УДК 621.9: 658.5

Т. Г. Ивченко, канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет
Тел./Факс: +38 (062) 3050104;E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА КАК СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Представлены результаты прогнозирования параметров закона распределения стойкости режущего инструмента как случайной величины на основе прогнозирования среднего период стойкости и коэффициента ее вариации. Повышение эффективности эксплуатации режущего инструмента достигается на основе прогнозирования уровня надежности с учетом эксплуатационных свойств – прочности и износостойкости.

Ключевые слова: *режущий инструмент, стойкость, коэффициент вариации, закон распределения.*

T.G. Ivchenko

PROGNOSTICATION OF PARAMETERS OF THE CUTTING TOOL LIFE DISTRIBUTING LAW AS CASUAL VALUE

The results of the of parameters of the cutting tool life distributing law as casual value on basic of prognostication of the middle cutting tool life and coefficient of its variation. The increasing of the cutting tools effective exploitation is made by prognostication of the reliability level taking into account operating properties - strength and loading.

Key word: *cutting tool, cutting tool life, coefficient of variation, distributing law.*

1. Введение

Одним из важнейших направлений повышения эффективности механообработки является разработка теоретических основ управления процессом резания и, прежде всего, управления надежностью функционирования режущего инструмента. В связи с этим весьма актуальна разработка теоретических методов прогнозирования поведения инструмента в любых условиях эксплуатации

Согласно современным представлениям процесс резания рассматривается как сложный физико-химический механизм взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом в условиях рассеяния свойств составляющих элементов технологической системы [1]. Стохастический характер функционирования режущего инструмента обусловлен действием систематических и случайных возмущающих параметров процесса резания. К числу систематических возмущающих параметров относят закономерные изменение геометрии инструмента и режимов резания, которые вызваны конструктивными особенностями обрабатываемых деталей и кинематикой резания. К возмущающим параметрам резания, имеющим случайную природу, относят неконтролируемые изменения физико-механических свойств заготовки и инструмента, припуска, статические и динамические характеристики оборудования и технологической системы.

Закон распределения случайной величины является ее основной характеристикой [2]. При исследовании надежности режущего инструмента весьма актуальной является задача определения закона распределения его стойкости, характеризующего как безотказность функционирования самого режущего инструмента, так и технологической системы в целом. В настоящее время основной способ определения вида закона распределения и его параметров – экспериментальный. В результате экспериментальных исследований накоплено достаточно большое количество информации о законах распределения стойкости режущего инструмента в различных условиях эксплуатации [3]. Однако теоретические методы прогнозирования параметров законов распределения практически отсутствуют.

Существующие в настоящее время теоретические методы оценки надежности режущего инструмента на основе вероятностной модели отказов сборного режущего инструмента [4, 5] требуют дальнейшего развития.

Цель работы – разработка методики теоретического определения параметров закона распределения стойкости режущего инструмента, как случайной величины на основании прогнозируемого в зависимости от условий эксплуатации среднего периода стойкости и коэффициента ее вариации.

2. Основное содержание и результаты работы

В представляемой работе предлагается методика теоретического определения параметров наиболее распространенного для режущего инструмента закона Вейбулла распределения стойкости. Для закона Вейбулла распределения стойкости режущего инструмента вероятность безотказной работы *P(t)* и плотность распределения *f(t)* равны:

$$P(t) = e^{-(t/a)^b}; \qquad f(t) = b/a\,(t/a)^{(b-1)}\,e^{-(t/a)^b}, \tag{1}$$

где *a, b* - параметры масштаба и формы закона распределения стойкости.

