець, а так само їх діаметрів

А якщо розглядати процес гідравлічного зміцнення, то неможливо

визначити кількість вантажень тиском, а також величини самого тиску, яким робитиметься зміцнення.

У наслідку відсутності моделей напруги, що виникає в металі після багатократних вантажень неможливо добитися необхідної якості поверхневого шару полого товстостінного циліндра. А відповідно неможливо добитися бажаних механічних властивостей полого товстостінного циліндра.

У зв'язку з актуальністю цієї проблеми в роботі поставлена мета - підвищення ефективності поверхневого зміцнення за рахунок застосування розроблених моделей залишкової напруги при багатократному нагруженні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання:

- 1) провести аналітичний огляд повторних пластичних вантажень;
- 2) встановити вплив параметрів залишкової напруги при дорнованні на якість обробки отворів;
- 3) розробити методику експериментальних досліджень провести аналіз результатів експерименту.



# **1 ЗАЛИШКОВА НАПРУГА ПРИ ДОРНУВАННІ**

## **1.1 Методи підвищення зносостійкості і міцності деталей**

При підвищенні зносостійкості і міцності деталі використовується дія на робочі поверхні деталей за допомогою застосування різних видів обробок [1, 31].

Слюсарно-механічна обробка – це обробка, застосовувана усунення рисок, напрацювання та інших дефектів лежить на поверхні, і навіть отримання заданих чистот поверхонь. Чим чистіше підготовлена робоча поверхня, тим більша зносостійкість деталі. Найчастіше для досягнення цієї мети використовують шабріння, полірування, хонінгування, шліфування [2].

Термічна обробка - це спосіб, вживаний з метою підвищення твердості робочої поверхні деталі. Для зменшень хрупкостей і зняття гартівної напружки роблять відпустку. Поєднання загартування з дією магнітного поля збільшує міцність сталі, оскільки кристали мартенсіту приймають одну орієнтацію в усіх зернах. Поверхнева закалка застосовується для підвищення міцності і зносостійкості деталей, працюючих при ударному навантаженні, основний метал деталі при цьому залишається незагартованим. Загартування робиться газополум'яними пальниками і струмами високої частоти. Поверхнєве загартування в електроліті, яке засноване на нагріві деталі іскровими розрядами через пароводородну оболонку, яка виникає у поверхні деталі (катода), що нагрівається. При цьому закалочні тріщини не утворюється. З метою зменшення величини залишкового аустеніту в легованій загартованій сталі застосовуються обробки холодом, оскільки залишковий аустеніт знижує її твердість і зносостійкість. При цьому стабілізуються розміри деталей, що важливо для деталей прецизійних пар [6].

Хіміко-термічна обробка - це технологічний процес, при якому змінюється структура, хімічний склад і властивості поверхневого шару

металу. Ця обробка включає фосфатування, азотування, анодування, ціанування, сульфидування, борування і цементацію [6].

Метод азотування використовується для збільшення зносостійкості, твердості, корозійної стійкості та жароміцності деталей. Азотування застосовують у камерах, які заповнені газоподібним аміаком. Після електричного розряду аміак розпадається на іони водню та азоту. Далі вони бомбардують поверхню деталі, після чого азотом насичується поверхневий шар. Ці деталі є катодом, а як анод виступають електроди. Цей метод доцільніше застосовувати для обробки шийок валів швидкохідних дизелів [15].

Фосфатування - це насичення робочої поверхні фосфатами заліза і марганцю. Фосфатна плівка утворюється при взаємодії металу з дигідроортофосфатами заліза і марганцю. Вона захищає деталі від окислення при високих температурах, таким чином необхідно фосфатувати робочу поверхню циліндрових втулок дизелів [15].

Анодування використовується для підвищення зносостійкості деталей з алюмінію. Процес є окисненням поверхневих шарів алюмінію атомарним киснем (у сірчаноокислій ванні при напрузі до 120 В)[32].

Процес анодування використовують для обробки струмків алюмінієвих поршнів. Для підвищення антифрикційних властивостей робочі поверхні струмків покривають сумішшю, яка складається з бакелітового лаку, сульфату молібдену або графіту і спирту або бензину [15].

Ціанування є одночасним насиченням поверхні металу азотом і вуглецем. Застосовується ціанування для збільшення поверхневої твердості, втомної міцності і зносостійкості [20].

Сульфидування - це процес, що полягає в насиченні поверхні деталей із сталі і чавуну сіркою з метою попередження задирів і підвищення їх зносостійкості [15].

Борування- це процес насичень поверхонь деталей, що складаються із

сплавів на основах нікелю, кобальту і тугоплавких металів бором з метою підвищення зносостійкості, теплостійкості, твердості і корозійної стійкості [15].

Цементация - це процес, який полягає в насиченні поверхні деталей при температурі 900...950°C вуглецем з подальшим загартуванням для збільшення показників твердості, втомної міцності і зносостійкості [8].

Гальванічна обробка - це процес, при якому пористе хромування робочої поверхні робиться в електролітичній ванні. Спочатку наноситься хромований шар завтовшки близько 0,15...0,20 мм. Пористість поверхні виходить при зміні струму на зворотний впродовж приблизно 15...20 хв. Зворотній струм викликає випадання часток хрому з утворенням найдрібніших пір. Така пористість покращує мащення поверхонь, що труться, і підвищує термін служби деталей [30].

Механічне зміцнення. Для збільшення механічної міцності деталей використовують накатку, ультразвукове або просте віброобкатування, гідроструминну та дробоструминну обробку. Накатки шийок і жолобів здійснюються роликками, які притискають до поверхні деталі. Трироликовий пристрій виключає деформації деталей і розвантажує супорт і ходовий гвинт верстата. Процес відбувається за три оберти при частоті 12...15 хв-1. У цьому процесі в зони контактів подаються суміші масел з гасом або полімерних рідин. Одночасно зі зміцненням поверхні підвищується її чистота [7].

Процес віброобкатування полягає в обкатуванні поверхонь деталей кулькою, яка створює вібрації паралельно осі обертання деталей, здійснюючи близько 2600 подвійних ходів у хвилину при амплітуді 2 мм [7].

Ультразвукове віброобкатування виходить при накладенні коливань ультразвукової частоти на ролик, які направлені перпендикулярно до поверхні належній обробці. Результатом при досить невеликих статичних зусиллях обкатувань є підвищена міра зміцнення. При цьому процесі в зоні контакту утворюється температура близько 100...120°C. Цей спосіб

використовується для підвищення міцності загартованих сталей і чавунів [17].

Принцип дробоструминної обробки полягає в тому, що на поверхню, яка механічно і термічно оброблена з досить високою швидкістю направляють потік чавунного або сталевого дробу розміром 0,5...1,5 мм. Дріб вилітає з енергією стисненого повітря або лопатками колеса [14].

Гідроструминна обробка - це процес, що полягає в обробці деталі струменем води під тиском 0,4...0,6 МПа. Струмінь води з великим натиском дозволяє зміцнити поверхню деталі, що має складну конфігурацію [14].

Електромеханічне зміцнення. Це зміцнення робиться на токарно-гвинторізних верстатах. При обертанні виробу і переміщеннях інструменту з твердосплавною пластинкою в зону контакту проводять електричний струм величиною 350...1300 А і напругою 2.6 В. Замість різця допускається використати згладжуючий ролик [1, 6].

У зоні контакту виділяється велика кількість теплової енергії, яка з високою швидкістю нагріває зону контакту до температури загартування. Із-за радіальних зусиль інструментів поверхня згладжується, а після цього швидко охолоджується завдяки відведенням теплоти в тіло деталі. В результаті з'являється ефект поверхневого загартування на глибину 0,2...0,3 мм з одночасним поверхневим наклепанням, що значно підвищує зносостійкість (до 10 разів) і втомну міцність деталі (до 6 разів)[6].

Електроіскрова обробка. Зміцнення деталей у такий спосіб засновані на ударних впливах спрямованих іскрових розрядів, що викликають вибух робочої поверхні деталі в точках подачі імпульсів. В результаті відбувається перенесення металу та зміцнення поверхні деталі. Важливу роль підвищенні зносостійкості і втомної міцності деталей грають підбір пар тертя та його змащення, і навіть застосування захисних покриттів [6]. Розглянемо найдетальніше процес дорнування.

## 1.2 Дорнування

Одним з основних завдань в машинобудівному виробництві є потреба в підвищенні якості, збільшенні продуктивності, росту довговічності, а також надійності деталей машин і виробів. Процеси поверхневого пластичного деформування (ППД) поширені у промисловості як засоби підвищення втомних міцностей деталей машин та конструкцій. Сутність дорнування ось у чому. Під дією тиску деформуючих інструментів мікроступи (мікронерівності) поверхневого шару деталей пластично деформуються (зминаються), заповнюючи при цьому мікровпадини оброблюваної поверхні. Це сприяє підвищенню твердості поверхневих шарів. Більше того, в приповерхневому шарі з'являються сприятливі стискаючі напруги, що відповідає підвищенню міцності втоми на 30...70 %, зносостійкості - в 1,5...2 рази, а також значно знижується величина шорсткості поверхні оброблюваної деталі [5, 10]. До найпоширеніших способів зміцнення ППД належать такі: обкатка робочих поверхонь кульками або роликами;

- алмазне випрасовування;
- поверхневе дорнування;
- ультразвукове зміцнення.

При експлуатації металевих механізмів, зовнішня поверхня деталей випробовує значні навантаження. Дію різних сил переймає на себе верхній шар, в цей час внутрішнє покриття практично не схильне до негативних впливів. Зовнішній шар є захисним бар'єром від зносу виробу, корозії металевої поверхні. Для поліпшення зносостійкості і надійності деталі застосовують процес дорнування отворів металевих частин [10, 13].

Дорнування - це прогресивний процес обробки отворів заготівель холодною локальною пластичною деформацією, робочим інструментом якої є дорн. Переміщаючись уздовж твірної отвору, забезпечується із-за натягу зміцнення металу, згладжування початкових шорсткостей, зміна форми поперечного перерізу отвору шляхом істотної зміни розмірів, як отвору, так

і зовнішньої поверхні заготівлі. Процеси дорнування складають значну групу сучасних процесів зміцнююче-калібруючою і формотворної обробки металів. Розрізняють поверхневе дорнування і об'ємне дорнування отворів. Поверхневе дорнування дозволяє обробляти отвори з точністю до 6-9 квалітетів і величиною шорсткості -  $Ra = 0,32.0,04$  мкм. При дорнуванні відбувається пластична деформація поверхневого шару, завдяки чому він може замінювати такі процеси, як хонінгування, шліфування, випрасовування, розкочування отворів та ін. В процесах об'ємного дорнування пластична деформація відбувається по усьому поперечному перерізу оброблюваної деталі, і їх найефективніше застосовують замість чорного розточування при обробці отворів трубних заготівель типу гільз і довгих циліндрів. При об'ємному дорнуванні в заготівлях з безшовних труб звичайної точності без попереднього травлення і додаткової механічної обробки за один робочий хід багатозубого дорну можна отримати отвори точністю IT11 і шорсткістю оброблених поверхонь -  $Ra=0,63...0,04$  мкм. Ці процеси гарантують отримання необхідної прямолінійності отворів труб будь-якої довжини, що утворюють. Пружна деформація може поширюватися на увесь об'єм незалежно від виду дорнування. За характером розташування оброблюваної деталі розрізняють вільне дорнування, яке здійснюється без обмеження деформації по зовнішній поверхні деталі (рис.1.1) і дорнування в обоймах (рис. 1.2)[10].

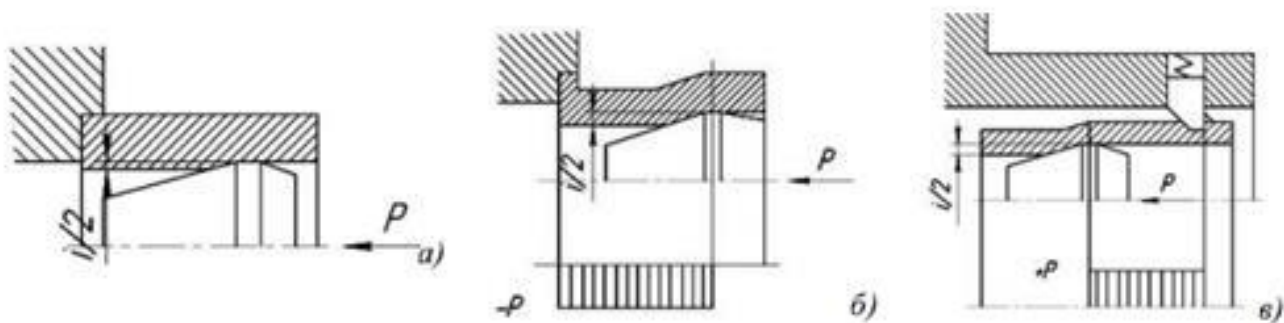


Рисунок 1.1 - Схема вільного дорнування отвору, здійснювана без обмеження деформації по зовнішній поверхні деталі

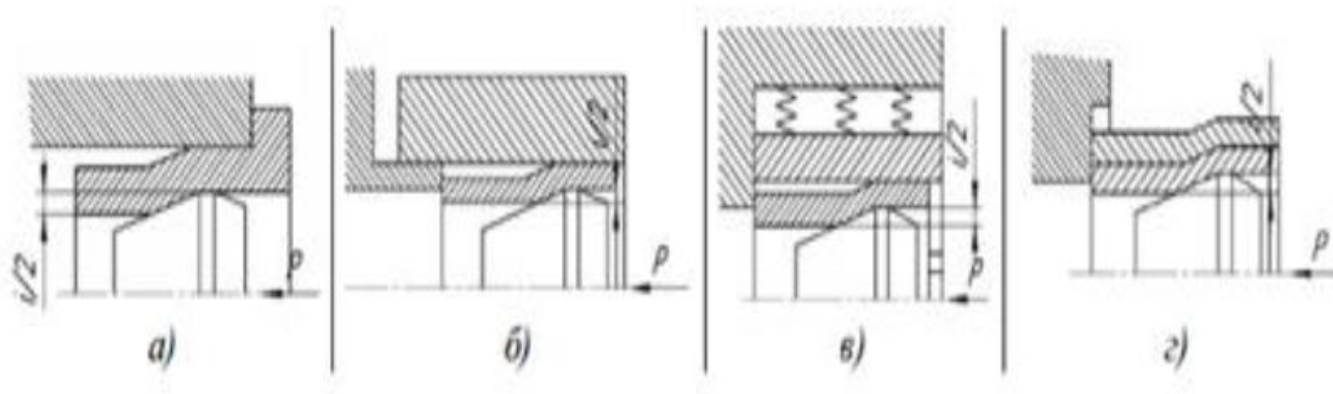


Рисунок 1.2 – Дорнування в обоймах

Дорнування може виконуватися за схемою стискування (рис. 1.1, а, б) або розтягування (рис. 1.1, в) відповідно залежно від закріплення деталі. Поверхнєве дорнування характеризується параметрами: натяг, мм; відносний натяг; сила дорнування або сила тяги і осьова складова сили деформації; швидкість дорнування, м/хв і геометричними характеристиками дорну [20].

