

УДК 621.923

Ю.К. Новосёлов, профессор, д-р техн. наук,**Э.Э. Ягьяев, аспирант,****Н.Р. Кириенко***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**root@sevgtu.sebastopol.ua***ДИАГНОСТИКА ОПЕРАЦИИ ЧИСТОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ПО ДИНАМИКЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫХОДНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ И ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Использование возможностей технологических операций чистового шлифования может быть выполнено путем высокоэффективной диагностики процессов обработки с учетом изменений состояния технологической системы.

Ключевые слова: чистовое шлифование, обработка, технологическая система.

Одним из важных направлений повышения качества обработки при резании в автоматизированном производстве является диагностика его выходных переменных. Однако, как показал анализ результатов исследований [1], существующие методы не позволяют диагностировать устойчивость процесса резания. Эффективная диагностика процесса механической обработки возможна лишь на основе новых подходов к изучению зависимостей между основными технологическими параметрами процесса резания (режимами обработки, геометрией инструмента, свойствами обрабатываемого и инструментального материалов и т.д.) и выходными переменными.

Проведенный анализ входных, выходных переменных и параметров состояния подсистем позволяет выделить из каждой подсистемы наиболее существенно изменяющиеся параметры и оценить их влияние на выходные переменные операции чистового шлифования. Однако, имея данные только о значении выходных переменных в фиксированный момент времени t , часто бывает невозможно выявить изменившийся параметр технологической системы. Прямой же замер параметров состояния часто бывает либо невозможным, либо трудоемким и не отвечает требованиям задачи диагностики.

Поэтому целью работы является выявление отклонения параметров технологической системы по динамике изменения выходных переменных.

Рассмотрим особенности изменения параметров состояния и выходных переменных операции шлифования. На рисунке 1,а показаны интервалы времени прерывания T параметров технологической системы. Каждый из периодов прерывания более высокой длительности (порядка) включает в себя несколько интервалов нижеследующего порядка. Совокупность интервалов образует иерархическую структуру. Так, например, при обработке деталей типа валов на круглошлифовальном станке установлено, что время работы станка до технического обслуживания равно $T_{ст}=7,5 \cdot 10^6$ с, время работы инструмента до полного износа – $T_{ин}=6,9 \cdot 10^5$ с, время работы инструмента между правками – $T_{пр}=2,4 \cdot 10^3$ с, время обработки одной поверхности – $T_{пов}=20$ с, время оборота детали – $T_{обо}=4$ с, время оборота круга – $T_{обрк}=39$ с. Длительность интервалов непостоянна и существенно зависит как от вида и конструктивных особенностей подсистемы, так и от ее фактического состояния в момент времени t .

За время одного цикла (периода прерывания) параметры состояния подсистем могут существенно изменяться. Так, при работе станка за период до технического обслуживания или ремонта снижаются точность перемещения исполнительных механизмов, жесткость, виброустойчивость. Изменение параметров состояния подсистем приводит к соответствующим изменениям выходных переменных y , например, производительности (рисунок 1,б) на величину Δy .

При обработке материалов резанием после прерывания производится частичное или полное восстановление параметров системы или ее подсистем (замена заготовки, правка круга, замена инструмента, приспособления (рисунок 1,б.)) В результате выходные переменные начала следующего цикла изменяются на величину Δy_g .

Обобщение опыта эксплуатации шлифовальных станков и проведенный анализ позволяет сделать заключение, что контроль выходных переменных y в момент времени t не позволяет определить параметр состояния технологической системы, в результате изменения которого возникли отклонения выходных переменных. Такая возможность появляется при контроле скорости изменения $y(t)$, поскольку интервалы времен прерывания T для разных подсистем существенно различаются.

Выполним моделирование пространства состояний операции шлифования.

Известны модели:

для непрерывной системы

$$\dot{z}(t) = A(t)z(t) + B(t)U(t), \quad (1)$$

$$y(t) = D(t)z(t); \quad (2)$$

для дискретной системы

$$z(t) = A(t-1)z(t-1) + B(t)U(t), \quad (3)$$

$$y(t) = D(t)z(t), \quad (4)$$

где $z(t)$ – вектор параметров состояния технологической системы; $U(t)$ – вектор управляющих воздействий; $A(t), B(t), D(t)$ – матрицы соответствующих коэффициентов.