Параметр масштаба *a* определяется средним периодом стойкости *T* в зависимости от параметра *b*

$$a = T/\Gamma(1+1/b). \tag{2}$$

Параметр *b* взаимосвязан с коэффициентом вариации стойкости *V*:

$$V = \sqrt{\left[\Gamma(1+2/b) - \Gamma^2(1+1/b)\right]}\Big/\Gamma(1+1/b). \tag{3}$$

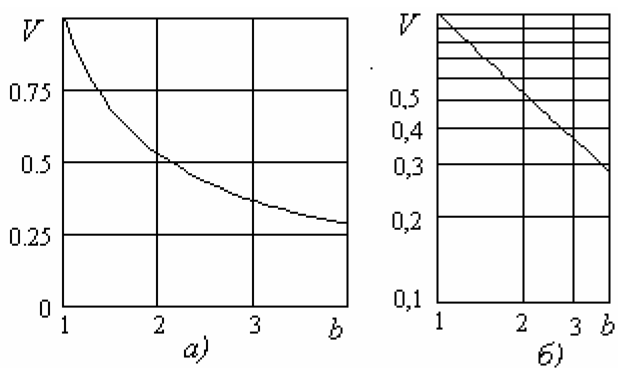

Рис. 1. Графики зависимости коэффициента вариации *V* от параметра формы закона распределения *b* в нормальной - *а)* и логарифмической - *б)* системах координат.

Для определения параметра формы *b* по известному коэффициенту вариации *V* целесообразно установить обратную связь *b*(*V*). На рис. 1 представлены графики зависимости коэффициента вариации *V* от параметра формы закона распределения *b* в нормальной - *а)* и логарифмической - *б)* системах координат.

Представленный в логарифмической системе координат график зависимости коэффициента вариации *V* от параметра *b* имеет линейный характер и может быть описан следующим образом:

$$\ln V = -0{,}916 \ln b\,;\ b(V) = \exp\left(-1{,}092 \ln V\right) \tag{4}$$

Полученная зависимость *b*(*V*) позволяет аналитически определять величину параметра формы закона Вейбулла *b* по известному коэффициенту вариации *V*.

Средний период стойкости *T* с учетом отказов, связанных с разрушением, определяется следующим образом:

$$T = T_н \left(1 - \alpha\ q_p\right), \tag{5}$$

где $T_н$ – нормативный средний период стойкости, определяемый по известным стойкостным зависимостям; $\alpha = 1 - T_p / T_н$ - коэффициент, учитывающий соотношение - среднего период стойкости до разрушения T_p с нормативным; q_p - вероятность разрушения.

Наличие отказов, связанных с разрушением, приводит не только к уменьшению средней стойкости, но и изменяет ее рассеивание. Установленная зависимость коэффициента вариации стойкости режущего инструмента от вероятности разрушения имеет вид:

$$V = \sqrt{V_H^2 + q_P^2} \Big/ \left(1 - \alpha\ q_P\right), \tag{6}$$

где V_H - коэффициент вариации нормативного периода стойкости.

Прогнозирование среднего периода стойкости и коэффициента ее вариации осуществляется с использованием установленных закономерностей влияния условий эксплуатации и времени функционирования режущего инструмента на вероятность его разрушения [1].

Для нормального закона распределения показателей прочности и нагрузки установлена вероятностная модели разрушения режущего лезвия при линейном изменении во времени их средних значений:

$$q_p(\tau) = 1 - \Phi\left[-(\eta - 1 - c\tau) \Big/ V\sqrt{(\eta^2 + 1)}\right]\ , \tag{7}$$

где $\eta = P_{ин}/P_z$ - коэффициент безопасности, равный отношению показателей прочности и нагрузки; *c* – коэффициент интенсивности изменения прочности и нагрузки во времени, характеризующий общую суммарную скорость изменения прочности и нагрузки в отношении к действующей нагрузке: $c = (c_1 + c_2)/P_z$; c_1, c_2 - соответственно скорости изменения нагрузки и прочности в линейных уравнениях: $P_z(\tau) = P_z + c_1\tau$; $P_{ин}(\tau) = P_{ин} - c_2\tau$ [2].

