

Система сравнительной оценки качества режущего инструмента разных производителей

Рассмотрена система сравнительной оценки качества режущего инструмента разных производителей с учетом вариабельности их периода стойкости на основе обобщенной модели отказов. Предложена форма расширенного акта испытаний режущего инструмента в производственных условиях.

Ключевые слова: режущий инструмент; сравнение; удельные затраты; период стойкости; вариабельность.

A.V. Antsev, Can. Sc. Tech

(FSBEI HE «Tula State University», 92, Lenin Avenue, Tula, 300012)

Comparative estimate system of cutter quality of different manufacturers

A comparative estimate system of cutter quality of different manufacturers taking into account a variability of their durability period based on a generalized model of failures is considered. There is offered a form of an extended act of cutter tests under production conditions.

Keywords: cutter; comparison; unit costs; durability period; variability.

Введение

Для обеспечения эффективной эксплуатации режущего инструмента при производстве продукции машиностроения необходимо учитывать вариабельность периода стойкости инструмента, которая обуславливается вариабельностью характеристик режущего инструмента, вариабельностью характеристик обрабатываемых заготовок и спецификой конкретного машиностроительного производства.

Учет вариабельности режущего инструмента при выборе поставщика позволяет существенно сократить затраты на операции обработки резанием [1]. Несмотря на это, в каталогах производителей режущего инструмента информация о разбросе периода стойкости инструмента отсутствует, так как вариабельность периода стойкости зависит, в том числе,

и от производственных условий конкретных машиностроительных предприятий, и будет различной в зависимости от условий. Таким образом, задача оценки вариабельности периода стойкости и сравнительной оценки режущего инструмента разных производителей должна выполняться потребителями инструмента самостоятельно.

Постановка задачи

Рассмотрим несколько примеров, как разброса периода стойкости может влиять на эффективность обработки.

Допустим, что перед технологом стоит задача выбора режущего инструмента из двух вариантов, при этом их стоимость и рекомендуемые режимы резания примерно одинаковы. Однако у данных инструментов отличается

коэффициент вариации периода стойкости: у инструмента №1 он равен 0,1, а у инструмента №2 – 0,25. В случае, когда данные инструменты будут принудительно меняться через одинаковую наработку, доля брака при обработке инструментом №2 из-за его отказа в процессе обработки будет значительно выше. Снижение уровня брака при обработке инструментом №2 возможно лишь путем уменьшения периодичности восстановления инструмента, что увеличит затраты на инструмент и затраты на его обслуживание.

Сравним период стойкости режущего инструмента сравним со временем резания при обработке одной детали. На предприятии есть три варианта инструмента для обработки данной детали. Инструмент №1 – самый дорогой, на рекомендуемых производителем режимах резания его периода стойкости хватает на обработку 1,5 детали с коэффициентом вариации 0,05. Так как стоимость заготовки – очень высокая, то для предотвращения брака инструмент заменяется после обработки одной детали, несмотря на то, что его ресурс – использован лишь на 66 %. Инструмент №2 – из средней ценовой категории, его периода стойкости на аналогичных режимах резания хватает на обработку 1,2 детали с коэффициентом вариации 0,15.

В обоих случаях инструмент может обработать лишь 1 деталь, но затраты на стоимость инструмента во втором случае будут меньше, и, соответственно, эффективность процесса обработки выше. Инструмент №3 – из дешевой ценовой категории, на аналогичных режимах резания может обработать 1,05 детали, но при этом коэффициент вариации периода стойкости составляет 0,3. При обработке таким инструментом очень велика вероятность брака, что при большой стоимости заготовки приводит к резкому снижению экономических показателей.

Путем занижения режимов резания можно поднять период стойкости этого инструмента до такого уровня, что даже в худшей ситуации вероятность брака из-за отказа инструмента во время обработки будет равна нулю. Однако такое решение приведет к увеличению времени резания и, соответственно, к увеличению переменных затрат на обработку. Инструмент №3 можно применять только в том случае, когда снижение затрат на стоимость инструмента выше, чем повышение затрат из-за увеличения времени резания.

