УДК 669.017:539.374:539.67:534.282

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ АВІАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА РОЗСІЮВАННЯ НИМИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Мозговий О.В.
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського,
м. Вінниця, Україна

***Анотація**: Запропоновано досліджувати ефективність поверхневого зміцнення матеріалів шляхом визначення параметрів розсіювання ними механічної енергії. Побудована математична модель на основі розсіювання механічної енергії при вільних затухаючих коливаннях дозволяє вирішувати складні технологічні задачі виготовлення і діагностики деталей у процесі експлуатації. В рамках математичної моделі досліджуваного об'єкту обґрунтовано і показано рішення оберненої задачі – визначення вхідних фізико-механічних властивостей матеріалів, задаючи необхідні параметри розсіювання механічної енергії матеріалом. Використання методу механічної спектроскопії дозволило встановити оптимальні режими поверхневого пластичного деформування – алмазного вигладжування.*
***Ключові слова**: алмазне вигладжування; розсіювання механічної енергії; пряма і обернена задачі; механічна спектроскопія*

Сучасна промисловість потребує економічних видів металопродукції, поліпшення техніко-економічних показників і підвищення характеристик міцності конструкційних матеріалів. Особливо актуальним це є в авіабудуванні. Вирішення існуючих проблем можливе при науково обґрунтованих і принципово нових прогресивних технологіях обробки конструкційних матеріалів на основі знання механізмів і кінетики структурних і фазових перетворень в них, які відбуваються в метастабільних станах металів і сплавів.

Метали, поверхня яких зазнала поверхневого пластичного деформування, можна віднести до матеріалів з неоднорідною структурою. Пластична деформація зміцнює поверхневий шар, структура якого відрізняється від основного металу. Глибина зміцнення залежить від технології і режимів обробки, а також потреби величини структурних змін. Механічна і термічна обробки, як складові технологічного процесу обробки матеріалів, також викликають в них структурні зміни.

У результаті отримані структурні зміни впливають на величину і характер розсіювання матеріалами енергії механічних коливань. Використання у роботі методу механічної спектроскопії в інфра- та звуковій області частот при дослідженні впливу отриманих структур на експлуатаційні характеристики дозволяє формувати необхідні будову, геометричні та фізичні параметри у неоднорідних за структурою матеріалах.

Розрахунок розсіювання енергії механічних коливань деталями і матеріалами, з яких вони виготовляються, дозволяє встановлювати оптимальні технологічні режими їх виготовлення, початкові фізико-механічні параметри матеріалу, визначати надійність і ресурс деталей і агрегатів.

Розроблення математичних моделей і на їх основі розв'язування прямих і обернених задач значно спрощує конструкторські розрахунки і прогнозування оптимальних експлуатаційних характеристик конструкційних матеріалів і деталей з них.

Таким чином, проблема підвищення надійності матеріалів, які працюють в умовах динамічних навантажень довільної природи, є актуальною. Її вирішення потребує таких взаємозв'язаних методів і моделей, які на основі аналізу коливних систем дадуть змогу мати їхню повну характеристику отримання необхідних експлуатаційних характеристик.

Метою роботи є визначення впливу поверхневого зміцнення авіаційних матеріалів на розсіювання ними механічної енергії.

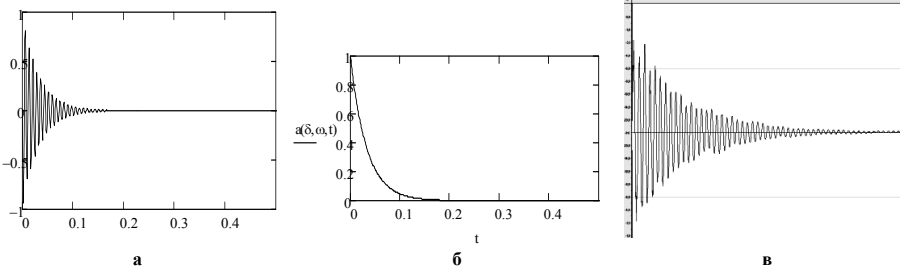
Досліджувались зразки сталі 07Х12Н2МБФ, які вирізані електроіскровим методом із валу газотурбінного двигуна в осьовому напрямі. Вал пройшов повний цикл виготовлення (товщина стінки валу 4 мм) і фінішною обробкою було поверхневе пластичне деформування (ППД) – алмазне вигладжування, яке проводили з обох сторін стінки валу із різною величиною прикладеної сили. Зразки № 1 ÷ № 6 - величина прикладеної сили (Р) становила, відповідно 50, 100, 150, 200, 250, 300 Н. Мікротвердість вимірювали за допомогою приладу ПМТ-3. Розрахунки залишкових напружень проводили методом скінченних елементів.

