

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОЙКОСТИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ НА ОСНОВЕ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Министерство образования  
Минск, Беларусь*

В ходе проведения лабораторных и производственных испытаний режущих инструментов для математического описания их изнашивания весьма важным и определяющим является установление и исследование статистических параметров этого процесса. К ним относятся, прежде всего, стойкость инструмента и его надежность.

Для определения статистических характеристик распределения стойкости инструмента и его надежности необходимо иметь большой экспериментальный материал. Такие испытания отличаются высокой трудоемкостью и стоимостью. Вместе с тем, оперативное определение статистических характеристик инструмента и его надежности как в момент его изготовления, так и в период эксплуатации приобретает большую актуальность.

Одним из методов получения указанных характеристик при стойкостных исследованиях является проведение ускоренных испытаний. Сокращение длительности испытаний достигается чаще всего двумя путями: применением форсированных режимов обработки при проведении экспериментов или получением исследуемых параметров на коротком участке с последующей их аппроксимацией на более длительный период. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки.

Применительно к режущему инструменту при изучении его износа наибольшее распространение получил второй метод ускорения экспериментальных работ. Накопившийся к настоящему времени экспериментальный материал подтверждает правомерность его применения. Следует подчеркнуть, что особое значение приобретают ускоренные испытания при статистическом исследовании процесса изнашивания износостойких режущих инструментов (червячных фрез, протяжек, зуборезных головок, долбяков и др.).

Результаты статистического анализа полученных нами реализаций износа червячных фрез позволяют сделать вывод о возможности применения ускоренных испытаний для получения средней стойкости и ее среднего квадратического отклонения [1]. Предпосылками этому являются:

1. Реализации износа червячных фрез представляют собой случайные последовательности асимптотически независимых приращений износа. Практически на протяжении всей реализации износа закон его распределения является нормальным уже начиная с начального периода изнашивания. Зона приработки незначительна.

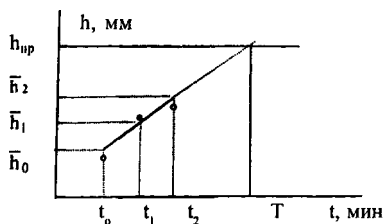


Рис. 1 Схема проведения ускоренных испытаний

2. Изменение среднего накопленного износа и его дисперсии с течением времени происходит по линейному закону.

В таком случае нет необходимости доводить червячные фрезы до установленного критерия износа. Достаточно получить 2–3 значения износа червячных фрез в моменты времени \$t\_0, t\_1\$ или \$t\_0, t\_1, t\_2\$ (рис. 1).

При определении средней стойкости (\$\bar{T}\$) и дисперсии (\$\sigma\$) по двум точкам спра-

ведливы следующие формулы:

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{h}_1 - \bar{h}_0}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

$$\bar{h}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{0i} \quad (2)$$

$$\bar{h}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{1i}, \quad (3)$$

где \$\bar{\alpha}\$ – средняя скорость износа; \$\bar{h}\_0, \bar{h}\_1\$ – средняя величина накопленного износа соответственно за время \$t\_0\$ и \$t\_1\$; \$n\$ – количество испытываемых инструментов.

Положение точки \$t\_0\$ должно выбираться при этом в начале зоны нормального износа. Положение точки \$t\_1\$ определяется в зависимости от задаваемой длительности испытаний. При зубофрезеровании приработка червячных фрез производится, как правило, за время обработки одного, двух зубчатых колес, т.е. за время \$t\_0 = 2 t\_0\$. Как показывают эксперименты, можно принять за время \$t\_1 = 2 t\_0\$. Тогда

$$\bar{T}^* = t_0 + \frac{h_{np} - \bar{h}_0}{\delta_1} \tau, \quad (4)$$

где \$\bar{T}^\*\$ – среднее значение стойкости по результатам ускоренных испытаний; \$\tau = t\_1 - t\_0\$ – время между замерами износа; \$\delta\_1 = \bar{h}\_1 - \bar{h}\_0\$ – приращение износа червячных фрез за время \$\tau\$, \$h\_{np}\$ – предельное значение износа (критерий износа).

Для нашего случая

$$\bar{T}^* = t_0 \left( 1 + \frac{\bar{h}_{np} - \bar{h}_0}{\bar{h}_1 - \bar{h}_0} \right) \quad (5)$$

Для определения дисперсии стойкости воспользуемся приближенной формулой для определения дисперсии функции независимых случайных аргументов  $\bar{h}$ , и  $\alpha$  [2]

$$\sigma_{T^*}^2 \approx \left( \frac{\partial T^*}{\partial \bar{h}_0} \right)^2 \sigma_{\bar{h}_0}^2 + \left( \frac{\partial T^*}{\partial \alpha} \right)^2 \sigma_{\alpha}^2 \quad (6)$$

Тогда

$$S_{T^*} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{S_{\bar{h}_0}^2 + (\bar{T}^* - t_0)^2 S_{\alpha}^2} \quad (7)$$

