

УДК 621.91.01

МЕТОДИКА НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ВО ВРЕМЕНИ ПАРАМЕТРАМИ

© 2021 А. Н. Унянин, П. Р. Финагеев

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

Статья поступила в редакцию 10.06.2021

Для уменьшения погрешности при назначении режима процесса механической обработки в условиях неопределенности информации разработаны математические модели и алгоритмы, предусматривающие коррекцию параметров моделей, связывающих входные и выходные параметры процесса, по данным текущей информации о выходных параметрах. Разработаны план варьирования управляемыми факторами технологического процесса, методика и алгоритм генерации математических моделей процесса механической обработки с изменяющимися во времени параметрами. Модели учитывают взаимное влияние параметров состояния инструмента и текущих параметров процесса обработки и их влияние на выходные параметры и позволяют рассчитать выходные параметры процесса в различные моменты времени. Это позволяет создать предпосылки для назначения режима механической обработки с изменяющимися во времени параметрами в условиях неопределенности технологической информации.

Ключевые слова: механическая обработка, методика, режим, технологическая информация, коррекция, неопределенность.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-62-68

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 18-47-730005.

ВВЕДЕНИЕ

Назначение рационального режима является важной задачей, от решения которой зависит производительность обработки, качество и стоимость изготовления деталей. Перспективным способом назначения режима обработки является его расчет с использованием зависимостей (формул теории резания). Однако, математические модели, описывающие взаимосвязь выходных параметров процесса резания с входными, и используемые при расчете режима, часто неадекватно отражают эту взаимосвязь. Многие модели получены с использованием ряда допущений, которые не учитывают влияния ряда управляемых и неуправляемых факторов. В последние годы широко применяются высокопроизводительные многооперационные станки с ЧПУ, оснащенные инструментами с твердосплавными и керамическими сменными многогранными пластинами (СМП) как правило, импортного производства. Закономерности в зоне резания в условиях высокоскоростной обработки инструментами из новых инструментальных материалов мало изучены. Это является при-

чиной того, что разность между расчетными значениями выходных параметров и их фактическими значениями составляет во многих случаях 20...30 % и более.

Не все модели, разработанные для процессов механической обработки, ориентированы на представление этих процессов как динамических систем с изменяющимися во времени выходными параметрами и текущими показателями. Поэтому необходимо разработать методику и алгоритм генерации математических моделей процесса механической обработки с изменяющимися во времени параметрами. Для этого следует разработать модель процесса, которая учитывает взаимное влияние его выходных и текущих параметров.

Целью исследований является решение проблемы снижения степени влияния неопределенности технологической информации, связанной с неадекватностью математических моделей и неоднозначностью исходных данных для расчета, на назначение режима механической обработки.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

При обработке партии заготовок под влиянием систематических и случайных факторов

Унянин Александр Николаевич, доктор технических наук, доцент, профессор Ульяновского государственного технического университета. E-mail: a_un@mail.ru
Финагеев Павел Рамдисович, аспирант. E-mail: pavel_finageev@mail.ru

происходит изменение выходных параметров и текущих показателей процесса механической обработки. Происходит смещение математического ожидания (центра группирования) $\bar{y}(\tau)$ и изменение (как, правило, увеличение) мгновенного поля рассеивания параметров. С целью определения времени коррекции положения инструмента и (или) режима обработки необходимо знать время, в течение которого выходные параметры приблизятся к одной из границ поля допуска. Для этого необходимы модели процесса механической обработки, ориентированные на его представление как динамической системы с изменяющимися во времени выходными параметрами и текущими показателями.

С увеличением времени наработки инструмента параметры, характеризующие его состояние (в частности, износ) изменяются, вследствие чего изменяются показатели процесса обработки (силы и температуры). С другой стороны, параметры состояния инструмента зависят от показателей процесса обработки (сил и температур) (рис. 1). Следовательно, расчет выходных параметров по известным моделям сопряжен с недостатком информации, обусловленной взаимным влиянием параметров процесса, поскольку параметры состояния инструмента и показатели процесса обработки функционально взаимосвязаны и, чтобы определить параметры одной группы, необходимо знать параметры другой. Определение этих взаимосвязанных параметров возможно в процессе имитационного моделирования на основе разработки алгоритма функционирования процесса.

