

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему: Визначення контактної міцності сталі ВКС-5 і ДІ-3А та способів їх підвищення

Виконав: студент 6 курсу, групи М-313
спеціальності (напряму підготовки)

133 Галузеве машинобудування, ПТМ

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Кучеренко А.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сидоренко М.В. МВ

(прізвище та ініціали)

Рецензент Тютюшев О.С. OT

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет _____ Машинобудівний
 Кафедра _____ Деталей машин і підйомно-транспортних механізмів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) _____ Магістр
 Спеціальність _____ Підйомно-трансп., дорожні, будів., меліорат. машини і облад.
 (код і назва)
 Напрямок підготовки _____ Машинобудування
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

Мартовичук Д.М.
 " 5 " _____

2018 року

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

Кучеренко Андрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Визначення контактної міцності сталі ВКС-5 і ДІ-3А та способів їх підвищення

керівник проекту (роботи) к.т.н., доцент Сидоренко Михайло Володимирович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від " 07 " 11 2018 року № 334

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 11 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Зразки зі сталі ВКС-5 і ДІ-3А

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Літературний огляд; 2 Методика випробувань; 3 Результати випробувань на контактну витривалість; 4 Розробка технологічних рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості досліджених сталей; 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; Висновки; Перелік використаної літератури; Додаток А.

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

1 Машина для випробування на контактну витривалість

2 Плакат графіку функції розподілу довговічності зразків

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Літературний огляд		<i>МВЗ</i>
2	Методика випробувань		<i>МВЗ</i>
3	Результати випробувань на контактну витривалість		<i>МВЗ</i>
4	Розробка технологічних рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості сталей		<i>МВЗ</i>
5	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях		<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання 3.09.18

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	03.09.18 - 10.09.18	<i>МВЗ</i>
2	Методика випробувань	11.09.18 - 17.09.18	<i>МВЗ</i>
3	Результати випробувань на контактну витривалість	18.09.18 - 20.11.18	<i>МВЗ</i>
4	Розробка технологічних рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості досліджених сталей	20.11.18 - 23.11.18	<i>МВЗ</i>
5	Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	26.11.18 - 03.12.18	

Студент

[Signature]
(підпис)

Кусеренко А. Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

МВЗ
(підпис)

Сидоренко МВ
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 73 с., 6 таблиць, 15 рисунків, 17 джерел.

Об'єкт дослідження – сталі ВКС-5 і ДІ-3А.

Мета роботи – визначення контактної міцності сталі ВКС-5 і ДІ-3А та способів їх підвищення.

Метод дослідження – методика математичної статистики для обробки результатів випробувань і побудови математичних залежностей; чисельні методи теорії пружності для визначення напружено-деформованого стану зразків при різних умовах навантаження; експериментальне дослідження сигналів електромагнітних перетворювачів, з використанням стандартних пакетів; Word, КОМПАС – 3DV15.

У проекті вирішені такі задачі:

1. Проведено випробування на контактну витривалість сталей ВКС-5 і ДІ-3А;
2. Запропоновано спосіб підвищення якості сталей ВКС-5 і ДІ-3А;
3. Виконано креслення машини МКВ-К;
4. Розроблено плакат графіки функції розподілу довговічності сталей;

Робота виконана на кафедрі ДМ і ПТМ Запорізького національного технічного університету.

Ключові слова: МАШИНА, КОНТАКТНА ВТОМА, ПІТТІНГ, МЕХАНІЗМ НАВАНТАЖЕННЯ, МЕХАНІЗМ РОЗВАНТАЖЕННЯ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, ЗРАЗОК, ДОВГОВІЧНІСТЬ, ЦЕМЕНТАЦІЯ, УЛЬТРАЗВУКОВЕ ЗМІЩЕННЯ, АЗОТУВАННЯ, ПІДШИПНИК.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Літературний огляд	8
2 Методика випробувань	11
2.1 Методика випробувань матеріалів на контактну втому при кімнатній температурі	11
2.2 Основні вузли машини	13
2.3 Підготовка машин до випробування	16
2.4 Зразки для випробувань	21
2.5 Випробувальні диски	23
2.6 Режим випробувань	23
2.7 Статична обробка результатів випробувань	25
3 Результати випробувань на контактну витривалість	27
3.1 Дослідження контактної витривалості цементованих сталей ВКС-5 і ДІ-3А	27
3.2 Дослідження контактної витривалості сталей ВКС-5 і ДІ-3А зміцнених ультразвуком	33
3.3 Дослідження контактної витривалості сталей 30X2H2ВФМА і ВКС-5 термообробка азотування	36
4 Розробка технологічних рекомендацій щодо підвищення контактної витривалості досліджених сталей	41
5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	45
5.1 Аналіз потенційних небезпек	45
5.2 Заходи із забезпечення техніки безпеки	46
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці	50
5.4 Заходи з пожежної безпеки	52
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях	55

5.6 Розрахунок оцінки рівня умови праці, важкості та напруженості праці за бальною шкалою	57
Висновки	65
Перелік використаної літератури	66
Додаток А	68

ВСТУП

При експлуатації в умовах тривалого впливу циклічних контактних навантажень в матеріалі виробів розвивається структурний процес, який носить назву контактна втома.

Контактна втома – процес поступового пошкодження поверхневих шарів деталей (викришування), що працюють в умовах циклічних контактних навантажень високої частоти.

Контактна витривалість – опір матеріалу контактній втомі.

Контактна втома розвивається при циклічних контактних напругах в таких деталях, як зубчасті передачі, підшипники та ін. Підшипники і зубчасті колеса є широко поширеними і відповідальними деталями, від надійності і довговічності їх служби залежить працездатність вузлів і механізмів.

Характеристикою контактної довговічності є межа контактної витривалості σ_{Hlimb} МПа або число циклів N_c при випробуванні зразків із заданим контактним напруженням $\sigma_{конт}$.

Навантаження в зоні контакту створюють напруження стиску в поверхневому шарі деталей. Під дією циклічних контактних навантажень розвиваються такі стадії процесу: мікропластична деформація, вичерпання запасу міцності, утворення мікротріщин, а потім і тріщин в поверхневому шарі, поширення тріщин вглиб і сколювання частинок металу (викришування). В результаті такого процесу на поверхні деталі утворюється дефект під назвою «підтіг» (результат втомного викришування).

Для забезпечення контактної витривалості деталей необхідно збільшити опір поверхневого шару розвитку пластичної деформації, тобто підвищити твердість контактуючих поверхонь. Крім того, застосовують мастильні матеріали, плівкові полімерні покриття.

Способи забезпечення контактної витривалості:

1. Застосування високо вуглецевих заєвтектоїдних сталей, наприклад, для виготовлення великогабаритних підшипників кочення (розміром від 60 мм).
2. Застосування цементації легованих сталей, наприклад, для великогабаритних роликових підшипників.
3. Застосування поверхневого гарту з подальшим відпуском (при σ_{Hlimb} до 1000 МПа).
4. Застосування хіміко-термічної обробки для зубчастих коліс: цементації і нітроцементації (при σ_{Hlimb} до 1300 МПа), азотування (при σ_{Hlimb} до 1100 МПа).
5. Застосування об'ємного гарту з високим відпуском (поліпшення) (при σ_{Hlimb} до 770 МПа).
6. Застосування УЗЗ вільними кульками, яке проводиться в спеціальній робочій камері.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

Розвиток машинобудування, і особливо таких галузей як авіаційна, енергомашинобудування, і т.п, обумовлює безперервне вдосконалення деталей, пред'являючи до них все нові більш високі вимоги.

Як відомо, надійність і довговічність опор кочення і шестерень в значній мірі визначаються витривалістю поверхневих шарів матеріалу, з якого вони виготовлені.

Фундаментальні і великі дослідження радянських, а також зарубіжних вчених дозволили виявити найважливіші закономірності контактного руйнування матеріалів. На основі цього стало можливим більш широке і спрямоване вивчення робіт деталей машин в різноманітних умовах контактного навантаження.

Роботами С.В. Пинегина, Г.В. Карпенко, А.І. Петрусевича, Б.І. Костецького, М.М. Саверина, І.В. Крагельського, М.М. Качанова, а також зарубіжних авторів, присвячених контактній втомі важко навантажених поверхонь тертя, встановлено, що в зоні тертя відбуваються складні явища: пластичне деформування шарів контактуючих деталей, фізико-хімічні процеси, пов'язані із взаємодією металу, мастилом або газовим середовищем, зміна властивостей основної структури в процесі циклічного навантаження. Специфічні умови контактного навантаження призводять до виділення в мікро об'ємах активних верств великої кількості тепла, що, в свою чергу, інтенсифікує ці процеси.

В даний час проблема підвищення довговічності деталей, що працюють в умовах тертя, вирішується шляхом підбору відповідних матеріалів і поліпшення їх експлуатаційних характеристик додатковим легуванням, новітніми методами термічної і хіміко-термічної обробки.

Досвід багаторічної експлуатації деталей машин, що працюють в умовах високих контактних навантажень і швидкостей, дозволив виробити основні вимоги до матеріалів, з яких виготовляються ці деталі: висока міцність, опірність втомі і зносостійкість. Жорсткі вимоги пред'являються до металургійної якості сталі (хімічна і фізична однорідність, чистота неметалевих включень, щільність).

Деталі машин, що піддаються в процесі роботи дії циклічних контактних навантажень, найчастіше виготовляють з високоміцних цементованих сталей (12X2H4A, 12X2H4BA, 18X2H4BA) або з хромистих сталей з високим вмістом вуглецю (9X, ШХ15, ШХ15СГ). Ці сталі після відповідної термічної обробки мають високий рівень механічних властивостей, високу твердість при достатній в'язкості, зносостійкість контактної витривалості.

Разом з тим, підвищення робочих температур понад 200°C призводить до різкого зниження твердості поверхні деталей, виготовлених з цих сталей, що безумовно, негативно позначається на їх працездатності.

Особливе значення, в зв'язку з цим, надається такій характеристиці матеріалу, як теплостійкість.

У ряді випадків для деталей, що працюють в умовах підвищених температур, застосовують теплостійкі високолеговані сталі EI347, P9, P18. Завдяки високому ступеню легуванням вольфрамом та іншими легуючими елементами, зазначені сталі зберігають високу твердість ($HRC > 60$) при температурах до 550°C. Однак застосування цих сталей при робочих температурах 200°C-400°C економічно недоцільно, так як можливості, закладені в сплав легуванням, використовуються не повністю.

Слід зазначити, що висока твердість поверхні ще не гарантує достатньої вантажопідйомності та довговічності деталей, що сприймають контактні навантаження. Численні експериментальні дані свідчать про те, що різні матеріали, що мають однакову вихідну твердість поверхні, по-різному чинять опір контактній втомі.

Мабуть, поряд з достатньою твердістю матеріал повинен мати відповідний комплекс структурних складових, бо в кінцевому підсумку механічні характеристики, в тому числі і твердість, визначаються структурним станом металу.

Численні досліджування опірності металів контактним руйнування в залежності від їх структурного стану поки не привели до однозначних результатів. Ролі окремих структурних складових і їх змінності при контактному навантаженні

в рівні контактної витривалості сталей різними дослідниками дається, в деяких випадках, навіть протилежна оцінка.

Так, наприклад, ще недостатньо досліджені питання впливу розмір зерна, неметалевих включень і карбідних частинок на контактну витривалість загартованої сталі.

Численні експериментальні роботи, присвячені дослідженню контактної витривалості різних легованих сталей, поки не дають чітких рекомендацій, з точки зору досягнення максимальної довговічності, за вибором легуючого елемента, а також ступеня легування. Накопичення експериментальних матеріалів у цій галузі становить певний практичний і теоретичний інтерес.

Значне збільшення ресурсу роботи машин може бути забезпечене не тільки підвищенням загального рівня механічних характеристик матеріалу, а й збереженням його вихідних властивостей протягом всього терміну експлуатації. У зв'язку з цим, суттєве значення набуває дослідження і оцінка змінності структури і механічних характеристик матеріалів, що протикають в процесі тривалого циклічного навантаження, тим більше, що вплив ступеня, характеру і природи структурних змін на контактну витривалість загартованих сталей проявляється по-різному.

Особливе місце в питаннях підвищення контактної витривалості належить поліпшенню металургійного якості металів при відповідній термічній обробці, як за рахунок застосування електрошлакового, вакуумно-дугового, електронно-променевого, плазмового і ін. спецметодів виплавки, що дозволяє різко знизити загальний рівень забрудненості металу неметалічних включень, що досягається відповідною технологією виплавки і кінцевого розкислення сталі.

Незважаючи на те, що думка більшості дослідників про негативну роль неметалевих включень одностайно, в питаннях впливу природи дисперсності і розподілу їх в металі на контактну витривалість, існують певні розбіжності.

2 МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Методика випробувань матеріалів на контактну втому при кімнатній температурі

В основу методики випробувань матеріалів, призначених для виготовлення важко навантажених зубчастих коліс і деталей опор кочення, прийнятий ГОСТ 25.501-78. Методика випробувань при підвищених температурах розроблена в ЗНТУ.

Для випробувань матеріалів на контактну втому широко застосовуються різні установки, серед яких добре зарекомендувала себе в експлуатації по надійності роботи і експерименту установка МКВ-К, конструкції ВНДІ підшипникової промисловості [2]. Дана установка призначена для випробувань при кімнатній температурі і постійної швидкості обертання приводного диска, що дещо обмежувало її застосування.

Схема машини для випробувань наведена на рисунку 1.1. Випробування полягають в обкочуванні зразка 2 між двома випробувальними дисками, один з яких 4 є приводним, а інший 1 притискним. Передача обертання до зразка і притискного диска здійснюється за принципом фрикційної передачі, за один оберт кожна точка зразка 2, що лежить на доріжці кочення, сприймає два цикли навантаження. Зразок 2 закріплений в підвісці 3, що дозволяє фіксувати його положення щодо циліндричних поверхонь випробувальних дисків. Осі зразка і випробувальних дисків лежать в одній площині і строго паралельні, що забезпечується конструкцією установки.

Навантаження на зразок прикладається за допомогою притискного випробувального диска 1 від пружинного механізму навантаження 5, через систему важелів з співвідношенням плечей 2:1.

З метою зміни швидкості обертання зразка для приводу установки застосували електродвигун постійного струму типу П-11М [3]. Живлення електродвигуна здійснюється від випрямляча з регульованою напругою. Дана модернізація

дозволила після прикладення навантаження плавно розганяти установку до заданого числа обертів приводного диска, що зводило до мінімуму проковзування зразка щодо приводного диска в початковий період розгону установки. Крім того, була отримана можливість проводити випробування при числі обертів приводного диска в діапазоні від 110 до 3000 оборотів в хвилину. Число циклів навантаження зразка реєструється електронним лічильником, пов'язаним з механізмом обертання приводного диска.

