

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРЕДМЕТА ПРОИЗВОДСТВА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Асп. В.С. ЦЫГАНОВ

Предложен новый подход к моделированию измененных значений показателей качества в маршрутных технологических процессах применяемых при изготовлении деталей, учитывающих неслучайные и случайные составляющие и математические методы определения численных характеристик. Применение предложенного метода и полученных на его основе моделей позволит перейти к использованию количественных соотношений при синтезе технологических процессов, что значительно повысит эффективность технологического проектирования.

The new approach to simulation of changes in values of quality indexes of route technological processes used for details manufacturing considering nonrandom and casual components and mathematical methods of numerical performances definition is offered. Application of the offered method and the models received on its fundamentals will allow passing using quantitative parities at synthesis of technological processes that considerably will raise efficiency of technological projection.

Существующая методология проектирования технологических процессов (ТП) изготовления машин является эмпирической. Разработчик ТП не имеет средств объективной оценки (прогнозирования) ожидаемых значений показателей качества (ПК) предмета производства как на промежуточных этапах ТП, так и по его завершении. Спроектированный процесс сохраняет высокую неопределенность в отношении достижения желательных значений ПК предмета производства. Его внедрение в производство требует тщательной экспериментальной «доводки» и обычно сопряжено со значительными затратами средств и времени. В результате снижается конкурентоспособность выпускаемых изделий.

Неразработанность способов количественного прогнозирования ожидаемых значений ПК предмета производства резко сокращает возможности корректной технологической формализации, что является необходимым условием создания полноценных и эффективных систем автоматизированного проектирования ТП.

Сказанное делает разработку аппарата прогнозирования изменений ПК предмета производства при различных технологических воздействиях в процессе изготовления изделия весьма актуальной.

Трансформацию свойств предмета производства на примере изготовления детали, предложено [1] рассматривать как результат двух одновременно протекающих процессов: изменения и сохранения свойств предмета производства. Для определения (прогнозирования) достигнутых значений показателей качества (ПК) обрабатываемой заготовки предложено детерминированное выражение

$$[K_i]_j = [S_i]_j [K_i]_{j-1} + \sum_{\ell=1}^{\ell=n} [k_{i\ell}] [K_\ell]_{j^*}, \quad (1)$$

где $[K_i]_j, [K_i]_{j-1}$ — вектор-столбцы значений ПК обрабатываемой заготовки в операциях j и $(j-1)$ соответственно; $[S_i]_j$ — матрица значений коэффициентов изменения свойств в j -ой операции ТП; $[k_{i\ell}]$ — матрица значений коэффициентов изменения i ПК в зависимости от

ПК ℓ ($\ell, i = 1, \dots, n; i \neq \ell$); $[K_i]_j$ — вектор-столбец значений ПК заготовки, сформированных до операции j , но оказывающих влияние на ПК, формирующиеся в операции j ,

$$[S_i]_j = \begin{bmatrix} S_1 & & 0 \\ & S_2 & \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & & S_n \end{bmatrix}_j, \quad (2)$$

где S_1, \dots, S_n — средние значения коэффициентов изменения ПК i ($i = 1, \dots, n$), связанные с использованием j -технологического метода и условий его реализации. Второе слагаемое в (1) характеризует сохранение (наследование) свойств предмета производства [1].

При реализации методов механической обработки для метрических ПК, значения которых в ходе ТП уменьшаются (отклонения размера, формы, параметры шероховатости) соответствующие коэффициенты изменения $0 \leq S_i \leq 1$. Для показателей, значения которых увеличиваются (например, средний шаг неровностей профиля, степень и глубина наклепа, остаточные напряжения 1-го рода) $S_i > 1$. Средние значения коэффициентов S_i для некоторых ПК при механической обработке приведены в [1]. Практическое использование описанного подхода ограничивается недостаточной разработанностью его информационного обеспечения, не учитывающего, в частности, использование методов разной физической природы, громоздкость и недостаточный учет статистических данных о результатах реализации технологических методов.

