

Исследование и разработка автоматического цикла контроля положения заготовок на станках с ЧПУ¹

Л.И. Мартинова,
к.т.н., доц., liliya-martinova@yandex.ru
А.В. Стась,
асп., anna.stas2015@yandex.ru
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

В статье представлен анализ измерительных циклов для определения и контроля реального положения заготовки на столе станка с ЧПУ. Представлена математическая модель цикла определения и контроля положения заготовки для отечественной системы ЧПУ «АксиОМА Контрол». Показана методика разработки циклов определения и коррекции положения заготовки на столе станка с ЧПУ.

The article presents an analysis of measuring cycles for determining and monitoring the actual position of the workpiece on a CNC machine table. A mathematical model of the cycle for determining and monitoring the position of the billet for the domestic CNC system "Axiom Control" is presented. The technique of development of cycles for determining and correcting the position of the workpiece on the table of the CNC machine is shown.

Активное развитие малолюдных и безлюдных технологий невозможно без автоматизации технологического процесса обработки заготовок, например, автоматизации контроля положения заготовки на станке с ЧПУ с целью компенсации погрешностей, возникающих на этапе ее установки.

В процессе установки заготовок на рабочую поверхность станка, возникают погрешности, которые влияют на точность геометрических параметров изготавливаемой детали. Для выявления и компенсации таких погрешностей используют специальные измерительные циклы, позволяющие в автоматическом режиме оценивать и корректировать положение заготовки в системе координат станка.

Погрешность установки складывается из поворотов и сдвига системы координат заготовки относительно заданного положения на станке, и математически может быть представлена в виде вектора погрешности. Для оценки фактического положения заготовки на станке выполняется измерение составляющих вектора погрешности с применением измерительной головки.

Для выполнения контрольных операций используются специальные измерительные циклы, разрабатываемые производителями систем ЧПУ (Siemens, Heidenhain и др.), которые являются закрытым импортным продуктом и зачастую они трудно настраиваются под задачи конечного пользователя. В статье демонстрируется решение задачи создания автоматических измерительных циклов в рамках программного обеспечения для системы ЧПУ «АксиОМА Контрол», в частности, цикла определения и контроля положения заготовки на столе станка с ЧПУ [1, 2].

Анализ погрешностей установки заготовки на столе с ЧПУ

Погрешности, возникающие в процессе обработки заготовок, бывают случайными и систематическими.

Систематические погрешности – погрешности, которые остаются постоянными или изменяются закономерно для всех заготовок из партии (постоянные или переменные). Причинами их возникновения являются: погрешности, износ и деформация станков; погрешности приспособлений; погрешности и износ инструмента; температурные факторы.

Случайные погрешности – погрешности, которые имеют разные незакономерные значения для разных заготовок из партии. Причинами их возникновения являются: погрешности, возникающие при базировании и закреплении детали в приспособлении; деформация технологической системы, вызванная колебанием припуска и твердости; погрешности положения инструмента; погрешности измерений; колебание температуры.

Погрешность установки заготовок на станках и в приспособлениях определяется суммой погрешностей базирования и закрепления. Причинами погрешности базирования могут быть погрешности формы и расположения базовых поверхностей, несовпадения измерительной и установочной баз и др. Погрешность закрепления возникает, в первую очередь, из-за смещений заготовки под действием зажимной силы, которая прилагается для фиксации ее положения. Причина последних - деформации элементов: заготовка – установочные элементы – корпус приспособления. При обработке векторы погрешности закрепления и базирования считаются коллинеарными.

Если заготовка базируется непосредственно на столе станка, рассматриваются только смещение и поворот системы координат заготовки относительно системы координат станка. Если заготовка базируется в приспособлении, то смещение и поворот системы координат заготовки в системе координат станка определяются суммой смещений и поворотов основных баз приспособления в координатной системе станка и системы координат заготовки в системе вспомогательных баз приспособления. В этом наиболее общем случае погрешность базирования детали определяется вектором $\varepsilon_{ДС}$ смещений и вектором σ (φ, Ψ, θ) поворотов.

При этом вектор смещений можно представить векторной суммой, т.е.

$$\varepsilon_{ДС} = \varepsilon_{ПС} + \varepsilon_{ДП},$$

где $\varepsilon_{ДС}$ - вектор смещений детали относительно системы координат станка;

$\varepsilon_{ПС}$ - вектор смещений приспособления относительно системы координат станка;

$\varepsilon_{ДП}$ - вектор смещений детали относительно системы координат приспособления [2, 3].

