

УДК 621.91.01

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

© 2017 А. Н. Унянин¹, П. Р. Финагеев²¹ Ульяновский государственный технический университет² АО «Фрест», г. Ульяновск

Статья поступила в редакцию 20.02.2017

Предложена методика назначения режима механической обработки, предусматривающая коррекцию моделей, связывающих выходные и входные параметры процесса по данным текущей информации о выходных параметрах. Разработан план варьирования управляемыми факторами технологического процесса, позволяющий приблизить эти факторы к оптимальному уровню. С использованием разработанной программы проведены исследования эффективности методики при коррекции режима точения, рассчитанного по формулам теории резания. Использование скорректированного режима позволяет повысить производительность обработки при обеспечении качества обработанной детали.

Ключевые слова: *методика, точение, режим, шероховатость, погрешность, технологическая информация*

Условия и режим механической обработки заготовок определяют по формулам теории резания или назначают по нормативам и каталогам режущего инструмента. Однако многие нормативы не соответствуют требованиям современных технологий и не могут служить информационной базой для создания автоматизированных систем технологической подготовки производства. В каталогах режимы указаны в достаточно широких диапазонах, что затрудняет выбор их оптимальных значений.

Перспективным направлением является расчет режима в результате постановки и решения оптимизационной задачи. Однако математические модели, описывающие взаимосвязь выходных параметров процессов механической обработки с входными, не всегда адекватно отражают эту взаимосвязь. Многие модели получены с использованием многочисленных допущений, не учитывают влияния ряда управляемых и неуправляемых факторов. Поэтому разность между расчетными значениями выходных параметров и их фактическими значениями составляет во многих случаях более 30%. Неадекватность математических моделей, связывающих входные и выходные параметры процесса, может привести к тому, что рассчитанный с использованием этих моделей режим будет далек от оптимального. При назначении режима механической обработки в условиях неопределенности информации предложено разработать математические модели и алгоритмы, предусматривающие подстройку (коррекцию) параметров моделей, связывающих входные и выходные параметры процесса, по данным текущей информации о выходных параметрах. Предполагается разработать план варьирования управляемыми параметрами

(факторами) технологического процесса, при реализации которого эти факторы приблизятся к оптимальному уровню.

Сущность методики заключается в следующем. При назначенных или рассчитанных элементах режима X_j^0 фиксируют значения выходных параметров $Y_i^{0\phi}$. Если значение хотя бы одного выходного параметра превышает заданные (предельные) значения, то необходима коррекция режима, чтобы исключить появление бракованных деталей [1]. Если фактические значения выходных параметров не достигают предельных значений, то режим обработки можно интенсифицировать, повысив тем самым производительность при обеспечении заданного качества детали. Для приближения назначенного режима к оптимальному уровню определяют интервалы варьирования управляемыми факторами:

$$\Delta X_j = \frac{Y_{imax} - Y_i^{0\phi}}{k \cdot \frac{\partial Y_i}{\partial X_j}},$$

где k – коэффициент; Y_{imax} – предельное значение i -го выходного параметра; $Y_i^{0\phi}$ – фактическое значение i -го выходного параметра при начальных значениях управляемых факторов X_j^0 ; $\frac{\partial Y_i}{\partial X_j}$ – частная производная, показывающая степень влияния j -го управляемого фактора на i -й выходной. Производные получают, дифференцируя математические зависимости, связывающие выходные и входные параметры.

Управляемый параметр X_j изменяют на величину ΔX_j и получают новые значения управляемых параметров, при которых производят обработку заготовок и фиксируют значения выходных:

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

Унянин Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор. E-mail: a_un@mail.ru

Финагеев Павел Рамдисович, инженер-конструктор. E-mail: pavel_finageev@mail.ru

Если в качестве управляемых использовать два параметра – подачу S и скорость резания V , то зависимости для их расчета имеют вид:

$$\begin{aligned} S^1 &= S^0 + \Delta S; \\ V^1 &= V^0 + \Delta V. \end{aligned}$$

На рис. 1 показано расположение точек плана варьирования двумя управляемыми факторами (S и V). Элементы режима (S^0 и V^0) предварительно назначают по нормативам, выбирают по каталогу инструмента, или рассчитывают. На этом режиме обрабатывают заготовки, а затем измеряют выходные параметры.