На опорній голівці притискного диска встановлений інерційний п'єзоелектричний датчик. При утворенні п'ятини на зразку або дисках виникають значні механічні коливання головки, що перетворюються датчиком в електричні. Електричний сигнал від датчика подається на вхід підсилювача електронного блоку, і при досягненні сигналу певної величини електронний блок автоматично, за допомогою механізму розвантаження 6, знімає навантаження з зразка і вимикає живлення електродвигуна.

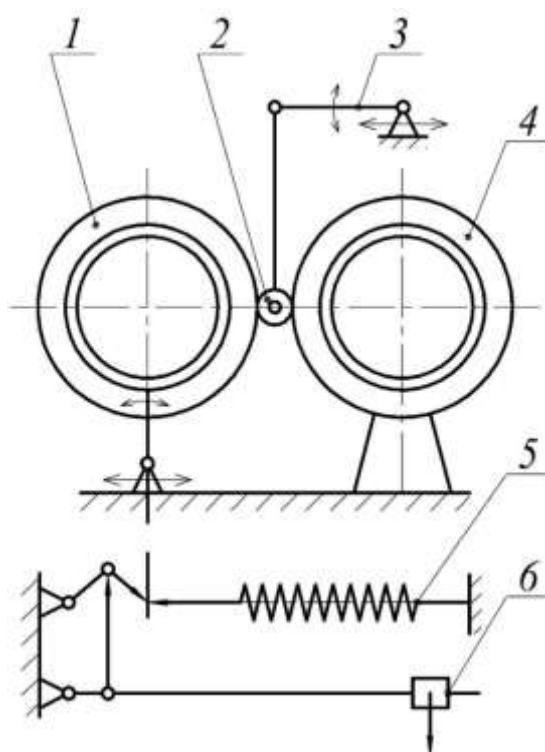


Рисунок 1.1 – Схема машини для випробувань на контактну втому

- 1-притискний диск; 2-зразок; 3-підвіска зразка; 4-приводний диск;
5-вузол навантаження зразка; 6-вузол розвантаження зразка.

2.2 Основні вузли машини

- 1) Корпус И привідного кільця 4;
- 2) Петльова траверса Л з планками 27 і 28 рамки 2;
- 3) Корпус Ж веденого випробувального кільця 3;
- 4) Каретка К для пересування корпусу Ж;
- 5) Пружинний механізм навантаження А;
- 6) Важіль механізму розвантаження Б;
- 7) Електронний блок Д автоматичного відключення електродвигуна і механізму навантаження.

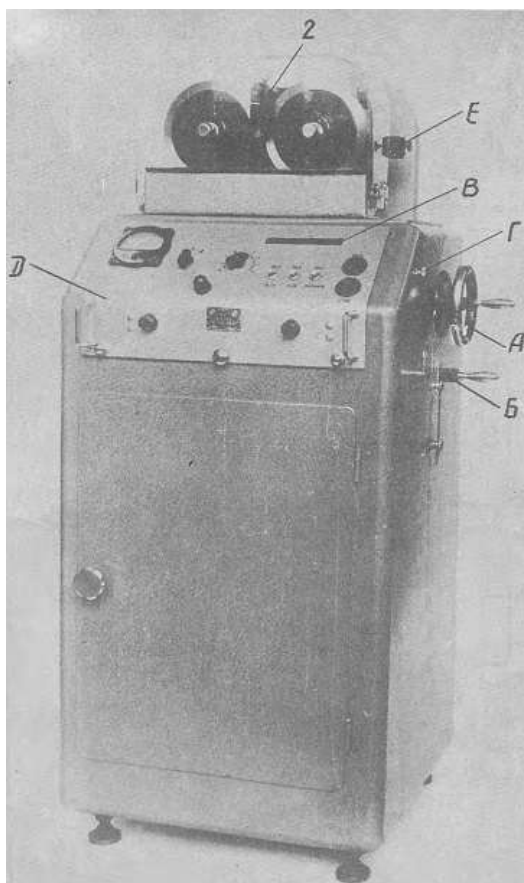


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд машини МКВ-К

Корпус И (Рисунок 1.3) жорстко закріплений на плиті чавунної станини коробчастої форми. Усередині корпусу розміщені черв'ячна пара для лічильника обертів 7, а на його зовнішній поверхні вбудовані верхня 28 і нижня 27 планки петльової траверси Л (Рисунок 1.4).

Корпус Ж, в який вмонтовані шарикопідшипники з віссю 30 (Рисунок 1.3), укріплений на каретці К. Вісь 30 є опорою корпусу Ж при передачі на випробувальний зразок зусилля, створюваного механізмом навантаження А. Необхідне при налагодженні машини горизонтальне переміщення корпусу Ж здійснюється гвинтовою передачею 24 каретки, а його бічне переміщення гайкою 29, розташованої на опорній осі 30, вертикальне положення корпусу Ж фіксується стопорним стрижнем 33.

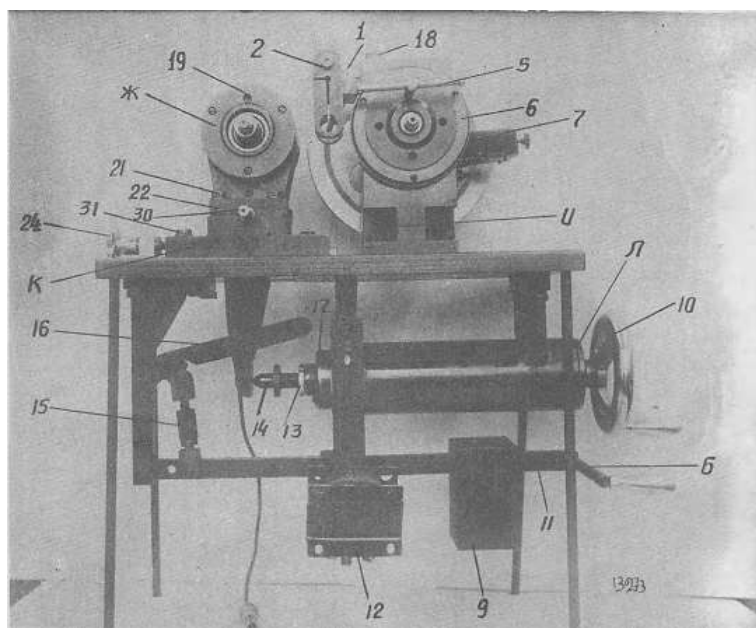


Рисунок 1.3 – Основні вузли машини

Диск 6 для випробувальних кілець розміщується на двох головних осях 20 корпусів Ж та И. Вісь 20 корпусів і опорна вісь 30 каретки зібрані на кулькових підшипниках підвищеної точності. Вузли И, Ж, К, Л і їх деталі виготовлені, зібрані і змонтовані на плиті станини за першим класом точності. На машині встановлена масляна ванна 23 (Рисунок 1.4) для змащення робочих поверхонь кілець і зразка. Мастило на робочі поверхні цих дотичних тіл подається за допомогою гніту 39 (Рисунок 1.5). З метою запобігання від розбризкування мастила кільця і зразок закриті щитком з органічного скла.

Механізм навантаження А складається з наступних деталей: пружини на 45 або 75 кг, шарнірного пристрою 41 з вказівною стрілкою шкали навантаження 44 (Рисунок 1.5) шпинделя 17, подовжувача 14 з контргайкою 13, штурвала 10.

Механізм розвантаження має: важелі 11 і 16, натяжну муфту 15, вантаж 9, електродвигун 12, стрижень замка 35, мікровимикач 36 (Рисунок 1.4).

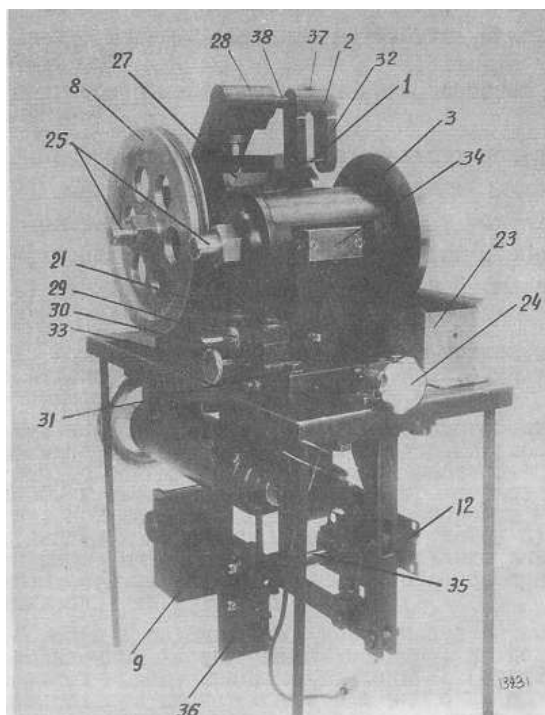


Рисунок 1.4 – Розташування вузлів машини

На панелі електронного блоку Д встановлені: кнопки "пуск" і "стоп" електродвигуна, стрілочний індикатор, сигнальна лампа, ручки налаштування і ін. На цій же панелі прорізано вікно для шкали навантаження, Електронний блок всовується в станину машини по напрямним втулкам [1].

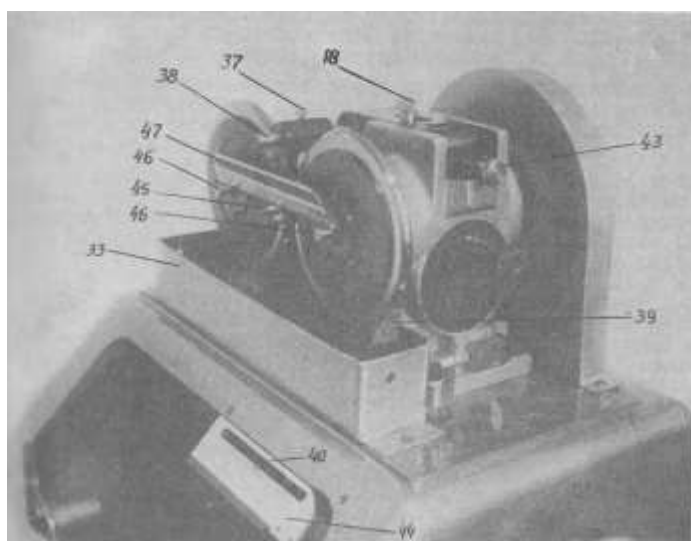


Рисунок 1.5 – Положення лінійки при перевірці співвісності зразка щодо осей корпусів машини

2.3 Підготовка машин до випробування

Перш за все необхідно встановити станину машини за рівнем.

Підготовка машини до випробування, складається з наступних операцій:

- 1) Збірка зразків і випробувальних кілець;
- 2) Узгодження розташування випробувальних кілець;
- 3) Узгодження розташування зразка в зоні контакту;
- 4) Контактування веденого кільця зі зразком;
- 5) Налагодження механізмів навантаження і розвантаження.

1. Під складанням зразків і кілець мається на увазі: насадка підшипників на зразок і їх кріплення в рамці 2, насадка випробувальних кілець на диск 6.

Насадка підшипників на зразок проводиться на ручному пресі будь-якої конструкції легкими ударами робочої частини пуансона по торцю зразка, діаметр робочої частини пуансона повинен бути трохи менше діаметра торцевої поверхні зразка. При насадці підшипників на зразок зовнішні кільця не повинні сприймати зусиль від ударів пуансона, так як опорні поверхні повинні служити внутрішнім кільцям. Залежно від розмірів і форм зразка застосовуються шарикопідшипники типу 34 або 26.

Зразок з підшипниками вставляється в рамку 2. Підшипники в посадочних місцях рамки помірно, не допускаючи перенатягу зовнішніх кілець, кріпляться гвинтом, при помірному затягуванні гвинтів зразок в рамці не зрушується в ту чи іншу сторону, а може вільно від руки обертатися без будь-яких заїдань. Рамка зі зразком підвішується на вісь 38 траверси Л і закріплюється гвинтом 37.

Насадка випробувальних кілець на диски проводиться за допомогою преса на стиск для визначення механічних властивостей металів. Після насадки кілець до дисків прикручуються упорні шайби. Диски з випробувальними кільцями ставляться на осі 20 і затягується гайками 26. При закручуванні та відкручуванні гайок 26 ключем необхідно користуватися стрижневим знімачі 5, кінцева частина якого через отвори дисків повинна входити в гнізда 19 (Рисунок 1.3) кришок корпусів Ж та И. Знімання дисків з осей 20 повинно проводитися тільки за

допомогою знімача 5. Знімання підшипників з зразка і випробувальних кілець з дисків виконується на тих же агрегатах, на яких проводиться їх насадка, Оснащення для насадки і знімання підшипників і кілець виготовляється відповідно до наявними для цієї мети обладнанням.

2. Бічний зсув випробувальних кілець на машині відносно один одного не впливає на результати дослідів при випробуванні зразків сферичної форми, між кільцями з криволінійними робочими поверхнями. Поєднання випробувальних кілець з криволінійними поверхнями перевіряються шаблоном, який виготовляється за кресленням. Вивірка кілець проводиться таким чином.

Шаблон 48 з підшипниками типу 34 або 26 вставляється в рамку 2. Підшипник шаблону затягується гвинтами 32. Зібрана рамка підвішується на вісь 38 і шаблон виточенням накладається на криволінійну поверхню провідного кільця, а потім рамка закріплюється на осі 38 гвинтом 37. При перекиданні рамки з шаблону на інше кільце можна судити про ступінь зміщення криволінійних поверхонь обох кілець. Якщо виточення шаблону накладається на ту і іншу криволінійні поверхні без зазорів, то поєднання кілець є задовільним. В іншому випадку необхідно корпус Ж з кільцем 3 зрушити в потрібному бічному напрямку, відповідно до положення шаблону.

Бічний зсув корпусу Ж здійснюється гайкою 29 осі 30 при попередньому ослабленні натягу консольних частин двох планок 22 каретки К, створеному двома лівими болтами 21. Праві опорні частини двох планок 22 жорстко, без зазорів (Рисунок 1.3) закріплені правими болтами 21, їх чіпати не слід, бо таке кріплення планок 22 при ослабленому натягу двох лівих болтів 21 не робить перешкоди бічному зсуву корпусу Ж. Шляхом бокового зміщення корпусу в ту чи іншу сторону вивіряється і взаємне розташування кілець з циліндричними робочими поверхнями. В цьому випадку вивірка проводиться лінійкою, ребро якої прикладається до торця поверхонь кілець.

Після вивірки кілець необхідно затягнути ліві болти 21, при помірному (пружному) натягу консольних частин планок 22, тобто при кріпленні болтів 21

між консольними частинами планок 22 і поверхнями виступів каретки, має бути зазори (Рисунок 1.3).

