



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗИЯ

на магістерську роботу Аналіз досліджень шляхів підвищення експлуатаційної надійності складних валів в процесі їх виготовлення

Студент Матюшкіної Анастасії Сергіївни

Спеціальність і група 131 Прикладна механіка, М-113м

Обсяг проекту (роботи) Повний

Кількість слайдів презентації 16

Кількість сторінок пояснювальної записки 78

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень Ультразвукове зміцнення кульками і алмазне вигладжування – успішні методи поверхнево-пластичного деформування складних валів; методика проведення досліджень; формування сприятливих властивостей поверхневого шару валів ГТД, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

Виконана робота повністю відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу магістерської роботи, рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи  
Виконана робота на достатньому рівні відповідає останнім досягненням науки та техніки

г) негативні особливості виконання роботи

При перевірці виконаної роботи негативних особливостей не виявлено

д) позитивні особливості

Позитивною особливістю можна вважати, що за допомогою використання фінішних методів – ультразвукового зміцнення металевими кульками та алмазного вигладжування значно підвищено якість поверхні та забезпечено отримання сприятливих властивостей поверхневого шару, що благотворно впливає на підвищення надійності валів

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до роботи  
Презентація та пояснювальна записка виконані у відповідності до діючих стандартів

є) відгук про роботу загалом

В цілому магістерська робота студентки групи М-113м Матюшкіної Анастасії Сергіївни відповідає вимогам вищої школи

ж) інші зауваження

У якості зауважень можна привести наступне: В роботі не перевірено значення деяких параметрів властивостей поверхневого шару, отриманих розрахунковим методом

з) оцінка роботи

В цілому магістерська робота студентки групи М-113м Матюшкіної Анастасії Сергіївни заслуговує оцінку «добре»

Рецензію склав доцент кафедри ТМБ Дядя С. І.

(посад, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)

18.12

2018 р.



(підпис)

[15:41:17] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №847 [3] (200057 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:41:51] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №852 [3] (200053 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:42:06] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №857 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:42:39] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №862 [3] (200055 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:42:50] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №867 [3] (200043 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:43:08] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №872 [3] (200043 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:43:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №877 [3] (200025 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:43:39] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №882 [3] (200036 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:43:48] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №887 [3] (200035 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:43:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №892 [3] (200057 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:44:59] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №897 [3] (200048 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:46:21] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №902 [3] (200049 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:46:49] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №907 [3] (200046 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:47:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №912 [3] (200056 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло )

[15:47:47] Тип проверки: Стандартный

[15:47:47] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 28%)**

[15:47:47] **Уникальность текста 85%<sup>c</sup> (Пропорциировано подстановок: 0%)**

---

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Матюшкіна А.С., провів  
зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

06.12.2018р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Технології машинобудування

(повна назва кафедри (проектної, цехової тощо))

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Аналіз досліджень шляхів підвищення експлуатаційної  
надійності складних валів в процесі їх виготовлення

Виконав: студент 6 курсу, групи М-113м  
напряму підготовки (спеціальності)

131 «Прикладна механіка»

(номер і назва напряму підготовки, спеціальності)

Матюшкіна А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кононов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дядя С.І.

(прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Запорізький національний технічний університет

Інститут, факультет \_\_\_\_\_ Машинобудівний  
Кафедра \_\_\_\_\_ Технології машинобудування  
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) \_\_\_\_\_ Другий (магістерський)  
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»  
(кодифікація)  
Напрямок підготовки \_\_\_\_\_  
(кодифікація)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ ТМБ  
\_\_\_\_\_ С.І. Дяда

« 18 » \_\_\_\_\_ 12 \_\_\_\_\_ 2018 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Матюшкіна Анастасія Сергіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Аналіз досліджень шляхів підвищення експлуатаційної надійності складних валів в процесі їх виготовлення

керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ Кононов В.В., к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, посада)

затверджені наказом вищого навчального закладу від « 26 » листопада 2018 року № 366

Строк подання студентом проекту (роботи) \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ грудень \_\_\_\_\_ 2018

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_ 1. Креслення деталі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити) 1. Ультразвукове зміцнення і алмазне вигладжування методі ППД складальних валів. 2. Методика проведення досліджень 3. Формування сприятливих властивостей поверхні вогнищу валів ППД. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                                            | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата                |                             |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                                   |                                           | завдання<br>вклад           | завдання<br>прийняв         |
| Дослідний                                         | Кононов В.В., доцент                      | <i>[Signature]</i> 13.09.18 | <i>[Signature]</i> 10.10.18 |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Шмирко В.І., доцент                       | <i>[Signature]</i> 10.10.18 | <i>[Signature]</i> 11.11.18 |
| Нормоконтроль                                     | Пухальська Г.В., доцент                   | <i>[Signature]</i>          | <i>[Signature]</i> 14.12.18 |

7. Дата видачі завдання 03 вересня 2018

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| №<br>п/п | Назва етапів дипломного<br>проєкту (роботи)                                     | Строк виконання<br>етапів проєкту<br>(роботи) | Примітка |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 1.       | Ультразвукове злізнення і асиметричне виготовлення - методи ПТР складних валів. | 10.09.2018                                    |          |
| 2.       | Опис конструкції та функціонального призначення валу                            | 25.09.2018                                    |          |
| 3.       | Методика проведення досліджень                                                  | 16.10.2018                                    |          |
| 4.       | Визначення критичних властивостей ковзального шару валів ПТР.                   | 12.11.2018                                    |          |
| 5.       | Охорона праці та безпека в навчально-інших ситуаціях.                           | 23.11.2018                                    |          |
| 6.       | Захист                                                                          | грудень                                       |          |

Студент:

Map

Матюшкін А.С.  
Суретші және педагог

Керівник проекту (роботи)



Конюнов В.В.  
директор по развитию

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 77 стор., 5 табл., 16 рис., 25 джерел, 1 додаток.

**Об’єкт дослідження:** вал гвинта авіаційного двигуна.

**Предмет дослідження:** методи поверхневого пластичного деформування – ультразвукове зміцнення кульками та алмазне вигладжування.

**Методи дослідження:** методи інженерної механіки для досліджень процесу шорсткості, наклепу, залишкових напружень; математичні методи – для аналізу результатів випробувань.

**Мета роботи:** Запропонувати технологічні методи фінішної обробки вала гвинта авіаційного ГТД для підвищення його експлуатаційних властивостей.

**Задачі дослідження:**

- провести літературний пошук щодо даної проблеми;
- описати методику проведення досліджень;
- проаналізувати отримані результати;
- запропонувати рекомендації щодо ультразвукового зміцнення та алмазного вигладжування конструктивних елементів даної деталі;
- рекомендації щодо охорони праці.

**Публікації автора:**

1. Matyushkina A., Kalugina A., Honchar N., Semeryuk T. Application of mathematical statistics methods for resource-saving direction in researches of new finishing tools / International Multidisciplinary Conference «Key Issues of Education and Sciences: Development Prospects for Ukraine and Poland» Stalowa Wola, Republic of Poland, 20-21 July 2018. Volume 2. Stalowa Wola: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 93-94.

ВАЛ ГВИНТА, ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ, ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ, УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗМІЦНЕННЯ КУЛЬКАМИ, АЛМАЗНЕ ВИГЛАДЖУВАННЯ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГОСТ – государственный стандарт

ГТД – газотурбінний двигун

ДСТУ – державний стандарт України

ЗОТС – змащуючо-охолоджувальне технологічне середовище

УЗЗ – ультразвукове зміцнення

ППД – поверхнево-пластичне деформування



## ЗМІСТ

|                                                                                               |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....                       |  |
| Вступ.....                                                                                    |  |
| 1 Ультразвукове зміцнення і алмазне вигладжування – успішні методи ППД складальних валів..... |  |
| 1.1 Опис конструкції та службового призначення валу.....                                      |  |
| 1.2 Зміцнення – як один з методів підвищення несучої здатності авіаційних деталей.....        |  |
| 1.2.1 Ультразвукове зміцнення сталевими кульками.....                                         |  |
| 1.2.2 Алмазне вигладжування тіл обертання.....                                                |  |
| 1.3 Висновки.....                                                                             |  |
| 2 Методика проведення досліджень.....                                                         |  |
| 2.1 Оснащення для ультразвукового зміцнення.....                                              |  |
| 2.2 Оснащення для алмазного вигладжування.....                                                |  |
| 2.3 Висновки.....                                                                             |  |
| 3 Формування сприятливих властивостей поверхневого шару валів ГТД.....                        |  |
| 3.1 Оцінка впливу УЗЗ на властивості поверхневого шару.....                                   |  |
| 3.2 Переваги ультразвукового зміцнення.....                                                   |  |
| 3.3 Проведення досліджень.....                                                                |  |
| 3.4 Зміцнення радіуса шийки вала повітряного гвинта.....                                      |  |
| 3.5 Вплив алмазного вигладжування на тонкостінні вали ГТД.....                                |  |
| 3.6 Висновок.....                                                                             |  |
| 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....                                      |  |
| 4.1 Аналіз потенційних небезпек.....                                                          |  |
| 4.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки.....                                             |  |
| 4.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці                            |  |
| 4.4 Заходи з пожежної безпеки. Розрахунок вентиляційної системи                               |  |
| 4.4.1 Заходи щодо пожежної безпеки.....                                                       |  |
| 4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....                                              |  |

|                                                         |  |
|---------------------------------------------------------|--|
| 4.5.1 Прогнозування обстановки у вогнищах ураження..... |  |
| Висновки.....                                           |  |
| Перелік посилань.....                                   |  |
| Додаток А . Презентація .....                           |  |

## ВСТУП

Мета дипломної роботи: запропонувати технологічні методи фінішної обробки вала гвинта авіаційного ГТД для підвищення його експлуатаційних властивостей.

Задачі роботи:

- провести літературний пошук щодо даної проблеми;
- описати методику проведення досліджень;
- проаналізувати отримані результати;
- запропонувати рекомендації щодо ультразвукового зміцнення та алмазного вигладжування конструктивних елементів даної деталі;
- рекомендації щодо охорони праці.

Актуальність.

Продуктивність і економічність роботи виробу в значній мірі залежать від їх експлуатаційної надійності. Надійність виробу – це його властивість виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом певного часу або необхідного напрацювання.

Експлуатаційна надійність виробів обумовлюється досконалістю їх конструкції, технології виробництва і ремонту, умовами і рівнем їх використання. Терміни надійної роботи машин в цілому обумовлюються межею і темпом зношення відповідальних вузлів або деталей. Такими деталями в авіадвигунах являються зокрема вали.

Тому задача підвищення експлуатаційної надійності авіаційних валів зміцнюючими методами на фінішному етапі їх виготовлення є актуальною.

# 1 УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗМІЩЕННЯ І АЛМАЗНЕ ВИГЛАДЖУВАННЯ – УСПІШНІ МЕТОДИ ППД СКЛАДНИХ ВАЛІВ

## 1.1 Опис конструкції та службового призначення валу

Деталь – вал гвинта газотурбінного двигуна.

Газотурбінний двигун AI-450-M1 це сучасний авіаційний двигун з еквівалентною потужністю 276 кВт.

Газотурбінний двигун AI-450-M1 призначений для використання на пасажирських літаках Ан-148 та інших літаках різного призначення.

Двигун AI-450M1 призначений для легких гелікоптерів і літаків в класі злітної ваги 1500-4000 кг і може бути використаний у складі як дводвигунових, так і одновигунових силових установок літальних апаратів.

При розробці технологічного проекту двигуна AI-450M1 закладалися такі основоположні принципи:

- забезпечення високого рівня тактико-технічних, експлуатаційних і економічних характеристик двигуна;
- скорочення обсягів витрат і термінів на створення, доведення і сертифікацію двигуна;
- скорочення термінів на впровадження двигуна в серійне виробництво.

Експлуатація двигуна в якості силової установки вертольота на початковому етапі регулярної експлуатації повинна виконуватися з фіксованими значеннями ресурсних показників з постійним переходом на експлуатацію за технічним станом.

Тип: турбовальний з вільною силовою турбіною.

Компресор: одноступінчастий, що включає відцентрове колесо, радіальний лопатковий дифузор і вісьовий спрямляючий апарат. Передній корпус компресора є силовим елементом двигуна, в якому розташовано передню опору ротора газогенератора.

Турбіна компресора: надзвукова одноступенева з охолоджуваними сопловими і робочими лопатками, виготовленими з жароміцного сплаву.

Вільна турбіна: осьова, одноступенева.

Ротор вільної турбіни складається з робочого колеса, вала і індуктора. На валу вільної турбіни змонтовані внутрішня обойма роликотідишника і елементи ущільнення масляної порожнини. Робоче колесо складається з диска виконаного з жароміцного нікелевого сплаву і не охолоджуваних робочих лопаток з жароміцного сплаву. Центрування вала з диском здійснюється за допомогою восьми стяжних болтів. З боку вихідного пристрою встановлений індуктор, для вимірювання частоти обертання ротора вільної турбіни. Вал вільної турбіни призначений для передачі крутного моменту на редуктор.

Вал (рис. 1.1) виготовлено з хромонікелевої сталі 40ХН2МА. Базові характеристики та хімічний склад матеріалу приведено в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Загальна характеристика матеріалу 40ХН2МА

|                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Марка                   | Сталь 40ХН2МА (ЕП410)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Класифікація            | Сталь жароміцний високолегована                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Загальна характеристика | Нержавіюча хромонікелева сталь аустенитно-мартенситного класу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Застосування            | Сталь 40ХН2МА застосовується: для виготовлення прутків гарячекатаних і кованих, а також поковок, призначених для подальшої холодної механічної обробки, або для подальшої гарячої механічної обробки (штампування, кування, прокатки і т.п.) при виготовленні деталей машин; для виготовлення деталей агрегатів авіаційної техніки; для виробництва зварювального дроту, що застосовується для наплавлення деталей і зварювання металоконструкцій в енергетичному машинобудуванні; для виготовлення зварювальних електродів. |

Сталь добре піддається обробці тиском, зварюванню, зберігає властивості

до 600-700° С, не окрихчується, не чутлива до хладноломкості, але схильна до міжкристалітної корозії. Термообробка: гарт , відпал.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад матеріалу 40ХН2МА

| Хімічний елемент           | Відсоток<br>,% |
|----------------------------|----------------|
| Вуглець (C)                | 0,08           |
| Хром (Cr)                  | 14 - 16        |
| Нікель (Ni)                | 4 - 6          |
| Кремній (Si), не більше    | 0,8            |
| Марганець (Mn),, не більше | 1              |
| Фосфор (P), не більше      | 0,035          |
| Сірка (S), не більше       | 0,03           |
| Мідь (Cu) не більше        | 2              |
| Титан (Ti) не більше       | 1              |

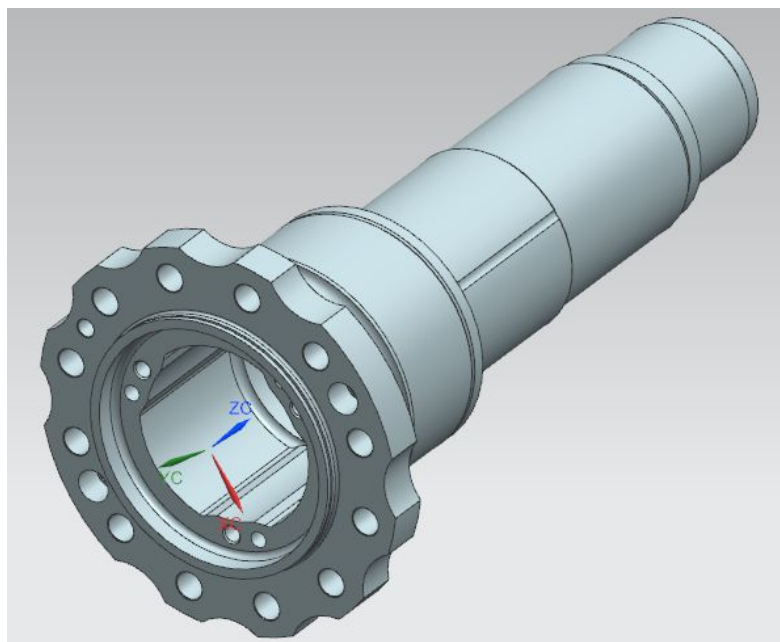


Рисунок 1.1 – Об’ємна модель валу

## 1.2 Зміцнення – як один з методів підвищення несучої здатності авіаційних деталей

Зміцнення металів є перспективним напрямком підвищення надійності, довговічності з одночасним зменшенням металоємності і собівартості деталей машин, приладів і обладнання, інструменту та технологічної оснастки.

Насиченість сучасної авіаційної техніки комплексом взаємопов'язаних агрегатів і систем висуває на перший план завдання щодо забезпечення безвідмовної роботи всіх деталей і вузлів протягом заданого ресурсу. Несправність окремих деталей в ряді випадків може привести до неможливості виконання завдання.

Цим пояснюється велика увага, яка приділяється в сучасному виробництві питанням підвищення надійності, довговічності, вдосконалення чистової обробки металів, дослідження та впровадження у виробництво високопродуктивних фінішних процесів, які вирізняються високими якісними показниками.

