

УДК 621.9: 658.5

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ивченко Т.Г.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Надежность режущего инструмента в значительной мере определяет и надежность функционирования технологических систем в целом. При анализе надежности режущего инструмента весьма актуально совершенствование методов ее оценки, обеспечивающих объективность и достоверность результатов при минимальных затратах на испытания.

В настоящее время имеется достаточно большое количество информации о надежности режущего инструмента в различных условиях эксплуатации. Основной способ определения показателей надежности – экспериментальный. Теоретические методы оценки надежности режущего инструмента практически отсутствуют. В ряде работ [1, 2, 3] представлены результаты исследований, позволяющие теоретически определять отдельные показатели надежности функционирования режущего инструмента – вероятности безотказной работы с учетом прочности и действующей нагрузки; среднего периода стойкости и коэффициента ее вариации; параметров наиболее распространенного для режущего инструмента закона Вейбулла распределения стойкости.

Целью представленной работы является создание теоретической методики оценки основных показателей надежности режущего инструмента в зависимости от его свойств и условий эксплуатации.

В основу методики положена разработанная стохастическая модель надежности функционирования режущего инструмента [4], позволяющая прогнозировать: вероятность появления различных видов его отказов - изнашивания и разрушения; основные показатели безотказности и долговечности - средний период стойкости и среднее число периодов стойкости, а также их рассеивание; параметры наиболее распространенных законов распределения показателей безотказности и долговечности; основные показатели безотказности и долговечности с заданным гарантированным уровнем вероятности – гамма-процентный период стойкости и гамма-процентное число периодов стойкости. В настоящей работе рассматривается вероятностная модель отказов режущего инструмента при условии нормального распределения параметров процесса резания и линейном характере их изменения во времени.

Процесс изнашивания лезвия инструмента является случайным, характеризуемый для всей совокупности реализаций износа и критерия затупления нормальными законами распределения в любой момент времени τ_i с параметрами: $h(\tau_i)$ и $h_{кр}(\tau_i)$ – средними значениями износа и критерия затупления и среднеквадратичными отклонениями σ_h и σ_{hk} .

Изменение во времени средних значений износа описывается функцией $h(\tau)$, которая с достаточной точностью в пределах зоны нормального износа может быть принята линейной с постоянной скоростью изнашивания c_h : $h(\tau) = h + c_h\tau$. Среднее значение критерия затупления $h_{кр}(\tau)$ не зависит от времени.

Вероятность отказа режущего лезвия в связи с достижением предельно допустимого износа определяется на основании сопоставления величины износа по задней поверхности $h(\tau)$ с критерием затупления $h_{кр}$ и для нормальных законов распределения износов может быть определена в зависимости от времени τ следующим образом:

$$q_{II}(\tau) = \Phi \left[- \left((h_{кр} - c_h \tau) / \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_{hk}^2} \right) \right] = \Phi \left[- (h_{кр}/c_h - \tau) c_h / \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_{hk}^2} \right],$$

где $\Phi(z)$ – нормированная функция Лапласа.

Полученное выражение позволяет от закона распределения износов перейти к закону распределения стойкости инструмента, который также является нормальным с параметрами: T_{II} – средним периодом стойкости до достижения предельно допустимого износа и σ_{II} – среднеквадратичным отклонением:

$$T_{II} = h_{кр}/c_h; \sigma_{II} = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_{hk}^2} / c_h.$$

Нагрузка, действующая на лезвие режущего инструмента и определяемая силой резания $P_z(\tau)$, а также его прочность, определяемая предельно допустимой силой $P_{ин}(\tau)$, изменяются во времени случайным образом. Вся совокупность сил, характеризующих нагрузку и прочность, характеризуется нормальными законами распределения в любой момент времени τ_i с параметрами: $P_z(\tau_i)$ и $P_{ин}(\tau_i)$ – средними значениями сил в момент времени τ_i и среднеквадратичным отклонением σ_P . Изменение во времени средних значений силы резания описывается функцией $P_z(\tau)$, которая с достаточной точностью может быть принята линейной с постоянной скоростью c_P : $P_z(\tau) = P_z + c_P \tau$. Среднее значение $P_{ин}(\tau)$ не меняется во времени.