Время функционирования процесса следует разбить на интервалы $\Delta\tau$, а расчеты выходных и текущих параметров процесса выполнять для периодов времени $\tau_0, \tau_1 \dots \tau_i \dots \tau_{max}$; $\tau_i - \tau_{i-1} = \Delta\tau$, где τ_{max} – максимальное время функционирования процесса.

Известно, что преобладающее влияние на процесс изнашивания инструмента оказывают силы резания и контактная температура. Силы резания и контактная температура рассчитываются в момент времени $\tau_0 = 0$. При этом предполагается, что износ инструмента по задней поверхности в этот момент времени $h_{и0} = 0$. Эти силы и температура используются для определения интенсивности изнашивания инструмента $U_{0,1}$ (мкм/с) на отрезке времени $\tau_0 \dots \tau_1$, после чего рассчитывают износ инструмента в момент времени τ_1 по формуле: $h_{и1} = U_{0,1} \cdot \Delta\tau$.

Силы и температура в момент времени τ_1 рассчитываются, ориентируясь на износ инструмента, равный $h_{и1}$, и используются при расчете интенсивности изнашивания инструмента $U_{1,2}$ на отрезке времени $\tau_1 \dots \tau_2$, после чего рассчитывается износ инструмента в момент времени τ_2 по формуле $h_{и2} = U_{0,1} \cdot \Delta\tau + U_{1,2} \cdot \Delta\tau$.



Рис. 1. Схема взаимосвязей параметров процесса обработки

Износ инструмента в момент времени τ_k

$$h_{ик} = \sum_{i=1}^{i=k} U_{i-1,i} \cdot \Delta\tau,$$

где $U_{i-1,i}$ – интенсивность изнашивания инструмента на i -м отрезке времени, мкм/с ($i = 1, \dots, k$); $\Delta\tau$ – интервал времени, с.

Реальные технологические процессы не являются детерминированными, поэтому изменение параметров качества во времени при обработке партии заготовок можно рассматривать как случайный (стохастический процесс). Случайные погрешности обработки вызываются совокупностью случайных факторов. К этим факторам относятся, в частности, колебания механических свойств материала заготовки и припуска на обработку, приводящие к нестабильным силам резания и колебаниям деформаций технологической системы. В результате имеет место рассеивание параметров качества, в том числе размеров деталей.

Для определения расчетного времени коррекции положения и периода стойкости режущего инструмента необходимо знать функции смещения математического ожидания (центра группирования) $\bar{y}(\tau)$ и границ поля мгновенного рассеивания ω_y выходных параметров во времени. Верхнюю $y_B(\tau)$ и нижнюю $y_H(\tau)$ границы мгновенных полей рассеивания параметров можно определить как:

$$y_B(\tau) = \bar{y}(\tau) + \omega_y(\tau) / 2;$$

$$y_H(\tau) = \bar{y}(\tau) - \omega_y(\tau) / 2.$$

Время коррекции положения τ_n (период стойкости τ_c) инструмента равно меньшему из значений τ_B и τ_H :

$$\tau_n(\tau_c) = \min(\tau_B; \tau_H),$$

где величины τ_B и τ_H определяют из уравнений:

$$y^*_{\max} = \bar{y}(\tau) + \omega_y(\tau)/2;$$

$$y^*_{\min} = \bar{y}(\tau) - \omega_y(\tau)/2,$$

где y^*_{\max} и y^*_{\min} – наибольшее и наименьшее предельное значение выходного параметра.

Большинство известных моделей позволяет определить математическое ожидание параметров процесса обработки и лишь немногие из них – рассеивание этих параметров. Для определения величины рассеивания можно воспользоваться известной зависимостью для приращения функции нескольких переменных.

При обработке точением рассеивание размеров, обусловленное упругими деформациями элементов технологической системы, зависит от упругого перемещения резца относительно оси центров (патрона) y , которое, в свою очередь, зависит от радиальной составляющей силы резания P_y и жесткости технологической системы j_y .

Составляющую P_y можно получить путем преобразования известных зависимостей, например [1, 2]. В качестве параметров, оказывающих преобладающее влияние на составляющую силы резания P_y , а следовательно, и упругое перемещение y , можно выделить колебания (рассеивание) напряжения текучести $\Delta\sigma_s$ и глубины резания Δt_r .

