

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до лабораторної роботи "Формування якості поверхні при зміцненні
сталевими кульками у силовому ультразвуковому полі "

для студентів зі спеціальності
131 «Прикладна механіка»
освітньої програми «Технології машинобудування»
усіх форм навчання

Запоріжжя 2024

Методичні рекомендації до лабораторної роботи "Формування якості поверхні при зміцненні сталевими кульками у силовому ультразвуковому полі" для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська, –Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024 – 34 с.

Укладачі: Пухальська Г.В., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Рецензент: Козлова О.Б., к.т.н., доцент кафедри ТМБ

Відповідальний за випуск: Дядя С.І., к.т.н., доцент, зав. каф. ТМБ

Затверджено на засіданні кафедри
«Технологія машинобудування»
Протокол № 1
від 06. 08. 2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК МФ
Протокол № 1 від 27.08.2024 р.

1. МЕТА РОБОТИ

1. Вивчити технологічний процес зміцнення навантажених деталей Г.Т.Д. поверхневим пластичним деформуванням (П.П.Д) сталевими кульками у потужному ультразвуковому полі.

2. Ознайомитись з конструкцією та принципом роботи технологічного обладнання і технологічної оснастки.

3. Виконати налагодження установки, провести зміцнення зразків і обробку експериментальних даних, зробити аналіз впливу режимів зміцнення на формування якості поверхні.

2. ОБЛАДНАННЯ, ПРИЛАДИ І ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ

1. Ультразвукова установка - У.З.У.

1.1. Ультразвуковий генератор - УЗГ2 - 4М.

1.2. Магнітострікційний перетворювач з концентратором - ПМСІ5А-18.

2. Пристрій для закріплення експериментальних зразків при зміцненні.

3. Пристрій для вимірювання протну зразків після зміцнення.

4. Частотомір електронно-розрахунковий типу ЧЗ - 36.

5. Прилад для вимірювання шорсткості - МІС - ІІ.

6. Мікротвердовимірювач ПМТ - 3.

7. Індикаторні прилади з ціною поділки 0,01 та 0,002 мм.

8. Стояк для закріплення індикаторних приладів.

9. Мікрометр 0. .25 мм.

10. Лінійка 250 мм.

11. Сталеві кульки \varnothing 0,8... 1,6 мм.

12. Експериментальні зразки - 10... 12 шт.

13. Розрахункові калькулятори.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНЕВИМ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ ТА ПРИНЦИПОВА СХЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УСТАНОВКИ

Несуча здатність деталей авіаційних двигунів у значній мірі залежить від стану поверхневого шару, який формується під впливом різних операцій як попередньої, так і остаточної обробки.

При виконанні окремих із них не виключається утворення несприятливих структурних і фазових з'єднань, приладів, залишкової напруги розтягування, глибоких рисок - різьких концентраторів напруги, що окремо і в сукупності негативно впливає на опір матеріалу зовнішньому навантаженню, підвищення якого конструктивними методами ускладнюється обмеженням маси та розмірів деталей літальних апаратів. Тому, у виробництві авіаційних Г.Т.Д широко впроваджуються різні технологій засоби забезпечення їх надійності за рахунок резервів міцності матеріалу, серед яких домінуюче місце займає поверхнєве пластичне деформування: накатування роликком і кулькою, вигладжування алмазом, вібро- і гідро- галтування, дробоструменевий наклеп та зміцнення сталевими кульками на ультразвукових установках.

Використання кожного метода визначається конструктивними особливостями деталі, умовами їх роботи в експлуатації, технологічними можливостями процесу, наявністю та вартістю обладнання, умовами і складністю його обслуговування.

Як свідкує досвід, найбільш доцільним методом підвищення надійності деталей Г.Т.Д, що працюють в умовах знакозмінного навантаження є зміцнення П.П.Д. сталевими кульками на ультразвукових установках, принципова схема яких показана на рис. 4.1.

Установка складається із ультразвукового генератора 1, магніострікційного перетворювача 2, хвилепровода концентратора 3, внутрішня порожнина якого утворює робочу камеру, куди завантажуються сталеві кульки 4 і рідина - наповнювач для виключення «сухого» удару їх при зустрічі з поверхнею деталі.

Зміцнюючі деталі 7 закріплюються на пристрої 5 за допомогою якого опускаються у робочу камеру - концентратор 3. Для зменшення рівня шуму, концентратор закривається кожухом 6.

Завдяки простоті конструкції ультразвукової установки нескладності її обслуговування, операції зміцнення легко вписуються у технологічні процеси виготовлення різних деталей; піддаються автоматизації, в тому числі і у складі робототехнічних комплексів (Р.Т.К); не викликають негативного впливу на навколишнє середовище.

4. ПРИНЦИПИ РОБОТИ У.З.У. ТА СКЛАДОВІ РЕЖИМУ ЗМІЦНЕННЯ

Ультразвуковий генератор є джерелом електричної енергії високої частоти – 18...20 кГц, що надходить до обмоток магніострікційного перетворювача, викликаючи збудження змінного магнітного поля, під впливом якого виникають механічні імпульси тієї ж частоти. Через хвилепровід вони передаються на концентратор, збуджуючи поздовжні та згинні коливання дна і стінок циліндра.

Сталеві кульки в порожнині концентратора набувають кінетичної енергії і при зустрічі з поверхнею деталі на великій швидкості викликають пластичну деформацію матеріалу, ступінь та глибина розповсюдження якої залежить від режиму зміцнюючої обробки.

Режим обробки на ультразвукових установках визначається:

- розміром сталевих кульок та їх сумарною масою;
- амплітудою коливань стінок - енергопередаючих елементів концентратора;
- частотою коливань;
- тривалістю обробки.