При обробці металу застосовують два види дорнування :

- об'ємна обробка металу;
- поверхнєве дорнування.

Об'ємна обробка металу. Цей вид обробки підходить для отворів великої довжини. Це можуть бути довгі ділянки труб та предмети у формі гільзи. Об'ємне дорнування витіснило на другий план менш ефективне чорнове розточування заготівлі. Після пропуску дорну можна побачити, що деталь зберігає колишню прямолінійність, а точність металообробки відповідає показнику 11 одиниць [10].

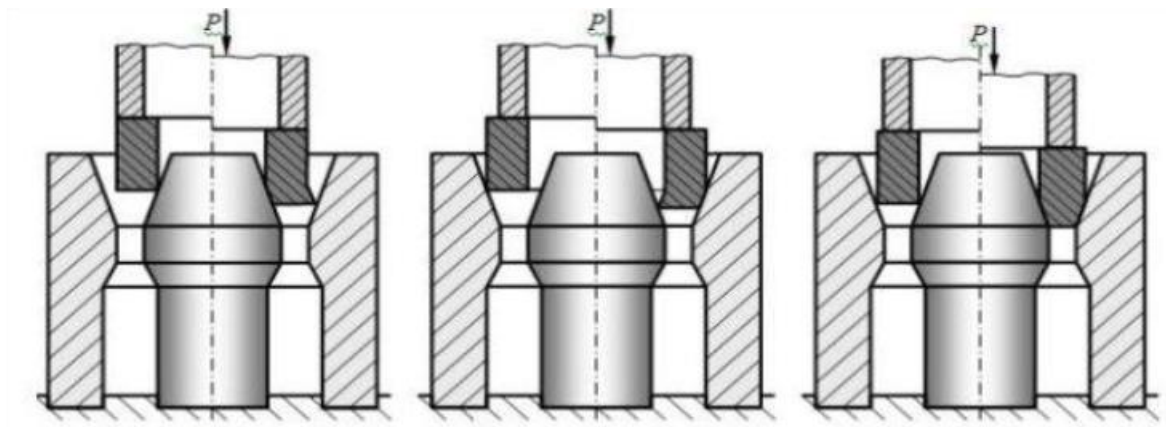


Рисунок 1.3 - Схема дорнування

Поверхнєве дорнування. При такій дії міра шорсткості і точність обробки значно менші, ніж в першому. Поверхнєве дорнування отворів є альтернативою шліфуванню, розгортанню, випрасовуванню. Після проведення дорнування внутрішня поверхня металу покривається міцним шаром [14].

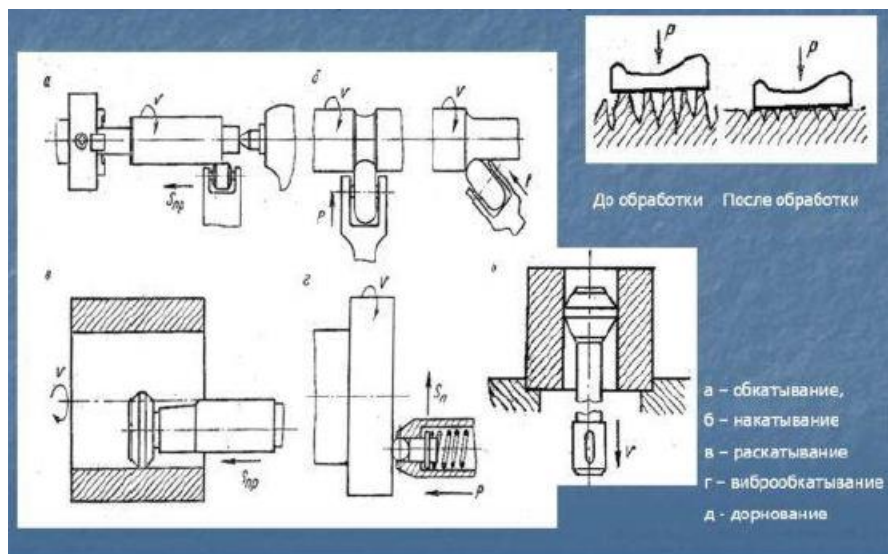


Рисунок 1.4 - Пластична поверхнева деформація

Обидва види дозволяють обробляти внутрішні стінки виробу без видалення стружки.

Залежно від технологічного процесу дорнування підрозділяється на вільне і сковане. Вільна обробка виконується для труб з середньою



товщиною стінок, значення яких не перевищує 200 мм. Переважно це безшовна і електрозварювання труба.

Сковане дорнування застосовують для тонкостінних труб. Після закінчення операції на оброблених виробах відсутнє викривлення осі і наявність неякісно вигладжених ділянок металу. У подовжньому напрямі труба залишається стійкою до навантажень. Процедура дорнування отворів виконується в жорсткому закріпленні. Нерідкі випадки додаткового застосування холодного редукування із звуженням перерізу отвору [18].

#### Параметри дорнування

Процес деформації заготівлі супроводжується наступними показниками:

- звичайним і відносним натягом;
- швидкістю протікання процесу деформації;
- силою, з якою виконується деформація;
- відносною деформацією.

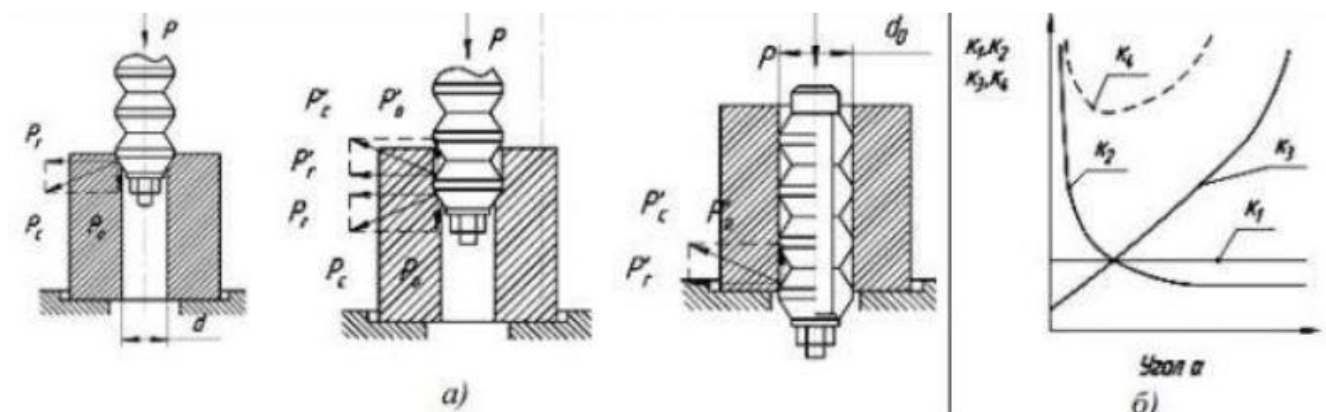


Рисунок 1.5 – Діючі сили під час дорнування

Натяг - основний показник дорнування отвору, що обробляється. Його визначають різницею між діаметром отвору деталі та величиною поперечного перерізу застосовуваного інструменту. Якщо значення параметра надто велике, то подальше оброблення виробу буде недоцільним. Покриття може вийти з недостатнім ступенем шорсткості [18].

При виборі натягу враховують міцність і пластичність робочої заготівлі.

Значення відносного натягу дорнування набувають методом ділення розміру отвору на звичайний натяг.

Щоб результат обробки виробу вийшов нормальним, допуск на розмір отвору деталі порівнюють з величиною натягу. Половина від цієї величини повинна перевищувати значення допуску на розмір отвору [18].

Силою дорнування є те зусилля, яке створює дорн при дії на стінки труби або гільзи в напрямках як радіальному, так і осьовому. При тиску дорну в радіальному напрямі на отвір, площа поперечного перерізу труби збільшуватиметься. Якщо інструмент робить зусилля у напрямі осі - віддаляються дрібні шорсткості і нерівності на внутрішній стінці труби [16]. Відносна деформація показує зміну за результатами дорнування зовнішнього діаметру оброблюваної заготівлі. Цей показник вимірюється у відсотках [21].

Розрізняють наступні схеми металообробки заготівель дорнуванням :

- за допомогою розтягування;
- спосіб стискування;
- спільне застосування розтягування і стискання зразка.

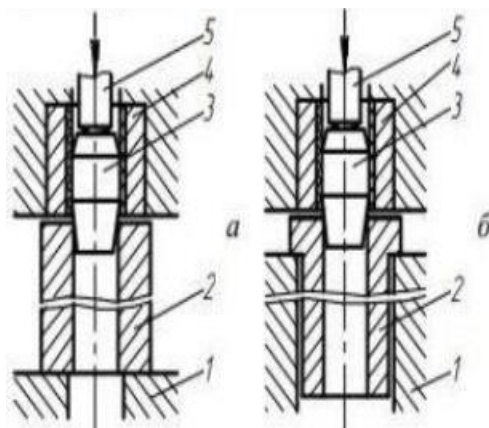


Рисунок 1.6 - Схеми дорнування отворів

Важливо підійти правильно до вибору схеми обробки заготівлі. Схема визначить значення осьової напруги виробу [10].



Рисунок 1.7 - Фото отвору після дорнування

### **1.3 Пластичні деформації**

Деформація (від англійського deformation) - ця зміна форми і розмірів тіла (чи частини тіла) під дією зовнішніх сил, при зміні температури, вологості, фазових перетвореннях і інших діях, що викликають зміну положення часток тіла. При збільшенні напруги деформація деталі може закінчитися її руйнуванням. Здатність матеріалів чинити опір деформаціям і руйнуванням під впливом різних видів навантажень характеризується механічними властивостями цих матеріалів [7].

На появу різного виду деформації робить сильний вплив характер напруги, прикладеної до тіла. Одні процеси деформацій пов'язані з переважаючою дією дотичної складової напруги, а інші - з діями його нормальної складової [7].

Види деформацій розділяються за характером прикладеного навантаження до тіла

- деформації розтягувань;
- деформації сжатий;
- деформації зрушень (чи зрізів);
- деформації при крученні;
- деформації при вигині [23, 26].

До простих видів деформацій відносяться: деформації розтягування, деформації стискування, деформації зрушення. Також виділяють наступні види деформацій : деформації усебічного стискування, кручень, вигинів, які представляють собою різні варіанти простейших видів деформацій (сдвиги, сжатия, растяжения), так як сили приложенные к телам, подвергаемым деформациям, обычно не перпендикулярны их поверхностям, а направлены под углом, что вызывает касательные и нормальные напряжения. Изучением различных видов деформаций занимаются такие науки, как:

- фізика твердого тіла;
- матеріалознавство;
- кристалографія.

У твердих тілах, в металах, виділяють два основні види деформацій - пружну і пластичну деформацію, фізична суть яких різні [1].

Деформація металу. Пружна і пластична деформація

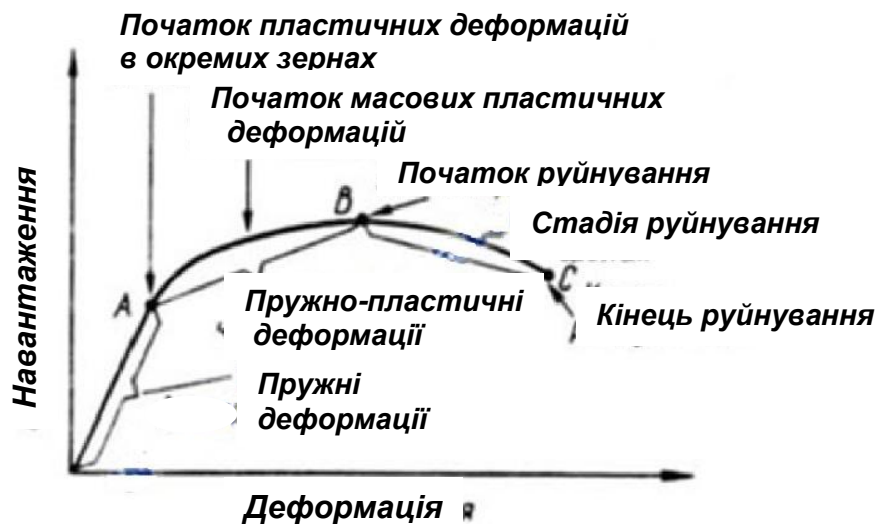


Рисунок 1.8 – Схема процесу деформування металу

Вплив пружної деформації на геометричну форму, структуру та властивості тіла повністю усувається після припинення дії зовнішніх сил, що викликали її, тому що при дії прикладених сил відбуваються незначні зміщення атомів або повороти блоків кристалів. Опір металу деформаціям та руйнуванню називається міцністю. Міцність є основною вимогою, яка пред'являється до більшості виробів [22]. Модуль пружності - це чисельна характеристика опорів матеріалів пружним деформаціям. Після досягнення напруженої меж пружності деформації стають безповоротними (пластичними) [22]. Пластична деформація, яка залишається після сняття навантажень, пов'язана зі зміною положення атомів усередині кристалічних решіток на відносно великі відстані, і вона викликає залишкові зміни геометричної форми, структури і властивостей без макроскопічних порушень сплошности металу. Пластична деформація також має назву залишковою або безповоротною. Пластична деформація в кристалах може здійснюватися ковзанням і двійниками [3].