Вероятности безотказной работы инструмента до его разрушения для нормальных законов распределения прочности и нагрузки:

$$P_p(\tau)=1-q_p(\tau)=\Phi\left[-((\eta-1)/c-\tau)\Big/V\sqrt{(\eta^2+1)}\right] . \qquad (8)$$

Как следует из представленных зависимостей, закон распределения стойкости до разрушения в случае нормального распределения прочности и нагрузки также нормальный с параметрами T_p – средним значением периода стойкости до разрушения и S_p - среднеквадратичным отклонением, определяемыми по известным параметрам η и c:

$$T_p=(\eta-1)/c\,;\ S_p=V\sqrt{(\eta^2+1)}\,. \qquad (9)$$

На рис. 2 представлены графики плотностей распределения стойкости до износа $T_u = T_н$ и стойкости до разрушения T_p.

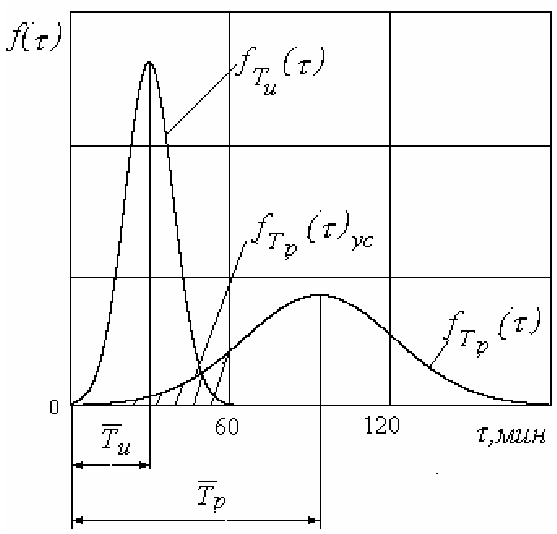

Рис. 2. Графики плотностей распределения стойкости до износа T_u и разрушения T_p

Как следует из графика, средняя стойкость до разрушения значительно превышает среднюю стойкость до износа, однако, при функционировании режущего инструмента наблюдается только заштрихованная на рис.2 усеченная часть плотности распределения стойкости до разрушения $f_p(\tau)_{ус}$. Границу усечения целесообразно принимать, считая V_H = 0,3, равной

$$T_{ус}\approx T_н+3S_н\approx 1{,}9T_н\,. \qquad (10)$$

В связи с вышеизложенным средний период стойкости до разрушения может быть определен, исходя из плотности распределения стойкости до разрушения $f_p(\tau) = dP_p(\tau)/d(\tau)$, следующим образом:

$$M[T_p]=\int_0^{T_{ус}}\tau f_p(\tau)d\tau\,. \qquad (11)$$

Экспериментальные исследования безотказности выполнены для следующих условий: обрабатываемый материал – сталь 45, материал квадратной пластины сборного резца – Т5К10, скорость резания v = 114м/мин, подача s = 0,47мм/об., глубина резания t = 4мм. Соответствующие этим режимам сила резания P_z = 5 кН, стойкость инструмента T_H = 30 мин., коэффициент ее вариации V_H = 0,3. Режимы при испытаниях резца на прочность: скорость резания v = 20 м/мин, разрушающая подача s_P = 1,51мм/об, глубина резания t = 6мм; сила резания $P_{ин}$ = 15.6кН, коэффициент ее вариации $V_П$ = 0,3. Коэффициент безопасности $\eta_б$ = 3. Экспериментальные исследования достаточно точно подтвердили результаты теоретических расчетов: $K_{тео}$.=0,75; $K_{экспер.}$=0,7.

В табл.1 представлены результаты оценки параметров закона Вейбулла по расчетным зависимостям в сравнении с экспериментальными данными, свидетельствующие о достаточно высокой точности прогноза.