Вероятность разрушения устанавливается на основании сопоставления уровня прочности режущего лезвия $P_{ин}$ с уровнем действующей на него нагрузки $P_z(\tau)$ и для нормального закона распределения прочности и нагрузки с коэффициентом вариации $V_P = \sigma_P / P_z$ вероятность разрушения режущего лезвия в зависимости от времени его работы равна:

$$q_P(\tau) = \Phi \left[- (\eta - 1 - c\tau) / V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} \right] = \Phi \left[- ((\eta - 1)/c - \tau) c / V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} \right],$$

где $\eta = P_{ин}/P_z$ – коэффициент безопасности, оценка которого возможна как на основании теоретических расчетов прочности инструмента и действующей на него нагрузки, так и на основании экспериментальных исследований; $c = c_P / P_z$ – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения нагрузки во времени.

Из полученной зависимости установлен нормальный закон распределения фактической стойкости до разрушения с параметрами: $T_{P\Phi}$ – фактическим средним значением периода стойкости до разрушения и $\sigma_{P\Phi}$ – среднеквадратичным отклонением, а так же коэффициентом вариации $V_{P\Phi}$:

$$T_{P\Phi} = (\eta - 1)/c; \sigma_{P\Phi} = V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} / c; V_{P\Phi} = V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} / (\eta - 1).$$

Взаимосвязь стойкости до разрушения $T_{P\Phi}$ со стойкостью до износа T_{II} при линейном характере изменения силы резания в зависимости от износа по задней поверхности может быть установлена следующим образом:

$$P_z(\tau) = P_z + c_{Ph} h(\tau) = P_z + c_{Ph} c_h \tau,$$

где c_{Ph} – коэффициент, характеризующий скорость изменения силы резания в зависимости от износа, устанавливаемый экспериментально.

Отсюда, учитывая, что $c_P = c_{Ph} c_h$, определяем $c = c_P / P_z = c_{Ph} \cdot h_{кр} / P_z T_{II}$.

Фактический средний период стойкости до разрушения $T_{P\Phi}$ в зависимости от стойкости до износа T_{II} равен:

$$T_{P\Phi} = T_{II} (\eta - 1) P_z / c_{Ph} h_{кр}.$$

В процессе функционирования режущего инструмента проявляется один из видов его отказов: инструмент либо разрушается, не достигнув предельно допустимого износа, либо снимается со станка по достижению предельно допустимого износа, при этом, не разрушившись. Поэтому в эксплуатации наблюдается не весь период фактической стойкости до разрушения, а только часть его, усеченная временем T_{yc} , которое принимается равным: $T_{yc} = T_H + 3\sigma_T$. Считая для нормального закона распределения коэффициент вариации $V_H = \sigma_H / T_H = 0,3$, получаем $T_{yc} = 1,9T_H$.

Средний период стойкости до разрушения, наблюдаемый в эксплуатации, может быть определен, исходя из плотности распределения стойкости до разрушения $f_{Tpf}(\tau)$:

$$T_P = \int_0^{1,9T_H} \frac{c}{V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} \sqrt{2\pi}} \exp \left[- (\tau - (\eta - 1)/c)^2 c^2 / 2 \left(V_P \sqrt{(\eta^2 + 1)} \right)^2 \right] d\tau .$$

Средний период стойкости T с учетом отказов, связанных как с износом режущего инструмента, так и с его разрушением, равен:

$$T = T_H q_H + T_P q_P = T_H (1 - \alpha q_P) = K T_H ,$$

где T_H – средний период стойкости, нормируемый в современной справочной литературе; $\alpha = (1 - T_P / T_H)$ – коэффициент, учитывающий соотношение среднего периода стойкости до разрушения T_P с нормативным T_H ; $K = T / T_H$ – поправочный коэффициент на нормативный период стойкости, учитывающий соотношение среднего периода стойкости T с нормативным T_H .

$$\text{Коэффициент вариации периода стойкости } V = \sqrt{V_H^2 + \alpha^2 q_P^2} / (1 - \alpha q_P) .$$

