

В.А. АВАКЯН, К.С. БАБАЯН, В.С. МКРТЧЯН

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ТОЧЕНИИ

Շրջառաջման համար իրականացված է տեսական հետազոտություն, որտեղ հաստոցի տատանումները դիտարկված են որպես պատահական գործընթաց: Մշակված է մեքենամասի մակերևույթի սպիկրային մոդել, որը թույլ է տալիս գտնել առկայություններ մեքենամասի և գործիքի հարաբերական տատանումների և մշակված մակերևույթի երկայնական և լայնական հատույթների խորդարորդությունների միջև:

Проведено аналитическое исследование процесса токарной обработки на основе представления колебаний станка как случайных процессов. По результатам исследования разработана спектральная модель формообразования детали, которая позволяет устанавливать функциональную связь между относительными колебаниями детали и инструмента и неровностями обработанной поверхности в продольном и поперечном сечениях.

Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

An analytical study of a lathe work process on the basis of lathe oscillations as random processes is given. Due to the results of investigation a part has been developed that enables to establish a bond between relative oscillations of the part and the tool and irregularities of the machined surfaces in longitudinal and cross sections.

Ил. 3. Ref. 9.

Одними из первых работ, в которых исследовались причины тех или иных видов микрогеометрических отклонений деталей, обработанных на токарных станках, были [1, 2]. В этих работах, ограничившись рассмотрением чисто гармонических колебаний при относительном движении резца и обрабатываемой детали, авторы получили зависимости, описывающие влияние частоты и амплитуды относительных колебаний на параметры шероховатости и некруглости обработанных поверхностей.

Однако известно, что колебательный процесс при резании является случайным и не всегда однозначно интерпретируется доминирующими гармоническими колебаниями. В частности, в [3, 4] был применен аппарат корреляционного анализа с целью установления характерных статистических особенностей профилограмм и круглограмм деталей, обработанных на токарных станках. Этот подход позволяет отделить детерминированные гармонические макрогеометрические компоненты от микрогеометрических, в которых доля случайных составляющих существенна. В [5] с этой целью наряду с корреляционной функцией была использована также и спектральная плотность.

Для правильной интерпретации результатов спектрального анализа макро- и микрогеометрических отклонений необходимо располагать соответствующими моделями формообразования. Но разработанные в [1, 2] модели не являются стохастическими и поэтому не подходят. В [6] на основе теоретико-вероятностного подхода рассматривается процесс формообразования при шлифовании: в результате исследования взаимосвязи шероховатости инструмента и

детали процесс абразивной обработки представлен линейным преобразованием. В [7, 8] решена задача моделирования при токарной обработке.

В настоящей работе дано изложение стохастической модели формообразования. Рассмотрим процесс формообразования детали при токарной обработке. На рис. 1а изображена обработанная деталь в двух проекциях, где приняты следующие обозначения:  $y(x)$  - функция неровности обработанной поверхности по произвольной образующей цилиндрической поверхности детали;  $x$  - текущая координата вдоль образующей;  $r(\theta)$  - функция некруглости в произвольном поперечном сечении;  $\theta$  - угол поворота детали. Для удобства дальнейших выкладок целесообразно перейти к временным функциям, вводя при этом следующие обозначения:  $y(t) = y(x/v_0)$  и  $r(t) = r(\theta/\Omega_0)$  - функции неровности и некруглости поверхности в реальном времени обработки резанием;  $v_0$  - скорость подачи резца;  $\Omega_0$  - скорость вращения детали.

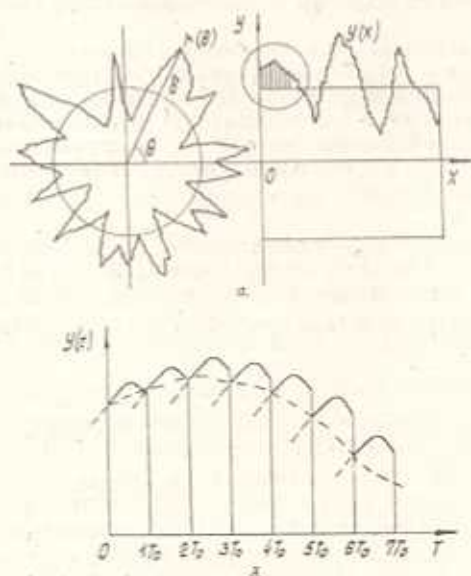


Рис. 1.

Тип кривой функции неровности поверхности  $y(x)$  определяется процессом токарной обработки и по форме напоминает профиль осевого сечения винта с переменным диаметром. При определенной идеализации функция  $y(t)$  может быть выражена кусочно-гладкой функцией времени, изображенной на рис. 1б, и представлена в виде свертки

$$y(t) = \left[ \sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right] \otimes \Phi(t), \quad (1)$$

где  $z(t)$  - функция относительных колебаний инструмента и детали в направлении, перпендикулярном обрабатываемой детали;  $\delta(t)$  - дельта-функция Дирака;  $T_0 = 2\pi/\Omega_0$  - период вращения обрабатываемой детали;  $\Phi(t)$  - импульсная функция времени длительностью  $T_0$ .