Таблица 1. Оценка параметров закона Вейбулла распределения стойкости инструмента

Обрабатываемый материал, твердость	Режимы резания			Число испытаний N	Параметры закона Вейбулла			
	Скорость *V*, м/мин	Подача *S*, мм/об	Глубина *t*, мм		эксперимент.		расчетные	
					a	*b*	*a*	*b*
Сталь45 НВ163…207	95	0,70	1,8	53	39	2,7	35	2,5
Сталь20ХГНР НВ174…217	40	0,34	4,0	48	47	1,7	45	1,5
Сталь20ХГНР НВ174…217	63	0,78	2,4	41	43	1,2	40	1,3

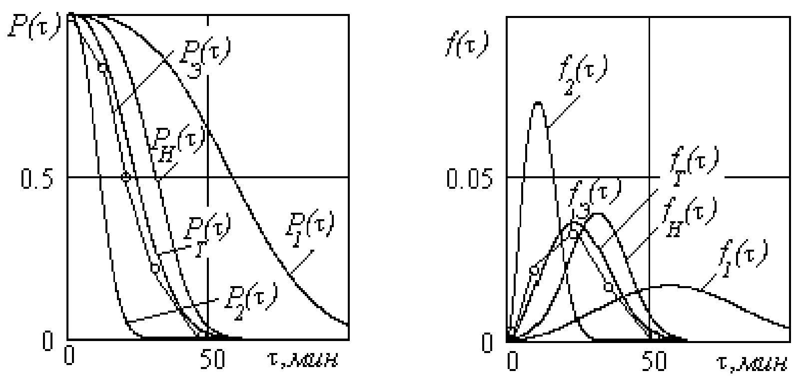

Рис. 3. Графики вероятности безотказной работы P(τ) и плотности распределения вероятности f(τ) для различных условий.

На рис. 3 представлены графики вероятности безотказной работы *P(τ)* и плотности распределения вероятности *f(τ)* для сборных резцов с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин. Экспериментальные исследования выполнены для следующих условий: обрабатываемый материал – сталь 45, инструментальный материал – Т5К10, глубина резания t= 6мм, скорость резания v = 114м/мин, подача s = 0,47мм/об. Соответствующие этим режимам нормативная стойкость инструмента $T_И$ = 30 мин, коэффициент ее вариации. Коэффициенты вариации $V_И$ = 0,3; V_P = 0,3. Коэффициент безопасности $\eta_б$ = 3. Скорость изменения нагрузки c = 1,1 $h_{кр}/T_И$.

Экспериментальные показатели $P_Э(\tau)$, $f_Э(\tau)$ достаточно хорошо совпадают с теоретическими $P_T(\tau)$, $f_T(\tau)$, рассчитанными на основании нормативных показателей $P_H(\tau)$, $f_H(\tau)$ с учетом разрушения. Здесь же представлены показатели для режимов резания, отличающихся от нормативных: $P_1(\tau)$, $f_1(\tau)$ - на 10% ниже нормативных; $P_2(\tau)$, $f_2(\tau)$ - на 10% выше нормативных.

3. Заключение

Таким образом, разработанная методика позволяет количественно прогнозировать средний период стойкости и коэффициент ее вариации, на основании которых рассчитываются параметры закона Вейбулла распределения стойкости режущего инструмента. Оценка среднего периода стойкости осуществляется на основе расчетов вероятности разрушения режущего лезвия в зависимости от условий эксплуатации инструмента с учетом эксплуатационных свойств – прочности и износостойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков В. К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. – М.: Машиностроение. 1989. – 296 с.

2. Кацев П. Г. Статистические методы исследования режущего инструмента – М.: 1974. – 241с.

3. Сборный твердосплавный инструмент / Хает Г. Л., Гах В. М., Гузенко В. С. и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 254с.

4. Ивченко Т. Г. Разработка вероятностной модели отказов сборного режущего инструмента // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТу, 2003. Вып. 24. – С.67–73.

5. Ивченко Т.Г. Разработка теоретических методов оценки надежности режущего инструмента // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск 71. – Донецк, ДонНТУ, 2004. – С.91–95

Поступила в редколлегию 10.05.2016 г.