Якість, експлуатаційна надійність промислових виробів - машин, механізмів, приладів тощо - знаходиться в безпосередній залежності від відповідних властивостей деталей і складальних одиниць. Властивості останніх пов'язані, в свою чергу, перш за все з властивостями їх конструкційних матеріалів. Статична і динамічна міцність, опір крихкому руйнуванню, задирі і зносостійкість, опір втомному руйнуванню, фізичні, корозійні і інші властивості матеріалів належать до числа основних факторів, що визначають надійність і довговічність машин.

Проблема довговічності може вирішуватися не тільки підвищенням легуючих елементів в матеріалі деталей, але і технологічними методами, що забезпечують спрямовану зміну фізико-механічних та інших властивостей поверхневого шару деталей при найменших матеріальних і енергетичних витратах. Найбільш простими методами поліпшення експлуатаційних властивостей машин, що отримали останнім часом широкого поширення, є

обробно-зміцнюючі методи обробки поверхонь виробів поверхневим пластичним деформуванням (ППД).

Поверхні металевих виробів, підданих методам ППД, мають високу ступінь чистоти і зміцнення, що забезпечує значне поліпшення експлуатаційних властивостей виробів: підвищення зносостійкості, втомної міцності тощо [1,2,3 та ін.].

### 1.2.1 Ультразвукове зміцнення сталевими кульками

В ряду зміцнюючих технологій особливе місце займає ультразвукове зміцнення (УЗЗ) різними інструментами [4-6 та ін.]. Попередня механічна обробка поверхні металу формує новий мікрорельєф, для забезпечення експлуатаційних характеристик деталі. Однак після процесу обробки, такого як шліфування, в поверхневому шарі обробленої деталі залишаються великі стискаючі і розтягуючі напруження, які негативно впливають на зносостійкість поверхні. Отже, потрібна додаткова доробка. Існують різні способи доопрацювання поверхонь: лазерна обробка, дробоструменева, обробно-зміцнююча, нанесення і закріплення на поверхні порошків тощо. Перспективним є метод комплексної механічної та фізико-технічної обробки поверхонь, заснований на зіткненні сталевих кульок і частинок легуючої речовини з оброблюваною деталлю під дією ультразвукового поля. При даному способі доопрацювання змінюються не тільки геометричні характеристики поверхні (за рахунок ударів сталевих кульок по поверхні зразка), але також її хімічний склад (за рахунок зчеплення частинок легуючої речовини з поверхнею зразка). Після обробки поверхня формується у вигляді системи мікроканалів різної конфігурації, або локальних відбитків (залежно від сили удару). У свою чергу, відбитки та канавки на поверхні металу являються олійними кишнями, які позитивно впливають на зносостійкість металевої поверхні.

Поверхнєве пластичне деформування широко застосовується в промисловості як засіб підвищення також втомної міцності деталей машин і



конструкцій. І це одна з основних задач машинобудівного виробництва - потреба в поліпшенні якості, підвищенні продуктивності, збільшенні довговічності і надійності машин і виробів. При поверхневому пластичному деформуванні (ППД) ультразвуковим інструментом підвищуються такі механічні характеристики, як міцність і твердість, що є наслідком зростання щільності дислокацій.

Ефективність дії ультразвуку пояснюється зниженням опору поверхневих шарів металу пластичному деформуванню і зменшенням коефіцієнта зовнішнього тертя. Зменшення сил тертя викликано зміною кінематики ковзання контактних поверхонь і характеру взаємодії поверхонь, що труться, а також підвищенням ефективності дії мастила.

Зміцнення металу ультразвуковою обробкою металевими кульками має низку особливостей:

- експресивність;
- висока ефективність;
- можливість обробки виробів, що не піддаються зміцненню іншими способами.

Крім того, поєднання ультразвукової з будь-якою іншою зміцнюючою обробкою часто може посилити ефективність останньої.

До переваг ультразвукового зміцнення слід також віднести можливість для певного класу деталей створення поверхневого, або об'ємного наклепу, їх комбінації [6-8 та ін.]. При цьому досягаються вигідний розподіл внутрішніх напружень в металі і такий структурний стан, при якому вдається підвищити в два-три рази запаси міцності деталей, що працюють при змінних навантаженнях, і значно збільшити термін їх служби, іноді в десятки разів.

Зміцнення деталей проводять в закритому об'ємі за рахунок кінетичної енергії зміцнюючих тіл – металевих кульок, діаметр яких варіюється від 0,68 до 3,5 мм.

Класичний ультразвуковий пристрій для зміцнення деталей [9] показано на рис. 1.2. Пристрій складається з магнітострикційного перетворювача 1

ультразвукових коливань, який з'єднано з хвилеводом, виконаним у вигляді цілісного тонкостінного циліндричного стакану 2. На стакані за допомогою фланця 3 закріплено робочу камеру 4. Пристрій має кришку 5, на якій можна закріпити оброблювану деталь або деталі 6. Металеві кульки визначеної маси поміщають на дно склянки-хвилеводу. При включенні генератора ультразвукових коливань вони поступово піднімаються в верхню камеру, зміцнюючи деталі.

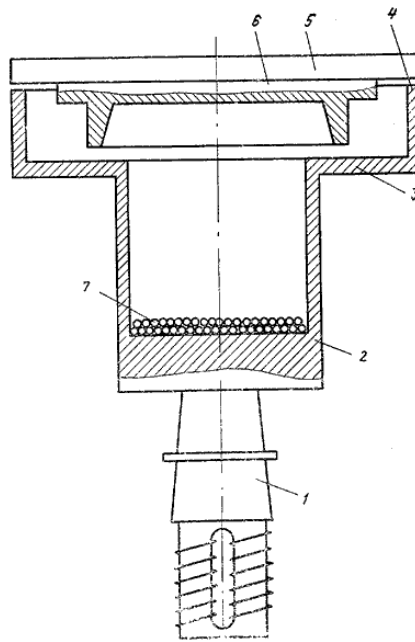


Рисунок 1.2 – Ультразвуковий пристрій для зміцнення деталей

Такий пристрій можна використовувати для мілких деталей або для зразків (лабораторних чи вирізаних з натурних деталей).

Хвилевод називають концентратором. Концентратори бувають різних типів: стакан, тор, ступінчастий, тощо.

Для валів запропоновано декілька конструктивних рішень. Автори [10] зміцнюють вали в ступінчастому концентраторі, поступово переміщуючи в ньому вал вздовж вісі (рис 1.3). Ультразвуковий генератор (УЗГ) 11 виробляє електричні коливання частотою 17...25 кГц і живить магнітострикційний перетворювач 9, який перетворює електричні коливання в механічні та передає їх концентратору 1, що передає пружну енергію коливань сталевим

кулькам 7, а також для створення потужного ультразвукового поля в робочій камері 2.

Циліндричний корпус 4 охоплює меншу ступінь концентратора 1 і кріпиться разом з пристосуванням 3, оброблюваним валом 5, механізмом подачі 6 і опорними стійками 10 на базовій плиті 8.

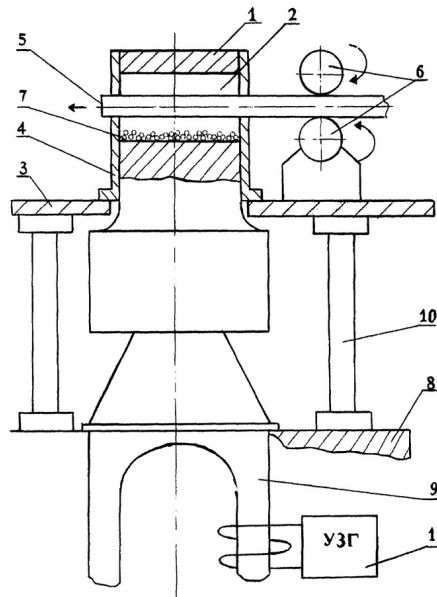


Рисунок 1.3 – Пристрій для зміцнення валів сталевими кульками в ультразвуковому полі

Ультразвукове деформаційне зміцнення деталей відбувається за рахунок передачі кінетичної енергії сталевим кулькам ультразвуковим полем, яке виникає в замкнутому просторі при розподіленні в стінках робочої камери пружних коливань ультразвукової частоти. При ударах кульок по поверхні виробу відбувається пластичне деформування матеріалу і, як наслідок цього, зміцнення по всіх його поверхнях.

Тобто здійснюється одночасне ультразвукове деформаційне зміцнення і переміщення деталей типу тіл обертання через робочу камеру.

Автор патенту [11] запропонував пристосування, що дозволяє зміцнювати колінчасті вали (рис. 1.4).

Пристрій для поверхневої обробно-зміцнюючої обробки деталей з концентратором 1 ступеневого типу працює від генератора 4, що подає

ультразвукові коливання через магнітострикційний перетворювач 3. На торці хвилеводу утворено асиметричне гніздо 2 для розміщення оброблюваної деталі і робочого інструмента у вигляді сталевих кульок 5. Кульки, інтенсивно переміщуючись всередині гнізда, вдаряють по поверхні деталі 6, зміцнюючи її. Технологічний фланець 7 розташований перпендикулярно хвилеводу на опорних стійках 8, закріплених разом з магнітострикційним перетворювачем 3 на станині 9 пристрою.

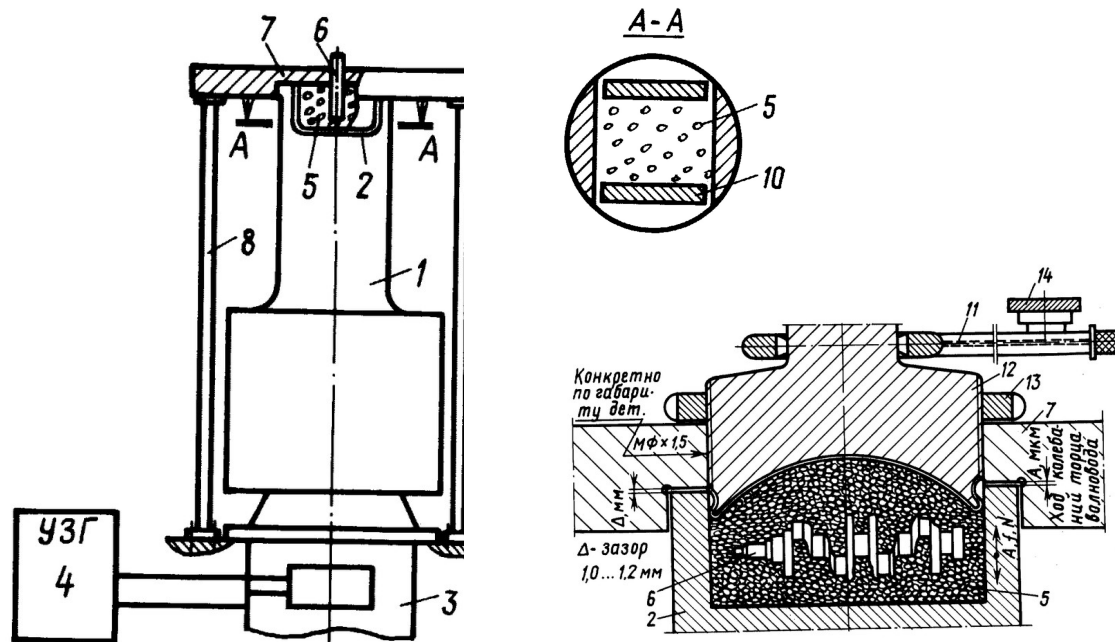


Рисунок 1.4 – Пристрій для зміцнення деталей «коленвал»

Для підвищення продуктивності і якості обробки сталеві кульки щільно упаковують в гнізді за допомогою пуансона 12 і динамометричного ключа 11 з приладом 14 для вимірювання статичного зусилля. Обробка деталі проводиться як за допомогою дробу, так і за допомогою ультразвукових коливань, а також в змішаному варіанті.

Сутність процесу ультразвукового зміцнення полягає в наступному.

Звук – пружна деформація, що розповсюджується в середовищі у вигляді хвилі. Пружна хвиля – періодична в просторі і часі. Зміна стану середовища, яка періодично повторюється в часі, називається коливанням, а частина

середовища, зайнята хвилею, називається звуковим полем.

При поширенні пружної хвилі в середовищі виникають механічні деформації стиснення і зсуву, які переносяться хвилею з однієї точки середовища в іншу, при цьому має місце перенесення енергії пружної деформації у відсутності потоку речовини.

Тверді тіла володіють пружністю форм, тобто прагнуть зберегти форму при впливі на них механічних напружень. Завдяки цій властивості вони здатні передавати не тільки напруження стиснення і розтягування, але також зсувні і крутильні напруги. В результаті в твердих тілах можуть виникати поздовжні, поперечні крутильні і інші типи хвиль.

Будь-яка гармонійна пружна хвиля характеризується наступними основними параметрами:

- амплітуда коливального зміщення частинок середовища -  $A$ ;
- частота коливання -  $f$ ;
- довжина хвилі -  $\lambda$ ;
- коливальної швидкості  $v$ ;
- звуковим тиском -  $P$ .

Залежно від довжини хвилі і частоти, пружні коливання поділяються на інфразвукові, з частотою коливання до 20 Гц, звукові, частота яких лежить в межах від 20 до  $1,5 \cdot 10^4$  Гц, ультразвукові, частота від  $1,5 \cdot 10^4$  Гц до  $10^9$  Гц і гіперзвукові, частота яких більше  $10^9$  Гц.

Поширення в середовищі ультразвукових хвиль високої інтенсивності призводить до зміни фізико-механічних властивостей середовища, що дозволяє при ППД отримати переваги, які не досяжні іншими методами обробки:

- істотно знизити статичні зусилля при деформації металу і сплавів;
- виробляти роботу через передачу кінетичної енергії робочим тілам в просторово-обмежених обсягах газоподібного середовища, забезпечуючи динамічну об'ємність процесу ППД деталей.

### 1.2.2 Алмазне вигладжування тіл обертання

У зв'язку з безперервним підвищенням жорсткості умов роботи і режимів експлуатаційної навантаженості валів газотурбінних двигунів, зростанням вимог до зменшення їх металоємності, дослідження поверхневого деформаційного зміцнення валів є актуальними. При розробці технологічного процесу тонкостінних авіаційних валів необхідно врахувати умови експлуатації деталі та вжити заходів щодо збільшення надійності виробів за рахунок підвищення його міцності.

Несуча здатність авіаційних валів значною мірою визначається станом поверхневого шару, який формується на фінішних етапах технологічного процесу і умов експлуатації. В процесі експлуатації мали місце випадки руйнування валів, пов'язані з появою і розвитком втомних тріщин в місцях концентрації напружень від слідів обробок (рисок, подряпин) після таких фінішних операцій як шліфування та полірування.

Слід зазначити, що авіаційні вали виготовляються з високолегованого сплаву, чутливого до концентрації напружень, є тонкостінними і мають велику кількість галтелів, отворів і виточок [4].

Аналіз результатів тензометрування вала компресора високого тиску показав, що експлуатаційний спектр навантаження утворюється за рахунок напружень, викликаних оболонковими коливаннями його циліндричної частини, вигинистих і крутильних коливань ротора. Величина напруги, викликаного оболонковими коливаннями, досягає 3 МПа і проявляється з частотою від 335 до 1600 Гц за першою формою і з частотами 1450-3200 Гц по більш складних форм коливань. Зародження багатоочагової втомної тріщини вала компресора високого тиску було викликано впливом високочастотних вібрацій.

Вибір методу і режимів деформаційного зміцнення валів залежить від величини і характеру експлуатаційних навантажень, конструктивних особливостей, механічних характеристик матеріалів і виду попередньої

обробки. Для підвищення несучої здатності валів застосовується алмазне вигладжування, область використання якого залишається досить вузькою.

Слід зазначити, що підвищення опору втоми вал КВД можна отримати при призначенні режимів вигладжування з урахуванням механічних характеристик матеріалу, товщини стінки, рівня залишкових напруг, виду попередньої обробки і конструктивних особливостей [6,12].

Застосування алмазу для вигладжування обумовлено його високою твердістю, зносостійкістю і теплопровідністю, а також тим, що коефіцієнт тертя пари «алмаз-метал» порівняно низький [3,4,7,13,14].

Освоєння виробництва алмазних наконечників вітчизняною промисловістю дає підставу вважати, що процес алмазного вигладжування є економічно виправданим і має широке застосування в машинобудуванні.

Процес обробки алмазним вигладжуванням не вимагає спеціального обладнання і здійснюється на звичайних токарно-гвинторізних (рис. 1.5) або фрезерних верстатах і дозволяє отримати високу якість поверхні зовнішніх і внутрішніх поверхонь тіл обертання і площин. При алмазному вигладжуванні поверхневий шар деталей вільний від абразивних включень, що покращує експлуатаційні властивості деталей машин.



Рисунок 1.5 – Алмазне вигладжування на токарному верстаті [15]

Обробці алмазним вигладжуванням піддаються: вуглецеві сталі (нормалізовані, покращувані, загартовані), нержавіючі, жароміцні сталі та

сплави, бронзи, алюмінієві сплави тощо.