3. Вивірка розташування зразка щодо точок контакту випробувальних кілець виконується за допомогою циліндричних ступиць 46 двох осей 20, комбінованого шаблону 45 і лінійки 47. У цьому випадку корпус Ж повинен перебувати у вертикальному положенні, яке фіксується спеціальним стрижнем 33. Циліндричні ступиці 46 осей 20 і ступиця шаблону 45, який виготовляється за кресленням, повинні мати однакові діаметри ($10 \pm 0,002$) незалежно від діаметра зразків. Діаметр циліндричного стержня шаблону 45 повинен дорівнювати діаметру обраного для випробування зразка. Відстань між кільцями при вертикальному положенні корпусу Ж повинна бути більше діаметра циліндричного стержня шаблону 45. В іншому випадку корпус Ж необхідно пересунути вліво гвинтом 24 каретки, попередньо послабивши натяг чотирьох болтів 31. Узгодження належного розташування зразка на машині проводиться таким чином.

Рамка 2, в яку вставлений шаблон 45 з циліндричним стрижнем, закріплюється на осі 38 траверси Л і підвішується між кільцями 3 та 4 так, щоб в зоні передбачуваного контакту стрижень шаблону не стикався з поверхнею кільця 3, 4. При цій умові послабивши кілька натягів гвинта нижньої планки 27 (Рисунок 1.4), слід пересунути гвинтом 43 траверсу Л в потрібному напрямку і перевірити лінійкою положення ступиці шаблону щодо ступиці 46 осей 20. При правильній збірці деталей траверси Л і правильної розточки посадочних місць рамки 2 для підшипників і для осі 38, ребро прикладеної лінійки має або стикатися в трьох точках або в середній точці повинен бути зазор 0,1 мм. Потім, переміщаючи траверсу Л вправо, але не знімаючи прикладеної лінійки, потрібно підвести циліндричний стрижень шаблону 45 до робочої поверхні кільця 4 таких чином, щоб ребро лінійки у всіх випадках лежало на трьох ступицях без найменших зазорів.

Закінчивши вивірку розташування зразка, необхідно затягнути гвинт нижньої планки 27 траверси Л.

Вивірку розташування зразка в зоні контакту слід проводити як при зміні діаметра випробувальних кілець в результаті їх перешліфування, так і при зміні розмірів зразків.

При проведенні випробувань на контактну витривалість рамка 2, за допомогою якої вивірялося розташування зразка, повинна застосовуватися тільки на даній машині.

4. При контактуванні веденого кільця 3:

а) корпус Ж, як і при вивірці розташування зразка, повинен знаходитися у вертикальному положенні;

б) подовжувач 14 шпинделя 17 механізму розвантаження не повинен стикатися з хвостовиком корпусу Ж;

в) відстань між кільцями 3 та 4 в зоні контакту повинна бути трохи більше діаметру зразка. Якщо вказана відстань менше діаметра зразка, то корпус при його вертикальному положенні необхідно пересунути вліво за допомогою гвинта 24 каретки.

Якщо є зазначені умови, рамка зі зразком підвішується на вісь 38 (Рисунок 1.4) і розміщується між кільцями (зразок в зоні контакту не повинен доходити до поверхні кільця 3, але повинен стикатися з поверхнею кільця 4). Після цього слід закріпити гайку 18 верхньої планки 28 траверси Л і гвинта 37 рамки 2.

Контактування кільця 4 з зразком виконується наступним чином.

Послабивши натяг чотирьох болтів 31 гвинтом 24, обережно пересувають каретку вправо при одночасному повертанні кільця 4 вручну в ту і іншу сторону. При повертанні кільця 4 пересувку каретки необхідно припинити в той момент, коли кільце 3 через зразок 1 отримає початковий обертальний руху. Цей момент і відповідає належному контактування дотичних тіл.

Закінчивши контактування веденого кільця 3 із зразком, необхідно закріпити чотири болта 31 каретки і приступити до налагодження механізмів навантаження і розвантаження.

5. При налагодженні механізмів навантаження і розвантаження: положення корпусу Ж, як і при контактуванні кільця 3, вертикальне, положення важеля

механізму розвантаження горизонтальне 12, подовжувач 14 шпинделя 17 механізму навантаження не повинен стикатися з хвостовиком корпусу Ж, кінцеві частини важеля 16 повинні знаходитися на опорних пластинках шпинделя 17 з зазором приблизно на відстані 1 мм від його торця. Таке розміщення важеля 16 визначає вихідне (робоче) положення шпинделя 17, необхідне для умов спрацювання механізму розвантаження.

Початкове положення шпинделя 17 за допомогою подовжувача 14 слід сконтактувати з вихідним (вертикальним) становищем корпусу Ж. Для цього достатньо відкинути важіль 16 догори (Рисунок 1.3) і, обережно обертаючи подовжувач 14, підвести його до хвостовика корпусу Ж без віджимання шпинделя 17. Для цього подовжувач 14 слід закріпити контргайкою 18 і зафіксувати нульове зусилля механізму навантаження на корпус Ж розподілом шкали 44 (Рисунок 1.5).

Нульове зусилля механізму навантаження фіксується вказівною стрілкою 40 шарнірного пристрою, яка встановлюється на поділку шкали 44 (Рисунок 1.5). Встановлення стрілки здійснюється або шляхом пересування її гвинтом з головкою Г (Рисунок 1.2), або зміщенням самої стрілки в шарнірному пристрої 41 в ту чи іншу сторону.

Після фіксації на шкалі 44 нульового зусилля шпинделя 17 тарувальна пружина механізму навантаження за допомогою штурвала 10 знижується до заданої деформації, що відповідає випробувальним навантаженням, величина якої підраховується.

Зусилля механізму навантаження, відповідне заданої деформації пружини, має бути в два рази менше величини випробувального навантаження, так як співвідношення плечей корпусу Ж становить 2:1. Знаючи величину зусилля механізму навантаження, деформацію тарувальної пружини можна визначити за графіком, прикріпленому до дверцят тильного боку станини машини. Отримана величина деформації пружини фіксується вказівною стрілкою 40, яка з нульового розподілу шкали 44, у міру обертання штурвала 10, встановлюється на поділ, чисельно рівній величині деформації пружини.

Після стиснення пружини до заданої деформації вимикається (ставиться на шпильку) стрижень 33, що утримує корпус Ж у вертикальному положенні, і перевіряється зазор між важелем 16 і торцем шпинделя 17. Якщо цей зазор від впливу зусилля шпинделя 17 через корпус Ж на зразок (тобто в результаті натягу системи) буде значно менше 1 мм, то величину цього зазору необхідно відрегулювати обертанням муфти 15.

Відрегулювавши зазор, потрібно перевірити спрацьованість механізму розвантаження. Для цього слід включити тумблер електронного блоку або відтягнути рукою стрижневий замок 35 електромагніта 12. При правильній спрацьованості механізму розвантаження, що опускається вниз з горизонтального положення важіль 11 з вантажем 9 в його крайній правій частині повинен через важіль віджати шпиндель 17 і зняти зусилля з хвостовика корпусу Ж, а отже, і зразка.

При перевірці спрацьованості механізму розвантаження необхідно дотримуватися правил техніки безпеки. Відтягування стрижневого замку 35 вручну виконується тільки при наявності запобіжних щитків на клеммах електромагніту 12 і мікровимикача 36, так як при замкнутому роз'ємнику електронного блоку, при ввімкненому електродвигуні, ці клеми знаходяться під напругою.

Налагодження механізмів навантаження і розвантаження проводиться кожного разу як при заміні пружин, так і при зміні розмірів застосовуваних для випробування дотичних деталей (кільця, зразки).

Закінчивши підготовку основних вузлів машини до випробувань, залити мастило в металеву ємкість 23 і вбудувати в нього фетровий гніт для змащення робочих поверхонь кілець і зразка [1].

2.4 Зразки для випробувань

У даній серії випробувань, з метою зниження контактних випробувальних напруг і наближення умов випробувань зразка до реальних умов роботи виробу

прийнята форма робочої поверхні зразка у вигляді еліпса обертання. Робоче креслення зразка наведено на рисунок 1.6.

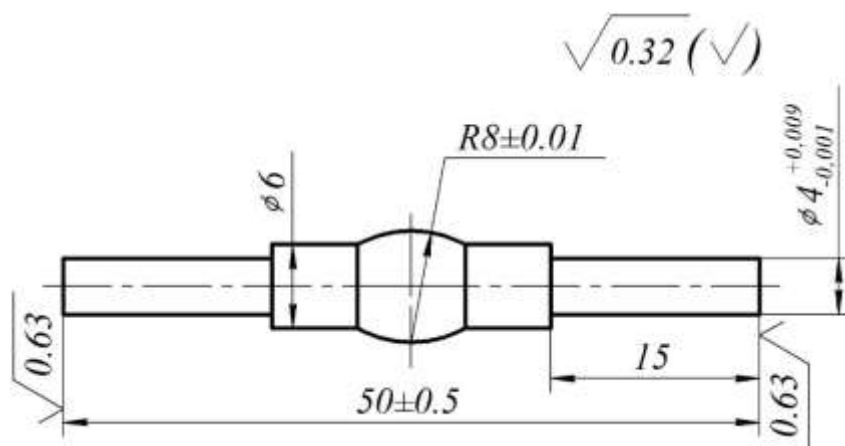


Рисунок 1.6 – Зразок для випробувань на контактну втому

Технологія виготовлення зразків

Зразки для проведення випробувань на контактну втому виготовляються з прутків $\varnothing 15$ мм. З прутків нарізали чорнові заготівки. Чистові заготівки отримується шляхом токарної обробки за такими режимами: число оборотів шпинделя токарного верстата – 710 об/хв., подача – 0,074 мм/об. глибина різання – 0,5÷0,8 мм. Для зразків, призначених під цементацію, за всіма розмірами складається припуск 0,5 мм на діаметр для подальшого шліфування. Шорсткість робочої поверхні зразків становить 0,32.

Технічні вимоги, що пред'являються до зразків:

- відпал прокованих заготівок;;
- токарна обробка з охолодженням;
- хіміко-термічна обробка зразків;
- відхилення діаметру не більше 0,01 мм;
- травлення на прижоги вибірково;
- металографічний контроль, 100%.

Шліфування термооброблених зразків проводяться на круглошліфувальні верстатах абразивним кругом марки $\frac{ПШ300 \times 40 \times 127}{14A16M37K7}$.

Окружна швидкість абразивного кола становить $30 \div 32$ м / с, число обертів зразка – 250 об/хв. Поперечна подача здійснюється вручну. Обов'язковою фінішною операцією є «виходжування» шліфованих поверхонь протягом 5-7 хв. Шорсткість поверхні остаточно оброблених зразків повинна відповідати технічним умовам.

Для зберігання кожен зразок змащується технічним вазеліном УН ГОСТ 782-59 і загортали окремо в кальку.

2.5 Випробувальні диски

Для випробувань зразків з твердістю HRC3 60...62 при кімнатній температурі на установках типу МКВ-К в якості матеріалу для виготовлення випробувальних дисків зазвичай застосовують сталь ШХ15. У даній серії випробувань заготовки дисків були вирізані з обпаленої труби сталі ШХ15Ш, що має наступний хімічний склад в %:

C – 0,97; Mn – 0,36; Si – 0,22; Cr – 1,43; Ni – 0,12; P – 0,017; S – 0.05.

Токарна обробка дисків проводилася згідно з кресленням з припущеннями 0,5 мм на сторону. Після термічної обробки заготовок, що полягає в загартованості з $t = 840^{\circ}\text{C}$, в мастило з витримкою при температурі 20 хв. і відпуском при $t = 160^{\circ}\text{C}$ з витримкою протягом 2 год. твердість дисків становила HRC3 61...64. Контроль твердості вироблявся на всіх дисках. Після термічної обробки спочатку шліфують плоскі поверхні дисків, потім внутрішню циліндричну поверхню і зовнішню (робочу) циліндричну поверхню. Після шліфування плоских поверхонь дисків кожному диску присвоюється індивідуальний номер, який наноситься на одну з цих поверхонь, і подальша шліфовка циліндричних поверхонь проводиться спільно для кожної пари, яка встановлюється згодом на одну випробувальну машину. Шліфовані диски піддаються 100% металографічному контролю і вибіркового контролю на опіки.

Одна пара дисків служить для випробування $6 \div 8$ зразків. Відпрацьовані поверхні дисків діаметром $\varnothing 150$, якщо на них відсутні сліди втомного викришування, відновлюються шляхом перешліфовки і застосовуються для

подальших випробувань. Відновлення (перешліфовка) робочих поверхонь дисків може проводитися кілька разів до мінімального діаметра $\varnothing 146$ мм. При кожному перешліфовуванні глибина шару повинна бути не менше 0,25 мм на радіус кільця. Готові кільця змащують технічним вазеліном УН ГОСТ 789-59 і попарно загортають у папір.

2.6 Режим випробувань

З огляду на великий розкид для проведення випробувань необхідна кількість зразків в одній партії становить 15-20 шт. Випробування проводяться одночасно на декількох випробувальних машинах, тому для виключення впливу якості установки випробування кожної партії проводили за змінним графіком, за яким зразки кожної партії випробовувалися на всіх машинах. Перед встановленням робочі поверхні зразків і випробувальних дисків проглядаються для виключення забоїн, тріщин та інших дефектів, які можуть виникнути при зберіганні і транспортуванні.

Число оборотів випробувального диска встановлюється 1000 об/хв. [4]. Максимальні контактні напруги в поверхневому шарі зразка і випробувальних дисків підраховується за формулою:

$$\sigma_{Zmax} = \frac{4100}{\mu\nu} \cdot \sqrt[3]{P(\Sigma\rho)^2} \quad (1.1)$$

де P – зусилля на притискному диску;

$\Sigma\rho$ – сумарна кривизна дотичних поверхонь;

$\mu\nu$ – коефіцієнти, що враховують кривизну тіл в точці контакту.

Проведені пробні випробування зразків з максимальними контактними напруженнями 4500 МПа. При навантаженні 4500 МПа на зразках спостерігається поява піттинга. При навантаженні 4500 МПа піттинг утворюються при числі циклів навантаження понад $5 \cdot 10^8$ циклів, в окремих випадках поява піттингу не

спостерігається при числі циклів навантаження, що перевищують $10 \cdot 10^8$ циклів. Виходячи з попередніх випробувань для даної роботи прийнятий рівень максимальних контактних напружень 4500 МПа.

Змащення робочих поверхонь випробувальних дисків здійснювалося крапельним методом.

Критерієм виходу зразка з ладу є утворення ямок втомленого викришування – піттингов. Поява піттинга служить сигналом для автоматичного відключення приводного електродвигуна і зняття навантаження з зразка. У разі автоматичного відключення машини оператор оглядає бігові доріжки зразка і випробувальних дисків. При наявності піттинга на зразку реєструється кількість циклів навантаження зразка до виходу з ладу, і зразок знімається з подальших випробувань. Для кожного встановлюваного зразка застосовується своя, не використана раніше, бігова доріжка випробувальних дисків.

2.7 Статична обробка результатів випробувань

У зв'язку з розсіюванням результатів випробувань проводили статичну обробку відповідно до рекомендацій, викладених в [5]. При проведенні статистичної обробки результатів випробувань логарифмічно нормальний закон розподілу довговічності [6].

