

О.В.МОЗГОВИЙ, канд. техн. наук, доц., ВДПУ імені Михайла Коцюбинського, Вінниця

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНИМ ВИГЛАДЖУВАННЯМ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ВІЛЬНИХ ЗАТУХАЮЧИХ КОЛИВАНЬ

Розглядається теоретична і експериментальна методика визначення технологічних режимів обробки поверхні металу алмазним вигладжуванням

Рассматривается теоретическая и экспериментальная методика определения технологических режимов обработки поверхности металла алмазным выглаживанием

We consider the theoretical and experimental methods for determining the technological regimes of processing the metal surface diamond smoothing

У процесі експлуатації вали сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) зазнають значних циклічних навантажень. Великі швидкості обертання та температури вимагають від конструкторів підвищених робочих властивостей валів та їх довговічності. Такі експлуатаційні властивості залежать, в основному, від стану поверхневого шару, який формується на фінішних етапах технологічного процесу виготовлення валу. Границю витривалості валу визначають точність і шорсткість його поверхонь, величина, знак і характер розподілу залишкових напружень, глибина і ступінь наклепу, структура і текстура поверхні.

Забезпечити максимальну реалізацію експлуатаційних характеристик валу може тільки комплексний підхід до вибору технологічних факторів виготовлення виробу [1,2]. На сучасному етапі найбільш ефективною фінішною операцією виготовлення валів є поверхневе пластичне деформування, яке підвищує утомні властивості матеріалу деталей [3]. Найбільш ефективним способом поверхневого пластичного деформування є алмазне вигладжування [1-5], в результаті якого формуються необхідні залишкові стискаючі напруження у приповерхневому шарі і поверхні набувають необхідних параметрів шорсткості [2].

Вали ГТД виготовляють пустотілими і тонкостінними, товщина оболонки становить від 1,6 до 4,0 мм [4]. При цьому алмазне вигладжування проводять з обох сторін валу – внутрішньої і зовнішньої. Дослідження мікротвердості біля поверхні зразка і в його середині виявили максимальне значення в зоні впливу алмазного наконечника [6,7].

Обробка пластичним деформуванням вносить значний вплив на механічні характеристики матеріалів [1-5]. Оцінити ефективність таких технологічних операцій досить складно, тому виникає необхідність розробки теоретичної та експериментальної методики визначення необхідних технологічних параметрів.

Для дослідження були взяті спеціальні зразки із сталі 07X12H2МБФ, які вирізані із стінок вала ГТД, що пройшов повний цикл виготовлення. Розміри зразків становили 1x2x80 мм³. Поверхня вала була оброблена алмазним

вигладжуванням. Величина прикладеної сили алмазного наконечника до поверхні сталі змінювалась через 50 Н від 50 до 300 Н.

В основу методики покладені вільні затухаючі коливання досліджуваних зразків. У роботах [8,9] досліджено вплив режимів алмазного вигладжування на характер затухаючих коливань і часові залежності амплітуди, частоти і декременту коливань сталених зразків, показано, що декремент коливань може успішно використовуватись для вивчення впливу різних технологічних операцій виготовлення валів ГТД на оцінку механічних характеристик витривалості, в тому числі і фінішної обробки - алмазне вигладжування. Результати дослідження дають змогу оцінювати межі витривалості матеріалу.

У даній роботі досліджували вільні поперечні затухаючі коливання консольно затиснутого зразка. Коливання записували за допомогою програми Sound Forge на спеціальній установці [10,11] і за допомогою запропонованої спеціальної програми отримали загальну обвідну, обвідну смуги частот та обвідну найбільшої гармоніки у смузі частот. Особливістю програми є можливість, в залежності від часу, визначати частоту і амплітуду коливань, обчислювати логарифмічний декремент коливань системи.

Результати експериментальних досліджень: осцилограму затухаючих коливань і зміну амплітуди та логарифмічного декременту з часом показано на рисунку 1.

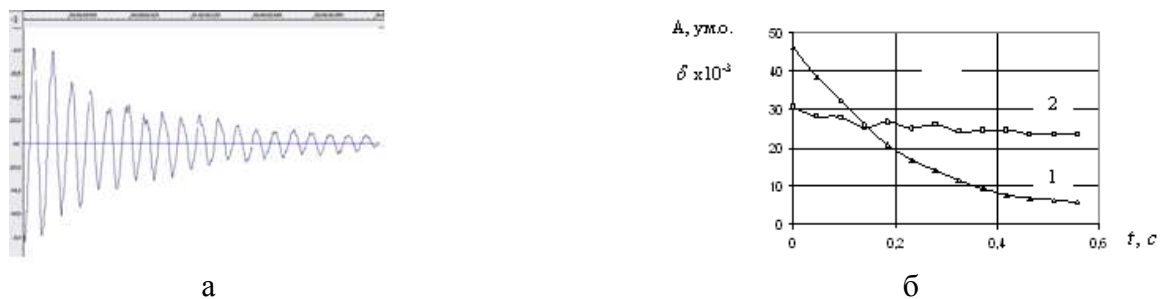


Рис. 1. Осцилограма (а) і часова залежність (б) амплітуди (1) і декременту (2) коливань зразка із сталі 07Х12Н2МБФ, який оброблено алмазним вигладжуванням.