Режим зміцнення визначають в залежності від матеріалу деталі і стану поверхневого шару до зміцнення: величини шорсткості, твердості, наявності і виду покриття; наявності і виду термічної обробки.

Ефективність зміцнення оцінюють:

- по розміру шорсткості і характеру мікропрофіля поверхні;
- глибині та ступеню пластичної деформації матеріалу; характеру її розповсюдження під поверхнею;
- знаку, рівню та характеру зміни залишкової напруги в поверхневому шарі.

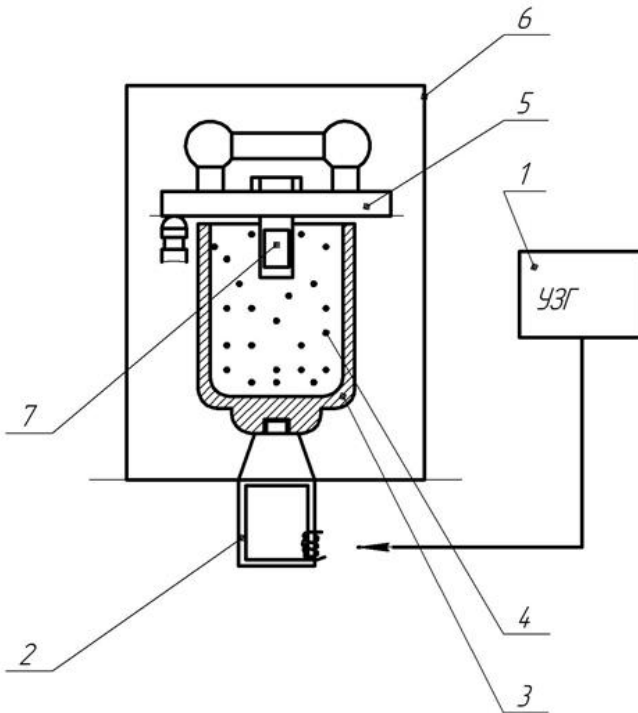


Рисунок 4.1 – Принципова схема ультразвукової установки:

- 1 - ультразвуковий генератор;
- 2 - магнітострікційний перетворювач;
- 3 - концентратор;
- 4 - сталеві кульки;
- 5 - пристосування для закріплення зразків (деталей) при зміцненні;
- 6 - шумопоглинаючий кожух;
- 7 - зміцнюючі зразки.

5. ПІДГОТОВКА УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УСТАНОВКИ ДО РОБОТИ

1. Ознайомитись з технічним описом (паспортами) стандартного ультразвукового обладнання: генератором УЗГ2-4М та магніострікційним перетворювачем ПМС15А-18.

2. Ознайомитись з методичними вказівками до лабораторної роботи і правилами техніки безпеки.

3. Підготувати установку до вмикання в електромережу-380В.

3.1. Зняти чохла з генератора та магніострікційного перетворювача і зробити зовнішній їх огляд на відсутність пошкодження.

3.2. Всі елементи керування установкою встановити у початкове положення.

3.3. Автоматичний вимикач «Сеть» на правому боці генератора повинен знаходитись у вимкненому стані.

4. Забезпечити надходження і перевірити необхідний тиск води у системі охолодження магніострікційного перетворювача. При відсутності води або при низькому її тиску установку не вмикати.

5. Увімкнути пульт подачі електричного струму до установки.

6. Увімкнути генератор, повернувши автоматичний вимикач «Сеть» у верхнє положення, при цьому повинен запрацювати вентилятор системи охолодження генератора.

7. Перемикачем «Регулирование тока подмагничивания» по амперметру встановити його силу відповідно паспортним даним на перетворювач - 10...25 А.

8. Кнопкою «Включено питание» подати напругу до силового випрямляча, про що буде сигналізувати табло «Питание».

9. Кнопкою «Включено управление» подати напругу керування на випрямляч, про що засвідчать табло «Управление» та показання вольтметра «Напряжение выхода».

10. Ручкою «Регулирование частоты плавно» налагодити генератор у резонанс з хвилепровідною системою: «Перетворювач - концентратор», по мінімуму вихідної напруги, яка повинна бути в межах 360 ± 80 В.

11. Ручкою «Регулирование мощности» плавно збільшити потужність до необхідного значення та зробити остаточне підналагодження частоти генератора.

12. Кнопкою «Откл. управление» припинити подачу сигнала до перетворювача.

13. Зняти технологічний пристрій з концентратора і при наявності в порожнині робочої суміші, вилучити її.

14. Встановити магнітний вимірювальний стояк з ціною поділки шкали індикатора 0,01 мм біля концентратора.

15. Ввести в контакт ніжку індикатора з його зовнішньою поверхнею, забезпечивши натяг 0,5...0,8 мм.

16. Вимірити амплітуду коливань стінки циліндра у послідовності:

16.1. Кнопкою «Вкл. управление» увімкнути подачу сигнала до перетворювача.

16.2. Простим олівцем на зовнішній поверхні циліндра позначити місця пучностей та вузлів ультразвукової хвилі при поступовому пересуванні індикатора по утворюючій (рис. 5.1).

16.3. Кнопкою «Откл. управление» вимкнути подачу сигнала до перетворювача.

16.4. Замінити індикатор на більш точний - з ціною поділки 0,002 мм і встановити його ніжку у місце однієї із пучностей. Сумістити нуль шкали індикатора зі стрілкою.

16.5. Увімкнути подачу сигналу і зафіксувати відхилення стрілки індикатора від нуля.