В результаті статистичної обробки визначали середньоймовірного N_{50} , відповідну 50% ймовірності руйнування гарантовану довговічність N_{10} , відповідну 10% ймовірності руйнування зразків, а також середньоквадратичне відхилення $S_{\lg N}$:

$$N_{50} = 10^{\lg N}; \quad (1.2)$$

$$\lg N = \frac{\sum \lg N_i}{n}; \quad (1.3)$$

$$S_{\lg N} = \sqrt{(\lg N)^2 - (\lg N)^2}; \quad (1.4)$$

де $\lg N$ – середній логарифмічний довший час життя;

n – кількість зразків.

За обчисленими значеннями $\lg$ і $S_{\lg N}$ будували пряму, апроксимуючих функції розподілу логарифмів чисел циклів:

$$\lg N_{pi} = \lg N + U_{pi} \cdot S_{\lg N}; \quad (1.5)$$

Результати випробувань представлені графічно у вигляді функцій ймовірності та довший час життя, де по осі ординат відкладена ймовірність виходу зразків з ладу «Р, %», а по осі абсцис логарифм числа циклів навантаження до появи пінтинга.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ НА КОНТАКТНУ ВИТРИВАЛІСТЬ

3.1 Дослідження контактної витривалості цементованих сталей ВКС-5 і ДІ-3А

Обґрунтування застосування цементованих сталей.

Необхідність забезпечення стійкості структури цементованого шару до підвищеної робочої температури і локальним температурним спалахів зумовило розробку та переважне застосування теплостійких сталей, хімічний склад і механічні властивості яких відповідають ГОСТ 20072-74, ТУ 14-1-2090 і ТУ 142143-2-71. У цих сталях зменшена концентрація нікелю і введені карбідоутворюючих елементи (Cr, W, Mo, V, Nb), а також невелика кількість Si, які затрудили розпад мартенситу і зрушили процеси низького відпуску в сторону більш високих температур. Різне поєднання і кількість цих елементів в сталях зумовили неоднаковий рівень їх теплостійкості. Сталь 14ХГСН2МА (ДІ-3А), створена в якості однієї з перших заміників хромонікелевих сталей, за рахунок присутності в її складі Mo і Si вона зберігає мартенситну структуру цементованого шару до температури 230°C. Помірну теплостійкість (до 250°C) мають сталі 12Х2НВФА і 16Х2НЗМФБАЮ-Ш. Більш висока теплостійкість властива сталям 20ХЗМВФ-Ш (300°C) і 16ХЗНВФМБ-Ш (350°C), які отримали переважне застосування у виробництві зубчастих коліс сучасних авіадвигунів. Найбільш раціональне легування характерно для сталі 16ХЗНВФМБ-Ш (ВКС-5), завдяки якому вона здатна тривалий час зберігати високу (60-63 HRC) твердість цементованої поверхні і забезпечувати надійну роботу редукторів і агрегатів.

Хромонікелеві і зазначені вище теплостійкі сталі піддають хіміко-термічній обробці (ХТО) на первинну твердість. ХТО включає цементацію, високий відпуск, загартування, обробку холодом і низький відпуск.

Важливою умовою високої теплостійкості комплексно-легованих сталей є підвищена насиченість цементованої поверхні вуглецем. Про вплив концентрації вуглецю на теплостійкість сталі ВКС-5 дає уявлення залежності зміни твердості її

поверхні від температури відпуску [7]. Здатність сталі зберігати при нагріванні необхідну твердість поверхні тим вище, чим більше її насиченість вуглецем. Високі концентрації вуглецю досягаються при утворенні в цементованому шарі теплостійких сталей підвищеної об'ємної частки надлишкової фази карбіду. Частинки карбідів внаслідок високого вмісту сильних карбідоутворюючих елементів (Mo, W, V, Nb) в цих сталях характеризуються дрібнодисперсним і рівномірним розподілом.

При однаковій насиченості цементованого шару контактна витривалість і опір втоми зростають у міру збільшення міцності і твердості серцевини, досягаючи максимальних значень при $\sigma_B=1200-1300$ МПа і 40-43 HRC. Найбільш міцну серцевину забезпечує сталь ВКС-5, яка крім карбідоутворюючих елементів містить невелику кількість алюмінію і азоту. У присутності цих елементів в структурі сталі поряд з карбідами утворюються дрібнодисперсні частинки карбонітридів і нітридів: Nb (C, N), VC, AlN, які стримують зростання зерна при цементації нагрівання до 950°C і забезпечують міцність осердя не нижче 1300 МПа.

Технологія термообробки зразків зі сталі ВКС-5.

Сталь ВКС-5 конструкційна легована застосовується для виготовлення сортового прокату і смуг, азотованих деталей для авіабудування. Шестерні, вал-шестерні, кулачкові муфти, пальці і ін. Особливо відповідальні високонавантажені деталі, до яких пред'являють вимоги високої міцності, пластичності і в'язкості серцевини і високої поверхні твердості, що працюють під дією ударних навантажень або при негативних температурах.

Для випробувань прийнята гарячекатана сталь ВКС-5, діаметр прутка $\varnothing 10$ мм ТУ 14-1-3242-81. Масова частка елементів у складі сталі, %: С – 0,18; Mn – 0,5; Si – 0,73; S – 0,009; Cr – 2,66; Ni – 1,22; W – 1,21; V – 0,49; Mo – 0,43; Nb – 0,18; Ce (розрахунковий) – 0,01.

Механічні властивості в відпаленого стані поставки:

- межа міцності, МПа $\sigma_B=1350$;
- межа текучості, МПа $\sigma_T=1200$;
- відносне подовження, % $\delta=18-19$;

- відносне звуження, % $\psi=61-64$;
- ударна в'язкість, МДж/м² КСУ=0,70-0,72.

Перед чорною механічною обробкою заготовки пройшли попередню термічну обробку: нагрів до температури $(930\pm 10)^{\circ}\text{C}$, витримка – 50-60 хв і охолодження на повітрі; високий відпуск при температурі $(650\pm 20)^{\circ}\text{C}$ – 2,5-3,0 год охолодження на повітрі. Чорнові зразки, виготовлені з припуском по робочим поверхням 0,15 мм на сторону.

Хіміко-термічна обробка проводилася за наступним режиму:

- газова цементация в електропечі Ц-105. Час насичення вуглецем при температурі $(940\pm 10)^{\circ}\text{C}$ – 5,0-7, 0 год;
- високий відпуск при температурі $(630\pm 20)^{\circ}\text{C}$ – 2,5 - 3,0 год;
- гарт в мастило від температури $(940\pm 10)^{\circ}\text{C}$ з витримкою – 20 - 30 хв;
- обробка холодом при температурі $(-70\pm 10)^{\circ}\text{C}$ з витримкою – 60 - 70 хв;
- відпуск при температурі $(320\pm 10)^{\circ}\text{C}$ – 3,0 - 3,5 год.

Якість дифузійного шару визначалася на поперечних шліфах. Глибина цементованого шару 1,2...1,4 мм. Твердість поверхневого шару після зняття припуску HR15N 89-92, твердість серцевини HRC 35-43.

Мікроструктура сталі ВКС-5 після остаточної термообробки представлена на рисунку 2.1 цементований шар являє дрібногочастий мартенсит з малою кількістю дрібнодисперсних карбідів. Залишків карбідної сітки не спостерігається, незважаючи на високий вміст вуглецю.

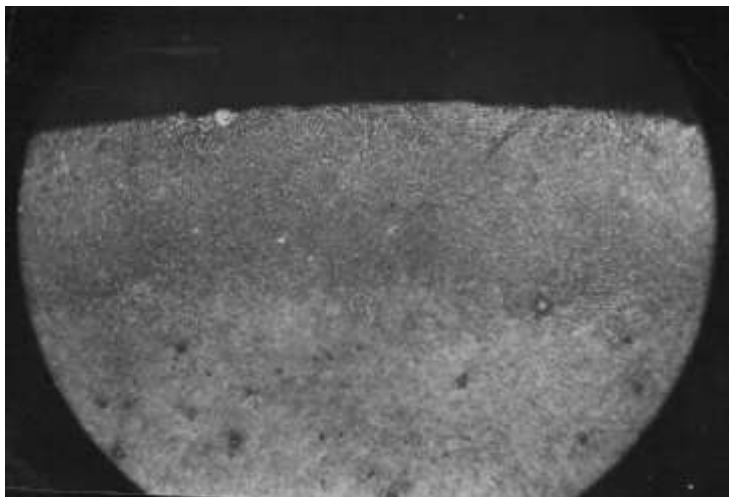


Рисунок 2.1 – Мікроструктура цементованої сталі ВКС-5

Технологія термообробки зразків зі сталі ДІ-3А.

Сталь ДІ-3А застосовується для виготовлення цементованих деталей відповідального призначення, від яких потрібна підвищена міцність і в'язкість серцевини, а також висока поверхнева твердість, що працюють під дією ударних навантажень. Шестерні вали та інші деталі що працюють при температурі 200°C. Сталь може застосовуватися замість сталей з більш високим вмістом нікеля.

Перед чорновою механічною обробкою заготовки пройшли попередню термічну обробку: нагрів до температури $(860 \pm 10)^\circ\text{C}$, витримка – 40-50 хв і охолодження на повітрі; відпуск при температурі $(570 \pm 30)^\circ\text{C}$ – 2,5-3,0 год – охолодження на повітрі. Чорнові зразки, виготовлені з припуском по робочих поверхнях 0,15 мм на сторону.

Хіміко-термічна обробка проводилася за наступним режиму:

- газова цементация в електропечі Ц-105. Час насичення вуглецем при температурі $(850 \pm 10)^\circ\text{C}$ – 8,0-10, 0 год;
- високий відпуск при температурі $(630 \pm 20)^\circ\text{C}$ – 2,5-3,0 год;
- гарт в мастило від температури $(940 \pm 10)^\circ\text{C}$ з витримкою – 20-30 хв;
- обробка холодом при температурі $(-70 \pm 10)^\circ\text{C}$ з витримкою – 60-70 хв;
- відпуск при температурі $(320 \pm 10)^\circ\text{C}$ – 3,0-3,5 год.

Якість дифузійного шару визначалася на поперечних шліфах. Глибина цементованого шару 1,2...1,4 мм. Твердість поверхневого шару після зняття припуску HR15N 89-92, твердість серцевини HRC 35-42.

Мікроструктура сталі ДІ-3А після остаточної термообробки представлена на рисунку 2.2 цементований шар являє дрібногочастий мартенсит з малою кількістю дрібнодисперсних карбідів. Вміст вуглецю на біговій доріжці становить 0,8%.

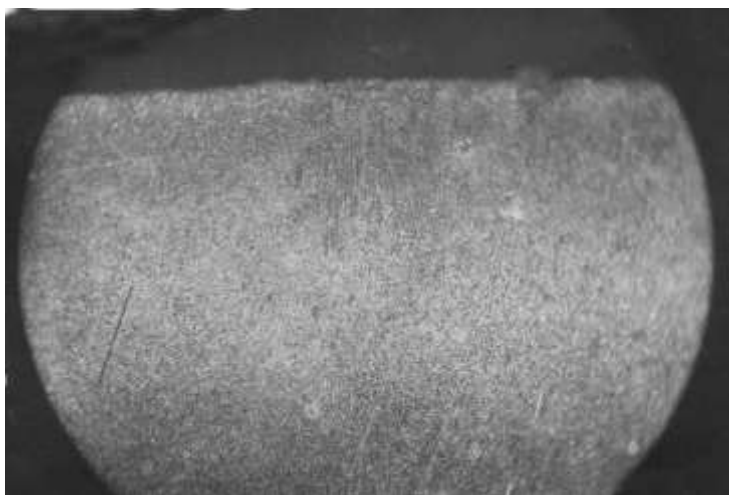


Рисунок 2.2 – Мікроструктура цементованої сталі ДІ-3А

Результати випробувань зразків із сталей ВКС-5 і ДІ-3А на контактну витривалість.

В результаті статистичної обробки були визначені середньологарифмічна довговічність N_{50} , відповідна 50% ймовірності руйнування; гарантована довговічність N_{10} , відповідну 10% ймовірності руйнування зразків (табл. 2.1), а також середньоквадратичне відхилення S_{lgN} . За обчисленими значеннями і S_{lgN} були побудовані прямі, апроксимуючих функції розподілу логарифмів чисел циклів.

Основним критерієм виходу зразків з ладу було утворення ямок контактного втомленого викришування - піттінгів. Відмінності в характері руйнування зразків різних марок не спостерігалось. Розміри піттінгів 0,25-0,3 мм. Слідів абразивного зносу, розкочування доріжки луцення не помічено. Для сталі ВКС-5 характеристики контактної витривалості вище на 20-30%.

Електронно графічне дослідження поверхонь викришування підтверджувало типово втомний характер руйнування.

Переважна більшість виникаючих мікротріщин розташована під кутом 30-45° до поверхні, причому, на ряді поперечних мікрошліфів, виготовлених із зразків, первинні тріщини спостерігалися під поверхнею, переважно в зоні дії максимальних дотичних напружень.

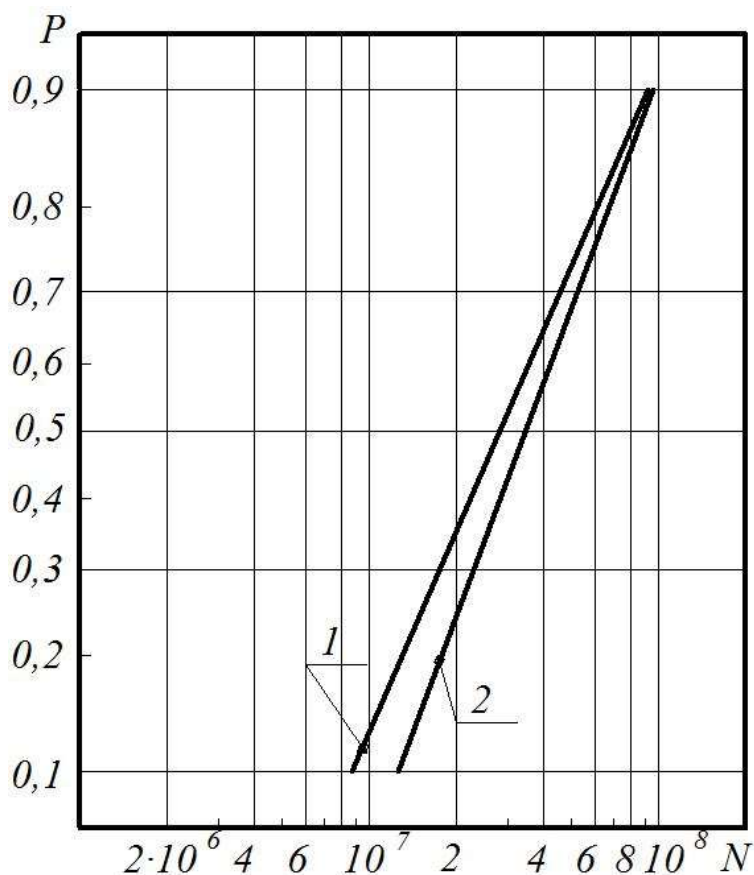


Рисунок 2.3 – Графіки функції розподілу довговічності зразків
(1 – ДІ-3А; 2 – ВКС-5) $\sigma_{Zmax}=4500$ МПа; $t=20^{\circ}\text{C}$

При оптичному і електронно мікроскопічному дослідженні найбільші зміни структури спостерігалися на поверхні обкатування і в шарах, дуже близьких до поверхні. У міру віддалення від поверхні ступінь спотворення мартенситу зменшується і, починаючи з глибини 30-40 мкм, структура не відрізняється від вихідної.

