

Научная статья

УДК 621.908:621.7.08

doi:10.30987/2223-4608-2022-11-32-38

Разработка комплекса контрольно-измерительных процедур для деталей с особоточными поверхностями на станках с ЧПУ

Любовь Александровна Мясникова¹, начальник группы ПАО НПО «Искра»,

Анна Львовна Каменева², д.т.н.

¹ ПАО НПО «Искра», Пермь, Россия

² ПНИПУ, Пермь, Россия

¹ m.l.a.87@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

² annkam789@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2882-1682>

Аннотация. Представлен новый подход к повышению эффективности процесса резания при использовании измерительных систем на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и обрабатывающих центров. Рассмотрена обработка деталей на станках с ЧПУ с автоматической коррекцией режущего инструмента для поверхностей с жесткими допусками. Приведен метод использования комплекса контрольно-измерительных процедур в технологической подготовке производства на станках с ЧПУ. Представлен укрупненный алгоритм обработки детали на станке по управляющей программе с измерениями в автоматическом режиме, с использованием метода логического управления.

Ключевые слова: станок с ЧПУ, измерительный цикл, управляющая программа, автоматизация, измерительный щуп Renishaw, программное обеспечение Productivity + ActiveEditorPro

Для цитирования: Мясникова Л.А., Каменева А.Л. Разработка комплекса контрольно-измерительных процедур для деталей с особоточными поверхностями на станках с ЧПУ // Научноёмкие технологии в машиностроении. – 2022. – №11 (137). – С. 32-38. doi: 10.30987/2223-4608-2022-11-32-38.

Original article

Development of a complex of control and measuring procedures for parts with high-precision surfaces on CNC machines

Lyubov A. Myasnikova¹, Head of the group of PJSC NPO Iskra,

Anna L. Kameneva², Dr.Sc.Tech.

¹ PAO NPO Iskra, Perm, Russia

² PNP, Perm, Russia

¹ m.l.a.87@mail.ru, ² annkam789@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the development of solutions to improve the efficiency of the cutting process by using the capabilities of modern automated equipment with numerical control (CNC) and the use of these solutions for the introduction of a rational technological process in production. The processing of parts on CNC machines with automatic correction of cutting tools for surfaces with tight tolerances is considered. The method of using a complex of control and measuring procedures in the technological preparation of production on CNC machines is given. An enlarged algorithm for processing a part on a machine according to a control program with measurements in automatic mode using the method of logical control is presented. The result of the operability of experimental studies on the measurement of parts with high-precision dimensions is evaluated.

Keywords: CNC machine, measurement cycle, control program, Automation, Renishaw measuring probe, Productivity + ActiveEditorPro software

For citation: Myasnikova L.A., Kameneva A.L. Development of a complex of control and measuring procedures for parts with high-precision surfaces on CNC machines. / Science intensive technologies in Mechanical Engineering, 2022, no. 11 (137), pp. 32-38. doi: 10.30987/2223-4608-2022-11-32-38.

Введение

В настоящее время повышение точности механической обработки является одним из наиболее актуальных вопросов в производстве, и одним из основных направлений деятельности на машиностроительных предприятиях. Металлорежущее оборудование, оснащенное системами с ЧПУ, обладает функциями корректировки траектории движения резца, учета износа режущей кромки и другими техническими возможностями, точность обработки не всегда соответствует установленным требованиям.

Важнейший момент при изготовлении деталей на станках с ЧПУ это повышение качества продукции. Получить требуемое качество обуславливает контролировать весь процесс обработки. Фактором, сдерживающим увеличение производительности труда, является контроль. Качество выпускаемой продукции напрямую связано с увеличением производительности и надежностью процессов контроля. Внедрение автоматического управления, наряду с увеличением производительности и сокращением количества контроллеров, приводит к устранению субъективных ошибок, что повышает достоверность контроля и качество изготовления продукции.

Один из актуальных способов эффективно совершенствования разработки технологического процесса (ТП) обработки деталей на станках с ЧПУ является использование информации о реальных размерах заготовки в процессе обработки. Это непременно повышает эффективность изготовления продукции на производстве и снижает вероятность брака, сокращает себестоимость изготовления деталей.