16.6. Ручкою «Регулирование мощности» плавно кратно збільшувати амплітуду коливань до максимального значення в межах регулюємого діапазону потужності, кожного разу фіксуючи її величину.

17. Результати вимірювання амплітуди коливань стінки концентратора та її частоту записати у табл.12.1.

18. Кнопкою «Откл. Управление» вимкнути подачу сигналу до перетворювача.

19. Побудувати робочий графік залежності амплітуди коливань стінки концентратора від потужності змінного сигналу: $\xi \rightarrow U$, для встановлення оптимального режиму змінення.

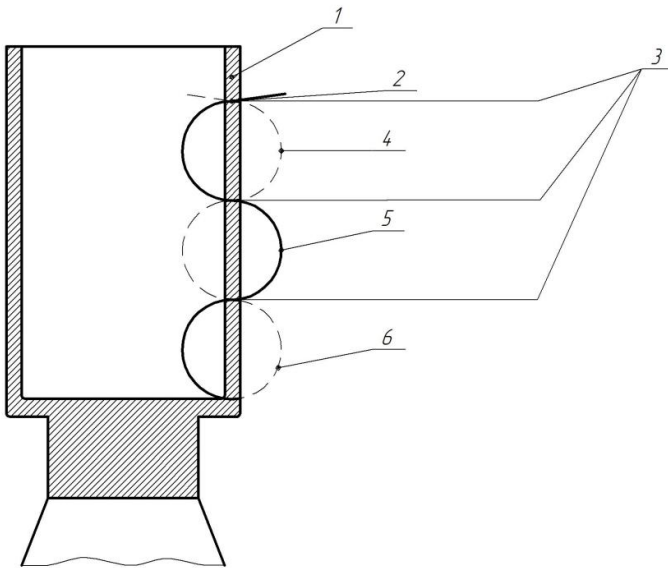


Рисунок 5.1 –Елюра згинної ультразвукової хвилі уздовж утворюючої концентратора:

- 1 – концентратор;
- 2 – згинна хвиля;
- 3 – вузли коливань;
- 4, 5, 6 – вершини згинної хвилі-місця пучностей.

6. РОЗМІРИ, МАТЕРІАЛ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ ДО ЗРАЗКІВ

Виготовити зразки із листа, металевої стрічки або із круглого сортового матеріалу розміром 100x20x(1,5...4). Матеріал зразків: титановий сплав ВТЗ-1, ВТ8, ОТ4-1 або інші титанові чи сталеві сплави, в залежності від умов експерименту. При цьому, шорсткість поверхні R_z на готових зразках до зміцнення повинна бути в межах 1,25...0,63 мкм. Зразки виготовлені із сортового матеріалу після остаточної оздоблювальної обробки - полірування доцільно відпалити для зняття внутрішньої напруги.

7. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМУ ЗМІЦНЕННЯ - ТРИВАЛОСТІ ТА АМПЛІТУДИ КОЛИВАНЬ СТІНКИ КОНЦЕНТРАТОРА НА ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ

1. Пронумерувати 12 зразків ударним клеймом або розміточною рисувалкою на відстані 5 мм від торця на поверхні яка не підлягає зміцненню.

2. Замірити їх товщину і ширину з точністю 0,05 мм. Результати вимірювання занести у табл. 3 відповідно їх номеру.

3. Визначити базу вимірювання прогину зразків після зміцнення. Встановити опорні елементи пристрою (рис. 7.1) на її розмір з точністю 0,1 мм і закріпити за допомогою штурвальчиків, розташованих під плитою.

4. Встановити перший зразок до зміцнення на опорні елементи пристрою номером зверху.

Підвести індикатор до його середини і забезпечити натяг в межах 1,5...2,0 мм. Сумістити нуль шкали індикатора зі стрілкою.

5. Послідовно, відповідно номерам, встановити у пристрій інші зразки не порушуючи стану і нуля індикатора. Кожного разу записати у таблицю відхилення стрілки від нуля, в порівнянні з першим зразком з урахуванням знаку «+» або «-».

6. Для визначення впливу тривалості зміцнення на формування якості поверхні встановити перші 6 зразків у технологічний пристрій (мал.7.2) у послідовності їх номерів та закріпити.

7. Підготувати робочу суміш: сталеві кульки \varnothing 0,6...0,8 або 1,0...1,6 мм - в залежності від умов експерименту, загальною масою 200...300 г і наповнювач: 2...3 мл мастильно-охолоджуючої рідини - 10%-го розчину кальцірованої соди у воді для «пом'якшення» удару кульок.

8. Завантажити робочу суміш у концентратор. Розміри кульок - записати у табл. 12.3.

9. Встановити технологічний пристрій зі зразками у концентратор. При цьому, дотик його торця до концентратора не допускається, що забезпечується регулюючими гвинтами на 3-х опорних стояках.

10. Увімкнути установку і підготувати її до роботи відповідно до інструкції на експлуатацію ультразвукового обладнання, основні положення якої приведені у розділі 5.

11. Встановити необхідний режим зміцнення.

11.1. Ручкою «Регул, мощности» плавно збільшити потужність до максимального значення амплітуди коливань стінки концентратора в межах можливого її регулювання.

11.2. Ручкою «Регулирование частоты» плавно зробити остаточне підналадження частоти в межах 18...20 кГц.

12. Зафіксувати час і провести зміцнення зразків протягом 5...10 хвилин. Після дотримання цього терміну кнопкою «Откл. управление» вимкнути подачу сигналу до перетворювача і зразок з номером «1» зняти.