Таблиця 2.1 – Результати випробування сталей на контактну витривалість

Марка сталі	ДІ-3А	ВКС-5
Середньологарифмічна довговічність – N_{50} , млн. циклів	28,52	34,25
Гарантована довговічність N_{10} , млн. циклів	8,73	12,43

3.2 Дослідження контактної витривалості сталей ВКС-5 і ДІ-3А зміцнених ультразвуком

Обґрунтування зміцнення досліджуваних сталей ультразвуком.

Ультразвукове зміцнення відноситься до імпульсивних методів деформування зовнішньої поверхні деталей. Існують різновиди ультразвукового зміцнення, які розрізняються по конструкції зміцнюючого устаткування. При ультразвуковому зміцненні що відбувається поза камерою робочі частини інструмента, виконана з твердосплавних матеріалів ВК8, Т15К6 або загартованих сталей ШХ15 з $Ra=0,02...0,08$ мкм і радіусом заокруглення 8 мм. Вони притискаються до оброблюваної деталі за допомогою вантажу із зусиллям 300...400 Н і набувають ультразвукових коливань, що створюються ультразвуковим генератором, магнітострикційним перетворювачем і конічним концентратором. Під дією сил пластично деформується поверхневий шар деталі, що підвищує поверхневу мікротвердість в 1,5...2 рази з глибиною зміцнення 0,3...0,4 мм; знижується шорсткість поверхні в ній створюються сприятливі напруги стиснення.

При зміцненні використовується частота коливань інструменту 18...24 кГц, амплітуда коливань 10...20 мкм, швидкість обробки поверхні деталі 0,9...1,0 м/с. Поздовжня подача інструменту $S=0,125$ мм/об. З метою зменшення зносу інструменту та підвищення продуктивності процесу при зміцненні використовують мастильно-охолоджуючу рідину (індустріальне мастило).

Застосування ультразвукового зміцнення особливо ефективно для деталей складної.

Ефективним способом УЗЗ є зміцнення вільними кульками, яке проводиться в спеціальній робочій камері, де під дією ультразвукового поля кульки хаотично переміщаються [5]. Особливістю ультразвукового зміцнення є те, що позитивний ефект досягається за рахунок многократності мікрозіткнень при відсутності заданої траєкторії, що дозволяє зміцнювати тонкостінні деталі і деталі складної конфігурації і забезпечувати більш рівномірний характер поверхневої деформації.

Разом з тим вплив зміцнення на контактну витривалість несуттєво як на витривалість при згині. Актуальним є питання вивчення контактної витривалості сталей ВКС-5 і ДІ-3А після цементації і подальшого проведення ультразвукового зміцнення поверхні.

Технологія термообробки зразків зі сталі ВКС-5.

Мікроструктура сталі ВКС-5 після термообробки і зміцнення ультразвуком представлена на рисунку 2.4 цементований шар являє дрібноголчастий мартенсит з малою кількістю дрібнодисперсних карбідів. Залишків карбідної сітки не спостерігається, незважаючи на високий вміст вуглецю. В процесі УЗЗ внаслідок відносно великих напруг і багаторазового прикладання навантаження виникає напружено-деформований специфічний стан. Множинне ковзання додатково гальмує дислокації. Щільність дислокацій і дисперсність блоків висока.

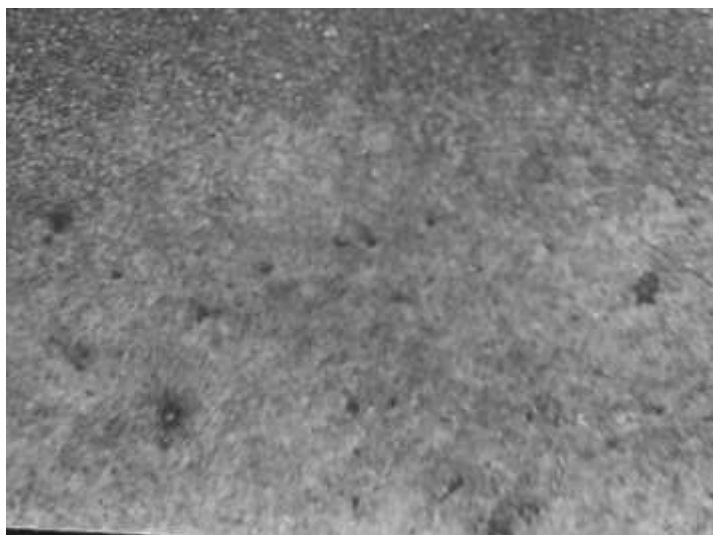


Рисунок 2.4 – Мікроструктура УЗЗ сталі ВКС-5

Технологія термообробки зразків зі сталі ДІ-3А.

Мікроструктура сталі ДІ-3А після остаточної термообробки представлена на рисунку 2.5 цементований шар являє дрібноголчастий мартенсит з малою кількістю дрібнодисперсних карбідів. Обезуглерожений поверхневий шар на зразках знято шліфуванням. Зміст вуглецю на біговій доріжці становить 0,8%.



Рисунок 2.5 – Мікроструктура У33 сталі ДІ-3А

Результати випробувань зразків із сталей ВКС-5 і ДІ-3А на контактну витривалість зміцнених ультразвуком.

В результаті статистичної обробки були визначені середньологарифмічна довговічність N_{50} , відповідна 50% ймовірності руйнування; гарантована довговічність N_{10} , відповідну 10% ймовірності руйнування зразків (табл. 2.2), а також середньоквадратичне відхилення S_{lgN} . За обчисленими значеннями і S_{lgN} були побудовані прямі, апроксимуючих функції розподілу логарифмів чисел циклів.

Основним критерієм виходу зразків з ладу була наявність ямок контактного втомленого викришування піттінгів. Відмінності в характері руйнування зразків різних марок не спостерігалось. Розміри піттінгів 0,25-0,3 мм. Слідів абразивного зносу, розкошування доріжки лушення не помічено. Для сталі ВКС-5 характеристики контактної витривалості вище на 25-57%.

Переважає більшість виникаючих мікротріщин розташована під кутом 30-45° до поверхні, причому, на ряді поперечних мікрошліфів, виготовлених із зразків, первинні тріщини спостерігалися під поверхнею, переважно в зоні дії максимальних дотичних напружень.

Таблиця 2.2 – Результати випробування сталей на контактну витривалість

Марка сталі	ДІ-3А+УЗЗ	ВКС-5+УЗЗ
Середньологарифмічна довговічність – N_{50} , млн. циклів	32,43	40,60
Гарантована довговічність N_{10} , млн. циклів	9,98	15,68

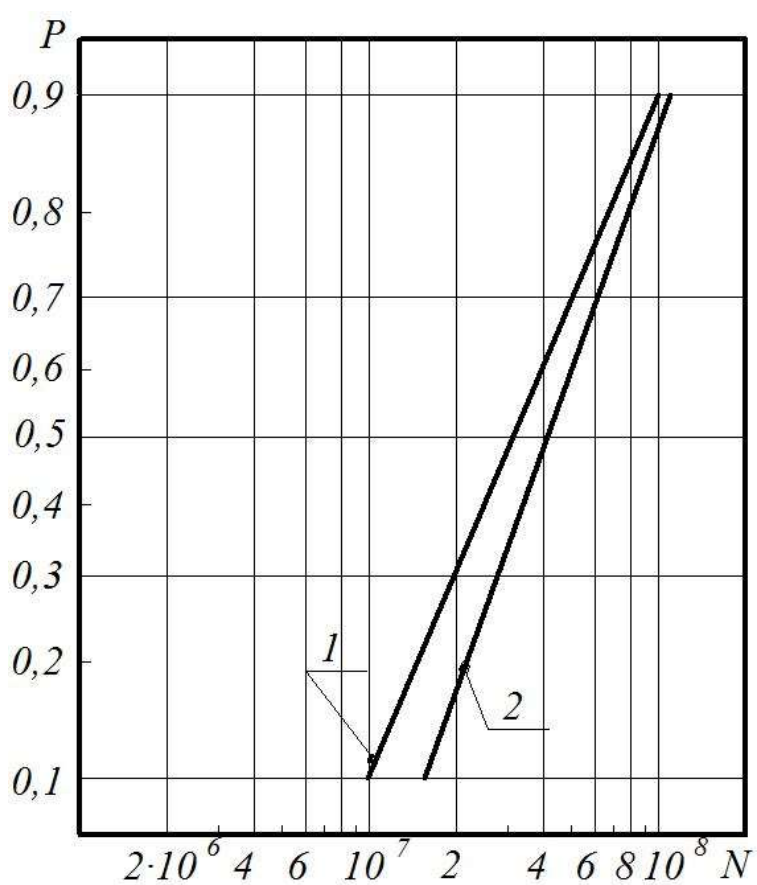


Рисунок 2.6 – Графіки функції розподілу довговічності зразків
(1 – ДІ-3А+ УЗЗ; 2 – ВКС-5+УЗЗ) $\sigma_{Zmax}=4500$ МПа; $t=20^{\circ}\text{C}$

3.3 Дослідження контактної витривалості сталей 30Х2Н2ВФМА і ВКС-5 термообробка азотування

Обґрунтування застосування азотованих сталей для зубчастих коліс ГТД.

Азотування відноситься до низькотемпературного процесу дифузійного насичення. Виконується при температурах 500...580°C. На відміну від цементованої, формування зміцненого високотвердого поверхневого шару відбувається без подальших фазових перетворень. Твердість і поверхонь після азотування вище, ніж при цементації, спрощена термообробка. Це робить даний вид ХТО перспективним. Крихкість і мала товщина зміцненого шару негативно позначаються на показниках контактної витривалості цих сталей. Азотування не застосовується для деталей машин при контактних навантаженнях вище 800 МПа.

При однаковій насиченості цементованого шару контактна витривалість і опір втомі зростають у міру збільшення міцності і твердості серцевини, досягаючи максимальних значень при $\sigma_B=1200-1300$ МПа і 40-43 HRC. Теплостійкі комплексно-леговані сталі мають ці характеристики, близькі до оптимальних значень. Найбільш міцну серцевину забезпечує сталь ВКС-5 [2,5], яка крім карбідоутворюючі елементів містить невелику кількість алюмінію і азоту. У присутності цих елементів в структурі стали поряд з карбідами утворюються дрібнодисперсні частинки карбонитридов і нітридів: Nb (C, N), VC, AlN, які стримують зростання зерна при цементації, нагріванні до 950°C і забезпечують міцність серцевини не нижче 1300 МПа.

Сталь 30X2H2ВФМА порівняно нова. Її характеристики після різних видів ХТО вимагають подальшого вивчення, зокрема досліджень на контактну витривалість для застосування в редукторах ВМД.

Технологія термообробки зразків зі сталі ВКС-5.

Для випробувань прийнята гарячекатана сталь ВКС-5, діаметр прутка $\varnothing 10$ мм ТУ 14-1-3242-81. Масова частка елементів у складі сталі, %: С – 0,18; Mn – 0,5; Si – 0,73; S – 0,009; Cr – 2,66; Ni – 1,22; W – 1,21; V – 0,49; Mo – 0,43; Nb – 0,18; Се (розрахунковий) – 0,01.

Механічні властивості в відпаленого стані поставки:

- межа міцності, МПа $\sigma_B=1350$;
- межа текучості, МПа $\sigma_T=1200$;
- відносне подовження, % $\delta=8-19$;

- відносне звуження, % $\psi=61-64$;
- ударна в'язкість, МДж/м² КСУ=0,70-0,72.

Перед чорною механічною обробкою заготовки пройшли попередню термічну обробку: нагрів до температури $(930\pm 10)^{\circ}\text{C}$, витримка – 50-60 хв і охолодження на повітрі; високий відпуск при температурі $(650\pm 20)^{\circ}\text{C}$ – 2,5-3,0 год охолодження на повітрі.

Чорнові зразки, виготовлені з припуском по робочих поверхнях 0,15 мм на сторону.

Технологія термообробки зразків зі сталі 30X2H2ВФМА

Перед чорною механічною обробкою заготовки зі сталі 30X2H2ВФМА пройшли попередню термічну обробку: гарт в мастило від температури 900°C , витримка – 50-60 хв; відпуск при температурі $(630\pm 15)^{\circ}\text{C}$, з витримкою протягом 5 ч.

Чорнові зразки, виготовлені з припуском по робочих поверхнях 0,15 мм на сторону.

Хіміко-термічна обробка проводилася за наступним режиму:

а) азотування в три стадії:

1) 1 стадія: температура $(520\pm 10)^{\circ}\text{C}$, витримка 25 год., Ступінь дисоціації аміаку – 25...35%;

2) 2 стадія: температура $(540\pm 10)^{\circ}\text{C}$, витримка 30 год., Ступінь дисоціації аміаку – 40...50%;

3) 3 стадія: діазотування при температурі $(540\pm 10)^{\circ}\text{C}$, витримка 9 год., Ступінь дисоціації аміаку – 100%.

б) охолодження в агрегаті в середовищі аміаку до 200°C ;

в) охолодження на повітрі.

Глибина азотованого шару досягала 0,5 мм. Твердість поверхневого шару HV 740-780, твердість серцевини HRC 39-45.

Мікроструктура сталі 30X2H2ВФМА після остаточної термообробки представлена на рисунок 2.7 у насиченому шарі азотистий сорбіт з включенням дрібнодисперсних карбонитридов (серцевина – сорбіт).



Рисунок 2.7 – Мікроструктура азотованої сталі 30X2H2BFMA

Результати випробувань зразків із сталей ВКС-5 і 30X2H2BFMA на контактну витривалість

В результаті статистичної обробки були визначені среднелогарифмическая довговічність N_{50} , відповідна 50% ймовірності руйнування; гарантована довговічність N_{10} , відповідна 10% ймовірності руйнування зразків (табл. 2.3), а також середньоквадратичне відхилення S_{lgN} . За обчисленими значеннями і S_{lgN} були побудовані прямі, апроксимуючих функції розподілу логарифмів чисел циклів:

$$lg N_{pi} = \bar{lg} N + u_{pi} \cdot S_{lg N} \text{ рисунок 2.8.}$$

Основним критерієм виходу зразків з ладу було утворення ямок контактного втомного вифарбовування піттингів. Відмінності в характері руйнування зразків різних марок не спостерігалось. Розміри піттингів 0,2-0,25 мм. Слідів абразивного зносу, розкочування доріжки луцення не помічено. Для сталі ВКС-5 характеристики контактної витривалості виявилися вищі на: 9% (среднелогарифмическая довговічність), 13% (гарантована довговічність).