Конкретная реализация любого технологического метода может рассматриваться как система, преобразующая множество входных значений ПК предмета производства во множество выходных значений. Для каждого технологического метода существуют штатные условия реализации, характеризующиеся фиксированными диапазонами входных и выходных значений ПК предмета производства и, соответственно, относительно стабильными значениями коэффициентов изменения ПК. Условие штатной реализации технологического метода

$$\forall p \in \{p\}_H, p' \in \{\bar{p}' - 3[\sigma']; \bar{p}' + 3[\sigma']\}, p^0 \in \{\bar{p}^0 - 3[\sigma^0]; \bar{p}^0 + 3[\sigma^0]\}, \quad (3)$$

где p — параметр, характеризующий соответствующий ПК; $\{p\}_H$ — подмножество параметров, характеризующих ПК, для которых задавались номинальные выходные значения (подмножество контролируемых изменяемых параметров); p' , p^0 — входные и выходные значения параметров, характеризующих ПК соответственно; \bar{p}' , \bar{p}^0 — средние арифметические значения входных и выходных значений параметров; $\sigma(p')$, $\sigma(p^0)$ — среднеквадратические отклонения входных и выходных значений параметров. Символом квадратных скобок помечены допустимые (предельные) значения среднеквадратических отклонений. Выражение (3) предполагает нормальность закона распределения входных и выходных значений параметров, характеризующих соответствующие ПК.

Любая реализация любого элемента ТП или ТП в целом является случайной: случайны значения входных параметров (p'), случайны параметры условий реализации и, соответственно, значения выходных параметров (p^0). Считая изменения каждого элемента множества изменяемых входных параметров независимыми, для реализации технологического метода можно воспользоваться математической моделью однооперационного ТП [2]

$$\begin{cases} m(p^0) = b_0 + b_1 m(p^1) \\ D(p^0) = D(p^0/p^1) + D(\bar{p}^0/p^1) \end{cases} \quad (4)$$

где $m(p^1)$, $m(p^0)$ — математические ожидания входных и выходных значений параметра p соответственно; b_0 , b_1 — коэффициенты, определяемые по способу наименьших квадратов; $D(p^0)$ — дисперсия выходных значений параметра; $D(p^0/p^1)$ — условная дисперсия относительно линии регрессии $m(p^0/p^1)$; $D(\bar{p}^0/p^1)$ — дисперсия линии регрессии $m(p^0/p^1)$ относительно математического ожидания выхода $m(p^0)$.

В предположении нормальности законов распределения входных и выходных значений параметра получаем

$$\begin{cases} m(p^0) = b_0 + \left[r(p^0, p^1) \frac{\sigma(p^0)}{\sigma(p^1)} \right] m(p^1) \\ D(p^0) = D(p^0/p^1) + \left[r(p^0, p^1) \frac{\sigma(p^0)}{\sigma(p^1)} \right]^2 D(p^1) \end{cases} \quad (5)$$

где $r(p^0, p^1)$ — коэффициент корреляции выходных и входных значений параметра; $\sigma(p^1)$, $\sigma(p^0)$ — среднеквадратические отклонения входных и выходных значений параметра.
Величина

$$b_1 = r(p^0, p^1) \frac{\sigma(p^0)}{\sigma(p^1)} \quad (6)$$

может рассматриваться как передаточная функция (характеристика реализации) конкретного технологического метода. Величина $D(p^0/p^1)$ в (5) — постоянная относительно $D(p^1)$ и не зависящая от нее. Величина b_0 — постоянная относительно $m(p^1)$. Коэффициент корреляции $r(p^0, p^1)$ определяют по формуле [3]

$$r(p^0, p^1) = \frac{M \{ [p^1 - m(p^1)][p^0 - m(p^0)] \}}{\sigma(p^1)\sigma(p^0)}, \quad (7)$$

где M — символ математического ожидания. С учетом этого:

$$b_1 = \frac{M \{ [p^1 - m(p^1)][p^0 - m(p^0)] \}}{D(p^1)}, \quad (8)$$

$$D(p^0/p^1) = D(p^0)[1 - r^2(p^0, p^1)]. \quad (9)$$

Выражения (4)—(9) можно рассматривать как математическую модель описания изменений значений непрерывного параметра (p) при реализации конкретного технологического метода. Это модель уровня операции, она не может быть использована при проектировании маршрутных ТП.