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/ПЧ)

Методика разработки цикла определения и контроля положения заготовок на столе станка с ЧПУ

Разработка цикла определения и контроля положения включает следующие основные этапы: определение целей и создание математической модели; разработку алгоритма цикла, создание управляющей программы цикла контроля на основе блок-схемы, разработку пользовательского экрана, тестирование на эмуляторе системы ЧПУ и тестирование на станке с системой ЧПУ (рис. 1).

При разработке математической модели нужно определить цели и задачи, погрешности, которые нужно контролировать, концепцию математического аппарата, и на основе этого создать математическую модель в виде формул для расчетов.

При разработке алгоритма определяются входные и выходные параметры цикла, задаются ограничения параметров, проводится разработка последовательности действий и создается математическая модель цикла.

Для создания УП необходимо определить переменные для всех параметров, написать УП на языке высокого уровня системы ЧПУ совместно с языком ISO 7bit.

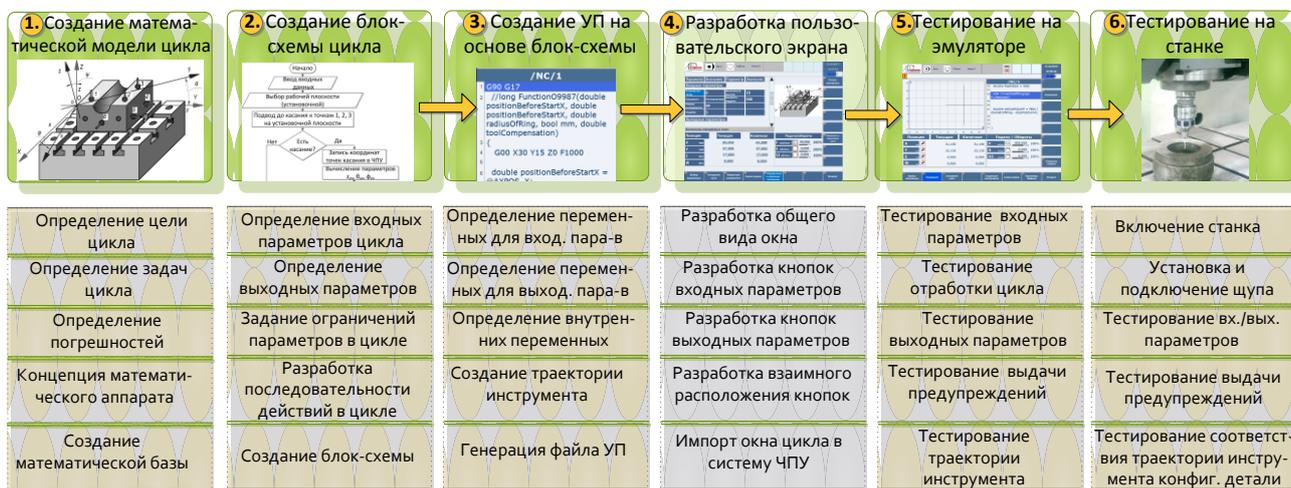


рис. 1 Методика разработки цикла определения положения заготовки на столе станка с ЧПУ

Разработка пользовательского экрана также включает в себя определение степени открытости цикла конечному пользователю, так как элементы, находящиеся на нем, будут доступны оператору.

Разработка математических и алгоритмических моделей для цикла контроля положения заготовки на станке с ЧПУ

Идея автоматического контроля состоит в определении фактического положения заготовки путем замера координат определенных точек заготовки при помощи измерительного щупа по специальным измерительным циклам. Далее система ЧПУ рассчитывает вектор погрешностей, для этого выполняются математические вычисления, результаты которых используются для принятия решения о потребности коррекции положения заготовки. Коррекция положения заготовки, может выполняться виртуально или реально. Рассматриваются два варианта расчёта вектора погрешностей.

Расчёт вектора погрешностей при замере 6 точек на поверхностях, параллельных 3 базам: установочной (3 точки), направляющей (2 точки) и опорной (1 точка).

