

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.19

А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Из исследований [1] известно, что основные эксплуатационные характеристики деталей и узлов в значительной мере параметрами микрографии поверхности. Необходимость технологического обеспечения эксплуатационных свойств деталей и узлов машин при чистовом точении остро ставит вопрос об автоматическом контроле качества деталей, в частности, шероховатости обрабатываемых поверхностей.

Задача оперативной оценки шероховатости поверхности детали в условиях автоматизированного производства к обычным трудностям, вызванным малыми величинами измеряемого объекта, добавляет свои специфические вопросы, вызванные дорогоизнью оборудования, отсутствием оператора на рабочем месте и т.д. До настоящего времени отсутствуют надежные технические решения вопросов контроля шероховатости при обработке деталей в ГПС, что приводит к организации участков доделки с контролем, осуществляется оператором. Решение данной проблемы возможно при создании адаптивных систем управления качеством обработанных поверхностей на чистовых операциях [1-7].

На первой стадии работ необходимо создать надежные математические (расчетные, а не эмпирические) модели показателей качества, контроль которых предполагается осуществлять.

Поверхность готовой детали является результатом сложения многих движений - движения резания, движения подачи и т.д. и носит отпечаток всех процессов, происходящих в технологической системе. Любое изменение в состоянии технологической системы проявляется в полученной текстуре профиля. Силы резания определяют упругие деформации технологической системы, которые влияют на мгновенную геометрию резания. Поскольку силы резания носят случайный характер, то и смещения являются случайными функциями.

При решении задачи идентификации процессов обработки первый шаг сводится к получению модели профиля поверхности, задаваемого чертежом в технологических терминах - средним арифметическим отклонением профиля Ra и средним шагом неровностей профиля Sm.

Поскольку профиль шероховатости поверхно-

сти описывается нормальным стационарным эргодическим процессом, то при рассмотрении центрированного случайного процесса задача сводится к определению корреляционной функции. Применимо к профилю шероховатости имеем [9-11]:

$$K_{xx}(\tau) = \frac{1}{L-\tau} \sum_0^{L-\tau} Y(x) \cdot Y(x+\tau), \quad (1)$$

где τ - разность между абсциссами двух сечений профилограммы, $\tau=0,..,\tau_{\max}$, L - длина профилограммы, $Y(x)$ - ординаты профилограммы.

Как было отмечено выше, в качестве основной модели шероховатости поверхности принята модель, представляющая профилограмму как реализацию случайной функции вида:

$$Y(t) = Y_\beta(t) + Y_\gamma(t), \quad (2)$$

где $Y_\beta(t)$ - детерминированная составляющая;

$Y_\gamma(t)$ - случайная составляющая, т.е. стационарная нормальная функция с математическим ожиданием $M=0$ и дисперсией σ^2 .

Разделение профиля на случайную и систематическую составляющие и их анализ дает возможность определить структуру профиля и управлять характеристиками шероховатости поверхности.

Корреляционная функция основной модели может быть описана формулой [9,10]:

$$K_{xx}(\tau) = 0,5 \cdot A^2 \cdot \cos \frac{2\pi}{T_\beta} \tau + D_\gamma \cdot e^{-\alpha \tau^2}. \quad (3)$$

Использование в производственных условиях основной модели в данном виде затруднительно, т.к. производственная система параметров микрографии поверхности включает в себя в основном следующие параметры – среднее арифметическое отклонение Ra, средний шаг между неровностями Sm. Эти параметры выбраны потому, что они имеют четкое и простое геометрическое толкование и тесно связаны с основными эксплуатационными свойствами деталей, легко обеспечиваются действующими технологическими способами и т.д.

В некоторых случаях на чистовых режимах (подача $S < 0,1$ мм/об, скорость резания $V > 150$ м/мин) в профиле поверхности преобладает случайная составляющая. Корреляционная функ-

ции этой составляющей с достаточной точностью аппроксимируется выражением [10]:

$$K_{xx}(\tau) = D_\gamma \cdot e^{-\alpha \tau^2}. \quad (4)$$

Поскольку на вершинах неровностей после течения образуются скругления (как следствие пластического деформирования), то с известным приближением форма неровностей может быть принята синусоидальной. Для синусоидальной периодической компоненты амплитуда $A\beta$ определяется из выражения [10]:

$$S^2 \approx 16 \cdot A_\beta \cdot r, \quad (5)$$

где S - подача инструмента; r - радиус при вершине инструмента.