13. Продовжити зміцнення решти зразків кратно збільшуючи час відповідно їх порядковому номеру не змінюючи інших складових режиму: частоти, робочої суміші, амплітуди коливань стінки концентратора. Тривалість зміцнення кожного зразка записати у табл. 12.1, 12.2, 12.3.

14. При всіх технологічних зупинках вимикання та наступне вмикання подачі сигналу до магніострікційного перетворювача робити кнопками «Вкл. або Откл. управление».

15. Для визначення впливу амплітуди коливань стінки концентратора на формування поверхневого шару, провести почергове зміцнення зразків з номерами 6... 12, кожного разу збільшуючи її на сталу величину в межах регулюемого діапазону потужності, не змінюючи частоти коливань, робочої суміші, тривалості зміцнення. Режим зміцнення зразків записати у табл. 12.3.

16. Вимкнути установку після закінчення роботи.

16.1. Кнопкою «Откл. управление» зняти напругу керування.

16.2. Кнопкою «Откл. питание» зняти напругу живлення.

16.3. Автоматичний вимикач «Сеть» повернути у нижнє положення.

16.4. Перекрити подачу води на охолодження магніострікційного перетворювача.

16.5. Вимкнути пульт подачі струму до установки із загальної мережі.

16.6. Звільнити концентратор від робочої суміші та протерти його порожнину чистою серветкою.

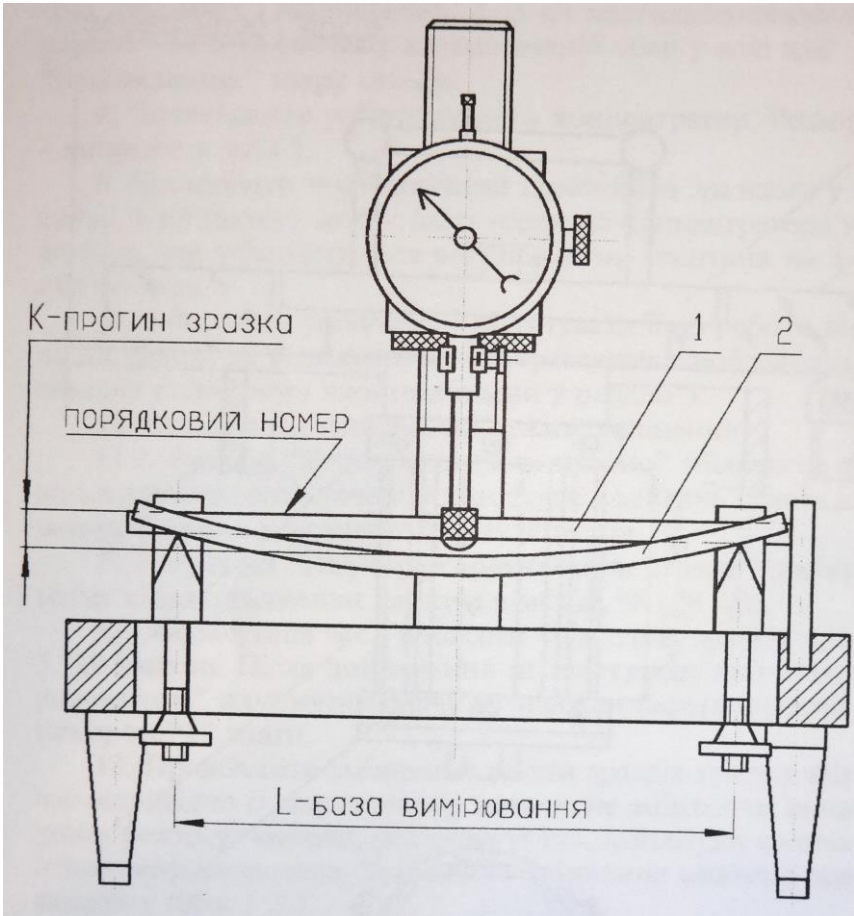


Рисунок 7.1 – Пристрій і схема вимірювання прогину зразків:
1 і 2 – стан зразків до і після зміцнення.

