

Анализ надежности режущего инструмента

В. Б. Чернявский¹, П. В. Булычев²

¹кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий в машиностроении, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: vb_chernyavskiy@vyatsu.ru

²магистрант кафедры технологии машиностроения, Вятский государственный университет.

Россия, г. Киров. E-mail: bulychev_p@mail.ru

Аннотация. Развитие инструментального производства неразрывно связано с повышением надежности процесса обработки. От качества, работоспособности и надежности режущих инструментов в значительной степени зависит точность обрабатываемой детали, производительность и эффективность процесса обработки, в особенности при автоматизированном производстве в условиях гибких производственных систем.

Целью статьи является оценка надежности режущего инструмента, выраженной через вероятность обеспечения требуемого уровня стойкости режущего инструмента. Задача заключается в разработке математической модели зависимости оценки надежности режущего инструмента от параметров резания. Ведущим подходом в построении математической модели зависимости оценки показателя надежности является аппарат прикладной теории вероятностей. В результате получены соотношения, позволяющие на основе интерпретации параметров резания как случайных величин, а определяющего надежность параметра как функции случайных величин производить анализ надежности процесса резания. Указанные соотношения позволяют ставить и решать обратную задачу, а именно, задавшись определенным требуемым уровнем надежности, определять оптимальные параметры процесса резания.

Ключевые слова: надежность режущего инструмента, режимы резания, обрабатываемый материал, материал инструмента, случайные величины и их числовые характеристики, вероятность.

Введение. Развитие инструментального производства является одной из важнейших задач машиностроения. От качества, работоспособности и надежности режущих инструментов в значительной степени зависит точность обрабатываемой детали, производительность и эффективность процесса обработки, в особенности при автоматизированном производстве в условиях гибких производственных систем.

При работе в условиях автоматизированного производства необходимо обеспечить заданную производительность процесса резания с минимальными затратами и высоким уровнем его надежности. Высокий уровень надежности достигается различными методами. Например, нанесение износостойких покрытий, нанесение антифрикционных покрытий, гальванические методы, химические методы, химико-термические методы, физические методы, физико-термические методы, механические методы, термомеханические методы, доводка и заточка, метод электроискрового упрочнения и наращивания инструмента. Все они достаточно широко применяются в промышленности, особенно нанесение износостойких покрытий, химико-термические и механические методы. Повышение режущей способности инструментов возможно несколькими методами одновременно или последовательно для получения наибольшего эффекта.

Одним из важных показателей, характеризующих надежность режущего инструмента, является стойкость. Основными параметрами, от которых зависит стойкость, являются: скорость резания, обрабатываемый материал, материал резца, глубина резания, подача, геометрия резца, охлаждение резца, жесткость станка, приспособления резца и заготовки. В связи с этим для решения задачи обеспечения высокого уровня надежности обработки резанием необходима ее количественная оценка.

Цель исследования. Целью исследования является оценка надежности режущего инструмента, выраженной через вероятность обеспечения требуемого уровня стойкости режущего инструмента.

Задача исследования. Задача исследования заключается в разработке математической модели зависимости оценки надежности режущего инструмента от параметров резания.

Ведущий подход. Задачу будем решать в вероятностной постановке, поскольку как стойкость режущего инструмента, так и параметры, ее определяющие, имеют случайную природу. Как правило, зависимость стойкости режущего инструмента от параметров резания определяются опытным путем. В частности, в качестве такой зависимости известна эмпирическая зависимость скорости резания от остальных параметров резания [3, с. 261]:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v \quad (1)$$

Отсюда следует, что стойкость режущего инструмента, а именно токарного резца, можно рассчитать по формуле:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v}{v \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v} \quad (2)$$

где v – скорость резания, мм/мин.; t – глубина резания, мм; s – подача, мм/об.; C_v – коэффициент для расчета скорости резания; K_v – коэффициент, учитывающий условия обработки; y – показатель степени, учитывающий интенсивность влияния s на период стойкости инструмента; x – показатель степени, учитывающий интенсивность влияния t на период стойкости инструмента; m – показатель относительной стойкости.

Коэффициент K_v рассчитывается по формуле:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{пв} \cdot K_{ив} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r \quad (3)$$

где $K_{пв}$ – коэффициент, учитывающий состояния поверхности; $K_{ив}$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента; K_{φ} – коэффициент, учитывающий углы в плане; K_{rv} – коэффициент, учитывающий радиус при вершине; $K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n$ – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, K_r, n – коэффициенты, учитывающие материал заготовки и инструмента [3, с. 261].

Таким образом, стойкость можно записать как функцию

$$Y = F(\bar{x}) \quad (4)$$

где $\bar{x} = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ – вектор параметров процесса резания (скорость резания, подача, степенные показатели в формуле стойкости резания). В дальнейшем стойкость Y будем называть определяющим параметром, вектор \bar{x} – вектором первичных параметров. Сделаем ряд предположений относительно Y и \bar{x} .

