

На правах рукопису

Б Е Л О В
Борис Васильович

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТВЕРДОСТІ
ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ З КОНСТРУКЦІЙНИХ СПЛАВІВ

05.11.13 - Прилади і методи контролю природного
середовища, речовин, матеріалів і виробів

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

AB 27.760

Робота виконана в Київському політехнічному інституті

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
БАБАК Віталій Павлович

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Кадук Б. Г.
кандидат технічних наук, доцент
Бойко І. Ф.

Провідна установа: Український НДІ технології
машинобудування, м.Дніпропетровск.

Захист відбудеться " 20 " 09 1993 р.
о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 068.14.08 при Київському політехнічному інституті (252056,
Київ-56, просп. Перемоги, 37).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Київського
політехнічного інституту.

Автореферат розісланий " 19 " 08 1993 р.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802901 (К)

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бабак В. П.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Спад виробництва та гострий дефіцит конструкційних матеріалів визначили особливу актуальність проблеми відновлення та продовження ресурсу дорогих і матеріалоємких деталей механізмів і машин.

Діагностика стану виробів і неруйнівний контроль мають вирішальне значення у питаннях розбраковки та визначення наступного ресурсу відновленої деталі.

Особливістю деталей двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що ремонтуються, є нерівномірна спрацьованість за різноманітних умов їх експлуатації. Контроль розмірів і твердості поверхні робочих ділянок деталей дозволяє індивідуально для кожної деталі підбирати оптимальну технологію її відновлення. Міжопераційний контроль твердості деталей на авторемонтних підприємствах практично не застосовується через відсутність надійних і зручних методів і засобів контролю.

Стандартні методи вимірювання твердості ґрунтуються на взаємодії ідентора і контролюємої поверхні деталей. Засоби, що використовуються для цього, малопродуктивні в умовах ремонтних підприємств. Крім того, ці методи знижують якість обробки поверхні деталі, тому вони часто непридатні для відповідальних деталей.

Методи неруйнівного контролю ґрунтуються на взаємодії фізичних полів з структурою матеріалу. Відновлені деталі ДВЗ мають різноманітну структуру зміцненого шару поверхні, що затруднює виготовлення еталону і використання методів НК твердості.

Тому на сьогоднішній день створення ефективних засобів і методів неруйнівного контролю твердості є актуальною проблемою.

Мета роботи. Створення методик і засобів автоматизованого контролю твердості поверхневого шару деталей.

Наукова новизна.

1. Розроблена математична модель взаємодії пружного напівпростору з ударним тілом дозволила одержати вираз в кінцево-різницево-му вигляді для ударних хвиль в слабо-неоднорідному середовищі. Получені співвідношення дозволили зв'язати параметри твердості шару поверхні з параметрами ударної хвилі.

2. Запропоноване вирішення задач відновлення контролюемого параметру при автоматизованому аналізі інформативних ознак пружної ударної хвилі.

3. Розроблений спосіб контролю фізико-механічних характеристик

шару поверхні матеріалів і запропонований пристрій для його реалізації.

Практична цінність роботи: На основі розробленого способу вимірювання твердості поверхневого шару деталей здійснені технічні рішення і створені практичні конструкції датчиків неруйнівного контролю твердості деталей. Застосування цих датчиків дозволило проводити межопераційний контроль твердості зміцнених робочих ділянок валів ДВЗ. Це дозволило підвищувати експлуатаційну надійність відновлених деталей і скоротити затрати на ремонт за рахунок їх розбраковки.

На захист виносяться наступні наукові положення.

1. Принципи і характеристики розробленого ударно-акустичного методу контролю твердості деталей.

2. Основні положення і методики застосування систем, що навчаються, для неруйнівного контролю твердості матеріалу.

3. Автоматизована система неруйнівного контролю твердості деталей з ударно-акустичними перетворювачами та відповідним алгоритмічним, програмним і апаратним забезпеченням.

4. Результати експериментальних досліджень ефективності використання розробленого ударно-акустичного методу з застосуванням елементів навчання.

Реалізація роботи: Автоматизована система контролю твердості, розроблена під час дослідження і роботи, впроваджена на Ташкентському підприємстві АО "АвтоВАЗтехобслуговування". Результати наукових досліджень використовуються в учбовому процесі на кафедрі приладів і систем неруйнівного контролю Київського політехнічного інституту.

Методи досліджень. Для вирішення задач, поставлених в роботі використовувались розрахункові і експериментальні методи. При експериментальному дослідженні процесу поширення ударних акустичних хвиль використовувалось осцилографування електричних параметрів. Акустичні поля ударних перетворювачів розраховувались з використанням методів функціонального аналізу, теорії функцій комплексних змінних і методів кінцевих елементів. Розрахунки більшості характеристик проводились за допомогою ЕОМ. В експериментальних дослідженнях використовувались методи теорії планування експерименту, результати аналізувались за правилами математичної статистики.

