Классификация и обозначение контрольных карт для токарной обработки на станках с ЧПУ

11, ноябрь 2012

DOI: 10.7463/1112.0483229

Картавец И. С., Пасько Н. И.

УДК 65.018

Россия, Тульский Государственный Университет

ivan_2la@mail.ru

В статье рассматривается классификация контрольных карт применяемых на станках с ЧПУ, учитывающая различные параметры процессов текущего контроля обработки деталей, процесса резания и подналадки станка как: тип подналадки, возможность контроля износа резца в системе ЧПУ станка, наличие коррекций размерной настройки в цикле подналадки и так далее.

Данная классификация базируется на анализе предшествующих работ авторов [4-6] в которых рассматривались вопросы определения случайной функции $X(t)$, определяющей размер обрабатываемой детали с номером t после подналадки станка, а так же ряда других литературных источников [1-3, 7, 8], после рассмотрения которых можно прийти к закономерному выводу, что обычные контрольные карты не отображают специфики управляемого при их помощи процесса. В частности в большинстве используемых контрольных карт для назначения сигнальных границ используется правило трех сигм, а не какой либо критерии оптимальности, в качестве которого, например, может выступать себестоимость готовой продукции [1].

Так же современное представление о статистическом управлении при помощи контрольных карт не дает возможности полностью использовать потенциал современного станочного оборудования, а в частности его измерительную систему, т.к. методики назначения параметров контрольных карт разрабатываются для процессов без обратной связи по контролируемому параметру, что не дает возможности получения адекватного представления о реальном ходе протекающего процесса.

Кроме этого при статистическом управлении реальным процессом при помощи контрольных карт может возникнуть целый ряд проблем связанных с невозможностью или трудностью их применения, например:

- а) отличие закона изменения управляемого процесса от нормального.
- б) наличие систематических и случайных погрешностей измерения контролируемого параметра, требующих своего учета в модели изменения процесса.
- в) отличие цели управления процессом от критерия оптимальности назначения параметров контрольной карты, или невозможность его явного учета при их выборе.

Вследствие сказанного можно придти к выводу, что такая область как учет параметров процесса при выборе контрольной карты и назначении её оптимальных параметров в соответствии с требуемым критерием в современной литературе рассмотрена слабо, поэтому разработка данного механизма статистического управления является актуальной научной задачей.

Авторами, в работах [4-6] рассматривались основные аспекты возникающие при обработке деталей на станке с ЧПУ, которые должны быть учтены при определении оптимальных параметров контрольной карты.

В частности работа [6] посвящена рассмотрению моделей контролируемого параметра качества. В ней выдвинуто предположение, что для определения диаметра обрабатываемой детали $X(t)$, где t – номер обрабатываемой детали (наработка) с момента последней подналадки станка наилучшим образом подходит следующая зависимость:

$$X(t) = X_0 + c_1 \cdot Y(t \cdot c_2) + \Delta,$$

где $Y(t)$ – модель процесса изменения радиального износа резца; X_0 – начальный уровень настройки станка на обработку, мм; Δ – случайная компонента; c_1 – коэффициент, характеризующий изменение стойкости твердосплавной инструментальной пластинки при её замене во время подналадки станка; c_2 – точностной коэффициент, используемый для повышения точности соответствия тренда $X(t)$ экспериментальным данным.

которая с достаточно большой точностью отображает динамику реального процесса.

В работе [4] предполагается, что параметры функции $X(t)$ определяются исходя из статистической обработки первой партии или партий обработанных деталей, где производится сплошной контроль продукции. Так же в статье рассматривается процесс адаптации параметров случайной функции $X(t)$ используемой при определении параметров контрольных карт, а так же процесс оптимизации данных параметров в соответствии с критерием минимизации затрат на текущий контроль и производство продукции.

В [5] рассматривался процесс текущего контроля деталей при их обработке на станке с ЧПУ. В частности, в публикации были обозначены два типа производимых подналадок:

а) подналадка с заменой инструмента и корректировкой размерной настройки станка.

б) подналадка только с корректировкой размерной настройки станка.

Кроме этого в работе рассматривались такие аспекты данного процесса как определения величин подналадок размерной настройки станка с ЧПУ, а так же периодов между подналадками оборудования, т.е. величин подпартий деталей, составляющих в совокупную наработку резца между сменами инструмента.