Пластична деформація металу. Для металів характерний більший опір розтягуванню або стисканню, ніж зсуву. Через це пластична деформація металу найчастіше являє собою процес ковзання однієї частини кристала щодо іншої по кристалографічній площині або площин ковзання з більш щільною

упаковкою атомів, де найменший опір зсуву. Ковзання відбувається при переміщенні дислокацій в кристалі. В результаті після ковзання не змінюється кристалічна будова частин, що беруть участь у зрушенні [11]. Іншим механізмом пластичної деформації металу є двійникування. При деформаціях двійникуванням напруги зрушень вище, ніж при ковзаннях. Деформації двійникуванням найчастіше спостерігаються при невисоких температурах і великих швидкостях додатків навантажень [2].

Пластичність – це властивість твердих тіл під дією зовнішніх сил змінювати, не руйнуючись, свою форму та розміри та зберігати залишкові (пластичні) деформації після усунення цих сил. Відсутність чи мале значення пластичності називається крихкістю. Пластичність металів широко використовується у техніці [3]. В основі пластичних деформацій металів лежить зміна положення дислокацій при різних температурах та швидкостях деформувань. Сутність пластичного деформування полягає у зрушенні, в результаті якого одна частина кристала змінює своє положення щодо іншої частини. У реальних кристалічних ґратах зсув відбувається при напругах величиною всього  $10^{-4}$  Г, що приблизно в 1000 разів має менше значення теоретично необхідних. Це тим, що відбувається з допомогою ковзання дислокацій і у ньому бере участь незначна частка атомів, розташованих у площині зсуву (рис.1. 9) [2].

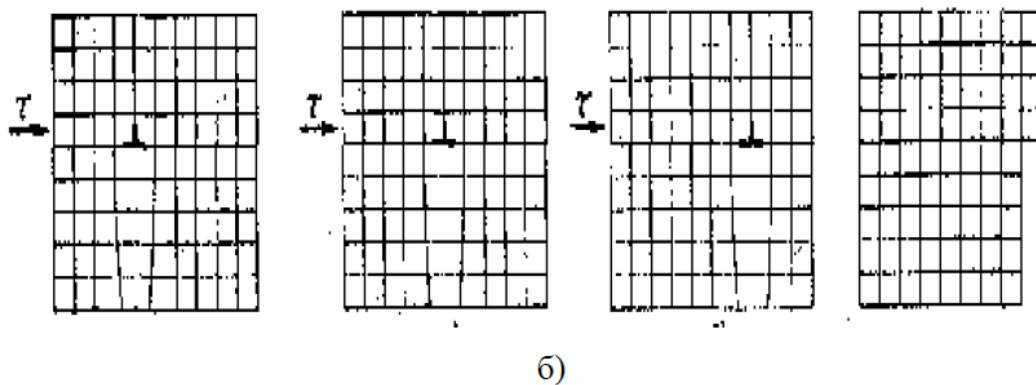
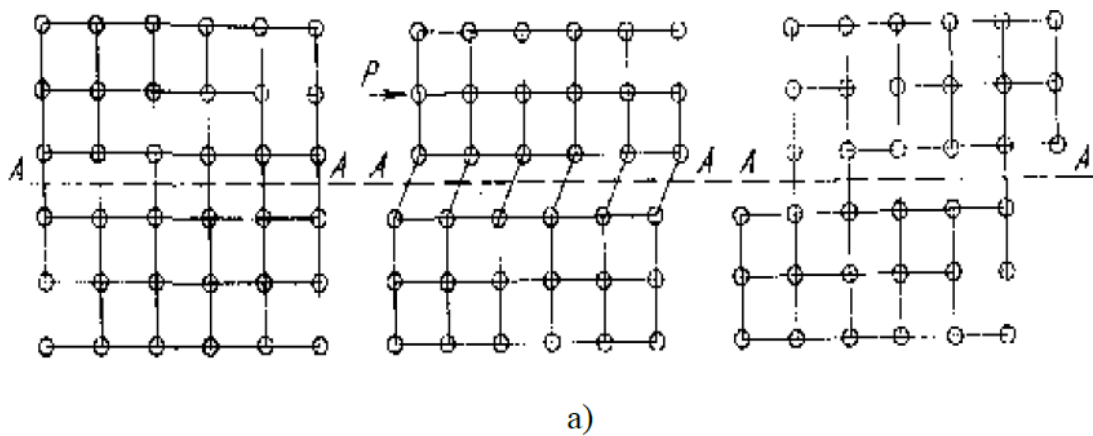


Рисунок 1.9 – Схема деформації:

а) схема пластичного зрушення в ідеальній кристалічній решітці; б)  
дислокаційна схема пластичного зрушення

Є два види зрушення : двійникування і ковзання. У обох видах пластична деформація зв'язується з певними напрямками і площинами в кристалічній решітці [7].

Фактично пластична деформація відбувається із-за переміщення дислокацій. Вивчена схема процесу пластичної деформації дозволяє сформулювати, що процес зрушення в кристалі відбуватиметься легше, при більшій кількості дислокацій в металі. Великі величини деформацій можливі тільки через те, що рух первинних дислокацій сприяє появі великого числа нових дислокацій в процесі пластичної деформації (рис.1.10)[2].

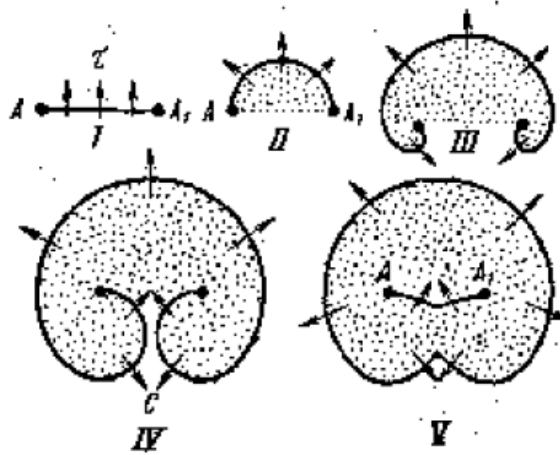


Рисунок 1.10 - Механізм утворення дислокації при пластичній де-  
формації

Здатність реального металу пластично деформуватися являється його одним з найважливішої і кориснішої властивості. Цю здатність використовують при різних технологічних процесах:

- при протяганні дротів;
- операціях гнучкі;
- висадки;
- витяги;
- штампувань і так далі

Велику значущість вона має для забезпечення заданої конструктив- ний міцності і надійності металевих каркасів, деталей машин і дру- гих виробів з металу. Виходячи з досвіду ясно, що якщо метал знаходиться в крихкому стані, тобто якщо здатність до пластичного деформування низька, то у виробках він схильний до крихких руйнувань, які частіше відбуваються при знижених навантаженнях на деталі [2].

## 1.4 Залишкова напруга при навантаженні

### 1.4.1 Залишкова напруга

Залишковою напругою називається напруга, яка урівноважена і існує



усередині твердого тіла після усунення причин, що викликали їх появу [1].

Завжди залишкова напруга є внутрішньою напругою, оскільки вони самоурівноважуються усередині твердого тіла або жорсткого агрегату (напружений залізобетон, замкнута зварна конструкція)[1].

Поява залишкової напруги однозначно пов'язана з неоднорідними об'ємними або лінійними деформаціями в сусідніх об'ємах матеріалу. У загальному вигляді деформація є процесом, в результаті якого змінюється розмір між вибраними точками тіла [2].

Порушення первинного розташування точок тіла один відносно одного, розмірів і геометричної форми можуть бути безповоротними і зворотними. У разі зворотної зміни вони супроводжуються тимчасовою напругою, а у разі безповоротного - залишковими [2].

Залишкову напругу розділяють за величиною силового поля. Така класифікація залишкової напруги уперше була запропонована Н. Н. Давиденковим [11] і представлена у виді:

- напруги I роду або напруги, що врівноважуються в заданих межах областей, розміри яких такого ж порядку, як і розміри тіла. Це викликано неоднорідностями силових полів, температурних чи матеріальних полів усередині тіл (залежно від своїх природ) і характеризуються при їх виявленні за способом розрізання – деформацією (коробленням) відрізаних елементів, за рентгенографічним способом – зміною параметрів решіток; напруга II роду (кристалітна) урівноважується в об'ємах одного порядку з розмірами зерен і виражається в розмитті ліній на рентгенограмах.
- напруга III роду (елементарними) урівноважується в об'ємах одного порядку з елементарним кристалічним осередком і виражається в послабленні інтенсивності ліній вищих порядків на рентгенограмах і в посиленні тільки дифузійного фону.

У більшості кількості випадків виникнення залишкових напружень обумовлюються неоднорідністю пластичних деформацій деталей із-за безповоротних об'ємних змін в матеріалах [4].

Причини, які викликають таку неоднорідність, мають різний характер:

- неоднорідність пластичної деформації по перерізах при холодній і гарячій деформації;
- неравномерность распределения по объемам изделий температур при нагревах и охлаждениях;
- нерівномірність процесів фазових перетворень по перерізах виробів при нагрівах і охолодженнях [2].

Якби відповідні деформації (пластична і теплова усадки при кристалізаціях рідких сплавів і зміни питомих об'ємів фаз при перетвореннях) розподілялися однорідно, тобто однаково в усіх точках тіла, то залишкова напруга була б відсутня [8].

Поява залишкової напруги після пластичної деформації.

У основах визначень залишкової напруги після пластичного деформування лежить теорема о разгрузке, впервые предложенная Г. Генки (1924 г.) [6–8]. Применение теоремы для упругопластического изгиба или кручения стержня описано в работе И. А. Биргера [4], а также в работах Н. Н. Давиденкова.

Якщо розподіли напруги в пружнопластичних тілах і в пружних однакові (у статично визначних системах), то залишкова напруга після пластичної деформації не з'являється [19].

Поява залишкової напруги після неоднорідної пластичної деформації можлива в різних технологічних процесах (ковка, прокатка, штампування, механічна обробка, волочіння). Поверхнева наклеп є одним із найпоширеніших способів навмисного створення сприятливих розподілів залишкових напруг [14]. У разі нерівномірні за перерізами пластичні деформації є причинами виникнення залишкових напруг. Поверхневий

пластично деформований шар прагне зберегти залишкове збільшення розмірів. Цьому перешкоджають шари, які деформовані. Таким чином, зовнішні шари стискаються, а внутрішні шари розтягуються.[27, 29].

Оскільки зовнішній стислий шар частіше має невелику товщину, в нім напруга стискування сильно перевищує ті, що розтягують у внутрішніх шарах. Характерною ознакою для епюри залишкової напруги після утворення поверхневого наклепання являються значні градієнти напруги. Це дає можливість отримувати залишкову напругу, в деяких випадках плинність, що сильно перевищує межу, який визначений для початкового матеріалу при одновісному розтягуванні [28].

#### 1.4.2 Методи визначення залишкової напруги

В основному для визначення величини залишкових напруг застосовують рентгенівські та механічні методи. Перспективними методами, використовуваними визначення величини залишкових напруг у промисловому застосуванні, є електрофізичні методи. При використанні електрофізичних методів величина залишкової напруги визначається за змінами електромагнітних властивостей поверхневого шару. Для оптично-активних прозорих матеріалів або покриттів застосовуються поляризаційно-оптичні методи фотопластичності та фотопружності[9].

Механічні методи, використовувані для визначення величини остаточної напруги, є найпоширенішими не лише із-за простоти, але і за те, що в них використовуються такі ж уявлення і теорії про деформації і напругу твердого тіла, як і при розрахунках на жорсткість, міцність і стійкість деталей. Це істотно полегшує застосування на практиці результатів отриманих при дослідженні деталей, виготовлених з різних матеріалів (кераміки, металів і т. д.)[9].

Механічні методи ґрунтуються на припущенні, що розрізання або видалення частин поверхні деталі з залишковими напругами можна порівняти з додатком

напруг, зворотно спрямованих щодо залишкових, до частини деталі, що залишилася, на отриманих поверхнях. Дана зворотна напруга викликає зусилля або деформацію деталі в пристроях, що перешкоджають появі деформацій. Вимірювання деформацій або сил реакцій дозволяють обчислити залишкові напруги [11].

Відмінності механічних методів, використовуваних при визначенні залишкової напруги, полягають:

- у геометричній формі деталей;
- у припущеннях, виявлених відносно закону розподілу залишкової напруги, який витікають з теоретичних аналізів деформацій при виготовленні (наприклад, умова постійності напружень в точках, що лежать на однаковій відстані від поверхні припущення про одновісний напружений стан у вузьких призматичних зразках і так далі);
- у способах вимірів деформацій зразків або реакцій опор, здатних компенсувати ці деформації [12].

У зв'язку зі збільшенням геометричних розмірів і форм деталей, в яких оцінюється залишкова напруга, збільшується число методик, в яких застосовуються різні метрологічні схеми вимірів деформацій деталей, а також формули розрахунку величини залишкової напруги.

Такі нові способи базуються на таких же положеннях механіки, таким чином скорочено і зручно у використанні на практиці механічні методи визначення величини залишкової напруги представляються у вигляді робочих методів.

Велика частина уваги приділена дослідженням залишкової напруги в поверхневому і приповерхневому шарах, фізико-механічні стани яких досить сильно впливають на експлуатаційні характеристики деталей [4].

Рентгенівські методи. Наявність залишкової напруги в металах, які є полікристалічними тілами, призводить до появи різних інтерференційних

ефектів рентгенівських променів, що відбиваються від поверхонь деталей залежно від розмірів зони урівноваження цієї напруги. Із-за цього запропоновано класифікацію залишкової напруги [8].

Напругою першого роду (макронапругами) називається напруга, яка має постійний напрямок на всій ділянці поверхні зразка, який вивчається, внаслідок чого вони змінюють на ділянці, що вивчається, міжatomні відстані, це викликає відхилення по куту променів, що відбиваються від поверхні деталі (від кристалографічних площин, розташованих у поверхневому шарі). В результаті з'являється відхилення ліній на дифрактограм або рентгенограмах, за значенням якого обчислює залишкову напругу першого роду. При обчисленнях використовуються такі ж уявлення про деформації та напругу твердого тіла, як і при механічних методах [7].

Між рентгенівськими і механічними методами визначення величини залишкової напруги першого роду існують відмінності:

1) при цьому куті  $\Psi$  між напрямом рентгенівських променів і нормаллю до поверхні відображення походить тільки від кристалографічних площин, що мають кут Бреггів з напрямом променів, що падають.

$$\nu = \arcsin \left( n \cdot \frac{\lambda}{2d} \right),$$

де  $d$  - відстань між відзеркалювальними кристалографічними поверхнями;

$\lambda$  - довжина хвилі рентгенівських променів;

$n$  - порядковий номер інтерференційної лінії на рентгенограмі або дифрактограмі.