Апробація роботи. Головні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на IV науковій галузевій конференції

інженерно-технічних працівників НДІАТ (Київ, 1984 р.); республіканському семінарі "Проблеми неруйнівного контролю" (Київ, 1986 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми комплексної автоматизації" (Київ, 1990 р.); II Всесоюзній конференції "Вимірювання та контроль при автоматизації виробничих процесів" (Барнаул, 1991 р.), наукових семінарах кафедри приладів і систем неруйнівного контролю Київського політехнічного інституту.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у восьми роботах, у тому числі в одному авторському свідотстві.

Структура та об'єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, переліку основних результатів роботи та коротких висновків, списку цитованої літератури, додатку. Робота викладена на 144 сторінках машинописного тексту, містить 37 рисунків, 5 таблиці, бібліографію з 115 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована мета і задачі роботи, наукова новизна і практична значимість, відображені основні результати роботи.

В першій главі проведений аналіз основних причин виходу з ладу деталей ДВЗ.

Розглянуті основні технології відновлення і ремонту деталей, вплив різноманітних факторів на формування основних фізико-механічних характеристик деталей. Обґрунтована необхідність проведення міжопераційного контролю твердості робочих ділянок деталей.

На основі класифікації і аналізу існуючих методів і пристроїв НК запропонований спосіб контролю твердості, що базується на принципах низькочастотного акустичного і ультразвукового методів.

Для деталей ДВЗ, типу розподільних і колінчатих валів ускладнено застосування лабораторних методів вимірювання твердості. Звичайні твердоміри (ГОСТ 23677-79), як і електроакустичні, порушують якість робочої змцненої шліфованої поверхні і скорочують термін роботи в сполучених навантажених парах. Неруйнівні методи контролю твердості поверхні, основані на магнітних методах аналізу, не застосовуються через використання легованих домішок при відновленні валів наплавкою і напиленням.

Ультразвукові методи НК, через малі розміри шийки валів і високий коефіцієнт розсіяння акустичних хвиль поверхневим зміцненням ша-

ром, також не застосовуються.

Ударний метод контролю фізико-механічних властивостей широко використовується для шаристо-неоднорідних матеріалів.

При контролі ударним методом на практиці виникають імпульси, форма і спектри яких визначаються конструкцією збуджувача і фізикою їх взаємодії з виробом, який контролюється. Для виробів з пластиків та інших неметалевих матеріалів, з відносно малими модулями Юнга, тривалість збуджуваних імпульсів набагато більша від періоду особистих коливань рухомої системи вібратора.

Максимальна частота спектральних складових досліджуваних сигналів відносно невелика. Форма і тривалість ударних імпульсів залежить, в першу чергу від параметру:

$$E / (1-\mu)$$

де E - модуль Юнга, μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу.

Тому застосування даного методу обмежено контролем матеріалів з такими μ і E , при яких дотримується умова $\tau \gg T$ (T - період особистих коливань системи). На практиці це обмеження дає можливість контролю тільки матеріалів з малими модулями Юнга і сильним затуханням шаристих пластиків і композиційних матеріалів.

Зменшуючи швидкість і масу ударного пристрою можна реалізувати ударно-акустичний спосіб для контролю фізико-механічних характеристик поверхні металів. Аналіз пружних хвиль в процесі удару дає інформацію про пружні властивості поверхневого шару деталей.

Для вивчення питання впливу маси і швидкості ударного тіла на тривалість коливань поверхні деталі була зібрана установка (рис.Іа).

Результати показали, що для одержання коливань з частотой від 100 кГц і вище, необхідно мати швидкість вильоту ударника > 10 м/с і масу нижче 0,01 г. (рис.Іб)

Запропонований ударно-акустичний спосіб об'єднує в собі переваги контактних твердомірів і ультразвукового методу контролю параметрів поверхневого шару матеріалів.

Таким чином, вибраний метод по своїх характеристиках займає проміжне місце між низькочастотним акустичним і ультразвуковим методами НК.

Порівнювальний аналіз існуючих методів і пристроїв контролю властивостей поверхні деталі дозволяє вибрати основні напрямки розробки способу контролю твердості деталей:

І) розробка математичної моделі деталі з зміцненням поверхневим шаром для визначення основних інформативних ознак;

