

УДК 621.002.2 + 621:681.3

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ И ПРЕЦИЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Высогорец Я.В., Лопатин В.М., Чиненов С.Г. (ЮУрГУ, г. Миасс, Россия)

Тел./Факс: +8 (3513) 55 46 64, 8 908 577 40 27; E-mail: strangerindarkness@yandex.ru

***Аннотация.** В статье приведены данные об исследованиях в области автоматизации контрольных операций и обработки высокоточных цилиндрических поверхностей. Представлены математические модели и программное обеспечение для контроля цилиндрических и торцевых поверхностей деталей машин. Полученные данные могут быть использованы для компьютеризированных методов отделочной обработки с помощью пучка ионизированных частиц. Спроектированы комплексы для измерений и обработки указанных поверхностей.*

***Ключевые слова:** автоматизация контроля и отделочной обработки, комплексный параметр точности, ионная обработка*

1. Введение. Одной из актуальных задач машиностроения является задача комплексного компьютеризированного контроля с помощью недорогого, надежного, простого в эксплуатации измерительного устройства, обеспечивающего возможность межоперационного контроля, централизованного сбора и обработки информации, построения диаграмм, графиков и т.п., а также программируемой отделочной обработки [1,2,3,4,7,8,9]. Существующие аналоги — контрольно-измерительные машины (КИМ) — дороги даже для крупносерийного производства, сложны в настройке и эксплуатации, неприменимы для межоперационного контроля и, зачастую, не обеспечивают необходимую точность измерений из-за несовершенства методики определения параметров точности [3,4,10].

Метрология выделяет 4 основных параметра точности: размерную точность IT (кавалитет), точность взаимного расположения поверхностей, точность формы, шероховатость [6]. Наиболее сложными для контроля являются параметры точности взаимного расположения поверхностей и формы. При определении таких параметров точности необходимо знать точные параметры прилегающей окружности, и/или плоскости. Именно из-за неточности нахождения этих окружностей и плоскостей, которые, как правило, определяются по трем случайно выбранным точкам, возникает существенная методическая составляющая общей погрешности измерений.

Действительная форма поверхностей, определенная на основе информации о множестве точек сечения (порядка 100), необходима для компьютеризированной отделочной обработки (в частности – ионной). Данные, полученные в результате измерения, используются для настройки параметров ионного пучка.

2. Основное содержание и результаты работы. Разработаны математические модели, которые основываются на определении большого количества точек сечений с использованием запатентованного метода [7] обработки координат этих точек (рис. 1) [1,2,3,9].

Для наружных цилиндрических поверхностей в моделях реализована следующая методика: через каждые три точки сечения проводятся окружности (см. рис. 1), далее среди них отбираются окружности, охватывающие все точки сечения, после чего, из числа охватывающих выбирается окружность с минимальным диаметром, которая принимается за прилегающую. На этих данных основываются дальнейшие расчеты комплексного параметра точности. При контроле внутренних цилиндрических

поверхностей выбираются охватываемые окружности, а за прилегающую принимается охватываемая окружность с максимальным радиусом [1,2,3,7,9].