Для обеспечения требуемого качества деталей с точными размерами требуется создание особой методики для их изготовления. Современное металлорежущее оборудование и компьютерные технологии позволяют предложить эффективный способ усовершенствовать технологию изготовления на станках с ЧПУ для деталей с особоточными размерами.

Разработка комплекса контрольно-измерительных процедур в ТП механообработки является одним из методов усовершенствования изготовления деталей на станках с ЧПУ и перспективным решением проблемы достижения требуемой точности и качества продукции на производстве.

Целью работы является разработка полуавтоматического комплекса контрольно-измерительных процедур (ККИП). А именно внедрение в разработку технологического процесса (ТП) элемент по измерению ответственных операций на станках с ЧПУ, с фор-

мированием протокола об измерениях. В результате выполнения данной цели мы получим взаимосвязь принятия технологических решений и учет реальных размерных характеристик заготовок деталей в процессе обработки на станках с ЧПУ.

Методика разработки комплекса контрольно-измерительных процедур

Для разработки ККИП необходимо решение ряда следующих задач:

- внесение в систему автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) структурного элемента – измерение точных размеров на станке с ЧПУ датчиком Renishaw (автоматически с УП);

- разработка методики измерения размерных параметров поверхностей заготовок для инженеров-программистов по станкам с ЧПУ;

- формализация проектных процедур для формирования совмещенной управляющей программой (УП) с комплектом контрольно-измерительных средств в рамках CAD/CAM системы;

- установка макросов для измерений непосредственно в систему ЧПУ;

- разработка логического управления в УП с измерениями для автоматизации процесса изготовления;

- отладка автоматизированной УП с измерениями на станке с ЧПУ.

В предлагаемой методике используются измерительные датчики Renishaw, которые поставляются в комплекте со станком с ЧПУ. На этапе разработки ТП технолог включает в обработку на станке с ЧПУ измерения для поверхностей с жесткими допусками. Использование измерительных головок Renishaw для контрольно-измерительных процедур с помощью ККИП подразумевает создание 3D-модели детали по имеющемуся ее чертежу. Разработанный ККИП приведен на рис. 1, особенности выделены темно серым цветом на схеме.

По разработанной 3D-модели чертежа формируется программа для измерения в ПО Productivity+ нужных размеров, указанных в ТП. На каждое измерение, для автоматической коррекции режущего инструмента, прописываются логические условия для дальнейшего управления программой. Далее данная разработанная программа измерения с логическим управлением совмещается с УП на данную деталь. В результате на выходе имеем совмещенную УП с измерениями, которая позволяет в автоматическом режиме в процессе обработки по УП производить измерения и выдавать на выходе отчет о полученных размерах на стойке с ЧПУ.

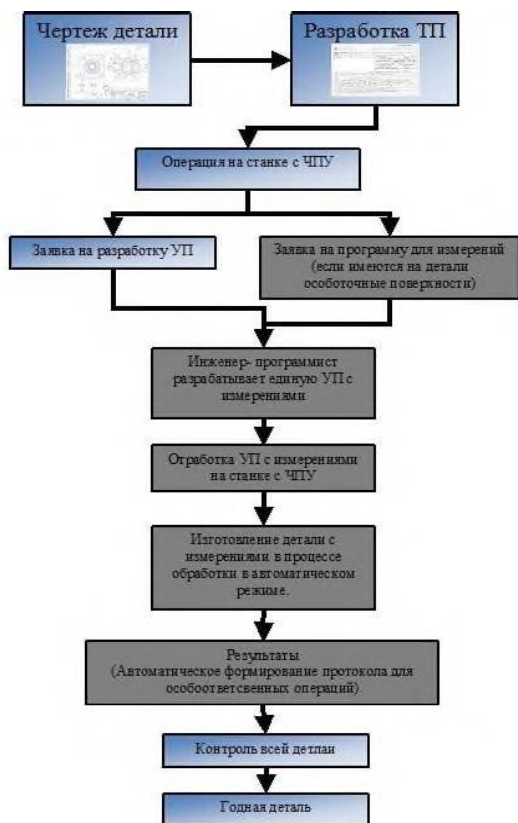


Рис. 1. Организационная последовательность комплекса контрольно-измерительных процедур на станках с ЧПУ

Алгоритм работы УП с измерениями представлен на рис. 2.