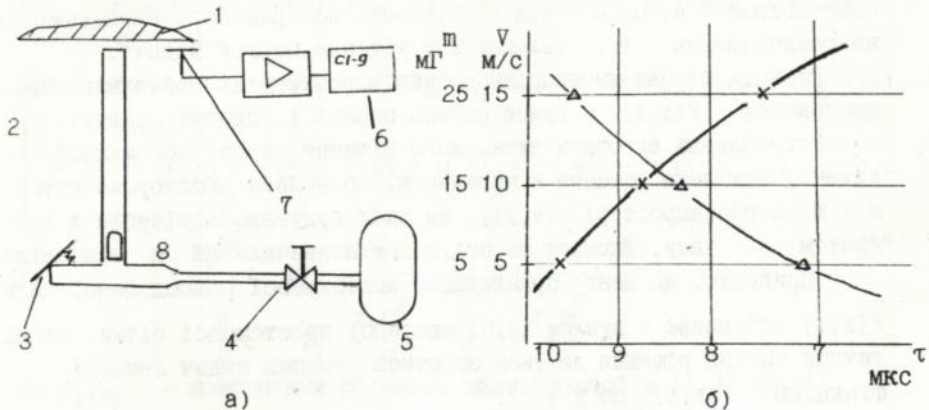


Рис.1 Блок-схема установки для дослідження швидкісних ударних коливань поверхні зразків (а) та залежність (б) між швидкістю v (1) масою m (2) ударного тіла і тривалістю τ першої напівхвилі коливань.

1-зразок; 2-ствол; 3-кран-ежектор; 4-редуктор; 5-балон з газом; 6-осцилограф; 7-датчик коливань.

2) розробка основних принципів ідентифікації твердості при автоматизованому НК;

3) розробка датчиків з еталонованим ударним навантаженням поверхні матеріалів і безконтактним зйомом інформації;

4) розробка установки, що забезпечує НК твердості з застосуванням автоматизованої ідентифікації твердості деталей.

Друга глава присвячена теоретичному дослідженню запропонованого неруйнівного ударно-акустичного методу контролю фізико-механічних параметрів поверхневого шару матеріалів з автоматизованою оцінкою інформації. В результаті моделювання необхідно кількісно визначити величину чутливості параметрів коливань поверхні відносно величини контролюемого параметру.

Математичне моделювання проводилось на моделі в вигляді шаристо-однорідного пружного, ізотропного напівпростору.

Задача моделювання ділиться на дві, що вирішуються незалежно:

-визначення реакції \tilde{u} однорідного ізотропного напівпростору з пружними константами μ і λ на нульове об'ємне навантаження;

-визначення реакції $(\delta\tilde{u})$ однорідного пружного простору з

константами λ, μ, ρ при відсутності поверхневого навантаження на розподілення f_i , залежну від рішення першої задачі.

Реакція шарово-неоднорідного напівпростору на поверхневе навантаження $F(x, t)$ є сумою рішень першої і другої задачі.

Розроблений алгоритм чисельного рішення першої допоміжної задачі. Оскільки рішення є чисельним, вводилась просторова сітка $N \times M$ в напівпросторі $[x, y]$, на якій будувалось рішення з дискретом Δt часу. Дискрет по осі x і y позначали як Δ відповідно.

Прийнято, що центр прикладання поверхневої розподіленої сили $\vec{F}(x, t)$ співпадає з вузлом $[0; 0]$ введеної просторової сітки. Аналітичний вигляд рішення дається згорткою рішення задач Лемба і функцією $F(x, t)$ по x і t :

$$\tilde{U}(x, y, t) = \int_0^x \int_0^t U(x - \delta_x, y, t - \delta_t) \cdot F(\delta_x, \delta_t) \quad (1)$$

де \tilde{U} - рішення задачі Лемба.

З врахуванням введеної просторової сітки і почасового дискрету згортку можна замінити сумою:

$$\tilde{U}(i, j, k) = \sum_{l=0}^N \sum_{q=0}^T U(i-l, j, k-q) \cdot F(l, q) \cdot \Delta x \cdot \Delta t \quad (2)$$

де $\tilde{U}(i, j, k)$ - зміщення вузла сітки з координатами $[i, j]$ в k -й дискрет часу;

i і q - номери по координатах x і t відповідно, для яких виконується згортка;

N - номер останнього вузла по x , для якого $F(x, t) \equiv 0$

T - номер останнього дискрета по t , для якого $F(x, t) \equiv 0$

Далі розглядається рішення другої допоміжної задачі.

На кожному кроці алгоритму по k першої допоміжної задачі, знаходяться величини $\tilde{U}_x[i, j]$, $\tilde{U}_y[i, j]$. Ці величини разом з номером передаються другій допоміжній задачі для розрахунків $f[i, j]$ в k -й момент часу.

Вирішується друга допоміжна задача за допомогою моделювання процесу поширення об'ємної хвилі в однорідному ізотропному пружному середовищі і записується порівнянням:

$$(\lambda + \mu) \text{grad div } \vec{U} + \Delta f + \mu \Delta \vec{U} = \rho \vec{U} \quad (3)$$

де λ, μ - коефіцієнти Ламе, ρ - плотність матеріалу.