Алмазне вигладжування проводиться після попереднього шліфування або чистової токарної обробки.

Інструментом для вигладжування служить алмазний наконечник, закріплений в пружинному або пружному тримачі. Алмазний наконечник (рис. 1.6) є оправкою 2 з впаяним на її кінці алмазом 3. Робоча поверхня алмазу має форму сфери або циліндру радіусом  $R = 0,8 \dots 4$  мм з високим ступенем чистоти.



Рисунок 1.6 – Алмазні наконечники [16,17]

Тримач з наконечником встановлюється в супорт токарного верстата і підводиться до деталі до створення певного зусилля притиску наконечника  $P_y$  (зусилля вигладжування) до оброблюваної поверхні. Деталь обертається з частотою обертання  $n$ , об/хв., забезпечуючи встановлену швидкість вигладжування  $V$ , м/хв (рис. 1.7). Після підведення інструменту до деталі, каретці призначається поздовжня подача ( $S$ , мм/об).

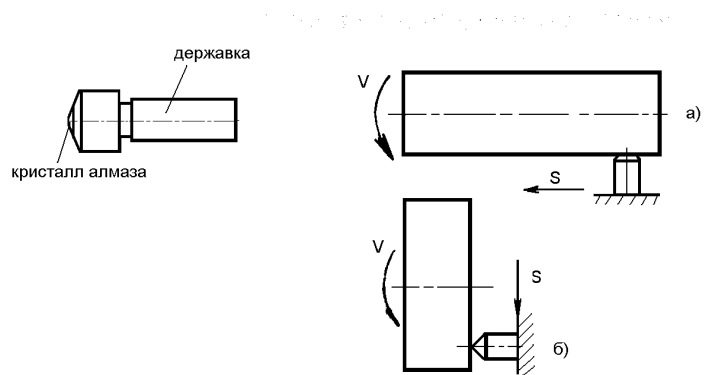


Рисунок 1.7 – Кінематика вигладжування [18]



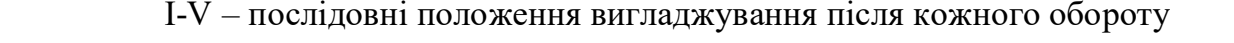


Рисунок 1.8 – Схема деформації поверхні під час вигладжування [19]

Дослідженнями встановлено[6,12], що приріст твердості тим більше, чим

При зниженні окружної швидкості поліпшення якості поверхні є незначним, крім того, знижується продуктивність обробки, тоді як збільшення понад 35 м/хв. призводить до виникнення вібрацій.

Так само на шорсткість оброблюваної поверхні істотно впливає величина подачі інструменту. Зазвичай, чим нижче величина подачі, тим менше висота мікронерівностей вигладжуваної поверхні. Однак при дуже малих значеннях подачі якість поверхні може погіршуватися внаслідок великої кратності прикладання навантаження, крім того, знижується продуктивність.

### 1.3 Висновки

1. Деталь вал гвинта є особововідповідальною (її руйнування може мати важкі наслідки) деталлю авіаційного двигуна, складних геометричних форм, а також тонкостінною. Має багато концентраторів напружень, таких як галтелі, різкі зміни форми, перепади діаметрів, мілкі отвори тощо. Це деякою мірою впливає на її експлуатаційні показники і знижує гарантований ресурс.

2. Підвищити експлуатаційні властивості деталі, такі як надійність, несуча здатність, опір втомленості тощо, можна, зокрема отримавши сприятливі властивості поверхневого шару: шорсткість, наклеп, залишкові напруження.

3. Тому дослідження зміцнюючих фінішних методів технологічного процесу при виготовленні валу (УЗЗ та алмазного вигладжування), які мають можливість впливати на вищеназвані властивості, є актуальною задачею.

## 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Оснащення для ультразвукового зміцнення

Для здійснення процесу застосовується стандартна апаратура:

- ультразвукові генератори - УЗГ-2-М, УЗГ-3-4м;
- магнітострикційні перетворювачі типу ПМС-15А-16.

Робочим тілом служать кульки діаметром від 2,35 до 2,50 мм за ГОСТ 3722-81.

Конструкція установок і оснащення повинна передбачати:

- можливість вільного завантаження і вивантаження деталей;
- взаємні переміщення хвилеводної системи і робочого столу для настройки, ремонту або контролю роботи;
- постійне фіксування деталі;
- утримання робочих тіл в робочому обсязі;
- підведення і відведення охолоджуючої рідини (води) для обмоток перетворювача і підведення електричних проводів, що йдуть від генератора;
- установку звукоізолюючого кожуха.

Установка УЗЗ складається з ультразвукового генератора, магнітострикційного перетворювача, пристрою для закріплення магнітострикційного перетворювача з концентратором, робочого столу і звукоізолюючого кожуха.

Ультразвуковий генератор призначено для перетворення електричної енергії промислової частоти (50 Гц) в електричну енергію ультразвукової частоти та передачі її в магнітострикційний перетворювач. Останній перетворює електричну енергію ультразвукової частоти в механічну енергію пружних коливань ультразвукової частоти і передає ці коливання хвилеводу, закріпленому за допомогою різьбової шпильки на випромінюючому торці перетворювача.

Хвилевод (концентратор) призначено для посилення передачі енергії ультразвукових пружних коливань магнітострикційного перетворювача

середовищу і кулькам, які перебувають в робочому об'ємі.

Основними характеристиками, що визначають якість обробки, є: частота коливання 17...44 кГц, амплітуда коливання 8...20 мкм.

Режими зміцнення.

Оптимальний режим обробки в ультразвуковому полі, що забезпечує отримання заданої якості поверхневого шару, здійснюється регулюванням основних параметрів процесу:

- енергії і частоти ударів кульок;
- розміру і кількості застосовуваних кульок;
- тривалості процесу.

Кінетична енергія удару кульки по оброблюваній поверхні деталі, без урахування взаємодії з зонами змінного тиску в середовищі, прямо пропорційна масі кульки, квадрату частоти і коливань випромінюючих поверхонь хвилеводу, що заповнює робочий об'єм. Бажано застосовувати діаметр кульок найменший, тому що і кінетична енергія удару кульки буде меншою. Це в свою чергу призведе до зниження шорсткості поверхневого шару. Відомо, що шорсткість – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють рельєф поверхні. Шорсткість призводить до появи тріщин і поломки деталей. Інтервал застосовуваних амплітуд коливань випромінюючих поверхонь хвилеводу знаходиться в межах 0,01...0,15 мм, а використовуваний діапазон частот 16..22 кГц.

Розмір застосовуваних кульок визначається з умов можливості обробки всіх радіусів переходу від однієї поверхні до іншої (в нашому випадку розмір кульки повинен бути середнім), а також можливість отримання оптимального ступеня деформації оброблюваних поверхонь і виконання вимог до шорсткості. Зі збільшенням діаметра кульок шорсткість погіршується, глибина залягання залишкових напружень стиснення збільшується, а їх максимальна величина на поверхні зменшується. Кількість (маса) кульок впливає на шорсткість і залишкові напруження. Зі збільшенням кількості кульок шорсткість погіршується, а ступінь деформації поверхні зменшується.

Тривалість процесу при інших рівних умовах впливає на залишкові напруження і шорсткість; при збільшенні тривалості обробки шорсткість погіршується, а величина і глибина залягання наведених залишкових напружень збільшується.

## 2.2 Оснащення для алмазного вигладжування

Алмазне вигладжування виконувалося за допомогою інструменту з наконечниками з штучного алмазу (рис. 2.1) на токарно-гвинторізному верстаті. Використовували сферичні алмазні інструменти з різними радіусами сфери. Режим вигладжування був наступний: навантаження (сила обкатування)  $P_y = 10$  4-12 кгс, окружна швидкість обкатування  $V = 50$  м/хв, подачу інструмента  $S = 0,03 \dots 0,136$  мм/об.



Рисунок 2.1 – Алмазний інструмент з сферичним наконечником

## 2.3 Висновки

1. Запропоновано методику проведення досліджень зміцнення сталевими кульками в ультразвуковому полі.
2. Запропоновано методику проведення досліджень зміцнення алмазним вигладжуванням валу гвинта.

### 3 ФОРМУВАННЯ СПРИЯТЛИВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ВАЛІВ ГТД

#### 3.1 Оцінка впливу УЗЗ на властивості поверхневого шару

Розглянемо і проаналізуємо отримані дані таких досліджень.

1. Розглянемо тривалість процесу. 2 зразка: з них перший зразок зі сталі ЕІ961-Ш, а другий зі сталі ЕП479-Ш. Всі зразки зміцнювали 7, 10, 15 хвилин і без УЗУ. Порівняли дані, отримали залежності залишкових напружень по глибині поверхневого шару. З них можна зробити висновок, що чим більше відстань від поверхні, тим менше стає залишкове напруження, і чим більше тривалість процесу, тим більше величина і глибина залягання залишкових напруг. Звідси випливає, що раціональне тривалість 10 хвилин.

Залишкові напруження стиснення [12]:

$$\sigma = \frac{4}{3} \cdot \frac{K}{L^2} \cdot \frac{E \cdot b}{1 - \gamma} \cdot \frac{1 - 3e}{e}; \quad (3.1)$$

де  $\sigma$  - середній рівень напруження, Гкс/мм<sup>2</sup>;

K - величина прогину деталі в межах прийнятої бази, мм;

L - база пристосування - довжина зміцнюваної частини деталі, мм;

b - товщина деталі, мм;

E - модуль Юнга.

2. Розглянемо, як діаметр кульок впливає на шорсткість: для цього уточнимо, що матеріал деталі ЕІ 961 - Ш; при цьому, шорсткість поверхні - Ra на готових деталях до зміцнення 1,6 мкм; матеріал кульок ШХ15, діаметр кульок від 2,35 до 2,50 мм; тривалість операції 10 хв. Визначаємо висоту мікронерівностей (глибину занурювання кульки) [12, 20]:

$$R_z = h = 2 \pi \cdot \zeta \cdot f \cdot R \cdot \sqrt{\frac{2\rho}{3\sigma_{0.2}}}; \quad (3.2)$$

де  $\zeta$  - амплітуда коливання стінки концентратора, мм;

f - частота коливання, Гц;

R - радіус кульки, мм;

$\rho$  - масова густина матеріалу, дорівнює  $7,95 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^4}$ ;

$\sigma_{0,2}$  для EI 961 - III дорівнює  $95 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ .

$$Rz_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 2,35 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0188 \text{ мм};$$

$$Rz_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 2,38 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0190 \text{ мм};$$

$$Rz_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 2,40 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0192 \text{ мм};$$

$$Rz_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 2,45 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0196 \text{ мм};$$

$$Rz_5 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 2,50 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,020 \text{ мм}.$$

Звідси бачимо, що заводські розміри кульок погіршують поверхню деталі збільшуючи шорсткість на порядок (після шліфувальної операції шорсткість була 1,6 мкм, а після УЗУ стала 3,2 мкм. Раціональний розмір кульок: діаметр від 0,68 до 1,5 мкм.

$$Rz_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 0,68 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,00544 \text{ мм};$$

$$Rz_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 0,70 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0056 \text{ мм};$$

$$Rz_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,0080 \text{ мм};$$

$$Rz_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1,35 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,011 \text{ мм};$$

$$Rz_5 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 95}} = 0,012 \text{ мм}.$$

Зробимо висновок: з отриманих результатів видно, що шорсткість стала 0,8 мкм при діаметрі кульок 0,68 мм. За графіком (рис 3.1) залежності робимо висновок, що при збільшенні діаметра кульок висота мікронерівностей поверхні зростає.

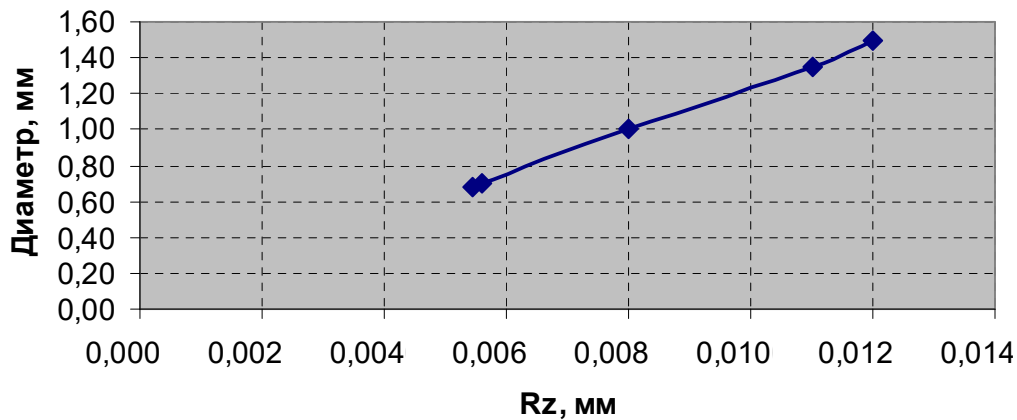


Рисунок 3.1 - Графік залежності між діаметром кульок і шорсткістю поверхні

Визначаємо глибину наклепу при різних амплітудах коливань стінок концентратора [20]:

$$H_1 = 4R \sqrt{\pi/2 \cdot f \cdot \zeta \sqrt{\frac{\rho}{6\sigma_{0.2}(1+\mu)}}}; \quad (3.3)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт відновлення. Залежить від фізико-механічних властивостей тіл дотику.

$$H_1 = 4 \cdot 0,68 \cdot \sqrt{\pi/2 \cdot 0,01 \cdot 18000 \sqrt{\frac{7,95 \cdot 10^{-10}}{6\sigma_{0.2}}(1+0,9)}} = 0,41 \text{ мм};$$

$$H_2 = 4 \cdot 0,68 \cdot \sqrt{\pi/2 \cdot 0,13 \cdot 18000 \sqrt{\frac{7,95 \cdot 10^{-10}}{6\sigma_{0.2}}(1+0,9)}} = 0,419 \text{ мм};$$

$$H_3 = 4 \cdot 0,68 \cdot \sqrt{\pi/2 \cdot 0,15 \cdot 18000 \sqrt{\frac{7,95 \cdot 10^{-10}}{6\sigma_{0.2}}(1+0,9)}} = 0,51 \text{ мм}.$$



З графіка (рис 3.2) видно, що при збільшенні амплітуди коливань глибина наклепу зростає.

Зміцнення деталей в ультразвуковому полі відрізняється від інших методів поверхневого деформування деталей насамперед високою частотою ударів (до 3000 ударів/с) кожної кульки по поверхні деталі і одночасністю деформації всіх поверхонь, не захищених від впливу кульок (динамічна об'ємність процесу).

Після інтенсивного деформування деталей в полі ультразвуку щільність дислокацій в поверхневому шарі зростає на 2-3 порядки, з'являються сплетення дислокацій і немає фіксованих площин. Це зменшує ймовірність появи потенційних місць для зародження втомної тріщини і сприяє суттєвому підвищенню довговічності деталей в експлуатації.

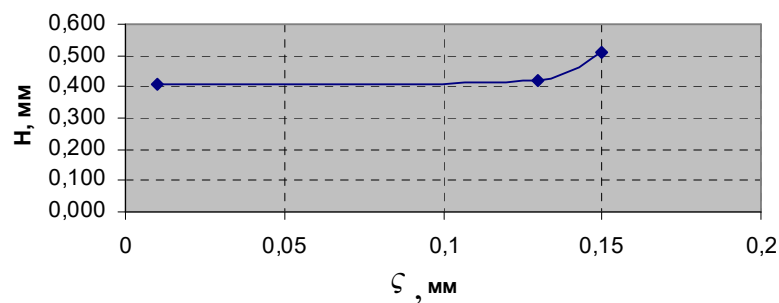


Рисунок 3.2 - Графік залежності глибини наклепу  $H$  від амплітуди коливання  $\zeta$

Динамічна об'ємність процесу дозволяє забезпечити збереження вихідних даних розмірів оброблюваних поверхонь в межах креслення.

Використання стандартної ультразвукової апаратури, а також мала кількість робочих тіл, необхідна для здійснення процесу, відносно висока продуктивність і універсальність ультразвукових установок дозволяє різко, в 20...40 разів зменшити трудовитрати при впровадженні процесів зміцнення в виробництво.

### 3.2 Переваги ультразвукового зміцнення

Переваги даного способу наступні:

- відсутність перепаду температур в поверхневому шарі металу, і, як наслідок, відсутність температурних напружень;
- можливість обробки деталей складної геометричної форми;
- відносно низька вартість технологічної операції обробки поверхонь металу;
- обробка заснована на використанні пластичних властивостей металу;
- відсутність шкідливих викидів, що негативно впливають на екологію процесу.

Для визначення раціональних режимів обробки досить складно побудувати математичну залежність, тому що неможливо точно визначити кут удару сталеві кульки, її швидкість, кількість частинок легованої речовини, вбитих кулькою в поверхню тощо.

### 3.3 Проведення досліджень

Найбільш широко ультразвукова обробка застосовується при створенні поверхневого наклепу, що дозволяє поліпшити такі експлуатаційні властивості виробів, як твердість, міцність, зносостійкість [10, с. 19].