Електроннографічне дослідження поверхонь вифарбовування підтверджувало типово втомний характер руйнування. Переважна більшість виникаючих мікротріщин розташована під кутом 30-45° до поверхні, причому, на ряду поперечних мікрошліфів, виготовлених із зразків, первинні тріщини спостерігалися під поверхнею, переважно в зоні дії максимальної дотичної напруги.

При оптичному і електронномікроскопічному дослідженні найбільші зміни структури спостерігалися на поверхні обкатування і в шарах, дуже близьких до поверхні. У міру видалення від поверхні міра спотворення мартенситу зменшується і, починаючи з глибини 30-40 мкм, структура не відрізняється від початкової.

Таблиця 2.3 – Результати випробування сталей на контактну витривалість

Марка сталі	30X2H2BФМА	ВКС-5
Середньологарифмічна довговічність – N_{50} , млн. циклів	29,38	32,04
Гарантована довговічність N_{10} , млн. циклів	10,45	11,82

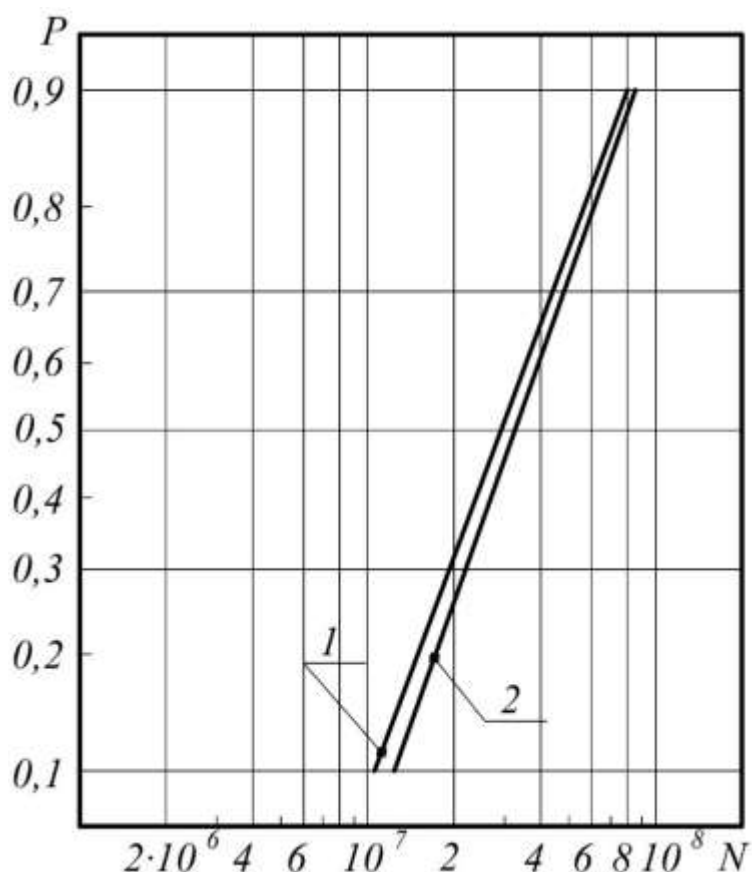


Рисунок 2.8 – Графіки функції розподілу довговічності зразків
(1 – 30X2H2BФМА; 2 – ВКС-5) $\sigma_{Zmax}=4500$ МПа; $t=20^{\circ}\text{C}$

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВИТРИВАЛОСТІ ДОСЛІДЖЕНИХ СТАЛЕЙ

З огляду на отримані попередні результати можна зробити наступні висновки: застосування зміцнюючої обробки УЗЗ дає підвищення конструктивної міцності для всіх сталей, підвищується як середньологарифмічна довговічність так і гарантована довговічність; застосування раціонально легованих сучасних сталей дозволяє підвищити довговічність в 1,5...1,7 разів.

Таким чином, впровадження ультразвукового зміцнення за технологією застосованої при виготовленні зразків надасть сприятливий вплив на підвищення контактної витривалості досліджених сталей. Разом з тим, беручи до уваги дослідження зарубіжних авторів, а так само досвід провідних авіадвигунобудівних фірм, можна констатувати, що отримані результати близькі до граничних величин, які можливо отримати, застосовуючи ультразвукове зміцнення. Деякий резерв в плані зміцнення кульками отриманий за рахунок застосування комплексного зміцнення з використанням мікрокульок, за рахунок можливості управління властивостями по глибині зміцненого шару.

Інший напрямок підвищення контактної витривалості сталей полягає в застосуванні покриттів.

Таким чином, проведені дослідження щодо підвищення контактної витривалості не є остаточними. На існуючому етапі видані такі технологічні рекомендації:

- переважне скорочення номенклатури застосовуваних матеріалів, подальше впровадження сталі ВКС-5 (термообробка цементация);
- використання ультразвукового зміцнення за прийнятою для зразків технології в якості фінішної зміцнюючої обробки.

Найбільш близькою перспективою щодо підвищення контактної витривалості сталей для виробництва зубчастих коліс є застосування ультразвукового зміцнення.

Поліпшити якість металу можна зменшенням в нім шкідливих домішок, газів, неметалічних включень. Для підвищення якості металу використовують: обробку

синтетичним шлаком, вакуумну дегазацію металу, вакуумно-дугову переплавку (ВДП), переплавку металу в електронно-дугових і плазмових печах і т. д.

Вакуумна дегазація проводиться для зменшення змісту в металі газів внаслідок зниження їх розчинності в рідкій сталі при зниженому тиску і неметалічних включення.

Вакуумування сталі проводять в ковші, при переливанні з ковша в ковш, при заливці у виливницю.

Для вакуумування в ковші ковш з рідкою сталю поміщають в камеру, що закривається герметичною кришкою. Вакуумними насосами створюють розрідження до залишкового тиску 0,267...0,667 кПа. При пониженні тиску з рідкої сталі виділяються водень і азот. Спливаючі бульбашки газів захоплюють неметалічні включення, внаслідок чого утримання їх в сталі знижується. Покращуються міцність і пластичність сталі.

Вакуумування в ківші ефективно проводити до розкислювання сильними розкислювачами кремнієм і алюмінієм. Вуглець металу реагує з киснем, окисел вуглецю відкачується, а з нею відкачуються азот і водень. В результаті метал розкислюється без утворення неметалічних включення і дегазується.

При вакуумуванні струменя металу при переливанні з ківша в ківш порожній ківш встановлюють у вакуумній камері, відкачують повітря. Подають до камери другий ківш з металом. Метал з верхнього ківша через воронку переливають в нижній, при цьому вакуум в камері не порушується. Потрапляючи в розріджений простір, струмінь розпадається на дрібні краплі. Дегазація у вакуумі роздробленого струменя ефективніша в порівнянні з вакуумуванням металу в ківші.

Для високоякісних і деяких високолегованих сталей застосовують відливання зливків у вакуумі. Використовують камеру, що складається з двох частин. У нижню поміщають просушену виливницю, у верхній частині на плиту герметично встановлюють проміжний ківш. Відкачують з камери повітря, в проміжний ківш наливають метал і починають розливання. Міра дегазації залежить від залишкового тиску. Газу видаляються не лише із зливка, але і із струменя металу, що протікає у вакуумі. Значне зниження змісту водню (до 60...70) забезпечує отримання сталі,

нечутливої до флокенам, що спрощує процес виробництва великих поковок. Зливки, отримані у такий спосіб, характеризуються підвищеними механічними властивостями, але вартість їх значно підвищується.

Вакуумно-дугову переплавку (ВДП) застосовують в цілях видалення з металу газів і неметалічних включення.

Статико-імпульсна обробка є порівняно новим способом обробки ППД, відрізняється ширшими можливостями варіювання глибиною і мірою зміцнення [8,9]. На відміну від інших способів ППД, при оброблювана поверхня зміцнюється хвилею деформації, сформованої за допомогою ударної системи генератора механічних імпульсів. При СІО основною деформуючою дією є динамічне (імпульсне). Можливості технологічних і конструктивно-технологічних параметрів СІО такі, що дозволяють ефективніше і точно управляти енергією удару за рахунок зміни форми і шпаруватості ударних імпульсів. В результаті СІО вантаження зміцнюваного матеріалу відбувається ударними імпульсами такої форми, при якій енергія, що витрачається на пластичну деформацію, максимальна. З'являється можливість регулювати параметри якості поверхневого шару в широкому діапазоні.

Залежно від глибини зміцнення при СІО може бути отриманий:

- наклепаний поверхневий шар з великою глибиною зміцнення до 8-10 мм, при цьому для забезпечення заданої точності і зниження шорсткості може бути використана подальша чистова механічна обробка; велика глибина зміцненого СІО шару дозволяє вибирати величину припуску на механічну обробку для "сирих" сталей до 1-2 мм, а термооброблених до 0,5 мм;
- наклепаний поверхневий шар з великою мірою зміцнення до 650 НV, малою глибиною до 2-3 мм і низькою шорсткістю поверхні, що досягає до $Ra=0,08-0,1$ мкм.

За допомогою СІО можливе отримання гетерогенно (нерівномірно) зміцненого поверхневого шару, в якому чергуються ділянки високою і низькою твердості. Перевагою робочих поверхонь з гетерогенною структурою при дії на них контактних циклічних навантажень являється гальмування в'язким і пластичним

матеріалом крихкої тріщини, що зародилася в твердій структурній складовій. Забезпечення оптимальних параметрів гетерогенності зміцнення виявляється дуже ефективним при роботі в умовах циклічних контактних навантажень, дозволяє збільшити працездатність в порівнянні з рівномірно зміцненим поверхневим шаром в 5-15 разів, залежно від способу зміцнення.

Залежно від необхідної рівномірності зміцнення СІО можуть бути отримані:

- повністю гетерогенно зміцнений поверхневий шар;
- тонкий поверхневий рівномірно зміцнений шар (до 1-1,5 мм) і під поверхневий гетерогенно зміцнений шар;
- товстий поверхневий рівномірно зміцнений шар (від 1,5 мм до 2,5-3 мм) і під поверхневий гетерогенно нерівномірно зміцнений шар;
- повністю рівномірно зміцнений поверхневий шар.

Такі широкі технологічні можливості способу зміцнення хвилею деформації в процесі СІО ППД визначають великі перспективи його використання при створенні комбінованих зміцнюючих технологій.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі подані основні заходи охорони праці, при визначні контактної міцності матеріалів для виготовлення шестерні редукторів.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) незадовільна організація робочого місця дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії, внаслідок невиконання вимог ергономіки, що може призвести до зниження працездатності;

б) можливість ураження електричним струмом, внаслідок порушень правил електробезпеки, несправних електроспоживачів обладнання або відсутності групових засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) можливість виникнення аварійних ситуацій які пов'язані з порушеннями правил з охорони праці, зокрема, можливість отримання механічних травм вразі відсутності огорожень усіх обертаючихся і рухаючихся частин;

г) небезпеки, які пов'язанні з обробкою результатів з використанням комп'ютерної техніки.

Наприклад:

- негативний вплив електромагнітних випромінювання при використанні відео-дисплейних терміналів, застарілих моделей. Це погано впливає на імунну систему робітника.

- негативний вплив візуальних ефектів при низькій, або не достатній контрастності (дозволу) зображення. Наслідок підвищення напруження зорового нерву.

- можливість астенопії – відчуття дискомфорту та біль в очах. В наслідок частої зміни сприймання зображення та роботою с клавіатурою.

- підвищення напруженості і інтенсивність праці, що пов'язана з ПК. Що може призвести до погіршення якості зору.

— підвищення психо-емоціональних навантажень, що призводить до професійного вигорання та стресових ситуацій.

д) незадовільні температурні параметри повітряного середовища в адміністративних приміщеннях, внаслідок незадовільна робота систем опалення та повітрообміну, що може призвести до зниження комфортності праці або захворювань;

е) незадовільне освітлення робочої зони в адміністративних приміщеннях дослідницької лабораторій, що може бути пов'язано з виходом з ладу освітлювальних приладів або надмірної їх забрудненості. Це може призвести до погіршення зору, погіршення здатності розрізняти об'єкти, а внаслідок і до травмування.

ж) можливість загорянь причинами яких є порушення правил пожежної безпеки, виток горючих робочих газів, коротке замикання;

з) небезпеки, що пов'язані з умовами роботи в надзвичайних ситуаціях

5.2 Заходи із забезпечення техніки безпеки

а) вимоги ергономіки згідно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общеэргономические требования» при організації робочого місця проектувальника забезпечують швидкість та ефективність роботи.

Важливими моментами, які необхідно врахувати для організації робочого місця, є такі:

- робоча поза;
- конфігурація та спосіб розміщення панелей індикаторів та органів управління;
- потреба в огляді робочого місця;
- необхідність використання робочої поверхні для писання або інших робіт, установлення телефонних апаратів, іншої техніки, допоміжних засобів;
- простір для ніг та стоп при роботі сидячи.

Конструктивне рішення щодо організації робочого місця обов'язково має забезпечити оптимальність усіх зон досяжності моторного та інформаційного полів. Під інформаційним полем розуміють простір робочого місця з розміщеними засобами відображення інформації та іншими джерелами інформації, якими користується людина в процесі праці. Оптимальною зоною інформаційного поля називається та його частина, у якій забезпечується найкраще сприйняття інформації, при цьому враховують кут огляду, оскільки більшість інформації оператори сприймають очима. Рекомендуються такі параметри: кут огляду має становити $30-40^{\circ}$ по відношенню до горизонталі робочого місця та $0-30^{\circ}$ вертикальній площині по відношенню до горизонталі.

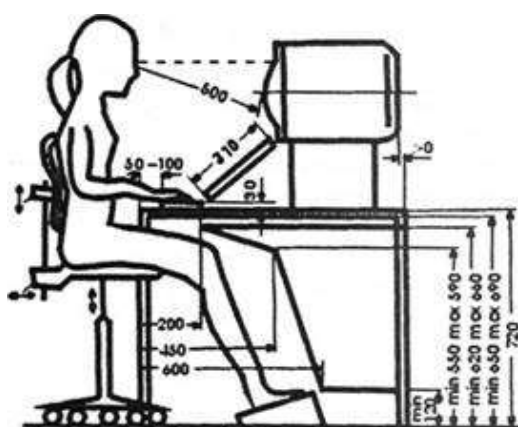


Рисунок 5.1 – Робочий стіл і розміщення користувача ПК

б) для запобігання ураження електричним струмом, передбачено: електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.1.019-79 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпеки. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» та ПУЕ-2013. Експлуатацію електрообладнання та електроустановок потрібно проводити згідно з «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правил технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів»:

- ізоляція струмоведучих частин (робота, додаткова, посилена, подвійна) повинна відповідати ГОСТ 12.2.007-75 «Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;

- захисне відключення відповідно ГОСТ 12.2.007-75 «Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;

– відповідність електрообладнання відповідно ГОСТ 12.2.019-79 «Система стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту».