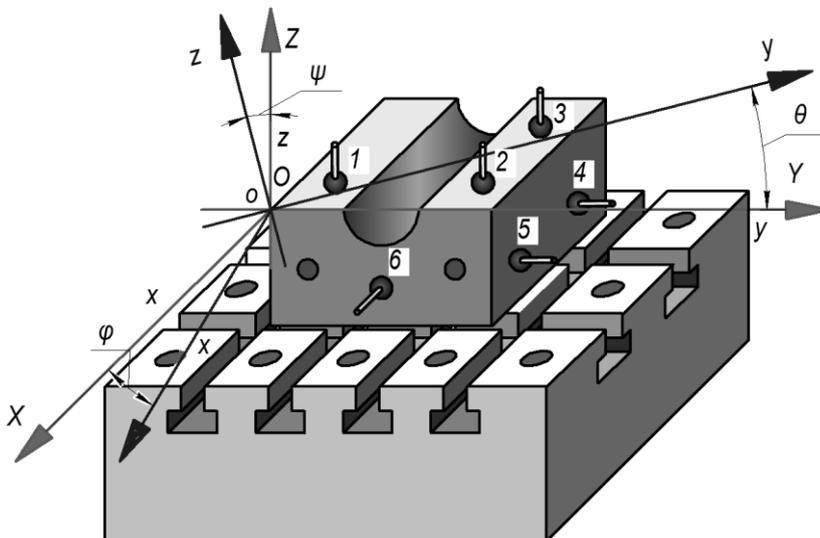


рис. 2 Определение вектора погрешностей

Вектор погрешностей определяется следующим образом:

$$\omega_{yz} = (x_{yz}, y_{yz}, z_{yz}, \varphi_{yz}, \theta_{yz}, \psi_{yz}) \quad (1)$$

где:

x_{y3}, y_{y3}, z_{y3} – параметры смещения относительно осей станка;

$\varphi_{y3}, \theta_{y3}, \psi_{y3}$ – параметры поворота системы OXYZ относительно oxuz (рис. 2).

Вычисление составляющих вектора погрешностей установки по установочной базе выполняется по формуле:

$$\begin{bmatrix} z_{y3} \\ \theta_{y3} \\ \varphi_{y3} \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} (x_2 y_3 - x_2 y_3) & (y_1 x_3 - y_3 x_1) & (y_2 x_1 - y_1 x_2) \\ (y_3 - y_2) & (y_1 - y_3) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где: $z_{y3}, \theta_{y3}, \varphi_{y3}$ - параметры погрешностей, которые вычисляются после обмера точек 1, 2, 3 на установочной базе,

$\Delta z_1 - \Delta z_3$ - величины отклонений положения заготовки относительно оси OZ, которые вычисляются после обмера точек 1, 2, 3 перпендикулярно плоскости XY.

C – определитель системы, который представлен в следующем виде:

$$C = \begin{vmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Составляющие вектора погрешностей установки по направляющей базе вычисляются по формуле:

$$\begin{bmatrix} y_{y3} \\ \psi_{y3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_5}{x_5 - x_4} - \frac{x_4}{x_5 - x_4} & \\ \frac{1}{x_5 - x_4} - \frac{1}{x_5 - x_4} & \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta y_4 \\ \Delta y_5 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где:

y_{y3}, ψ_{y3} – параметры погрешностей, которые вычисляются после обмера точек 4,5 на установочной базе;

X4, X5 – координаты контрольных точек относительно оси OX.

$\Delta y_4 - \Delta y_5$ – величины отклонений положения заготовки относительно оси OY, которые вычисляются после обмера точек 4,5 перпендикулярно плоскости XY (рис. 2).

Для опорной базы используется формула:

$$x_{y3} = \Delta x_6, \quad (5)$$

где: x_{y3} – параметр погрешности, который вычисляется после обмера точки 6 на опорной базе.

Δx_6 – величина отклонения положения заготовки относительно оси OX, которая вычисляется после обмера точки 6 перпендикулярно плоскости YZ [2, 3].

На рисунке 3 представлена блок-схема алгоритма замера координат базовых точек.