Розсіювання механічної енергії вимірювали на релаксаторах з прямим і оберненим крутильними маятниками. Використовувались зразки довжиною 40-120 мм прямокутного і круглого перерізу в діапазоні робочих температур від 290 К до 870 К і амплітуд деформації від 10^{-6} до 10^{-3}. Фон внутрішнього тертя установки менше 10^{-4} одиниць [1].

Розглянемо стержень із однорідного матеріалу, поверхня якого з двох протилежних сторін зміцнюється одним із видів ППД. У поперечному перерізі такий стержень буде мати дві приповерхневі області із підвищеними механічними характеристиками, величина яких буде зменшуватись при заглиблені в середину стержня. Ці області знаходяться з обох сторін стержня, які зазнали ППД. В залежності від вибраного критерію, такі приповерхневі області будуть мати один, два і більше зміцнених шарів. А в цілому стержень можна розглядати як багатошаровий або в першому наближенні - як тришаровий. Середній шар найбільш пластичний. У таких шаруватих областях модулі пружності матеріалів близькі між собою. Тоді для всіх шарів по товщині справедлива гіпотеза прямих недеформованих нормалей.

Інтегральний принцип Гамільтона-Остроградського дав змогу отримати рівняння для опису вільних одночастотних коливань шаруватих систем з врахуванням розсіювання ними механічної енергії. Для заданих модулів Юнга і декрементів середнього і зовнішніх шарів розраховуються комплексні модулі. Визначаються розміри скінченних елементів стержня, коефіцієнти апроксимації для різних параметрів матриць жорсткості, мас елементів. Пропонована модель дає можливість розрахувати власні частоти і декремент коливань, а також отримати графік вільних затухаючих коливань стержня. Отримані власні частоти і декремент коливань підтверджують стійкість даної моделі.

Створена модель дозволяє отримувати графіки вільних коливань стержня і зміну величини амплітуди коливань в залежності від часу при заданих модулях Юнга і величин декрементів кожного шару (рис.1а,б). Для перевірки роботи моделі проведені експериментальні дослідження вільних коливань стержнів, які вирізали електроіскровим методом із стінок валу газотурбінного двигуна, що пройшов повний технологічний цикл виготовлення (рис.1в).



а **б** **в**

Рис. 1 – Розрахований графік (а) і часова залежність (б) амплітуди вільних затухаючих коливань консольного тришарового стержня; в - графік вільних коливань консольного тришарового стержня поперечному перерізі після алмазного вигладжування зусиллям 150 Н

Виготовлення деталей відбувається за спеціальними технологічними схемами, які забезпечують вихідні експлуатаційні параметри готового виробу. Можливість отримати

вхідні показники фізико-механічних характеристик матеріалів, з яких виготовляють деталі, їх структуру, при заданих вихідних показниках є однією з важливих конструкторських завдань. У своїй постановці така задача відноситься до обернених задач.

Для вирішення оберненої задачі, після побудови рішення прямої задачі у загальному виді, формулюють операторне рівняння для знаходження невідомої функції чи системи функцій з врахуванням додаткових умов.

У роботі обґрунтовано, що фізичний стан зв'язної системи матеріальних точок, яка прийнята в якості моделі внутрішнього розсіювання енергії, залежить від власних значень матриці системи диференціальних рівнянь. Проведена оптимізація параметрів матриці мас, жорсткості, модулів Юнга, декрементів затухання кожного шару, кількості шарів, яка дозволяє встановити рівноважний стан моделі. Показано, що ускладнення зв'язної системи матеріальних точок, як і ряду інших моделей, приводить до системи жорстких диференціальних рівнянь, для побудови наближених рішень яких використані гіперболічні многочлени, які утворюють повний базис, а отже, забезпечують рішення при різних варіаціях коефіцієнтів та правих частин систем рівнянь.

Побудова повних систем базисних елементів тейлорівського типу з щільним спектром похідних цілих додатних, від'ємних та дробових порядків дозволяє досліджувати якісну поведінку розв'язків диференціальних та інтегральних рівнянь (прямих та обернених задач), обробляти експериментальні дані, ідентифікувати системи, уточнювати математичні моделі об'єктів та процесів, оптимізувати конструкторські проекти із заданими характеристиками, здійснювати прогноз природних явищ.

Запропоновано при встановленні фізичного змісту стійкості динамічних систем до варіації їх параметрів застосувати висновки теорії катастроф в оптимізаційних алгоритмах розв'язування прямих і обернених задач.

Показано, що використання обернених задач дозволяє, задаючи необхідні параметри розсіювання механічної енергії деталлю, визначити вхідні фізико-механічні властивості матеріалів, вносячи, при необхідності, зміни в режими технологічного циклу виготовлення деталі, оптимізуючи параметри заданих характеристик, представлених в інтегро-диференціальному базисі адекватному обраній моделі (об'єкту, процесу).