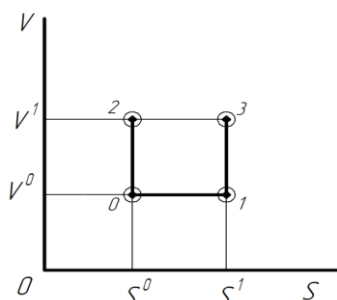


Рис. 1. Расположение точек плана варьирования управляемыми параметрами S и V

Если значения выходных параметров не превышают предельные значения, то можно ужесточить режим обработки (увеличить скорость резания и (или) подачу), что позволит повысить производительность обработки. Ориентируясь на результаты расчета ΔX_j , и исходя из возможностей оборудования, выбирают план варьирования управляемыми параметрами. Если принять решение варьировать вначале подачей S , получим точку 1 на плане с координатами S^1 и V^0 . Если фактические значения выходных параметров в этой точке значительно отличаются от расчетных в сторону увеличения, то последующую обработку заготовок проводят при подаче S^0 и скорости V^1 (точка 2 на рис. 1). В случае, если выходные параметры в точке 1 не превышают расчетные значения, последующую обработку осуществляют при подаче S^1 и скорости V^1 (точка 3). Этот режим будет ближе к оптимальному, чем предварительно назначенный.

При необходимости выполняются последующие шаги коррекции, пока один из параметров не приблизится к предельному значению. На последующих шагах производные $\frac{\partial Y_i}{\partial X_j}$, показывающие

степень влияния j -го управляемого фактора на i -й выходной, получают, используя фактические значения выходных параметров.

Выходными параметрами процесса механической обработки являются параметры качества детали: геометрические параметры (точность линейных и угловых размеров, точность формы, шероховатость и др.) и физико-механические свойства поверхностного слоя (микротвердость, остаточные напряжения и др.). Для апробации методики при точении наружных цилиндрических поверхностей заготовок 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.

Средняя высота неровностей профиля обработанной поверхности при всех методах механической обработки определяется зависимостью [2, 3]:

$$Rz = h_1 + h_2 + h_3 + h_4,$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – составляющие профиля шероховатости, обусловленные геометрией и кинематикой перемещения рабочей части режущего инструмента, относительными колебаниями инструмента и заготовки, пластическими деформациями в зоне контакта инструмента и заготовки и шероховатостью рабочих поверхностей инструмента соответственно. В том случае, когда главный () и вспомогательный () углы в плане режущего клина составляют $\geq \arcsin \frac{S}{2 \cdot r}$ и $\geq \arcsin \frac{S}{2 \cdot r}$, составляющую h_1 зависимости можно определить [2, 3]:

$$h_1 = \frac{S^2}{8 \cdot r},$$

где S – подача, мм/об; r – радиус при вершине режущего клина инструмента, мм.

Составляющая профиля шероховатости h_2 при точении определяется амплитудой колебаний вершины резца относительно обрабатываемой поверхности вследствие контакта с исходным микрорельефом и неравномерностью предела прочности материала заготовки на различных участках обрабатываемой поверхности:

$$h_2 = \frac{10 \cdot C_p \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{p_1} \cdot \left(\left(\frac{b^{max}}{750} \right)^m \cdot t^x - \left(\frac{b^{min}}{750} \right)^m \cdot (t - Rz_{\text{И}})^x \right)}{j_{\text{т.с.}}},$$

где C_p, y, n, x – эмпирические коэффициенты; $K_{p_1} = K_p \cdot K_{p_2} \cdot K_{p_3} \cdot K_{p_4}$ – поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих фактические условия резания [4]; V – скорость резания, м/мин; t – глубина резания, мм; $Rz_{\text{И}}$ – средняя высота неровностей

профиля по десяти точкам обрабатываемой поверхности, мм; b^{min}, b^{max} – минимальный и максимальный предел прочности материала заготовки, МПа; $j_{\text{т.с.}}$ – жесткость технологической системы, Н/мм.

Составляющую h_3 при $\geq \arcsin \frac{S}{2r}$ и $\geq \arcsin \frac{S}{2r}$ определяют по зависимости [3]

$$h_3 = \frac{b_{сдв} \cdot (2S + b_{сдв})}{32 \cdot r}$$

где $b_{сдв}$ – величина пластического оттеснения, мм, которая при лезвийной обработке определяется по формуле [3]:

$$b_{сдв} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{c}{\sqrt{c^2 + r^2}} \right),$$

где c – прочность обрабатываемого материала на сдвиг, МПа; r – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; r – радиус вспомогательной режущей кромки, мм.