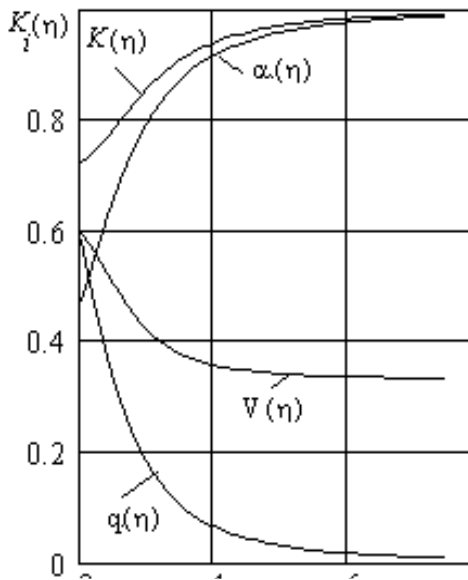


Рис.1. Влияние коэффициента безопасности η на $q(\eta)$, $V(\eta)$; $\alpha(\eta)$ и $K(\eta)$

Графики, иллюстрирующие характер влияния коэффициента безопасности η на показатели $K_i(\eta)$ – вероятность разрушения инструмента $q(\eta)$, коэффициент вариации среднего периода стойкости $V(\eta)$; коэффициенты $\alpha(\eta)$ и $K(\eta)$ представлены на рис. 1. Графики построены для $c = 0,02$, $T_H = 45$ мин, $V_H = V_P = 0,3$.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что наиболее актуально учитывать влияние коэффициента безопасности η в области его малых значений – $\eta = 2 \dots 4$. При увеличении свыше 6 обеспечивается достаточно высокий уровень надежности, практически не зависящий от η .

Полученные зависимости позволяют прогнозировать основные показатели надежности режущего инструмента в зависимости от уровня его свойств и условий эксплуатации.

Для наиболее распространенного для режущего инструмента закона Вейбулла распределения стойкости с параметрами a и b вероятность безотказной работы равна: $P(t) = \exp[-(t/$

$a)^b$]. Параметр формы b определяется в зависимости от коэффициента вариации среднего периода стойкости V : $b = \exp(-1,1 \ln V)$. Параметр масштаба a определяется средним периодом стойкости T и гамма – функцией $\Gamma(z)$ с учетом параметра b : $a = T/\Gamma(1+1/b)$.

При проектировании инструмента и решении задачи выбора нового конструктивного или технологического варианта оценивается влияние свойств износостойкости и прочности на показатели надежности в заданных условиях эксплуатации. При эксплуатации инструмента и решении задачи выбора рациональных режимов обработки оценивается влияние режимов резания на показатели надежности инструмента при заданном уровне свойств инструмента.

Анализ влияния режимов обработки на показатели надежности функционирования режущего инструмента целесообразно вести с использованием относительных показателей, характеризующих изменение скорости резания v , подачи s и глубины резания t в сравнении с нормативными значениями этих режимов, принятых за базу: $v_o = v/v_o$, $s_o = s/s_o$, $t_o = t/t_o$.

На рис. 2 представлены графики вероятности безотказной работы $P(\tau)$ и плотности распределения вероятности $f(\tau)$ для сборных резцов с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин. Экспериментальные исследования выполнены для следующих условий:

обрабатываемый материал – сталь 45, инструментальный материал – Т5К10, глубина резания $t = 6$ мм, скорость резания $v = 114$ м/мин, подача $s = 0,47$ мм/об. Соответствующие этим режимам нормативная стойкость инструмента $T_H = 30$ мин. Коэффициенты ва-

Рис. 2. Графики вероятности безотказной работы $P(\tau)$ и плотности распределения вероятности $f(\tau)$ для различных условий эксплуатации

риации $V_H = 0,3$; $V_P = 0,3$. Коэффициент безопасности $\eta_o = 3$. Скорость изменения нагрузки $c = 1,1 h_{кр}/T_H$.

Экспериментальные показатели $P_{\text{э}}(\tau), f_{\text{э}}(\tau)$ 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.