Проведені експериментальні дослідження визначення характеру розсіяння механічної енергії в консольних трьохшарових стержнях - визначення графіку затухань поперечних коливань, часу затухань і часової залежності зміни амплітуди коливань, логарифмічного декременту - виявили вплив сили притиску інструменту до поверхні металу в процесі фінішної обробки поверхневим пластичним деформуванням – алмазним вигладжуванням. Встановлено, що найшвидше затухають коливання у перші моменти часу після обробки зусиллям у 200-250 Н. Спектральний аналіз вільних коливань для різних режимів ППД алмазним вигладжуванням виявив, що найбільший відклик на механічну дію спостерігається для кілогерцевих частот від 1 кГц до 2,5 кГц.

У процесі вимірювання амплітудної залежності внутрішнього тертя (АЗВТ) амплітуди деформації збільшується і зменшується. Було виявлено при цьому неспівпадання ходу кривих АЗВТ яке проявилось у появі гістерезисної петлі. Поява і величина такої петлі залежить не тільки від величини амплітуди деформації, а також від попередньої термомеханічної обробки. Площа такої петлі має мінімальне значення при силі притиску алмазного наконечника до поверхні валу 150 – 200 Н. Такі технологічні режими поверхневої пластичної обробки викликають зменшення величини тангенса нахилу кривої АЗВТ до осі амплітуд деформації. Це може бути визвано перезакріпленням дислокацій і зменшенням їх рухливості внаслідок осідання на них великої кількості точкових дефектів і надлишкових виділень, а також утворенням зміцнюючої субструктури.

Величина попередньої пластичної деформації впливає на нахил високотемпературної кривої температурної залежності внутрішнього тертя (ТЗВТ) до шкали температур, а також

на величину фону. При збільшенні зусилля притиску алмазного наконечника від малих значень величина розсіювання механічної енергії зростає, потім після величини сили притиску у 200 Н – зменшується.

Навпаки себе поводить величина температури, при якій спостерігається різке зростання високотемпературної кривої ВТ. Така температура міститься в області 650 – 750 К. Починаючи з цих температур, суттєвий вплив на ТЗВТ мають процеси, що зв'язані з полігонізацією і рекристалізацією. Результати дослідження дають змогу припустити, що обробка алмазним вигладжування у 200 Н є оптимальною, так як дані амплітудної залежності ВТ підтверджують зроблений висновок. Також відомо, що такі ж режими обробки викликають в даному матеріалі найбільшу межу витривалої міцності.

Запропонований підхід до вивчення розсіювання механічної енергії неоднорідними матеріалами вказує на можливість планування режимів механічної обробки для отримання необхідних експлуатаційних характеристик матеріалу і дозволяє прогнозувати їх поведінку при експлуатації. Також це дозволяє розкрити фізичну природу і механізми розсіювання механічної енергії при інфразвукових та звукових частотах.

Influence of surface strengthening of aviation materials onmechanical energy scattering

Mozghovyi Oleksandr V

Abstract. *The article proposes to investigate the effectiveness of materials surface hardening by determining the parameters of mechanical energy scattering. The constructed mathematical model based on the scattering of mechanical energy under free damped oscillations allows us to solve complex technological problems of manufacturing and diagnostics of parts during operation. In the framework of the mathematical model of the investigated object, the solution of the inverse problem is substantiated and shown: the determination of the input physical and mechanical properties of the materials, by specifying the necessary parameters for the scattering of mechanical energy by material. Using the method of mechanical spectroscopy has allowed to establish optimal modes of surface plastic deformation - diamond smoothening.*

Keywords: diamond smoothing, scattering of mechanical energy, direct and inverse problems, mechanical spectroscopy.

Влияние поврехностного упрочнения авиационных материалов на рассеивание ими механической энергии

Мозговой А.В.

Аннотация*. Предложено исследовать эффективность поверхностного упрочнения материалов путем определения параметров рассеяния ими механической энергии. Построенная математическая модель на основе рассеяния механической энергии при свободных затухающих колебаниях позволяет решать сложные технологические задачи изготовления и диагностики деталей в процессе эксплуатации. В рамках математической модели изучаемого объекта обоснованно и показано решение обратной задачи - определение входных физико-механических свойств материалов, задавая необходимые параметры рассеяния механической энергии материалом. Использование метода механической спектроскопии позволило установить оптимальные режимы поверхностного пластического деформирования - алмазного выглаживания.*

Ключевые слова: алмазное выглаживание, рассеяния механической энергии, прямая и обратная задачи, механическая спектроскопия.

Список літератури

1. Мозговий О.В., Тітов А.В., Мозговий С.В., Качан О.Я. Розсіювання механічної енергії лопатками газотурбінних двигунів в залежності від їх дефектності // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2006. - №49. – С. 222 – 226.