

достаточно большом износе (0,4–0,5 мм) повышение глубины резания и подачи приводит к уменьшению  $R$ , а повышение скорости резания сопровождается увеличением  $R$ . Эти результаты следует учитывать при определении числа инструментов, необходимых для стойкостных испытаний на различных режимах резания.

УДК 620.179.188

Хак А.К.М. Нурул, А.И.Кочергин,  
канд. техн. наук, Е.П.Черкасский (БПИ)

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Известно, что износ и стойкость инструментов имеют стохастическую природу. Поэтому появляется необходимость прогнозирования средней стойкости и распределения стойкости. Разработка метода прогнозирования средней стойкости включает в себя: 1) оценку износа и стойкости инструментов на основе доведения большой их совокупности до достаточно высокого уровня износа; 2) оценку износа и стойкости инструментов по результатам ускоренных испытаний их небольшой выборки; 3) определение погрешности прогнозирования путем сравнения названных оценок средней стойкости.

Опыты выполнены при поперечном точении резцами, оснащенными пятигранными неперетачиваемыми пластинками твердого сплава Т15К6, втулок из стали 9ХС, имеющих наружный диаметр 40 мм и внутренний 18 мм. Точение выполнялось на токарно-винторезном станке модели 1А616 с режимами:  $t = 0,25$  мм,  $s = 0,065$  мм/об,  $n = 2240$  об/мин. Износ  $h$  на задней поверхности резца измерялся с помощью инструментального микроскопа через каждые 3 мин резания. Всего исследовано 30 резцов. Их периоды стойкости при износе 0,4 мм составляют 12; 13,5; 14; 14; 15; 20,5; 21; 22; 22,5; 23; 24; 24; 26; 26,5; 27; 27,5; 28; 28; 28; 29; 30; 30; 30,5; 32; 32; 32; 34,5; 41; 41; 42,5 мин.

Гипотеза о нормальном распределении периодов стойкости резцов не отвергается. Точечная оценка среднего периода стойкости  $\bar{T} = 26,2$  мин; точечная оценка дисперсии  $\sigma^2 = 57,05$ ; выборочное среднее квадратическое отклонение периодов стойкости  $\sigma = 7,53$  мин. При уровне значимости 0,05 получена интервальная оценка генерального среднего периода стойкости резцов:  $23,4 \leq T \leq 29,0$  мин. Средняя величина износа 30 иссле-

дованных резцов по окончании периода приработки изменяется практически линейно (прямая 2 на рис. 1).

Исследовались два метода прогнозирования среднего уровня стойкости. Первый метод состоит в том, что средняя стойкость определяется по результатам испытаний небольшого числа резцов, которые доводятся до окончательного износа, в рассматриваемом случае равного 0,4 мм. На основе экспериментальных данных производилось моделирование опытов, необходимых для оценки погрешностей определения средней стойкости, которая находится по первому методу. При этом из 30 испытанных резцов случайным образом выбирали по  $k$  резцов ( $k = 3, 5, 8, 10$ ).

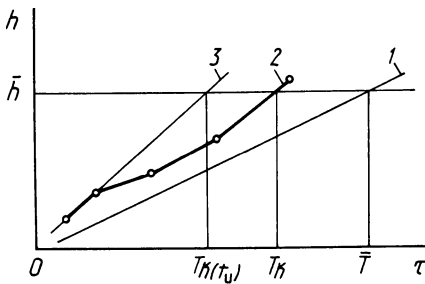


Рис. 1. Схема методов прогнозирования средней стойкости инструментов.

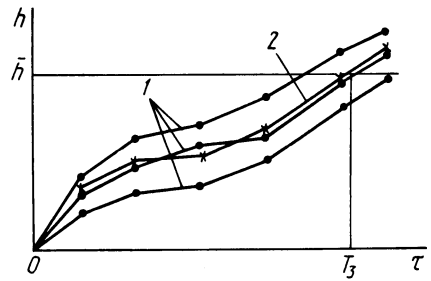


Рис. 2. Аппроксимация среднего износа трех резцов.

Изменение средней величины износа, найденной по  $k$  реализациям 1 (рис. 2), выражается ломаной 2, пересечение которой с прямой  $h = \bar{h}$  дает точечную оценку прогнозируемого среднего уровня стойкости  $T_k$  (см. рис. 1). Значения  $T_k$  и абсолютные величины  $\delta T_k$  ее отклонения от  $\bar{T}$  нашли для десяти выборок объемом  $k$  (табл. 1).

В качестве оценок точности прогноза средней стойкости принимаем остаточную сумму квадратов  $\sigma_k^2 = \frac{10}{k} \sum_{i=1}^k \delta T_{ki}^2 = \frac{10}{k} \sum_{i=1}^k (T_{ki} - \bar{T})^2$  для всех десяти выборок ( $i$  — номер выборки) и среднюю относительную ошибку  $100(\delta \bar{T}_k : \bar{T})\%$ .

С увеличением числа инструментов в выборке и соответственно продолжительности испытаний  $\tau_i \approx k T_k$  точность прогноза средней стойкости повышается. В рассматриваемом случае средняя стойкость может быть определена с относительной ошибкой 15, 9, 8 или 6% по результатам испытаний до полного износа соответственно выборки из 3, 5, 8 или 10 резцов.

Второй метод прогнозирования средней стойкости состоит в том, что испытывается небольшое число инструментов, каждый из которых не доводится до принятого критерия затупления.

