

Моделирование отказа метода механической обработки

А.Г. ЯСЕВ, К.Г. МЕЖЕННАЯ

НМетАУ, Днепропетровск

В статье представлен подход к формулировке отказа метода механической обработки, разработан алгоритм построения математической модели отказа. Приведен пример построения модели отказа и определения вероятности безотказной работы для конкретных условий обработки. Сделан вывод о применении данной математической модели.

В статті представлений підхід до формулювання відказу методу механічної обробки, розроблений алгоритм побудови математичної моделі відказу. Наведений приклад побудови моделі відказу і визначення ймовірності безвідказної роботи для визначених умов обробки. Зроблений висновок що до використання даної математичної моделі.

There was introduced approach to formulation failure of machining methods, developed the algorithm of construction of mathematical model of failure. The example of construction of model of failure and determination of probability of faultless work is resulted for the concrete terms of treatment. A conclusion is done about application of this mathematical model.

Введение. Основным требованием к методам механической обработки является стабильное получение требуемых выходных параметров обработки, что связано с надежностью метода механической обработки. Теория надежности разработана в трудах многих ученых. Известны нормативы установленных понятий и показателей надежности. Однако, новый объект (метод механической обработки) требует уточнения этих понятий. В первую очередь уточнения требуют понятия надежности и отказа метода механической обработки как основополагающие для осуществления исследования.

Надежность метода обработки – свойство обеспечивать получение требуемых выходных параметров обработки (точность и свойства поверхностного слоя) в условиях конкретной технологической системы и режимов ее использования.

Отказ метода механической обработки – это событие, которое возникает в случае отклонения выходных параметров точности обработки и свойств поверхностного слоя от требуемого уровня.

Основная часть. Целью построения модели отказа метода обработки является необходимость оценить, как зависит точность обработки от свойств элементов технологической системы, а также процессов, протекающих в системе при обработке.

Для упрощения рассмотрим отказ метода механической обработки как выход технологического допуска за пределы конструкторского допуска на выполняемый размер.

Отклонение полученного при обработке значения геометрического параметра от заданного называется погрешностью обработки.

Конструктивные допуски и технические требования на изготовление деталей назначают с учетом условий работы деталей в машине. Эти требования обеспечиваются на всех этапах обработки. Важно обязательное соблюдение технологического регламента изготовления детали и на всех предшествующих переходах обработки, так как результаты финишных переходов обработки существенно зависят от качества предшествующих переходов обработки.

Этап формализации математической модели осуществляем на основе известного выражения для определения суммарной погрешности, возникающей от

совместного действия ряда факторов, при обработке на предварительно настроенных станках [1]:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{\Delta_{\text{у.д.}}^2 + \varepsilon_{\text{у}}^2 + \Delta_{\text{н}}^2 + 3\Delta_{\text{из}}^2 + 3\Delta_{\text{м.д.}}^2} + \Delta_{\text{д.з.}}, \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{у.д.}}$ – погрешность обработки, возникающая в результате изменения упругих деформаций технологической системы под влиянием колебания нагрузок и переменной жесткости технологической системы; $\varepsilon_{\text{у}}$ – погрешность установки заготовки в приспособлении; $\Delta_{\text{н}}$ – погрешность настройки станка на заданный размер $\Delta_{\text{из}}$ – погрешность обработки от размерного износа режущего инструмента; $\Delta_{\text{м.д.}}$ – погрешность обработки, вызываемая температурными деформациями технологической системы; $\Delta_{\text{г.с.}}$ – погрешность обработки из-за геометрических неточностей станка; $\Delta_{\text{д.з.}}$ – погрешность обработки, возникающая в результате деформации заготовки

Текущее значение заданного размера от действия погрешностей $\Delta_{\text{у.д.}}$, $\varepsilon_{\text{у}}$, $\Delta_{\text{н}}$ является величиной случайной с нормальным законом распределения действительных размеров. Остальные погрешности, указанные в формуле, являются систематическими элементарными погрешностями, изменяющимися по соответствующим законам и могут быть рассчитаны аналитически по формулам.

Систематические погрешности не изменяют форму кривой рассеивания размеров обрабатываемых заготовок, а только сдвигают положение ее вершины, соответственно увеличивая общее поле колебания размеров партии заготовок, а следовательно, и общую погрешность обработки. Особенно большое практическое значение при этом имеет определение величин и знаков переменных систематических погрешностей.