Для цього вводиться просторова і почасова сітка, що співпадає з системою координат, введеною при чисельному рішенні першої за-

дачі. Рівняння представлено в вигляді кінцевих різниць, еквівалентних системі

$$\begin{cases} \tau_1^2 \cdot \Delta \nabla_x U_x[1, j] + (\tau_1^2 - \tau_2^2) \delta_x \delta_y U_y[1, j] + \tau_2^2 \Delta \nabla_y U_x[1, j] + \tilde{f}_x[1, j] = \\ = \Delta \nabla_x U_x[1, j] \\ \tau_1^2 \cdot \Delta \nabla_y U_y[1, j] + (\tau_1^2 - \tau_2^2) \delta_x \delta_y U_y[1, j] + \tau_2^2 \cdot \nabla_y U_x[1, j] + \tilde{f}_y[1, j] = \\ = \Delta \nabla_y U_y[1, j] \end{cases} \quad (4)$$

де

$$\tau_1 = \frac{c_1 \theta^2}{d}; \quad c_1^2 = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho}; \quad \tau_2 = \frac{c_2 \theta^2}{d};$$

$$c_2^2 = \frac{\mu}{\rho}; \quad \tilde{f}_x = \frac{f_x \theta^2}{\rho}; \quad \tilde{f}_y = \frac{f_y \theta^2}{\rho}$$

де f_x, f_y - компоненти об'ємної сили, діючої в $[1, j]$ вузлі;

θ - часовий крок сітки;

d - просторовий крок сітки;

Δ, ∇, δ - відповідно права, ліва і центральна кінцева різниця по координатах, позначених нижнім індексом.

В цій задачі прийняті умови відсутності поверхневих сил:

$\sigma_{yy} = 0$ - (відсутність сили, перпендикулярної до поверхні);

$\sigma_{xy} = 0$ - (відсутність сили, дотичної до поверхні).

Вирішуються умови:

$$\begin{aligned} \sigma_{yy} = (\lambda + 2\mu) \frac{\partial U_y}{\partial y} + \lambda \frac{\partial U_x}{\partial x} = 0 & \quad \frac{\partial U_y}{\partial y} = - \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \cdot \frac{\partial U_x}{\partial x} \\ \sigma_{xy} = \mu \frac{\partial U_x}{\partial y} + \mu \frac{\partial U_y}{\partial x} = 0 & \quad \frac{\partial U_x}{\partial y} = - \frac{\partial U_y}{\partial x} \end{aligned} \quad (5)$$

Ці вирази представляють собою систему лінійних порівнянь. Однак ця система невизначена в вузлових точках матриці з координатами $[1, 1], [1, M], [N, 1], [M, N]$. Бокові і нижні кордони матриці повинні задовольняти умовам проходження хвилі через кордон без відображення.

Для бокових і нижньої кордонів:

$$U_x[1, 1] = U_y[1, j] = 0 \quad \text{для } j = 1..N$$

$$U_x[1, M] = U_y[1, M] = 0 \quad \text{для } j = 1..N$$

$$U_x[N, j] = U_y[N, j] = 0 \quad \text{для } j = 1..N$$

Далі по змінах зміщення в вузлах матриці на k -м кроці по часу відомому з першої допоміжної задачі розподілення об'ємної сили в вузлах розраховується величина зміщень в усіх вузлах матриці в k -й момент часу.

Таким чином, розроблений повний алгоритм рішення другої до-

поміжної задачі. Для одержання повної картини розповсюдження хвиль сумується рішення першої і другої допоміжної задачі.

Описана математична модель дозволила промодельовати процес ударної взаємодії мікрокулі з поверхнями різної твердості. В результаті моделювання було визначено, що найбільш чутливими до зміни твердості параметрами коливань поверхні є амплітуда першої і другої напівхвилі відгуку поверхні на ударне збудження і відношення тривалості першої напівхвилі до тривалості другої. При цьому амплітуди першої при зміні параметрів твердості від 25 од. НРС до 65 од. складає 4%, амплітуди другої напівхвилі 5,5%, а зміни відношення тривалості першої і другої хвилі 3%.

На основі аналізу задачі ідентифікації параметрів, що контролюються, за характеристиками ударної хвилі, обґрунтовується загальна методика контролю. Виділяються два режими:

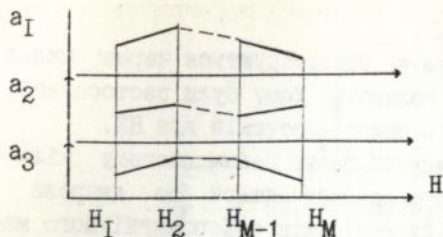
1-режим: навчання - базується на створенні в пам'яті ЕОМ сітчастої функції з нерівномірним кроком, яка описує залежність інформативних параметрів кривої коливань, виділених при моделюванні від фізико-механічних характеристик поверхні деталей.

2-режим: визначення необхідних параметрів поверхні за вимірними інформативними характеристиками кривої коливань - базується на знаходженні аргументу еталонної залежності. Вона задана сітчастою функцією, для якої зважене середньоквадратичне відхилення вимірних інформативних параметрів коливань від еталонних, є мінімальним.