характеризующая динамику резания и зависящая от формы режущей кромки инструмента, материала обрабатываемой детали и свойств упругой системы СПИД;  $\otimes$  - символ свертки.

Формула (1) представляет собой уравнение свертки и выражает амплитудно-импульсную модуляцию  $\Phi(t)$  [9] функцией колебаний  $z(t)$ .

Применив преобразование Фурье к (1) и учитывая свойства этого преобразования [9], получим выражение для спектра неровностей

$$Y(f) = F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right\} F \{ \Phi(t) \}. \quad (2)$$

где свертка временных функций перешла в произведение их спектров. Оператор преобразования Фурье  $F$  используется в следующей форме:

$$Y(f) = F \{ y(t) \} = \int_{-\infty}^{\infty} y(t) \exp(-j2\pi ft) dt.$$

Рассмотрим первый член в правой части уравнения (2). Используя свойства преобразования Фурье, в частности, свойство свертки, но применительно к спектрам, и вводя обозначения  $Z(f) = F \{ z(t) \}$ , получим следующую последовательность преобразований:

$$\begin{aligned} F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} z(nT_0) \delta(t - nT_0) \right\} &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} F \{ z(t) \delta(t - nT_0) \} = \\ &= Z(f) \otimes F \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_0) \right\} = \frac{1}{T_0} Z(f) \otimes \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0), \end{aligned} \quad (3)$$

где  $f_0 = 1/T_0$  - частота вращения детали.

Используя фильтрующее свойство дельта-функции Дирака, упростим последнюю свертку выражения (3)

$$Z(f) \otimes \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f) \otimes \delta(f - kf_0) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f - kf_0). \quad (4)$$

Используя результаты (3) и (4) и вводя обозначения  $\Phi(f) = F \{ \Phi(t) / T_0 \}$ , из (2) получим окончательное выражение для спектра функции неровности  $y(t)$  в виде

$$Y(f) = \Phi(f) \sum_{k=-\infty}^{\infty} Z(f - kf_0), \quad (5)$$

где  $\Phi(f)$  выражает частотную характеристику фильтра, играющего роль формирователя поверхности.

Свойства формулы (5) иллюстрирует рис. 2, где для наглядности импульсная функция  $\Phi(\tau) = l(\tau) - l(\tau - T_0)$  представлена в виде прямоугольного окна Дирихле, а  $l(\tau)$  - единичная ступенчатая функция Хевисайда. При этом частотная характеристика фильтра выражается формулой

$$|\Phi(f)| = \left| \sin(\pi f / f_0) / (f / f_0) \right|.$$

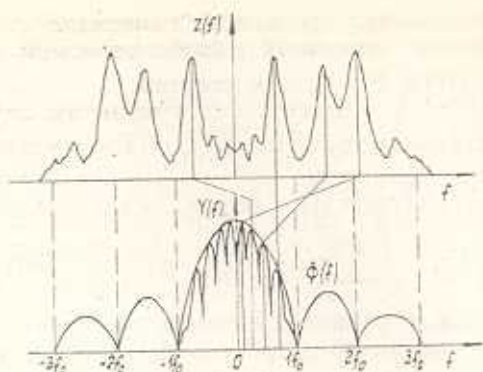


Рис. 2.

что соответствует простейшему идеализированному случаю, когда режущая кромка резца прямоугольная, а упругая система СПИД безынерционная. Практически режущая кромка отличается от прямоугольной, а упругая система СПИД обладает динамической податливостью. При таких признаках отличия в частотной характеристике снижаются уровни боковых лепестков. Наряду с этим, в процессе токарной обработки имеет место эффект механического сглаживания обрабатываемой поверхности, который приводит к снижению эффективной полосы фильтра  $\Phi(f)$  и изменению формы частотной характеристики.

Как следует из (5), спектр продольных неровностей обработанной поверхности  $Y(f)$  получается в результате циклического наложения спектра колебаний резца  $Z(f)$  с шагом по частоте, равной частоте вращения обрабатываемой детали. Когда в спектре колебаний присутствует составляющая с частотой  $f$ , то в спектре неровностей она проявляется на множестве маскированных частот:  $f, |f \pm f_0|, |f \pm 2f_0|, \dots, |f \pm kf_0|$ . Таким образом, связь спектров  $Y(f)$  и  $Z(f)$  наблюдается через эффект наложения, т.к., подобно стробоскопическому явлению, функция  $z(t)$  "высвечивается" с периодом  $T_0$  в функции  $u(t)$ .