Принимая, что переменными параметрами в формуле для расчета упругого перемещения резца y являются σ_s и t_r , и используя формулу для приращения функции нескольких переменных, получим зависимость для расчета мгновенного поля рассеивания, обусловленного упругими деформациями элементов технологической системы:

$$\omega_j = \Delta y = \frac{\partial f}{\partial \sigma_s} \cdot \Delta \sigma_s + \frac{\partial f}{\partial t_r} \cdot \Delta t_r,$$

где f – функция, описывающая зависимость параметра y от аргументов [1, 2].

Таким образом получены зависимости для расчета мгновенных полей рассеивания выходных параметров процесса точения.

МЕТОДИКА КОРРЕКЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ И ПЛАНА ВАРЬИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫМИ ФАКТОРАМИ

Для коррекции математических моделей процесса необходима дополнительная информация о фактических значениях текущих и выходных параметрах. На первом этапе, используя математические модели процесса, связывающие его выходные параметры Y_i с управляемыми (X_j), а также неуправляемыми контролируруемыми (Z_j) и неконтролируемыми (W_j) параметрами, формируют систему технических ограничений вида

$$Y_i^* \Rightarrow \langle Y_i(X_j, Z_j, W_j),$$

где Y_i^* – заданное предельное значение i -го выходного параметра; $Y_i(X_j, Z_j, W_j)$ – фактическое значение выходного параметра при определенной комбинации условий и режима обработки.

Режимы, полученные в результате расчета, обозначим $X_1^0, X_2^0 \dots X_k^0$, где k – число входных параметров (элементов режима), используемых для управления процессом. Чтобы выявить необходимость коррекции элементов режима и параметров моделей, следует сравнить фактические значения выходных параметров $Y_i^{0ф}$, зафиксированных при данных элементах режима, с их расчетными значениями $Y_i^{0р}$:

$$Y_i^{0р} = f(X_1^0, \dots, X_k^0, Z_j, W_j),$$

где k – число входных параметров процесса.

Введем понятия резервов (запасов) выходных параметров процесса механической обработки. Под резервом будем понимать разницу между заданным (предельным) значением какого-либо выходного параметра Y^* и его расчетным $Y^р$ или фактическим значением $Y^ф$, причем разницу между Y^* и $Y^р$ будем называть расчетным, а между Y^* и $Y^ф$ – фактическим резервом (запасом) [3].

Будем различать положительные и отрицательные резервы. Положительным резерв следует считать тогда, когда фактическое (расчетное) значение выходного параметра не достигло предельного значения, а «ужесточение» режима приведет к уменьшению абсолютного значения этого резерва.

Как показано в [4], при оптимальных значениях управляемых факторов (входных параметров) расчетные резервы будут принимать либо значения, равные нулю (по крайней мере, один из резервов), либо значения, большие нуля (остальные резервы). Если фактические значения выходных параметров отличаются от расчетных, то и фактические резервы также будут отличаться от расчетных.

При этом могут возникнуть следующие ситуации.

1) Все фактические резервы являются положительными. Фактические значения выходных параметров не достигают предельных значений, т.е. брак по какому-либо параметру отсутствует, но не исключено, что режим обработки можно ужесточить.

2) Часть фактических резервов или все они являются отрицательными, т.е. фактические значения соответствующих выходных параметров превышают их предельные значения. В этом случае, безусловно, необходима коррекция режима, чтобы исключить появление бракованных деталей. Следует отметить, что если не все резервы отрицательны, остальные могут быть положительными, либо равными нулю.

Необходимо разработать план варьирования управляемыми факторами $X_1 \dots X_k$, чтобы при реализации процесса обработки появилась

возможность скорректировать (подстроить) математические модели процесса. Область варьирования управляемыми факторами, с одной стороны, должна быть выбрана такой, чтобы исключить появление бракованных деталей в процессе варьирования управляемыми факторами, с другой стороны, приблизить эти параметры к их оптимальному значению, которое на данном этапе может быть определено лишь ориентировочно.

Ниже представлена последовательность действий для случая, когда все фактические резервы имеют положительное значение (причем расчетные резервы равны либо близки к нулю).