В режимі навчання системи контролю представлені зразки з відомою твердістю. Зразки підлягають випробуванню, в процесі якого проводять вимірювання першої і другої напівхвилі кривої коливань і відношення їх тривалості. Сукупність цих параметрів кривої умовно названо "вектором відгуку" $A_3 = \{a_1, a_2, a_3\}$ поверхні на ударне збудження.

Вектори відгуку, доповнені значеннями твердості зразків, упорядковані по зростанню твердості, формують в пам'яті ЕОМ вузли еталонної залежності компоненту вектора відгуку від твердості. При цьому весь діапазон твердості розбивається на відрізки, між якими приймається лінійна залежність компонента вектора відгуку від твердості (рис 2).

Режим навчання закінчується розрахунком для кожного в дрізка еталона, величини вектор в зворотнього перетворювання D_1, E , який знадобиться для вирішення зворотньої задачі при випробуваннях



a_1 - амплітуда першої напівхвилі;
 a_2 - амплітуда другої напівхвилі;
 a_3 - відношення тривалостей
 першої напівхвилі до другої;
 H - твердість;

Рис. 2

зразків з невідомою твердістю.

Разрахунки ведуться за формулами:

$$D_1 = K_1 \cdot (H_{m+1} - H_m) / \sum_{i=1}^m K_1 \cdot (A_1^{m+1} - A_1^m)^2 \quad (7)$$

$$E = \sum_{i=1}^m K_1 (A_1^{m+1} - A_1^m) \cdot (A_1^{m+1} \cdot H_m - A_1^m \cdot H_{m+1}) / \sum_{i=1}^m K_1 (A_1^{m+1} - A_1^m)^2 \quad (8)$$

де $m, m+1$ - лівий і правий вузол M -го відрізка еталона;

K_1 - коефіцієнт перетворення амплітуд і тривалостей
в безрозмірну величину

Задача вирішується в два етапи. Спочатку для кожного m -ного відрізка еталону знаходяться локальні мінімуми δ^m і значення H_m для яких вони досягаються:

$$H = \sum_{i=1}^m D_1 \cdot \tilde{A}_1 + E \quad (9)$$

$$H^m = \begin{cases} H_m & \text{якщо } H_m < H < H_{m+1} \\ H_m & \text{якщо } H \leq H_m \\ H_{m+1} & \text{якщо } H \geq H_{m+1} \end{cases}$$

$$\delta^m = \sum_{i=1}^m (B_1 H^m + C_1 - \tilde{A}_1) \cdot K_1, \quad m = 1, M \quad (10)$$

де $B_1 = (A_1^{m+1} - A_1^m) / (H_{m+1} - H_m)$, $C_1 = (A_1^m \cdot H_{m+1} - A_1^{m+1} \cdot H_m) / (H_{m+1} - H_m)$

Потім глобальний мінімум $\tilde{\delta}^m$ визначається таким чином:

$$\tilde{\delta} = \min \delta^m \quad m = 1, m \quad (11)$$

Значення H^m , для якого цей мінімум досягається, приймається за шукане значення твердості.

Описаний алгоритм може узагальнюватись на випадок одночасного контролю двох-трьох параметрів.

Третя глава присвячена розробці та дослідженню методів та датчиків еталонних ударних впливів і прийому інформативних сигналів.

Для реалізації датчиків розроблялись конструкції ударних пристроїв, що мають малу масу ударного тіла і високу швидкість.

Механічні системи для розгону бойка не застосовуються через складність демпфування низькочастотних коливань. Тому були застосовані електромагнітні розгонні пристрої в складі датчиків для НК.

В загальному випадку такий пристрій являє собою систему кільцевих електромагнітів, які по чергово підключаються до джерела струму. При цьому розташований на Іх осі боек з феромагнітного матеріалу починає лінійне пересування, при цьому його швидкість визначається швидкістю переключення котушок електромагнітів.

Час розгону t для одної секції і швидкість V вильоту бойка на зрізі ствола

$$t = l(2mL/\mu_0)^{1/2}/I\omega; \quad V = \int_0^t (B^2 \pi r^2 / 2\mu_0 + g) dt \quad (I2)$$

де I - робочий струм котушки; m - число витків

l - товщина намотки ; B - магнітна індукція

Ці співвідношення дозволили розрахувати і розробити пристрій розгону бойка з характеристиками:

число секцій розгону -14; число витків в кожній котушці -20;

товщина кожної котушки -3 мм; діаметр бойка -1 мм;

швидкість вильоту бойка -16 м/с

Крім того, розроблений і досліджений ударний пристрій пневматичного типу. Для розрахунків використовувались співвідношення з розділу газової динаміки. Вони дозволили розрахувати і одержати швидкість мікрокулі на зрізі ствола порядку 15 м/с. Крім того, конструктивно було вирішене питання автоматизації "зведення" для повторного удару.