Для рассмотренного закона Вейбулла гамма-процентный период стойкости, или стойкость с заданной вероятностью T_γ , а также гамма – процент $\gamma\%$, характеризующий требуемый уровень безотказности режущего инструмента равны соответственно:

$$T_\gamma = T[-\ln(\gamma/100)]^{1/b} / \Gamma(1+1/b), \quad \gamma = 100 \exp\left[-\left[\frac{T_\gamma}{T}\right] \cdot \Gamma(1+1/b)^b\right].$$

На рис. 3 представлены графики зависимости гамма – процента γ от относительных показателей скорости резания v_o , подачи s_o и глубины резания t_o , позволяющие прогнозировать изменение уровня надежности при изменении режимов резания.

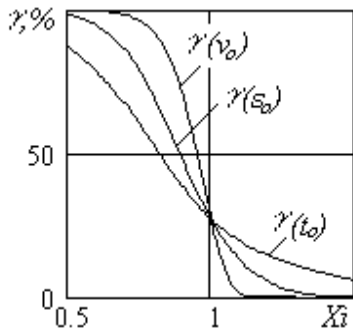


Рис. 3. Влияние скорости v_o , подачи s_o и глубины резания t_o на гамма – процент $\gamma\%$.

Из графиков следует, что наибольшую степень влияния при прочих постоянных параметрах имеет скорость резания v_o , следующий по степени влияния параметр – подача s_o и наименьшее влияние оказывает глубина резания t_o . Параметры долговечности инструмента оцениваются аналогично.

Таким образом, разработана и экспериментально проверена методика количественной оценки вероятности разрушения режущего инструмента по соотношению уровней его прочности и действующей нагрузки. Полученные зависимости позволяют уже на стадии проектирования и изготовления инструмента прогнозировать возможные неблагоприятные отказы в эксплуатации – сколы, выкрашивания и поломки, а также рассчитывать показатели его надежности с учетом вероятности изнашивания и разрушения.

На основании разработанной методики может осуществляться оценка эффективности конструктивных и технологических мероприятий, повышающих прочность и износостойкость инструмента. Критерием оценки в этом случае является снижение прогнозируемой для реальных условий эксплуатации вероятности его разрушения. Установленные зависимости позволяют усовершенствовать методику выбора рациональных режимов резания с учетом их влияния на вероятность разрушения инструмента, а также нормировать уровень режимов эксплуатации, обеспечивающих заданный уровень надежности.

Список литературы: 1. Ивченко Т.Г., Клименко Г.П., Васильченко Я.В. Прогнозирование вероятности безотказной работы режущего инструмента с учетом его прочности и действующей нагрузки. Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Вып. 6. – Краматорск: ДГМА, 1996. – С. 171-176. 2. Ивченко Т.Г. Оценка вероятности разрушения инструмента в зависимости от условий его эксплуатации // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип. 10. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 9-14. 3. Ивченко Т.Г. Прогнозирование параметров закона Вейбулла распределения стойкости режущего инструмента // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Вип. 11. – Краматорськ: ДДМА, 2002. – С. 24-27. 4. Ивченко Т.Г. Разработка вероятностной модели отказов сборного режущего инструмента // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Вып. 24. – Донецк: ДонНТУ, 2003. – С. 67-73.

РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ
РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Ивченко Т.Г.

Представлена методика теоретической оценки показателей надежности режущего инструмента, позволяющая определять эффективность конструктивно-технологических мероприятий по повышению износостойкости и прочности инструмента на стадиях его проектирования и изготовления, а также прогнозировать работоспособность инструмента в зависимости от условий механообработки при его эксплуатации.

РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Ивченко Т.Г.

Представлена методика теоретичної оцінки показників надійності різального інструменту, що дозволяє визначати ефективність конструктивно-технологічних засобів по підвищенню зносостійкості та міцності інструменту під час його проектування та виготовлення, а також прогнозувати надійність інструменту в залежності від умов механообробки під час його експлуатації.

DEVELOPMENT OF THEORETICAL METHODS OF THE CUTTING TOOL RELIABILITY ESTIMATION

Ivchenko T.G.

The technique of the theoretical estimation of the cutting tool reliability parameters is submitted. It allows to define the efficiency of the constructive - technological actions on the increase of the tool wear resistance and the durability at the stages of its designing and manufacturing, and also to predict the serviceability of the tool depending on the conditions machining at its operation.