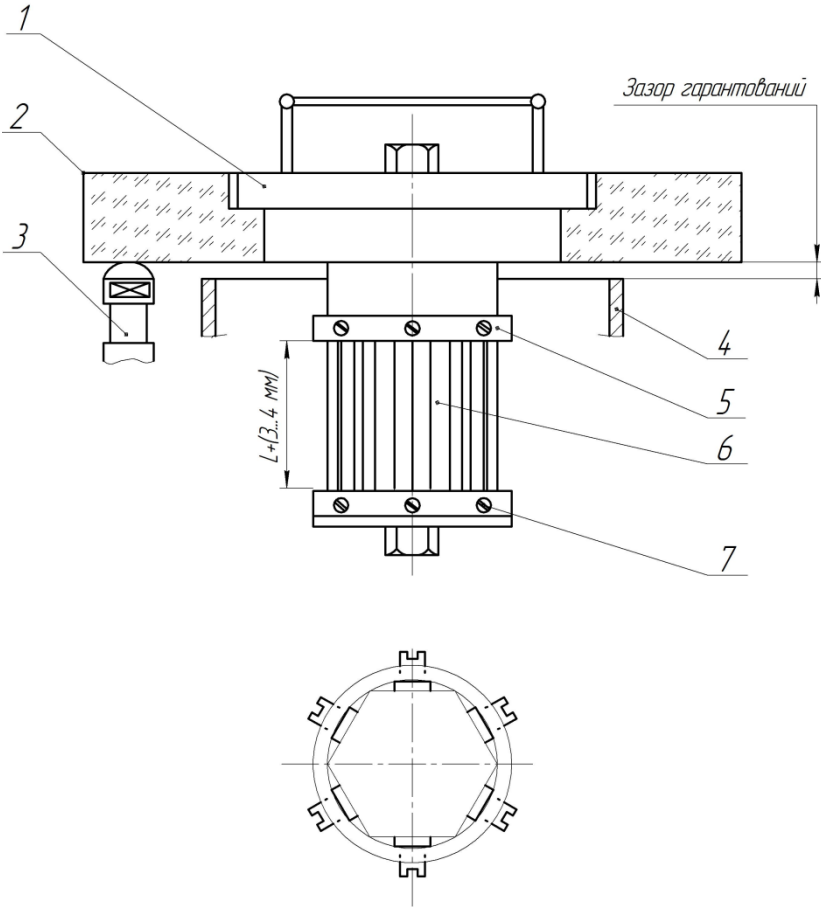


Рисунок 7.2 – Пристрій для закріплення зразків при зміцненні та схема установки його на концентраторі:

- 1 – пристосування;
- 2 – опорна планшайба;
- 3 – регулюючий гвинт-3шт.;
- 4 – концентратор;
- 5 – кільця-2шт.;
- 6 – зразки-6шт.;
- 7 – гвинти-12шт.;

8. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Виконати вимірювання прогину зразків після зміцнення в послідовності їх номерів для чого:

- а) обережно підняти ніжку індикатора і встановити зразок на опорні елементи пристрою номером зверху;
- б) опустити ніжку індикатора на поверхню зразка і записати у табл. 12.3 відхилення стрілки від нуля;
- в) визначити дійсний прогин зразків по формулі:

$$K = a_i + (\pm a_{i-1})$$

де a_i та a_{i-1} показання індикатора відповідно після i до зміцнення.

2. Провести вимірювання висоти мікронерівностей - R_Z та мікротвердості матеріалу під поверхнею зразків - H_V до i після зміцнення їх при різних режимах по методиці, яка приведена у розділах 9 і 10.

Результати вимірювання записати у табл. 12.1 і табл. 12.2 відповідно.

3. Побудувати графіки залежності R_Z та H_V від витривалості зміцнення зразків- t і амплітуди коливань стінки концентратора - ξ : $R_Z - t$; $R_Z - \xi$; $H_V - t$; $H_V - \xi$

4. Визначити по формулам (11.1, 11.2, 11.3) для зразків з номерами 6 ... 12 після їх зміцнення:

- а) висоту мікронерівностей - R_Z як глибину занурення кульок у поверхневий шар - h , (мал. 5);
- б) глибину пластично здеформованого шару (наклепу) - H ;
- в) середній рівень залишкової напруги стиску у поверхневому шарі - σ .

Результати розрахунків записати у табл. 12.3.

5. Побудувати графіки залежності:

$R_z(h); H, \sigma$ від амплітуди коливань стінки концентратора - ξ та графік залежності a від σ від H .

Порівняти значення R_z , отримані розрахунком і вимірюванням на приладі МІС -11.

6. Визначити середній рівень залишкової напруги стиску в поверхневому шарі зразків по формулі (12.1) [3] і побудувати графік залежності їх від тривалості зміцнення $\sigma \rightarrow t$. Порівняти їх з розрахунками по формулі (11.3)

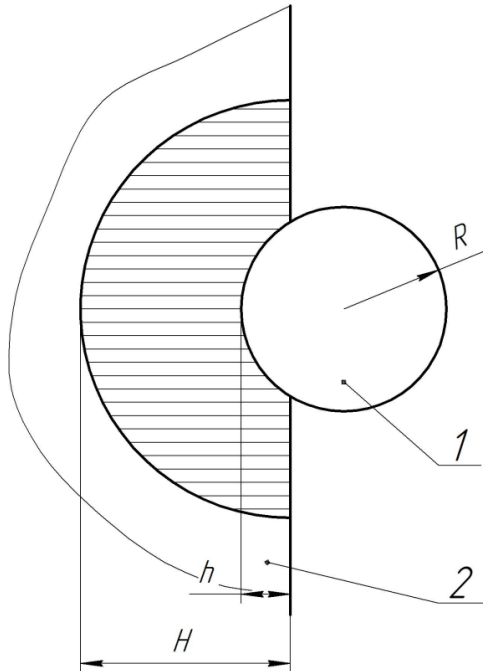


Рисунок 8.1 – Схема зіткнення сталеві кульки з поверхнею зразка при зміцненні:

1 – сталева кулька;

2 – зразок;

h - глибина занурення кульки;

H – глибина наклепу-розповсюдження пластичної деформації.

9. ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ЗРАЗКІВ

Для оцінки шорсткості кожного зразка до і після зміцнення при різних режимах, використовуємо параметр R_z - середню висоту мікронерівностей, яку визначаємо по п'яти виступам і п'яти западинам на базовій довжині - 1 за допомогою мікроскопа МІС - 11.

Суміщуючи лінію відліку із максимальною точкою виступу (стан «1». рис.10.1) знімаємо показання ноніуса - лімба окуляра.

Наступний замір виконуємо після переміщення шкали відліку у стан. «2». При цьому, різниця показань є висота і-го виступу нерівності:

$$a_i = H_i - h_i \quad (9.1)$$

Середнє значення заміряних виступів дорівнює:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{5} \quad (9.2)$$

Середня висота шорсткості визначається по формулі:

$$R_z = \frac{10\bar{a}}{2N} \quad (9.3)$$

де N - є збільшення об'єктиву.

Початкові данні і результати отримані при вимірюванні шорсткості зразків вносимо у таб.12.1. При цьому, відповідний клас її визначаємо по ГОСТ2789-73.