Таким образом, обоснованный выбор режущего инструмента является сложной зада-

чей и требует применения системы сравнительной оценки качества режущего инструмента, учитывающей вариабельность периода стойкости.

Метод решения

Предлагаемая система сравнительной оценки режущего инструмента разных производителей, учитывающая вариабельность периода стойкости режущего инструмента, требует рассмотрения следующих вопросов:

1) методика сбора статистических данных об износе инструмента;

2) стойкостная зависимость на основе обобщенной стохастической модели отказов;

3) методика назначения оптимальных режимов резания и оценки эффективности процесса обработки.

В результате применения системы сравнительной оценки должен быть оформлен соответствующий акт испытаний режущего инструмента, отвечающий на вопрос: «Какой из сравниваемых инструментов рекомендуется к применению в производстве?».

Сбор статистических данных

Применение системы сравнительной оценки режущего инструмента начинается со сбора необходимых статистических данных. Одним из способов сбора данных является проведение стойкостных испытаний инструментов в конкретных производственных условиях. Учет нелинейного характера зависимости периода стойкости от скорости резания требует проведения стойкостных испытаний при трех уровнях скорости резания.

Для подачи и глубины резания достаточно двух уровней. С целью сокращения количества необходимых экспериментов предлагается воспользоваться дробным факторным экспериментом по методу Тагути [2]. План эксперимента в виде ортогональной матрицы **L6** представлен в табл. 1.

1. Ортогональная матрица стойкостного эксперимента

Номер эксперимента	Уровень параметра		
	Скорость резания	Подача	Глубина резания
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	1	2
4	1	2	1
5	2	1	2
6	3	2	1

Ортогональная матрица $L6$ сбалансирована – уровень каждого параметра встречается одинаковое количество раз.

Для учета вариации из-за разброса качества режущих инструментов одной партии каждый эксперимент необходимо повторить 3 раза. Для оценки вариации из-за разброса параметров заготовки при обработке одним инструментом необходимо контролировать износ каждого инструмента два раза после обработки разных деталей.

В случае, когда проведение стойкостных испытаний инструментов в конкретных производственных условиях для сбора статистических данных затруднено, возможен сбор необходимых статистических данных о периоде стойкости режущего инструмента в процессе его эксплуатации на машиностроительном предприятии с использованием контрольных карт на основе контрольных карт Шухарта с переменными границами, рассмотренными в работе [3]. Пример такой карты представлен на рис. 1.