Обробка викликає підвищення твердості поверхневого шару на 18% при початковій HRC 50 ... 51 і зростання внутрішніх стискають напруг до 1000 МПа. Глибина наклепаного шару становить 0,25 мм. Структурні зміни в поверхневих зонах викликають збільшення довговічності виробів в 1,5-3 рази при циклічних напруженнях 1650-2600 МПа. Збільшення рівня діючих циклічних навантажень знижує ефективність ультразвукового зміцнення. На думку авторів, підвищення довговічності виробів зі сталі, обробленої ультразвуком, викликане в основному за рахунок більш пізнього освіти початкової мікротріщини при циклічних навантаженнях в зміцненому поверхневому шарі.

Деталь - вал гвинта поміщали в концентратор типу «стакан». Для того, щоб зміцнювати необхідний радіус шийки, інші частини вала захищали кришками і ковпачками.

Використовували стандартну ультразвукову апаратуру: ультразвуковий генератор УЗГ-2-10 зі зворотним зв'язком; магнітострикційний перетворювач ПМС-15А-18; зміцнюючі тіла - сталеві кульки по ГОСТ 3722-81. Частота коливань хвильового концентратора складала 17,5 кГц, що відповідало резонансній частоті системи «концентратор-зміцнююче тіло». Резонансну частоту визначали за максимальною величиною кінетичної енергії та за допомогою датчика інтенсивності зміцнення, величиною звукового тиску, створюваного стінками концентратора.

Зміцнення здійснювали в концентраторі типу «стакан» при вертикальному розташуванні деталі. При обробці вал повітряного гвинта розташовується у внутрішній порожнині концентратора і незрушного щодо його випромінюючих поверхонь.

Деформаційне зміцнення поверхні шийки валу повітряного гвинта здійснювали методом пластичного деформування. Процес здійснювався в обмеженому обсязі повітряного середовища за рахунок енергії удару оброблюваних поверхонь сталевих кульок, що вібрують з ультразвуковою частотою. В результаті високої частоти ударів і великого прискорення відбувається інтенсивна пластична деформація поверхневого шару деталі, внаслідок чого змінюється початковий стан мікрогеометризації і фізичні властивості поверхневого шару, в ньому наводяться залишкові напруги стиску.

У неоднорідному середовищі: - повітря сталеві кульки наявність жорстких меж обсягу, через явища інтерференції, тобто відображення ультразвукової хвилі кульок від жорстких кордонів, визначення параметрів ультразвукового поля ускладнюється.

Оптимальною формою робочого об'єму є циліндрична порожнина (пасивний концентратор), яка концентрує відображену ультразвукову хвилю в

геометричній осі циліндричної поверхні. Пасивний концентратор повинен виготовлятися з металу, ідентичного оброблюваним деталям.

Обсяг повітря в циліндрі, що має контакт з навколишнім повітрям з двох сторін, потрапляє в резонанс, коли відстань між випромінюючої поверхнею хвилеводу і відбиває дорівнює цілому числу, а закритий з одного кінця, потрапляє в резонанс, коли його довжина дорівнює непарному числу.

Для характеристики процесу взаємодії сталевих кульок з повітряним середовищем і поверхнею хвилеводу користуються поняттям акустичної жорсткості повітряного середовища.

Акустична жорсткість суттєво впливає на динаміку процесів в робочому об'ємі.

#### 3.4 Зміцнення радіуса шийки вала повітряного гвинта

Досліджували радіус шийки вала після ультразвукового зміцнення. Зміцнення проводилося 10 хвилин, діаметр кульок  $\varnothing 2,35$  мм, вага кульок - 300 г.

Вал повітряного гвинта виготовлений з матеріалу 40ХН2МА.

У роботі використана наступна апаратура та обладнання:

- вібростенд електродінамічний ВЕДС 1500;
- тензоусилитель ТУП – 54;
- вольтметр В7 – 27;
- мікроскоп МБС – 2;
- частотомер ЧЗ - 36 .

Вал закріплювався в пристосуванні, яке забезпечує консольний вигин вала при випробуванні, по втулці, встановленій з натягом на діаметрі  $\varnothing 117$  мм, відповідному посадці підшипника.

Випробування, проведені при кімнатній температурі, і руйнування вала при першій згинальній формі коливань.

Для контролю діючих напружень вал препарований тензодатчиком з базою 1 мм.

При дослідженні використаний метод дозволяє поступово збільшувати навантаження згідно ОСТ 1 00870 - 77.

Вал випробуваний до руйнування з відпрацюванням базового циклів на кожному рівні навантаження.

Ознакою руйнування прийнято падіння власної частоти коливань вала.

У порівнянні з вихідним варіантом збільшення межі витривалості валу становить 26,6%. Після ультразвукового зміцнення отримано найбільш стабільні значення меж витривалості. Ультразвукове зміцнення зменшує вплив нестабільності процесу виготовлення валів.

### 3.5 Вплив алмазного вигладжування на тонкостінні вали ГТД.

На якість вигладженою поверхні великий вплив мають зусилля вигладжування ( $P_y$ ), подача інструменту ( $S$ ), радіус робочої частини алмазу ( $R$ ), фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу і вихідна величина шорсткості ( $Ra_{вих}$ ) і хвилястості ( $H_{вих}$ ) поверхні.

З графіком (рис. 3.3) видно, що зі збільшенням зусилля вигладжування висота нерівностей зменшується спочатку досить швидко. Подальше збільшення зусилля вигладжування, на зміну висоти нерівностей практично не впливає. Це пояснюється, тим, що в міру заповнення западин матеріалом гребінців відбувається збільшення поверхні контакту робочої частини алмазу з оброблюваною поверхнею, що призводить до збільшення опору деформованого шару. Кожному матеріалу в залежності від його вихідних характеристик відповідає таке оптимальне зусилля вигладжування, при якому виходить найменша шорсткість вигладженої поверхні.

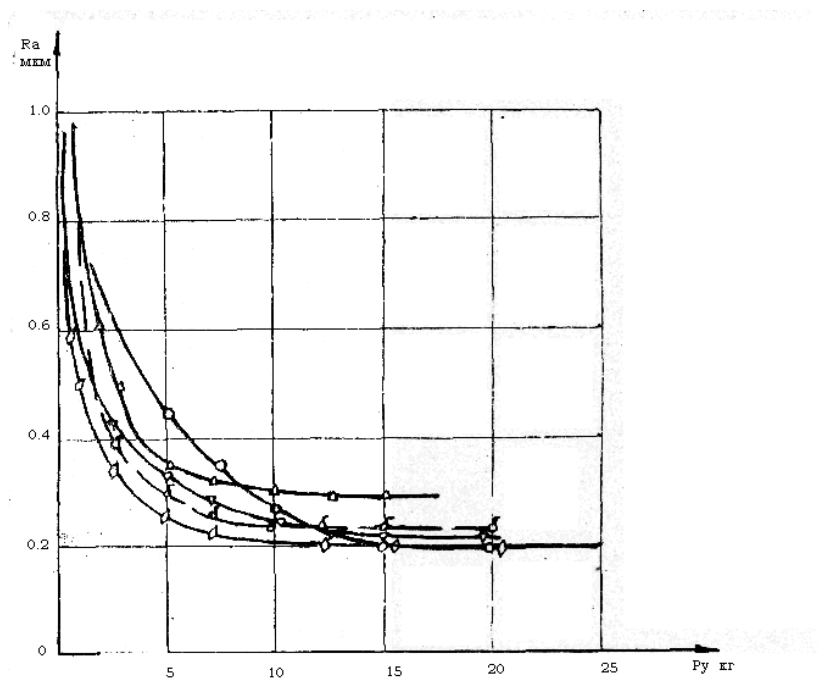
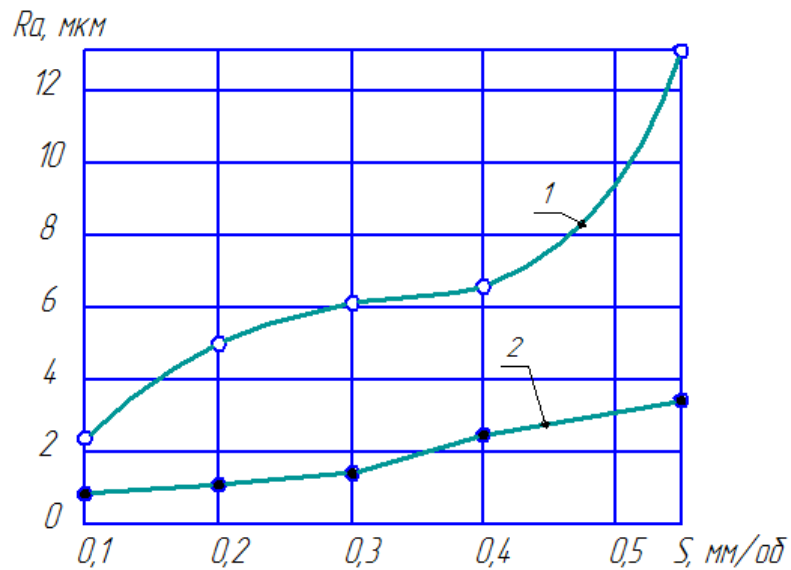


Рисунок 3.3 - Зміна шорсткості поверхні ( $R_a$ ) в залежності від зусилля вигладжування ( $P_y$ ),  $R = 1, 2$  мм;  $S = 0,05$  мм \ об.

На шорсткість вигладженої поверхні дуже впливає радіус алмаза: зі збільшенням радіуса заокруглення алмазу чистота поверхні поліпшується.

Вплив поздовжньої подачі ( $S$ ) алмазного інструменту на шорсткість поверхні при вигладжуванні різних матеріалів характеризує графік (рис. 3.4), з розгляду якого можна зробити висновок про значне погіршення якості поверхні з ростом, подачі.



1 -  $R_{сф} = 3 \text{ мм}$ , 2 -  $R_{сф} = 5 \text{ мм}$ .

Рисунок 3.4 - Залежність шорсткості  $R_a$  поверхні від величини поздовжньої подачі  $S$ .

Навіть, при незначному збільшенні подачі висота нерівностей різко зростає. Так, наприклад при зміні подачі алмаза від 0,05 мм/об до 0,15 мм/об висота нерівностей збільшується з 0,03 мкм до 0,2 мкм. Однак при вигладжуванні з подачею, яка дорівнює 0,02 мм/об, чистота поверхні досягає  $R_a = 0,02 \text{ мкм}$ , але при цьому знижується продуктивність обробки. Такі зміни чистоти поверхні в залежності від величини подачі алмазного інструменту закономірно для всіх оброблюваних матеріалів. Критерієм вибору подачі інструменту є необхідна чистота одержуваної поверхні, а також її фізико-механічні властивості.

Алмазне вигладжування можна застосовувати при обробці різних деталей (валів, циліндрів, золотникових пар, калібрів, ступиці, ресор і т. д.) І при цьому для матеріалів з різними фізико-механічними властивостями і вихідною шорсткістю.

Відомо, що в процесі різання відбувається зміцнення поверхневого шару. Однак при алмазному вигладжуванні спостерігається ще більше його зміцнення.

Нижче наводяться дані про ступінь і глибину зміцнення поверхневого шару вала КВД (матеріал 40ХН2МА) після алмазного вигладжування, які дозволяють найбільш правильно і ретельно розробити технологічний процес чистової обробки, враховуючи, що в багатьох випадках утворення і розподіл залишкових розтягуючих і стискаючих напружень в деталях однакової конфігурації ідентично. [12, 21, 22]

Вигладжування шліфованих поверхонь цих валів супроводжується зменшенням діаметральних розмірів всього на 3-4 мкм.

При вигладжуванні внутрішніх поверхонь вала при однакових значеннях сили вигладжування виходить величина стискаючих залишкових напружень вище в порівнянні з залишковими напруженнями на зовнішній поверхні. Мабуть, рівень напружень залежить від обсягу деформованого металу і розмірів площадки контакту між алмазом і поверхнею вала. При вигладжуванні внутрішньої поверхні алмаз контактує з увігнутою поверхнею вала. Це значно збільшує майданчик контакту в порівнянні з зовнішньою поверхнею і зменшує величину контактного тиску і відповідно глибину проникнення алмазного інструменту при однакових силах вигладжування. Ця обставина призводить до збільшення обсягу металу, зрушуваного в тангенціальному напрямку при вигладжуванні зовнішньої поверхні вала в порівнянні з вигладжуванням внутрішньої поверхні.

Алмазне вигладжування тільки внутрішньої поверхні тонкостінного вала зі сталі 40ХН2МА може призводити до несприятливого розподілу залишкових напружень по перерізу стінки. Рівні залишкових стискаючих і розтягуючих напружень залежать від співвідношення товщини пластично і упругодеформованого шарів металу. При жорстких режимах одностороннє зміцнення внутрішньої поверхні вала призвело до утворення в зовнішньому поверхневому шарі несприятливих розтягують залишкових напружень, які



будуть підсумовуватися з розтягують напруженнями від попередньої обробки (див. рис. 3.5).

При призначенні режимів алмазного вигладжування необхідно враховувати залишковий напружений стан від попередньої обробки і товщину стінки валу.

При вигладжуванні тонкостінних валів з товщиною стінки до 2 мм сила вигладжування в основному визначає величину стискаючих залишкових напружень у поверхні і величину розтягуючих напружень, що розтягують в упругодеформованій серцевині.

Для досліджень було взято вал газотурбінного двигуна (діаметр 425 мм, товщина стінки 2.8 мм) зі сталі 40ХН2МА ( $\sigma_B = 2700-3200$  МПа). Алмазне вигладжування вала, попередньо обробленого чистовим точінням, проводили по зовнішній і внутрішній поверхнях з силою  $P_y$ , що дорівнює 100, 150 та 200 Н ( $R_{сф} = 2,0$  мм;  $S = 0,08$  мм/об;  $V = 1,5$  м/с ). Після зміцнення з вала вирізали кільця шириною 8 мм, розрізали їх і визначали розподіл залишкових напружень.

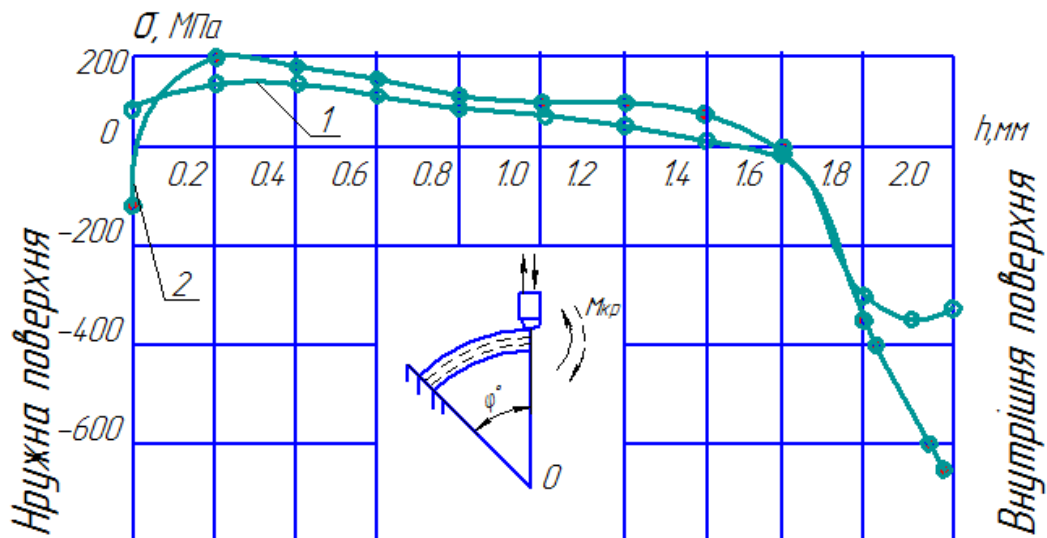


Рисунок 3.5 - Розподіл тангенціальних (1) і осьових (2) залишкових напружень по товщині стінки вала після вигладжування внутрішньої поверхні вала зі сталі 40ХН2МА ( $P_y = 200$  Н;  $R_{сф} = 2$  мм;  $S = 0,08$  мм/об)

Аналіз епюр тангенціальних залишкових напружень (див. рис.5.6) показує, що алмазне вигладжування збільшує їх рівень у порівнянні з рівнем при чистовому точінні. У дослідженому діапазоні сил збільшення  $P_y$  до 200 Н призводить до підвищення максимального значення стискаючих напружень у зовнішній і внутрішній поверхні вала і відповідно підвищується рівень розтягуючих залишкових напружень в упругодеформованій серцевині.