Принимая во внимание (5) и то, что шаг систематической составляющей $T\beta$ равен подаче инструмента S , корреляционная функция основной модели шероховатости поверхности, выраженная через стандартные параметры шероховатости имеет вид [10]:

$$K_{xx}(\tau) = \frac{S^4}{512 \cdot r^2} \cos \frac{2\pi}{S} \cdot \tau + \gamma \cdot R_q^2 \cdot e^{-\frac{2\pi}{r} \left(\frac{1-\gamma}{S_m^2} - \frac{1-\gamma}{2S^2} \right)}. \quad (6)$$

Параметры шероховатости поверхности в (6), регламентированные чертежом детали, являются центрами интервалов их допустимых значений и могут быть использованы для расчета корреляционной функции, применимой в качестве основной модели управления процессом.

Разделение профиля на составляющие и их анализ позволяют определить структуру профиля, установить причины их появления и получить возможность управлять характеристиками поверхности.

Согласно принятой модели шероховатости поверхности профиль поверхности включает в себя систематическую и случайную компоненты, характеристиками которых являются [10-12]: $R_a\beta$, $R_a\gamma$ - среднее арифметическое отклонение систематической и случайной компоненты соответст-

венно; $T\beta$ - шаг неровностей систематической компоненты; $T\gamma$ - средний шаг неровностей случайной компоненты; γ - уровень случайной компоненты профиля.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы о формировании случайной компоненты профиля наряду с исследованием профиля поверхности анализировался виброакустический сигнал, получаемый в процессе резания. Было установлено, что изменение величины $R_a\gamma$ пропорционально мощности виброакустического сигнала (рис.1). Для установления взаимосвязи шага случайной компоненты профиля $T\gamma$ с параметрами виброакустического сигнала, анализировались корреляционные функции вибросигнала, полученного в процессе резания.

По полученным коррелограммам профиля поверхности рассчитывались уровни случайной компоненты γ . Анализ показал, что уровень случайной компоненты профиля поверхности колеблется в диапазоне 0,6...1,0. При увеличении скорости резания с 100 м/мин до 170 м/мин он возрастает и достигает максимального значения равного 1, при дальнейшем увеличении скорости резания γ уменьшается до минимального значения 0,65 при скорости резания 300 м/мин.

По коррелограммам профиля поверхности, для исследования составляющих основной модели, рассчитывались среднеарифметические отклонения случайной $R_a\gamma$ и систематической $R_a\beta$ компоненты. В диапазоне скоростей от 100 м/мин до 315 м/мин, из которого обычно назначается режимы обработки на чистовых операциях, характеристики $R_a\gamma$ и $R_a\beta$ зависят от изменения скорости резания.

С увеличением скорости резания от 100 м/мин до 150 м/мин среднеарифметическое отклонение систематической составляющей профиля поверхности $R_a\beta$ уменьшается почти до нуля, а при дальнейшем увеличении скорости резания свыше 160 м/мин наблюдается возрастание доли систематической составляющей β в профиле обработанной поверхности и, как следствие, возрастание

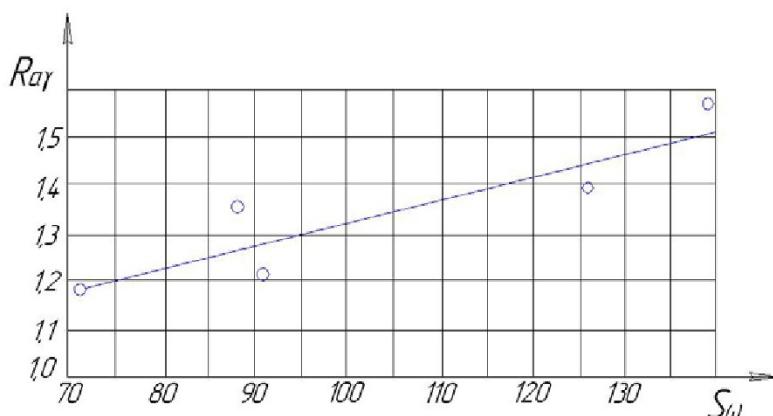


Рис.1. Зависимость высоты микронеровностей случайной составляющей $R_{a\gamma}$ от мощности вибросигнала в диапазоне 3...12 кГц

величины $Ra\beta$ до 1мкм. Дальнейшее увеличение скорости резания незначительно повышает величину этой характеристики. При анализе коррелограмм, было установлено, что шаг систематической составляющей профиля $T\beta$ не зависит от скорости резания и обусловлен влиянием подачи и равен ее значению. Шаг случайной составляющей профиля $T\gamma$ значительно изменялся при варьировании скорости резания. Величина $T\gamma$ увеличивается с возрастанием скорости резания до 150м/мин, при дальнейшем увеличении скорости резания шаг $T\gamma$ уменьшается.

