

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

СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

Разработана модель формообразования поверхности при торцевом фрезеровании, связывающая, с одной стороны, спектральные характеристики относительных колебаний шпиндельной головки и стола фрезерного станка, а также геометрии инструмента, с другой – спектры профилограмм обработанной детали. Предлагается способ диагностирования дефектов станка и инструмента.

Ключевые слова: диагностика станков, спектр колебаний, функция профилограммы, преобразование Фурье.

В процессе обработки резанием на детали формируются микро- и макрогеометрические отклонения профиля, трансформирующие динамику станка, процесса резания и особенности геометрии инструмента. Традиционно эти отклонения в станкостроении измеряют профилометрами, их графические изображения (профилограммы) представляют одномерные функции отклонения реальных поверхностей от базовых в плоскости измерения. Круглограмма является разновидностью профилограммы, когда базовой поверхностью является цилиндр, а плоскость измерения перпендикулярна оси вращения детали.

Первые исследования, заложившие основы диагностики станков по параметрам неровностей обработанных деталей, показали, что профилограммы и круглограммы по своему информационному содержанию, вероятно, уступают лишь колебаниям, фактически в них закодированным. Однако уже при попытке аппроксимации профилограмм и круглограмм корреляционными функциями (1,2) стало ясно, что на основе чисто статистических подходов задачу диагностики не решить. Очевидна необходимость исследования процесса формообразования с учетом стохастической природы явления.

При обработке точением микрогеометрические отклонения детали от идеальной формы отражают специфические процессы данного способа обработки и зависят от колебаний, сопровождающих резание. Для случая моногармонических колебаний между деталью и инструментом в работах (3,4) на основе тригонометрических выкладок были получены зависимости частоты колебаний при обработке, длины волны на профилограмме и числа гранности круглограммы. Однако реальный процесс резания далеко не чисто моногармонический, и, как показывают корреляционные функции профилограмм и круглограмм (1,2), в них содержатся как периодические, так и случайные составляющие.

Наиболее детально, с точки зрения требований диагностики, процесс формообразования при точении раскрыт в (5,6), где на статистические характеристики колебаний при резании не накладываются ограничения. В результате получены зависимости спектров колебаний, профилограмм и круглограмм, позволяющие

проводить диагностические процедуры с максимально полной расшифровкой информации, закодированной в профилограммах и круглограммах.

В настоящей работе рассмотрены особенности формообразования поверхности при торцевом фрезеровании. Вместе с тем сохранена преемственность в подходах с работой (5), что позволяет сделать еще один шаг на пути создания методологии диагностирования металлорежущих станков и инструментов по характеристикам обработанных поверхностей.

Рассмотрим процесс формообразования поверхности детали при фрезеровании торцевой фрезой с N резцами одностипного профиля, вращающейся с периодом T_0 (рис.1).

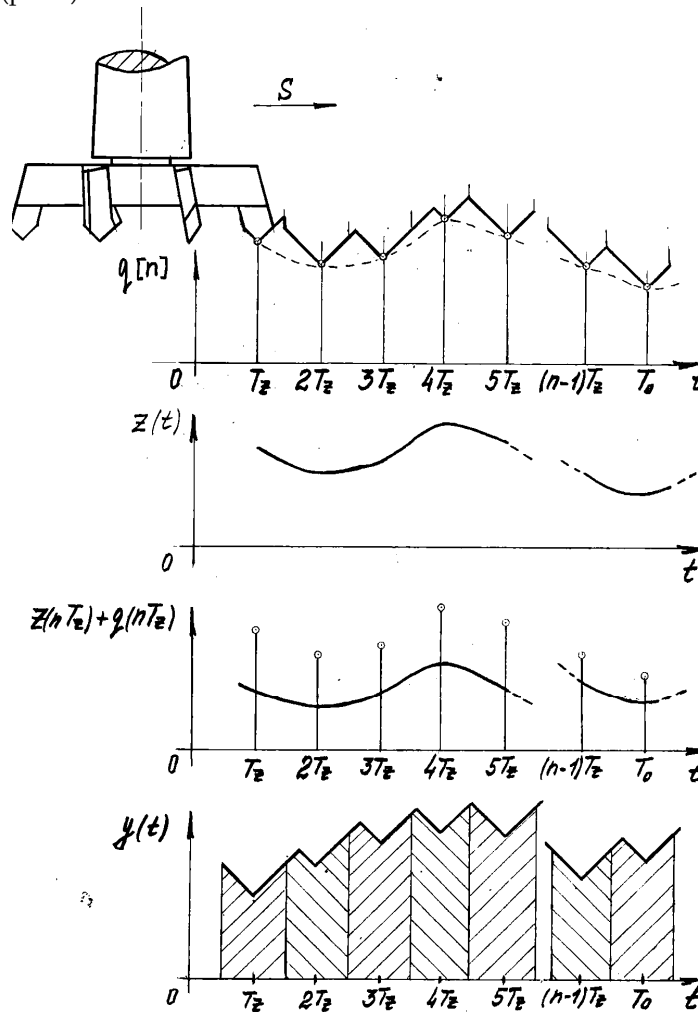


Рис.1

При этом резцы фрезы пересекают плоскость, образованную осью вращения фрезы и вектором скорости подачи S с периодом $T_z = T_0 / N$. В процессе резания погрешности (дефекты) инструмента, которые представлены решетчатой функцией

