

УДК 534.1:621.438

Е. К. Березовский¹, С. А. Уланов¹, Р. Р. Матказина²¹Запорожский национальный технический университет,²Запорожская государственная инженерная академия; г. Запорожье

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕМПФИРОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

В работе представлены характеристики демпфирования колебаний мало жестких деталей при их обработке с демпфером и без демпфера, полученные на основе применения метода затухающих свободных колебаний. Показано, что лучшие характеристики имеет система, оснащенная демпфером.

Ключевые слова: характеристики демпфирования, затухающие свободные колебания, нежесткая деталь, логарифмический декремент, добротность, коэффициент затухания.

Введение

Характерной особенностью лопаток компрессоров ГТД, является малая жесткость, обуславливающая деформации при воздействии инструмента и возникновения вибраций, которые снижают точность и качество обработки [1].

Снижения деформаций и вибраций деталей при их обработке достигают за счет применения балансировки инструмента, специальных приспособлений, использования многопроходной обработки со сниженным силовым воздействием инструмента на деталь, введения увеличенного припуска и заключительной финишной слесарной обработки [2].

Одним из перспективных направлений снижения амплитуд возникающих деформаций и вибраций, является использование демпфирования при обработке деталей. Демпфирование — любые воздействия, рассеивающие механическую энергию при вибрациях. При этом колебания детали, вызванные однократным возмущением, постепенно затухают [3].

Причиной затухания являются силы наружного сопротивления, обусловленные внутренним трением в материале колеблющейся детали, трением в опорах и трением о внешнюю среду. Эти силы вызывают диссипацию (рассеяние) механической энергии. Способность системы поглощать энергию циклического деформирования характеризуется ее демпфирующей способностью.

Демпфирующая способность системы обуславливает затухание свободных колебаний и ограничение амплитуды резонансных колебаний системы и ее элементов.

Для практического определения характеристик демпфирования применяют экспериментальные методы:

метод свободных затухающих колебаний, который предусматривает получение осциллограмм свободных затухающих колебаний механической системы;

метод резонансной кривой основан на получении экспериментальной амплитудно-частотной характеристики — зависимости амплитуды перемещения установившихся колебаний от частоты гармонического возбуждения.

Демпфирующие свойства системы оценивают по ширине пика или впадины резонансной кривой.

Метод свободных затухающих колебаний характеризуется простотой эксперимента.

Цель работы — определение характеристик демпфирования по осциллограмме затухающих свободных колебаний детали с демпфером и без после единичного удара.

Объект исследования — лопатки компрессора ГТД с демпфером и без.

Метод и методика проведения исследований.

Определение характеристик демпфирования выполнялось по экспериментальным осциллограммам затухающих колебаний лопатки компрессора ГТД с демпфером и без, полученным после единичного удара [3].

Результаты исследований и их обсуждение.

Затухающие свободные колебания детали после единичного удара при линейном сопротивлении можно приставить вязкоупругой моделью одно-массовой системы (рис. 1):

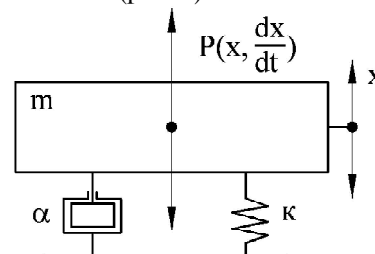


Рис. 1. Модель вязкоупругого тела

$P\left(x, \frac{dx}{dt}\right)$ — силы неупругого сопротивления;

x — перемещения; m — масса детали;

α — коэффициент демпфирования в системе;

k — жесткость упругого подвеса массы

Дифференциальное уравнение движения детали массой m после единичного удара имеет вид [4]:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\alpha \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad (1)$$

где $\omega_0^2 = \frac{K}{m}$ – собственная частота колебаний детали;

$\alpha = \frac{\Gamma}{2m}$ – коэффициент затухания колебаний, который характеризует скорость затухания; Γ – коэффициент сопротивления.

Общее решение уравнения (1) при соблюдении неравенства $\omega_0 > \alpha$ есть уравнение затухающих колебаний [4]

$$x = Ae^{-\alpha t} \cdot \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (2)$$

где A – начальная амплитуда затухающих колебаний;

ω – круговая частота затухающих колебаний;

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \alpha^2$$

φ_0 – фазовый угол (значение фазы для колебаний в момент времени $t = 0$).

Так как $\alpha < \omega_0$, то $\omega \approx \omega_0$.

Время t выразим через число колебаний n

$$t = n \cdot T,$$

где T – длительность одного колебательного цикла, $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Тогда получаем $e^{(-\alpha t)} = e^{(-\delta n)}$, откуда $\delta = \alpha T \approx \alpha T_0$ логарифмический декремент затухающих колебаний.

Логарифмический декремент определяют отношением двух любых последовательных смещений, разделенных во времени одним периодом:

$$\frac{A_i}{A_{i+1}} = e^\delta.$$

$$\text{Откуда } \delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}} = \text{const}.$$

Он характеризует относительную убыль амплитуды колебаний за один период.