Прочность материала на сдвиг связана с пределом прочности b зависимостью

$$c = \frac{b}{\sqrt{3}}$$

Составляющая h_4 при точении определяется средней высотой профиля шероховатости вершины резца $Rz_{вр}$, т.е. $h_4 = Rz_{вр}$.

$$\frac{\partial Ra}{\partial V} p = \frac{2 \cdot C_p \cdot S^y \cdot n \cdot V^{n-1} \cdot K_{p1} \cdot \left(\left(\frac{\sigma_b^{max}}{750} \right)^m \cdot t^x - \left(\frac{\sigma_b^{min}}{750} \right)^m \cdot (t - Rz_{И})^x \right)}{j_{т.с.}};$$

$$\frac{\partial Ra}{\partial S} p = \frac{2 \cdot y \cdot C_p \cdot S^{y-1} \cdot V^n \cdot K_{p1} \cdot \left(\left(\frac{\sigma_b^{max}}{750} \right)^m \cdot t^x - \left(\frac{\sigma_b^{min}}{750} \right)^m \cdot (t - Rz_{И})^x \right)}{j_{т.с.}} + \frac{0,0125 \cdot b_{сдв}}{r} + \frac{0,05 \cdot S}{r}.$$

Фактические значения производных после фиксации значений выходных параметров в точках 1 и 2 плана по рис. 1:

$$\frac{\partial Ra}{\partial S} \phi = \frac{Ra_{\phi}^1 - Ra_{\phi}^0}{S^1 - S^0}; \quad \frac{\partial Ra}{\partial V} \phi = \frac{Ra_{\phi}^2 - Ra_{\phi}^0}{V^1 - V^0};$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial S} \phi = \frac{\omega_{\phi}^1 - \omega_{\phi}^0}{S^1 - S^0}; \quad \frac{\partial \omega}{\partial V} \phi = \frac{\omega_{\phi}^2 - \omega_{\phi}^0}{V^1 - V^0}.$$

$Ra_{\phi}^1, \omega_{\phi}^1, Ra_{\phi}^2, \omega_{\phi}^2$ – фактические значения выходных параметров в точках 1 и 2 плана соответственно; $Ra_{\phi}^0, \omega_{\phi}^0$ – фактические значения параметров при начальных значениях управляемых факторов.

Разработана методика назначения режима токарной обработки и программное обеспечение на языке программирования Delphi, который используется в одноимённой среде разработки Delphi 7. На рис. 2 представлен интерфейс разработанной программы.

Если не выполняются какие-либо условия, то программа выдает рекомендации по коррекции исходных данных. В программе имеется вкладка «Классификатор ошибок» (рис. 3), которая дает пользователю более полное представление о проблеме, возникшей при расчёте. Программа «Назначение режима точения в условиях неопределенно-

Погрешность диаметрального размера определим по зависимости:

$$\omega = \omega_j + \omega_{и} + \omega_{\phi} + \omega_{\theta}$$

где j – погрешность, вызванная упругими деформациями элементов технологической системы; $и$ – погрешность, обусловленная размерным износом инструмента; ϕ – погрешность, связанная с геометрическими неточностями станка; θ – погрешность от температурных деформаций технологической системы.

Погрешность от температурных деформаций системы принимают в пределах 10...15% от суммы остальных погрешностей, т.е.:

$$\omega_{\theta} = 0,125 \cdot (\omega_j + \omega_{и} + \omega_{\phi})$$

Методика определения составляющих погрешности диаметрального размера заготовок при точении приведена в работе [5]. Расчетные значения производных, показывающие степень влияния j -го управляемого фактора на i -й выходной, получают, дифференцируя вышеприведенные математические зависимости. Например

сти технологической информации» зарегистрирована в государственном Реестре программ для ЭВМ [6].

Исследование эффективности разработанной методики осуществляли при следующих условиях. Обработку точением наружных цилиндрических поверхностей заготовок диаметром 75 мм, консольно закрепленных в патроне, осуществляли проходным резцом со сменной многогранной пластиной из сплава T15K6 на токарно-винторезном станке TOS SUI-40. Геометрические параметры пластины: $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 45^\circ$; $r = 2$ мм; передний угол $\gamma = 0^\circ$; угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$. Материал заготовок – сталь 45; глубина резания $t = 0,5$ мм. Физико-механические свойства материалов заготовки и державки резца были выбраны из справочников [4, 7]. Заданное (предельно допустимое) значение параметра шероховатости $Ra = 2,5$ мкм; допуск диаметрального размера $T = 0,16$ мкм.