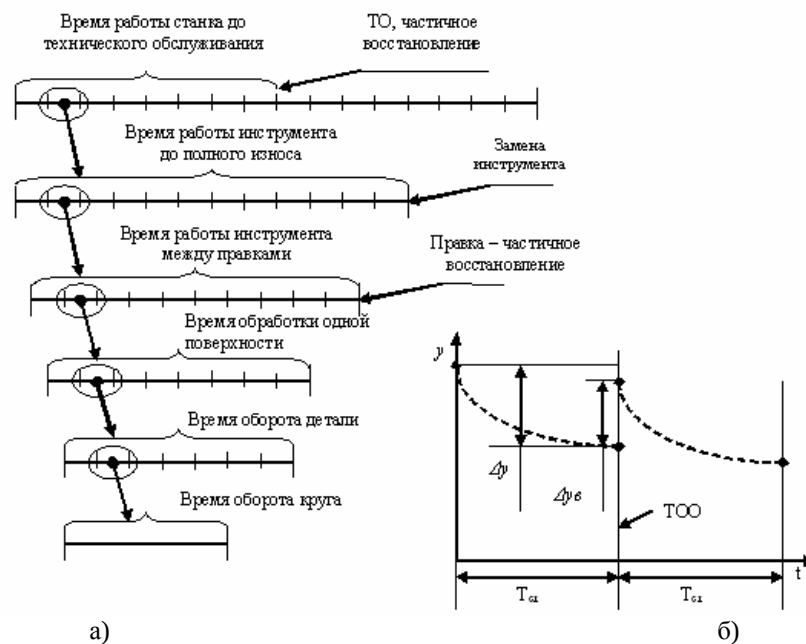


Рисунок 1 – Изменения параметров состояния и выходных переменных операции шлифования: а) интервалы времени прерывания T в ТС; б) изменение выходных переменных y в пределах одного интервала и при восстановлении Δy_g

Для оценки параметров состояния технической системы на основе зависимостей (1–4) могут быть построены фильтры Калмана, а при значительных погрешностях измерения выходных переменных и возмущениях фильтры Калмана-Бьюсси [2]. Для решения задач диагностики рассматриваемой системы построение таких фильтров вызывает серьезные трудности, так как вектор управляющего воздействия в уравнениях (1) и (3) зависит от параметров состояния системы и на каждом этапе, например при расчете предельного цикла, обеспечивающего максимальную производительность процесса, определяется методами оптимального управления. Кроме того, большая часть зависимостей, моделирующих процессы обработки, имеют нелинейный вид. При построении фильтров матрицы A и B считаются известными. При диагностировании они, как правило, подлежат определению. Зависимости (1) и (3) не содержат так же информации о восстановлении системы.

Для рассматриваемого процесса с учетом возможности восстановления параметров системы уравнения (3) и (4) запишем в виде:

$$z_{i,j}(\tau) = z_{ij-1} + A_{ij}(j-1) + A_{zij} \left(\tau - \sum_{k=1}^{j-1} \tau_{\eta k} \right), \quad (5)$$

$$y_i(t) = D_i(t)z_i(t), \quad (6)$$

$$\dot{y}_i(t) = D_i \dot{z}(t), \quad (7)$$

где A_{ij} – оператор, учитывающий восстановление i -го параметра системы после выполнения $(j-1)$ -го цикла (перед началом j -го цикла); A_{zij} – оператор, определяющий изменение параметра системы при работе в j -ом цикле; $\tau_{\eta k}$ – время выполнения k -го цикла.

Кроме того система должна быть дополнена процедурой сравнения, определения принадлежности скорости изменения выходных переменных к интервалу скоростей $y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)$ того или иного периода прерывания:

$$\dot{y}(t) \in \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_m(t) \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Рассматривая полученные соотношения (5)...(8), можно сделать заключение, что если установлен по соотношениям (8) и (7) изменившийся параметр состояния технологической системы, то, имея данные по значению выходной переменной, в любой момент времени можно определить и значение этого параметра.