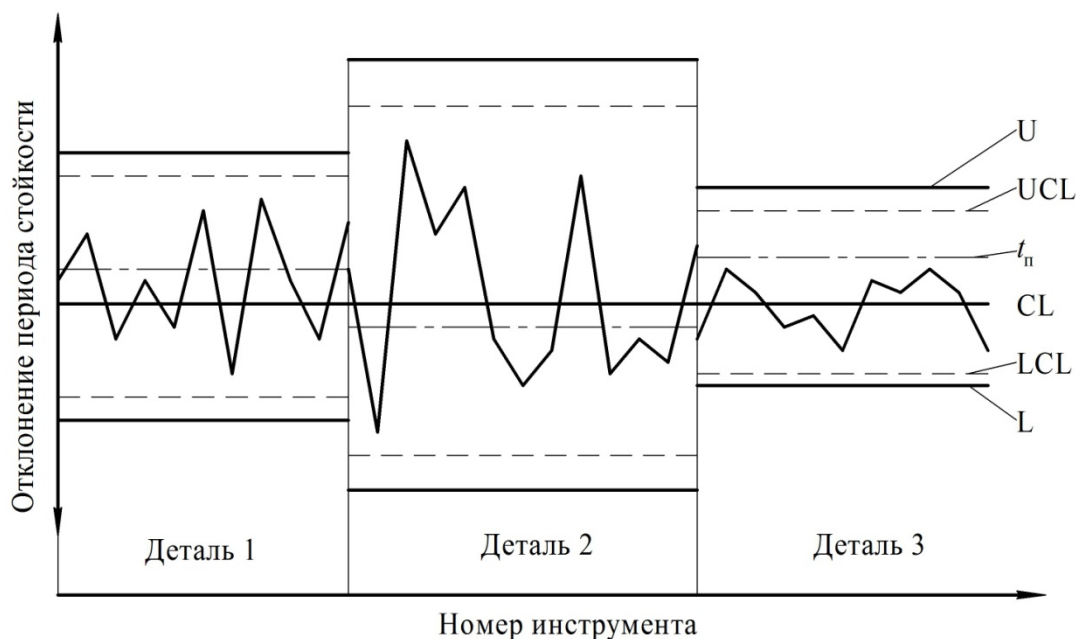


Рис. 1. Пример контрольной карты периода стойкости режущего инструмента с переменными границами

На рис. 1 использованы следующие обозначения: U – верхняя граница поля допуска; UCL – верхняя контрольная граница; t_n – назначенная периодичность восстановления инструмента; CL – центральная линия; LCL – нижняя контрольная граница; L – нижняя граница поля допуска.

Для удобства центральная линия принята равной нулю, а в качестве значений на контрольной карте используются отклонения фактического периода стойкости от математического ожидания. Границы поля допуска и контрольные границы предложенных контрольных карт назначаются с использованием стохастической модели отказов [4], рассмотренной далее.

Кроме этого на контрольную карту могут быть нанесены предупреждающие границы. Контрольные границы указывают, что около 99,7 % значений фактического периода стойкости попадут в эти пределы при условии, что

процесс резания находится в статистически управляемом состоянии. Предупреждающие границы, обеспечивающие попадание 95,4 % значений фактического периода стойкости, служат предостережением о грозящей ситуации выхода процесса резания из состояния статистической управляемости [5].

Указанные границы асимметричны относительно центральной линии из-за того, что закон распределения периода стойкости несимметричен из-за отсутствия у него отрицательной ветви, поэтому границы на контрольной карте смещены вверх.

На контрольную карту периода стойкости режущего инструмента при необходимости также наносится периодичность восстановления режущего инструмента. В случае, когда инструмент принудительно меняется при достижении плановой наработки, его период стойкости до отказа можно получить с помощью интерполирования на основе оценки его износа в момент замены.

Предложенная контрольная карта также позволяет убедиться, что процессы обработки на предприятии находятся в статистически управляемом состоянии, и можно проводить оптимизацию периодичности восстановления режущего инструмента и режимов резания. Систематические или неслучайные структуры в расположении данных на контрольной карте могут указывать на такие изменения среднего значения процесса или его разброса, которые не настолько велики, чтобы привести к выходу точек за контрольные границы.

В качестве критериев для идентификации особых причин используются типовые структуры, указывающие на наличие особых причин изменчивости, и правила *Western Electric*, приведенные в ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 [5].

Для применения этих критериев контрольную карту делят на три зоны А, В и С с каждой стороны от центральной линии. Примеры зон А, В и С на предложенной контрольной карте представлены на рис. 2. Уровни квантилей закона распределения периода стойкости, соответствующие границам указанных зон, приведены в табл. 2.

Процесс, у которого последовательность точек на карте соответствует одному или более критериям, является неуправляемым, и особые причины его изменчивости должны быть выявлены и устранены. Эти дополнительные правила улучшают способность контрольной карты обнаруживать небольшие изменения процесса обработки.