Розглянемо математичну модель поведінки матеріалу валу ГТД. У ґрунтовних роботах Я.Г.Пановка, Г.С.Писаренка, Е.С.Сорокіна, М.В.Василенка, В.В.Хільчевського, В.Г.Дубенця, В.В.Матвєєва та інших досліджувались задачі розсіювання механічної енергії, показано розвиток теорії втрат енергії в матеріалах.

У результаті поверхневої пластичної обробки вала утворюються три шари з різними, але близькими механічними характеристиками. Два зовнішніх, з поліпшеними характеристиками міцності, і середній шар має властивості матеріалу зразка у початковому стані. Схему поперечного перерізу стержня (симетричний відносно нейтральної лінії) показано на рисунку 2. Скористаємось результатами роботи В.В.Хільчевського, В.Г.Дубенця [12] для побудови математичної моделі коливань тришарового стержня. Коли модулі пружності шарів близькі, то зручно використовувати модель тришарового стержня, яка базується на гіпотезі плоских перерізів і відповідних енергетичних формулюваннях.

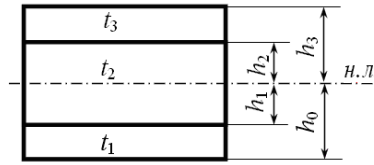


Рис. 2. Схема тришарового стержня, який оброблений алмазним вигладжуванням.

Потенціальна енергія деформації стержня з урахуванням гіпотези розподілення деформацій по товщині $\varepsilon = -z \frac{d^2 w}{dx^2}$ визначається формулою:

$$W_0 = \frac{1}{2} \int_{(H)} \int_{(L)} E z^2 \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx dz = \frac{a^2}{2} \int_{(H)} \int_{(L)} E z^2 \left| \frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right|^2 dx dz ,$$

де $w_{(x)} = a \bar{w}(x)$, $\bar{w}(x)$ – форма коливань, a – амплітуда.

Енергія дисипації визначається за формулою

$$W_{\dot{a}c\dot{n}} = \frac{1}{2} \int_{(H)} \int_{(L)} E z^2 \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 2\delta dx dz ,$$

(δ – декремент коливань матеріалу шарів).

Залежність декременту коливань для матеріалів апроксимуємо двочленними залежностями:

$$\delta_i = \delta_{i0} + \delta_i \varepsilon_{\max}^e , \quad (i=1..3),$$

де коефіцієнти δ_{i0} , δ_i , e визначаються експериментально шляхом випробування відповідних зразків з однорідних матеріалів.

З урахуванням двочленної формули для δ , одержимо

$$\begin{aligned} W_{\dot{a}c\dot{n}} &= \frac{1}{2} \int_{(H)} \int_{(L)} E z^2 \delta_{0i} \left(\frac{d^2 w}{dx^2} \right)^2 dx dz + \int_{(H)} \int_{(L)} E |z|^{2+e} \delta_{li} \left| \frac{d^2 w}{dx^2} \right|^{2+e} dx dz = \\ &= a^2 \delta_{0i} \int_{(H)} \int_{(L)} E z^2 \left(\frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right)^2 dx dz + a^{2+e} \delta_{li} \int_{(H)} \int_{(L)} E |z|^{2+e} \left| \frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right|^{2+e} dx dz , \end{aligned}$$

($|a|$ – абсолютне значення (модуль) величини, t_i – товщина шарів).

Декремент коливань тришарового стержня довжиною L буде:

$$\delta_c = \frac{W_{\dot{a}c\dot{n}}}{2W_0} = \frac{\sum_{i=1}^3 \int_{(L)} \int_{t_i} E z^2 \left(\frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right)^2 \delta_{0i} dx dz}{2 \sum_{e=1}^3 \int_{(L)} \int_{t_i} E z^2 \left(\frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right)^2 dx dz} + \frac{a^e \sum_{i=1}^3 \int_{(L)} \int_{t_i} E |z|^{2+e} \left(\frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right)^{2+e} \delta_{li} dx dz}{2 \sum_{e=1}^3 \int_{(L)} \int_{t_i} E z^2 \left(\frac{d^2 \bar{w}}{dx^2} \right)^2 dx dz} ,$$

де перший доданок – амплітудно-незалежна частина, а другий – амплітудно-залежна частина енергії дисипації.

На рис. 3 представлені результати теоретичних розрахунків осцилограми і часової залежності величини амплітуди коливань. Отримані результати відповідають результатам експериментальних вимірювань, представлених на рисунку 1.