Для осуществления этапа идентификации математической модели проанализируем погрешность обработки для конкретного случая. Рассмотрим тонкое растачивание отверстия $\varnothing 65\text{h}7^{(+0.046)}$ детали ступица конической шестерни. При этом определим особенности данного метода обработки, которые повлияют на величину погрешности.

В установившемся режиме работы технологической системы колебания деформаций, вызывающие погрешности обработки $\Delta_{\text{у.д.}}$, можно определить по формуле [1]:

$$\Delta_{y.d.} = \left(\frac{1}{j_{cm}} + \frac{1}{j_u} + \frac{1}{j_{заг}} \right) \cdot (P_{y \max} - P_{y \min}), \quad (2)$$

где j_{cm} – жесткость станка, Н/мм; j_u – жесткость инструмента, Н/мм; $j_{заг}$ – жесткость заготовки, Н/мм; $P_{y \min}$, $P_{y \max}$ – минимальное и максимальное значения радиальной составляющей усилия резания, Н

Для определения жесткости элементов технологической системы воспользуемся следующими зависимостями [1]:

$$j_{cm} = \left[\left(1 - \frac{l}{L} \right)^2 \cdot \frac{1}{j_{ш.г.}} + \left(\frac{l}{L} \right)^2 \cdot \frac{1}{j_{р.з.}} \right]^{-1}, \quad (3)$$

где $j_{ш.г.}$ – жесткость шпиндельной головки, $j_{ш.г.} = \frac{549}{25}$ Н/мм [2]; $j_{р.з.}$ – жесткость револьверной головки, $j_{р.з.} = \frac{549}{30}$ Н/мм [2], L – длина заготовки, мм; l – расстояние от передней бабки до положения реза, мм;

$$j_{заг} = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot L}{l^2 \cdot (L-l)^2} \quad (4)$$

где E – модуль упругости, $E=2 \cdot 10^5$ МПа; I – момент инерции, $I=0.05 \cdot D^4$ мм⁴; D – диаметр обработки, $D=65$ мм

При прогибе реза в несколько десятых долей миллиметра и при диаметре заготовки в несколько десятков миллиметров радиальное отжатие реза измеряется десятитысячными долями миллиметра, поэтому его можно не принимать во внимание.

Максимальное и минимальное усилие резания определяется с учетом того, что его значение колеблется в пределах 10%.

$$P_{y \max} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot 1.1 \quad (5)$$

$$P_{y \min} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot 0.9$$

Погрешность установки заготовки в приспособлении определяется по формуле

$$\varepsilon_y = \sqrt{(\Delta \varepsilon_{\delta})^2 + (\Delta \varepsilon_3)^2 + (\Delta \varepsilon_{np})^2}, \quad (6)$$

где $\Delta \varepsilon_{\delta}$ – погрешность базирования, мкм. В рассматриваемом случае погрешность базирования равна нулю, поскольку совпадают технологическая и измерительная базы; $\Delta \varepsilon_3$ – погрешность закрепления, мкм

$$\varepsilon_3 = (y_{\max} - y_{\min}) \cos \alpha \quad (7)$$

$\Delta \varepsilon_{np}$ – погрешность изготовления и износа опорных элементов приспособления, мкм

$$\Delta \varepsilon_{np} = \beta \sqrt{N}, \quad (8)$$

где β – коэффициент, определяющий влияние условий обработки на величину износа, $\beta=0,3$; N – годовой выпуск деталей, $N=2000$ шт.

Для поверхностей вращения погрешность настройки [2]:

$$\Delta_u = \sqrt{(K_p \cdot \Delta_p)^2 + \left(K_H \cdot \frac{\Delta_{изм}}{2} \right)^2}, \quad (9)$$

где Δ_p – погрешность регулирования положения инструмента, $\Delta_p = 1$ мкм; $\Delta_{изм}$ – погрешность измерения размера детали, $\Delta_{изм}=9$ мкм; K_p и K_H – коэффициенты, учитывающие отклонение закона распределения элементарных величин Δ_p и $\Delta_{изм}$ от нормального закона распределения, $K_p=1,14-1,73$ и $K_H=1$.

