

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПРИ СЛУЧАЙНОМ ХАРАКТЕРЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАНКА И ОБЛАСТИ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ФАЗОВЫЕ КООРДИНАТЫ

В.Г. Щетинин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: schetinin_v@mail.ru

Рассматриваются вопросы управления технологическим процессом врезного шлифования при учете случайного характера ограничений на фазовые координаты и параметров математической модели процесса. Предложена методика синтеза алгоритма управления. Оценено повышение производительности при применении таких алгоритмов.

Ключевые слова: *врезное шлифование, алгоритмизация, вероятностные характеристики, ограничения на фазовые координаты, математическая модель объекта.*

Технологический процесс шлифования (ТПШ) принадлежит к классу финишных операций металлообработки, во многом определяющих качественные показатели обработанных деталей. Список выходных параметров включает ряд геометрических показателей – размер, шероховатость, отклонение от желаемого профиля – и ряд физико-механических параметров, имеющих определяющее влияние на долговечность и надежность – характер и величина остаточных напряжений, а также наличие и глубина ожогового слоя, образующегося за счет действия высокотемпературного поля в процессе обработки. Один из видов ТПШ – врезное шлифование – является широко распространенным для массовых ответственных деталей: кольца подшипников качения, элементы буровых долот и других. Он реализуется на станках с автоматическим или полуавтоматическим циклом. Вследствие этого актуальной задачей при автоматизации процесса врезного шлифования является разработка детерминированных алгоритмов управления, обеспечивающих при максимальной производительности заданные параметры качества.

Эта задача осложняется рядом объективных причин, вытекающих из особенностей ТПШ. К ним относятся:

– вариации режущих свойств инструмента от одной реализации процесса к другой (от одной правки инструмента к другой) и, как следствие, вариации статических и динамических параметров математической модели, вызванные случайным законом распределения параметров абразивных зерен;

– вариации физико-химических и механических свойств поверхностного слоя заготовок.

Это приводит, с одной стороны, к тому, что детерминированный алгоритм управления порождает ансамбль фазовых траекторий ТПШ в координатах «припуск S_d – скорость съема металла V_d », а с другой – к тому, что детерминированное ограничение на фазовые координаты ТПШ по ожогам преобразуется в область с вероятностными характеристиками.

Используя устоявшиеся понятия и терминологию, принятые в [1], можно записать следующее.

При работе инструмента в режиме самозатачивания справедливо описание ТПШ в виде апериодического звена первого порядка [1]:

$$W(p) = \frac{V_d(p)}{V_c(p)} = \frac{K_1}{T_1 p + 1}, \quad (1)$$

где V_d и V_c – соответственно скорость съема металла и скорость подачи суппорта; K_1 – коэффициент передачи ТПШ по скорости; T_1 – постоянная времени.

Адекватность модели (1) подтверждена многочисленными теоретическими и экспериментальными результатами. Учет вариаций режущих свойств приводит к тому, что в передаточной функции ТПШ постоянная времени T_1 описывается некоторым законом распределения. Для параметрической идентификации были обработаны данные, полученные при обработке нескольких партий колец подшипников 180503(01) из стали ШХ15 в соответствии с технологией, принятой в подшипниковом производстве. Объем выборки составил 530 изделий. Исходная гипотеза о нормальном законе распределения проверена по критериям Колмогорова и ω^2 . Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение соответственно равны $m(T) = 1,205$ с и $\sigma(T) = 0,2$ с.

Для вышерассмотренного объекта управления требуется найти детерминированный алгоритм управления, обеспечивающий заданную вероятность брака по ожогам при массовой реализации. Область ограничения при этом описывается некоторым двумерным (в координатах $S_d - V_d$) вероятностным законом распределения. Связь технологических переменных (скорости подачи и резания, частоты вращения детали, режущих свойств инструмента и теплофизических характеристик заготовки) и вероятности возникновения ожога заданной глубины ζ может быть определена в виде

$$p_\zeta(h) = A(\zeta) K_i^{\alpha(\zeta)} F_o^{\beta(\zeta)}, \quad (2)$$

где $p_\zeta(h)$ – вероятность возникновения ожога глубиной ζ ; K_i – критерий Кирпичева, зависящий от энергетических факторов (скоростей резания и подач); F_o – критерий Фурье, зависящий от времени контакта и температуропроводности материала заготовки. Позитивная форма (2) представления искомой зависимости объясняется достаточно хорошей сходимостью в таком случае экспериментальных данных с аппроксимирующей функцией.

Используя известные зависимости для описания температурного поля движущегося источника [2, 3] и экспериментальные данные о связи глубины ожога ζ и скорости съема металла, ограничение по ожогам можно представить в рассматриваемых фазовых координатах $S_d - V_d$ в виде области со следующим законом распределения вероятности брака:

$$f_\zeta(S_d, V_d) = (\sqrt{2\pi} a V)^{-1} \exp\left[-(S - A_0 \ln V B_0^{-1})^2 / 2a_0^2 V^2\right], \quad (3)$$

где A_0 и B_0 – коэффициенты, определяющие параметры математического ожидания на выбранной фазовой плоскости; a_0 – некоторый коэффициент пропорциональности, связывающий дисперсии законов распределения случайного параметра объекта управления (T_1) и ансамбля траекторий. Параметры, входящие в (3), могут быть определены, например, по результатам разрушающего или неразрушающего контрольных выборок изделий.

При известных вероятностных параметрах законов $f(T_1)$ и $f_\zeta(S_d, V_d)$ вероятность брака p_b в каждом сечении V_i фазовой плоскости может быть определена:

$$p_b(V = V_i, S) = \int_0^{s_n} f_\zeta(S) \left[\int_{T_{1\min}}^{T_{1\max}} f_s(T_1, S) dT_1 \right] dS. \quad (4)$$

Приравняв (4) предельно допустимому по технологии значению вероятности брака, получим выражение для локального критерия оптимальности. Численное решение для $V \in [V_{\max}, 0]$ позволяет определить траекторию математического ожидания ансамбля выходной координаты. При известной модели объекта управления не представляет труда определить численно требуемый закон изменения управляющего воздействия.

Моделирование ситуации, имитирующей обработку кольца 180503(01) на станке АНК-2 с использованием экспериментальных данных по параметрам ожогового слоя, полученным с помощью оригинального токовихревого прибора неразрушающего контроля, показало, что возможно повышение производительности существующего оборудования на этапе чистового шлифования на 18...25 % при сохранении допустимой вероятности возникновения брака по ожогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

4. Михалькевич В.Н. Автоматическое управление шлифованием. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
5. Репко А.В. Максимально возможная температура срезаемой одним зерном стружки // Вестник ИжГТУ. – 2008. – № 2. – С. 18-21.
6. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 279.

Статья поступила в редакцию 4 февраля 2013 г.

ALGORITHMIZATION OF THE PLUNGE GRINDING PROCESS WITH RANDOM TYPE OF PARAMETERS OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE MACHINE AND THE RESTRICTION DOMAIN OF PHASE-SPACE COORDINATES

V.G. Schetinin

The questions of the control of plunge grinding manufacturing method under the conditions of random type of restrictions on phase-space coordinates and parameters of mathematical model are considered. The method of control algorithm synthesis is proposed. The efficiency improving under such algorithms is estimated.

Keywords: *plunge grinding, algorithmization, phase-space coordinates restrictions, probabilistic characteristic, mathematical model of the object.*