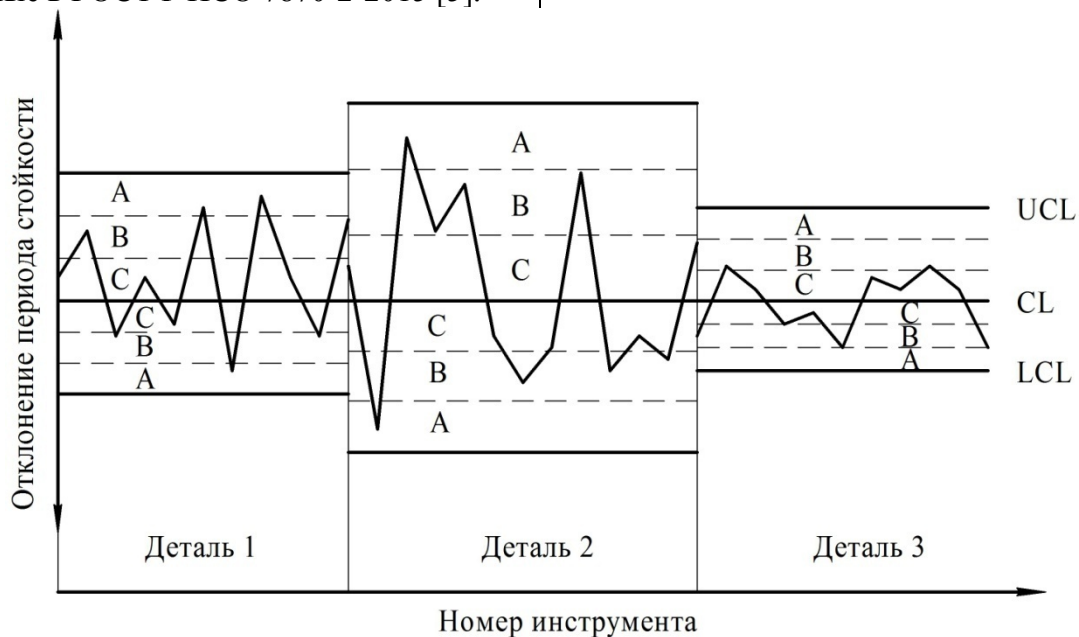


Рис. 2. Пример зон А, В и С на контрольной карте с переменными границами

2. Определение границ зон А, В и С контрольной карты

Положение относительно CL	Зона	Уровень квантиля распределения
Выше CL	A	0,9985
	B	0,977
	C	0,8415
Ниже CL	C	0,1585
	B	0,023
	A	0,0015

Стойкостная зависимость на основе обобщенной модели отказов

Отказ режущего инструмента может быть внезапным, наступающим вследствие его разрушения (выкрашивания, скалывания, поломки режущего лезвия), либо – постепенным в результате износа. Для учета разных видов отказа режущего инструмента, вариабельности качества инструмента и параметров обрабатываемых заготовок, неопределенности условий и специфики производства используется стойкостная зависимость на основе обобщенной модели отказов [4]:

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{t}{r}\right)^{\beta}\right] \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta_a} \int_0^{\infty} \frac{1}{a} \exp\left[-\frac{(\ln a - \ln \hat{a})^2}{2\delta_a^2}\right] \cdot \Phi\left(\frac{L - at}{\sigma_{\Delta Y} \sqrt{t}}\right) da dt, \quad (1)$$

где a – средняя интенсивность изнашивания лезвия; y – износ режущего инструмента; L – предельно допустимый уровень износа; $\Phi(x)$ – функция распределения нормированной нормальной случайной величины.

Эта стойкостная зависимость имеет 5 параметров: \hat{a} – среднегеометрическое значение средних интенсивностей изнашивания по режущему инструментам; δ_a – среднеквадратическое отклонение логарифма среднегеометрического значения средних интенсивностей изнашивания режущего инструмента, связанное с разбросом режущих свойств инструментов одной партии; $\sigma_{\Delta Y}$ – среднеквадратическое отклонение приращения износа на единицу наработки, связанное с разбросом

твердости заготовок, разбросом величины припуска на обработку, стохастическим характером самого процесса износа; r – параметр, связанный с наработкой режущего инструмента до разрушения; β – параметр, связанный с вариабельностью наработки режущего инструмента до разрушения.