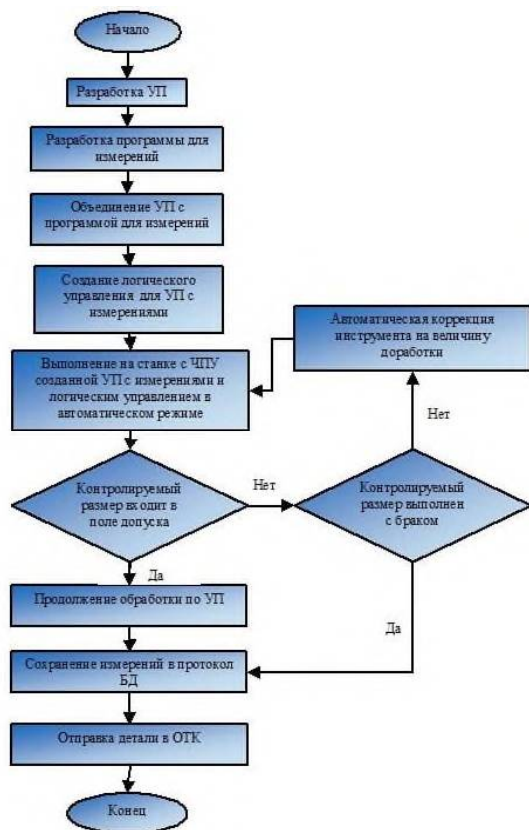


Рис. 2. Укрупненный алгоритм УП с измерениями и логическим управлением

На первом этапе разрабатывается УП в среде NX – CAD/CAM/CAE-система производства компании. Программа использует ядро геометрического моделирования Parasolid. Далее разрабатывается программа для измерений датчиком на станке с ЧПУ. Для программы измерений использовалось программное обеспечение Productivity+ActiveEditorPro [5]. Программный пакет позволяет осуществлять интеллектуальную поддержку основных функций для простых измерительных задач и более сложных процедур, которые встраиваются в программы механической обработки и выполняются в процессе самой обработки. Постпроцессоры Renishaw обеспечивают совместимость программного обеспечения Productivity + ActiveEditorPro с большинством систем ЧПУ. Данная программа реализована как автономное решение и позволяет пользователям импортировать извлеченные из других CAD-системы объемные модели Parasolid в свою программу для измерений. Интерфейс программного обеспечения представлен на рис. 3.

Основной задачей решаемой с помощью ПО Productivity+ActiveEditorPro является активное управление ТП обработки посредством применения датчиков для измерения элементов деталей и обновления параметров механической обработки на основе полученных результатов. Данную программу можно запускать на персональном компьютере и программировать измерения вне производственного цеха без вывода станков из производственного процесса [1].

На третьем этапе две разработанные программы необходимо объединить в одну с наложением логических условий. После установки заготовки в станке оператору необходимо запустить разработанную УП с измерениями, которая в свою очередь вызывает макропрограмму автоматических замеров, выполняемых с помощью измерительного датчика. По окончании замеров макропрограмма осуществит анализ данных хранящихся в системных переменных станка и производит расчёт измеренной поверхности. Полученные результаты расчётов макропрограмма сопоставляет с табличными данными:

- если после измерения размер детали попадает в поле допуска, тогда на стойке станка с ЧПУ выходит сообщение «VERNO», далее продолжается обработка по УП последующего профиля;

- если после измерения размер детали выходит за поле допуска и имеется возможность его доработать, оператору выходит сообщение

«DORABOTKA». Система ЧПУ рассчитывает величину, на которую нужно изменить диаметр или длину режущего инструмента. В автоматическом режиме система сама добавляет в таблицу корректоров расчетную величину на данный инструмент. Далее происходит повторная обработка данного размера с последующими замера. Процедура

происходит до тех пор, пока на выходе не получится необходимый годный размер. Все действия происходят автоматически, без вмешательства оператора; – если после измерения размер детали уходит за грани поля допуска и доработке не подлежит. Оператору выходит сообщение «BRAK», программа останавливается.