Таким чином можна зробити висновок, що фактично у відображеннях беруть участь тільки кристали, що знаходяться в поверхневому шарі, з певним напрямом [4].

2) промені проникають в деталь з металу на глибину до 50 мкм, таким чином що на дифрактограмах або рентгенограмах відбивається приведенне до середнього за яким-небудь законом розподілу залишкової

напруги. Внаслідок чого при значних градієнтах залишкової напруги з'являються значна напруга першого роду, нормально спрямовані до вільної поверхні деталі. Така напруга для абсолютно тонкого шару дорівнює нулю [4].

Вимагають уваги зміни товщин шарів, які беруть участь в утворенні інтерференційних картин, від довжин хвиль випромінювань (визначаються матеріалами катодів рентгенівських трубок) та кутів падіння та відбитків променів. Через викладені особливості між напругами першого роду, визначеними при різних параметрах рентгеноструктурних аналізів (довжини хвиль, кути опромінення, параметри і типи решіток, порядкові номери досліджуваних інтерференційних ліній і т. д.), а також між напругами, певними механічними методами, мають місце кількісні розбіжності. Що свідчить виняткову важливість обліків методик визначення залишкових напруг при зіставленні результатів досліджень [4].

Напруги другого роду врівноважуються обсягами окремих кристалів чи блоків. Через це неможливо визначити механічними методами, навіть якщо вони орієнтовані щодо напрямку пластичних деформацій, що викликали їх при виготовленні деталі. Такі напруги обчислюють збільшення ширини інтерференційних ліній на рентгенограмі і дифрактограмі, розділяючи їх від ефекту, при якому подрібнюються блоки [24].

Напруги третього роду врівноважуються обсягами, які охоплюють досить невеликі групи атомів. Вони зумовлюються дислокаціями у зв'язку зі зміщеннями атомів із правильних положень вузлів кристалічних ґрат; наявністю впроваджених атомів, залежно від розмірів яких можуть виникнути стискаючі або розтягувальні напруги в малих областях навколо цих атомів, вакансіями, тобто відсутністю атомів у вузлах решітки, що є центрами стиснення, і т. д. Такі зміщення атомів з ідеальних положень призводять до зниження інтенсивності інтерференційних ліній і зростання дифузійного фону, як і, як і теплові коливання атомів («динамічні» спотворення). Різного

роду залежності статичного та динамічного усунення від температур дозволяють розділяти їх способами рентгенозйомки при двох різних температурах [24].

Викладена класифікація залишкових напруг ще встановлено остаточно. Визначення мікронапруг (напруг другого і третього роду) є сильною перевагою рентгенівського методу. Істотна перевага рентгенівських методів полягає у можливості визначити залишкові напруги в поверхневому шарі, що має невелику товщину, без руйнування деталі. Але для побудов епюр залишкових напруг потрібно послідовно нацьковувати метал з поверхонь на ділянках, які опромінюються. При аналізах результатів, отриманих під час використання рентгенівського методу, необхідно враховувати подану залежність результатів від застосовуваних методик [7, 24].

Методи оцінок залишкової напруги в залежності від змін електромагнітних властивостей поверхневого шару. Точність таких методів низька, тому що електромагнітні властивості залежать не тільки від залишкових напруг, а самі епюри залишкових напруг можуть змінюватися за різними законами в межах досліджуваного шару [24].

Простота використання та відносно висока продуктивність цих методів, можливість визначення залишкових напруг у поверхневому шарі малої товщини без руйнувань деталі створюють зручності для їх масового застосування в умовах заводу. Однак, для побудови епюри напруги по всій товщині необхідно послідовно натравлювати шари металу. Метод не дозволяє визначити окремі складові залишкових напруг, так що при проведенні дослідницьких робіт його необхідно поєднувати з механічними або рентгенівськими методами [4].

Поляризаційно-оптичні методи.

Промисловість виготовляє поляризаційно-оптичну апаратуру, яка дозволяє вивчити напруги у виробах або їх покриттях, що складаються з прозорого або напівпрозорого оптично активного матеріалу (епоксидні смоли,

полікарбонати, бакеліт, скла, плексиглас, целулоїди, мм). д.). У таких матеріалах швидкість поляризованого світла залежить від орієнтації та величини головних напруг, що дозволяє за інтерференційною картиною знайти напруження[8].

У деталі з непрозорого матеріалу дослідження процесу утворення залишкової напруги допускається замінювати вивченням моделей з оптично активних матеріалів, якщо будуть забезпечені геометричні, теплові і механічні подібності [8].

За допомогою виміру залишкової напруги в моделях з прозорого матеріалу, склеєних з елементів, можливе моделювання структурної напруги в деталях, що мають складну форму [8].

Важливою гідністю поляризаційно-оптичних методів є можливість вивчення на прозорих моделях взаємодії залишкової напруги з напругами від експлуатаційних навантажень [8].

Найпростіше використовуючи поляризаційно-оптичні методи вивчати тіло плоскої форми, коли внутрішня напруга не змінюється по товщині. Але представляється можливим також вивчити об'ємні розподіли напруги, застосовуючи метод «зупинки напруги» в деталі і розрізаючи її в трьох різних напрямках на тонкі шари. До недоліків цього методу відноситься складність, висока ціна устаткування і необхідність окремого приміщення для нього [24].

У зв'язку з актуальністю цієї проблеми в роботі поставлена мета - забезпечення якості поверхневого шару обробленого циліндра шляхом розподілу припуску по дорнующих кільцях.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити завдання:

- 1) відкоригувати моделі залишкової напруги з урахуванням повторних пластичних вантажень;
- 2) оцінити вплив процесу дорнування на точність оброблених деталей;
- 3) зробити чисельні експерименти;



- 4) розробити методику визначення необхідної кількості дорнуючих кілець і їх діаметрів для отримання потрібного розподілу залишкової напруги.

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Виготовлення зразків, умови експериментів і технологічне оснащення

Експерименти проводили на зразках типу порожнистих циліндрів, в якості матеріалу була вибрана сталь 20 ГОСТ 1050-88.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 20 в % по ГОСТ 1050-88

| C    | Si   | Mn  | Ni      | S       | P       | Cr   | Cu      | As      |
|------|------|-----|---------|---------|---------|------|---------|---------|
| 0.19 | 0.24 | 0.5 | до 0.25 | до 0.04 | до 0.04 | 0.12 | до 0.25 | до 0.08 |

Таблиця 2.2 - Механічні характеристики сталі 20

| Дані         | Температура<br>випробування,<br>З | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\sigma_y$<br>МПа | $\delta_5$ , % | НВ<br>МПа |
|--------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|-----------|
| ГОСТ 1050-88 | 20                                | 280                  | 430               | 34             | 163       |

Діаметр отворів зразків складав  $d = 5$  мм, зовнішні діаметри зразків  $D$  складали 15 мм, що відповідає мірам толстостенности  $D/d=3$ . Довжина зразків  $L$  була прийнята рівною 50 мм.

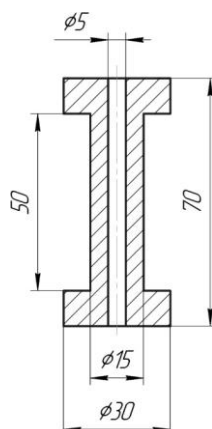


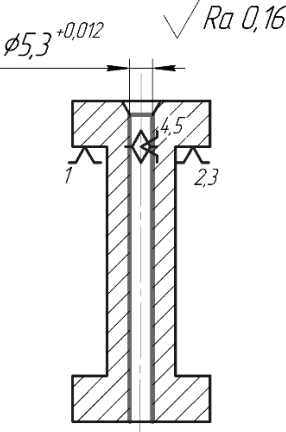
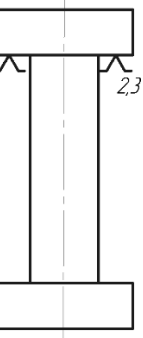
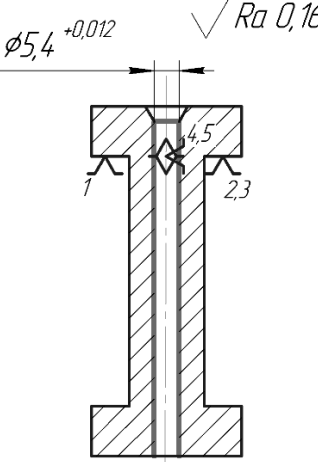
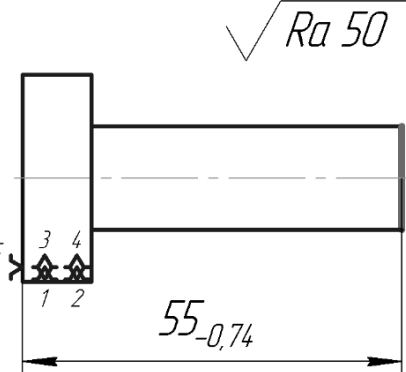
Рисунок 2.1 - Експериментальний зразок

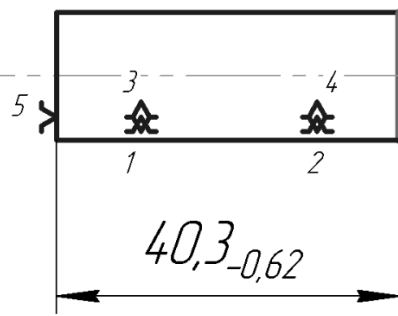
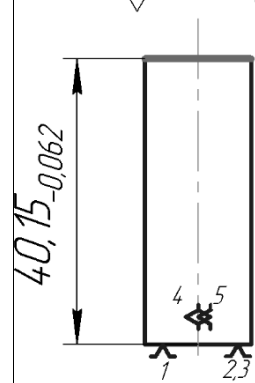
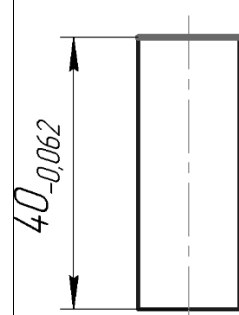
Технологічний процес виготовлення експериментальних зразків представлений в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Технологічний процес виготовлення експериментальних зразків

| Номер    |          | Найменування операції і зміст переходів             | Операційний ескіз |
|----------|----------|---|-------------------|
| операції | переходу |   |                   |
| 005      |          | <u>Токарна</u>                                      |                   |
|          | A        | Встановити заготовлю у трикулачковий патрон.        |                   |
|          | 1        | Підрізувати торець витримуючи розмір 2-0,25         |                   |
|          | 2        | Свердлити центрове отвір витримуючи вказані розміри |                   |

|        |   |  |
|--------|---|--|
| 3      | <p>Притиснути заготовлю задньою бабкою.</p> <p>Гострити поверхню, витримуючи розміри 75-0,74 і 28-0,52</p>  |  |
| 4      | <p>Гострити поверхню, витримуючи розміри 50-0,74 і <math>\phi 15-0,43</math></p>                            |  |
| 5<br>6 | <p>Свердли</p> <p>Розсвердли</p> <p>ти отвір.</p> <p><math>\phi 5^{+0,05}</math>, на довжину 75 - 0,74.</p> |  |
| 7      | <p>Відрізувати заготовлю в розмір 70-0,74.</p>  |  |

|     |            |   |  |
|-----|------------|---|--|
| 010 | 1          | Дорнувати отвір<br>витримуючи діаметр<br>$\varnothing 5,3^{+0,012}$   |    |
| 015 | 1          | Розтягнути зразки з<br>деформацією 0,5%<br>1% і 1,5%.   |     |
| 016 | 1          | Повторно дорнувати<br>отвори витримуючи<br>діаметр $\varnothing 5,4^{+0,012}$   |  |
| 020 | A<br><br>1 | <u>Електроерозійний</u><br><u>верстат з ЧПУ</u><br>Встановити заготівлю<br>в призму<br>Відрізати заготівлю в<br>розмір $55_{-0,74}$ . |  |

|     |   |   |  |
|-----|---|---|--|
|     | Б | Переустановити заготівлю.                                   | ✓ $Ra\ 50$   |
|     | 2 | Відрізати заготівлю в розмір 40,3-0,62.                     |    |
| 025 | А | Встановити заготівлю на магнітному столі, згідно з ескізом. | ✓ $Ra\ 0,32$   |
|     | 1 | Шліфувати торець в розмір 40,15-0,062.                      |   |
|     | Б | Переустановити заготівлю.                                   | ✓ $Ra\ 0,32$   |
|     | 2 | Шліфувати торець в розмір 40-0,062.                         |  |

Зразки виготовляли на токарно-гвинторізному верстаті 16К20. Свердління і розсвердлювання отворів в зразках проводили стандартними спіральними свердлами з циліндричним хвостовиком середньої серії з шліфованим профілем. Діаметр свердла  $\varnothing 5$  мм, матеріал різальної частини Р6М5К5.

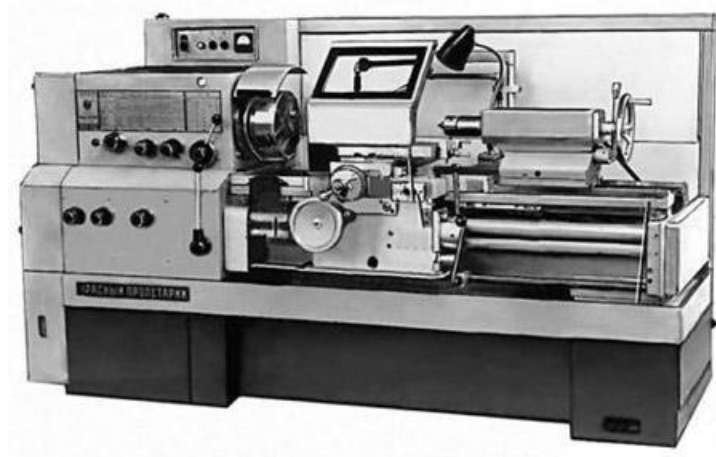


Рисунок 2.2 - Токарно-гвинторізний верстат 16К20

Дорнування отворів діаметром 5 мм виконували однозубим дорнами з твердого сплаву ВК8. Для забезпечення високої точності і якості поверхневого шару отворів, дорнування робили за два цикли. В якості мастильних матеріалів при дорнуванні отворів використали рідину МР- 7. Швидкість дорнування складала 0,5 м/хв., дорнування виконували за схемою розтягування.