Предлагаемая модель реализации технологического метода, пригодная для использования при проектировании маршрутных ТП изготовления деталей, базируется на следующих основных положениях.

1. В реализации любого ТП или его элемента можно выделить:
 - а) неслучайный процесс целенаправленного изменения заданных ПК, формирующий их систематические составляющие;
 - б) сопровождающий реализацию случайный процесс, формирующий рассеяние ПК.
2. Формирование полей рассеяния ПК происходит при перманентном изменении номинальных значений заданного ПК.
3. Обеспечение качества изготовления детали связано с созданием условий гарантированного размещения полей рассеяния ПК в полях соответствующих допусков.
4. При проектировании маршрутной технологии разработчик не оперирует размерными связями. Он формирует первичную структуру ТП, используя обобщенные характеристики технологических методов, а также накопленный положительный опыт реализации технологических решений.
5. Абсолютные значения показателей геометрической формы могут быть использованы для оценки соответствующего свойства предмета производства только по отношению к размерным параметрам последнего.
6. Выдерживаемые размеры предмета производства в ТП изготовления детали, чаще всего, изменяются незначительно в сопоставлении с габаритными размерами заготовок. Размеры поверхностей заготовок и готовых деталей часто относятся к одним и тем же размерным группам.
7. Структуру ТП изготовления наукоемкого изделия определяют изменения полей рассеяния ПК на отдельных операциях, определяющие характер реализации взаимодействующих технологических методов.

Модель (4)—(9) можно преобразовать в модель, учитывающую лишь изменения рассеяния ПК (случайной составляющей), например, приняв $m(p') = m(p^0) = 0$ и, соответственно, $b_0 = 0$. Тогда

$$b_1 = \frac{M(p' p^0)}{D(p')} \quad (10)$$

В (10) входные и выходные значения параметра ПК являются отклонениями (характеристиками рассеяния) действительного значения параметра от заданного. Это принципиально отличает (8) от (10).

Число показателей, определяющих качество любой зоны (поверхности) готовой детали, весьма значительно [1]. При неавтоматизированном технологическом проектировании учесть и спрогнозировать изменение каждого из них невозможно. Поэтому при решении практических задач проектирования целесообразно предварительное выделение подмножества ПК сравнительно небольшой мощности, но корректно отражающих важнейшие из обычно задаваемых эксплуатационных свойств.

В частности, для поверхностей, к которым не предъявляются особые требования, может быть рекомендован следующий состав ПК: 1) геометрической формы — отклоне-

ние размера Δ_p ; 2) качества поверхностного слоя — среднее арифметическое отклонение профиля Ra, степень наклепа U_H . 3) механических свойств материала — твердость по Бринеллю.

Эти показатели наиболее часто используют в практике проектирования маршрутных ТП изготовления деталей. Они являются независимыми, однако на их основе, при необходимости, с использованием известных эмпирических зависимостей [4, 5] можно оценить ряд других ПК (предельные отклонения формы; высота неровностей профиля по десяти точкам; характеристики прочности материала).

Формы моделей описания изменений математических ожиданий выходных значений рассматриваемых ПК на базе изложенного подхода представлены в табл. 1. Особенностью таких моделей является возможность использования для получения конкретных численных значений, входящих в них переменных, обширных статистических данных о рассеяниях входных и выходных значениях ПК, определенных для реализации различных технологических методов [1, 4, 5].