Погрешность от размерного износа инструмента [2]:

$$\Delta_{из} = \frac{L}{1000} u_0, \quad (10)$$

где L – длина пути резания, м

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot S}, \quad (11)$$

где l – длина обработки; u_0 – относительный размерный износ инструмента, $u_0=6,5$ мкм/км.

Погрешность обработки от температурных деформаций можно определить по формуле

$$\Delta_{m.d.} = \Delta_{m.d.u.} + \Delta_{m.d.o.}, \quad (12)$$

где $\Delta_{m.d.u.}$ – погрешность от температурной деформации инструмента, мкм

$$\Delta_{m.d.u.} = C \cdot \frac{L_p}{F} \cdot \sigma_B (t \cdot s)^{0.75} \cdot \sqrt{V} \cdot \frac{T_M}{T_{ум}}, \quad (13)$$

где L_p – вылет реза; C – постоянная, $C=4,5$ [1]; F – поперечное сечение державки; σ_B – предел прочности державки, $\sigma_B=400$ МПа; T_M – машинное время обработки; $T_{ум}$ – штучное время на операцию, $\Delta_{m.d.o.}$ – погрешность от температурной деформации детали, мкм

$$\Delta_{m.d.o.} = \alpha \cdot D \cdot \Delta t \cdot 10^3, \quad (14)$$

где α – коэффициент линейного расширения, для стали $\alpha=1,2 \cdot 10^{-5}$ мм/град; Δt – приращение температуры за время обработки заготовки, $\Delta t=10$ град.

При точении консольно закрепленной заготовки в результате отклонения от параллельности оси шпинделя направляющим станины в горизонтальной плоскости получается конусообразность

$$\Delta_{z.c.} = \frac{c_m \cdot l_m}{l}, \quad (15)$$

где c_m – допустимое отклонение от параллельности оси шпинделя направляющим станины в плоскости выдерживаемого размера на длине l , $c_m=10$ мм, $l=100$ мм; l_m – длина обработанной поверхности.

Деформация заготовки при обработке с консольным закреплением в патроне токарного станка или в цанге револьверного станка определяется по формуле

$$\Delta_{\delta.z.} = \frac{1000 \cdot P_y \cdot x^3}{3EJ} \quad (16)$$

Вышеприведенная математическая модель отказа метода обработки включает в себя формулы (1) – (16). Количество величин, составляющих эту модель, более 20. Но из всех величин, входящих в модель отказа, необходимо выделить те, значения которых можно изменять в определенном диапазоне. Комбинируя различные значения этих факторов между собой, получим ряд значений выходного параметра – погрешности обработки. Далее необходимо проанализировать полученные результаты, выявив степень влияния каждого фактора на погрешность обработки и сделать вывод об оптимальном сочетании факторов, при котором вероятность возникновения отказов данного метода обработки будет минимальной, а, следовательно, стабильность и надежность данного метода обработки – максимальной.

Важным элементом настройки металлорежущих станков является установление рациональных режимов резания. В обычных условиях обработки режимы резания назначают, исходя из задачи достижения высокой производительности при малых затратах на режущий

инструмент, т.е. при сохранении его высокой стойкости. В случаях точной обработки заготовок кроме требований высокой производительности и экономичности обработки выдвигается задача обеспечения требуемой точности. Эти факты ведут к необходимости выведения прямой зависимости между основными режимами резания (глубиной, подачей и скоростью резания) и погрешностью обработки. Данная зависимость строится на основании упрощения математической модели отката (1) – (16).

Построение упрощенной математической модели осуществляется, используя метод имитационного эксперимента. Выполняется планирование эксперимента, в котором факторами являются режимы резания: глубина, подача и скорость резания, а функция отклика – погрешность обработки. Все факторы в ходе полного факторного эксперимента варьируют на двух уровнях, соответствующих значениям кодированных переменных + и -. Граничные значения факторов приняты по справочным данным для тонкого растачивания [2]. Имитация проведения эксперимента осуществляется с помощью MathCAD. При этом для оценки воспроизводимости каждый опыт проводится по три раза, варьируя значения факторов в пределах 10% от их значения