В точке пространства управляемых переменных $X_1^0, X_2^0 \dots X_k^0$, следует разложить математические модели процесса механической обработки в ряд Тейлора и исключить члены второго и более высоких порядков. Исключение членов высших порядков позволит осуществить линейную аппроксимацию математических моделей и привести их к одному виду, что позволит существенно облегчить решение задачи. Возможность исключения следует из того обстоятельства, что расчетные значения управляемых факторов $X_1^0, X_2^0 \dots X_k^0$ как правило, весьма близки к их оптимальным значениям.

Математические модели – ограничения примут вид:

$$Y_i = Y_i^{OP} + \left(\frac{dY_i}{dX_1} + \dots + \frac{dY_i}{dX_{k'}} \right) \cdot (\Delta X_1, \dots, \Delta X_{k'})$$

Введем обозначения:

$$Y_i^{OP} = b_{i0}; \frac{dY_i}{dX_1} = b_{i1}, \dots, \frac{dY_i}{dX_{k'}} = b_{ik'}$$

Получим

$$Y_i = b_{i0} + b_{i1} \cdot \Delta X_1 + \dots + b_{ik'} \cdot \Delta X_{k'} \quad (1)$$

Поскольку при оптимальных режимах, по крайней мере, один из резервов должен быть равен, либо близок к нулю, управляемыми факторами следует варьировать таким образом, чтобы на каждой итерации этот резерв приближался к нулю. За счет этого область варьирования управляемыми факторами будет близкой к их оптимальному значению.

Для определения коэффициентов линейного уравнения каждый управляемый фактор должен принять не менее, чем два значения. Поскольку значения выходных показателей Y_i^{OP} уже определены в точке с координатами $X_1^0, X_2^0 \dots X_k^0$, для адаптации моделей каждому из управляемых факторов достаточно придать еще одно значение, т.е. эксперимент необходимо провести еще в k' точках.

Резерв, который предположительно при варьировании управляемыми факторами сведется к нулю (обозначим его $Y_0^* - Y_0^{0\Phi}$) при положитель-

ных значениях остальных резервов, разобьем на k' интервалов, а величину интервала варьирования каждого из управляемых факторов ΔX_j следует принимать такой, чтобы соответствующий выходной параметр изменился на величину $(Y_0^* - Y_0^{0\Phi}) / k'$.

Определяются управляющие воздействия, за счет которых сведется к нулю резерв выходного параметра Y_1 по формулам вида:

$$\Delta X_{j1} = \frac{Y_1^* - Y_1^{0\Phi}}{k' \cdot \frac{dY_1}{dX_j}}$$

Полученные значения ΔX_{j1} следует подставить в математическую зависимость для определения интервала изменения второго параметра Y_2 :

$$\Delta Y_2 = \frac{dY_2}{dX_1} \cdot \Delta X_1 + \dots + \frac{dY_2}{dX_{k_1'}} \cdot \Delta X_{k_1'}$$

и сравнить ΔY_2 с резервом этого параметра.

Если $\Delta Y_2 < (Y_2^* - Y_2^{0\Phi})$, следует определить интервал изменения третьего выходного параметра Y_3 , используя в соответствующем математическом выражении интервал варьирования ΔX_{j1} .

Если $\Delta Y_2 > (Y_2^* - Y_2^{0\Phi})$, то следует определить управляющие воздействия, которые сведут к нулю резерв этого параметра, по формуле:

$$\Delta X_{j2} = \frac{Y_2^* - Y_2^{0\Phi}}{k' \cdot \frac{dY_2}{dX_j}}$$

а при определении интервала варьирования третьего параметра Y_3 оперировать значениями ΔX_{j2} .

Продолжая подобные действия, можно выявить выходной параметр Y_0 (или группу параметров) расчетный резерв которого (которых) сведется к нулю при положительных резервах остальных параметров.

Управляющие воздействия, которые будут использованы при отладке процесса, определяются по формуле:

$$\Delta X_{j0} = \frac{Y_0^* - Y_0^{0\Phi}}{k' \cdot \frac{dY_0}{dX_j}} \quad (2)$$

Следует определить, являются ли интервалы, определенные по вышеприведенной зависимости, приемлемыми. Минимальное значение интервала варьирования ΔX_{jmin} должно быть таким, чтобы ожидаемое значение выходного параметра ΔY_i было не менее заданного доверительного интервала [5, 6].