Предварительно были рассчитаны элементы режима резания по формулам теории резания и нормативам, приведенным в справочнике технолога-машиностроителя [4] и скорректированы по паспортным данным станка: $S^0 = 0,15$ мм/об; $V^0 = 282$ м/мин.

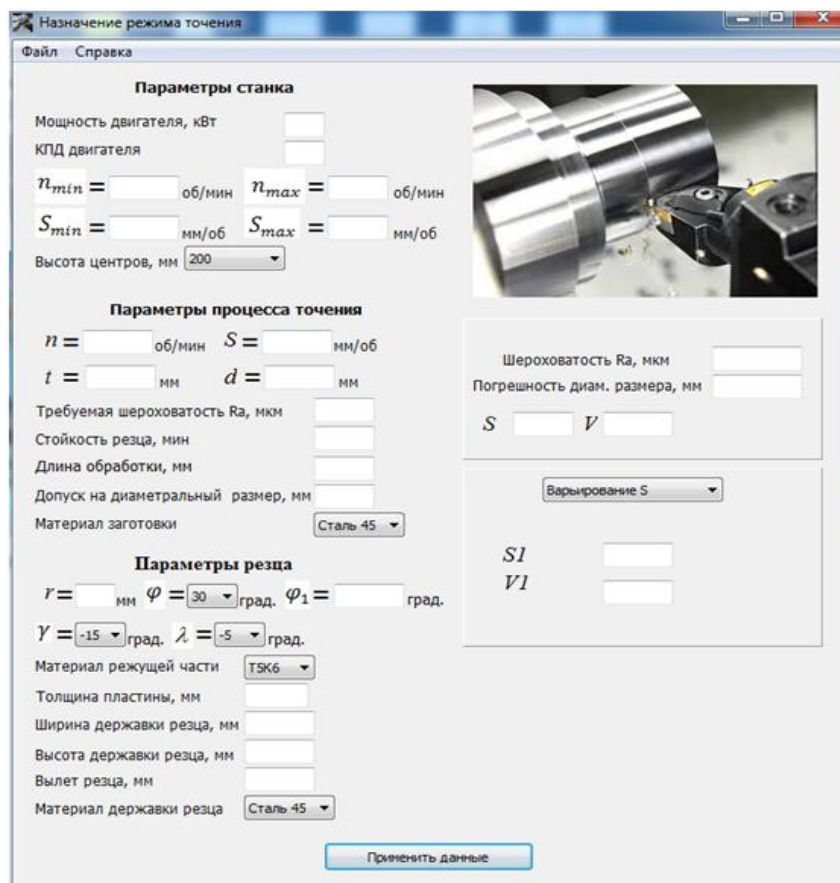


Рис. 2. Интерфейс программы

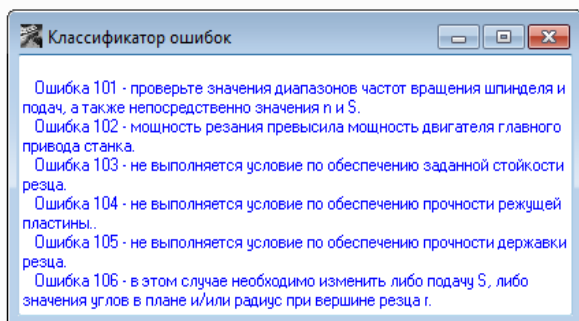


Рис. 3. Вкладка «Классификатор ошибок»

Выполнив измерение параметра шероховатости Ra и диаметров цилиндрических шеек обработанных заготовок, получили фактические значения выходных параметров: $Ra_{\phi}^0 = 0,8$ мкм и $\omega_{\phi}^0 = 0,07$ мкм. Фактические значения обоих выходных параметров значительно ниже их предельных значений, поэтому имеется возможность интенсифицировать значения элементов режима с целью повышения производительности. Программа составлена таким образом, что пользователь имеет возможность выбрать план варьирования управляемыми факторами, реализация которого позволит приблизить эти факторы к оптимальному уровню. Возможно варьирование одним из управляемых факторов (только подачей или скоростью), либо обоими.