Таблица 1. Условия проведения полного трехфакторного эксперимента

Характеристика плана	t	S	V
Основной уровень	0,2±0,02	0,06±0,006	175±17,5
Интервал варьирования	0,2	0,04	150
Верхний уровень	0,3±0,03	0,08±0,008	250±25
Нижний уровень	0,1±0,01	0,04±0,004	100±10

Таблица 2. Матрица планирования и результаты полного трехфакторного эксперимента

№ опыта	Факторы			Функция отклика, Δ		
	t	S	V	1	2	3
1	+	+	+	113,886	127,345	101,003
2	+	+	-	136,227	151,864	121,126
3	+	-	+	79,487	88,033	71,329
4	+	-	-	93,964	98,975	84,180
5	-	+	+	54,745	59,879	49,925
6	-	+	-	60,449	66,201	55,039
7	-	-	+	42,668	45,772	39,885
8	-	-	-	45,898	49,374	42,634

После получения экспериментальных данных необходимо провести статистический анализ – определить основные статистические характеристики, а также провести регрессионный анализ – построить полином, выражающий связь между факторами и функцией отклика и проверить адекватность данной зависимости. Для данной цели используем статистический аппарат программы Excel.

Определяются коэффициенты парной корреляции между факторами и функцией отклика и проверяется их значимость.

Таблица 3. Коэффициенты парной корреляции

$k_{t\Delta}$	$k_{S\Delta}$	$k_{V\Delta}$
0,8615	0,4150	-0,1737
$A_{t\Delta}$	$A_{S\Delta}$	$A_{V\Delta}$
13,5033	0,9728	0,1459

Проверка значимости коэффициентов корреляции определяется при 75%-ном уровне значимости и числе степеней свободы $n=22$ [3]. Табличная величина $t(22)=0,6858$, следовательно, наличие взаимосвязи по факторам t и S и функцией отклика является статистически значимым. Связь между фактором V и функцией отклика является статистически незначимой для данного уровня значимости.

Далее строится линейная полиномиальная зависимость между факторами и функцией отклика

$$\Delta = 292,9292 \cdot t + 657,4378 \cdot S - 0,0733634 \cdot V - 2,868173 \quad (17)$$

После необходимо определить основные статистические характеристики, полученных экспериментальных данных.

Таблица 4. Основные статистические характеристики эксперимента

№ опыта	Среднее значение $\bar{\Delta}_k$	Расчетное значение $\hat{\Delta}_k$	Среднеквадратическое отклонение σ	Дисперсия s^2
1	114,078	113,2648	13,17205	173,5029
2	136,4057	124,2693	15,36978	236,2301
3	79,61633	86,96725	8,352751	69,76845
4	92,373	97,97176	7,524724	56,62147
5	54,84967	58,67892	4,977825	24,77875
6	60,563	69,68343	5,581873	31,15731
7	42,74833	32,38141	2,934325	8,610262
8	45,96867	43,38592	3,370556	11,36065

На основании данных характеристик проверим адекватность полученного уравнения регрессии.

Расчитанная величина $v^2 = 2,91$ сравнивается с табличным значением. Критическое значение критерия Фишера для 2,5%-процентной точки $F(6;16)=3,34$ [3]. Поскольку расчитанное значение меньше табличного делается вывод, что линейный полином не противоречит экспериментальным данным и может быть признан адекватным.

Основным показателем надежности метода обработки является вероятность безотказной работы $P(t)$, которая представляет собой вероятность получения после обработки годной детали. Определим вероятность безотказной работы для рассматриваемого случая – тонкого растачивания для конкретных условий обработки (режимов резания).

С помощью данного полинома определяется суммарная погрешность обработки для рассматриваемого случая, приняв режимы резания по рекомендациям справочника: $t=0,15$ мм; $S=0,08$ мм/об; $V=250$ м/мин. $\Delta=75,325381$ мкм, что больше конструкторского допуска $T_k=46$ мкм. Следовательно, данные режимы резания не обеспечивают требуемую точность обработки. Это объясняется тем, что в обычных условиях режимы резания назначаются исходя из того, что необходимо обес-

печь максимальную производительность при наибольшей стойкости инструмента. При финишных методах обработки необходимо исходить из достижения требуемой точности.