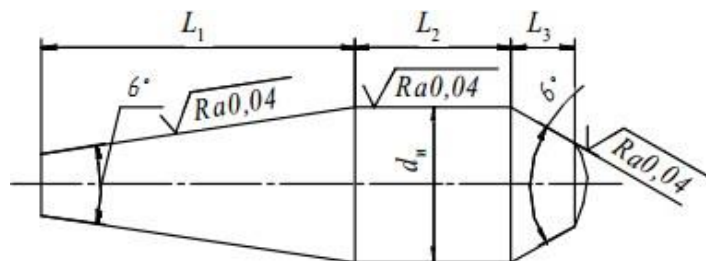


Рисунок 2.3 - Твердосплавний дорн для обробки глибоких отворів малого діаметру

Таблиця 2.4 - Маршрут обробки отворів з накладенням розтягуючої напруги

| Метод обробки отвору  | Діаметр обробленого отвори |
|---|----------------------------|
| Після свердління  | 5,117                      |
| Перший цикл дорнування  | 5,304                      |
| Другий цикл дорнування  | 5,378                      |
| Розтягнути зразки з пластичною деформацією рівної 0,5%, 1% і 1,5% |                            |
| Повторне дорнування   | 5,398                      |

Тверді сплави характеризуються високими значеннями фізико- механічних показників, таких як теплопровідність, твердість, модуль пружності, ударна міцність, стійкість до вібрації і так далі

Тверді сплави значно міцніші і менш крихкі, ніж традиційні конструкційні кераміки або кермети, що зумовлює можливість їх роботи з значно більшими навантаженнями, а також забезпечує їхню кращу технологічність і експлуатаційну стійкість. Масляна СОЖ МР-7 - це суміш мінеральних масел різної в'язкості з протизадирними, антифрикційними та антикорозійними присадками [12]. Застосовується при протягуванні вуглецевих, легованих, нержавіючих та жароміцних сталей на операціях точення, фрезерування, свердління, нарізування різьблення, а також на верстатах-автоматах.

Щоб зняти залишкову напругу в зразках після дорнування застосовувалося пластичне розтягування. Зразки були піддані розтягуванню на 0,5%, 1% і 1,5%. Розтягування зразків виконували за допомогою спеціального ручного гвинтового пристосування. Для того, щоб прибрати ручну працю і контролювати зусилля розтягування було спроектовано пристосування з гідроциліндром для розтягування циліндричних зразків з буртиками представлене на рис. 2.4. Пристосування працює таким чином: за рахунок подання рідини в поршневу порожнину гідроциліндра і починається рух штока гідроциліндра.



Шток гідроциліндра 1 передає зусилля верхній кришці 4. Верхня кришка 4

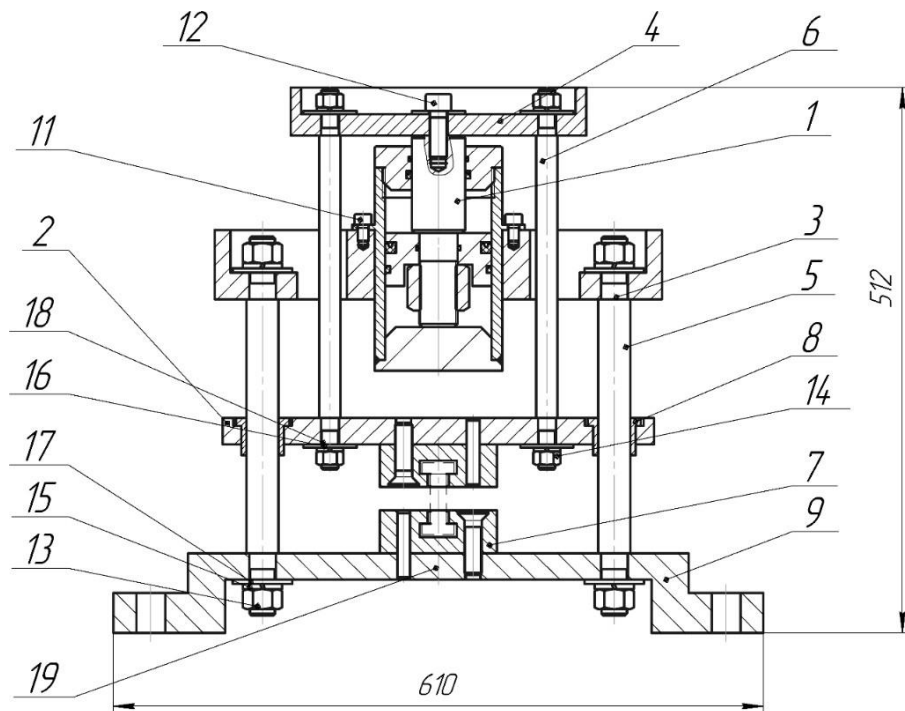


Рисунок 2.4 - Пристосування для розтягування циліндричних зразків з буртиками

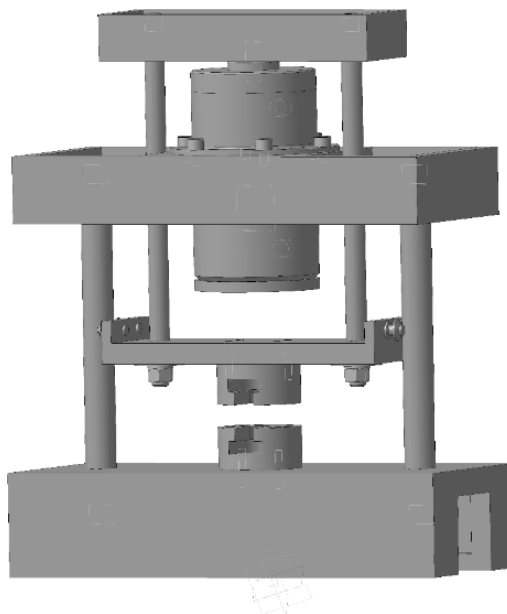


Рисунок 2.5 - 3D модель пристосування для розтягування циліндричних зразків з буртиками

Верхня кришка 4 з'єднана з малими направляючими 6 різьбовим з'єднанням. Верхня кришка 4 передає зусилля на нижню кришку 2 і далі на верхню губку 7. Зразок з буртиками розташований між верхньою і нижньою губками 7, оскільки нижня губка 7 знаходиться в стаціонарному положенні, а на верхній губці 7 створюється зусилля гідроциліндра 1 відбувається розтягування зразка.

Для розрахунку необхідного зусилля розтягування скористаємося емпіричним рівнянням для розрахунку зусиль (кН) розтягування товстостінних циліндрах із конструкційних вуглецевих сталей.

$$\sigma_{\text{Экс}}^{2\%} = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

де  $A$  - площа перерізу зразка, мм<sup>2</sup>;

$F$  - зусилля, що створюється при розтягуванні, Н;

$\sigma_{\text{екс},2\%} = 320$  МПа напруга, Мпа

$F = 320 \times 127 = 50240$  Н.

Визначимо діаметр гідроциліндра по формулі:

$$A = \frac{F}{p}$$

$$A = \pi R_{\Gamma}^2 - \pi r_{\Gamma}^2 \Rightarrow \pi R_{\Gamma}^2 - \pi \left(\frac{R}{2}\right)_{\Gamma}^2 = \pi \left(R_{\Gamma}^2 - \frac{R_{\Gamma}^2}{4}\right) = \frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2,$$

де  $p$  - тиск гідроциліндра,  $p=10$  МПа,

$$\frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2 = \frac{F}{p}$$

$$\frac{3\pi}{4} R_{\Gamma}^2 = \frac{50240 \text{ МПа} \cdot \text{мм}^2}{10 \text{ МПа}} \Rightarrow R_{\Gamma} = 41 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр гідроциліндра  $D = 100$  мм.

Після дорнування зразки піддавали тонкому шліфуванню, на

кругло - шліфувальному верстаті моделі ЗБ161.

Відповідно до методу Закса з внутрішньої поверхні зразків на електроерозійному дріт'яно-вирізному верстаті з ЧПУ моделі DK7725 (КНР) послідовно видаляли завтовшки не менше 0,7 мм і вимірювали зміни зовнішнього, внутрішнього діаметру і довжини, що виникають при цьому.



Рисунок 2.6 - Загальний вигляд електроерозійного верстата моделі DK 7725

Також був проведений експеримент по впливу електроерозійної обробки на залишкову напругу в зразках.

Напруги: 1 – окружні; 2 – радіальні; 3 – осеві

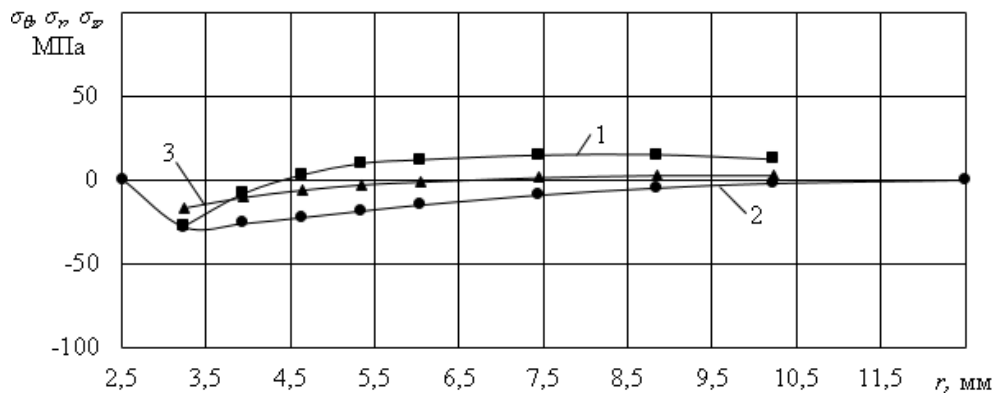


Рисунок 2.7 - Епюри залишкової напруги в зразках після електроерозійної обробки

Попередньо перед основним експериментом оцінювали вплив електроерозійної обробки на залишкові напруги. Циліндричні зразки зі сталі 50 були схильні до повного вакуумного рекристалізаційного відпалу при температурі 800°C протягом двох годин, при порівняно повільному охолодженні. Залишкові напруги у зразках визначали за методом Закса. Відповідно до методу Закса з внутрішньої поверхні зразків на електроерозійному верстаті з ЧПУ послідовно видаляли шари металу товщиною 0,7 мм, визначали зміни зовнішнього і внутрішнього діаметрів зразка, а також висоту і згодом розраховували середнє значення осьових, радіальних та окружних напруг у шарах, що видаляються. .

Результати експерименту щодо впливу електроерозійної обробки на залишкову напругу наведені на рис. 2.7. Аналізуючи рис. 2.7 можна сказати, що розподіл окружної ( $\sigma_\theta$ ), радіальної ( $\sigma_r$ ) та осьової ( $\sigma_z$ ) залишкової напруги вдоль радіусу  $r$  зразків (епюрі напруги) знаходяться в межах 25 Мпа. Погрішність методики визначення залишкової напруги відповідає 25 Мпа, отже, можна зробити висновок, що електроерозійна обробка практично не впливає на залишкову напругу, оскільки залишкова напруга знаходиться в межах погрішності вимірів.

## **2.2 Вимір розмірів зразків**

### **2. 2. 1 Вимір зовнішніх і внутрішніх розмірів поверхонь деталі**

У експериментах для визначення розмірів зовнішніх і внутрішніх поверхонь деталей і використали наступний мерительный інструмент:

Нутромір фірми «Carl Zeiss Jena» (Німеччина), забезпеченим індикаторною голівкою з ціною ділення 0,002 мм. Виміру діаметру отворів проводили в шести поперечних перерізах зразків. У кожному з етихсечений вимірювали діаметри в двох взаємно перпендикулярних напрямках.



Рисунок 2.8 - Нутромір підвищеної точності «Carl Zeiss Jena»

- Скоба важільна СР-25 із вбудованим індикатором із ціною поділу 0,002 мм. Вимірювання діаметрів зовнішніх поверхонь, попередньо, щоб налаштуватися на розмір ультраоптиметрі, проводили в трьох поперечних перерізах зразків (в середньому по їх висоті і на відстані 1 мм від їх торців). У кожному з цих перерізів вимірювали діаметри у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

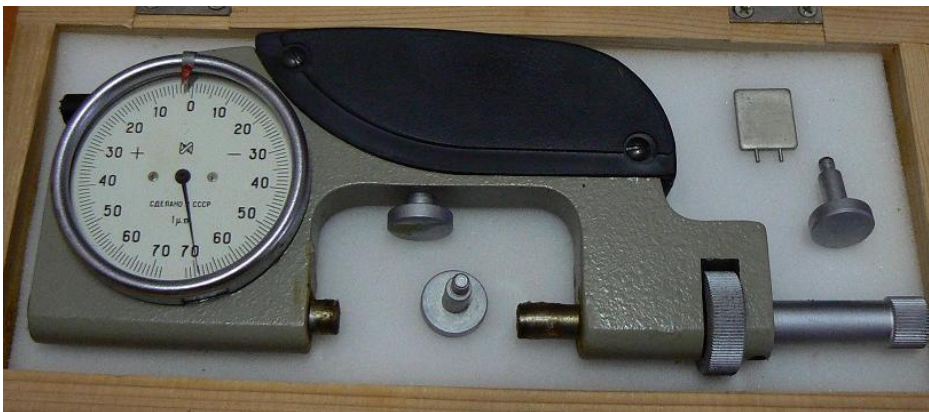


Рисунок 2.9 - Загальний вигляд скоби важільної СР- 25

### 2.2. 2 Вимір залишкової напруги деталі

Визначення залишкової напруги в деталі визначалися методом Закса. Суть способу полягає в пошаровому розрізанні зразка з виміром довжини і діаметру циліндра після кожного знятого шару. При цьому

визначається відносна зміна довжини і зовнішнього діаметру циліндра. Окружна залишкова напруга на зовнішній поверхні зразків і поверхні отвору після дорнування, визначали по зміні їх діаметрів. Осьову залишкову напругу зразків знаходили по зміні довжини зразка. Зміну довжини зразків вимірювали за допомогою мікрокатора з ціною ділення 0,0005 мм закріпленого в стійці.