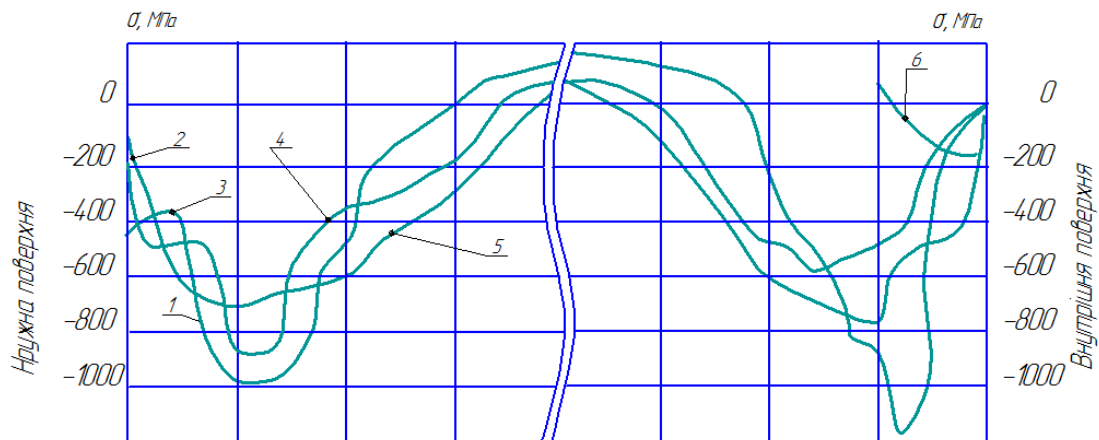


Рисунок 3.6 - Розподіл тангенціальних залишкових напружень по товщині стінки вала зі сталі 40ХН2МА після вигладжування з силами  $P_y$ , рівними 100 Н (1), 150 Н (2), 200 Н (3) і чистового точіння (4)

З огляду на, що значні за величиною розтягуючі залишкові напруження на глибині близько 300 мкм від поверхні можуть з'явитися причиною зародження втомної тріщини, алмазне вигладжування тонкостінних валів слід проводити по режиму ( $P_y = 100-150$  Н;  $R_{сф} = 3$  мм), що забезпечує отримання шорсткості в заданих межах.

### 3.6 Висновок

1. За допомогою досліджень, виконаних на зразках, встановлено, що при даних умовах проведення УЗЗ раціональний час проведення зміцнення 10 хвилин, а також що при збільшенні діаметру кульок погіршується

мікропрофіль поверхні –  $R_z$  росте. Тому раціональним значенням величини сталевих кульок є 0,68...1,5 мм. При замірі за допомогою індуктивного датчика амплітуди коливань стінок концентратора (при підвищенні потужності амплітуда зростає) встановлено незначне зростання глибини наклепу.

2. Після зміцнення УЗЗ радіуса шийки вала повітряного гвинта у порівнянні з вихідним варіантом збільшення границі витривалості становить 26,6%. Після УЗЗ отримані найбільш стабільні значення меж витривалості, тобто ультразвукове зміцнення зменшує вплив нестабільності процесу виготовлення валів.

3. Дослідження алмазного вигладжування показало, що зі збільшенням зусилля вигладжування  $P_y$  висота мікронерівностей зменшується спочатку досить швидко. Подальше збільшення зусилля вигладжування вище 10...15 кГс на зміну висоти нерівностей практично не впливає.

4. Чим більше радіус сфери алмазу, тим краще якість поверхні, і, навпаки, чим більше подача, тим гірше поверхня.

5. Двостороннє алмазне вигладжування тонкої стінки вала дає стискаючі напруження з обох боків, з визначеними режимами ( $P_y=100-150$  Н;  $R_{сф} = 3$  мм), що забезпечує сприятливий розподіл залишкових напружень і отримання шорсткості в заданих межах.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз потенційних небезпек

У дипломному проекті передбачено організацію механічного цеху з виробництва вала турбіни двигуна AI-450M1. Основні види небезпек можуть виникати при механічній обробці деталей, заготовок - «Вал турбіни» на верстатах AT-220B4, 2A55, MA-655A8, 3B161, 5K32П.

1.Механічні травми можуть виникати внаслідок організаційних причин:

- нерационального планування робочих місць;
- захащення робочого місця заготовками внаслідок неправильно спланованого технологічного процесу;
- порушення цілісності шкіри шорсткістю на поверхні заготовок, інструментів, загостреними поверхнями деталей і інструментів при роботі без засобів індивідуального захисту;
- можливі опіки при контакті з деталями або обладнанням при  $t^{\circ}$  вище  $60^{\circ}$  С при роботі без засобів індивідуального захисту або при неправильно підібраних режимах обробки деталі.

2.Механіческая травми також можливі при:

- поломки ріжучого інструменту - поломка різця або фрези, і травмування робочого осколками деталі або інструменту, пов'язані зі збоєм в керуючій програмі;
- подськальзиваніє і падінні персоналу при слизьких, вологих підлогах у взутті не відповідає вимогам процесу;
- ураження електричним струмом при порушенні правил електробезпеки, при відсутності захисного заземлення.

3.Опасності психофізіологічного характеру:

- нервові емоційні навантаження пов'язані з стресовими ситуаціями;
- кістково-м'язові порушення пов'язані з тривалими статичними навантаженнями, викликаними втому, погіршенням координації руху, збільшенням кількості помилок;

- фізичні перевантаження при установці і кріпленні великогабаритних деталей.

#### 4.Санітарно-гігієнічні причини погіршення здоров'я:

- недостатня освітленість, викликана невідповідністю кількості ламп виду виконуваної роботи - призводить до зорової втоми і погіршення зору;

- пульсації ламп ДРЛ викликають зорову втому;

- підвищена запиленість в зоні дихання робочих при відсутності засобів захисту або при порушенні технологічного процесу;

- підвищений рівень шуму може привести до дратівливості, втоми, збільшення кількості помилок;

- локальні вібрації призводять до віброзахворювання;

- подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів може викликати МОР 5% розчин Аквол-1 ГОСТ 1975-75 «Емульсоли. Технічні умови".

5.Опасності пов'язані з порушенням правил пожежної безпеки, що призводять до пожеж:

- витік горючих робочих газів;

- несправність електрообладнання;

- коротке замикання.

6.Неправильное поведінку персоналу в надзвичайних ситуаціях при ліквідації наслідків аварій, катастроф може призвести до травматизму працюючих.

#### 4.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

Для забезпечення безпечної роботи на металорізальних і інших видів станів робочі забезпечені наступними засобами захисту: рукавички, окуляри або захисна маска, спецодяг.

При розробці планування ділянки передбачена організація проходів, що забезпечує вільний доступ до всіх робочих місць і які є шляхами евакуації особового складу на випадок надзвичайної ситуації.

На робочому місці передбачена площа, де розташовуються стелажі, тара, столи та інші пристрої для розміщення пристосувань, матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готових виробів, відходів виробництва.

На кожному робочому місці є дерев'яні решітки на всю довжину робочої зони, шириною 0,6 м від виступаючих частин верстата. Зручне розташування інструменту, пристосувань в тумбочках і стелажах, заготовок в спеціальній тарі, використання планшетів для креслення знижує втому і виробничий травматизм.

Виробниче обладнання та робочі місця спроектовані з урахуванням фізіологічних і психологічних можливостей людини. Всі види технологічного устаткування зручні для огляду, змащування, налагодження, прибирання, установки і управління.

Прийомні столи всіх робочих місць обладнані катками, що значно полегшують переміщення важких вантажів при междооперационной транспортуванні. Висота штабелів заготовок на робочому місці обрана з урахуванням їх стійкості і зручності зняття з них деталей. Вона дорівнює 0,7 м; ширина між штабелями 0,8 м.

Використовувані затискні пристрої з обертовими частинами виконані обтічними без виступаючих частин. Обрана планування обладнання забезпечує підключення шлангів і проводки для підведення рідин і електроенергії ззаду і збоку. Для транспортування і зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва використовують спеціально виготовлену тару. При установці заготовок і зніманні деталей застосовують засоби механізації та автоматизації.

Навантаження і розвантаження вантажів здійснюють відповідно до ГОСТ 12.3.020-80 "Процеси переміщення вантажів на підприємствах. Вимоги безпеки". Для видалення стружки використовують спеціальні пристосування.

Стружка і пил магнієвих і титанових сплавів зберігаються в закритій металевій тарі. На металорізальних верстатах встановлені легкорухливі захисні екрани з оглядовими вікнами з загартованого скла, надійно захищають робітників від стружки і осколків, випадково зламаного інструменту, бризок МОР.

При установці верстатних пристосувань і різального інструменту, а також при знятті деталі після обробки використовуються брезентові рукавиці і бавовняні рукавички для запобігання рук від опіків і порізів.

На всіх металорізальних верстатах ділянки є блокування включення силового обладнання при неробочому і аварійному стані. Передбачені запобіжні захисні засоби для автоматичного відключення верстатів при виході будь-якого параметра устаткування за межі допустимих значень.

Обладнання, що використовується відповідає ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ «Оборудование производственное. Загальні вимоги до безпеки »

Категорія приміщення, згідно ПЕУ-86 «Правила улаштування електроустановок» - підвищеної небезпеки (сухе відносна вологість не більше 60%, з нормальною температурою - менше 30 ° С, з металобетон.

За вибухонебезпечності механічний ділянка відноситься до зони класу В-16, приміщення, в яких вибухонебезпечні суміші не утворюються при нормальних умовах експлуатації обладнання, але можуть утворитися при аваріях або несправності.

На ділянці застосовуються такі заходи по підвищенню вибухобезпеки: в гідросистемах із застосуванням горючих рідин (ГР) або ЛЗР встановлений контроль за рівнем масла в баку і не допускається перевищення тиску масла в системі вище передбаченого в паспорті; для мийки і знежирення обладнання застосовуються негорючі технічні миючі засоби, а також вибухобезпечні установки і способи. Для виключення можливості утворення вибухонебезпечних концентрацій газо-, паро- та пилоповітряних сумішей повітря з вмістом вибухонебезпечних відходів і пилу очищають до надходження його в вентилятор. Робоче місце і обладнання регулярно

очищається від горючого пилу, промасленого ганчір'я і різних горючих відходів.

Для безпеки від ураження електричним струмом, все електричне обладнання та інструменти заземлені. Все обладнання перевіряється раз в 6 міс. При цьому проводиться зовнішній огляд, перевіряють роботу на холостому ході не менше 5 хв., Вимірюють опір ізоляції, перевіряють справність кола заземлення. Електробезпека забезпечена відповідно до вимог ГОСТ 12.1.019-79 «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту ». Передбачене огороження струмопровідних частин обладнання, опір захисного заземлення  $R = 4 \text{ Ом}$ .

При використань електроінструменту застосовують засоби індивідуального захисту від ураження струмом (спеціальні гумові рукавички і спеціальні гумові килимки). Машину слід відключити від мережі при зміні робочого інструменту, установці насадок і регулюванні; при перерві в роботі; після закінчення роботи або зміни.

#### 4.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Метеорологічні умови в робочому приміщенні цеху (ГОСТ 12.1.005-88 "Загальні санітарно гігієнічні вимоги до повітря робочої зони") вказані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Метеорологічні умови на ділянці

| Сезон року      | Категорія робіт   | Температура повітря, ° С | Відносна вологість, % | Швидкість повітря, м/с |
|-----------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| холодний період | середній тяжкості | 18-20                    | 60-40                 | 0,2                    |
| теплий період   |                   | 21-23                    | 60-40                 | 0,2                    |



Для підтримки необхідної температури повітря і компенсування втрат в холодну пору року, на ділянці передбачено влаштування системи опалення відповідно до ДБН2.04.85-13«Отопление, вентиляция и кондиционирование». Допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря на робочому місці наведені в таблиці 4.3. Встановлено опалюють повітряні завіси при вході. Застосовується центральна система водяного опалення. У теплий період часу застосовується природна і механічна вентиляція з подачею повітря на робочого 20 м3 / год.

Коливання температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускається до 5 ° С, при цьому абсолютні значення температури повітря, виміряної на різній висоті і в різних ділянках приміщень протягом зміни, не виходять за межі допустимих величин.

Таблиця 4.2 - Допустимі норми температури, вологості і швидкості руху повітря на робочому місці

| Категорія<br>робот      | Температура<br>повітря, ° С | Відносна<br>вологість, % | Швидкість<br>повітря, м/с | Температура<br>повітря на<br>робочому<br>місці, ° С |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| середньої<br>складності | 17-23                       | 75                       | 0,1-0,3                   | 13-24                                               |

Природного освітлення недостатньо для забезпечення нормального освітлення. Для загального освітлення застосовуються в якості джерела світла газорозрядні лампи, які з метою уникнення стробоскопічного ефекту підключені на різні фази електромережі. На робочому місці встановлено місцеве освітлення.

#### *Розрахунок освітленості кімнати для робітників ІТР*

Світлотехнічні розрахунки є основою при проектуванні освітлювальних установок. Основним завданням розрахунку є визначення величини

необхідного світлового потоку для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площі.

Найбільш точним методом при розрахунку загальної освітленості, що враховує прямий світловий потік світильників і світло, відбите від стін і стелі, вважається метод світлового потоку.

Основне розрахункове рівняння методу світлового потоку:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (4.1)$$

де  $\Phi_{\text{л}}$  - розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

$E_{\text{н}}$  - нормоване значення освітленості, лк;

$S$  - площа освітлюваної поверхні, м<sup>2</sup>;

$k_3$  - коефіцієнт запасу;

$z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості;

$N$  - загальна кількість світильників;

$n$  - кількість ламп в одному світильнику;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

В якості вихідних даних використовуються площа ділянки 30x10 метрів і висота 4 метрів.

Розрахунки за методом світлового потоку проводяться у такому порядку:

*Вибір системи освітлення.*

Виходячи з [23, с. 19, дод. А] кімната для креслення відноситься до категорії IIIг в характеристики зорової роботи.

Відповідно приймаємо комбіновану систему освітлення.

1. Визначення нормованої освітленості.

За [23, с. 19, дод. А] для категорії ІІІг в характеристики зорової роботи, середнього контрасту об'єкта з фоном і світлого фону вибираємо нормовану величину освітленості  $E_n = 400$  лк.

*Вибір джерела світла.*

Для конструкторської кімната висотою 4 метри найбільш доцільне розміщення люмінісцентних ламп типу ЛБ.

*Вибір типу світильника.*

Тип світильника визначається по [23, с. 23, дод. В]. Для ламп типу ЛБ рекомендується взяти світильник типу ЛПО з двома лампами, з коефіцієнтами  $IP = 20$  і  $L / h = 1,4$ .

*Оцінка коефіцієнта запасу і коефіцієнта нерівномірності освітлення.*

Коефіцієнт запасу  $k_z$  враховує зниження рівня освітленості згодом в результаті забруднення і старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення і приймається по [23, с. 25, дод. Г, табл. 4]. Для рівня запиленості значно менше  $1 \text{ мг} / \text{м}^3$  і газорозрядних ламп високого тиску  $k_z = 1,5$ .

Коефіцієнт нерівномірності освітлення  $z$  залежить від типу ламп і приймається для люмінісцентних ламп низького тиску рівним  $z = 1,1$ .

*Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення.*

Коефіцієнт відображення залежить від рівня пиловиділення в процесі роботи. Для конструкторських світлих приміщень коефіцієнти дорівнюватимуть  $\rho_c = 70\%$ ;  $\rho_{ст} = 50\%$ ;  $\rho_{п} = 30\%$ .

Визначення індексу приміщення.

Індекс приміщення визначається за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}, \quad (4.2)$$

де  $A = 30 \text{ м}^2$  - довжина приміщення;

$B = 10 \text{ м}^2$  - ширина приміщення;

$h$  - висота світильників над робочою поверхнею, м:

$$h = H - h_p - h_3, \quad (4.3)$$

де  $H = 4$  м - висота ділянки;

$h_p = 0,8$  м - висота робочої поверхні над підлогою;

$h_3$  - висота зависання світильника від стелі, м.

Так як величина  $h$  не задана, проводимо її розрахунок за формулами:

а) розрахунок кількості світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L / h]}, \quad (4.4)$$

де  $[L / h] = 1,4$  - коефіцієнт світильника.

$$N_p = \frac{10}{(4 - 0,8) \cdot 1,4} = 2,23 \approx 3 \text{ ряди}$$

б) визначення максимально допустимого відстані між рядами світильників:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} \quad (4.5)$$

$$L_{\max} = \frac{10}{3} = 3,3 \text{ м}$$

в) розрахунок висоти підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{\max}}{[L / h]} \quad (4.6)$$

$$h = \frac{3,3}{1,4} = 2,3 \text{ м}$$

г) висота звисання світильника від стелі:

$$h_z = H - h_p - h \quad (4.7)$$

$$h_z = 4 - 0,8 - 2,3 = 0,9 \text{ м}$$

Індекс приміщення буде дорівнює за формулою (4.2):

$$i = \frac{30 \cdot 10}{2,3(30 + 10)} = 3,2$$

Визначення коефіцієнта використання світлового потоку.

Значення коефіцієнта вибирається по [23, с. 30, дод. Д]. Для світильника типу ЛПО, коефіцієнтів відбиття  $\rho_c = 70\%$ ,  $\rho_{ст} = 50\%$ ,  $\rho_{п} = 30\%$  і індексу приміщення  $i = 3,2$  коефіцієнт дорівнюватиме  $\eta = 59\%$ .