На основании комплексных исследований закономерностей формирования шероховатости поверхности подтверждено положение о том, формирование случайной компоненты профиля происходит под действием вибраций технологической

системы.

Установленная взаимосвязь между сигналами виброакустики и параметрами шероховатости поверхности позволяет автоматически оценивать параметры шероховатости поверхности и поддерживать оптимальные режимы обработки для достижения требуемого качества поверхности.

Экспериментально подтверждена достаточная для практического использования достоверность разработанных методик по оценке шероховатости в процессе обработки. Теоретические и полученные экспериментальные результаты носят общий характер и могут быть использованы не только для чистового точения, но и для других методов чистовой обработки (лазерных, методов ППД, и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Качество машин: Справочник. В 2 т. Т1 / А.Г. Суслов, Э.Д. Браун, Н.А. Виткович и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.: ил.
2. Симонов А.М. Основы обеспечения качества поверхности деталей машин с использованием динамического мониторинга: монография / А.М. Симонов, А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников // под. Ред. Н.М. Поповой. – Курган. – изд-во КГУ, 2010. – 118 с.
3. Козочкин, М.П. Вибромеханическая диагностика технологических процессов / М.П. Козочкин. – М.: ИКФ "Каталог", 2005. – 196 с.
4. Петрешин, Д.И. Обеспечение параметров качества поверхностного слоя деталей при точении самообучающейся технологической системой / Д.И. Петрешин // Вестник БГТУ. - 2006. - № 2. - С. 140-144.
5. Некрасов, Ю. И. Интегрированная система диагностики и управления обработкой на токарных станках с ЧПУ / Ю. И. Некрасов // Обработка металлов: (технология, оборудование, инструменты).– Новосибирск, 2005. - № 4 (29). – С. 7 – 8.
6. Остапчук А.К. К вопросу разработки системы управления шероховатостью поверхности на основе подходов искусственного интеллекта / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников, Е.Ю. Рогов, А.Ю. Комиссаров // Естественные и технические науки.- М.: ООО "Компания Спутник+".- 2008.- № 6. – с. 256-260.
7. Курдюков В.И. Разработка системы автоматического обеспечения параметров шероховатости поверхности на основе динамического мониторинга / В.И. Курдюков, В.Е. Овсянников // Вестник КузГТУ. – 2010. - №6. – с. 51-54.
8. Суслов, А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2000 – 320 с.
9. Дунин-Барковский, И.В. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И.В. Дунин-Барковский, А.И. Карташова. – М.: Машиностроение, 1978. – 232 с.
10. Остапчук, А.К. Автоматическое обеспечение шероховатости поверхности при чистовой обработке в условиях ГПС и отдельных технологических модулях с ЧПУ. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 защищена 12.02.88 утв. 24.06.88 / Остапчук Александр Константинович. – Курган., 1988. – 231 с. – Библиогр.: с. 221-231.
11. Овсянников В.Е. К вопросу выбора и модернизации фрактальной модели шероховатости поверхности / В.Е. Овсянников, А.К. Остапчук, Е.Ю. Рогов // Наука и технологии. Том 2. Труды XXVIII Российской школы. – М.: РАН, 2008. – с. 209-217.
12. Остапчук А.К. Применение теории фракталов в математическом моделировании и технике: учебное пособие / А.К. Остапчук, В.Е. Овсянников. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2009. – 64 с.

Авторы статьи:

Остапчук

Александр Константинович,
канд.техн. наук, доцент, зав.
кафедрой, каф. «Общепрофес-
сиональные дисциплины» (Кур-
ганская гос. университет).

Email: ostapchuk_ss@mail.ru,

Овсянников

Виктор Евгеньевич,
канд. техн. наук, доцент каф. «Инно-
вации и менеджмента качества»
(Курганский гос.й университет).

Email:panz12@rambler.ru