Так как период стойкости T является случайной величиной, то стойкостная зависимость считается заданной, если известен закон распределения периода стойкости и определены зависимости параметров закона распределения от параметров режима резания. Параметр \hat{a} определяется как экспонента от полинома из логарифмов v , S , h и $HВ$, т.е.:

$$\hat{a}(c_0, \dots, c_8) = \exp[c_0 + c_1 \ln v + c_2 \ln^2 v + c_3 \ln^3 v + c_4 \ln S + c_5 \ln h + c_6 \ln v \cdot \ln S + c_7 \ln S \cdot \ln h + c_8 \ln(HВ/200)], \quad (2)$$

где v – скорость резания; S – подача; h – глубина резания; $HВ$ – твердость обрабатываемой заготовки.

Если считать, что $T = L / U$, то формула (2) позволяет учесть корреляцию между v и S , S и h . Такое представление стойкостной зависимости позволяет легко учесть и другие возможные корреляции при наличии достаточных статистических данных.

Параметр δ_a характеризует разброс режущих свойств режущего инструмента и от режима резания зависит только через среднюю интенсивность изнашивания a . Параметр $\sigma_{\Delta Y}$ характеризует разброс свойств обрабатываемости заготовок и тоже зависит от режимов резания через среднюю интенсивность изна-

шивания a .

Параметры стойкостной зависимости r и β , связанные с внезапным отказом режущего инструмента, зависят от режима резания, и эту зависимость определяют из стойкостных испытаний. Имеющиеся опытные данные показывают, что от режима резания в основном зависит средний период стойкости \bar{T} , а коэффициент вариации K_T остается постоянным. Из этого следует, что

$$r = r(v, S, h); \quad \beta = \text{const}. \quad (3)$$

Зависимость параметра r от v_i , S_i , h_i ищется в виде степенной зависимости:

$$r(v, S, h) = \exp[b_0 + b_1 \cdot \ln v + b_2 \cdot \ln^2 v + b_3 \cdot \ln^3 v + b_4 \cdot \ln S + b_5 \cdot \ln^2 S + b_6 \cdot \ln h + b_7 \cdot \ln v \ln S], \quad (4)$$

где b_0, \dots, b_7 – искомые коэффициенты, которые следует оценить. Количество компонент в формуле (4) $m + 1 = 8$ и может быть различным в зависимости от имеющихся статистических данных, учитываемых факторов и требуемой точности зависимости.

Такой вариант стойкостной зависимости учитывает нелинейный характер зависимости периода стойкости от скорости резания и подачи из-за преобладания различных видов износа. При малых скоростях резания происхо-

дит наростообразование на режущей кромке инструмента, негативно влияющее на период стойкости из-за высокой твердости нароста в этих условиях обработки. По мере увеличения скорости резания и температуры в зоне резания нарост начинает уменьшаться и впоследствии исчезает полностью, увеличивая тем самым период стойкости. Дальнейшее повышение скорости резания приводит к увеличению силы резания, что вызывает разрушение режущей кромки.

Назначение оптимальных режимов резания

При оптимизации режимов резания наиболее распространенным вариантом является назначение максимально возможных подачи S и глубины резания h , исходя из технических (точность обработки, качество обрабатываемой поверхности, величина припуска и т. д.) и технологических (мощность привода главного движения и приводов подачи, жесткость металлорежущего станка, геометрия режущего инструмента, применяемая технологическая оснастка и т. д.) ограничений, а оптимальное значение скорости резания лежит внутри области возможных значений.

Поэтому оптимальный режим резания находится путем определения скорости резания, сводящей к минимуму удельные затраты с учетом технологических и конструктивных ограничений металлорежущего станка. При этом на параметры режима резания v , S и h накладываются ограничения: скорость резания $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ (или частота вращения шпинделя

$n_{\text{шп. min}} \leq n_{\text{шп.}} \leq n_{\text{шп. max}}$); подача $S_{\min} \leq S \leq S_{\max}$, глубина резания $h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$.