Примем, что распределение размеров подчиняется закону Гаусса (обработка на настроенном станке при отсутствии доминирующих и систематических погрешностей). Зона фактического рассеивания $\Delta=6\sigma=0,075$ мм превосходит поле допуска $\delta=0,046$ мм, следовательно, возможно появление брака.

Для определения количества годных заготовок необходимо найти площадь, ограниченную кривой и осью абсцисс, на длине равной допуску. При симметричном расположении поля рассеивания относительно поля допуска следует найти удвоенное значение интеграла, определяющего половину площади, ограниченной кривой Гаусса и абсциссой x_0 [1]:

$$\Phi|z| = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-\frac{(L_i-L_{cp})^2}{2\sigma^2}} dL \quad (18)$$

Это выражение можно записать в виде известной функции Лапласа

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz .$$

Где z определяется по формуле

$$z = \frac{x_0}{\sigma} \quad (19)$$

Значения этой функции табулированы в зависимости от величины z .

$$x_0 = \frac{\delta}{2} = \frac{0,046}{2} = 0,023 \text{ мм}$$

$$z = \frac{0,023}{0,0125} = 1,85$$

$$\Phi(z) = 0,4678$$

Что соответствует 46,78 % годных заготовок от половины всей партии. Для всей партии количество годных заготовок составило 93,56 %, а бракованных

соответственно 6,44 %. Следовательно, вероятность безотказной работы для рассматриваемого случая составляет $P(t)=93,56$ %.

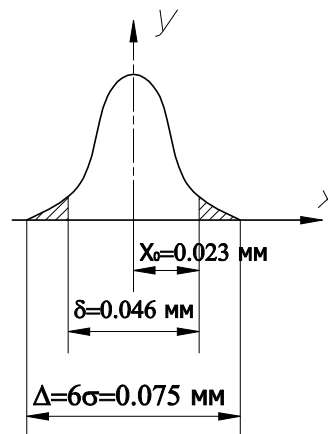


Рис. 1. Количество вероятного брака

Вывод

С помощью вышеприведенной математической модели можно решать очень важный класс оптимизационных задач, а также анализировать влияние различных факторов на вероятность возникновения отказа метода механической обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 464с.
2. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, т.1, 2 1973.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416с.

пост. 25.09.07.

Построение адаптивных методов кодирования-декодирования сигналов

А.А. ЛИГУН, А.А. ШУМЕЙКО, В.Н. ЖУРБА

Днепродзержинский государственный технический университет

Работа посвящена нахождению оптимально адаптивной для фиксированного сигнала пары цифровых фильтров заданной сложности.

Робота присвячена конструюванню оптимально адаптивної для фіксованого сигналу пари цифрових фільтрів заданої складності.

Papers is devoted to finding optimum of pair of digital filters of the set complication adaptive for the fixed signal.

Введение. Первым этапом обработки сигнала является его дискретизация, то есть его представление в виде совокупности отсчетов (кодов) в дискретные мо-

менты времени $\{ih\}_{i \in Z}$. Как правило, отсчеты вычисляются с помощью свертки сигнала и вспомогательной

АННОТАЦИЯ
СТАТЬИ ЯСЕВА А.Г. И МЕЖЕННОЙ К.Г.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКАЗА МЕТОДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В статье представлен подход к формулировке отказа метода механической обработки, разработан алгоритм построения математической модели отказа. Приведен пример построения модели отказа и определения вероятности безотказной работы для конкретных условий обработки. Сделан вывод о применении данной математической модели.

АННОТАЦІЯ
СТАТТІ ЯСЕВА О.Г. ТА МЕЖЕННОЇ К.Г.
МОДЕЛЮВАННЯ ВІДКАЗУ МЕТОДУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

В статті представлений підхід до формулювання відказу методу механічної обробки, розроблений алгоритм побудови математичної моделі відказу. Наведений приклад побудови моделі відказу і визначення ймовірності безвідказної роботи для визначених умов обробки. Зроблений висновок що до використання даної математичної моделі.

THE SUMMARY
OF THE ARTICLE BY YASEV A.G. AND MEZHENNAYA K.G.
MODELING OF FAILURE OF MACHINING METHOD

There was introduced approach to formulation failure of machining methods, developed the algorithm of construction of mathematical model of failure. The example of construction of model of failure and determination of probability of faultless work is resulted for the concrete terms of treatment. A conclusion is done about application of this mathematical model.