РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ НА МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ

Умирзаков Журабек Умирзок угли

Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства Национального исследовательского университета Бухарского института управления природными ресурсами. Email: jurabek97u@mail.ru

Бозоров Бустонжон Эркин угли

Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства Национального исследовательского университета Бухарского института управления природными ресурсами. Email: bozorovbustonjon252@gmail.com

Аннотация: *В статье приводятся результаты изучения исходных процессов обработки на многошпиндельных токарных автоматах с целью разработки математической модели этих процессов. Исходя из анализа можно сделать следующее заключение, что принятая зависимость смещения уровней настройки МТА достаточно точно отражает характер смещения уровней его шпинделей после стабилизации температуры системы СПИД.*

Ключевые слова: *Случайное отклонение, уровень настройки, геометрическая погрешность, тепловые деформации, силовые деформации, математическое ожидание, реализация, износ инструмента, обработка, шпиндель, дисперсия.*

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF MACHINING PROCESSES ON MULTI-SPINDLE TURNING MACHINES

Umirzakov Jurabek Umirzok ugli,

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization of the National Research University of Bukhara Institute of Natural Resources Management

Bozorov Bustonjon Erkin ugli

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization of the National Research University of Bukhara Institute of Natural Resources Management

Annotation: *The article presents the results of studying the initial processing processes on multi-spindle turning machines in order to develop a mathematical model of these processes. Based on the analysis, the following conclusion can be made that the accepted dependence of the offset of the MTA adjustment levels accurately reflects the nature of the displacement of the levels of its spindles after stabilization of the temperature of the AIDS system.*

Key words: *Random deviation, adjustment level, geometric error, thermal deformations, force deformations, mathematical expectation, realization, tool wear, machining, spindle, dispersion.*

Обработка деталей на металлорежущих станках происходит под воздействием многочисленных факторов, сопутствующих процессу резания. При изменении этих факторов во времени система СПИД (станок-приспособление- инструмент-деталь) претерпевает упругие деформации, в результате размер обработанных деталей отличается от заданного.

В общем виде размер x_n детали, обработанной в n - ом цикле можно представить в следующем виде [32]

$$x_n = \bar{x}_n + \epsilon_n \qquad (1)$$

где $\bar{x}_n$ - уровень размерной настройки станка в n- ом цикле;

ϵ_n- случайное отклонение размера детали от уровня настройки в n - ом цикле;

Уровень настройки станка под воздействием тепловых и силовых деформаций, износа режущего инструмента смещается от цикла к циклу. Поэтому смещение уровня настройки может быть представлено соотношением:

$$\bar{x}_n = x_0 + \mu_n + l_n \qquad (2)$$

где x_0- начальное смещение уровня настройки относительно расчетного, зависящее от точности настроечного механизма и измерительных инструментов, квалификации и степени утомленности наладчика, метода настройки и др.;

l_n - смещение в результате размерного износа режущего инструмента;

μ_n –смещение, вызванное тепловыми и силовыми деформациями системы СПИД;

С учетом (2) выражение (1) можно переписать:

$$\bar{x}_n = x_0 + \mu_n + l_n \qquad (3)$$

Анализ составляющих выражения (3) показывает, что x_0 при настройке станка является случайной величиной, так как нельзя заранее предсказать ее величину и направление. На размеры всех, обработанных при этой настройке, деталей она оказывает влияние как систематическая постоянная погрешность, смещая уровень настройки на величину x_0. При повторных настройках станка x_0 может принимать различные значения, лежащих в определенных пределах, зависящих от совокупности условий настройки, перечисленных выше. Поэтому можно предполагать, что распределение начального смещения x_0 уровня настройки для множеств реализаций подчиняется нормальному закону с математическим ожиданием $M[x_0] = 0$ и дисперсией σ^2_{xo} [32].

Составляющая μ_n, образованная совместным проявлением силовых и тепловых деформаций является регулярной, медленно изменяющейся, случайной функциональной коррелированной величиной. Когда μ_n преобладает в суммарном смещении уровня настройки, оно описывается стационарным случайным процессом, наложенным на неслучайную линейную функцию.

В случае смещения уровня настройки, главным образом, вследствие размерного износа инструмента l_n, процесс описывается случайной функцией с независимыми приращениями, так как величина износа инструмента в каждом цикле выражается случайной величиной, не зависящей от износа в предшествующих циклах.