В качестве критерия оптимальности используются удельные затраты Θ , т.е. затраты, связанные с обработкой резанием, восстановлением режущего инструмента и возможным браком при работе отказавшим режущим инструментом, приходящиеся на одну обработанную деталь. Причем, если удельные затраты измеряются единицами времени, то оптимальные значения v , S и h соответствуют наибольшей производительности, а, если удельные затраты измеряются денежными единицами, то оптимальные значения v , S и h соответствуют минимуму себестоимости. Помимо режимов резания на удельные затраты влияют также параметры порядка восстановления режущего инструмента.

Соответственно, математическая модель оптимизации порядка восстановления режущего инструмента состоит из двенадцати ограничений и целевой функции $\Theta(v, S, h, t_n)$, подлежащей оптимизации [6]. В данной математической модели N_3 – эффективная мощность резания; $N_{3 \text{ ст}}$ – эффективная мощность станка; Rz – шероховатость обрабатываемой поверхности; $Rz_{\text{доп}}$ – допускаемое значение шероховатости обрабатываемой поверхности; $P_{\text{м.п.}}$ – максимальная сила резания, допускаемая прочностью самого слабого звена механизма подачи станка; R – сила резания, $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент, $M_{\text{шп}}$ – максимальный кру-

тящий момент шпинделя. Оценка значений соответствующих ограничений в зависимости от параметров режима резания производится по известным зависимостям теории резания, например, случай токарной обработки подробно рассмотрен в работе [7]:

$$\begin{cases} \Theta(v, S, h, t_n) \rightarrow \min \\ N_3(v, S, h) \leq N_{3 \text{ ст.}} \\ R_z(S, h) \leq R_{z \text{ доп}} \\ P_{\text{м.п.}}(v, S, h) \geq R \\ M_{\text{кр}}(v, S, h) \leq M_{\text{шп}} \\ v \geq v_{\min} \\ v \leq v_{\max} \\ S \geq S_{\min} \\ S \leq S_{\max} \\ h \geq h_{\min} \\ h \leq h_{\max} \\ t_n > 0 \\ t_n \leq 2\bar{T} \end{cases} \quad (5)$$

Так как стохастический характер процесса резания оказывает значительное влияние на назначение оптимальных режимов резания и оптимального порядка восстановления режущего инструмента – с ростом вариабельности периода стойкости режущего инструмента плано-предупредительное восстановление режущего инструмента вырождается в восстановление по отказу, рассмотрены два варианта порядка восстановления режущего инструмента.

В случае принудительного восстановления режущего инструмента после t_n обработанных деталей или времени резания удельные затраты рассчитываются по формуле

$$\Theta(v, S, h, t_n) = \frac{Z_o + Z_6 + Z_B}{t_n}, \quad (6)$$

где Z_o – затраты на обработку партии деталей за период t_n ; Z_6 – затраты, связанные с возможным браком за время обработки t_n деталей; Z_B – затраты, связанные с восстановлением режущего инструмента.

В случае контроля состояния режущего инструмента и восстановления по достижению нормативно установленного предельно допустимого уровня износа режущего инструмента L удельные затраты зависят только от режима резания:

$$\Theta(v, S, h) = \frac{Z_o + Z_{\text{кв}} + Z_B}{\bar{T}_n}, \quad (7)$$

где \bar{T}_n – полезная наработка, т. е. средняя наработка за один период восстановления режущего инструмента; $Z_{кк}$ – затраты на контроль состояния инструмента за этот период. В этом случае предполагается, что при своевременном контроле износа режущего инструмента брак из-за несвоевременного восстановления режущего инструмента отсутствует, компонента затрат $Z_6 = 0$ и поэтому в формуле (7) отсутствует, а $\bar{T}_n = \bar{T} / t_{рез}$.