*Визначення світлового потоку лампи і загальної кількості світильників.*

Розрахунки проводяться в наступному порядку:

а) визначення сумарного світлового потоку освітлювальної установки на ділянці:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta} \quad (4.8)$$

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,59} = 335593,2 \text{ лм}$$

б) максимальна відстань між рядами і сусідніми світильниками:

$$L_{\max} = [L / h] \cdot h \quad (4.9)$$

$$L_{\max} = 1,4 \cdot 2,3 = 3,22 \text{ м}$$

в) кількість рядів світильників в приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{L_{\max}} \quad (4.10)$$

$$N_p = \frac{10}{3,22} = 3 \text{ряди}$$

г) умовне загальна кількість світильників на ділянці:

$$N^* = \frac{A \cdot B}{L^2_{\max}} \quad (4.11)$$

$$N^* = \frac{30 \cdot 10}{3,22^2} = 28,93 \text{шт}$$

д) світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi}{N_{\text{л}}}, \quad (4.12)$$

де  $N_{\text{л}}$  - загальна кількість ламп в приміщенні, шт:

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n, \quad (4.13)$$

де  $n = 2$  - кількість ламп в світильнику.

$$N_{\text{л}} = 28,93 \cdot 2 = 57,86 \text{шт}$$

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{335593,2}{57,86} = 5800 \text{лм}$$

е) вибір потужності лампи:

За [23, с. 21, дод. Б, табл. 2] найбільш підходить лампа типу ЛБ з величиною світлового потоку  $\Phi_{\text{л}} = 5400$  лм. Коефіцієнт  $m$ , який визначає співвідношення між розрахунковим і фактичним світловими потоками, буде дорівнює:

$$m = \frac{\Phi_{\text{л}}^*}{\Phi_{\text{л}}} \quad (4.14)$$

$$m = \frac{5800}{5400} = 1,07$$

ж) оптимальна кількість світильників в приміщенні:

$$N = N^* \cdot m \quad (4.15)$$

$$N = 28,93 \cdot 1,07 = 30 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість світильників  $N = 30$  шт - для рівномірного розташування по 3 рядах.

*Визначення розрахункової освітленості  $E_p$  в приміщенні.*

Освітленість розраховується за формулою:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} \quad (4.16)$$

$$E_p = \frac{5400 \cdot 60 \cdot 0,59}{300 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 386,18 \text{ лк}$$

При правильному виборі типу і кількості ламп повинно виконуватися умова:

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \cdot E_n \quad (4.17)$$

$$386,18 = (-10\% \dots + 20\%) \cdot 400$$

Умова виконується, розрахунок виконаний вірно.

*Розрахунок сумарної потужності освітлювальної установки.*

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (4.18)$$

де  $P_{\text{л}} = 80$  Вт - потужність обраної стандартної лампи.

$$P_{\Sigma} = 60 \cdot 80 = 4800 \text{ Вт}$$

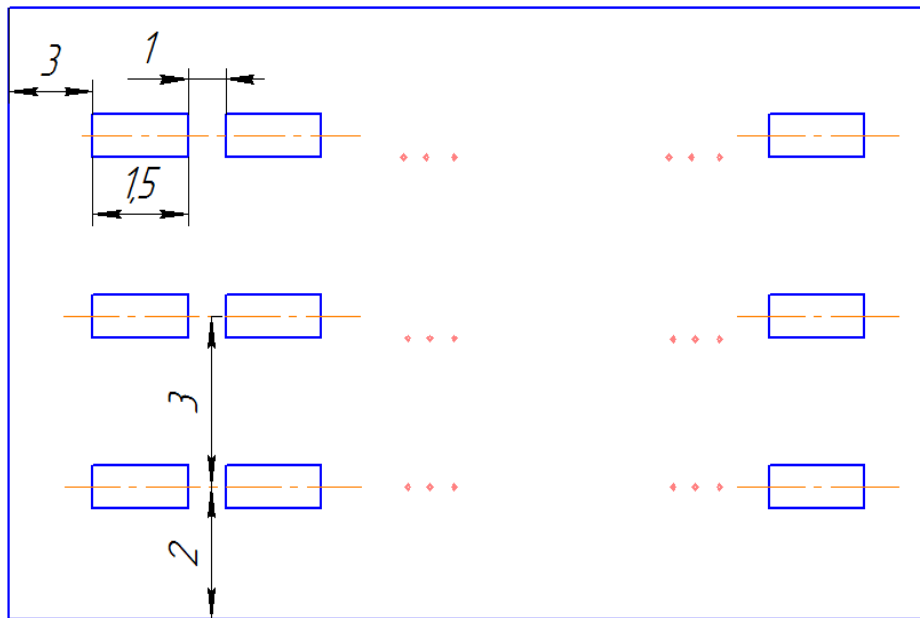


Рисунок 4.1 – Схема розміщення світильників у конструкторській кімнаті

#### 4.4 Заходи з пожежної безпеки. Розрахунок вентиляційної системи

##### 4.4.1 Заходи щодо пожежної безпеки

Згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» даний тип виробництва відноситься до пожежонебезпечної категорії Д, тобто до виробництва, в якому в обігу перебувають вогнетривкі матеріали в холодному стані. Ступінь вогнестійкості - П.

Таблиця 4.4 - Ступінь вогнестійкості будівель та споруд

| Головні будівлі<br>і конструкції                 | Ступінь вогнестійкості П |                     |
|--------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|
|                                                  | Група згоряння           | межа вогнестійкості |
| Несучі стіни                                     | Вогнетривкі              | 2,0 години          |
| Плити, перегородки та<br>інші несучі конструкції | Вогнетривкі              | 0,75 години         |
| Внутрішні перегородки,<br>сходові клітини тощо   | Важко стгоряємі          | 0,25 години         |



На випадок виникнення пожежі на ділянці забезпечена можливість безпечної евакуації людей через евакуаційні виходи. Шляхи евакуації забезпечені евакуаційним освітленням відповідно до вимог будівельних норм і правил устрою електроустаткування. Двері, призначені для евакуації, відкриваються в сторони виходу з будівлі. Технологічні отвори в стінах і перекриттях захищені огнепреграждаючими пристроями.

Механізми для самозачинення протипожежних дверей міститися в справному стані. Огнепреграждаючі пристрої після закінчення робочого дня закриваються. Регулярно перевіряється справність вогнеперепинювачів і проводиться чистку їх вогнегасної насадки, а також справність мембранних клапанів.

Пожежна безпека в цеху забезпечена відповідно до ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

При гасінні сплавів категорично заборонено заливати їх водою, застосовувати пісок, вуглекислоту, азот, хладон. Для гасіння пожежі застосовується глинозем, мелений плавиковий шпат, сухий порошковий флюс. Ці кошти подаються в осередок загоряння вручну, або за допомогою вогнегасника ОП - 100. З огляду на наявність на ділянці електроустановок, з метою забезпечення універсальної захищеності приміщень і обладнання в наявності є вуглекислотні вогнегасники ОУ-5, об'ємом 5 літрів. В електроустановках передбачені наступні заходи пожежної безпеки:

- все іскрять частини обладнання укладені в пилонепроникні ковпаки;
- силова розводки виконана прихованої в трубах;
- силова температура забезпечена захистом від короткого замикання.

Передбачено пристрій пожежної сигналізації, яке замикається на приймальню станцію пожежної сигналізації типу ТЮЛ-10/100.

З метою захисту від статичної електрики, передбачені заземлення діелектричних і електропровідних частин обладнання. Застосовується також зволоження повітря до 65-70%, що дозволяє зменшити електризацію матеріалу.

У проєкті ділянки передбачено пожежне водопостачання. Протипожежний водопровід об'єднується з господарсько-питним або виробничим водопроводом. Вільний напір у мережі протипожежного водопроводу низького тиску при пожежогасінні становить не менше 10 м. Норма витрати води на внутрішнє пожежогасіння приймається з розрахунку двох пожежних струменів, продуктивністю не менше 2,5 л / сек кожна.

#### 4.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

##### 4.5.1 Прогнозування обстановки у вогнищах ураження

Планування і підготовка до майбутнього проведення РІНР неможливі без прогнозування (передбачення) обстановки, яка може скластися в можливих вогнищах ураження. Безупинний розвиток засобів ураження і поглядів на їхнє застосування вимагає систематичної роботи з удосконалювання методик прогнозування обстановки і подальшого коректування відповідних розділів планів ЦЗ.

Прогнозування й оцінка обстановки можуть здійснюватися як до нападу, так і за попередніми даними про результати фактичного застосування супротивником ЗМУ із наступним їх уточненням даними розвідки.

До нападу супротивника прогнозування проводиться на основі вихідних даних, які характеризують вражаючі фактори сучасної зброї, місцеві умови і можливості, що впливають на виконання завдань ЦЗ, а саме: фізико-географічні, метеорологічні, санітарно-епідемічні умови; наявність людських і матеріальних ресурсів; стан транспорту, зв'язку; характер забудови міст та інших населених пунктів; стан ЦЗ (забезпеченість захисними спорудами і ЗІЗ, підготовка заміської зони; впровадження «Норм проєктування інженерно-технічних заходів ЦЗ», наявні сили і засоби); наявність ОНГ, при ушкодженні чи руйнуванні яких можуть утворитися вторинні вогнища ураження в результаті вибухів, пожеж, затоплення місцевості і поширення на ній СДОР та ін. Особлива увага при прогнозуванні й оцінці обстановки приділяється захисту

категорійованих міст і об'єктів народного господарства: визначаються ймовірні вогнища ураження, зони руйнувань, катастрофічних затоплень і РЗ, можливі втрати серед населення, сил і засобів ЦЗ. Також прогнозуються ступінь виходу з ладу транспорту, промислових і житлових будинків та споруд, комунально-енергетичних мереж і паливних систем, засобів зв'язку й інших систем, що забезпечують у цілому життєдіяльність міста, району, області, і очікуваний характер та обсяг робіт. На підставі прогнозу здійснюється розрахунок сил і засобів ЦЗ, необхідних для проведення РІНР.

Після нападу супротивника на основі початкових даних про параметри ядерних вибухів, характер і масштаб застосування інших видів ЗМУ також здійснюється прогнозування можливої обстановки, яка проводиться для вживання необхідних заходів захисту, для оцінки можливих втрат о. с. формувань ЦЗ, військ і населення, оцінки обсягу робіт з ліквідації наслідків нападу і для прийняття (уточнення) оптимального рішення на проведення РІНР. При цьому у вогнищах ядерного ураження (ВЯУ) оцінюється і пожежна обстановка, що необхідно для визначення обсягів і термінів виконання протипожежних заходів при проведенні РІНР, заходів щодо відновлення джерел пожежного водопостачання, а також для уточнення розрахунку сил і засобів та рішення на їх використання. Вихідними даними для прогнозування й оцінки пожежної обстановки, крім параметрів ядерного вибуху, можуть бути швидкість і напрямок середнього і приземного вітру та інші матеріали попередньої оцінки.

Прогнозування можливої радіаційної обстановки проводиться з метою визначення масштабів і характеру РЗ місцевості, розробки і здійснення заходів, які виключають чи зменшують втрати від нього. Результати прогнозування є орієнтовними і слугують вихідними даними для організації радіаційної розвідки, захисту населення, сільськогосподарських тварин і рослин, використання транспортних магістралей в умовах зараження і т.д.

Радіаційна обстановка після застосування ЯЗ оцінюється за даними прогнозування, розвідки і дозиметричного контролю.

При її оцінці визначаються зони РЗ місцевості, розраховуються дози радіації, які можуть одержати люди протягом того чи іншого часу перебування в зонах зараження і при їх проходженні, визначаються час початку роботи і кількість змін для проведення рятувальних робіт у вогнищі ураження, режими роботи ОГ і режими захисту населення в умовах РЗ. Результати оцінки дозволяють вибрати найбільш прийнятні способи дій сил ЦЗ у вогнищах ураження і намітити заходи щодо їх захисту. Дані про радіаційну обстановку потім уточнюються за даними повітряної, морської (річкової) розвідки й установ мережі спостереження і лабораторного контролю.

Вогнища хімічного ураження (ВХУ) виникають у результаті застосування супротивником ОР, а також при руйнуванні хімічно небезпечних об'єктів, які виготовляють чи використовують у технології СДОР (такі вогнища прийнято називати вторинними).

Вихідними даними для прогнозування обстановки в ОХП є: засоби, способи і райони застосування супротивником хімічної зброї; типи застосованих ОР (або розлитої СДОР); час застосування хімічної зброї і метеорологічні умови в приземному шарі повітря. Необхідно визначити розміри районів і глибину поширення зараженого повітря, стійкість ОР й оцінити можливі втрати населення.

Застосування супротивником біологічної зброї може створити різні за розмірами вогнища біологічного ураження (ВБУ). Характер вогнища, його масштаби і тривалість дії біологічних засобів залежать від виду і способу застосування збудника, метеорологічних умов і своєчасності проведення організаційних, санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів. При масованому аерозольному способі застосування і сприятливих для поширення бактерій метеорологічних умовах може бути заражена територія в сотні і навіть тисячі квадратних кілометрів.

Прогнозуючи обстановку, необхідно визначити можливі розміри зон біологічного зараження, вид збудника, спосіб його застосування і стійкість бактеріальних рецептур, очікувані первинні втрати населення з урахуванням

його густоти і забезпеченості засобами захисту, характер зараженості ОГ, майна і технічних засобів, ймовірні вторинні втрати населення в результаті передачі інфекцій від хворих до здорових. Для розрахунку можливих втрат населення необхідно знати: площу зараження; кількість людей, які перебувають на ній; забезпеченість їх захисними спорудами, ЗІЗ і медичними засобами захисту. При раптовому застосуванні біологічних засобів може бути заражене аерозолями до 50-60% загальної чисельності населення; якщо люди будуть завчасно сповіщені і встигнуть вжити елементарних заходів захисту, втрати становитимуть не більше 15%.

Прогнозування зон можливого катастрофічного затоплення з визначенням їхніх меж, глибини й інших параметрів здійснюється розрахунковим шляхом на основі відповідних методик. Прогнозування зон затоплення після нападу супротивника здійснюється виходячи з характеру фактичних руйнувань чи ушкоджень напірного фронту гідротехнічних споруд і рівня заповнення водоймищ до моменту нападу.

Результати будь-якого прогнозування є наближеними і використовуються органами управління ЦЗ для аналізу та попередньої оцінки обстановки. Проте якісне прогнозування забезпечує не тільки правильну організацію й успішне проведення рятувальних робіт у вогнищах ураження, а й дає можливість зменшити імовірність утворення таких вогнищ шляхом своєчасного оповіщення населення й укриття чи евакуації його із зон радіоактивного, хімічного і біологічного зараження. [24. с 351-354.]

## ВИСНОВОК

1. Деталь вал гвинта є особововідповідальною (її руйнування може мати важкі наслідки) деталлю авіаційного двигуна, складних геометричних форм, а також тонкостінною. Має багато концентраторів напружень, таких як галтелі, різкі зміни форми, перепади діаметрів, мілкі отвори тощо. Це деякою мірою впливає на її експлуатаційні показники і знижує гарантований ресурс.

2. Підвищити експлуатаційні властивості деталі, такі як надійність, несуча здатність, опір втомленості тощо, можна, зокрема отримавши сприятливі властивості поверхневого шару: шорсткість, наклеп, залишкові напруження.

3. Запропоновано методику проведення досліджень зміцнення сталевими кульками в ультразвуковому полі та алмазним вигладжуванням.

4. За допомогою досліджень, виконаних на зразках, встановлено, що при даних умовах проведення УЗЗ раціональний час проведення зміцнення 10 хвилин, а також що при збільшенні діаметру кульок погіршується мікропрофіль поверхні –  $R_z$  росте. Тому раціональним значенням величини сталевих кульок є 0,68...1,5 мм. При замірі за допомогою індуктивного датчика амплітуди коливань стінок концентратора (при підвищенні потужності амплітуда зростає) встановлено незначне зростання глибини наклепу.

5. Після зміцнення УЗЗ радіуса шийки вала повітряного гвинта у порівнянні з вихідним варіантом збільшення границі витривалості становить 26,6%. Після УЗЗ отримані найбільш стабільні значення меж витривалості, тобто ультразвукове зміцнення зменшує вплив нестабільності процесу виготовлення валів.

6. Дослідження алмазного вигладжування показало, що зі збільшенням зусилля вигладжування  $P_y$  висота мікронерівностей зменшується спочатку досить швидко. Подальше збільшення зусилля вигладжування вище 10...15 кГс на зміну висоти нерівностей практично не впливає. Чим більше радіус сфери

алмазу, тим краще якість поверхні, і, навпаки, чим більше подача, тим гірше поверхня.

7. Двостороннє алмазне вигладжування тонкої стінки вала гвинта дає стискаючі напруження з обох боків стінки, з визначеними режимами ( $P_y=100\dots150\text{Н}$ ;  $R_{\text{сф}} = 3 \text{ мм}$ ), що забезпечує сприятливий розподіл залишкових напружень і отримання шорсткості в заданих межах.