Таблица 1

Модели описания изменений математических ожиданий выходных значений исследуемых ПК*

Наименование ПК	Модель описания изменения
Отклонение размера допустимое, Δ_p	$[\Delta_p]^0 = [\Delta_p]^1 \frac{f(I^0)}{f(I^1)}$
Среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости, Ra	$Ra^0 = r_0 + \frac{\Delta(Ra^0)}{\Delta(Ra^1)} Ra^1$
Степень наклепа, U_H	$U_H^0 = u_0 + \frac{\Delta(U_H^0)}{\Delta(U_H^1)} U_H^1$
Твердость по Бринеллю	$HB^0 = h_0 + \frac{\Delta(HB^0)}{\Delta(HB^1)} HB^1$

* Символами 1 и 0 помечены входные и выходные значения; d_H — номинальное значение выдерживаемого размера; $\Delta(\dots)$ — поле рассеяния соответствующего ПК, определяемое в результате анализа статистических (априорных) материалов о результатах применения метода; r_0, u_0, h_0 — постоянные, определяемые экспериментально

В результате выполненных исследований определены характеристики изменения рассматриваемых ПК для основных технологических методов обработки резанием наружных и внутренних цилиндрических, а также плоских поверхностей. Установлено, что в моделях форм, представленных табл. 1, с достаточной для практики точностью можно считать $r_0 = u_0 = h_0 = 0$. Изменение твердости материала в его объеме для большинства методов обработки резанием несущественно и может не рассматриваться при решении задач технологического проектирования. Фрагмент полученной базы значений характеристик изменения рассматриваемых ПК представлен в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики изменения рассматриваемых ПК для некоторых методов обработки резанием наружных цилиндрических поверхностей

Метод	Характеристика изменения			
	отклонения размера Δ_p при номинале, мм		шероховатости Ra	наклепа U_{II}
	40	100		
Точение				
— черновое	0,37	0,38	0,20	6,0
— получистовое	0,24	0,25	0,25	1,0
— чистовое	0,10	0,12	0,34	1,0
— тонкое	0,15	0,17	0,28	0,5
Шлифование				
— предварительное	0,44	0,42	0,77	3,0
— окончательное	0,65	0,63	0,77	0,67
— тонкое	0,55	0,52	0,44	—

Относительные погрешности моделей изменения величин Δ_p и Ra в формах (табл. 1) не превышают 25...28 %, составляя, в среднем, 6,7...11 %. Относительная погрешность определения величины U_{II} не превышает 40 %. Это вполне приемлемо для формирования на основе предложенных моделей первичных технологических решений, в частности, маршрутных ТП изготовления деталей. Характеристики изменения ПК в представленных моделях по своей сути отражают значения передаточных функций реализующегося технологического метода по каждому ПК, с учетом случайности процессов сопровождающих реализацию. Это принципиально отличает представленные модели от существующих, например, приводимых в [1, 4].

Применение предложенного методического подхода и полученных моделей при решении задач технологического проектирования позволит перейти к использованию количественных соотношений при синтезе структур ТП и в перспективе позволит вооружить отечественное машиностроение новым, мощным средством повышения конкурентоспособности его изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев, А. М. Дальский, Ю. М. Золоторевский и др. / Под ред. А. И. Кондакова. — М.: Машиностроение, 2005. — 352 с.
2. С и з е н о в Л. К. Моделирование и оптимизация точности технологических процессов / Учебное пособие для вузов. — М.: РИО МГТУ, 2001. — 330 с.
3. С м и р н о в Н. В., Д у н и н-Б а р к о в с к и й И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М.: Наука, 1969. — 512 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. — Т. 2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Космовой, Р. К. Мещерякова и др. — М.: Машиностроение — 1, 2001. — 944 с.
5. Качество машин: Справочник. В 2-х т. — Т. 1 / А. Г. Суслов, Э. Д. Браун, Н. А. Виткевич и др. — М.: Машиностроение, 1995. — 256 с.