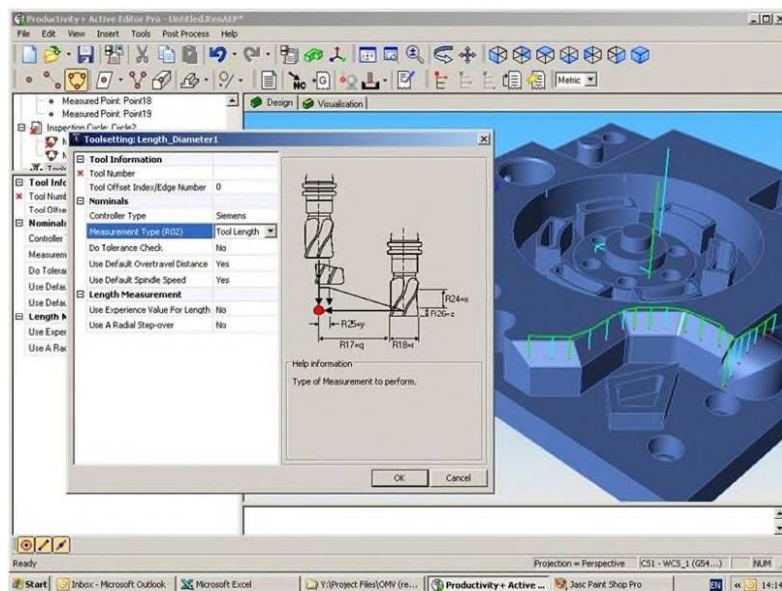


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения

В приведённом алгоритме (рис. 2) работы УП с измерениями ответственных поверхностей в процессе обработки на станке с ЧПУ, реализуется взаимодействие функций метода параметрического макропрограммирования с логическими функциями системы ЧПУ, в результате чего оказывается положительное влияние на технологическую и геометрическую функции системы ЧПУ.

На этом этапе, благодаря взаимодействию комплекса контрольно измерительных процедур с УП и с функциями логического управления системы ЧПУ, появляется возможность, без вмешательства оператора, в автоматическом режиме обрабатывать особоточные размеры качественно и точно. Такой подход позволяет сделать управляющую программу более эффективной, тем самым сократить процент брака при изготовлении.

Для контроля была взята кривая окружности наружного диаметра $d30+0,025$. Данную окружность измерили по точкам (3-м, 6-и, 10-и и 100-м) и по 10 раз. Для каждого измерения фиксировали отклонение диаметра окружности от номинального размера. Зависимость определения отклонения диаметра окружности от ко-

личества измеренных точек представлена на рис. 4.

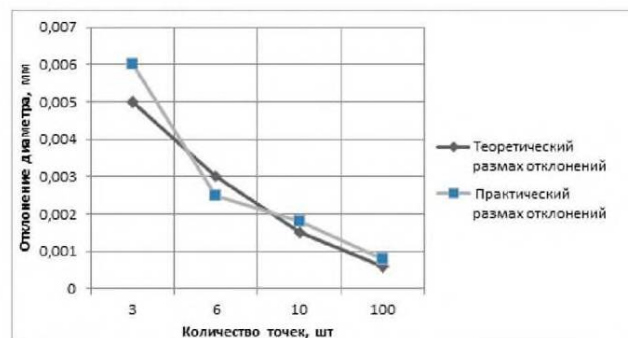


Рис. 4. Зависимость определения отклонения диаметра окружности от количества измеренных точек

Из результатов для каждого способа измерений определялись максимальное и минимальное отклонения диаметра и диапазон ошибки диаметра $AO = 5 \max - 5 \min$. Обобщенные результаты измерений приведены в табл. 1.