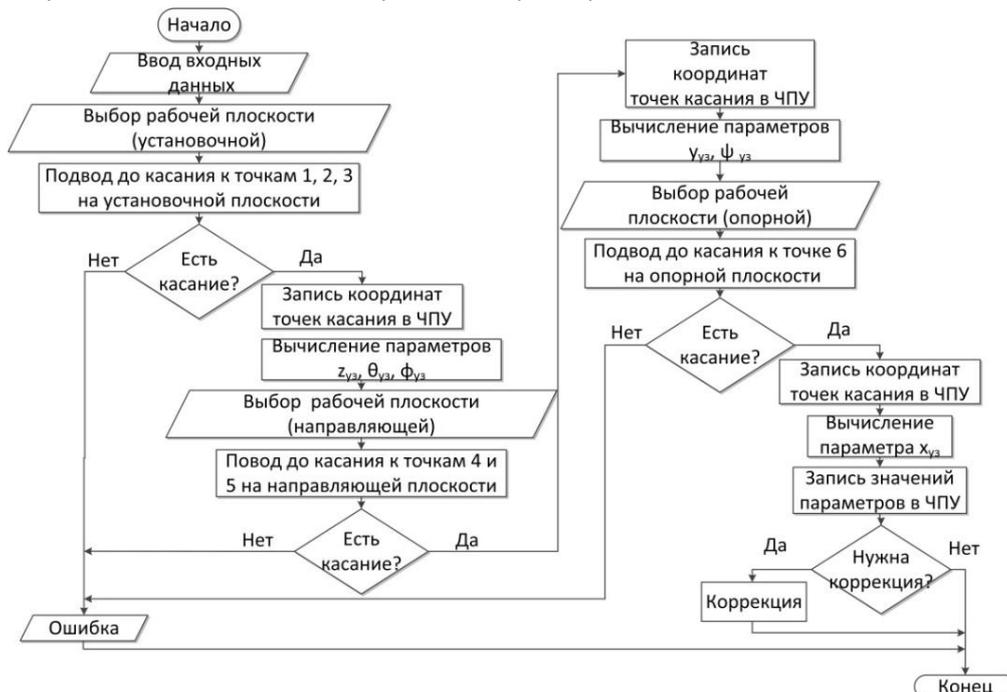


рис. 3 Блок-схема цикла определения положения заготовки

После обмера рассчитанные измерительным циклом параметры вектора погрешностей $(x_{yz}, y_{yz}, z_{yz}, \varphi_{yz}, \theta_{yz}, \psi_{yz})$ записываются в соответствующие ячейки памяти в таблице положения системы координат детали СЧПУ (рис. 4) [2, 4]:

Таблица положений системы координат детали						
P12	X мм	Y мм	Z мм	φ град	θ град	ψ град
G154	0.530	1.253	2.100	12.351	0.462	5.689

рис. 4 Запись рассчитанных значений вектора погрешностей в память ЧПУ

Далее осуществляется коррекция положения системы координат детали с помощью вызова функции G154, значения которой находятся на странице P12 таблицы положения системы координат детали, вставляя кадр (G154 P12) в управляющую программу. Ниже представлен код программы:

```
G00 G15 G17 G40 G49 G53 G71 G80 G90 G94 G97 G153 G191 G193 // Строка безопасности
G154 P12// Вызов функции коррекции положения (результаты для коррекции находятся в ячейке 154 на
странице 12)
N1 G17 T1 M06 G00 X0 Y0
N2 G01 Y50 F1500 G40
N3 G02 X0 Y50 I0 J-50
N4 G01 X0 Y0
Long count = 0;
String strMsg;
N20 G01 Y50 G143.
```

Заключение

Автоматический операционный контроль заготовок и деталей на станке повышает эффективность использования оборудования с ЧПУ. Разработка измерительных циклов для отечественных систем ЧПУ отвечает задачам импортозамещения и повышения гибкости программного обеспечения систем ЧПУ. В рамках создания отечественной системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» разрабатывается набор измерительных циклов для решения основных задач операционного контроля.

Программный код цикла контроля положения заготовки на столе станка реализован на языке высокого уровня, представляющем собой реализацию стандарта ANSI C совместно с языком ISO-7bit. Результаты замеров используются для внесения коррекций в управляющую программу обработки заготовок.

Литература

1. Г. М. Мартинов, Л. И. Мартинова Перспективы развития систем числового программного управления в концепции «Индустрия 4.0» //Иновации, №8, 2016. с.17-20.
2. Л.И. Мартинова, А.В. Стась, А.С. Григорьев, М.С. Бабин Автоматизация операционного контроля на фрезерных станках с ЧПУ // Автоматизация в промышленности, №5. 2017. с.33-36.
3. Баранчукова И.М., Гусев А.А., Крамаренко Ю.Б. и др. Проектирование технологии. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. — Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. — М.: Машиностроение, 1990. — 354-359 с.
4. Г.М. Мартинов, А.И. Обухов, Н.В. Козак Применение инструментария компенсаций погрешностей для повышения точности обработки на вертикально-фрезерных станках с ЧПУ // СТИН, №8. 2017. с.12-15.