в) При роботі з машиною для випробування на контактну міцність не слід відкривати для протирання захисне огороження з органічного скла. Основні вузли машини протирати тільки при вимкненому електродвигуні. При ввімкненому роз'ємнику електронного блоку не торкатися руками до клем електромагніту і мікрровимикача механізму навантаження, так як вказані клеми при ввімкненому електродвигуні знаходяться під напруженням. Перед ремонтом електромагніту, мікрровимикача і магнітного пускача слід знеструмити машину

г) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і помилку комп'ютера.

Основні правила організації простору навколо робочого місця:

– при тривалому і інтенсивному використанні, на поверхні модулів ПК (системний блок, монітор, мишка і т.д.) виникають невеликі розряди струму. Ці частинки активізуються під час дотиків до них і призводять до виходу техніки з ладу. Потрібно регулярно використовувати нейтралізатори, зволожувачі повітря, антистатиками;

– навколо столу не повинно бути звисаючих проводів, користувач не повинен контактувати з ними;

– важлива цілісність корпусу розетки і штепсельної вилки;

При виконанні роботи

Оскільки персональний комп'ютер має всі властивості електричного приладу, то на нього поширюються основні правила безпеки при взаємодії з провідниками струму:

- не можна розміщувати будь-які речі на проводах, а також самостійно змінювати їх розташування без особливої потреби;
- рекомендується уникати розташування рідин поруч з модулями комп'ютера;
- неприпустимо знімати корпус будь-якої із складових частин ПК під час його роботи;
- під час роботи на комп'ютері не можна одночасно торкатися до інших металевих конструкцій, які стоять на тій же поверхні. Це стосується опалювальних батарей або трубопроводів;
- при відчутті навіть незначного запаху гару, потрібно якомога швидше вимкнути ПК з мережі і звернутися до відповідального за обслуговування комп'ютерної техніки.

Що б мінімізувати вплив при тривалому знаходженні за монітором, варто назажди запам'ятати наступні правила:

- відстань між очима користувача і екраном становить не менше 600 мм;
- клавіатура повинна встановлюватись під кутом $15^0 (\pm 5)$;
- стілець розташовується таким чином, що б тримати рівну поставу;
- кість руки повинна мати опору, для чого відстань від клавіатури до краю стола становить 100-150 мм;
- надзвичайно важлива періодична зарядка. Щогодини потрібно вставати з крісла, розминати м'язи і суглоби на протязі 10-15 хв.

Режим праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота з зчитування інформації з екрана комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б – робота з введення інформації;

Група В – творча робота в режимі діалогу.

За основу роботу з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50% часу протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

для групи А – по сумарному числу прочитуються знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи Б – по сумарному числу зчитування або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером ;

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем. Користування електронагрівальними приладами з закритими нагрівальними елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях. Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшеного числа помилок у роботі, але і проводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової системи, імунної системи [15].

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) забезпечення належних параметрів повітряного середовища у адміністративних приміщеннях.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 5.1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія».

Таблиця 5.1– Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху.

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або кондиціонування згідно СНиП 2.04.05-91 «Отопление вентиляция и кондиционирование», а в холодний період – системи водяного опалення.

е) Для забезпечення нормованого освітлення передбачено встановлення системи штучного освітлення.

Штучне освітлення використовується для роботи в темні та перехідні години доби, а також при недостатньому або відсутньому природному освітленні.

Штучне освітлення може бути загальним і комбінованим. Загальне - світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою, або з врахуванням робочих місць). Комбіноване освітлення при складається із загального то місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також якщо потрібно створити певний напрямок світла.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на:

- робоче - призначене для забезпечення виробничого процесу і є обов’язковим для всіх виробничих приміщень;
- аварійне – використовується для продовження роботи у випадках відключення основного освітлення;
- евакуаційне – для забезпечення евакуації людей при аварійному відключенні робочого освітлення;
- охоронне – використовується в нічний період;
- чергове – передбачається в неробочий час [11].

5.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, дільниці, підстанції, цеху, тощо).

Відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», передбачити шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи). Указати максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания».

Показати відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж об'єкту (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, офісу, дільниці, підстанції, цеху, тощо), вимогам пожежної безпеки, згідно вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Показати наявність засобів виявлення загорянь і пожеж згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту»:

- автоматичних сигналізаторів про пожежу;
- системи пожежної сигналізації;

З огляду на пожежну небезпеку виробництва, передбачити систему пожежного водопостачання або автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники різних видів) відповідно до вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677.

Наприклад.

Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

– згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

– відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного

боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – входні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 яка відповідає класу пожежанебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6». Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м², тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м² площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових

вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м [15].

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

з) інженерно-технічні заходи від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва

Ядерний вибух має декілька вражаючих факторів, які впливають на людей та механізми. Ці фактори складаються зі світowego випромінювання, ударної хвилі та електромагнітного імпульсу, окрім цього радіоактивне враження.

Електромагнітний імпульс супроводжує ядерний вибух у вигляді короткого імпульсу, який вражає електричну та електронну апаратуру.

Особливість електромагнітного імпульсу полягає в його здатності поширюватися на десятки кілометрів в оточуючому середовищі та по різних комунікаціям.

В мережах електропостачання виникають перевантаження, які викликають пробій ізоляції обмоток електродвигуна, міжфазне коротке замикання, замикання на корпус, пробій ізоляції проводів, які підключають двигун до мережі.

Ступінь ушкодження залежить від амплітуди наведеного імпульсу напруги або струму та електричної міцності обладнання. Особливо незахищеним до впливу електромагнітного імпульсу є апаратура на напівпровідниках. Електромагнітний імпульс випалює елементи електросхем, викликає коротке замикання, іонізацію діелектриків.

Електромагнітний імпульс вражає також резистори, викликає іскріння у міжконтактних з'єднаннях. Це призводить до нагріву та пошкодження опору поверхні, що буває небезпечно.

Електромагнітний імпульс ядерного вибуху вражає електротехнічні пристрої керування електродвигуном, тому необхідно вірно оцінити ймовірність пошкодження наявних схем і систем внаслідок дії електромагнітного імпульсу (EMI).

Головна задача захисних пристроїв від ЕМІ – виключити доступ наведених струмів до чутливих вузлів та елементів обладнання, яке захищається.

Одним з методів захисту від дії сильного ЕМІ є використання металевих екранів. Вони віддзеркалюють електромагнітні хвилі та гасять високовольтну високочастотну енергію. Через систему заземлення струм, наведений ЕМІ, збігає в землю.

Для розширення спектру частот ЕМІ, що поглинаються, використовують різні типи екранів, виготовлених з різних елементів. Найдешевший екрануючий матеріал – холоднокатана сталь. Стінки екранів можуть виконуватися у вигляді сіток та у вигляді листів.

Також використовуються розрядники, які встановлюються в лінії електропостачання на вході та виході електродвигуна, що захищається.

Основні функції захисного розрядника – розімкнути лінію або відвести енергію для попередження пошкодження в двигуні або обладнанні, що захищається.

Розрізняють два види розрядників:

- “жорсткі” обмежувачі – прилади з пробоем (газові розрядники, діоди);
- “м'які” обмежувачі – нелінійні опори, які залежать від напруги (конденсатори).

Для електродвигунів основну небезпеку представляє імпульс, який приходить до мережі живлення.

Для захисту використовують запобіжники та вхідні пристрої, які реагують на підвищення струму або напруги. Найбільш ефективними є вказані пристрої з використанням плавких запобіжників.

При появі між провідною лінією і землею великої різниці потенціалів розрядники у ряді випадків забезпечать “стікання” великого заряду в землю без пошкодження ізоляційних елементів ліній.

Для захисту двигунів в цьому випадку використовують: плавкі вставки з автоматичним відновленням, замикаючі котушки, розрядники, дренажні котушки, двопровідну лінію, екран кабелю та пристрій вимикання двигунів.

Також для захисту кабелів, які живлять електродвигуни, використовують екранування і прокладання кабелів в металевих трубах. При цьому використовуються кабелі з високим коефіцієнтом екранування і високою електричною та механічною міцністю, тому що прокладання в трубах викликане великими труднощами.

При виборі захисних пристроїв слід враховувати, що ЕМІ характеризується дуже великим об'ємом, тобто одночасним спрацьовуванням захисних засобів у всіх ланцюгах, які будуть знаходитись в зоні джерела ЕМІ. Тому схеми захисту, що використовуються, повинні автоматично відновлювати працездатність ланцюгів.

Стійкість електродвигунів до дії ЕМІ у великій мірі залежить від правильної експлуатації ліній та правильного контролю справності засобів захисту. До важливих вимог експлуатації відносять періодичну і своєчасну перевірку електричної міцності ізоляції ліній до входних ланцюгів електрорадіотехнічної апаратури, своєчасне виявлення та усунення вимикаючих заземлень проводки, контроль працездатності розрядників, плавких вставок і т. і.

Вказані засоби захисту повинні застосовуватися на усіх видах електротехнічної апаратури з урахуванням характеру вражаючої дії електромагнітних випромінювань ядерного вибуху для забезпечення надійності роботи підприємств в умовах ракетно-ядерної війни [13].

5.6 Розрахунок оцінки рівня умови праці, важкості та напруженості праці за бальною шкалою

Таблиця 5.2 – Вихідні дані:

Фактор (показник)	Фактичне значення	Час дії, год
Мікроклімат за ТНС-індексом t , °C	27	8
Освітлення приміщення E , лк	320	8
Розряд і підрозряд зорових робіт, Z_{op}	A-2	—
Рівень шуму L , дБ А	86	5
Напруженість праці:		
Загальні енергозатрати організму, Вт	300	7
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6
Важкість праці:		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7
Тривалість робочого дня, год	8	8

Рішення

1. У відповідності до завдання, вносимо наявні фактори умов праці та виробничого середовища що впливають на працівника в процесі трудової діяльності їх фактичне значення та час дії вносимо до стовпчиків 1,2,3, таблиці 5.3 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

2. Відповідно до довідника, за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для інженера-дослідника в КБ обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 140 Вт (90-120 ккал/год.) та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії I б.

3. З довідника, відповідно до категорії робіт I б, розряду зорових робіт A-2 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 4, таблиці 5.3 «Результати оцінювання за бальною шкалою».

4. Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічно класифікацією праці», визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{\text{визн}}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці 5.3 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

– для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, з таблиці. Розрахунковий коефіцієнт $X_{\text{винз}}$ при оцінці мікроклімату визначаємо в балах, за формулою :

$$X_{\text{винз}} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} = \frac{3 \cdot 8}{8} = 3 \quad (5.1)$$

– для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою:

а) Загальні енергозатрати організму, $K_{\text{знач}}=1,0$

$$X_{\text{винз}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot 1,0}{8 \cdot P_{\text{доп}}} = \frac{300 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 0,91 \quad (5.2)$$

б) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{\text{знач}} = 1,0$

$$X_{\text{винз}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot 1,0}{8 \cdot P_{\text{доп}}} = \frac{38000 \cdot 6 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 0,71 \quad (5.3)$$

в) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{\text{знач}}=1,0$

$$X_{\text{винз}} = \frac{P_{\text{вим}} \cdot T \cdot 1,0}{8 \cdot P_{\text{доп}}} = \frac{76 \cdot 7 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 0,89 \quad (5.4)$$

г) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{\text{знач}}=0,15$;

5. Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до стовпчика 6, таблиці 5.3 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}}=2$, з довідника – 3 клас, 2 ступінь;
- при оцінці освітлення робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{\text{вим}}=320$ лк, за довідником – 3 клас, 1 ступінь;
- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{\text{вим}}=86$ дБА, за довідником – 3 клас, 1 ступінь;
- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахункових балів усіх показників $X_{\text{визн}}$ за формулою:

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i = 0,91 + 0,71 + 0,89 + 0,15 = 2,6 \quad (5.5)$$

З довідника за значенням суми розрахункових балів показників

$X_{\text{сум}}=2,66$ – 3 клас, 2 ступінь.

6. Оскільки загальна гігієнічна оцінка умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, з урахуванням комбінованої та сумісної дії виробничих факторів, встановлюється за найбільш високим класом та ступенем шкідливості окремих факторів і показників, тому в результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці інженера-конструктора в КБ обладнаної ПК належить до 3 класу, 2 ступеню.

7. Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо її значення до стовпчика 7, таблиці 5.3 «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

Таблиця 5.3 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{\text{вим}}$	Час дії год(хв.)	ГДК,ГДР, Показники, $P_{\text{доп}}$	$X_{\text{визн.}}$, бали	Клас умови праці	X_i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом $t, ^\circ\text{C}$	27	8	22,9-25,8	3	3,3	3
Освітлення приміщення E , лк	320	8	400	—	3,1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $Z_{\text{ор}}$	A-2	—	—	—	—	—
Рівень шуму L , дБ А	86	5	50	—	3,1	0,63
Загальні енергозатрати організму, Вт	300	7	290	0,91	3,2	2
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	38000	6	40000	0,71		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	76	7	75	0,89		
Тривалість робочого дня, год	8	8	8	0,15		

— для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{\text{ст}}=X_1=3$;

— при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 8 годин, тому коректування не потрібно – $X_{\text{ст}}=X_i=1$;

— для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 1 ступеню умов праці та діє протягом 5 годин, тому значення X_i визначаємо по формулі:

$$X_i = X_{\text{ст}} \cdot \frac{T}{8} = 1 \cdot \frac{5}{8} = 0,63 \quad (5.6)$$

– для оцінки впливу важкості та напруженості праці, входимо з того що вони відповідають 3 класу, 2 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{\text{ст}}=X_i= 2$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i по формулі:

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i = 3 + 1 + 0,63 + 2 = 6,63 \quad (5.7)$$

8. Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{\text{факт}}=6,63$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з довідника. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) –16%.

9. На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці інженера-дослідника в КБ, згідно результатів досліджень, належить до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці інженера-дослідника КБ належать до категорії Іб, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії Іб, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища – ТСН-індексом 20,2-22,8⁰С;
- освітленість приміщення для роботи з дисплеями й відеотерміналами відповідає розряду зорових робіт А-2, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E=400$ лк;
- рівень шуму в робочій зоні інженера дослідника КБ – 50 дБА;
- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 20000;
- тривалість зосереження уваги (в % від часу зміни), до 50% ;
- тривалість робочого дня, 6 або 7 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс-заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціонування приміщення;
- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;
- для зниження рівня шуму в робочій зоні інженера дослідника КБ необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;
- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно передбачити перерви, не менше 15 хвилин, кожні 1-2 години;
- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерив, не менше 15 хвилин, кожні 1-2 години;
- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до довідника, у розмірі 16 % [14].

ВИСНОВКИ

Отримані характеристики контактної витривалості сталей ВКС-5 і ДІ-3А при цементації і УЗЗ в статистичному аспекті при нормальній температурі (7%).