Исходя из этого, появилась необходимость в классификации отличительных особенностей процесса управления станком с ЧПУ, к которым можно отнести: особенности процесса резания, особенности процесса текущего контроля обрабатываемых деталей, а так же целый ряд других факторов, в конечном счете, влияющих на себестоимость продукции и на параметры используемой контрольной карты, а так же учета этих факторов в отображении последней.

Введение подобной классификации является целью данной статьи, а так же продолжением работ [4-6] авторов и должно позволить систематизировать накопленные знания в данной области, а так же облегчить задачу выбора типа используемой контрольной карты и назначения её параметров в соответствии с требуемым критерием оптимизации.

Признаки классификации:

A. Наличие коррекций размерной настройки в цикле подналадки.

B. Число и место контрольных операций размера деталей в цикле.

C. Возможность контроля износа резца в системе ЧПУ станка.

D. Модель процесса износа резца по наработке.

E. Наличие адаптации параметров контрольной карты.

По ***проведению коррекций*** (признак A) возможны варианты:

При рассмотрении данного признака классификации следует уделить внимание областям применения контрольной карты с различными его значениями.

В частности, к областям применения контрольной карты с фиксированным периодом и числом коррекций размерной настройки станка (A_3) в сочетании с заменой инструмента по наработке (смотри. п.п. C_0) относится множественное обслуживание роботизированных станочных комплексов одним наладчиком т.к. при этом он точно знает, когда необходимо производить коррекцию размерной настройки станка с ЧПУ или его подналадку, а в свободное время занимается другим оборудованием.

Таблица 1. Варьируемость параметров признака классификации A : “+” – варьируемый, “–” – фиксированный.

Параметр классификации	Обозначение признака классификации								
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Число коррекций станка.	Обработка без коррекций размерной настройки станка	–	–	–	–	+	+	+	+
Периодичность коррекций станка		–	+	–	+	–	+	–	+
Величина коррекции		–	–	+	+	–	–	+	+

Если все три параметра классификации по признаку A варьируемые (A_8) то такая контрольная карта применяется при обработке на станке с достаточно большой изменчивостью составляющих процесса резания таких как износ инструмента, механические свойства материала обрабатываемой детали и т.д.

По *проведению контроля размера деталей* (признак B) возможны варианты:

Таблица 2. Количество деталей в выборке: “+” – варьируемое количество, “–” – фиксированное количество (чаще всего 1 деталь).

Параметр классификации	Обозначение признака классификации							
	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7
Контроль первой детали в цикле подналадки	Без контроля	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Контроль выборки деталей в конце цикла подналадки		Нет	–	+	–	–	+	+
Контроль выборки деталей перед каждой коррекцией		Нет	Нет	Нет	–	+	–	+

Если в процессе адаптации требуется уточнение нескольких параметров в модели изменения износа резца или модели изменения получаемого размера, то

минимальное фиксированное значение размера выборки деталей при этом равно количеству уточняемых параметров.

По *проведению контроля износа резца* (признак *C*) возможны варианты [2]:

C₀. Контроль состояния резца не проводится, резец заменяется по достижению плановой наработки или по отказу).

C₁. Контроль состояния резца не проводится, резец заменяется по суммарной коррекции.

C₂. Износ резца контролируется в конце цикла подналадки.

C₃. Износ резца контролируется перед проведения коррекции.

По *типу модели и процесса износа резца* (признак *D*) возможны варианты:

D₀. Линейная модель с постоянной интенсивностью износа:

$$Y(t) = C \cdot t,$$

где $Y(t)$ – износ резца после обработки t деталей с момента замены резца, мм; C – интенсивность износа (величина износа резца на одну деталь), мм/шт.

D₁. Линейная модель с учетом разброса стойкости инструмента:

$$Y(t) = c_1 \cdot t,$$

где c_1 – коэффициент, характеризующий изменение стойкости твердосплавной инструментальной пластинки при её замене во время подналадки станка.

D₂. Линейная модель накопления:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^t \Delta Y(i),$$

D₃. Нелинейная модель износа:

$$Y(t) = \varphi(t),$$

где $\varphi(t)$ – неслучайная неубывающая функция, т.е. $\varphi(t_1) < \varphi(t_2)$, если $t_1 < t_2$; $\varphi(0) = 0$.

В качестве $\varphi_2(t)$ может быть использован полином третьей степени, то есть:

$$\varphi(t) = b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3,$$

Коэффициенты b_1 , b_2 , b_3 оцениваются из опыта, например, методом наименьших квадратов по трем или большему числу замеров износа резца при различных значениях t .