Операторы восстановления и изменения параметров состояния ТС в уравнении (5) могут существенно зависеть от номера выполняемого цикла. Так например, при шлифовании правка круга (восстановление его рабочей поверхности) может выполняться либо после обработки одной, либо партии деталей. Восстановление не всегда является полным. Если, например, после обработки десяти деталей за счет правки состояние рабочей поверхности режущего инструмента (число режущих кромок, их распределение по глубине слоя, выступание над уровнем связки) восстанавливается, то радиус круга уменьшается (на 1...2 мм). Вследствие этого снижается скорость резания на 0,2...0,5%. На первый взгляд это является несущественным, но нужно учесть, что одним кругом до полного износа обрабатывается 1000...3000 деталей и его радиус от правки к правке уменьшается от 375 мм до 200 мм. Это приводит к снижению скорости резания соответственно в 1,9 раза.

Необходима также оценка изменения неконтролируемых параметров состояния технической системы при восстановлении ее элементов и подсистем, например при проведении ТО станка, приспособлений, замене, правке инструмента:

$$\Delta y_j = y_j - y_{j-1}, \quad (9)$$

$$\Delta z_j = D \Delta y_j. \quad (10)$$

Рассмотрим конкретный пример.

При контроле геометрии шлифованных поверхностей деталей установлено, что в течение трех месяцев закономерно увеличивается волнистость обработанных поверхностей W . Режимы резания, параметры инструмента и заготовки в рассматриваемый промежуток времени не изменялись. Зафиксированы следующие значения волнистости: в начале первого месяца $\bar{W} = 10$ мкм; второго месяца – $\bar{W} = 12$ мкм; третьего – $\bar{W} = 13$ мкм.

Определим скорости изменения волнистости

$$\dot{W} = \frac{\Delta y}{T_y},$$

где T_y – интервал времени между замерами волнистости (принят равным $5,76 \cdot 10^4$ с).

$$\dot{W}_1 = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{5,76 \cdot 10^4} = 0,35 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}; \quad \dot{W}_2 = 0,35 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}; \quad \dot{W}_3 = 0,18 \cdot 10^{-10} \text{ м/с}.$$

По соотношению (8) устанавливаем причину изменения волнистости поверхностей. Такой причиной является изменение параметров состояния станка, его жесткости и виброустойчивости. С целью прогнозирования и принятия решения в уравнении (1) заменим $Az(t)$ на $\frac{A}{D}y(t)$ и $BU(t)$ при постоянстве U на C :

$$\dot{z}(t) = \frac{A}{D}y(t) + C. \quad (11)$$

По экспериментальным данным методом наименьших квадратов рассчитаем коэффициенты уравнения (11):

$$\frac{A}{D} = -0,6 \cdot 10^{-5}; \quad C = 0,95 \cdot 10^{-10}.$$

Если известно допустимое значение волнистости W_{max} (данные чертежа детали), то решением уравнения (11) при полученных значениях коэффициентов определяется время принятия решения. В рассматриваемом примере может быть либо скорректирован цикл шлифования, либо проведено техническое обслуживание станка.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что изменения каждого параметра технологической системы имеют свои частотные, скоростные и временные характеристики. Они не образуют непрерывного спектра и достаточно хорошо различимы при наличии контроля динамики выходных переменных операции шлифования.

Имея данные по динамике изменения выходных переменных, всегда представляется возможным определить вид возмущения и изменения технической системы и ввести коррекцию в управление процессом обработки, а также рассчитать интервалы времени, через которые необходимо учитывать те или иные изменения технологической системы.

Для применения предлагаемой методики необходимо провести классификацию параметров состояния технологической системы и определить скоростные интервалы изменения выходных переменных.

Библиографический список

1. Новоселов Ю.К. Диагностика операций чистового шлифования / Ю.К. Новоселов, Э.Э. Ягьяев // Оптимизация производственных процессов: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — Вып. 10. — С. 52–56.
2. Сидоров Д.Е. Разработка математической модели операции плоского наружного шлифования / Д.Е. Сидоров, Д.А. Каинов // Вісник СумДУ. Серія: Технічні науки. — 2005. — Вип. 11 (83). — С. 146–150.

Поступила в редакцию 24.03.2010 г.