1. Результаты измерений окружности координатным методом

Кол-во точек, шт	Полученные измерения отклонений, мм
3	0,0040
6	0,0025
10	0,0013
100	0,0009

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились на технологическом оборудовании ПАО НПО «Искра» г. Пермь. В комплексе данного научно-производственного предприятия исследован следующий контрольно-измерительный инструмент и станок с ЧПУ:

– станок с ЧПУ DMU 85FD Monoblock с системой ЧПУ Sinumerik 840D, страна-производитель – Германия (рис. 5);



Рис. 5. Вертикальный фрезерный пятиосевой обрабатывающий центр с ЧПУ DMG MORI DMU85 monoBLOCK

– измерительный контактный датчик с механической системой срабатывания Renishaw OMP60 страна-производитель Великобритания (рис. 6).



Рис. 6. Контактно-измерительный датчик

Сравнительный анализ разработанных технологических процессов (табл. 2), с учетом реальных размерных характеристик заготовок, показал, что их учет способствует принятию эффективных технологических решений.

2. Последовательность операций разработанных ТП традиционным способом и с помощью ККИП

Традиционный технологический процесс обработки детали	Рациональный технологический процесс разработанный на базе комплекса контрольно-измерительных процедур
Заготовительная операция	Заготовительная операция
Контрольная операция (контроллер измерительным инструментом проводит операцию вручную)	Контрольная операция непосредственно на станке с ЧПУ измерительным щупом Renishaw без участия контролера (полуавтоматический режим)
Токарно-карусельная операция ЧПУ	Токарно-карусельная операция ЧПУ с измерениями в процессе обработки на размеры, которые указал технолог (В автоматическом режиме без вмешательства контролера и оператора)
Контрольная операция (контроллер измерительным инструментом проводит операцию вручную)	Контрольная операция непосредственно на станке с ЧПУ измерительным щупом Renishaw без участия контролера (полуавтоматический режим)
Фрезерная операция ЧПУ	Фрезерная операция ЧПУ с измерениями в процессе обработки на размеры, которые указал технолог (В автоматическом режиме без вмешательства контролера и оператора)
Контрольная операция (измерение изготовленной детали) (контроллер измерительным инструментом проводит операцию вручную)	Контрольная операция непосредственно на станке с ЧПУ измерительным щупом Renishaw без участия контролера (полуавтоматический режим)

Таким образом, введение контрольно-измерительных процедур для обработки поверхностей заготовки на станках с ЧПУ на этапе разработки технологического процесса механической обработки детали способствует разработке рационального варианта технологического процесса.

Результаты

В рассматриваемой промышленной про-

изводственной системе проведена оценка работоспособности разработанного комплекса ККИП. Разработаны рациональные технологические процессы обработки изделий на основе принятия эффективных технологических решений на базе учета реальных размерных параметров поверхностей их заготовок. Методика координатного измерения применялась для осеботорчных размеров на деталях (табл. 3).

3. Нормы времени контрольно-измерительных процедур на производстве

№ п/п	Наименование детали	Кол-во контрольно-измерительных операций, шт.	Время контрольно-измерительной операции, ч		Экономия времени, ч
			Неавтоматизированное измерение	автоматизированная подсистема измерения	
1	Корпус	3	0,65	0,565	0,085
2	Диск основной	4	0,78	0,695	0,085
3	Фланец	5	0,94	0,635	0,305
4	Кольцо разрезное	2	0,25	0,163	0,087
5	Проставок	4	0,75	0,588	0,162
6	Распределитель	2	0,33	0,283	0,047
7	Тройник	3	0,45	0,243	0,207
8	Втулка	6	0,95	0,748	0,202
Итого			5,10	3,920	1,180

Проведенный анализ полученных результатов с целью определения работоспособности методики измерения, показал, что разработанные программы автоматического измерения параметров в процессе обработки на станках с ЧПУ измерительными датчиками Renishaw эффективны при условии правильно разработанной УП.

Заключение

На основе разработанного программного обеспечения ККИП проведен промышленный эксперимент и проанализировано практическое применение сформированного рационального комплекта контрольно-измерительных средств в действующей производственной системе, в качестве которой выбрано научно-производственное предприятие ПАО НПО «Искра» г. Пермь. Проведенные экспериментальные исследования для определения отклонений геометрической формы поверхности заготовок показали, что данные программы автоматического измерения параметров работоспособны.