D₄. Нелинейная модель износа с учетом разброса стойкости инструмента:

$$Y(t) = c_1 \cdot \varphi(t),$$

D₅. Нелинейная модель изменения размера с учетом разброса стойкости инструмента и точностным коэффициентом c_2 :

$$Y(t) = c_1 \cdot \varphi(c_2 \cdot t),$$

где c_2 – точностной коэффициент, используемый для повышения точности соответствия функции регрессии $Y(t)$ экспериментальным данным.

По *режиму адаптации параметров* контрольных карт (признак E) возможны варианты [7]:

E_0 . Адаптация отсутствует, то есть используются параметры контрольной карты, рассчитанные по априорной информации (по предварительно собранной статистике).

E_1 . Внецикловая адаптация. Параметры контрольной карты уточняются после каждого цикла подналадки для следующего цикла. При этом учитывается статистика размеров деталей и износов резца за текущий и прошлые циклы.

E_2 . Внутрицикловая адаптация. Размер текущей коррекции и число деталей до следующей коррекции уточняются по результатам контроля размеров деталей и износа резца перед текущей коррекцией и с учетом прошлых измерений этого цикла.

При внецикловой адаптации в конце каждого цикла уточняются: плановая наработка за цикл, наработки до проведения коррекций и величины коррекций в соответствии с признаком A . При внутрицикловой адаптации по результатам контроля перед коррекцией уточняется величина коррекции и период до следующей коррекции в соответствии с признаками A_2, A_4, A_6 .

Приведем *примеры обозначения* вариантов контрольных карт в соответствии с проведенной классификацией.

При статистическом управлении процессом резания при помощи карты с обозначением $\{A_0 B_0 C_0 D_0 E_0\}$ обработка на станке ведется без коррекций размерной настройки в цикле подналадки (A_0), контроль деталей в середине цикла не проводится (B_0), износ резца не контролируется (C_0), износ резца растет линейно с постоянной интенсивностью износа c (D_0), параметры контрольной карты рассчитаны заранее и не изменяются в процессе работы и подналадки (E_0).

В этом случае [3]:

$$Y(t) = c \cdot t, \quad X(t) = X_0 + Y(t) + \Delta,$$

оптимизации подлежит уровень начальной настройки X_0 и плановая наработка до замены резца t_p .

При статистическом управлении процессом резания при помощи карты с обозначением $\{A_3 B_2 C_0 D_0 E_0\}$ коррекции размерной настройки проводятся с периодом в m деталей. Величина коррекций h_j зависит от j (A_3), остальные параметры коррекции станка фиксированны. Перед коррекцией контролируется только последняя деталь (B_2).

Контроль износа резца не проводится. Замена резца проводится после плановой наработки t_p или по отказу (C_0). Износ резца растет линейно (D_0). Параметры контрольной карты рассчитываются с использованием предварительно собранной статистики (E_0).

В этом случае оптимизации подлежат: уровень начальной настройки X_0 ; период между коррекциями m , величина коррекции h_j ; плановая наработка за цикл подналадки t_p .

$$Y(t) = c \cdot t, \quad X(t) = X(t_j + i) = X(t_j) - h_j + c \cdot i + \Delta, \quad t_j = m \cdot j,$$

где i -номер обработанной детали после j -той до $(j+1)$ -ой коррекции.

Число коррекций за цикл равно или меньше:

$$k = \text{int}(t_p / m),$$

где $\text{int}(\dots)$ – целая часть от выражения в скобках. Число коррекций меньше k , если преждевременно произойдет отказ резца.

В карте с обозначением $\{A_1 B_4 C_1 D_6 E_2\}$: число коррекций в цикле фиксировано (A_1); перед коррекцией контролируется последняя деталь (B_4); износ резца не контролируется и резец заменяется по суммарной коррекции, если она достигает нормативного износа L (C_1); износ изменяется по закону: $Y(t) = c \cdot \varphi(t)$ (D_6); в адаптивном режиме оптимизируются наработки между коррекциями m_j (E_2).

В этом случае:

$$X(t) = X(t_j + i) = X(t_j) - h_j + C \cdot [\varphi(t) - \varphi(t_j - i)] + \Delta,$$

Число коррекций за цикл равно или больше:

$$k = \text{int}\left(\frac{L}{X^+ - X_0}\right),$$

Величина коррекции h_j в этом случае постоянна и равна h . Во избежание брака на величину коррекции должно быть наложено ограничение, то есть:

$$h \leq |X^+ - X_0|,$$

Период до j -той коррекции $m_j = t_j - t_{j-1}$. Моменты коррекции определяются в результате решения следующих уравнений относительно t_j .

$$c \cdot \varphi(t_j) = j \cdot h, \quad j = 1, \dots, k,$$

Где c определяется через значения C в предыдущих циклах.