8. Переваги досліджених методів зміцнення для тонкостінних складнопрофільних валів: відсутність перепаду температур в поверхневому шарі металу, і, як наслідок, відсутність температурних напружень; можливість обробки деталей складної геометричної форми; відносно низька вартість технологічної операції обробки поверхонь металу; обробка заснована на використанні пластичних властивостей металу; відсутність шкідливих викидів, що негативно впливають на екологію процесу.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Киричек А.В. Современные конкурентоспособные технологии отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, А.П. Бабичев, В.Ю. Блюменштейн// Справочник. Инженерный журнал – 2011.– №5.– С.47–52.
2. Суслов А.Г. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник. В 2-х томах. Т. 1 М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием.– М.: Машиностроение, 2002. – 300 с.
4. Богуслаев В.А., Качан А.Я., Титов В.А. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Валы ГТД. Часть 4. Монография. – Запорожье: АО «Мотор Сич» 2014. – 291 с.
5. Степанова, Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Т.Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2009.- 64с.-
6. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко, В.Ф. Притченко – К.: Манускрипт, 1993. – 333 с.
7. Качан А.Я. Технологическое обеспечение несущей способности деталей ГТД пластическим деформированием / А.Я. Качан, С.А. Уланов, Е.К. Березовский // Обработка материалов давлением, 2015, №2 (41), – С. 141-146.
8. Александров М.К. Ультразвуковое упрочнение деталей ГТД / М.К. Александров, Н.Д. Папшева, О.М. Акушская // Вестник СГАУ. Авиационная и ракетно-космическая техника, №3 (27), 2011, – С. 271-276.
9. Патент СССР №608564. Ультразвуковое устройство для упрочнения деталей. Стебельков И.А. Бюллетень №20 от 30.05.78 г.
10. Патент РФ №2191101. Устройство для ультразвукового деформационного упрочнения шариками. Зотов Ю.Н., Фалкон В.И., Стебельков



И.А.(UA). Оpubл. 20.10.2002 г.

11. Патент РФ №2137586. Устройство для поверхностного упрочнения деталей «коленвал». Казаков В.М. Оpubл. 20.09.1999 г.

12. Яценко В.К. Повышение несущей способности деталей машин алмазным выглаживанием / В.К. Яценко и др.- М.: Машиностроение, 1985.- 235с.

13. Бафаев Д. Х. Алмазное выглаживание поверхностного слоя деталей машин и выбор оптимального режима выглаживания // Молодой ученый. – 2016. – №5. – С. 16-18. – URL <https://moluch.ru/archive/109/26077/> (дата обращения: 16.12.2018).

14. Энциклопедия по машиностроению XXL. Оборудование, материаловедение, механика. Алмазное выглаживание. – URL <http://mash-xxl.info/info/65785/> (дата обращения: 16.12.2018).

15. Новый справочник химика и технолога. – URL [http://chemanalytica.com/book/novyuy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/12\\_obshchie\\_svedeniya/6297/](http://chemanalytica.com/book/novyuy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/12_obshchie_svedeniya/6297/)(дата обращения: 16.12.2018).

16. Наконечники для выглаживания. – URL <http://www.almaz-inst.com.ua/index.php?cid=596> (дата обращения: 16.12.2018).

17. Отделочные методы обработки деталей машин. – URL <http://masters.donntu.org/2012/fimm/parkhomenko/library/article9.htm> (дата обращения: 16.12.2018).

18. Влияние режимов точения и алмазного выглаживания на шероховатость поверхности. – URL <http://5fan.ru/wievjob.php?id=12592> (дата обращения: 16.12.2018).

19. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Алмазное выглаживание. – URL <https://studfiles.net/preview/957451/page:18/>.

20. Глазов В.М., Вигдорович В.Н. Микротвердость металлов и полупроводников [2-е изд.] / М.: Металлургия, 1969.-248 с.

21. Биргер И.А. Остаточное напряжения / М.: Государственная научно-техническая изд-во машиностроительной литературы, 1963. – 232 с.

22. Школьник Н.Л. Методика усталостных испытаний. Справочник / М.: Металлургия, 1978.-301 с.

23. Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень методом світлового потоку» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання /Укр. В. І. Шмирко, О. В. Коробко, А. Є. Островська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. -34с., 3(4) рис., (11) табл.

24. Шоботов В.М. Цивільна оборона: Навчальний посібник: Вид. 2-ге, перероб. — К.: Центр навчальної літератури, 2006. — 438 с.

25. Matyushkina A.S., International Multidisciplinary Conference «Key Issues of Education and Sciences: Development Prospects for Ukraine and Poland» Stalowa Wola, Republic of Poland, 20-21 July 2018. Volume 2. Stalowa Wola: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. 212 pages.

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний технічний університет

Кафедра «Технологія  
машинобудування»

Магістерська робота  
на тему:  
Аналіз досліджень шляхів підвищення  
експлуатаційної надійності складних валів в  
процесі їх виготовлення

### Актуальність данної теми:

Експлуатаційна надійність виробів обумовлюється досконалістю їх конструкції, технології виробництва і ремонту, умовами і рівнем їх використання. Терміни надійної роботи машин в цілому обумовлюються межею і темпом зношення відповідальних вузлів або деталей. Такими деталями в авіадвигунах являються зокрема вали.

Тому задача підвищення експлуатаційної надійності авіаційних валів зміцнюючими методами на фінішному етапі їх виготовлення є актуальною.

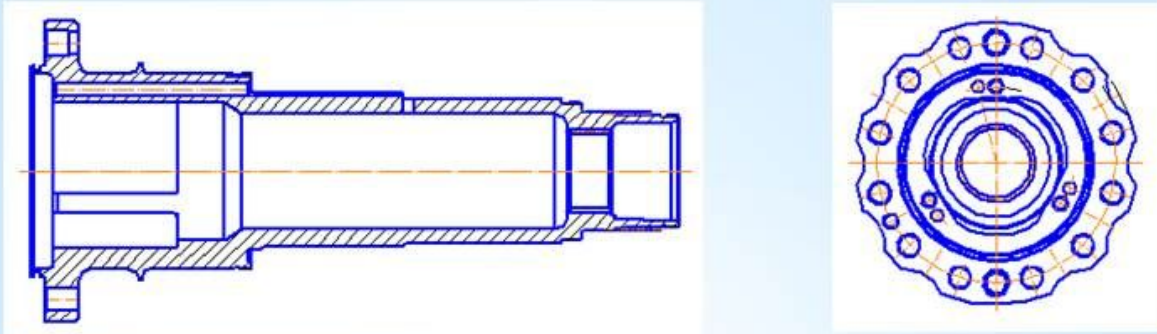
### Мета роботи:

Дослідити та вибрати технологічні методи фінішної обробки вала гвинта авіаційного ГТД для підвищення його експлуатаційної надійності.

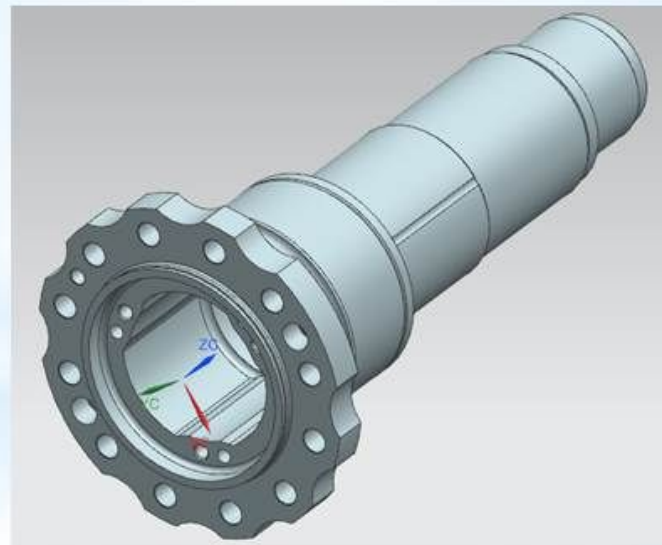
### Основні задачі роботи:

- провести літературний пошук щодо даної проблеми;
- описати методику проведення досліджень;
- проаналізувати отримані результати;
- запропонувати рекомендації щодо ультразвукового зміцнення та алмазного вигладжування конструктивних елементів даної деталі;
- рекомендації щодо охорони праці.

Вал гвинта



Ескіз гвинта



3D-модель

## Механічні та фізичні властивості матеріалу деталі

Механічні властивості при  $T=20^{\circ}\text{C}$  матеріала 40ХН2МА .

| Сортамент            | Размір | Напр. | $\sigma_B$ | $\sigma_T$ | $\delta_5$ | $\psi$ | КСУ                  | Термообр.        |
|----------------------|--------|-------|------------|------------|------------|--------|----------------------|------------------|
| -                    | мм     | -     | МПа        | МПа        | %          | %      | кДж / м <sup>2</sup> | -                |
| Пруток, ГОСТ 4543-71 | Ø 25   |       | 1080       | 930        | 12         | 50     | 780                  | Закалка и отпуск |

Твердість 40ХН2МА після випалювання,

ГОСТ 4543-71

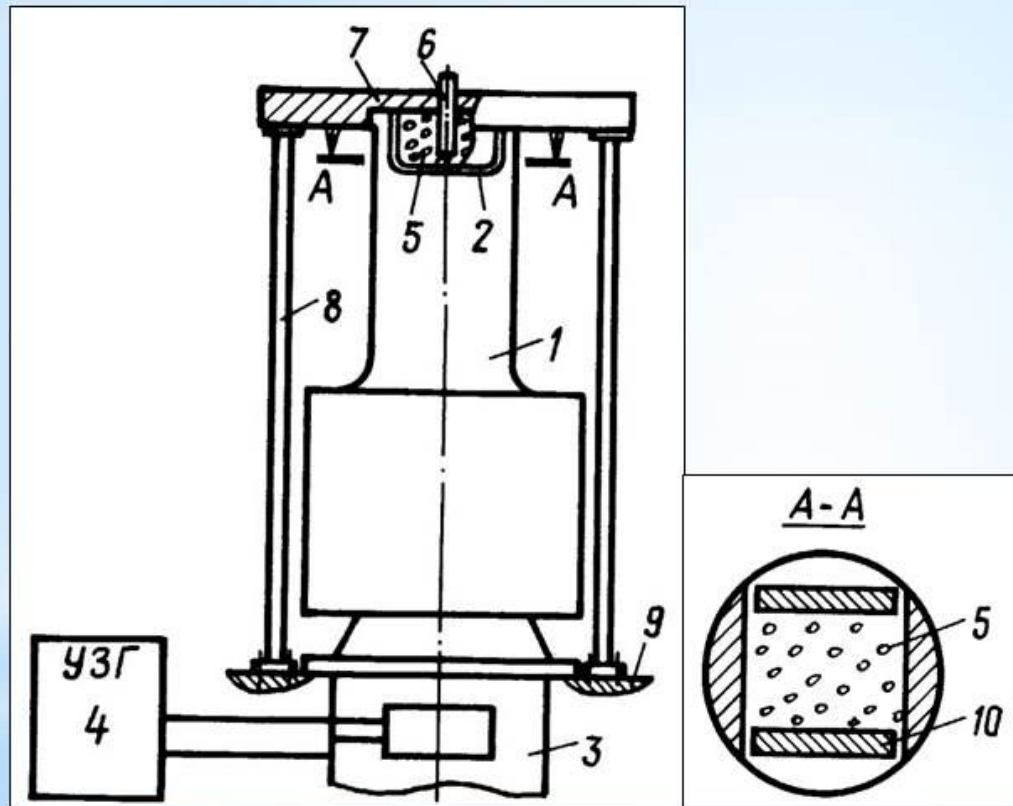
HB 10<sup>-1</sup> = 269 МПа

Фізичні властивості матеріала 40ХН2МА .

| T    | E 10 <sup>-5</sup> | $\alpha$ 10 <sup>6</sup> | $\lambda$   | $\rho$            | C            | R 10 <sup>9</sup> |
|------|--------------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------|-------------------|
| Град | МПа                | 1/Град                   | Вт/(м·град) | кг/м <sup>3</sup> | Дж/(кг·град) | Ом·м              |
| 20   | 2.15               |                          | 39          | 7850              |              | 331               |
| 100  | 2.11               | 11.6                     | 38          |                   | 490          |                   |



## Загальні відомості про зміцнюючі методи



- 1- ступеневий концентратор;
- 2- асиметричне гніздо зі стінками;
- 3- магнітострикційний перетворювач;
- 4- генератор;
- 5- сталеві кульки;
- 6- деталь;
- 7- технологічний фланець;
- 8- опорні стійки;
- 9- станина.

Схема установки для ультразвукового зміцнення

## Алмазне вигладжування



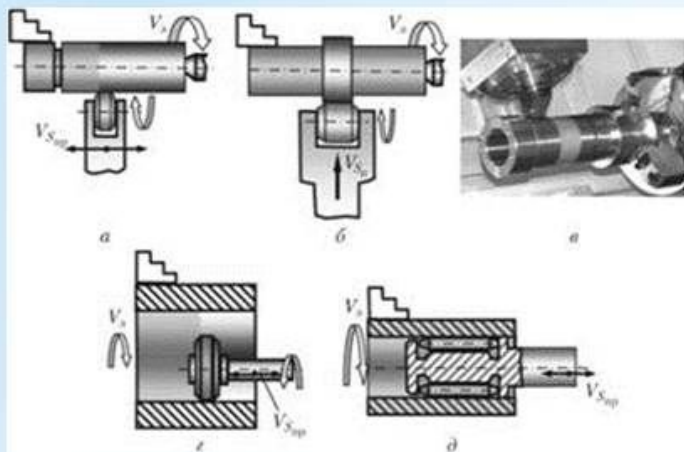
Алмазне вигладжування валів  
на токарному верстаті



Алмазні наконечники



## Схема алмазного вигладжування

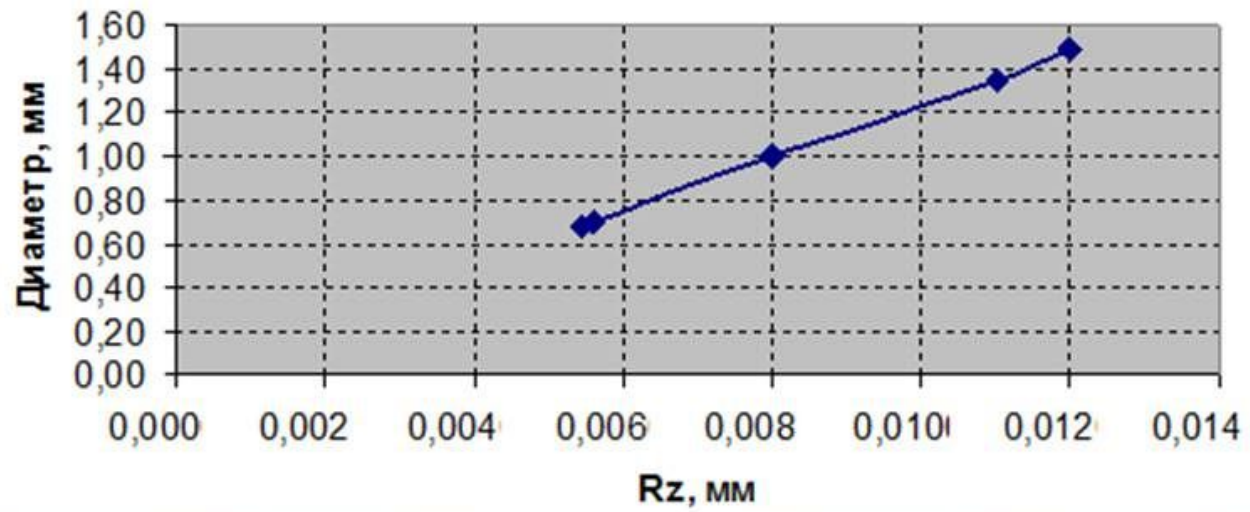


Типові схеми алмазного  
вигладжування



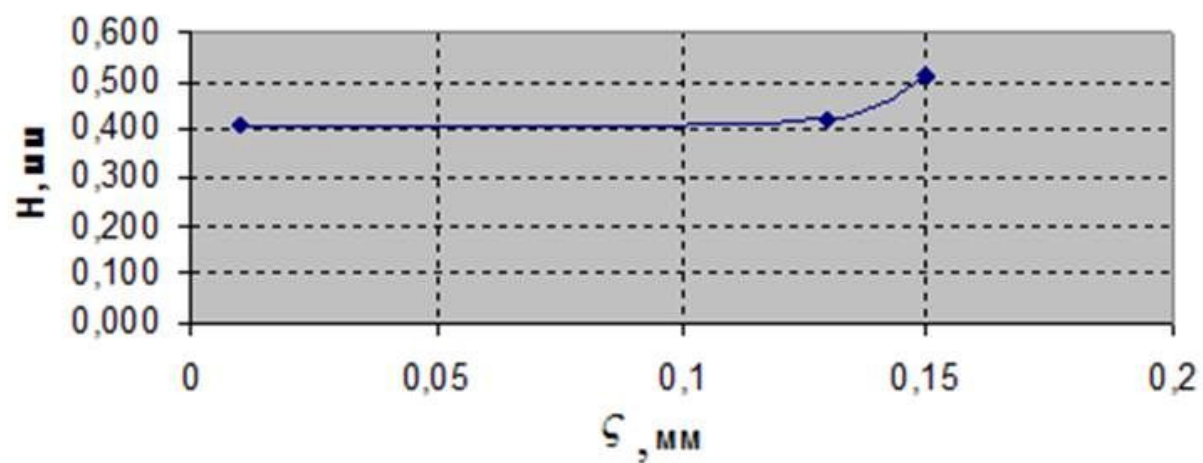
Схема деформації поверхні  
при вигладжуванні