$q[n]$, суммируясь с относительными колебаниями $Z(t)$ фрезы и детали (шпиндельной головки и стола), формируют гребенчатую поверхность детали $y(t)=y(x/S)$, где x – координата перемещения оси фрезы на базовой плоскости детали.

Решетчатая функция $q[n]$ описывает дефекты резцов фрезы или погрешности их установки относительно плоскости, перпендикулярной оси вращения при резании. В частности, торцевое биение фрезы выражается функцией $q[n]=q_0\sin[2\pi n/N]$, повреждение (например, износ) i -го резца- $q[n]=q_0\delta[n-i]$ и т.п., где q_0 – величина погрешности (дефекта), а $\delta[n-i]$ – смещенная на i дискрет единичная решетка.

Для определенности будем считать, что при профилометрировании ось чувствительности измерительной головки профилометра повторяет траекторию оси шпиндельной головки, а радиус закругления самой измерительной головки достаточно мал, чтобы не исказить (сглаживать) реальный профиль поверхности детали $y(x)$.

Основываясь на описанном механизме формообразования поверхности, выразим функцию $y(t)$ в форме свертки двух функций: дискретной, представляющей сумму $Z(nT_z) + q(nT_z)$ в точках nT_z , и непрерывной $\varphi(t)$, выражающей процесс взаимодействия (резания) резца и поверхности детали, которую условно назовем функцией формирователя поверхности. Эту свертку представим в виде амплитудно-импульсной модуляции [7] :

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \varphi(t) \otimes \{ [z(nT_z) + q(nT_z)] \delta(t - nT_z) \}, \quad (1)$$

где $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака; $\otimes$ – символ операции свертки.

Применив преобразование Фурье к обеим частям уравнения (1) в форме

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

$$Y(f) = \Phi(f) \mathfrak{F}\{ [z(t) + q(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_0) \}, \quad (2)$$

где $\Phi(f) = \mathfrak{F}\{\varphi(t)/T_z\}$ – фильтр формирователя поверхности; $q(t)$ – непрерывный аналог решетчатой функции $q[n]$.

Введем в рассмотрение спектр колебаний $z(f) = \mathfrak{F}\{z(t)\}$ и спектр погрешности инструмента $Q(f) = \mathfrak{F}\{q(t)\}$.

Используя введенные характеристики и опуская промежуточные выкладки, получим выражение (2) в окончательном виде:

$$Y(f) = \Phi(f) \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} (f - kf_z) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q(f - kf_z) \right], \quad (3)$$

где $f_z = 1/T_z$ – частота мелькания резцов.

Рассмотрим подробно формулу (3) спектра профилограммы. Она состоит из двух компонент: первая отражает аномалии станка, вторая – дефекты инструмента.

Проанализируем их в отдельности. Спектр погрешностей станка в профилограмме неровностей при торцевом фрезеровании образуется циклическим наложением спектра относительных колебаний $z(f)$ с шагом по частоте, равным частоте мелькания резцов фрезы при обработке (эффект стробоскопа). При этом спектр профилограммы ограничен полосой пропускания f_{Δ} фильтра $\Phi(f)$.

Очевидно, что наличие в спектрах колебаний $z(f)$ составляющей (дефекта) на частоте f_i приводит к появлению в спектре профилограммы простых или маскированных составляющих на частотах $|f_i - kf_z|$, не превышающих f_{Δ} .

В отличие от этой компоненты спектр погрешности инструмента может проявляться в спектре профилограммы лишь на частотах, кратных частоте вращения фрезы при обработке $f_0 = f_z/N$. Причиной этому является периодичность функции $q(t)$. В простейшем случае при наличии биения фрезы в спектре профилограммы присутствует лишь составляющая на частоте f_0 , т.к. всегда можно подобрать такую скорость подачи, чтобы f_{Δ} не превышала половины f_z .

В общем случае для разделения диагностических признаков дефектов станка и инструмента (фрезы) можно предложить способ оптимальной гребенчатой фильтрации (рис.2).