10. ВИМІРЮВАННЯ МІКРОТВЕРДОСТІ МАТЕРІАЛУ ПІД ПОВЕРХНЕЮ ЗРАЗКІВ

Твердість матеріалу у поверхневому шарі зразків до і після зміцнення визначаємо за допомогою мікротвердовимірювача ПМТ-3, втисненням алмазної піраміди при навантаженні: 20, 50, 100 або 200 грам, в залежності від матеріалу зразка (рис. 10.2).

Її величина оцінюється по шкалі Брінеля як відношення навантаження до площі відбитка піраміди і виражається у величині КГС/мм² або в Па. При цьому, площа відбитка - Б визначається по середньому значенню довжини діагоналі, отриманому по 5... 10 повторним наколам на одній ділянці поверхні.

Вимірювання довжини діагоналі кожного відбитка проводиться шляхом переміщення шкали відліку мікроскопа у полі бачення окуляра від її початку до кінця. При цьому, розмір діагоналі буде дорівнювати різниці проміж кінцевим і початковим показанням, знятим зі шкали лімба.

Кількість замірів (відбитків) визначається в залежності від розсіювання результатів та можливого спотворення форми відбитка.

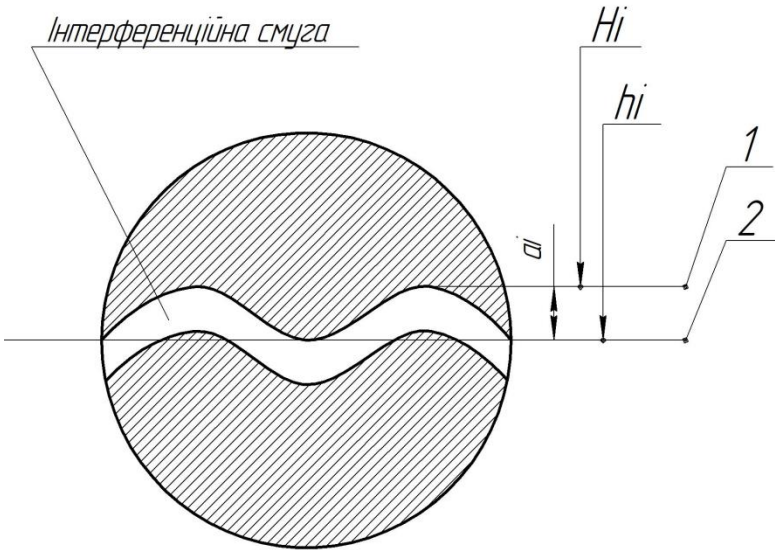


Рисунок 10.1 – Позиції 1 і 2 лінії відрахування при вимірюванні величини a_i у полі бачення окуляра мікроскопа

$$H_V = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{Q}{d_{cp}^2}$$

H_V - середнє її значення, $\frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$

$d_{cp}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2$ - середній розмір діагоналі у n відбитків, мм;

d_i - довжина діагоналі i -го відбитка, мм;

Q - навантаження на алмазну піраміду, кГс;

$\alpha = 136^\circ$ - кут проміж гранями алмазної піраміди.

Розміри діагоналей відбитків та отримані значення мікротвердості матеріалу в поверхневому шарі зразків заносимо у табл. 12.2.

11. ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ (ГЛИБИНИ ЗАНУРЕННЯ КУЛЬОК), ГЛИБИНИ НАКЛЕПУ ТА ЗАЛИШКОВОЇ НАПРУГИ СТИСКУ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ЗРАЗКІВ.

Теоретично висота мікронерівностей R_z при зміцненні кульки залежить від глибини занурення її у поверхню, що можна визначити по формулі [2]:

$$R_z = h = 2\pi \cdot \xi \cdot f \cdot R \sqrt{\frac{2\rho}{3\sigma_{0,2}}} \quad (11.1)$$

h – заглиблення кульки у поверхню, мм;

ξ – амплітуда коливання стінки концентратора, мм;

f – частота коливань, Гц;

R – радіус кульки, мм;

ρ – масова густина матеріалу кульки. У кульок із загартованої

сталі ШХ-15 $\rho = 7.95 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{мм}^4}$

$\sigma_{0,2}$ – границя текучості матеріалу деталі зразка, $\frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$

Для титанових сплавів вона наближається до $100 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$.

При виконанні роботи отримані розрахунком значення R_z для різних режимів і тривалості зміцнення порівняти з вимірними на приладі і зробити висновки.

Для визначення глибини наклепу при різних амплітудах коливання стінок концентратора, використовуємо формулу [2]:

$$H = 4R \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot f \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\rho}{6\sigma_{0,2}} \cdot (1 + \mu)}}, \quad (11.2)$$

де H – глибина наклепу, мм (рис. 8.1);

μ – коефіцієнт поновлення. Залежить від фізико-механічних властивостей тіл зіткнення. Для сталевих кульок і зразків із титанових сплавів $\mu = 0,9$.

При цьому, наведена внаслідок пластичної деформації поверхневого шару залишкова напруга стиску, визначається як:

$$\sigma = \frac{4}{3} \cdot \frac{K}{L^2} \cdot \frac{E \cdot b}{1 - \gamma} \cdot \frac{1 - 3\varepsilon}{\varepsilon}, \quad (11.3)$$

де σ – середній рівень її, у $\frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$;

K – величина прогину зразка у межах прийнятої бази, мм;

L – база пристрою-довжина зміцненої частини зразка, мм;

b – товщина зразка, мм;

E – модуль пружності матеріалу зразків першого роду.