При этом полезная наработка \bar{T}_n и компоненты затрат определяются с использованием стойкостной зависимости (1). Затраты Z_0 зависят от числа обработанных деталей до момента отказа режущего инструмента и учитывают стоимость минуты работы металлорежущего станка и выбранные режимы резания. Затраты Z_6 зависят от числа обработанных деталей с момента отказа до восстановления режущего инструмента.

Поиск оптимальных значений v, S, h и t_n может выполняться различными методами. В данной работе применяется метод перебора значений v и t_n с малым шагом. Такой метод прост при программировании в связи с наличием нескольких локальных экстремумов функции $\Theta(v, S, h, t_n)$.

Соответственно методика оптимизации режимов резания с использованием

предложенной модели состоит в следующем:

- 1) назначение максимально возможных значений подачи S и глубины резания h ;
- 2) перебор значений v от v_{min} до v_{max} с шагом Δ ;
- 3) в случае принудительного восстановления режущего инструмента перебор значений t_n в цикле с шагом Δt_n в интервале $(0 \dots 2\bar{T})$;
- 4) расчет значения целевой функции $\Theta(v, S, h, t_n)$ для текущих значений v, S, h и, при необходимости, t_n ;
- 5) выбор минимального значения Θ и оценка отвечающих ему значений параметров режима резания.

Если исходить только из удельных затрат времени, то оптимальные значения v и t_n дают наибольшую производительность, а, если исходить из затрат в рублях, то получается минимум себестоимости. Режущий инструмент, для которого удельные затраты Θ будут минимальны, и следует использовать в производстве.

Акт испытаний режущего инструмента

По результатам сравнительной оценки оформляется акт испытаний режущего инструмента в производственных условиях, форма которого приведена на рис. 3.

Утверждаю
Главный технолог _____
_____ / _____ /

АКТ № _____ от _____
Испытаний режущего инструмента в производственных условиях

Отделом главного технолога совместно с цехом № _____ и представителями компании _____ были проведены испытания режущего инструмента _____ фирмы _____ (инструмент 1) в сравнении с используемым режущим инструментом _____ фирмы _____ (инструмент 2).

Цель: оптимизация эксплуатации режущего инструмента по стоимости (производительности).

Условия обработки:

1. Обрабатываемая деталь: _____
2. Материал: _____
3. Технологические требования: _____
4. Оборудование: _____
5. СОЖ: _____
6. Режимы резания:

Номер эксперимента	Уровень параметра		
	Скорость резания	Подача	Глубина резания
1	1 –	1 –	1 –
2	2 –	2 –	2 –
3	3 –	1 –	2 –
4	1 –	2 –	1 –
5	2 –	1 –	2 –
6	3 –	2 –	1 –

7. Экономические показатели:

	Инструмент 1	Инструмент 2
Стоимость брака на единицу наработки, руб. (мин)		
Стоимость одного восстановления инструмента и подналадки металлорежущего станка, руб. (мин)		
Стоимость контроля состояния инструмента (при наличии), руб. (мин)		
Стоимость станкоминуты, руб.		
Стоимость инструмента, руб.		
Число возможных восстановлений инструмента		

Результаты испытаний:

	Инструмент 1	Инструмент 2
Оптимальная периодичность восстановления, шт. (мин)		
Оптимальная скорость резания, м/мин		
Оптимальная подача, мм/об		
Оптимальная глубина резания, мм		
Время резания на деталь, мин		
Средний период стойкости, шт. (мин)		
Коэффициент вариации периода стойкости		
Процент брака		
Коэффициент использования стойкости		
Удельные затраты, руб./шт. (мин/шт.)		

Заключение:

1. Использование инструмента 1 вместо инструмента 2 целесообразно (нецелесообразно).
2. Внедрить (Не внедрять) инструмент 1 в действующее производство.