Рисунок 2.10 Загальний вигляд мікрокатора, закріпленого в стійці

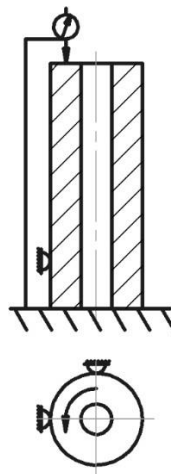


Рисунок 2.11 - Схема виміру довжини зразка мікрокатором

Зміну діаметрів зовнішньої поверхні зразків визначали на ультраоптиметрі фірми «Carl Zeiss Jena» з ціною ділення 0,0002 мм. Виміру діаметрів цих поверхонь проводили в трьох поперечних перерізах зразків (в середньому по їх висоті і на відстані 1 мм ось їх торців). У кожному з цих перерізів вимірювали діаметри в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Середній діаметр поверхні приймали

рівним середньому арифметичному з шести значень її діаметрів, виміряних вказаним чином.



Рисунок 2.12 - Загальний вигляд ультраоптиметра фірми «Carl Zeiss Jena»

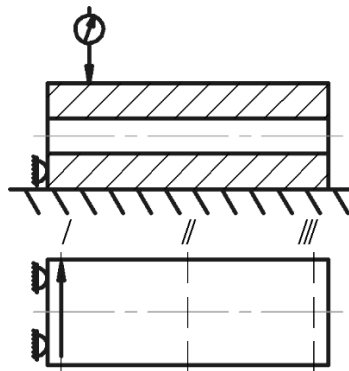


Рисунок 2.13 - Схема виміру зовнішньої поверхні зразка ультраоптиметром

Відповідно до методу Закса з внутрішньої поверхні зразків на електроерозійному верстаті з ЧПУ послідовно видаляли шари металу завтовшки 0,7 мм, визначали зміни зовнішнього і внутрішнього діаметрів зразка, а також висоту і надалі розраховували середнє значення осьової, радіальної і окружної напруги в шарах, що видалялися.

Розрахункові формули внутрішньої напруги :

Для радіальної залишкової напруги

$$\sigma_r(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{R_2^2 - r^2}{2r^2} [\varepsilon_{\theta 2}(r) + \mu \varepsilon_{z 2}(r)]$$

Для осьової залишкової напруги:

$$\sigma_z(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[ \frac{R_2^2 - r^2}{2r} \left( \frac{d\varepsilon_{z 2}}{dr}(r) + \mu \frac{d\varepsilon_{\theta 2}}{dr}(r) \right) - \varepsilon_{z 2}(r) - \mu \varepsilon_{\theta 2}(r) \right]$$

Для окружної залишкової напруги:

$$\sigma_{\theta}(r) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left[ \frac{R_2^2 - r^2}{2r} \left( \frac{d\varepsilon_{\theta 2}}{dr}(r) + \mu \frac{d\varepsilon_{z 2}}{dr}(r) \right) + \frac{R_2^2 + r^2}{2r^2} (\varepsilon_{\theta 2}(r) + \mu \varepsilon_{z 2}(r)) \right]$$

де  $r$  - внутрішній радіус;

$R_2$  - зовнішній радіус;

$\varepsilon_{z 2}$  і  $\varepsilon_{\theta 2}$  - деформації в осьовому і окружному напрямках на зовнішньому радіусі;

$\mu$  - постійна Пуассона,

$E$  - модуль Юнга.



### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Визначення залишкової напруги після дорнування

Дослідження проводилися на зразках із сталі 20 з діаметром отвору  $d = 5$  мм, діаметром зовнішньої поверхні  $D = 15$  мм і довгою  $L = 50$  мм. Дорнування здійснювали за два цикли за схемою розтягування з сумарним відносним натягом 5,1%.

Залишкова напруга визначала методом Закса, відповідно до якого з внутрішньої поверхні зразків послідовно видаляли шари металу завтовшки 0,7 мм і вимірювали зміни їх зовнішнього діаметру і довжини, що виникають при цьому.

Осьова залишкова напруга у поверхні отвору стискає, а в зовнішній області зразків - розтягує. Найбільшою (за абсолютною величиною) є окружна залишкова напруга. Їх значення у отвору зразків близькі до межі плинності сталі 20 (матеріалу зразків). Значно меншою виявляється радіальна і осьова залишкова напруга.

На рис. 3.1 як приклад приведені залежності змін окружної ( $\sigma_\theta$ ), радіальної ( $\sigma_r$ ) і осьової ( $\sigma_z$ ) залишкової напруги уздовж радіусу  $r$  зразків (епюри напруги), ці і інші аналогічні залежності апроксимували за допомогою програми Microsoft Excel 2013, рівняння яких потім використали для розрахунків залишкової напруги. При їх проведенні приймали модуль пружності  $E = 2 \times 10^5$  МПа, коефіцієнт Пуансона  $\mu = 0,3$ . Розрахунки виконували з використанням Microsoft Excel 2013.

Розподіл окружних ( $\sigma_\theta$ ), радіальних ( $\sigma_r$ ) та осьових ( $\sigma_z$ ) залишкових напруг уздовж радіусу  $r$  зразків (епюри напруг) оброблених дорнуванням із сумарним натягом 5,1% показано на рис. 3.1. З них видно, що у всіх досліджених випадках окружні залишкові напруги в області, що прилягає до отвору, стискають, а в області, що прилягає до зовнішньої поверхні зразків –

розтягують. Радіальна залишкова напруга дорівнює нулю на поверхні отвору і зовнішньої поверхні зразків і є такими, що стискають в іншій їх області. Найбільшою за абсолютною величиною є окружна залишкова напруга, яка у поверхні отвору досягає, - 162 МПа. Розсіювання діаметрів отворів зразків при дорнуванні з вказаним вище натягом зменшилося з 0,07 мм (ІТ11) до 0,01 мм (ІТ7).

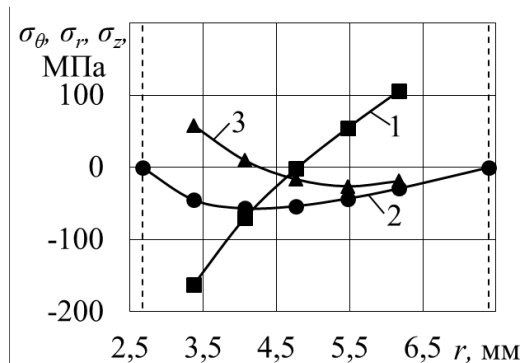


Рисунок 3.1 - Епюри окружних 1, радіальних 2 і осьових 3

залишкових напруг в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1%

При пластичному розтягуванні зразків оброблених дорнуванням відбувається різке зниження за абсолютною величиною окружної і радіальної залишкової напруги (рис. 3.2). При цьому характер епюр залишкової напруги значною мірою зберігається незмінним.

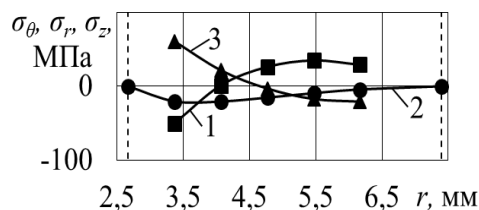


Рисунок 3.2 - Епюри окружних 1, радіальних 2 і осьових 3

залишкових напруг в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1% і пластичного розтягування з мірою деформації 0,5%

Аналізуючи графік (рис. 3.2) можна сказати, що при деформації розтягування 0,5% окружна залишкова напруга знижується з - 162 МПа

(рис. 3.1) до - 50 МПа (рис. 3.2), а радіальні – з -57 МПа (рис.3.1) до - 20 МПа (рис. 3.2). Осьова залишкова напруга залишається при цьому практично незмінною. Розсіювання діаметрів отворів зразків при цьому збільшилося до 0,014 мм (IT8).

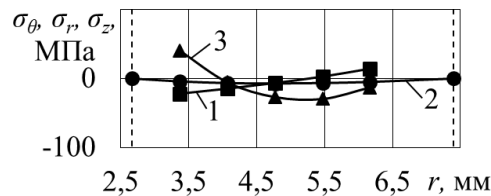


Рисунок 3.3 - Епюри окружних 1, радіальних 2 і осьових 3 залишкових напруг в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1% і пластичного розтягування з мірою деформації 1%

Збільшення деформації розтягування до 1% призводить до зменшення окружної залишкової напруги до - 22 МПа (рис. 3.3), радіальних, - до значень практично рівних нулю, а осьових з 58 МПа (рис. 3.1) до 41 МПа (рис. 3.3). Розсіювання діаметрів отворів зразків при цьому збільшилося до 0,018 мм (IT8).

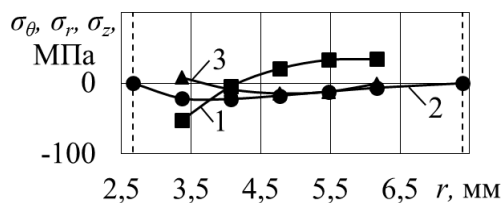


Рисунок 3.4 - епюри окружних 1, радіальних 2 і осьових 3 залишкових напруг в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1% і пластичного розтягування з мірою деформації 1,5%

При збільшенні деформації розтягування до 1,5% подальшого зниження окружної і радіальної залишкової напруги не спостерігалось. Осьова напруга при цьому знизилася до значень близьких до нуля, а розсіювання діаметрів отворів зразків досягло 0,022 мм (IT9).

### 3.2 Визначення залишкової напруги після повторного дорнування

Після проведення основного експерименту за визначенням залишкової напруги після дорнування і пластичного розтягування в товстостінних циліндрах, був проведений експеримент по впливу повторного дорнування, після пластичного розтягування на точність отвору і залишкову напругу. На малюнку 3.5 приведені залежності змін окружної ( $\sigma_\theta$ ), радіальної ( $\sigma_r$ ) і осьової ( $\sigma_z$ ) залишкової напруги уздовж радіусу  $r$  зразків (епюр напруги) оброблених повторним дорнуванням з натягом 0,37% при цьому залишкова напруга повертається до первинної, тобто до напруги, що відповідає дорнуванню з сумарним натягом 5,1%, отже, повторне дорнування не рекомендується застосовувати на зразках із сталі 20.

Аналізуючи рис. 3.5; 3.6 і 3.7 можна зробити висновок що зі збільшенням пластичного розтягування з 0,5% до 1,5% на зразках при повторному дорнуванні, залишкова напруга не зменшується, а навіть збільшуються в межах погрішності методики визначення залишкової напруги методом Закса.

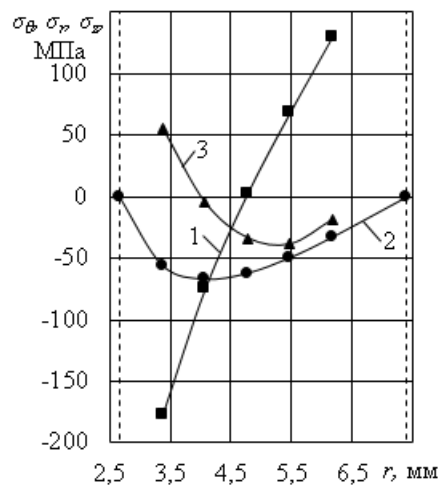


Рисунок 3.5 - Епюри залишкової напруги в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1%, пластичним розтягуванням з мірою деформації 0,5% і повторним дорнуванням з натягом 0,37%.

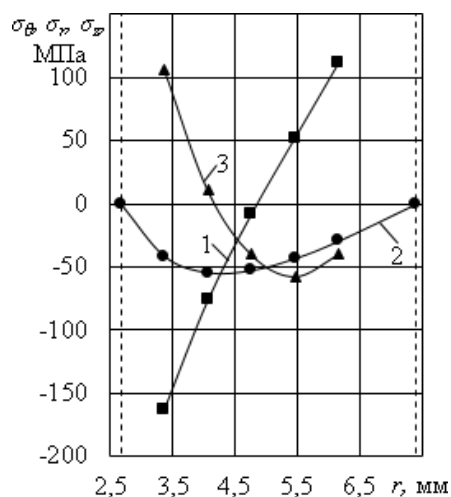


Рисунок 3.6 - Епюри залишкової напруги в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1%, пластичним розтягуванням з мірою деформації 1% і повторним дорнуванням з натягом 0,37%.

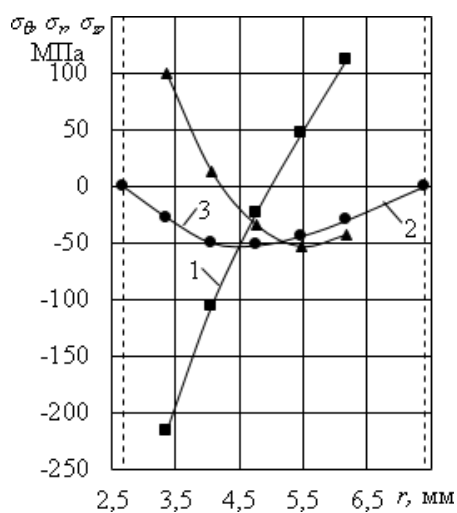


Рисунок 3.7 - Епюри залишкової напруги в зразках після дорнування з сумарним натягом 5,1%, пластичним розтягуванням з мірою деформації 1,5% і повторним дорнуванням з натягом 0,37%.

Таблиця 3.1 - Загальні результати дослідження залишкової напруги і точності отворів

| Операції                                    | Залишкова напруга,<br>МПа |            |            | Розсіювання<br>діаметрів<br>отворів<br>зразків | Квалітет<br>точності<br>отвору |
|---|---------------------------|------------|------------|--|--------------------------------|
|   | $\sigma_{\theta}$         | $\sigma_r$ | $\sigma_z$ |  |                                |
| Свердління                                  | -                         | -          | -          | 70 мкм   | IT11                           |
| Дорнування                                  | -162                      | -56        | 55         | 9 мкм  | IT7                            |
| Дорнування і розтягування<br>зразка на 0,5% | -50                       | -25        | 57         | 14 мкм   | IT8                            |
| Дорнування і розтягування<br>зразка на 1%   | -25                       | -15        | 42         | 18 мкм   | IT8                            |
| Дорнування і розтягування<br>зразка на 1,5% | -50                       | -25        | -18        | 22 мкм   | IT9                            |
| Повторне дорнування                         | -175                      | -62        | 52         | 6 мкм  | IT6                            |

У таблиці 3.1 приведені загальні результати дослідження розподілу окружної ( $\sigma_{\theta}$ ), радіальної ( $\sigma_r$ ) і осьової ( $\sigma_z$ ) залишкової напруги в оброблених дорнуванням товстостінних циліндрах. Щоб зняти залишкову напругу зразки були схильні до пластичного розтягування на 0,5%; 1%; 1,5%. Також, по ходу експерименту визначалася точність отвору, результати по точності оброблених отворів приведені в таблиці 3.1.