Для титанових сплавів $E = (1,2 \dots 1,3) \cdot 10^4 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$

Для сталей і чорних сплавів $E = (2,0 \dots 2,2) \cdot 10^4 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$

γ – коефіцієнт Пуассона;

$\varepsilon = \frac{h}{H + h}$ – відносна деформація матеріалу в поверхневому

шарі.

12. ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНЬОГО ЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОЇ НАПРУГИ В ПОВЕРХНЕВОМУ ШАРІ ЗРАЗКІВ ПО ЇХ ДЕФОРМАЦІЇ І МОДУЛЮ ПРУЖНОСТІ

Для цього використовуємо залежність [3]:

$$\sigma' = \frac{E \cdot \delta}{3\left(\frac{L}{2}\right)^2} \cdot \frac{k}{a} \quad (12.1)$$

σ' – середнє значення залишкової напруги в поверхневому шарі після її зміцнення, $\frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$;

δ – відстань від незміцненої поверхні до середини наклепаного шару, мм; $\delta = \left(b - \frac{H}{2}\right)$;

L – база пристрою для вимірювання прогину, мм;

b – товщина зразка, мм;

$a = \frac{H}{2}$ – відстань від зміцненої поверхні до середини наклепаного шару, мм;

E – модуль пружності матеріалу зразка, $\frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$;

Результати порівняти з отриманими по формулі (11.3) і зробити висновки доцільності їх використання при виконанні експериментальних робіт.

Таблиця 12.3 – Режим зміцнення та результати дослідження зразків

№ зразків	Частота f , кГц	Тривалість зміцн. t , хв	Амплітуда коливань стінки концентрат $\sigma_{\text{ст}}$, мм	Діаметр кульбок d_k , мм	Глибина занурення кульки h , мм	Глибина наклепу H , мм	Товщина зразка b , мм	Відносна деформація ϵ_0 , мм	Показники індикатора при вимірах прогину зразка			Залишкова наруга, $\text{кгс}/\text{мм}^2$	
									до зміцнення a_{-1}	після зміцн. a_i	величина прогину K , мм	σ_3	σ'_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1													
2													
3													
4													
5													
6													

13. ЗМІСТ ЗВІТУ

У звіті необхідно представити:

1. Схему ультразвукової установки з поясненням призначення її головних елементів.
2. Епюру згинної ультразвукової хвилі коливань стінки концентратора.
3. Результати вимірювання шорсткості зразків та мікротвердості матеріалу під поверхнею до і після зміцнення при різних режимах.
4. Графіки залежності їх від тривалості зміцнення.
5. Результати визначення впливу амплітуда коливань стінки концентратора (потужності сигналу) на шорсткість, наклеп і залишкову напругу в поверхневому шарі.
6. Розрахунки h (R_z); H , σ приведені у таблиці, в залежності від режиму зміцнення - амплітуди коливань стінки концентратора.
7. Графік залежності рівня залишкової напруги стиску від глибини наклепу σ від H .
8. Результата розрахунку залишкової напруги по модулю пружності та деформації зразка по формулі Давіденкова Н.Н. та порівняти їх з розглянутими у пункті 6.
9. Аналіз отримання результатів та висновки по визначенню оптимального режиму зміцнення.

14. ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ НА УЛЬТРАЗВУКОВИХ УСТАНОВКАХ

1. Перевірити зовнішній стан та наявність заземлення установки: ультразвукового генератора і магнітострікційного перетворювача.
2. На підлозі біля установки не повинно бути розлитих мастил, та змащувально-охолоджуючої рідини.
3. Повинні бути рифленні гумові килимчики або дерев'яні трапики.
4. Робоче місце повинно бути звільнене від зайвих предметів, які заважають обслуговуванню установки.
5. Вмикати установку в електромережу можна тільки після ознайомлення з принципом її роботи за дозволом викладача.

6. Встановлювати пристрій зі зразками у концентратор та знімати його по завершенню зміцнення зразків дозволяється робити після вимкнення подачі сигналу до перетворювача кнопкою "Откл. управління".

7. Категорично забороняється дотикатися до струмопровідних частин установки, які знаходяться під напругою.

8. Працювати на установці дозволяється тільки при наявності не менше двох чоловік.

9. Після закінчення роботи установку вимкнути із електромережі і перекрити подачу води до магнітострікційного перетворювача.

15. СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навч. посіб. / А.Г.Фесенко та [ін.] – Д.: РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.

2. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способи зміцнення металів: Навчальний посібник.- Дніпро: НМетАУ, 2021,-89 с.

3. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016 – 238 с.

4. Технологічне прогнозування. Вступний курс: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка та 133 – Галузеве машинобудування /О.А.Пермяков, І.Е.Яковенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 160 с.

Додаток А

Приклад розрахунку параметрів поверхневого шару зразків по результатам апробації лабораторної роботи

1. Характеристика зразків, які підлягали зміцненню:

1.1. Розмір: 100x20x2,5мм.

1.1. Матеріал: титановий сплав ОТ4-1.

1.1. Головні механічні характеристики сплаву:

- границя текучості - $\sigma_{0,2} = 100 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$;

- модуль пружності - $E = 1,2 \cdot 10^4 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$;

- питома маса матеріалу сталевих кульок - $\rho = 7,95 \cdot 10^{-10} \frac{\text{кгс} \cdot \text{сек}^2}{\text{мм}^4}$;

- коефіцієнт Пуассона - $\gamma = 0,3$.