Если смещение уровня настройки происходит в равной степени, вследствие интенсивного износа инструмента, причем дисперсия σ_α^2 интенсивности износа в пределах одной реализации постоянная, и тепловых деформаций, процесс может быть описан стационарным случайным процессом, наложенным на случайную функцию времени. При этом дисперсия σ_α^2 интенсивности износа инструмента, оставаясь постоянной в пределах одной реализации, изменяется квадратичной функцией времени для множества реализаций.

Составляющая ϵ_n характеризует мгновенную точность обработки или собственно случайную погрешность обработки в каждом цикле процесса. Она зависит от неоднородности заготовок по величине припуска и твердости, вследствие чего система СПИД претерпевает на каждом цикле различные по величине упругие деформации. Характерным признаком ϵ_n является независимость значений друг от друга при различных значениях n [32].

Математической моделью последовательности $\{\epsilon_n\}$ является некоррелированный стационарный случайный процесс с математическим ожиданием $M[\epsilon_n] = 0$, дисперсией σ^2_α и корреляционной функцией вида [32]:

$$K = \begin{cases} \sigma_\epsilon^2 & \text{при } \tau = 0 \\ 0 & \text{при } \tau \neq 0 \end{cases} \qquad (4)$$

где τ — величина интервала между сечениями реализации.

Основными характеристиками стационарного случайного процесса, наложенного на неслучайную линейную функцию являются: интенсивность неслучайного смещения настройки, приходящаяся на одну деталь (тренд);

Корреляционная функция случайной функциональной составляющей $к_\mu$ (τ); дисперсия собственно случайной составляющей σ_ϵ^2

Математическое ожидание этого процесса $x(t)$ есть неслучайная функция α_t

$$M[x(t)] = \alpha t \qquad (5)$$

Дисперсия $$Д_x = \sigma^2_x = Д_\mu + Д_\epsilon = \text{const} \qquad (6)$$

Нестационарный случайный процесс с независимыми приращениями характеризуется параметрами: математическим ожиданием интенсивности смещения настройки, приходящимся на одну деталь α; дисперсией интенсивности смещения настройки по реализации и σ_α^2 дисперсией собственно случайной составляющей σ_ϵ^2

Математическое ожидание процесса $x(t)$ данной модели есть неслучайная функция α_t

$$M[x(t)]=\alpha t \qquad (7)$$

Дисперсия этого процесса - линейная функция времени;

$$Д_x(t) = \sigma^2_x(t) = Д_\alpha(t) + D_\mu = \sigma_\alpha^2 t + D_\epsilon^2 \qquad (8)$$

Стационарный случайный процесс, наложенный на случайную линейную функцию можно характеризовать: математическим ожиданием интенсивности смещения настройки, приходящейся на одну деталь - α; дисперсией интенсивности смещения настройки по ансамблю реализаций σ_α^2; корреляционной функцией случайной функциональной составляющей $K\mu\ (\tau)$; дисперцией собственно случайной составляющей σ_{ϵ}^2 .

Математическое ожидание этого процесса $x(t)$ есть неслучайная линейная функция времени [32]

$M[x(t)]=\alpha t+b$ (9)

Дисперсия - квадратичная функция времени

$Д_x\ (t)=\sigma^2_x\ (t^2)=Д_\alpha t^2+D_\mu+D_\epsilon=\sigma^2 t^2+\sigma_\mu^2+D_\epsilon^2$ (10)

Выбор математической модели смещения уровня настройки МТА производится на основе анализа исходных процессов — партии обработанных деталей без изменения настройки станка, т.е. реализацией исходных процессов на этом станке. В зависимости от изменения дисперсии по сечениям реализаций и сечениям множеств реализаций процесс может быть описан одной из вышеприведенных математических моделей.

Модель смещения уровня настройки многошпиндельных токарных автоматов

Модель смещения уровня настройки МТА будем разрабатывать при следующих условиях, вытекающих из параграфа 1;

- обработка на каждом шпинделе МТА представляет самостоятельный процесс обработки, характеризуемый величиной мгновенного рассеивания, смещением уровней настройки, вследствие погрешности его расположения в барабане и характером смещения за реализацию, зависящим от условий обработки;

-уровни настроек шпинделей МТА смещаются под совместным воздействием температурных деформаций и износа режущего инструмента;

-начальное смещение уровня настройки x_0 за одну реализацию постоянно для всех шпинделей.

Тогда по аналогии с одношпиндельными станками размер детали, обработанной на МТА в n-ом цикле можно представить уравнением:

$x_{ni}=\overline{x_{ni}}+f_{ni}$, (11)

где x_{ni} –расчетный уровень настройки i –го шпинделя в n-ом цикле;

f_{ni} –собственно случайная погрешность в n-ом цикле i –го шпинделя.