Таким чином у ході дослідження було експериментально підтверджено ефективність застосування пластичного розтягування з малими деформаціями для зниження залишкових напруг у товстостінних циліндрах, оброблених дорнуванням. Вже при розтягуванні зі ступенем деформації 0,5% окружні залишкові напруги знижуються у 3,2 рази, а радіальні – у 2,9 рази. Однак пластичне

розтягування призводить до падіння точності отворів. Зокрема, при розтягуванні зі ступенем деформації 0,5% точність отворів знижується на один квалітет, а зі ступенем деформації 1,5% – на два квалітети. Таким чином, можна припустити, що найбільш раціонально застосовувати дорнування в поєднанні з осьовим пластичним розтягуванням з деформацією не більше 0,5%, оскільки подальше збільшення деформації не призводить до значного зниження рівня залишкової напруги, проте спричиняє суттєве падіння точності отворів, досягнутої при обробці дорнуванням. .

Найкраща точність оброблених отворів виходить при повторному дорнуванні з сумарним натягом 0,37% і пластичним розтягуванням 0,5%, точність отвору відповідає шостому квалітету точності.

По ходу експерименту було оцінено вплив електроерозійної обробки на залишкові напруги. Можна зробити висновок, що електроерозійна обробка практично не впливає на залишкові напруги, т.к. залишкові напруги знаходяться в межах похибки вимірів.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1 Вступ**

У цьому розділі ВКР розглянуті питання, пов'язані з технікою виробничої безпеки і охороною довкілля.

Основною метою цього розділу є виявлення небезпечних чинників промислового виробництва, створення оптимальних норм для поліпшення умов праці, забезпечення виробничої безпеки людини, збереження працездатності в процесі діяльності, а також охорони довкілля.

Питання виробничої і екологічної безпеки розглядаються на основі проведення робіт по зниженню залишкової напруги із застосуванням пластичного розтягування в оброблених дорнуванням товстостінних циліндрах. Експеримент проводився на зразках із сталі 20 із зовнішнім діаметром 15 мм і діаметром отвору 5 мм. Отвору в зразках свердлили і розсвердлювали на токарному танку. Дорнування отворів виконували однозубими дорнами з твердого сплаву ВК8 на універсальній випробувальній машині УМЭ-10ТМ. В якості мастильного матеріалу застосовували рідину МР- 7. Пластичне розтягування зразків виконували за допомогою спеціального ручного гвинтового пристосування. При цьому осьову пластичну деформацію змінювали від нуля до 1,5%. Виробниче середовище, організація робочого місця повинні відповідати загальноприйнятим і спеціальним вимогам техніки безпеки, ергономіки, нормам санітарії, екологічної і пожежної санітарії.



## 4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих чинників

При проведенні експерименту по зниженню залишкової напруги в толстостенних циліндрах із застосуванням пластичного розтягування використовувалося металообробне устаткування. Робота на ній представляє деякі шкідливі виробничі чинники.

Шкідливі чинники, що виникають при цьому технологічному процесі :

- Недостатня освітленість робочої зони, наявність прямої і відбитої блискості, підвищена пульсація світлового потоку.
- Абразивний пил, дрібна стружка і аерозолі смазочно-охолоджувальної рідини;
- Підвищений рівень вібрації;
- Підвищений рівень шуму;
- Підвищений рівень статичної електрики;

Небезпечні чинники, що виникають при цьому технологічному процесі :

- Отримання травм, при роботах на токарно-гвинторізному верстаті 1К62;
- Поразка електричним струмом, при роботі устаткування;
- Машини, що рухаються, і механізми, вироби, що пересуваються заготівлі і матеріали.

Крім того, в ході виконання цього проекту велика кількість часу роботі велася з використанням ПЕВМ. Для роботи з цим устаткуванням існує наступна типова інструкція: ТОО Р 01-00-01- 96 «Типова інструкція по охороні праці для операторів і користувачів персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕВМ) і працівників, зайнятих експлуатацією ПЕВМ і відеодисплейних терміналів (ВДТ)». Робота оператора ПЕВМ належить до категорії робіт, пов'язаних з небезпечними і шкідливими умовами праці.

Найвірніший і найбільш надійний шлях боротьби з виробничим травматизмом - чітке знання кожним працівником вимог правил техніки безпеки праці і їх виконання.

Таким чином, в ході виконання цього проекту мала місце велика кількість небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

### **4.3 Мікроклімат**

Стан мікроклімату на механічній ділянці повинна відповідати допустимим нормам по ГОСТ 12.1.005-88. Метеорологічні умови у виробничих умовах визначаються наступними параметрами:

- 1) температура повітря  $t$ , °C;
- 2) відносна вологість повітря  $\phi$  %;
- 3) швидкість руху повітря на робочому місці  $v$ , м/с.

Рух повітря в приміщеннях є важливим чинником, що впливає на теплове самопочуття людини. У жаркому приміщенні рух повітря сприяє збільшенню віддачі теплоти організмом і покращує його стан, але чинить несприятливу дію при низькій температурі повітря в холодний період року. Таким чином, для теплового самопочуття людини важливо певне поєднання температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні.

Підвищена вологість повітря ( $\phi > 85\%$ ) утрудняє терморегуляцію організму, оскільки відбувається зниження випару поту, а знижена вологість ( $\phi < 20\%$ ) викликає пересихання слизових оболонок дихальних шляхів.

Оптимальні і допустимі показники температури, відносній вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати значенням, приведеним в таблиці 1 [ГОСТ 12.1.005-88].

Роботи діляться на три категорії тяжкості на основі загальних енерговитрат організму. Робота, що відноситься до інженерів - розробників, належить до категорії середніх робіт. Допустимі значення мікроклімату для цього випадку дані в таблиці 5.1.

Таблиця 4.1 - Вимоги до мікроклімату

| Період року | Категорія роботи | Температура, ° | Відносна вологість, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|
| Холодний    | середня          | 19 – 24        | 15 - 75               | ≤ 0.1                       |
| Теплий      | середня          | 20 - 28        | 15 - 75               | ≤ 0.2                       |

Одними з основних заходів по оптимізації мікроклімату і складу повітря у виробничих приміщеннях є забезпечення належного повітрообміну і опалювання, теплова ізоляція нагрітих поверхонь устаткування, повітропроводів і гідротрубопроводів.

#### **4.4 Шкідливі речовини і вентиляція виробничих приміщень**

При аналізі шкідливих виділень на ділянці виявлені наступні шкідливі речовини: олія мінеральна, окисел заліза.

На проєктованій ділянці концентрація забруднюючих елементів відповідає санітарним нормам ГДК по ГОСТ 12.1.005 - 88. Очищення від забруднення здійснюють за допомогою фільтрів і припливною - витяжною вентиляцією.

Вентиляція виробничих приміщень призначена для зменшення запиленості, задимленості і очищення повітря від шкідливих виділень виробництва, а також для збереження устаткування. Вона служить одним з головних засобів оздоровлення умов праці, підвищення продуктивності і запобігання небезпеці професійних захворювань. Провітрювання приміщення проводять, відкриваючи кватирки. Провітрювання приміщень в холодний період року допускається не більше

одноразового в годину, при цьому треба стежити, щоб не було зниження температури усередині приміщення нижче допустимої. Повітрообмін в приміщенні можна значно скоротити, якщо уловлювати шкідливі речовини в місцях їх виділення, не допускаючи їх поширення по приміщенню. Для цього використовують припливно-витяжну вентиляцію.

#### **4.5 Виробничий шум**

Гранично допустимий рівень (ПДУ) шуму - це рівень чинника, який при щоденній (окрім вихідних днів) роботі, але не більше 40 годин в тиждень впродовж усього робочого стажу, не повинен викликати захворювань або відхилень в стані здоров'я, досліджень, що виявляються сучасними методами, в процесі роботи або у віддалені терміни життя сьогодення і подальших поколінь. Дотримання ПДУ шуму не виключає порушення здоров'я у надчутливих осіб.

Допустимий рівень шуму обмежений ГОСТ 12.1.003-83 і СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальний рівень звуку постійного шуму на робочих місцях не повинно перевищувати 80 дБА.

При значеннях вище допустимого рівня необхідно передбачити засоби колективного і індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту :

- усунення причин шуму або істотне його послаблення в джерелі освіти;
- ізоляція джерел шуму від довкілля засобами звуко- і віброізоляції, звуко- і вібропоглинання;
- застосування засобів, що знижують шум і вібрацію на шляху їх поширення;

Засоби індивідуального захисту :

- застосування спецодягу, спецвзутті і захисних засобів органів слуху : навушники, беруші, антифони.

## 4.6 Освітлення

Згідно СНиП 23-05-95 в лабораторії, де відбувається періодичне спостереження за ходом виробничого процесу при постійному знаходженні людей в приміщенні освітленість при системі загального освітлення не має бути нижча 150 Лк.

Правильно спроектоване і виконане освітлення забезпечує високий рівень працездатності, чинить позитивну психологічну дію на людину і сприяє підвищенню продуктивності праці. На робочій поверхні мають бути відсутніми різкі тіні, які створюють нерівномірний розподіл поверхонь з різною яскравістю в полі зору, спотворює розміри і форми об'єктів відмінності, в результаті підвищується стомлюваність і знижується продуктивність праці.

Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення горизонтальної робочої поверхні виконується методом коефіцієнта світлового потоку, що враховує світловий потік, відбитий від стелі і стін. Довжина приміщення  $A = 10$  м, ширина  $B = 7$  м, висота  $= 3,5$  м. Висота робочої поверхні над підлогою  $h_p = 1$  м.

Коефіцієнт відображення свіжопобілених стін з вікнами без штор  $\rho_z = 70\%$ , чистої бетонної стелі  $\rho_{п} = 50\%$ . Коефіцієнт запасу, що враховує забруднення світильника, для приміщень з середнім виділенням пилу рівний  $K_z = 1,5$ . Коефіцієнт нерівномірності для люмінесцентних ламп  $Z = 1,1$ .

Вибираємо лампу ЛХБ- 40, світловий потік якої рівний  $\Phi_{лд} = 2700$  лм.

Вибираємо світильники з люмінесцентними лампами типу ОДОР- 2-40.

Цей світильник має дві лампи потужністю 40 Вт кожна, довжина світильника дорівнює 1227 мм, ширина - 265 мм.

Інтегральним критерієм оптимальності розташування світильників є величина  $\lambda$ , яка для люмінесцентних світильників із захисними ґратами лежить в діапазоні 1,1-1,3. Приймаємо  $\lambda = 1,2$ , відстань світильників від перекриття  $h_c = 0,5$  м.

Висота світильника над робочою поверхнею визначається по формулі 5.1:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.1)$$

Індекс приміщення визначається по формулі 5.2:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{10 \cdot 7}{2 \cdot (10 + 7)} = 2,05 \quad (5.2)$$

Коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta = 0,52$ .

Потрібні групи люмінесцентних ламп світильника визначається по формулі 5.3:

$$n = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2700 \cdot 0,52} = 12,3 \approx 12 \text{ ламп} \quad (5.3)$$

Загальне число ламп :  $n=12$ . У кожному світильнику по дві лампи, отже, число світильників  $n = 6$  шт.

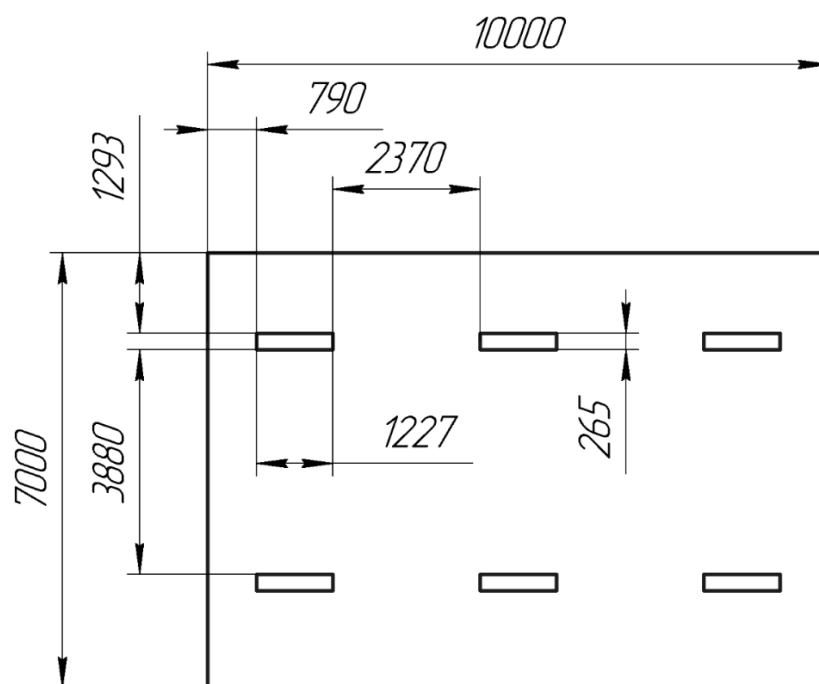


Рисунок 4.1 - План розміщення світильників в приміщенні

Відстань від крайніх світильників або рядів до стіни визначається по формулі 5.4:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 * 1227 = 10000 \text{ мм}, \quad (5.4)$$

$$L_1 = 2370 \text{ мм.}$$

Відстань між сусідніми світильниками або рядами визначається по формулі 5.5:

$$\frac{2}{3}L_2 + L_2 + 2 * 265 = 7000 \text{ мм}, \quad (5.5)$$

$$L_2 = 3880 \text{ мм.}$$

Розрахунок світлового потоку групи люмінесцентних ламп світильника визначається по формулі 5.6:

$$\Phi_p = \frac{E * A * B * K_z * Z}{n * \eta} = \frac{150 * 10 * 7 * 1,5 * 1,1}{12 * 0,52} = 2776 \text{ лм} \quad (5.6)$$

Перевіряємо виконання умови :

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2700 - 2776}{2700} * 100 = -2,81 \approx -3\%$$

$-10\% \leq -3\% \leq 20\% \sim$  умова виконана.