Когда принято решение варьировать лишь подачи, программа выдала ее скорректированное значение $S^1 = 0,496$ мм/об. Исходя из паспортных данных станка подача принята равной $S^1 = 0,45$ мм/об. При данном значении подачи фактические значения выходных параметров равны $Ra_{\phi}^1 = 2,55$ мкм и $\omega_{\phi}^1 = 0,118$ мм. Поскольку фактическое значение параметра шероховатости превышает его заданное значение, режим корректируется повторно. Программа выдаёт скорректированное значение подачи $S^1 = 0,447$ мм/об и после коррекции по паспортным данным станка выбирается $S^1 = 0,405$ мм/об. После обработки заготовок с такой подачей фактические значения выходных параметров равны $Ra_{\phi}^1 = 2,21$ мкм и $\omega_{\phi}^1 = 0,118$ мм. Обработка с такой подачей ($S^1 = 0,405$ мм/об) в сравнении с обработкой с подачей $S^0 = 0,15$ мм, рекомендуемой нормативами [4], позволяет повысить производительность обработки в 2,7 раза при обеспечении заданных параметров качества детали.

При варьировании подачей и скоростью после двух итераций получены значения элементов режима $S^1 = 0,375$ мм/об и $V^1 = 242$ м/мин и фактических значений выходных параметров $Ra_{\phi}^2 = 2,4$ мкм и $\omega_{\phi}^2 = 0,142$ мм. В данном случае скорость резания уменьшена, что обеспечивает возможность увеличить период стойкости инструмента. Использование скорректированного режима в данном случае

позволило увеличить минутную скорость подачи а, следовательно, и производительность в 2,15 раза.

Выводы: предложена методика назначения режима механической обработки, предусматривающая коррекцию моделей, связывающих выходные и входные параметры процесса и разработан план варьирования управляемыми факторами. Использование разработанной методики и программного обеспечения позволяет повысить производительность процесса точения при обеспечении качества обработанных деталей.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Унянин, А.Н. Коррекция параметров математических моделей процесса механической обработки при назначении режима / А.Н. Унянин, Е.А. Семлюков // Физические основы высокоскоростной обработки и технологическое обеспечение компьютерных технологий в машиностроении: мат-лы междунар. молодежной школы-семинара (г. Ульяновск, 12-15 мая 2011 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2011. С. 80-85.
2. Сулов, А.Г. Технология машиностроения: учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2007. 430 с.
3. Сулов, А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Сулов, В.Ф. Безязычный, Ю.В. Панфилов и др. – М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
4. Дальский, А.М. Справочник технолога машиностроителя: в 2-х томах / А.М. Дальский, А.Г. Сулов, А.Г. Косилова и др. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
5. Унянин, А.Н. Определение производственной погрешности диаметральных размеров заготовок при токарной обработке в процессе выполнения размерного анализа технологического процесса / А.Н. Унянин, Е.А. Семлюков // Физические основы высокоскоростной обработки и технологическое обеспечение компьютерных технологий в машиностроении: мат-лы междунар. молодежной школы-семинара (г. Ульяновск, 12-15 мая 2011 г.). – Ульяновск: УлГТУ, 2011. С. 85-92.
6. Свидетельство № 2016611185 о государственной регистрации программы на ЭВМ. Назначение режима точения в условиях неопределенности технологической информации / А.Н. Унянин, П.Р. Финагеев. – Оpubл. 27.01.2016.
7. Арзамасов, Б.Н. Справочник по конструкционным материалам: справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 640 с.

DEVELOPMENT AND APPROBATION THE TECHNIQUE OF ASSIGNMENT THE MODE OF MACHINING IN THE CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL INFORMATION UNCERTAINTY

© 2017 A.N. Unyanin¹, P.R. Finageev²

¹Ulyanovsk State Technical University

²JSC "Frest", Ulyanovsk

The technique of assignment the mode of machining providing correction of the models, connecting output and input parameters of process according to the current information of output parameters is offered. The plan of variation the managed factors of engineering procedure allowing to bring closer these factors to optimum level is developed. With use of the developed program researches the efficiency of a technique in case of correction the mode of turning calculated by formulas of the theory of cutting are conducted. Use of the corrected mode allows to increase performance of handling in case of quality assurance of the processed detail.

Key words: *technique, turning, mode, roughness, error, technological information*

Alexander Unyanin, Doctor of Technical Sciences,
Professor. E-mail: a_un@mail.ru
Pavel Finageev, Engineer-designer. E-mail:
pavel_finageev@mail.ru