Таблица 1

Номер выборки	$T_3$	$T_5$	$T_8$	$T_{10}$	$\delta T_3$	$\delta T_5$	$\delta T_8$	$\delta T_{10}$
1	33	26	30	27	6,83	0,17	3,83	0,83
2	27	32,5	28	29	0,83	6,33	1,83	2,83
3	27	31	27	29	0,83	4,83	0,83	2,83
4	30	31,5	25,5	27	3,83	5,33	0,67	0,83
5	30	27	29	28	3,83	0,83	2,83	1,83
6	27	27	29	28	0,83	0,83	2,83	1,83
7	30	25	29	29	3,83	1,17	2,83	2,83
8	32	24	27	26	5,83	2,17	0,83	0,17
9	30	27	29	27	3,83	0,83	2,83	0,83
10	34	27	27	27	7,83	0,83	0,83	0,83
Средние значения $\bar{T}_k$ и $\delta T_k$	30	27,8	28,05	27,7	3,8	2,3	2,0	1,6
Остаточные суммы квадратов $\sigma_k^2$					202,6	100,6	52,57	33,5

Продолжительность испытания складывается из периода приработки  $t_{пр}$  (рис. 3) и периода  $t_{и}$ , приходящегося на начальный участок процесса нормального изнашивания. Точка А соответствует окончанию периода приработки, точка В находится на кривой износа. Положение точек А и В определяли по средним величинам износа на основе испытаний  $k$  резцов ( $k = 3, 5, 8, 10$ ). Использовали особенность графика среднего износа, состоящую в том, что по окончании периода приработки он приближается к прямой, и экстраполировали отрезок АВ до величины износа  $h$ , принятой в качестве критерия затупления. Точке С соответствует прогнозируемый уровень стойкости  $T_{k(t_{и})}$ , где  $k = 3, 5, 8$  или 10. На рис. 1 аппроксимирующая прямая обозначена цифрой 3. Установлено, что при неизменных условиях резания длительность периода приработки выборки инструментов варьирует незначительно.

Чем меньше расстояние между точками А и В, тем меньше продолжительность испытаний по сравнению с прогнозируемым уровнем стойкости  $T_{k(t_{и})}$  и тем в большей степени будет сокращена длительность испытаний. Очевидно, при этом будет возрастать погрешность оценки стойкости  $\delta T_{k(t_{и})} = |T_{k(t_{и})} - \bar{T}|$ . Отношение  $k = T_{k(t_{и})} / (t_{пр} + t_{и})$ , которое можно назвать коэффициентом ускорения испытаний, с уменьшением  $t_{и}$  увеличивается. С целью оценки точности прогнозирования средней стойкости партии резцов по выборке объемом  $k$  при разном времени

испытаний  $t_{\text{и}}$  (5 или 10 мин) значения стойкости  $T_{\text{к}}(t_{\text{и}})$  и абсолютные значения  $\delta T_{\text{к}}(t_{\text{и}})$  их отклонений от  $\bar{T}$  нашли для десяти выборок. С увеличением суммарной продолжительности испытаний  $\zeta_{\text{и}} = k(t_{\text{пр}} + t_{\text{и}})$  точность прогноза средней стойкости повышается. В данном случае при  $t_{\text{и}} = 5$  мин средняя стойкость может быть определена с относительной ошибкой 13, 7,5 или 7% по результатам экстраполяции линейного отрезка средней кривой износа на участке нормального изнашивания, полученной соответственно для 3, 5, 8 или 10 резов.

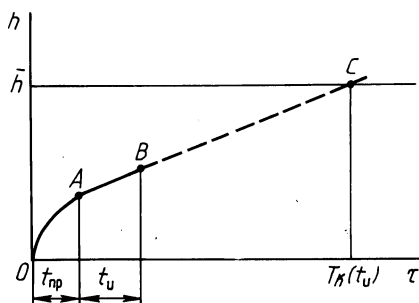


Рис. 3. Схема экстраполяции графика износа.

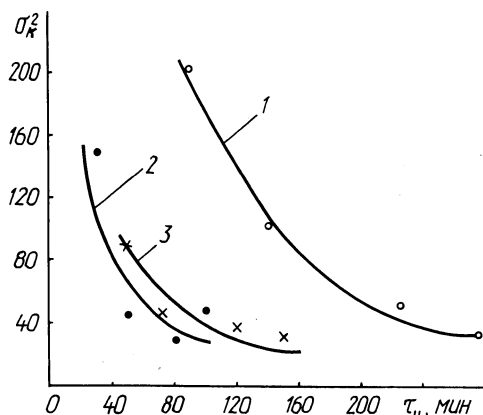


Рис. 4. Остаточные суммы квадратов в зависимости от продолжительности испытаний: 1 – при доведении износа до окончательной величины; 2, 3 – при экстраполяции начального линейного отрезка средней кривой износа соответственно при  $t_{\text{и}} = 5$  мин и  $t_{\text{и}} = 10$  мин.

На рис. 4 показаны остаточные суммы квадратов отклонений прогнозируемой средней стойкости от среднего уровня стойкости  $\bar{T}$  при различных заданных продолжительностях испытаний. Прогнозирование средней стойкости на основе экстраполяции линейного отрезка средней кривой износа на участке нормального изнашивания для достижения той же точности прогноза, что и при доведении небольшого числа инструментов до окончательного износа, требует на испытания приблизительно в три раза меньше времени. При этом увеличение времени испытаний  $t_{\text{и}}$  по окончании приработки с 5 до 10 мин не привело к повышению точности прогноза при испытаниях 5–10 инструментов, но сопровождалось возрастанием суммарного времени испытаний приблизительно в 1,5 раза. Таким образом, для ускорения испытаний твердосплавных резов следует рекомендовать метод экстраполяции.