## 4.7 Електробезпека

Електробезпека є системою організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статистичної електрики.



Лабораторія відноситься до II класу електробезпеки - приміщенню с підвищеною небезпекою, яка характеризується наявністю в них однієї з наступних умов, що створюють підвищену небезпеку : вогкість, струмопровідний пил, струмопровідна пола (металеві, земляні, залізобетонні, цегляні і тому подібне), висока температура, можливість одночасного дотику людини до тих, що мають з'єднання із землею металоконструкціям, технологічним апаратам, з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування - з іншою. Токарний верстат працює в мережі з напругою 380 В.

У лабораторії застосовуються наступні заходи захисту від поразки електричним струмом : недоступність токоведущих частин для випадкового дотику, усі токоведущие частини ізолювані і захищені. Недоступність досягається шляхом їх надійної ізоляції, застосування захисних обгороджувальних (кожухів, кришок, сіток і так далі), розташування токоведущих частин на недоступній висоті. Верстати і устаткування оснащені заземлителями. Засобами індивідуального захисту від поразки електричним струмом є інструменти з ручками з ізолюючого матеріалу, спеціальні рукавички і взуття, а також доріжки і килимки.

#### **4.8 Пожежовибухобезпечність**

Пожежна безпека передбачає забезпечення безпеки людей і збереження матеріальних цінностей підприємства на всіх стадіях його життєвого циклу. Основними системами пожежної безпеки є системи запобігання пожежі і протипожежному захисту, включаючи організаційно-технічні заходи.

Приміщення, в якому здійснюється процес виготовлення виробу, по

взрывопожарной і пожежній небезпеці належить до категорії Д : негорючі речовини і матеріали знаходяться в холодному стані. Проте, ніколи не варто забувати про небезпеку виникнення пожежі. Серед організаційних і технічних заходів, здійснюваних для усунення можливості пожежі, виділяють наступні заходи:

- використання тільки справного устаткування;
- проведення періодичних інструктажів по пожежній безпеці;
- призначення відповідального за пожежну безпеку приміщення;
- відключення електроустаткування, освітлення і електроживлення після закінчення робіт;
- паління в строго відведеному місці;
- зміст шляхів і проходів для евакуації людей у вільному стані.

У приміщенні необхідно мати вогнегасник марки ОП-5, виходячи з розмірів приміщення, а також силовий щит, який дозволяє миттєво знеструмити приміщення. Вогнегасники повинні завжди утримуватися у справному стані, періодично оглядатися, перевірятися та своєчасно перезаряджатися. Бажано поміщати на стінах інструкції з пожежної безпеки та план евакуації у разі пожежі. У випадках, коли не вдається ліквідувати пожежу самостійно, необхідно викликати пожежну охорону та залишити приміщення, керуючись розробленим та вивішеним планом евакуації показаним на рис. 4.2.

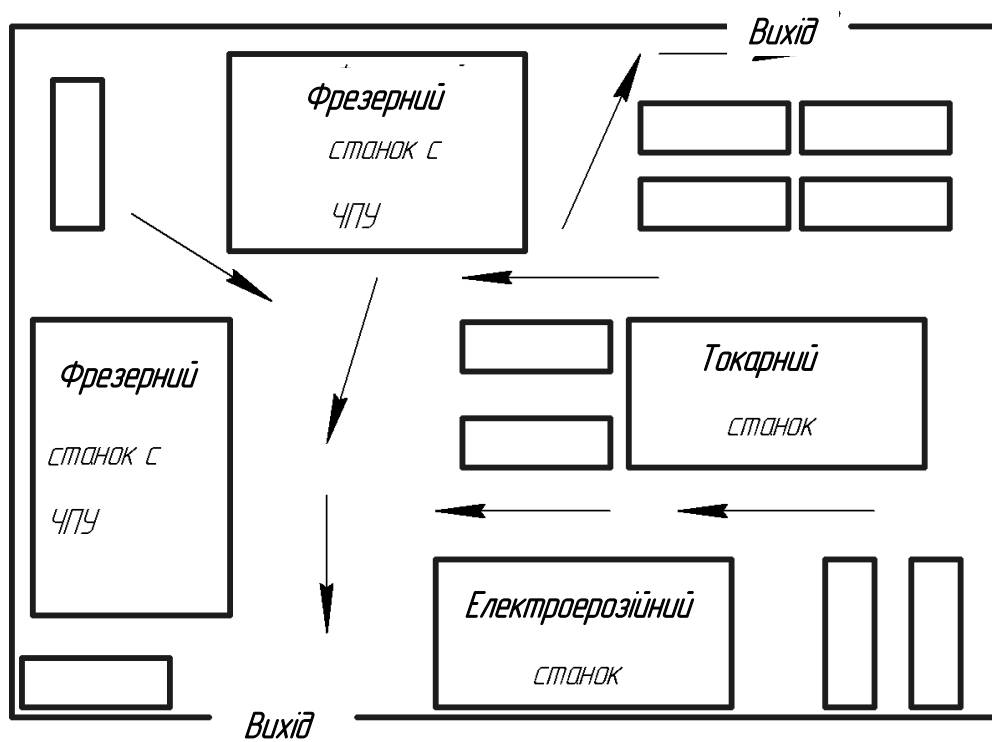


Рисунок 4.2 – План евакуації з виробничої дільниці

## 4.9 Екологічність

Охорона довкілля — це комплексна проблема і найбільш активна форма її рішення — це скорочення шкідливих викидів промислових підприємств через повний перехід до безвідходних або маловідхідних технологій виробництва. Охорона природи — комплекс державних, міжнародних і громадських заходів, спрямованих на раціональне використання природи, відновлення, поліпшення і охорону природних ресурсів. Повітря, що оточує людину, безперервно піддається забрудненню. Повітря виробничих приміщень забруднюється викидами технологічного устаткування або при проведенні технологічних процесів. Вентиляційне повітря, що видаляється з приміщень, може стати причиною забруднення повітря промислових майданчиків і населених місць. Засоби захисту атмосфери повинні обмежувати наявність шкідливих речовин в повітрі місця існування людини не вище за ГДК. У тих випадках, коли реальні викиди вищі за цей рівень, необхідно використати апарати для очищення газів від домішок.

Ця магістерська робота не представляє небезпеки для екологічної обстановки, оскільки відсутнє використання токсичних матеріалів. Усі операції є суто механічними, без виділення шкідливих газів і речовин, проте, в процесі металообробки знімається шар металевої стружки, яка повинна правильно утилізуватися для переробки (переплавки). Стружку необхідно розділити на кольоровий і чорний лом, спресувати, упакувати і відправити на переплавку. Ртутні лампи здати у відповідну фірму на утилізацію. Смазочно-охолоджувальну рідину фільтрувати і повернути в цикл, суспензії зібрати і здати у будівельну або дорожню промисловість в якості інертного матеріалу.

#### **4.10 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Надзвичайна ситуація - це обстановка на певній території, що склалася в результаті аварії, небезпечного природного явища, катастрофи, стихійного або іншого лиха, які можуть спричинити або спричинили людські жертви, збиток здоров'ю людей або природному довкіллю, значні матеріальні втрати і порушення умов життєдіяльності людей.

Критично низькі температури можуть привести до аварій систем теплопостачання і життєзабезпечення, призупинення роботи, обморожень і навіть жертв серед населення. У разі заморожування труб в лабораторії передбачені запасні електрообігрівачі. Електроживлення для обігрівачів забезпечує генератор. Це устаткування зберігається на складі і їх технічний стан постійно перевіряється.

Надзвичайні ситуації (НС), що виникають в результаті диверсій, виникають все частіше. Частенько такі загрози виявляються неправдивими, проте, роботи в даному випадку все одно припиняються. Для попередження вірогідності здійснення диверсії підприємство необхідно обладнати системою відеоспостереження, цілодобовою охороною, пропускною системою, надійною системою зв'язку, а також виключення поширення інформації про систему охорони об'єкту, розташувань приміщень і устаткування в приміщеннях, сигналізаторах, їх місцях установки і кількості. Посадовці зобов'язані раз на півроку проводити тренування по відробітку дій на випадок НС.

#### **4.11 Законодавчі акти**

1. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять.
2. ДНАОП (Державні Нормативні акти з охорони праці).
3. ДСН - Державні санітарні норми.
4. ДБН - Державні будівельні норми.
5. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».
6. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».
7. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень будинків і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Зі збільшенням натягу дорнування усадка отвору практично в усіх досліджених випадках збільшується. Зокрема, при обробці міді М1 зі збільшенням натягу з 1 до 5% усадка збільшується в 3,9...4,2 разу, а при обробці сталі 20 - в 1,2...1,3 разу.

2. Міра товстостінності втулок робить слабкий вплив на величину усадки отвору, проте може впливати на неї у поєднанні з великим натягом рівним 5%. Зокрема, при обробці сталі 45, збільшення міри товстостінності з 2 до 5 призводить до збільшення усадки в 3,4 разу, а при обробці Д16Т - в 2,4 разу. Необхідно відмітити, що при обробці з аналогічним натягом аналогічних по геометричних параметрах втулок з міді М1 і сталі 20 такий вплив не виявляється.

3. Кривизна твірної отвору істотно залежить від натягу і від механічних властивостей матеріалу. В усіх досліджених випадках, зі збільшенням натягу і зі зменшенням в'язкості матеріалу, кривизна твірної отвору зростає.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. Монография. 2005 г.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Охотин И.С. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2012. – №2. – С. 1-24.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наук. думка, 1990. – 320 с.
4. Охотин И.С., Скворцов В.Ф. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра с большими натягами. – [Saarbrücken, Deutschland]: Lap Lambert Acad. Publ., 2011. –170 с.
5. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Гриценко Э.И. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием. – Киев:Наукова думка, 1977. –187 с.
6. Монченко В.П. Эффективная технология производства полых цилиндров. – М.: Машиностроение, 1980. – 248 с.
7. Суслов А.Г., Блюменштейн В.Ю., Гуров Р.В., Исаев А.Н. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 1. // Под общ. Ред. А.Г. Суслова.-М.: Машиностроение, 2014.-480с.: ил.
8. Проскуряков Ю.Г., Шельвинский Г.И. Дорнование цилиндрических отверстий с большими натягами. – Ростов: Издательство Ростовского университета, 1982. – 168 с.
9. Проскуряков Ю.Г. Дорнование цилиндрических отверстий. – М.: МАШГИЗ, 1958. – 112 с.
10. Арляпов А.Ю., Ватолин А.В., Охотин И.С., Скворцов В.Ф. Универсальное приспособление для дорнования глубоких отверстий малого диаметра // Новые материалы, неразрушающий контроль и наукоемкие технологии в машиностроении: материалы IV международной научно-технической конференции – Тюмень, ТюмГНГУ, 2008, Т. 1. – С. 6–8.
11. Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. Металлорежущие инструменты. – Томск: Из-во Том. ун-та, 2003. – 392 с.
12. В.Е. Антонюк, В.А. Королев, С.М. Башеев. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений. Минск, «Беларусь», 1969. 392 с.



13. Проектирование и расчет станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах: учеб. пособие/ И.Н. Аверьянов, А.Н. Болотеин, М.А Прокофьев; - Рыбинск: РГАТА, 2010. – 220 с. ил.
14. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 73 с.
15. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
16. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ (ред. От 10.07.2012).
17. ГОСТ 12. 1. 038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов.
18. Цеханов Ю.А. Механика деформирующего протягивания как научная основа оценки качества деталей и работоспособности инструмента с износостойкими покрытиями: Автореф. дис. докт. техн. наук. Киев, 1993.-43 с.
19. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Охотин И.С. Устройство для дорнования отверстий малого диаметра. Патент РФ № 2288831. Опубл. 10.12.2006. Бюл. №34.
20. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Посвятенко Е.К. та ін Розрахунок та проектування твердосплавних деформуючих протаскування і процесу протягування. - Київ: Наук. думка, 1978. 256 с.
21. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механіка пластичної деформації в процесах різання і, деформуючого протягування. — Київ: Наук. думка, 1990. 320 с.
22. Маслов А.Р., Дворецкий А.В., Подвербный Ю.И. и др. Прогрессивный инструмент для обработки отверстий. - М. ВНИИТЭМР, 1990. 56 с.
23. А с. № 772755 В23 D41/00 Ю.Г. Проскуряков, В. Н. Романов  
А.Н. Исаев, С. С. Субботин. Протяжной станок для дорнования.  
- 32. А с. № 774904 В23 Р25/00 Ю Г. Проскуряков, А.Н. Исаев, В И. Романов,  
Ф.Ф. Валяев Способ снятия остаточного напряжения в трубных заготовках.
24. Воробьев Ю.А., Воронько В. В. Перспективные устройства для реализации процесса дорнования отверстий. // Авиационно-космическая техника и технология. - 2004. – № 3 (11). – С. 28-32.

25. Воробьев Ю.А., Чистяк В.Г., Воронько В.В. Особенности технологического процесса и инструмента импульсного дорнования отверстий. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2004. – №5/13. – С. 37-41.
26. Розенберг, О.А. Технологическая механика деформирующего протягивания / О.А. Розенберг, Ю.А. Цеханов, С.Е. Шейкин. – Воронеж: Изд-во ВГТА, 2001. – 203с.
27. Каратушин, С.И. Остаточные напряжения в цилиндрических изделиях / С.И. Каратушин, Д.В. Спиридонов, Ю.А. Плешанова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2013. – № 6. – С. 53 – 56.
28. Інженерія поверхні: Підручник / К. А. Ющенко, Ю. С. Борисов, В. Д. Кузнецов, В. М. Корж — К.: Наукова думка, 2007. — 559 с. — (ISBN 978-966-00-0655-3)
29. Смирнов И.В. Повышение функциональных свойств газотермических покрытий электроконтактной обработкой / И.В. Смирнов, А.В. Черный, А.В. Лопата // Материали IX Международной научно-практической конференции Комплексное обеспечение качества технологических процессов и систем 14 - 16 мая в 2019 г. г. Чернигов, С. 73-75.
30. Смирнов І.В. Підвищення функціональних властивостей газотермічних покриттів електроконтактною обробкою / І.В. 31. Смирнов, А.В. Чорний, А.В. Лопата // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем 14 – 16 травня 2019 р. м. Чернігів, С. 73-75.