Добротность системы характеризует относительную убыль энергии колебаний за один период:

$$Q = 2\pi \frac{W}{A} = \frac{\pi}{\delta} = \frac{\omega_0}{2\alpha},$$

где W – полный запас энергии системы в одном из положений наибольшего отклонения;

A – работа против сил трения за период.

Принято считать, что колебания практически прекращаются, если их энергию уменьшить в 100 раз, т. е. амплитуда – в 10 раз [4]:

$$10 = e^{\delta n} = e^{\frac{\pi}{Q} \cdot n},$$

откуда число заметных колебаний:

$$n = \frac{Q}{\pi} \cdot \frac{1}{\lg e} = 0,74Q.$$

В соответствии с экспериментальными осциллограммами, полученными после единичного удара по лопатке с демпфером и без (рис. 2) [3], определяем характеристики демпфирования (табл. 1).

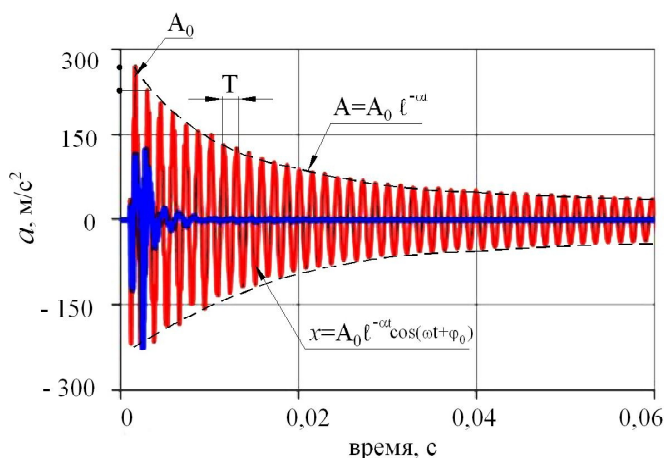


Рис. 2. Осциллограммы затухания свободных колебаний детали после единичного удара:

— без демпфера; — с демпфером

Таблица 1 – Характеристики демпфирования колебаний детали

Характеристики демпфирования	Затухающие свободные колебания детали	
	без демпфера	с демпфером
Период затухающих свободных колебаний, T , с (из осциллограмм), (рис. 2)	0,00143	0,00143
Логарифмический декремент, $\delta = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$ (из осциллограмм), (рис. 2)	0,1787	0,405
Добротность системы, $Q = \frac{\pi}{\delta}$	17,571	7,753
Частота затухающих свободных колебаний, ω , Гц (из осциллограмм)	700,0	700,0
Коэффициент затухания α , $\alpha = \frac{\pi}{QT_0}$, c^{-1}	18,17	42,99
Число заметных колебаний, $n = 0,74Q$	13,0	6,0
Время существования заметных колебаний $t = n \cdot T$, с	0,0195	0,009

Выводы

В работе представлены характеристики демпфирования колебаний деталей при их обработке с демпфером и без демпфера, полученные на основе применения метода затухающих свободных колебаний, в основе которого положен анализ экспериментальных осциллограмм.

Показано, что лучшие характеристики демпфирования имеет система, оснащенная демпфером.

Список литературы

1. Особенности колебаний деталей газотурбинных двигателей при высокоскоростном строчном фрезеровании / А. Я. Качан, Ю. Н. Внуков, Д. В. Павленко [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – №1. – С. 69–76.

2. Снижение вибраций в зоне обработки нежестких, тонкостенных деталей ГТД при высокоскоростном фрезеровании / А. Я. Качан, Д. В. Павленко, Г. В. Карась [и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 1. – С. 102–106.

3. Губанов Г. А. Повышение эффективности автоматизированного производства аэродинамических моделей с применением разработанной системы демпфирующих устройств : автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.13.06 / Г. А. Губанов. – Жуковский. – 2015. – 27 с.

4. Малов Н. Н. Основы теории колебаний / А. Н. Малов // М. : Просвещение, 1971. – 198 с.

Поступила в редакцию 01.10.2016

Березовський Є.К., Уланов С.О., Матказіна Р.Р. Визначення характеристик демпфірування коливань при обробці нежорстких деталей

У роботі представлено характеристики демпфірування коливань малої жорсткості деталей при їх обробці з демпфером і без демпфера, які отримано на основі застосування методу затухаючих вільних коливань. Показано, що кращі характеристики має система, яку оснащено демпфером.

Ключові слова: характеристики демпфірування, вільні коливання, що затухають, нежорстка деталь, логарифмічний декремент, добротність, коефіцієнт затухання.

Berezovsky Ye., Ulanov S., Matkazina R. Determination of characteristics of oscillation damping when machining non-rigid parts

The paper describes the characteristics of damping of oscillation of low rigid parts when machining them with damper and without damper. It is demonstrated that better characteristics are obtained by using system having damper.

Key words: damping characteristics, damped free oscillations, non-rigid part, logarithmic decrement, gain bandwidth, attenuation coefficient.