Различие между средними арифметическими значениями какого-либо выходного параметра считается достоверным, если выполняется условие:

$$\Delta Y_i \geq K_N \cdot \bar{W} / d_n,$$

где ΔY_i – интервал изменения или разность средних арифметических значений выходного параметра Y_i ; K_N и d_n – коэффициенты [5]; \bar{W} – средний размах варьирования по всем совокупностям.

Принимая во внимание зависимость (2), можно записать:

$$\Delta X_{j0} \geq \frac{K_N \cdot \bar{W} / d_n}{d_n \cdot \frac{\partial Y_0}{\partial X_j}}. \quad (3)$$

Зависимость (3) регламентирует минимальную величину интервала варьирования параметра, определяемого по формуле (2).

Если данное условие выполняется, выполняются следующие действия.

Управляемый параметр X_1 изменяют на величину ΔX_1 и получают новое значение X_1^1 :

$$X_1^1 = X_1^0 + \Delta X_1.$$

После этого проводят эксперимент при значениях управляемых факторов $X_1^1, X_2^0 \dots X_k^0$. Затем на величину ΔX_2 изменяется параметр X_2 :

$$X_2^1 = X_2^0 + \Delta X_2.$$

Проводится эксперимент при значениях $X_1^1, X_2^1, X_3^0, \dots, X_k^0$.

Продолжая аналогичные действия, в итоге получим точку с координатами $X_1^1, X_2^1, \dots, X_k^1$.

Рис. 2. иллюстрирует расположение точек плана при двух управляемых факторах (X_1 и X_2).

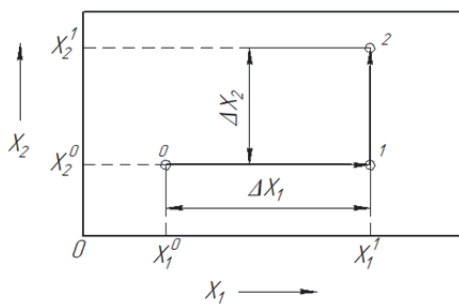


Рис. 2. Расположение точек плана при варьировании двумя управляемыми факторами

Зависимость (3) включает частные производные $\partial Y_0 / \partial X_j$, полученные дифференцированием исходных математических моделей, связывающих выходные и входные параметры, поэтому вероятно, что фактические значения ΔY_i окажутся меньше величин $K_N \cdot \bar{W} / d_n$.

В этом случае следует увеличить интервал ΔX_j до приемлемой величины. Такая ситуация может возникнуть, если фактические значения производных $\partial Y_0 / \partial X_j$ окажутся меньше их значений, определяемых дифференцированием исходных уравнений.

Если же фактические значения $\partial Y_0 / \partial X_j$ окажутся большими, чем ожидаемые, не исключено, что после варьирования j -м управляемым фактором ($j < k'$) запас (резерв) по параметру Y_0 настолько уменьшится, что окажется меньше величины $(Y^* - Y^{0\Phi}) / k'$.

Если в точке $j+1$ управляемые параметры будут иметь значение $X_1^1, X_2^1, \dots, X_j^1, X_{j+1}^1, \dots, X_k^0$, то можно получить отрицательный запас (брак) по выходному параметру Y_0 , поэтому дальнейшие эксперименты следует выполнить в следующих точках:

$$X_1^1, X_2^1, \dots, X_j^0, X_{j+1}^1, X_{j+2}^0, \dots, X_k^0;$$

$$X_1^1, X_2^1, \dots, X_j^0, X_{j+1}^0, X_{j+2}^1, \dots, X_k^0;$$

...

$$X_1^1, X_2^1, \dots, X_j^0, X_{j+1}^0, X_{j+2}^0, \dots, X_k^1.$$

Кроме того, параметр Y_0 , резерв которого предположительно сведется к нулю при положительных резервах прочих выходных параметров, определён на основе расчетов с использованием исходных уравнений. Вследствие неадекватности этих уравнений место параметра Y_0 в процессе отладки может занять другой выходной параметр, который обозначим через $Y_{0\Phi}$.