## Результати дослідження УЗЗ



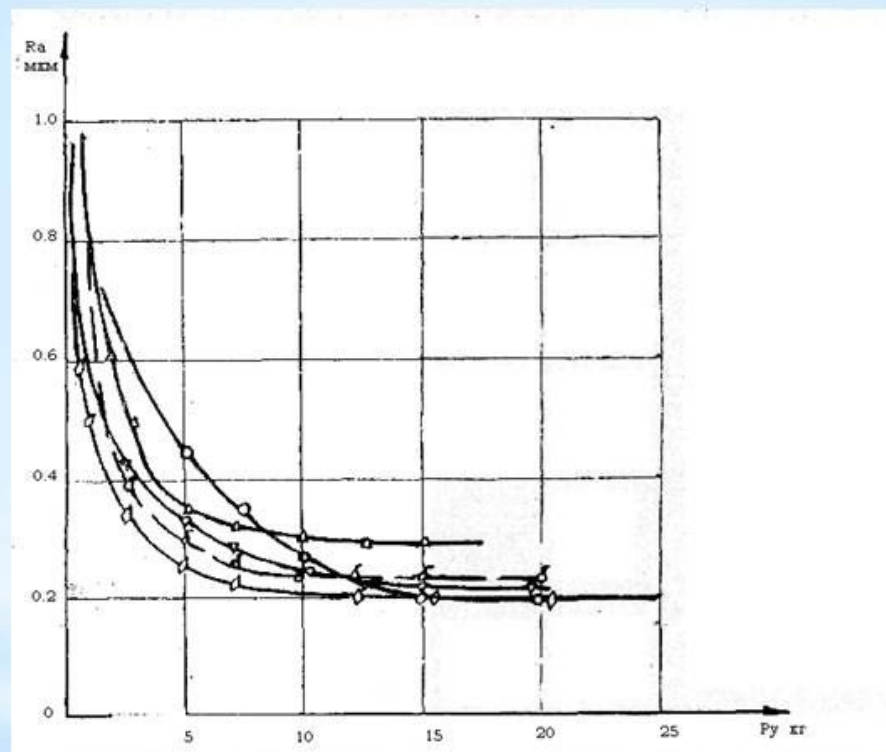
Графік залежності між діаметром кульок і шорсткістю поверхні

## Результати дослідження УЗЗ



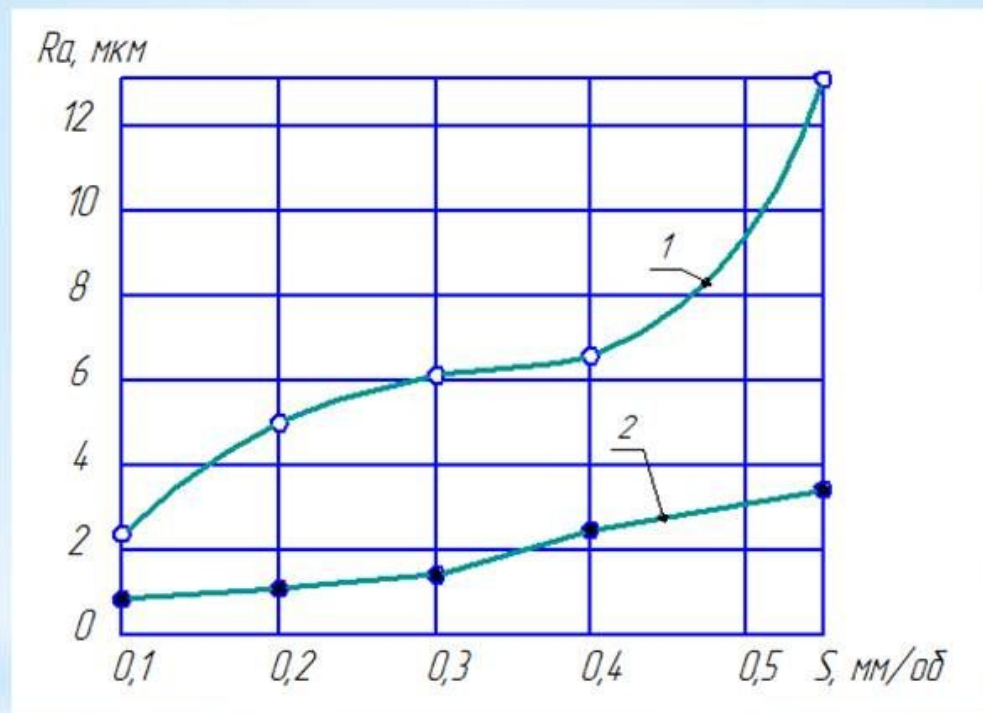
Графік залежності глибини наклепу від  
амплітуди коливань

## Результати дослідження алмазного вигладжування

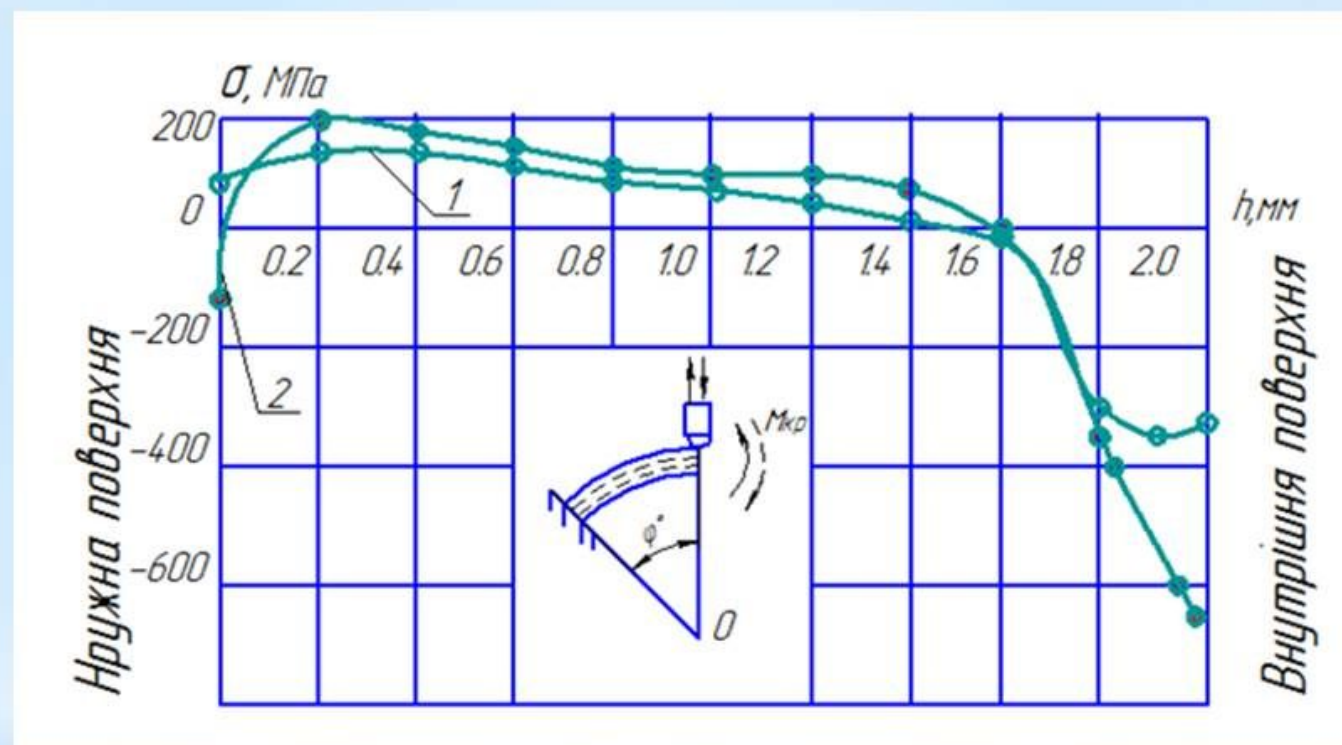


Зміна шорсткості поверхні в залежності від  
зусилля вигладжування

## Результати дослідження алмазного вигладжування

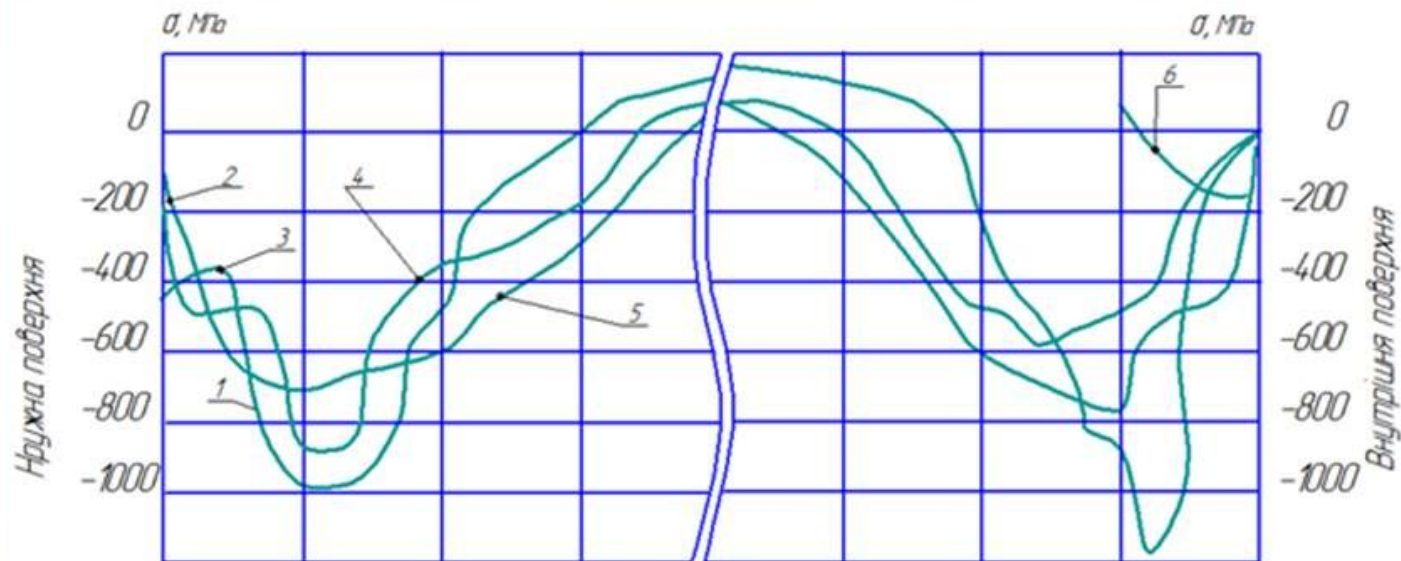


Залежність шорсткості поверхні від  
величини поздовжньої подачі



Розподіл тангенціальних та осьових  
залишкових напружень по товщині стінки  
валу після алмазного вигладжування





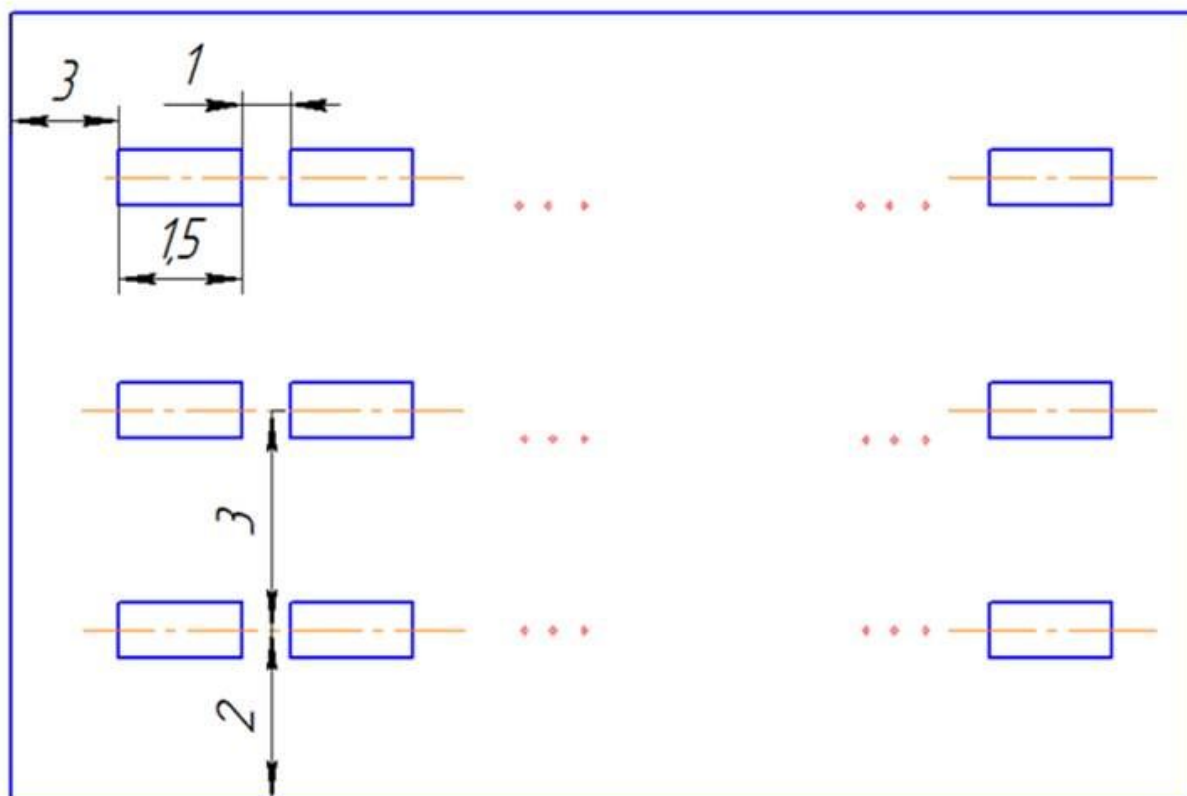
Розподіл тангенціальних та осьових  
залишкових напружень по товщині стінки  
валу після алмазного вигладжування сталі  
40XH2MA

## Висновок

1. Деталь вал гвинта є особововідповідальною (її руйнування може мати важкі наслідки) деталлю авіаційного двигуна, складних геометричних форм, а також тонкостінною. Має багато концентраторів напружень, таких як галтелі, різкі зміни форми, перепади діаметрів, мілкі отвори тощо. Це деякою мірою впливає на її експлуатаційні показники і знижує гарантований ресурс.
2. Підвищити експлуатаційні властивості деталі, такі як надійність, несуча здатність, опір втомленості тощо, можна, зокрема отримавши сприятливі властивості поверхневого шару: шорсткість, наклеп, залишкові напруження.
3. Запропоновано методику проведення досліджень зміцнення сталевими кульками в ультразвуковому полі та алмазним вигладжуванням.
4. За допомогою досліджень, виконаних на зразках, встановлено, що при даних умовах проведення УЗЗ раціональний час проведення зміцнення 1,0 хвилин, а також що при збільшенні діаметру кульок погіршується мікропрофіль поверхні –  $R_z$  росте. Тому раціональним значенням величини сталевих кульок є 0,68...1,5 мм. При замірі за допомогою індуктивного датчика амплітуди коливань стінок концентратора (при підвищенні потужності амплітуда зростає) встановлено незначне зростання глибини наклепу.
5. Після зміцнення УЗЗ радіуса шийки вала повітряного гвинта у порівнянні з вихідним варіантом збільшення границі витривалості становить 26,6%. Після УЗЗ отримані найбільш стабільні значення меж витривалості, тобто ультразвукове зміцнення зменшує вплив нестабільності процесу виготовлення валів.
6. Дослідження алмазного вигладжування показало, що зі збільшенням зусилля вигладжування  $P_y$  висота мікронерівностей зменшується спочатку досить швидко. Подальше збільшення зусилля вигладжування вище 10...15 кГс на зміну висоти нерівностей практично не впливає. Чим більше радіус сфери алмазу, тим краще якість поверхні, і, навпаки, чим більше подача, тим гірше поверхня.
7. Двостороннє алмазне вигладжування тонкої стінки вала гвинта дає стискаючі напруження з обох боків стінки, з визначеними режимами ( $P_y=100...150\text{Н}$ ;  $R_{\text{сф}} = 3\text{ мм}$ ), що забезпечує сприятливий розподіл залишкових напружень і отримання шорсткості в заданих межах.
8. Переваги досліджених методів зміцнення для тонкостінних складнопрофільних валів: відсутність перепаду температур в поверхневому шарі металу, і, як наслідок, відсутність температурних напружень; можливість обробки деталей складної геометричної форми; відносно низька вартість технологічної операції обробки поверхонь металу; обробка заснована на використанні пластичних властивостей металу; відсутність шкідливих викидів, що негативно впливають на екологію процесу.



## Схема розміщення світильників у конструкторській кімнаті





Дякую за увагу!