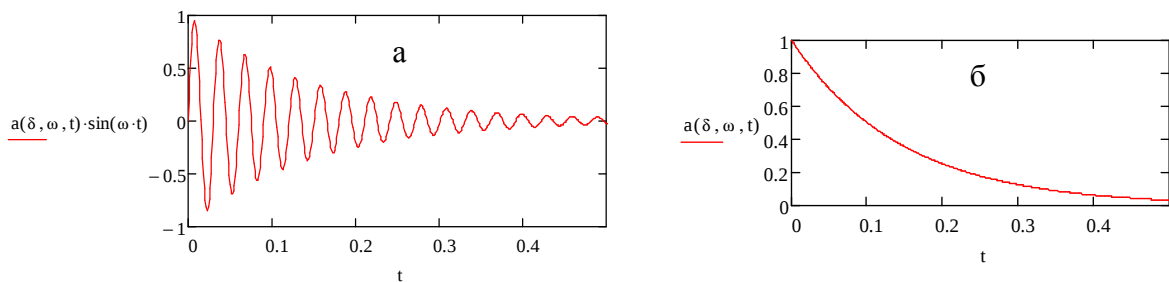


Рис. 3. Осцилограма затухаючих коливань (а) і часова залежність амплітуди коливань консольно затиснутого тришарового стержня

Результати експерименту і теоретично визначених параметрів розсіяння механічної енергії вказують на можливість планування режимів обробки з метою одержання необхідних механічних характеристик матеріалу.

Отримання за заданими параметрами досліджуваних матеріалів закону втрат механічної енергії у них дозволяє на основі теоретичної моделі розв'язати обернену задачу – за графіками вільних затухаючих коливань визначити механічні і фізичні параметри матеріалу.

Список літератури: 1. Богуслаев В.А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД [Текст] / В.А. Богуслаев, В.К. Яценко, В.Ф. Притченко. – К. : Манускрипт, 1993. – 333 с. 2. Мозговой В.Ф. Особенности комплексной оценки деформационных параметров поверхностного слоя при изготовлении тонкостенных валов ГТД / В.Ф. Мозговой, В.А. Титов, А.Я. Качан // Технологические системы. – 2000. - №2(4). – С. 56-66. 3. Мозговой В.Ф. Оценка эффективности финишной технологической обработки алмазным выглаживанием валов ГТД из стали Х12НБМФ-Ш при испытаниях на многоцикловую усталость / В.Ф. Мозговой, А.Я. Качан, А.П. Грабовский, Э.Г. Петренко // Технологические системы, 2001. - №1(7). – С. 37 – 41. 4. Богуслаев В.А. Формирование параметров качества несущих поверхностей валов ГТД алмазным выглаживанием / В.А. Богуслаев, В.Ф. Мозговой, А.Я. Качан, В.А. Титов, А.И. Попенко // Вестник двигателестроения, 2003. - № 1. – С. 84 – 89. 5. Торбило В.М. Алмазное выглаживание [Текст] / В.М. Торбило. – М. : Машиностроение, 1972. – 105 с. 6. Мозговой В.Ф. Оценка оптимизированных технологических параметров процесса алмазного выглаживания при изготовлении валов ГТД / В.Ф. Мозговой, А.Я. Качан, В.А. Титов, В.Л. Калюжный, И.Л. Семеренко // Технологические системы. – 2001. - №5(11). – С. 78 – 85. 7. Мозговой О.В. Вплив поверхневої деформації на міцнісні властивості сталі 07Х12Н2МБФ / О.В. Мозговий, О.П. Чепургов, А.В. Титов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов.– Вып.11.– К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля, НАН Украины, 2008.– С. 288-291. 8. Мозговий О.В. Вплив обробки поверхні пластичним деформуванням на параметри внутрішнього тертя в сталях / О.В. Мозговий, В.Ф. Мозговий, О.Я. Качан, В.А. Титов // Вісник двигунобудування, 2003. -№1. – С. 96 – 99. 9. Титов В.А. Вплив алмазного вигладжування поверхні сталей на розсіяння механічної енергії / В.А. Титов, О.В. Мозговий // Вестник национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – К. : НТУУ «КПИ». – 2008. - №54. - С. 131 – 140. 10. Богуслав О.В. Діагностика лопаток ГТД звуковим методом / О.В. Богуслаев, О.В. Мозговий, С.В. Мозговий, А.Я. Качан, А.В. Титов // Вісник двигунобудування, 2004. - № 1. – С.148 – 150. 11. Мозговий О.В. Визначення дійсного значення декременту коливань звуковим методом / О.В. Мозговий // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – К. : НТУУ «КПИ». – 2010. - №60. - С. 228 – 231. 12. Хильчевский В.В. Рассеяние энергии при колебаниях тонкостенных элементов конструкций [Текст] / В.В. Хильчевский, В.Г. Дубенець. – К. : Вища школа, 1977. – 250 с.