Чтобы не получить отрицательный фактический запас (брак) по параметру $Y_{0\Phi}$, необходимо следить, чтобы после варьирования j -ым управляемым фактором ($j = 1 \dots k'$) резерв параметра $Y_{0\Phi}$ не оказался меньше величины $(Y_{0\Phi}^* - Y_{0\Phi}^{0\Phi}) / k'$, то есть должно соблюдаться условие

$$(Y_{0\Phi}^* - Y_{0\Phi}^{j\Phi}) \geq (Y_{0\Phi}^* - Y_{0\Phi}^{0\Phi}) / k',$$

где $Y_{0\Phi}^*$ – предельное значение параметра $Y_{0\Phi}$; $Y_{0\Phi}^{j\Phi}, Y_{0\Phi}^{0\Phi}$ – значения этого же параметра после варьирования j -м управляемым фактором и в точке 0 плана по рис. 2.

В таком случае также следует отказаться от первоначального плана и при варьировании управляемыми параметрами с порядковыми номерами $j+1$ и выше эксперименты проводить в вышеприведённых точках.

В каждой точке плана после варьирования параметром X_j следует осуществлять проверки по всем выходным параметрам с использованием зависимостей:

$$(Y_{i\Phi}^* - Y_{i\Phi}^{j\Phi}) \geq (Y_{i\Phi}^* - Y_{i\Phi}^{0\Phi}) / k'.$$

Если для одного или нескольких параметров вышеприведённое условие не соблюдается, необходимо скорректировать план экспериментов.

На рис. 3 приведены точки скорректированного плана при двух управляемых факторах, когда это условие не выполняется после варьирования первым. Такой случай может возникнуть, когда резервы имеют незначительную величину, а минимальные значения интервалов варьирования ΔX_{jmin} велики.

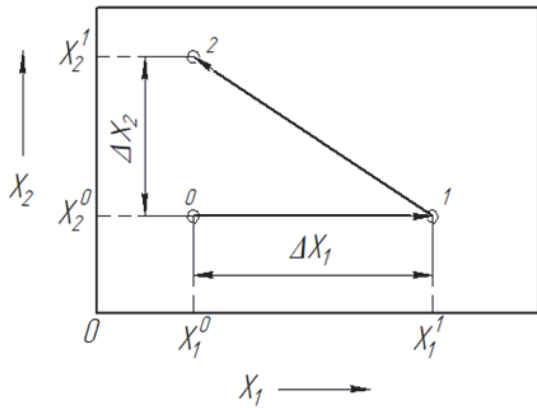


Рис. 3. Расположение точек скорректированного плана при варьировании двумя управляемыми факторами

Коэффициент b_0 уравнения (1) определяют как среднее арифметическое из значений выходного параметра во всех точках плана:

$$b_0 = \frac{Y^{0\phi} + Y^{1\phi} + \dots + Y^{k'\phi}}{1 + k'}$$

Если план не подвергался коррекции, то коэффициенты $b_1, b_2 \dots b_k$ можно определить по зависимостям

$$b_1 = \frac{\partial Y_i}{\partial X_1} = \frac{Y_i^{1\phi} - Y_i^{0\phi}}{X_1^1 - X_1^0};$$

...

$$b_{k'} = \frac{\partial Y_i}{\partial X_{k'}} = \frac{Y_i^{k'\phi} - Y_i^{k'-1\phi}}{X_{k'}^1 - X_{k'}^0}.$$

Если план подвергся коррекции после варьирования первым управляемым фактором, следует воспользоваться зависимостями

$$b_1 = \frac{\partial Y_i}{\partial X_1} = \frac{Y_i^{1\phi} - Y_i^{0\phi}}{X_1^1 - X_1^0};$$

...

$$b_{k'} = \frac{\partial Y_i}{\partial X_{k'}} = \frac{Y_i^{k'\phi} - Y_i^{0\phi}}{X_{k'}^1 - X_{k'}^0}.$$

Если план был скорректирован после варьирования j -ым управляемым фактором, то

$$b_1 = \frac{\partial Y_i}{\partial X_1} = \frac{Y_i^{1\phi} - Y_i^{0\phi}}{X_1^1 - X_1^0};$$

...

$$b_{k'} = \frac{\partial Y_i}{\partial X_{k'}} = \frac{Y_i^{k'\phi} - Y_i^{j-1\phi}}{X_{k'}^1 - X_{k'}^0}.$$

Вышеприведенная методика является развитием методики, изложенной в работах [7, 8]. Для апробации методики назначения ре-

жима разработано программное обеспечение, учитывающее два выходных параметра и два управляемых [7, 8]. Проведены исследования эффективности разработанной методики при коррекции режима точения, рассчитанного по формулам теории резания. В качестве выходных контролируемых параметров были выбраны среднее арифметическое отклонение профиля Ra и погрешность диаметрального размера детали ω . В качестве управляемых входных параметров (факторов) использовали подачу на оборот S и скорость резания V . Для каждого из выходных контролируемых параметров были выбраны или получены математические зависимости, связывающие эти параметры с входными.