Начальник цеха _____ / _____ /

Инженер-технолог _____ / _____ /

Рис. 3. Форма акта испытаний режущего инструмента в производственных условиях

В акт испытаний режущего инструмента в производственных условиях включается информация из типовых актов испытаний инструмента: наименование и обозначение детали, материал заготовки и ее твердость, конструкторские требования (шероховатость поверхности, точность), модель и инвентарный номер станка, наименования и обозначения сравниваемых инструментов, режимы резания, применяемая смазочно-охлаждающая жидкость. Помимо этого в нем указываются оцененные параметры стойкостной зависимости на основе обобщенной стохастической модели отказов, экономические параметры для расчета удельных затрат и удельные затраты для сравниваемых инструментов.

Заключение

Применение предложенной системы сравнения качества режущих инструментов разных производителей с учетом вариабельности их периода стойкости позволит уменьшить влияние субъективного фактора при выборе режущего инструмента, а также выбрать наиболее эффективный по себестоимости или производительности обработки резанием инструмент.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анцев, А.В. Сравнение качества режущих инструментов разных производителей с учетом вариабельности их периода стойкости // Всероссийская научно-техническая конференция «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении». 23-25 октября 2019 г.: сб. докл. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2019. – С. 110-112.
2. Брагин, Ю.В. Инженерные методы повышения качества и снижения затрат по Генити Тагути. Вып. 1. Функция потерь / Ю.В. Брагин. – Ярославль: Центр качества, 2005. – 68 с.
3. Юдин, С.В., Протасьев, В.Б., Подкопаев, Р.Ю., Юдин, А.С. Карты Шухарта с варьируемыми границами // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 12-1. – С. 174-178.
4. Обобщенная стохастическая модель отказов режущего инструмента и ее применение / Н.И. Пасько, А.В. Анцев, Н.В. Анцева, С.В. Сальников. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – 174 с.

5. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. – Введ. 2016-12-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 46 с.

6. Анцев, А.В. Оптимизация режима эксплуатации лезвийных инструментов с учетом стохастического характера процесса резания / А.В. Анцев // Фундаментальные основы физики, химии и динамики наукоемких технологических систем формообразования и сборки изделий: сб. тр. науч. симпозиума технологов-машиностроителей / Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. – С. 397-404.

7. Нгуен В.К., Ямников А.С. Методология оптимизации режимов резания // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 1 (291). – С. 56-63.

REFERENCES

1. Antsev, A.V. Comparison of cutter quality of different manufacturers taking into account variability of their durability period // *All-Russian Scientif.-Tech. Conf. "Domestic and Foreign Experience of Quality Support in Mechanical Engineering"*. October 23-25, 2019: Proceedings. – Tula: TulSU Publishers, 2019. – pp. 110-112.

2. Bragin, Yu.V. *Engineering Methods for Quality Increase and Cost Reduction according to Geniti Taguti*. Issue 1. Loss Function / V.V. Bragin. – Yaroslavl: Quality Center, 2005. – 68 p.

3. Yudin S.V., Protasiev V.B., Podkopaev R.Yu. Yudin A.S. Schuhart's charts with variable borders // *Modern Science Intensive Technologies*. 2018. – No.12. Part 1. – pp. 174-178.

4. *Generalized Stochastic Model of Cutter Failures and Its Use* / N.I. Pasko, A.V. Antsev, N.V. Antseva, S.V. Salnikov. – Tula: TulSU Publishers, 2016. – 174 p.

5. GOST R ISO 7870-2-2015. *Statistical Methods. Control Charts. Part 2. Schuhart's Control Charts*. – Introd. 2016-12-01. – М.: Standardinform, 2016. – 46 p.

6. Antsev, A.V. Optimization of blade tool operation mode taking into account stochastic character of cutting processes / A.V. Antsev // Basic fundamentals of physics, chemistry and dynamics of science intensive technological systems of shaping and assemblage of parts: *Proceedings of Technologist-Engineering Workers' Symposium* / Don State Technical University. – Rostov-upon-Don: DSTU, 2019. – pp. 397-404.

7. Nguen V.K., Yamnikov A.S. Methodology of cutting mode optimization // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. – 2012. – No.1 (291). – pp. 56-63.

Рецензент д.т.н. А.В. Хандожко