В отличие от одношпиндельных станков смещение расчетного уровня описывается выражением:

$\bar{x}_{ni}=\mu_{ni}+l_{ni}+x_0+G_i$ (12)

где μ —смещение уровня, вызванное тепловыми и силовыми деформациями СПИД в n-ом цикле i –го шпинделя; l_{ni} - смещение уровня настройки в результате размерного износа в n-ом цикле i-го шпинделя.

x_0- начальное смещение уровня, общее для всех шпинделей;

G_i- геометрическая погрешность i-го шпинделя.

Составляющие x_0 и G_i одинаково смещают уровень настройки x_{ni} на постоянную величину, несмотря на различия природы их возникновения. Как известно, x_0 возникает при настройке станка на размер в силу ряда причин, описанных ранее, тогда как возникновение G_i-связано с изготовлением МТА. Величину x_0 можно уменьшить использованием более совершенных методов настройки, точных настроечных механизмов и инструментов, а также привлечением наладчиков высокой квалификации. Геометрические погрешности *Gi* шпинделей, при наладке станка и обработке деталей, управлению не поддаются, кроме как корректировкой положения режущего инструмента перед обработкой деталей на следующем шпинделе.

Многочисленные и достаточно продолжительные реализации случайных последовательностей:

$$\{x_1(t)\}$$
$$\{x_2(t)\} \qquad (13)$$
$$\{x_i(t)\}$$

снятых с разных шпинделей МТА показали, что уровень настройки смещается линейно и соответствует теоретической функции вида:

$$\overline{x_{ni}} = x_i t_n + b_i \qquad (14)$$

где a_i и b_i -коэффициенты уравнений регрессии на i-ом шпинделе;

t_n- последовательность номеров деталей от *1* до *T; T* - количество деталей в партии.

Для определения коэффициентов a_i и b_i пользуются экспериментальными данными, т.е. реализациями случайных процессов обработки конкретного технологического процесса.

Если имеется последовательность размеров T обработанных деталей, то наилучшими среднеквадратическими, состоятельными и несмещенными оценками коэффициентов a_i и b_i будут оценки, найденные по методу наименьших квадратов, т.е. такие a_i и b_i, которые минимизируют соотношение

$$\sum_{n=1}^{T}[Y_{ni} - a_i t_n - b_i]^2 = min \qquad (15)$$

где y_n- значение размера деталей в *n* - ом цикле, взятое из опыта.

Взяв частные производные от выражения (15) по a_i и b_i, и приравняв их нулю находим коэффициенты:

$$a_i = \frac{\sum_{n=1}^{T} 1 \sum_{n=1}^{T} Y_n t_n - \sum_{n=1}^{T} t_n \sum_{n=1}^{T} Y_n}{\sum_{n=1}^{T} 1 \sum_{n=1}^{T} t_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{T} t_n\right)^2} \qquad (16)$$

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^{T} t_n^2 \sum_{n=1}^{T} Y_n - \sum_{n=1}^{T} t_n \sum_{n=1}^{T} Y_n t_n}{\sum_{n=1}^{T} 1 \sum_{n=1}^{T} t_n^2 - \left(\sum_{n=1}^{T} t_n\right)^2} \qquad (17)$$

В табл. 2 приведены значения коэффициентов a_i и b_i, вычисленные по формулам (16) и (17) для процесса обработки цилиндрических деталей диаметром 15 мм. на МТА из стали марки 65Г резцом из сплава Р9К5 с геометрией γ = 12°; α =10° ; φ = 45° и φ_1= 30°, при следующих режимах резания: v =35 м/мин; S=0, 06 мм /об и t=*0,5мм*.

Интенсивность смещения уровня настройки для станка определяется как средняя по всем шпинделям

$$a_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{K} a_i}{K},$$

где κ- количество шпинделей.

Таблица 2. Величины коэффициентов уравнения регрессии.

№№ шпин делей	1	2	3	4	5	6	Среднее по шпинделям
a_i	0,00120	0,00128	0,00129	0,00147	0,00140	0,0010	0,00127
b_i	-0,0129	-0,0012	-0,0200	-0,0015	-0,0034	-0,0041	

Если интенсивность смещения уровней настроек на шпинделях отличаются незначительно, то в формуле (14) a_i можно заменить a_{cp}

$$\overline{x_{ni}} = a_{cp} t_n + b_i \qquad (18)$$

Уровни настройки шпинделей, определяемые по (18) друг от друга отличаются коэффициентами b_i. Значения b_i зависят от начального смещения уровня настройки x_o и геометрических погрешностей шпинделей G_i относительно номинального размера детали.