При нормальній температурі отримані характеристики контактної витривалості сталі ВКС-5 вище ДІ-3А на 30%.

При нормальній температурі отримані характеристики контактної витривалості сталі ВКС-5 з УЗЗ вище ніж у ДІ-3А з УЗЗ на 57% (по гарантованій довговічності).

Відносно невисокий підвищення контактної довговічності при кімнатній температурі пов'язано зі зниженням шорсткості після УЗЗ.

При нормальній температурі отримані характеристики контактної витривалості сталі ВКС- 5 вище ніж у 30Х2Н2ВФМА на 13 %.

Отримані характеристики контактної витривалості сталей 30Х2Н2ВФМА і ВКС-5 при хіміко-термічній обробці азотування в статистичному аспекті при нормальній температурі (7%).

Усі розглянуті заходи в розділі “Охорона праці” сприяють покращенню умов праці та безпеки, зменшують шкідливий вплив виробничих факторів на людину, а тому призводять до покращення якості виконаних робіт.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Машина МКВ-К для испытания на контактную выносливость (Руководство к пользованию). Москва 1965 р.
2. Елисеев, Ю. С. Научные основы совершенствования технологии изготовления зубчатых колес ГТД [Текст] / Ю.С. Елисеев // Двигатель. – 2001. - № 4(16). – С. 10 – 13.
3. Герасимов, С. А. Влияние размера зерна аустенита на структуру и контактную долговечность азотированной стали [Текст] / С.А. Герасимов, С.Д. Карпухин, В.И. Кучерявый, Э.А. Елисеев, А.В. Некрасов // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1994. - № 6. – С. 10 – 13.
4. Design of Oil-Lubricated Machine for Life and Reliability: Technical Memorandum [Текст]: NASA; Zaretsky E.V. – NASA, 2007. – 16 p. – Rep. № NASA TM2007-214362.
5. Елисеев, Ю. С. Производство зубчатых колес газотурбинных двигателей: Произв.-практ. издание [Текст] / Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, И.П. Нежурин и др., Под ред. Ю.С. Елисеева. – М.: Высшая школа, 2001. – 493 с.
6. Крылов, К. А. Долговечность узлов трения самолетов [Текст] / К.А. Крылов, М.Е. Хаймзон – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
7. Гюлиханданов, Е. Л. Цементация теплостойких сталей в контролируемой эндотермической атмосфере [Текст] / Е.Л. Гюлиханданов, В.Г. Хорошилов // МиТОМ – 1971. – № 8. – С. 30 – 35.
8. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин // Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2004. 288 с.
9. Киричек, А.В. Перспективные методы комбинированного упрочнения на основе статико-импульсной обработки ППД / А.В. Киричек, Д.Е. Тарасов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007.
10. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці» з

дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання. Укл.: М. І. Лазуткін, М. О. Журавель - Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 р. – 44 с.

11. Князевский Б. А. Охрана труда в электроустановках [Текст] : учебник / Б. А. Князевский [и др.] ; ред. Б. А. Князевский. - 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 336 с. : ил. - (Для студентов вузов).

12. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. Ц. Жидецький. – 5-те вид., доп. – К. : Знання, 2014. – 373 с. + 1 ел. опт. диск (CD-ROM). – ISBN 978-617-07-0134-3.

13. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист [Текст] : навч. посіб. для вузів / М. І. Стеблюк. – К. : Знання, 2013, - 487 с.

14. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Визначення типу технічних систем для нормалізації параметрів мікроклімату» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання / Укл. О.Л. Скуйбіда – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 18 с.

15. Березуцький В. В. Основи охорони праці [Текст] : підручник / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; за ред. проф. В. В. Березуцького. – Х.:Факт, 2005. – 480 с.

16. Уткина, А. Н. Цементуемая сталь 16Х2НЗМФБАЮ [Текст] / А.Н. Уткина, И.П. Банас, Л.В. Тарасенко и др. // МиТОМ. – 1985. – № 10. – С. 61 – 63.

17. Алексеева, Г. П. Современные стали для высоконапряженных зубчатых колес [Текст] / Г.П. Алексеева, И.П. Банас, А.Н. Уткина // Вестник машиностроения. – 1985. – № 9. – С. 12 – 15.

Додаток А

Протоколи випробувань та попередньої статистичної обробки

Таблиця А.1 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі ДІ-3А

j	p _j	u _{pj}	u _{pj} ²	N, млн цикл	lgN _j	lgN _j * u _{pj}
1	0,0378	-1,774	3,1471	6,1	6,7853298	-12,0372
2	0,0922	-1,329	1,7662	7,25	6,860338	-9,11739
3	0,1465	-1,054	1,1109	8,5	6,9294189	-7,30361
4	0,2009	-0,8381	0,7024	9,25	6,9661417	-5,83832
5	0,2553	-0,6557	0,4299	14,25	7,1538149	-4,69076
6	0,3097	-0,4959	0,2459	16,25	7,2108534	-3,57586
7	0,3641	-0,3478	0,1210	24	7,3802112	-2,56684
8	0,4184	-0,207	0,0428	28,4	7,4533183	-1,54284
9	0,4728	-0,0677	0,0046	31,75	7,5017437	-0,50787
10	0,5272	0,0677	0,0046	34	7,5314789	0,509881
11	0,5816	0,207	0,0428	41	7,6127839	1,575846
12	0,6359	0,3478	0,1210	44	7,6434527	2,658393
13	0,6903	0,4959	0,2459	52,5	7,7201593	3,828427
14	0,7447	0,6557	0,4299	63	7,7993405	5,114028
15	0,7991	0,8381	0,7024	68,5	7,8356906	6,567092
16	0,8535	1,054	1,1109	75,25	7,8765065	8,301838
17	0,9078	1,329	1,7662	88,5	7,9469433	10,56149
18	0,9622	1,774	3,1471	89	7,94939	14,10222
		Σu _{pj} ²	15,1418		Σ lgN _j =134,15692	6,038554
					$\lg N = 7,453162$	S _{lgN} =0,3988

Таблиця А.2 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі ВКС-5

j	P_j	u_{pj}	u_{pj}^2	N, млн цикл	$\lg N_j$	$\lg N_j * u_{pj}$
1	0,0378	-1,774	3,1471	9,55	6,9800034	-12,3825
2	0,0922	-1,329	1,7662	9,85	6,9934362	-9,29428
3	0,1465	-1,054	1,1109	11,35	7,0549959	-7,43597
4	0,2009	-0,8381	0,7024	14,85	7,1717265	-6,01062
5	0,2553	-0,6557	0,4299	16,85	7,2265999	-4,73848
6	0,3097	-0,4959	0,2459	23,45	7,3701428	-3,65485
7	0,3641	-0,3478	0,1210	27,65	7,4416951	-2,58822
8	0,4184	-0,207	0,0428	35,65	7,5520595	-1,56328
9	0,4728	-0,0677	0,0046	39,45	7,596047	-0,51425
10	0,5272	0,0677	0,0046	41,95	7,622732	0,516059
11	0,5816	0,207	0,0428	43,45	7,6379898	1,581064
12	0,6359	0,3478	0,1210	49,75	7,6967931	2,676945
13	0,6903	0,4959	0,2459	54,55	7,7367948	3,836677
14	0,7447	0,6557	0,4299	69,5	7,8419848	5,141989
15	0,7991	0,8381	0,7024	76,4	7,8830934	6,606821
16	0,8535	1,054	1,1109	81,75	7,9124878	8,339762
17	0,9078	1,329	1,7662	89,4	7,9513375	10,56733
18	0,9622	1,774	3,1471	91,1	7,9595184	14,12019
		Σu_{pj}^2	15,1418		$\Sigma \lg N_j = 135,62944$	5,204351
					$\lg N = 7,5349688$	$S_{\lg N} = 0,343708$

Таблиця А.3 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі ДІ-3А зміцнених ультразвуком

j	P_j	u_{pj}	u_{pj}^2	N, млн цикл	$\lg N_j$	$\lg N_j * u_{pj}$
1	0,0378	-1,774	3,1471	6,1	6,7853298	-12,0372
2	0,0922	-1,329	1,7662	7,05	6,8481891	-9,10124
3	0,1465	-1,054	1,1109	8,25	6,9164539	-7,28994
4	0,2009	-0,8381	0,7024	12,05	7,080987	-5,93458
5	0,2553	-0,6557	0,4299	18,45	7,2659964	-4,76431
6	0,3097	-0,4959	0,2459	25,35	7,403978	-3,67163
7	0,3641	-0,3478	0,1210	28,4	7,4533183	-2,59226
8	0,4184	-0,207	0,0428	31,75	7,5017437	-1,55286
9	0,4728	-0,0677	0,0046	35,35	7,5483894	-0,51103
10	0,5272	0,0677	0,0046	41,15	7,6143698	0,515493
11	0,5816	0,207	0,0428	48,35	7,6843965	1,59067
12	0,6359	0,3478	0,1210	53,6	7,7291648	2,688204
13	0,6903	0,4959	0,2459	62,5	7,79588	3,865977
14	0,7447	0,6557	0,4299	65,85	7,8185558	5,126627
15	0,7991	0,8381	0,7024	73,35	7,8654001	6,591992
16	0,8535	1,054	1,1109	84,45	7,9265997	8,354636
17	0,9078	1,329	1,7662	92,45	7,9659069	10,58669
18	0,9622	1,774	3,1471	98,5	7,9934362	14,18036
		Σu_{pj}^2	15,1418		$\Sigma \lg N_j = 135,1981$	6,045611
					$\lg N = 7,5110053$	$S_{\lg N} = 0,399266$

Таблиця А.4 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі ВКС-5 зміцнених ультразвуком

j	p _j	u _{pj}	u _{pj} ²	N, млн цикл	lgN _j	lgN _j * u _{pj}
1	0,0378	-1,774	3,1471	12,25	7,0881361	-12,5744
2	0,0922	-1,329	1,7662	13,05	7,1156105	-9,45665
3	0,1465	-1,054	1,1109	15,4	7,1875207	-7,57565
4	0,2009	-0,8381	0,7024	17,35	7,2392995	-6,06726
5	0,2553	-0,6557	0,4299	23,7	7,3747483	-4,83562
6	0,3097	-0,4959	0,2459	25,55	7,4073909	-3,67333
7	0,3641	-0,3478	0,1210	33,85	7,5295587	-2,61878
8	0,4184	-0,207	0,0428	38,65	7,5871495	-1,57054
9	0,4728	-0,0677	0,0046	42,45	7,6278777	-0,51641
10	0,5272	0,0677	0,0046	47,45	7,6762362	0,519681
11	0,5816	0,207	0,0428	51,75	7,7139104	1,596779
12	0,6359	0,3478	0,1210	57,55	7,7600453	2,698944
13	0,6903	0,4959	0,2459	68,65	7,8366405	3,88619
14	0,7447	0,6557	0,4299	81,45	7,9108911	5,187171
15	0,7991	0,8381	0,7024	85,45	7,9317121	6,647568
16	0,8535	1,054	1,1109	89,75	7,9530345	8,382498
17	0,9078	1,329	1,7662	98,85	7,9949767	10,62532
18	0,9622	1,774	3,1471	104,55	8,019324	14,22628
		Σu _{pj} ²	15,1418		Σ lgN _j =136,95406	4,881858
					$\lg N = 7,608559$	S _{lgN} =0,322409

Таблиця А.5 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі ВКС-5 азотування

j	pj	upj	upj2	N, млн цикл	lgNj	lgNj* upj
1	0,0378	-1,774	3,1471	7,3	6,8633229	-12,1755
2	0,0922	-1,329	1,7662	11,3	7,0530784	-9,37354
3	0,1465	-1,054	1,1109	12,8	7,10721	-7,491
4	0,2009	-0,8381	0,7024	14,4	7,1583625	-5,99942
5	0,2553	-0,6557	0,4299	14,6	7,1643529	-4,69767
6	0,3097	-0,4959	0,2459	15,8	7,1986571	-3,56981
7	0,3641	-0,3478	0,1210	20,9	7,3201463	-2,54595
8	0,4184	-0,207	0,0428	23,4	7,3692159	-1,52543
9	0,4728	-0,0677	0,0046	27,7	7,4424798	-0,50386
10	0,5272	0,0677	0,0046	36	7,5563025	0,511562
11	0,5816	0,207	0,0428	40,7	7,6095944	1,575186
12	0,6359	0,3478	0,1210	46,5	7,667453	2,66674
13	0,6903	0,4959	0,2459	51,3	7,7101174	3,823447
14	0,7447	0,6557	0,4299	68,2	7,8337844	5,136612
15	0,7991	0,8381	0,7024	72	7,8573325	6,58523
16	0,8535	1,054	1,1109	76,5	7,8836614	8,309379
17	0,9078	1,329	1,7662	84,9	7,9289077	10,53752
18	0,9622	1,774	3,1471	91,5	7,9614211	14,12356
		$\Sigma upj2$	15,1418		$\Sigma lgNj = 134,6854$	5,387027
					$\bar{lg} N = 7,4825222$	$S_{lgN} = 0,355772$

Таблиця А.6 – Протокол випробувань та попередньої статистичної обробки зразків зі сталі 30X2H2BФМА азотування

j	p_j	u_{pj}	u_{pj}^2	N, млн цикл	$\lg N_j$	$\lg N_j * u_{pj}$
1	0,0378	-1,774	3,1471	3,5	6,544068	-11,6092
2	0,0922	-1,329	1,7662	6,4	6,80618	-9,04541
3	0,1465	-1,054	1,1109	10,1	7,0043214	-7,38255
4	0,2009	-0,8381	0,7024	14,8	7,1702617	-6,0094
5	0,2553	-0,6557	0,4299	16,4	7,2148438	-4,73077
6	0,3097	-0,4959	0,2459	17,5	7,243038	-3,59182
7	0,3641	-0,3478	0,1210	20,3	7,307496	-2,54155
8	0,4184	-0,207	0,0428	23,9	7,3783979	-1,52733
9	0,4728	-0,0677	0,0046	26,3	7,4199557	-0,50233
10	0,5272	0,0677	0,0046	27,7	7,4424798	0,503856
11	0,5816	0,207	0,0428	44,3	7,6464037	1,582806
12	0,6359	0,3478	0,1210	46	7,6627578	2,665107
13	0,6903	0,4959	0,2459	49,6	7,6954817	3,816189
14	0,7447	0,6557	0,4299	53,3	7,7267272	5,066415
15	0,7991	0,8381	0,7024	65,3	7,8149132	6,549679
16	0,8535	1,054	1,1109	70,4	7,8475727	8,271342
17	0,9078	1,329	1,7662	71,2	7,85248	10,43595
18	0,9622	1,774	3,1471	80,2	7,9041744	14,02201
		Σu_{pj}^2	15,1418		$\Sigma \lg N_j = 133,68155$	5,973001
					$\lg N = 7,426753$	$S_{\lg N} = 0,394471$