Введение контрольно-измерительных процедур для обработки поверхностей заготовки на станках с ЧПУ на этапе разработки технологического процесса механической обработки детали способствуют разработке рационального варианта технологического процесса.

Применение разработанного комплекта контрольно-измерительных процедур для разработки рационального ТП обработки изделий и формирования рационального комплекта контрольно-измерительных средств позволило сократить время контрольно-измерительных процедур при изготовлении заданной номенклатуры деталей и повысить производительности процесса изготовления деталей в данной производственной системе.

На основании вышеизложенного, можно сделать следующий вывод, что использование метода контрольно-измерительных процедур в автоматическом режиме на станке с ЧПУ расширяет возможности функций системы ЧПУ, что делает использование такого метода при разработке и отладке управляющих программ для станков с ЧПУ весьма эффективным, а получаемую управляющую программу более функциональной. Метод позволяет автоматически корректировать режущий инструмент непосредственно во время обработки, тем самым повышая качество обработанной поверхности и снижая вероятность брака. Управляющая программа с измерениями позволяет также осуществлять сбор сведений о полученных измерениях в базе данных, давая возможность формировать протоколы в ОТК.

Основное преимущество разработки технологического процесса деталей с осеботорчными

размерами с помощью предлагаемое ККИП базируется на реальных размерных характеристиках заготовок каждой из обрабатываемых деталей, а не усредненных требований к их конструктивным характеристикам, что способствует обеспечению заданной точности детали и сокращению себестоимости ее изготовления [2].

Исследования, проведенные в процессе реального производства, показали, что разработанные и внедренные УП с контрольно-измерительными процедурами на многофункциональных обрабатывающих центрах с ЧПУ, оснащенных цифровыми измерительными устройствами, обеспечивают заданные показатели качества изделий при существенном сокращении сроков ТПП и станочного времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Мясникова, Л.А., Каменева, А.Л. Обеспечение качества изготовления сложнопрофильных деталей за счет использования измерительных головок Renishaw //Иновации в машиностроении: сб. науч. тр. / КГТУ им. Т.Ф. Горбачева. – Кемерово. – 2019. – с. 194-198.

2. Нежметдинов, Р.А., Пушков, Р.Л., Евстафьева, С.В., Мартинова, Л.И. Построение специализированной системы ЧПУ для многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центров //Автоматизация в промышленности. – 2014. – №6. – С. 25-28.

3. Руководство пользователя по измерительным системам Renishaw.

4. Сосонкин, В.Л., Мартинов, Г.М. Системы числового программного управления – СПб.: БХВ – Петербург, 2001. – С. 701-705.

5. Productivity+ActiveEditor расширение возможностей обработки. – Англия. – 2017. – С. 5-21.

6. SINUMERIK 840D/810D/FM-NC Измерительные циклы. Справочник пользователя издание 12.97. Siemens. – С. 231-284.

REFERENCES

1. Myasnikova L.A., Kameneva A.L. Ensuring the quality of manufacturing of complex profile parts through the use of Renishaw measuring heads //Innovations in mechanical engineering: collection of scientific tr./ KSTU named after T.F. Gorbachev. Kemerovo, 2019. pp. 194-198.

2. Nezhmetdinov R.A., Pushkov R.L., Evstafyeva S.V., Martynova L.I. Construction of a specialized CNC system for multi-axis turning and milling machining centers // Automation in industry, No. 6, 2014. pp. 25-28.

3. User manual for Renishaw measuring systems.

4. Sosonkin V.L., Martynov G.M. Numerical control systems – St. Petersburg: BHV - Petersburg, 2001. pp. 701-705.

5. Productivity + ActiveEditor, expanding processing capabilities - England, 2017. pp. 5-21.

6. Measurement cycles SINUMERIK 840D/810D/FM-NC. User's Guide, edition 12.97. Siemens. pp. 231-284.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 05.06.2022; одобрена после рецензирования 10.06.2022; принята к публикации 17.06.2022.

The article was submitted 05.06.2022; approved after reviewing 10.06.2022; assepted for publication 17.06.2022.