1) определяющий параметр Y является случайной величиной, распределенной по нормальному закону. Тогда функция плотности распределения вероятностей данной величины будет равна [1, с. 117]:

$$f(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (5)$$

где m_y – математическое ожидание и σ_y – среднее квадратическое отклонение случайной величины Y .

2) элементы вектора первичных параметров $(x_1, x_2 \dots x_n)$ являются независимыми случайными величинами, также распределенными по нормальному закону распределения с заданными математическими ожиданиями m_i и средними квадратическими отклонениями $\sigma_i, i = \overline{1, n}$.

Задача сводится к определению параметров распределения (5) по заданным значениям числовых характеристик распределений первичных параметров $\bar{m} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и $\bar{\sigma} = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$.

Для определения параметров случайной величины Y (m_y, σ_y) разложим функцию $F(\bar{x})$ в ряд Тейлора [4, с. 386] и оставим члены разложения до второго порядка включительно как наиболее значимые:

$$F(\bar{x}) = F(\bar{m}) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F(\bar{x})}{\partial x_i}\right)_{\bar{m}} \cdot (x_i - m_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i \partial x_j}\right)_{\bar{m}} \cdot (x_i - m_i)(x_j - m_j) \quad (6)$$

Тогда, с учетом того, что все x_i независимы и для нормального закона распределения все нечетные центральные моменты равны нулю, а $M[(x_i - m_i)^4] = 3M[(x_i - m_i)^2]^2 = \sigma_i^4, (i = \overline{1, n})$ [1, с. 121], получим:

$$m_y = M[Y] = M[F(\bar{x})] = F(\bar{m}) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i^2}\right)_{\bar{m}} \cdot \sigma_i^2 \quad (7)$$

$$\sigma_y^2 = M[(Y - m)] = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F(\bar{x})}{\partial x_i}\right)_{\bar{m}}^2 \sigma_i^2 + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial^2 F(\bar{x})}{\partial x_i \partial x_j}\right)_{\bar{m}}^2 \sigma_i^2 \sigma_j^2 \quad (8)$$

Таким образом, для вычисления значений m_y, σ_y необходимо определиться с конкретными условиями обработки (выбором числовых характеристик $\bar{m} = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ и $\bar{\sigma} = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n\}$) и произвести вычисления по формулам (7) и (8) путем подстановки вместо функции $F(x)$ правой части формулы (2).

Результаты исследования. В качестве примера для расчетов примем: заготовка – сталь 45 ГОСТ 1050-88 $\sigma_B = 170$ МПа, $\sigma_B = 640$ МПа. Сортамент по ГОСТ2590-2006 прутки $\varnothing 100_{-1,7}^{+0,6}$ мм. Инструмент – проходной резец, материал режущей части Т15К6, $\varphi = 45^\circ, r = 1$ мм [3, с. 261]. Оборудо-

вание – универсальный станок, компоновка коробки скоростей которого с геометрическим рядом $\varphi = 1,26$. Тогда допустимая погрешность частоты вращения $\pm 2,6\%$ [2, с. 6]. Значения коэффициентов и параметров резания приведены в табл. 1

Таблица 1

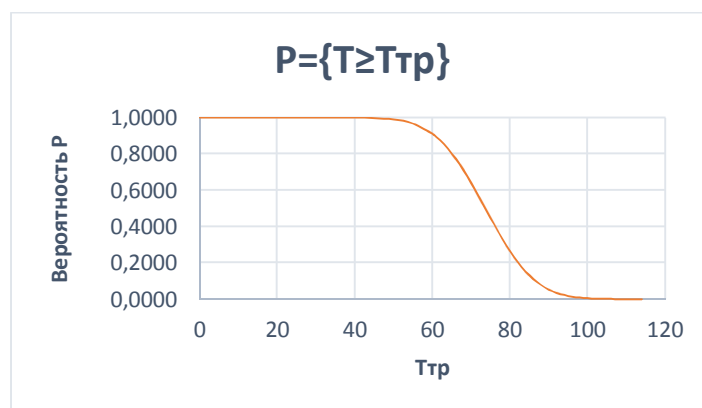
| Значения коэффициентов и режимов резания | |
|--|-------|
| C_v | 350 |
| K_v | 1,21 |
| x | 0,15 |
| y | 0,35 |
| m | 0,2 |
| $v(x_1)$ | 180 |
| $t(x_2)$ | 5 |
| $s(x_3)$ | 0,5 |
| σ_1 | 4,966 |
| σ_2 | 0,38 |
| σ_3 | 0,01 |