Значение коэффициента разброса стойкости C оценивается методом наименьших квадратов из статистики размеров деталей $X(t_j)$, $j=1, \dots, k$, если в качестве оценки величины износа $Y(t_j)$ брать $j \cdot h + X(t_j) - X_0$. Средний квадрат

$$D(c) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k [Y(t_j) - C \cdot \varphi(t_j)]^2 =$$

$$= \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k [j \cdot h + X(t_j) - X_0 - C \cdot \varphi(t_j)]^2,$$

Минимум $X(t)$ достигается при [5]:

$$C = \sum_{j=1}^k [\varphi(t_j) \cdot (j \cdot h + X(t_j) - X_0)] / \sum_{j=1}^k \varphi^2(t_j),$$

Заключение

После проведения классификации отличительных особенностей процесса управления станком с ЧПУ, влияющих на параметры используемой при этом контрольной карты появилась возможность их явного отображения в обозначении последней, что упрощает процесс определения её оптимальных параметров, а значит, позволит снизить издержки на текущий контроль и в конечном итоге себестоимость готовой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50779.40–96. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение. – Введ. 1997. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.
2. Макаров А.Д. Износ и стойкость режущих инструментов.– М.: Машиностроение, 1966. – 264 с.
3. Картавцев И.С. Моделирование процесса подналадки станка с ЧПУ // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула: ТулГУ, 2012. – Вып. 2. – С. 282 – 292.
4. Пасько Н.И., Картавцев И.С. Математическая модель контроля размерной настройки станка с ЧПУ по методу контрольной карты // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.– Тула: ТулГУ, 2012. – Вып. 2. – С. 292 – 301.
5. Пасько Н.И., Иноземцев А.Н., Зайков С.Г. Статистическое моделирование процессов и систем. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – 112 с.

Classification and identification of inspection sheets used for monitoring NC turning operation.

11, November 2012

DOI: 10.7463/1112.0483229

Kartavcev I.S., Pas'ko N.I.

Russia, Tula State University
ivan_2la@mail.ru

A classification of inspection sheets for NC machine tools is proposed. It considers several parameters of online monitoring and machine tool adjustment, such as the adjustment type, the possibility of monitoring tool wear by the NC controller, the availability of the dimensional correction in the adjustment cycle, and so forth. Besides, some models of the in-process monitoring of tool wear were considered with different approaches to the process. They represent the dynamics of the process being monitored in the best way. Usage of proposed classification allows one to display parameters affecting the process of numerical machine control onto inspection sheets explicitly. It leads to a simplification of an algorithm of determining its main parameters, which means it allows one to reduce expenses on running control and, in the end, decrease production cost

Publications with keywords: [machine adjustment type](#), [linear wear](#), [inspection sheet](#), [process model](#)

Publications with words: [machine adjustment type](#), [linear wear](#), [inspection sheet](#), [process model](#)

References

1. GOST R 50779.40–96. *Statisticheskie metody. Kontrol'nye karty. Obshchee rukovodstvo i vvedenie* [State Standard of RF 50779.40–96. Statistical methods. Control charts. General guide and introduction]. Moscow, Izdatel'stvo standartov [Standards Publishing House], 1996. 20 p.
2. Makarov A.D. *Iznos i stoikost' rezhushchikh instrumentov* [Wear and resistance of cutting tools]. Moscow, Mashinostroenie, 1966. 264 p.
3. Kartavtsev I.S. Modelirovanie protsessa podnaladki stanka s ChPU [Simulation of the process of additional adjustment of the CNC machine]. *Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Tula State University. Technical sciences]. Tula, TulGU Publ., 2012, iss. 2, pp. 282-292.

4. Pas'ko N.I., Kartavtsev I.S. Matematicheskaya model' kontrolya razmernoy nastroyki stanka s ChPU po metodu kontrol'noi karty [Mathematical model of control of dimensional settings of the machine tool with CNC according to the method of the control card]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Bulletin of the Tula State University. Technical sciences]. Tula, TulGU Publ., 2012, iss. 2, pp. 292-301.
5. Pas'ko N.I., Inozemtsev A.N., Zaikov S.G. *Statisticheskoe modelirovaniye protsessov i sistem* [Statistical modeling of processes and systems]. Tula, TulGU Publ., 2008. 112 p.