Рассмотрим математическую модель формообразования некруглости поверхности при токарной обработке. Придерживаясь введенных выше обозначений, запишем выражение для функции некруглости в следующей форме:

$$r(\tau) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} Z(\tau)\Phi(\tau) \Big|_{t=\tau-nT_0} \quad (6)$$

Осуществляя преобразование Фурье обеих частей формулы (6), получим выражение для спектра функции некруглости  $R(f)$  в виде свертки

$$\begin{aligned} R(f) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} [Z(f) \otimes \Phi(f)] \exp(-j2\pi nT_0 f) = \\ &= [Z(f) \otimes \Phi(f)] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - kf_0). \end{aligned} \quad (7)$$

Как следует из (7), спектр функции некруглости  $R(f)$  дискретный. При этом его огибающая получается сверткой спектра колебаний  $Z(f)$  с характеристикой фильтра  $\Phi(f)$ . На рис. 3 показана двухэтапная трансформация спектров. В процессе свертки (средний график) имеет место эффект сильного сглаживания (размывания) спектральных линий. Для наглядности функция  $\Phi(f)$  представлена пунктиром лишь в виде своих главных лепестков. Результирующий дискретный спектр представлен на нижнем графике в виде реальных дельта-функций на частотах, кратных частоте вращения обрабатываемой детали.

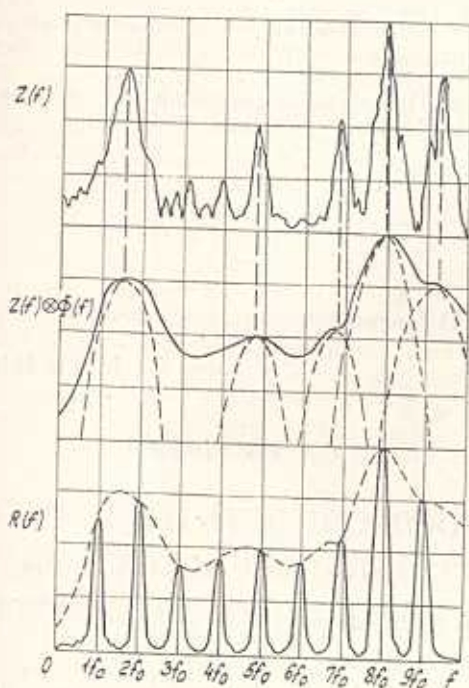


Рис. 3.

Таким образом, разработанная спектральная модель формообразования позволила установить функциональную связь между колебаниями детали и инструмента и неровностями обработанной поверхности с помощью формул (5) и (7).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bahmann W. Der Einfluss einer harmonischen Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug auf die Oberflächengestalt des Werkstückes beim Langsdrehen // Maschinenbautechnik. - 1961. - Bd. 10, H. 5. - S. 183-190.
2. Bertold H., Bahmann W. Dynamische Abnahmebedingungen bei Drehmaschinen // Maschinenbautechnik. - 1962. - Bd. 11, H. 4. - S. 176-181.
3. Витенберг Ю. П. Оценка шероховатости поверхности с помощью корреляционных функций // Вест. машиностр. - 1969. - №1. С. 55-57.



4. Витенберг Ю. Р. Оценка волнистости поверхности с помощью корреляционных функций // Там же. - 1971. - № 8. - С. 58-60.
5. Murari G., Vullo V., Stroppiana B. Analisi sperimentale degli errori micro e macrogeometrici di superfici lavorate // Technica Italiana. - 1979. - № 6. - S. 349-355.
6. Хусу А. П., Витенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатость поверхностей (теоретико-вероятностный подход). - М.: Наука, 1975. - 344 с.
7. Выбор диагностических признаков технического состояния станков на основе макро- и микрогеометрических характеристик обработанной поверхности / В. А. Авакян, К. С. Бабаян и др. // Динамика станочных систем гибких автоматизированных производств: Тез. докл. 3-й Всесоюз. н.-т. конф. - Тольятти, 1988. - С. 217-218.
8. Авакян В.А., Бабаян К.С., Мкртчян В.С. Диагностика технического состояния токарных станков на основе спектрального анализа макро- и микрогеометрических характеристик обработанной поверхности // Методы и средства виброакустической диагностики машин: Тез. докл. Всесоюз. н.-пр. конф. - Ивано-Франковск, 1988. - С. 106-107.
9. Стейн С., Джонс Дж. Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. - М.: Связь, 1971. - 376 с.

НПО "Армстанок"

24. IV. 1993

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. XLIX, №2, 1995, с. 79-84.

УДК 621.382.2

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.А. ГАСПАРЯН

## УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НАГРУЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Աշխատանքի նպատակն է ուսումնասիրել տարատեսակ նյութերի զոդամիացությունների երկարակեցությունը՝ փոքր թվով ժկկերի և ջերմության դեպքում փոփոխական բեռնափորման պայմաններում: Տրված է տարբեր ձևով կառուցված զոդակարերի փորձարկման արդյունքների համեմատական վերլուծությունը: Գնահատված է փոփոխական բեռնվածքի դեպքում մնացորդային լարումների կուտակումը:

Цель работы - исследование долговечности паяного соединения разнородных материалов в условиях переменного нагружения с малым числом циклов и нагрева.

Дан сравнительный анализ результатов усталостных испытаний разных форм исполнения паяного шва. Оценено накопление остаточных деформаций при переменном нагружении.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

The aim of this paper is to investigate the durability of soldered joints of heterogeneous materials in terms of alternating load with low number of cycles and heating. A comparative analysis of the results of fatigue tests for the soldered seam having different forms is given. Accumulation of residual deformations at cyclic loading is evaluated.

Ill. 4, Table 1. Ref. 4.