При аналізі форми коливань поверхні використовувались два підходи. Перший - вимірювання коливань на деякій віддаленості від місця удару і співвідношення цих коливань з фізичними властивостями поверхні. Другий - вимірювання коливань в декількох рівновіддалених від місця удару точках і співвідношення зміни параметрів коливань з вимірюваними властивостями поверхні. В першому випадку необхідний більш стабільний удар, ніж в другому, однак, в другому випадку необхідно знімати інформацію з декількох точок поверхні. Для зйому інформації про коливання поверхневого шару запропонований спосіб перетворення акустичного імпульсу в електричний сигнал (рис 3).

Основною його перевагою являється висока достовірність та завадостійкість при перетворенні механічних коливань поверхні зразка в електричний сигнал.

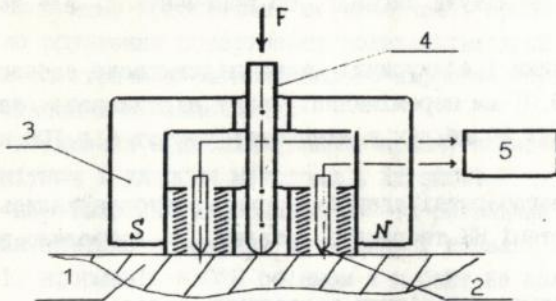


Рис. 3. Схема датчика для перетворення акустичних коливань в електричний сигнал:

- 1-матеріал; 2- електроди; 3 - постійний магніт;
4-пристрій навантаження; 5 - реєстраційний пристрій.

Пересування поверхні контролюемого матеріалу в постійному магнітному полі приводить до виникнення в його поверхневому шарі електрорушівної сили згідно закону електромагнітної індукції. Аналізуючи його, одержано для датчика:

$$U_m = B l \omega e^{-t/\tau} (\cos \omega t - 1/\omega \tau \sin \omega t) \quad (I3)$$

де U_m - амплітуда вихідного сигналу; B - магнітна індукція
 l - мікелектродна відстань

Проведені дослідження перетворювача показали його ефективність для деталей з неферомагнітних матеріалів. Але контроль з допомогою такого перетворювача деталей складної форми є затрудненим.

Тому для зйому інформації запропоновані також ємнісні перетворювачі. З допомогою таких перетворювачів легко зняти інформацію на відстані 5-8 мм від удару і далі. Зробивши зліпок (наприклад з допомогою шпаклівки) з деталей складної форми, легко виготовити датчик, оптимально пристосований для контролю цієї деталі.

Виготовлений ємнісний датчик складається з приймальної обкладки і діелектричної прокладки. Роль другої обкладки виконувала поверхня зразка. Проведений аналіз датчика з моделюванням випадкових змін зазору при переустановці, дає вираз:

$$U = U_0 R \omega (C_{BX} - C_0) / \sqrt{1 + R^2 (C_{BX} - C_0)^2 \omega^2} \quad (I4)$$

де U - амплітуда сигналу; C_{BX} - установочна ємність датчика;
 U_0 - ємність датчика; U_0 - амплітуда сигналу з вибраним зазором датчика.

Аналіз показав, що неточність установки датчика на деталь

приводить до зміни амплітуди сигналу, що приймається, але не впливає на форму.

Розроблені датчики і електричні схеми підсилювача забезпечили чутливість I В на $0,01$ мм переміщення. Тракт підсилювача забезпечив рівномірність АЧХ 20 дБ/дек в діапазоні частот від 100 кГц до 5 МГц.

Розроблені малогабаритні ударні датчики застосовувались в автоматизованій системі НК твердості деталей. Це дозволило вирішити задачі:

- 1) експериментально перевірити теоретичні положення;
- 2) визначити оптимальні конструктивні і схемні рішення;
- 3) оптимізувати запропонований алгоритм ідентифікації величини твердості деталей;
- 4) дослідження дестабілізуючих факторів на точність вимірів.

В четвертій главі проведені експериментальні дослідження розробленої автоматизованої системи неруйнівного контролю твердості, визначені основні характеристики, показаний аналіз похибок.

Дослідно-експериментальна система автоматизованого контролю (рис. 4) розроблена для проведення досліджень твердості поверхні матеріалів методом збудження і наступного аналізу пружних хвиль, які проходять через досліджуваний матеріал.