и надежность червячных фрез определится как

$$T_{zp} = \bar{T}^* - \frac{U_p}{\alpha} \sqrt{S_{\bar{h}_0}^2 + (\bar{T}^* - t_0)^2 S_{\alpha}^2}, \quad (8)$$

где  $S_{T^*}$  – среднее квадратическое отклонение стойкости по результатам ускоренных испытаний;  $S_{\bar{h}_0}^2$  – среднее квадратическое отклонение приращений начального износа за время  $t_0$ ;  $S_{\alpha}^2$  – среднее квадратическое отклонение скорости износа за интервал времени  $\tau$ ;  $U_p$  – квантиль нормального распределения, соответствующая вероятности  $p$  достижения гарантированного значения стойкости  $T_{zp}$  [3].

Точность определения  $\bar{T}^*$  по ускоренным испытаниям вычисляется по методике интервальной оценки. При этом

$$S_{\bar{T}^*} = \frac{1}{n\alpha} \sqrt{S_{\bar{h}_0}^2 + (\bar{T}^* - t_0)^2 S_{\alpha}^2}, \quad (9)$$

где  $n$  – количество испытываемых фрез.

При определении статистических характеристик по результатам измерений износа в трех точках  $t_0, t_1, t_2$  проводим аналитический вывод уравнений прямой линии по методу наименьших квадратов для накопленного износа и его дисперсии вида

$$\bar{h} = a + bt \quad (10)$$

где  $\bar{h}$  – средняя величина износа за время  $t$ ;  $a, b$  – коэффициенты, зависящие от условий зубофрезерования,

$$S_h^2 = c + d \cdot t, \quad (11)$$

где  $S_h^2$  – среднее квадратическое отклонение значений износа,  $c$  и  $d$  – коэффициенты, зависящие от условий зубофрезерования.

Для этого в каждом из взятых моментов времени определяем  $\bar{h}$  и  $S_h^2$  как

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (12)$$

$$S_h^2 = \frac{(h_i - \bar{h})^2}{n-1} \quad (13)$$

Затем, используя числовые значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  в уравнениях (10), (11), вычисляются средняя стойкость червячных фрез и ее среднее квадратическое отклонение. Точность определения  $\bar{T}$  как и в первом случае, задается интервалом ее изменения.

При равных промежутках  $t$  между замерами ускоренные испытания по второму методу занимают в 1,5 раза больше времени. Однако большее количество экспериментальных точек, по которым проводится вывод уравнений прямой линии, позволяет предположить более высокую точность определения  $\bar{T}$  и  $\sigma$  по сравнению с первым методом.

Определение статистических характеристик распределения стойкости червячных фрез по результатам ускоренных испытаний по второму методу при  $n = 30-50$  фрез дало хорошие результаты при продолжительности испытаний, равной  $3t_0$ . Однако точность и трудоемкость ускоренных испытаний зависит не только от их продолжительности, но и от количества испытываемых инструментов.

Проведенные ранее работы [4], [5] в отношении определения необходимого количества инструмента показывают, что с достаточной для практики точностью можно принимать 10–15 штук. Однако эти исследования проводились для инструментов низкой износостойкости (резцов, сверл, метчиков).

Учитывая однородность условий проведения экспериментов, высокую износостойкость червячных фрез, большое, в отличие от других инструментов, число зубьев, участвующих в резании, можно предположить, что число инструментов при проведении такого рода экспериментов уменьшится без существенной потери точности выходных результатов. Правомерность таких предположений была проверена расчетным методом. Для этого были взяты комбинации, определенные по таблице случайных чисел, из 30, 20, 15, 10, 5 реализаций износов фрез и по трем значениям накопленного износа в трех первых сечениях времени определены зависимости  $\bar{h} = f(t)$ ,  $S_h^2 = f(t)$ . И далее, используя приведенные выше формулы (10), (11), были вычислены  $\bar{T}$  и  $\sigma$ .

В результате таких исследований выяснилось, что расчетные значения статистических характеристик стойкости червячных фрез практически для всех вариантов накрываются диапазоном допустимых значений этих характеристик, полученных в результате полных испытаний. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что приведенная методика ускоренных испытаний применима к износостойкому инструменту, в том числе к червячным фрезам. Статистические характеристики стойкости червячных фрез и их надежности с достаточной точностью могут быть определены при значительном сокращении продолжительности их испытаний (до  $3t_0$ ) при использовании до 10 исследуемых фрез.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б.В. Стойкость инструмента как случайная величина//Республ. межведом. сб. "Машиностроение и приборостроение" –Мн.: Высшая школа, 1975. – Вып. 7. – 130 с.
2. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. – М.: Наука, 1965. – 340 с.
3. Щиголев Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
4. Кордонский Х.Б. и др. Вероятностный анализ процессов изнашивания. / Харач Г.М., Артамоновский В.П., Непомнящий Е.Ф. – М.: Наука, 1968. – 56 с.
5. Невельсон Р.А. Ускоренные испытания режущего инструмента на надежность. – Л., 1971.