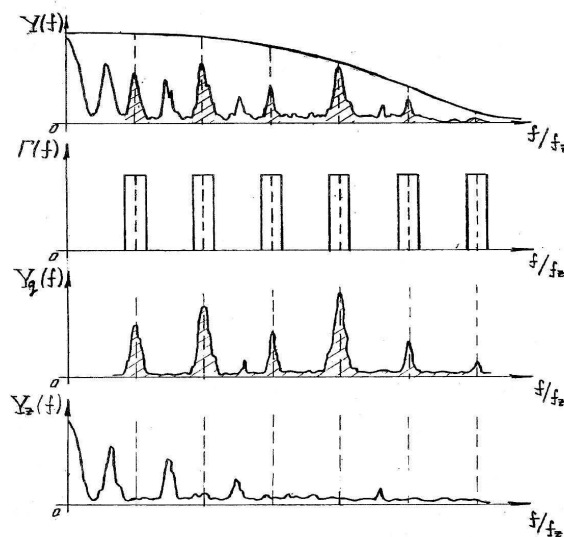


Рис.2

Полученную при измерении функцию профилограммы подвергают спектральному анализу. Затем с помощью гребенчатого фильтра $G(f)$ выделяют составляющую спектра $Y_q(f)$, содержащую спектральные признаки дефектов инструмента. После этого из полного спектра профилограммы $Y(f)$ вычитывают спектр $Y_q(f)$ и получают составляющую спектра $Y_z(f)$, содержащую спектральные признаки дефектов станка.

Предложенный способ разделения признаков является оптимальным, но не абсолютным, т.к. он не дифференцирует дефекты станка, проявляемые на частоте вращения шпинделя и ее гармониках. Тем не менее, используя предложенную

методику разделения, можно, в частности, обратным преобразованием Фурье по спектру $Y_q(f)$ воссоздать функцию погрешности фрезы $q[n]$.

Таким образом, предложенная модель формообразования при торцевом фрезеровании позволяет разделить диагностические признаки дефектов станка и инструмента и расширить методологические возможности диагностирования станков по параметрам неровностей обработанных деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Витенберг Ю. Р.** Оценка шероховатости поверхности с помощью корреляционных функций // Вестник машиностроения. –1969.-№1.-С.55-57.
2. **Витенберг Ю. Р.** Оценка волнистости поверхности с помощью корреляционных функций // Вестник машиностроения.-1971.-№8.-С.58-60.
3. **Bahman W.** Der Einflub einer harmonischen Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug auf die Oberflächengestalt des Werkstückes beim Langsdrehen // Maschinenbautechnik.-1961.- BL.10,5.- S.183-190.
4. **Bertold H.** Dynamische Abnahmebedingungen bei Drehmaschinen // Maschinenbautechnik.-1962.- BL.11, №4.- S.176-181.
5. **Авакян В.А., Бабаян К.С., Мкртчян В.С.** Стохастическая модель формообразования микрогеометрии обработанных поверхностей при точении // Изв.НАН РА.Сер.ТН.-Ереван, 1995. – Т. 48, №1.
6. **Мкртчян В.С.** Разработка метода диагностирования токарных станков по информационным признакам неровностей обработанной поверхности: Автореферат дис.... канд. техн.наук.- Ереван,1996.- 16 с.
7. **Стейн С., Джонс Дж.** Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений.-М.: Связь, 1971. – 376 с.

АОЗТ «Интерстанок» РА. Материал поступил в редакцию 25.02.2002.

Վ.Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ, Կ.Ս.ԲԱԲԱՅԱՆ, Վ.Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ ՁԵՎԱՎՈՐՎՈՂ ՄԱԿԵՐԵՍԻ ՄՊԵԿՏՐԱԼ ՄՈԴԵԼԸ ՃԱԿԱՏԱՅԻՆ ՖՐԵԶԵՐՄԱՆ ԳՈՐԾՆԹԱՅՈՒՄ

Մշակվել է մաթեմատիկական մոդել, որը նկարագրում է ճակատային ֆրեզերման գործընթացում ձևավորվող դետալի մակերեսը: Մոդելը միմյանց կապում է, մի կողմից՝ սեղանի նկատմամբ ֆրեզող հաստոցի իլի հարաբերական տատանումների և գործիքի երկրաչափական անճշտությունների, իսկ մյուս կողմից՝ մշակված դետալի խորդուրորդությունների պրոֆիլի սպեկտրային բնութագրերը: Մոդելավորման ընթացքում ստացված ֆունկցիոնալ կապերը հնարավոր դարձրին առաջարկելու հաստոցի և գործիքի արատորոշման եղանակ:

V. A. AVAGYAN, K. S. BABAYAN, V. S. MKRTCHYAN SPECTRAL MODEL OF SURFACE FORMING IN FACE MILLING

A model face milling surface shaping which connects spectral characteristics of spindle head's relative swings and milling machine bench, as well as the geometry of the tool, on the one side, and the spectra of Talyrond trace of the machined detail, on the other side, is developed. The method of diagnosing the defects of the machine and tools is proposed.