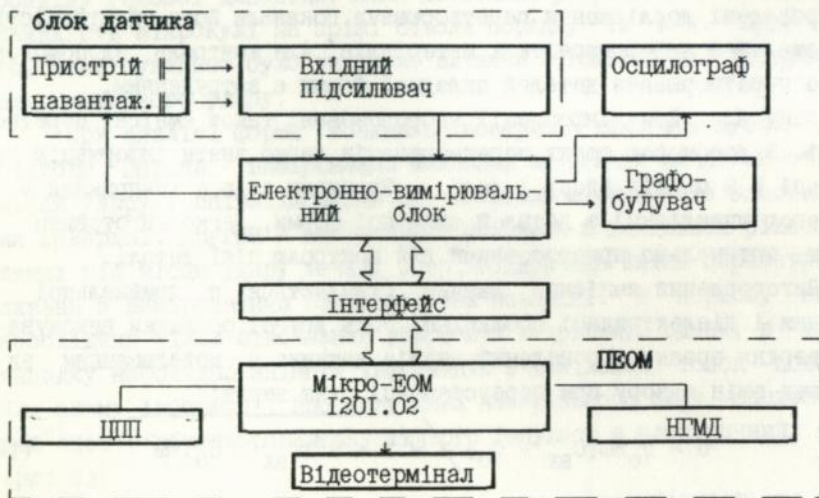


Рис.4. Блок-схема дослідно-експериментальної системи НК твердості деталей

Основними пристроями, що визначають працездатність системи є: джерело збудження поверхневих коливань; вхідний перетворювач коливань в електричний сигнал; аналого-цифровий перетворювач; мікро ЕОМ.

Установка забезпечила :

- збудження в досліджуваному зразку коливань акустичним, електромагнітним і ударним методами і їх зйом;
- перетворення інформації в 6-ти розрядний цифровий код в темпі 7,5 млн. вимірів в секунду по чотирьох каналах і запам'ятовування знятої інформації в ОЗП об'ємом 4 к байт на кожний канал;
- синхронізацію за початком дії на зразок (для ударних процесів) внутрішню синхронізацію (для безперервних процесів);
- виведення знятої інформації про реакцію матеріалу на удар на екран осцилографа і самописець;
- організацію бази даних про випробування в пам'яті ЕОМ;
- проведення обробки інформації за допомогою розробленого пакету програм.

Конструктивно автоматизована дослідно-експериментальна система являє собою функціонально закінчений блок збудження коливань поверхні зразка, набір перетворювачів коливань в електричний сигнал, блок електронний і ПЕОМ.

Для вивчення поверхневих шарів досліджуваних матеріалів на розробленій установці був розроблений пакет прикладних програм, що забезпечив наступні функції:

- введення та контроль інформації про коливання поверхні;
- створення бази даних про досліджувані зразки і відповідні параметри коливань поверхневого шару;
- аналіз введеної інформації, порівняння різних параметрів кривих коливань поверхневого шару з відомими фізико-механічними характеристиками контрольних зразків;
- виведення результатів вимірів в відповідному вигляді.

Обробка результатів вимірів, проведених в процесі досліджень комплексу, являє собою складну самостійну проблему. Алгоритм роботи ЕОМ, застосований при вимірюваннях, оснований не на побудові залежностей типу "параметр матеріалу - рівень сигналу", а на "навчання" ЕОМ знаходити "схожий" сигнал для ідентифікації параметрів матеріалу.

В подальшому, ЕОМ виступає в ролі експерта, який на підставі даних виносить судження про якість матеріалу. Оцінка похибки вимірювання в цьому випадку проводилась методом експертного аналізу.

Для оцінки використаний коефіцієнт кореляції рангів Кендалла,

для оцінки спільності результатів ідентифікації деталей використовувався коефіцієнт кореляції рангів Спірмена.

Основна похибка вноситься конструктивними і технологічними факторами при проведенні контролю твердості розробленими датчиками. Якщо для елементів підсилювально-перетворюючого тракту погіршність підлягає нормуванню, то для вузлів датчика це неможливо.

Для оцінки статистичного зв'язку між вибірками використаний коефіцієнт кореляції r_{xy} :

$$r_{xy} = \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - n M_x M_y \right) / (n-1) \sigma_x \sigma_y \quad (I5)$$

де M_x, M_y - вибрані оцінки математичного очікування
 σ_x, σ_y - вибрані значення середньоквадратичного відхилення
 Для оцінки значимості застосовані статистики

$$t_1 = \sqrt{(n-2)} \cdot r / (\sqrt{1-r^2}) \quad (I6)$$

Значимість визначалась з таблиць критичних точок розподілення Стьюдента, з відповідним числом ступенів свободи. Крім того, використовувалась статистика, яка дозволяє перевірити, що коефіцієнт кореляції дорівнює при його вибірковій оцінці:

$$t_2 = \sqrt{(n-3)} / (z - z_0) \quad (I7)$$

де:

$$z = 0.5 \ln [(1+r)/(1-r)]; \quad z_0 = 0.5 \ln [(1+r_0)/(1-r_0)]$$

Після проведення випробувань на твердомірі і пристрої по одержаних даних перевірялось, у якій мірі розбіжні вибіркові середні x і y , знайдені по незалежних малих вибірках X і Y .

Для прийняття рішення обчислене значення критерію порівнюється з точкою розподілення Стьюдента з вибраним $\alpha=0,05$ і числом ступенів свободи $k = 8$.