Коэффициенты a_i и a_{cp} отражают лишь интенсивность смещения уровня настройки шпинделей от износа режущего инструмента в среднем за реализацию.

Действительный уровень настройки шпинделей в любой момент времени t_n отличается от среднего смещения за реализацию вследствие наличия функциональной случайной составляющей погрешности μ_n.

Для определения действительного уровня настройки в любой момент времени пользуются экспериментальными точечными диаграммами; они делятся на p участков таким образом, чтобы на каждом участке (рис.4) выполнялось соотношение:

$$\sum_{n=1}^{L} \left[Y_{pni} - a_{pi} t_n - b_{pi}\right]^2 = min \qquad (19)$$

где p — количество участков на реализации; n — количество деталей от 1 до L на участке; a_{pi} и b_{pi} – коэффициенты уравнения регрессии на P- ом участке i - го шпинделя; $Ypni$- экспериментальное значение n - ого размера P-ом участке i- го шпинделя.

После преобразований и необходимых вычислений получим коэффициенты a_{pi} и b_{pi} для каждого участка.

Так например, для одной реализации партии деталей, обработанных на МТА модели IБ240—6, уровень настройки одного шпинделя был разделен на участки и методом наименьших квадратов определены коэффициенты a_{pi} и b_{pi} уравнений регрессий, величины которых приведены в табл.3.

Табл.3. Численные значения коэффициентов регрессии по шпинделям для различных реализаций.

	Коэффициенты регрессии	Шпиндели					
		1	2	3	4	5	6
	a_i	0,0003	0,00124	0,00149	0,0011	0,00128	0,00127
	b_i	0,0150	0,0190	0,0105	0,0040	-0,0170	-0,020
	a_i	0,0003	0,00143	0,00162	0,0013	0,00136	0,00124
	b_i	0,035	0,0275	0,0196	0,0170	-0,0097	0,0126
	a_i	0,0032	0,00138	0,0011	0,0019	-0,00125	0,00134
	b_i	0,028	0,0324	0,0146	0,0240	0,0176	0,001
	a_i	0,0032	0,00164	0,00124	0,0011	0,00123	0,00126
	b_i	0,0142	0,0139	0,0442	0,0363	0,0294	0,0124
	a_i	0,0020	0,0031	0,0041	0,0017	0,0124	0,0014

	b_i	0,072	0,051	0,066	0,048	0,037	0,024

Анализ данных таблицы и большого количества реализаций МТА показывают, что отклонение смещений μ_i уровней настроек шпинделей под воздействием тепловых и силовых деформаций от линий регрессий ($a_i\ t_n + b_i$) носит кратковременный характер, продолжительностью 2–4 цикла. При значениях коэффициентов a_{pi} и b_{pi} уравнений регрессий на участках, не превышающих 0,0002 - 0,001 мм, величины отклонений уровней настроек шпинделей после стабилизации температур СПИД составляют 0,0004- 0,004 мм, что значительно меньше суммарного износа режущего инструмента за реализацию.

Исходя из анализа можно сделать следующее заключение, что принятая зависимость (14) смещения уровней настройки МТА достаточно точно отражает характер смещения уровней его шпинделей после стабилизации температуры системы СПИД. Сделанный вывод дает основание применить для МТА систему автоматической подналадки с едиными, для всех шпинделей станка, величиной и знаком подналадочного импульса, а также периодом подналадки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фалковский В.А., Боровский В.Г. Твердые сплавы на основе карбида вольфрама с нанозернистой и сверхтонкой структурой. Цветные металлы. 2010. № 5. С. 106-112.

2. Протасиев В.Б. Истоцкий В.С. СИС джилвирлаш и его колесная база вспомогательного устройства ислаб чикарилган shamporn. М.: Инфра-М. 2011 год.128.с.

3. Фалковский В.А. Инновации в технологии цементированного карбида: нано-и ультраосновные структуры. Пособие. М.: ИПК МГАТХТ. 2008.

4. Умирзоков, Ж. У. (2019). Колебания цилиндра с внешним демпфероми соотношения ортогональности. In научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего (pp. 78-81).

5. Дускараев н., Умирзаков Д. У., Алижонова М. М. Стабильность режущего инструмента и скорость резания //современные инновации, системы и технологии. – 2022. – т. 2. – №. 2. – с. 0409-0416.

6. Дускараев Н. И др. Исследование исходных процессов на многошпиндельных токарных автоматах //European Journal of Interdisciplinary Research and Development. – 2022. – Т. 10. – С. 144-150.