2. По результатам інформації приведеній в табл. А.1. для кожного режиму зміцнення визначаємо:

2.1. Висоту мікронерівностей поверхні - R_z , як глибину занурення сталевих кульок - h по формулі (11.1). Для 1^{го} зразка

$$R_z = h = 2\pi \cdot \xi \cdot f \cdot R \sqrt{\frac{2\rho}{3\sigma_{0,2}}} =$$

$$2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{2,7 \cdot 7,95 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 100}} = 0,0062 \text{ мм}$$

Аналогічно розраховуємо для інших зразків.

$$R_{z2} = h_2 = 0,0083 \text{ мм};$$

$$R_{z3} = h_3 = 0,0093 \text{ мм};$$

$$R_{z4} = h_4 = 0,0103 \text{ мм};$$

$$R_{z5} = h_5 = 0,0114 \text{ мм};$$

$$R_{z6} = h_6 = 0,0124 \text{ мм}.$$

2.2. Глибину пластично - здеформованого шару (наклепу) - H по формулі (11.2). Для 1-го зразка:

$$H = 4R \sqrt{\frac{\pi}{2} \cdot f \cdot \xi \cdot \sqrt{\frac{\rho}{6\sigma_{0/2}} \cdot (1 + \mu)}} =$$

$$4 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{3,14}{2} \cdot 0,03 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{7,95 \cdot 10^{-10}}{6 \cdot 100} \cdot (1 + 0,9)}} = 0,137 \text{ мм}$$

Для інших зразків:

$$H_2 = 0,159 \text{ мм};$$

$$H_3 = 0,168 \text{ мм};$$

$$H_4 = 0,177 \text{ мм};$$

$$H_5 = 0,186 \text{ мм};$$

$$H_6 = 0,194 \text{ мм}.$$

2.3. Відносну деформацію матеріалу в поверхневому шарі.

Для 1-го зразка.

$$\varepsilon = \frac{h_1}{H_1 + h_1} = \frac{0,0062}{0,137 + 0,0062} = 0,043$$

Для інших зразків:

$$\varepsilon_2 = 0,045; \varepsilon_3 = 0,052; \varepsilon_4 = 0,055; \varepsilon_5 = 0,058; \varepsilon_6 = 0,06.$$

2.4. Середнє значення залишкової напруги стиску у пластично-здеформованому шарі по формулі (11.3):

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

$$\frac{4}{3} \cdot \frac{0,35}{95^2} \cdot \frac{1,2 \cdot 10^4 \cdot 2,5}{(1 - 0,3)} \cdot \frac{(1 - 3 \cdot 0,043)}{0,043} = 45,42 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$$

Для інших зразків:

$$\sigma_2 = 48,97 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_3 = 51,35 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_4 = 52,85 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_5 = 54,07 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$$

$$\sigma_6 = 56,22 \frac{\kappa\Gamma c}{\text{мм}^2}$$

Отримані результати розрахунків: $R_z (h)$; H та σ також вносимо у табл. А.1.

3. По результатам отриманих даних будемо графік залежності рівня залишкової напруги σ від глибини наклепу – H ($\sigma \rightarrow H$), який представлено на рис.А.1

Таблиця А.1 – Результати розрахунку параметрів поверхневого шару зразків після зміцнення при різних режимах

№ зразків	Частота f , кГц	Діаметр кульок d_k , мм	Амплітуда коливань стінки концентрат ξ , мм	Глибина занурення кульки h , мм	Глибина наклепу H , мм	Товщина зразка b , мм	Відносна деформація \mathcal{E} , мм	Прогин зразка K , мм	Залишкова напруга стиску, σ , КГС/мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	18000	1,6	0,030	0,0062	0,137	2,5	0,043	0,35	45,52
2	18000	1,6	0,040	0,0083	0,159	2,5	0,049	0,44	48,97
3	18000	1,6	0,045	0,0093	0,168	2,5	0,052	0,50	51,35
4	18000	1,6	0,050	0,0103	0,177	2,5	0,055	0,55	52,85
5	18000	1,6	0,055	0,0114	0,186	2,5	0,058	0,60	54,07
6	18000	1,6	0,060	0,0124	0,194	2,5	0,060	0,65	56,22

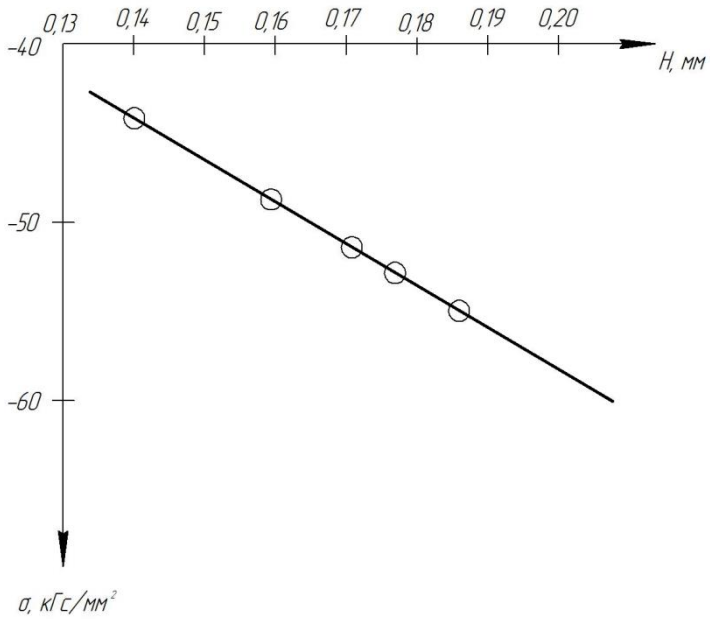


Рисунок А.1 – Залежність залишкової напруги стиску - σ від глибини наклепу H