$-|t_{кр}| > t_{кр}(\alpha, k)$ - нулева гіпотеза про рівність середніх відкидалась.

Для перевірки гіпотези про рівність дисперсій використаний критерій Фішера-Снедекора.

Обчислене значення критерію порівнювалось з критичним значенням $F_{кр}$, взятим з таблиці розподілення Фішера, з рівнем значимості $\alpha = 0,05$.

При $F_{кр} < F$ вважати вибрані дисперсії різними немає підстав.

В додатку приведений опис автоматизованої системи контролю твердості деталей, основні програми обробки даних на мовах "Фортран", "Паскаль", таблиці результатів вимірювань і документи, що підтверджують результати проведених досліджень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

1. На підставі проведеного аналізу стану деталей, які проходять технологічний процес відновлення і ремонту, вироблені рекомендації по використанню заходів неруйнівного контролю твердості робочих ділянок деталей ДВЗ, що скорочують витрати і час їх ремонту.

На підставі систематизації і аналізу використання методів та засобів контролю обґрунтований вибір ударно-акустичного методу контролю твердості.

2.3 урахуванням нестационарного типу коливань поверхні при швидкісному ударному навантаженні запропоновані і теоретично розроблені:

- математична модель реакції поверхні матеріалу, який контролюється на еталонний ударний вплив. На підставі розробленого алгоритму проведено чисельне моделювання на ЕОМ і визначені найбільш чутливі до зміни твердості матеріалу, параметри ударної хвилі і сформульовані основні вимоги до датчик в НК;

- математичне забезпечення роботи автоматизованої системи НК з накопиченням даних і їх обробки для ідентифікації параметрів поверхні матеріалу на підставі навчаючої вибірки.

3. Виготовлений і досліджений комплект пристроїв для датчиків НК, які забезпечують ударні навантаження поверхні деталей що контролюються. Доведено, що найбільш стабільним є ударний пристрій пневматичного типу.

4. Розроблений і досліджений комплект пристроїв, що входять в склад датчиків НК які приймають сигнали акустичної хвилі з поверхні досліджуемого матеріалу. Доведено, що для контролю твердості деталей найбільш ефективні приймачі смісного типу. Розроблені датчики НК використовуються в складі автоматизованої системи НК твердості.

5. Запропонована і розроблена схема автоматизованої системи НК твердості деталей. Розроблено програмне забезпечення для ПЕОМ, яка входить в склад системи. Система забезпечила контроль твердості поверхні деталей ДВЗ з точністю ± 0.1 ед. НРС.

6. Ефективність запропонованих рішень підтверджена впровадженням автоматизованої системи НК твердості при відновленні і ремонті деталей на авторемонтних підприємствах.

Економічний ефект від впровадження системи склав 110 тис. крб за рік (у цінах 1989-1990 р.).

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В
НАСТУПНИХ РОБОТАХ

1. А.с. № 1601556 СССР, МКИ G01N 29/04. Способ определения физико-механических характеристик электропроводных материалов и устройство для его осуществления /Н.Л.Голего, В.М.Антонюк, Б.В.Белов, Т.А.Очеретнюк. Опубл.23.10.90. Бюл. № 39.
2. Антонюк В.М., Бабак В.П., Белов Б.В. Автоматизированный контроль физико-механических параметров изделий из металлов //Труды IV Международной научно-технической конференции "Проблемы комплексной автоматизации". Киев.- 1990. - С. 18-22.
3. Антонюк В.М., Бабак В.П., Белов Б.В. Бесконтактный метод съема информации о колебаниях поверхности в системах неразрушающего контроля // Труды II-й Всесоюзной конференции "Измерение и контроль при автоматизации производственных процессов". Барнаул.-1991. - С. 175-176.
4. Антонюк В.М., Бабак В.П., Белов Б.В. Самообучающаяся система контроля физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей //Труды II-й Всесоюзной конференции "Измерение и контроль при автоматизации производственных процессов".- Барнаул.-1991.-С. 186-187.
5. Антонюк В.М., Бабак В.П., Белов Б.В., Щербак Л.Н. Автоматизированная система контроля упрочняющего слоя деталей //Труды IV Международной научно-технической конференции "Проблемы комплексной автоматизации". Киев.- 1990.- С. 22-24.
6. Белов Б.В. Система ЭМА-преобразования и регистрации гармоник для неразрушающего контроля материалов //IV научная конференция инж.-техн. работников НИАТ. Сб. докл. М.: - 1984.- С.6-8.
7. Белов Б.В. Стенд для контроля электропроводных ферромагнитных деталей //Инф. лист ВИМИ.- М.: 1987.
8. Разработка и изготовление опытного образца установки для контроля физико-механических характеристик поверхности деталей типа "вал". Итоговый отчет по НИР 8.3515.4060.396. IV кв. 1988 г. Гос.рег. 88.2550632. Рук. Белов Б.В. НИАТ - 1988 - 40 с.

465539

AB 27.760