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_\varphi \cdot K_r = 1,17 \cdot 0,9 \cdot 1,15 = 1,21$$

где $K_{nv} = 0,9$ – коэффициент, учитывающий состояние поверхности; $K_{iv} = 1,15$ – коэффициент, учитывающий материал инструмента; $K_{\varphi} = 1$ – коэффициент, учитывающий углы в плане; K_{rv} – коэффициент, учитывающий радиус при вершине; $K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^n = 1 \cdot \left(\frac{750}{640}\right)^1 = 1,17$ – коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки, K_r, n – коэффициенты, учитывающие материал заготовки и инструмента. Коэффициенты C_v, K_v, x, y, m ввиду сугубо эмпирической природы в модели расчетов были приняты неслучайными константами. В качестве элементов вектора первичных параметров $\bar{x} = \{x_1, x_2, x_3\}$ были приняты параметры v, t и s соответственно.

Вычисление значений m_y и σ_y по формулам (7) и (8) позволяет определить функцию распределения случайной величины Y – стойкости резца. В свою очередь, это приводит к возможности определения показателя надежности резца, определенного ранее в виде вероятности события $\{T \geq T_{тр}\}$, где $T_{тр}$ – некоторое наперед заданное требуемое значение стойкости.

Анализ проведенных расчетов для заданного примера показывает, что с ужесточением требований к стойкости, т. е. с увеличением значения $T_{тр}$, показатель надежности процесса резания естественным образом падает. Например, для $T_{тр} = 55$ мин показатель надежности составляет более 95%, в то время как для $T_{тр} = 80$ мин составляет уже менее 25%. Расчетная стойкость по формуле (2) составляет 72 мин.

Рис. 1. График зависимости показателя надежности от $T_{тр}$

Выводы. Изложенный в статье подход позволяет производить оценку показателя надежности процесса резания на основе интерпретации параметров резания как случайных величин, а определяющий надежность параметр – как функцию случайных величин. Используя в дальнейшем полученные расчетные соотношения относительно показателей надежности процесса резания, можно

ставить и решать обратную задачу, а именно, задавшись определенным требуемым уровнем надежности, определять оптимальные параметры процесса резания. Иными словами, определять оптимальные режимы резания там, где необходима наиболее высокая надежность процесса обработки. Например, при проектировании гибких автоматизированных линий на базе станков с ЧПУ.

Список литературы

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М. : Наука, 1969. 564 с.
2. *Гуртяков А. М.* Расчет и проектирование металлорежущих станков : учебное пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. 136 с.
3. *Косилова А. Г., Мецерыков Р. К.* Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2. М. : Машиностроение, 1985. 496 с.
4. *Смирнов В. И.* Курс высшей математики. Т. 1. М. : Наука, 1974. 480 с.

Analysis of cutting tool reliability

V. B. Chernyavskiy¹, P. V. Bulychev²

¹PhD of technical sciences, associate professor of the Department of information technology in machine building, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: vb_chernyavskiy@vyatsu.ru

²master student of the Department of machine building technology, Vyatka State University. Russia, Kirov. E-mail: bulychev_p@mail.ru

Abstract. The development of tool production is inextricably linked with improving the reliability of the processing process. The quality, efficiency and reliability of the cutting tools largely determine the accuracy of the workpiece, the productivity and efficiency of the machining process, especially in automated production in flexible production systems.

The purpose of the article is to assess the reliability of the cutting tool, expressed through the probability of providing the required level of resistance of the cutting tool. The task is to develop a mathematical model of the dependence of the reliability of the cutting tool on the cutting parameters. The leading approach in the construction of a mathematical model of the dependence of the reliability index is the apparatus of applied probability theory. As a result, the relations obtained allow to analyze the reliability of the cutting process on the basis of the interpretation of cutting parameters as random variables, and determining the reliability of the parameter as a function of random variables. These relations allow us to set and solve the inverse problem, namely, given a certain required level of reliability, to determine the optimal parameters of the cutting process.

Keywords: reliability of the cutting tool, cutting conditions, processed material, tool material, random variables and their numerical characteristics, probability.

References

1. *Ventzel E. S. Teoriya veroyatnostej* [Probability theory]. M. Nauka. 1969. 564 p.
2. *Gurtyakov A. M. Raschet i proektirovanie metallovezhushchih stankov: uchebnoe posobie* [Calculation and design of machine tools: tutorial]. Tomsk. Publishing house of Tomsk Polytechnic University. 2011. 136 p.
3. *Kosilova A. G., Meshcheryakov R. K. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Handbook of mechanical engineer]. In 2 vol. Vol. 2. M. Mashinostroenie (Machine building). 1985. 496 p.
4. *Smirnov V. I. Kurs vysshej matematiki* [Course of higher mathematics]. Vol. 1. M. Nauka. 1974. 480 p.