Предварительно были рассчитаны элементы режима резания по формулам теории резания и нормативам, приведенным в справочнике технолога-машиностроителя, и скорректированы по паспортным данным станка.

Фактические значения обоих выходных параметров оказались значительно ниже их предельных значений, что дало возможность интенсифицировать значения элементов режима с целью повышения производительности. Потребовалось выполнить два этапа коррекции назначенного ранее режима.

Использование скорректированного режима позволяет повысить производительность обработки при обеспечении качества обработанной детали.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны структура, методика и алгоритм генерации математических моделей процесса механической обработки, представленного в виде динамической системы с изменяющимися во времени параметрами. Модели учитывают взаимное влияние параметров состояния инструмента и текущих параметров процесса обработки и их влияние на выходные параметры и позволяют рассчитать выходные параметры процесса в различные моменты времени. Это позволило создать предпосылки для назначения режима механической обработки с изменяющимися во времени параметрами в условиях неопределённости технологической информации.

2. Разработана методика коррекции режима механической обработки, предусматривающая варьирование управляемыми факторами по определенному плану и подстройку (коррекцию) моделей, связывающих выходные и входные параметры процесса. Разработано и апробировано программное обеспечение для коррекции режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцов А.Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Практические расчеты параметров резания при точении // Вестник машиностроения. – 2008. – № 9. – С. 67 – 70.
2. Воронцов А. Л., Султан-Заде Н.М., Албагачиев А.Ю. Разработка новой теории резания. Математическое описание образования стружки разных видов, пульсации сил резания и параметров контакта обработанной поверхности заготовки с задней поверхностью резца // Вестник машиностроения. – 2008. – № 7. – С. 56 – 61.
3. Размерный анализ технологических процессов / В.В. Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойков. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
4. Реклейтис Г., Рейвиндрал А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: в 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 349 с.
5. Оптимизация технологических процессов в машиностроении / В.В. Душинский, Е.С. Пуховский, С.Г. Радченко; под общ. ред. Г.Э. Таурита. – Киев: Техника, 1977. – 176 с.
6. Ашмарин И.П., Васильев Н.Н., Амбросов В.А. Быстрые методы статистической обработки и планирование экспериментов. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. – 77 с.
7. Унянин А.Н., Финагеев П.Р. Разработка и исследование методики коррекции режима механической обработки в условиях неопределенности технологической информации // Вектор науки ТГУ. – 2017. – №2 (40). – С. 56 – 61.
8. Унянин А. Н., Финагеев П. Р. Разработка и апробация методики назначения режима механической обработки в условиях неопределенности технологической информации // Известия Самарского научного центра РАН. – 2017. – Т. 19. – №1 (2). – С. 297 – 301.

THE TECHNIQUE OF DETERMINATION OF THE MODE OF MECHANICAL TREATMENT IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF TECHNOLOGICAL INFORMATION WITH TIME-VARYING PARAMETERS

© 2021 A.N. Unyanin, P.R. Finageev

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

To reduce the error in the appointment of the mode in the conditions of uncertainty of information for the first time developed mathematical models and algorithms that provide for the correction of the model parameters relating the input and output parameters of the process, according to the current information about the output parameters. Developed a plan of varying the controllable factors of the technological process, the methodology and the algorithm used to generate mathematical models of the machining process with time-varying parameters. Models take into account the mutual influence of the tool state parameters and the current processing parameters and their impact on the output parameters and allow you to calculate the output parameters of the process at different times. This makes it possible to create prerequisites for the purpose of machining mode with time-varying parameters in the conditions of uncertainty of technological information.

Keywords: technique, turning, mode, roughness, error, correction, technological information

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-3-62-68

The research was carried out with the financial support of RFBR and the Government of the Ulyanovsk region in the framework of the scientific project № 18-47-730005.

Alexander Unyanin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Ulyanovsk State Technical University.
E-mail: a_un@mail.ru
Pavel Finageev, Post-Graduate Student.
E-mail: pavel_finageev@mail.ru