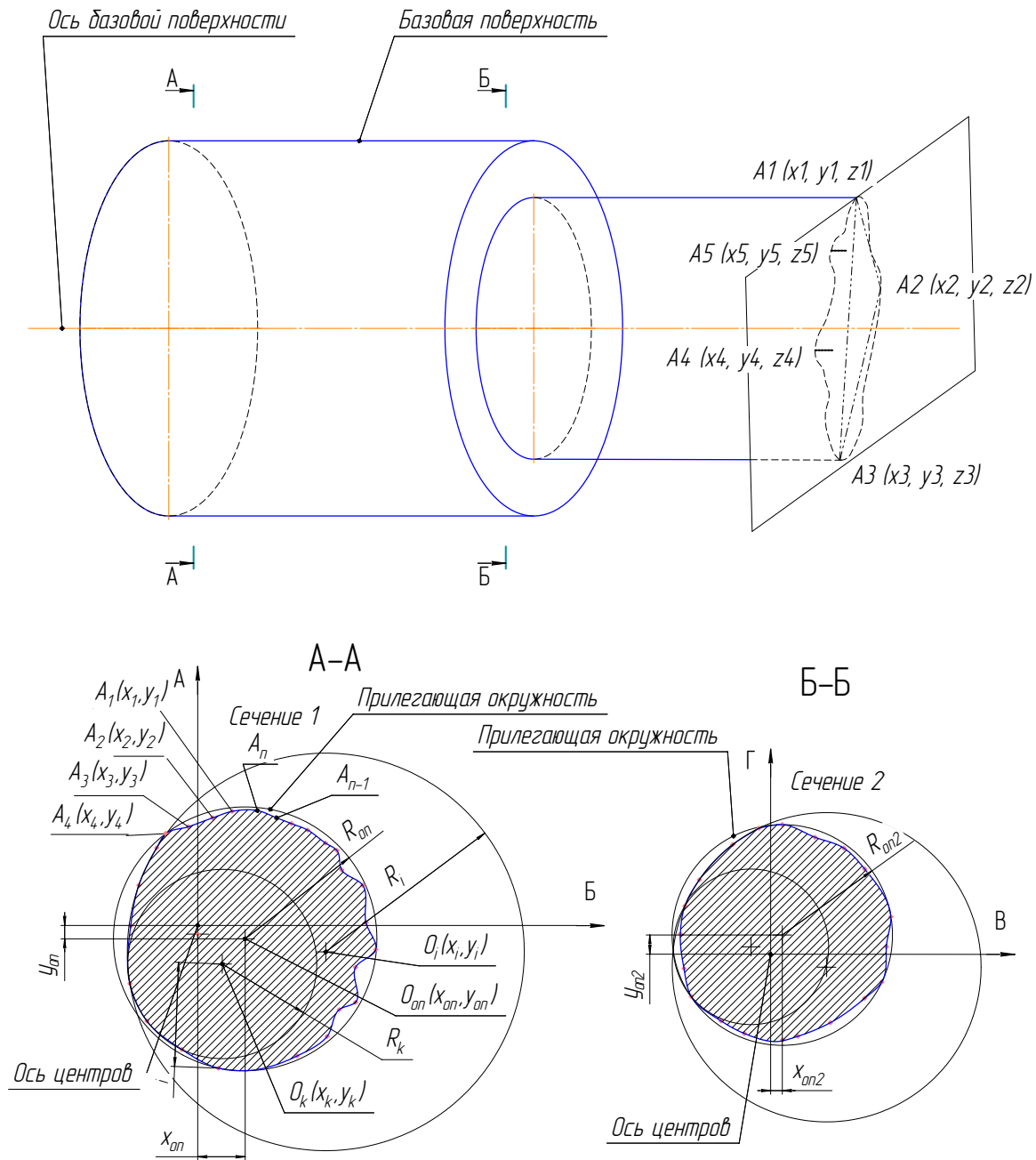


Рис. 1. Определение прилегающих окружностей и плоскости

Для торцевых поверхностей методика, реализуемая в математических моделях, состоит в следующем: на контролируемом торце на заданном радиусе снимаются показания о ста равноудаленных друг от друга точках сечения, после чего через каждые три из них проводятся плоскости. Из всех плоскостей выбираются плоскости лежащие справа/слева (в зависимости от установки), далее из группы плоскостей выбирается плоскость, построенная по трем наиболее удаленным друг от друга точкам. Ось базовой поверхности, участвующая в расчетах определяется по двум сечениям,

прилегающие окружности для которых находятся по методике, описанной выше [1,2,3,7,9].

Описанная математическая модель реализуется программно в специализированном обеспечении, написанном в среде «Delphi» (рис. 2)

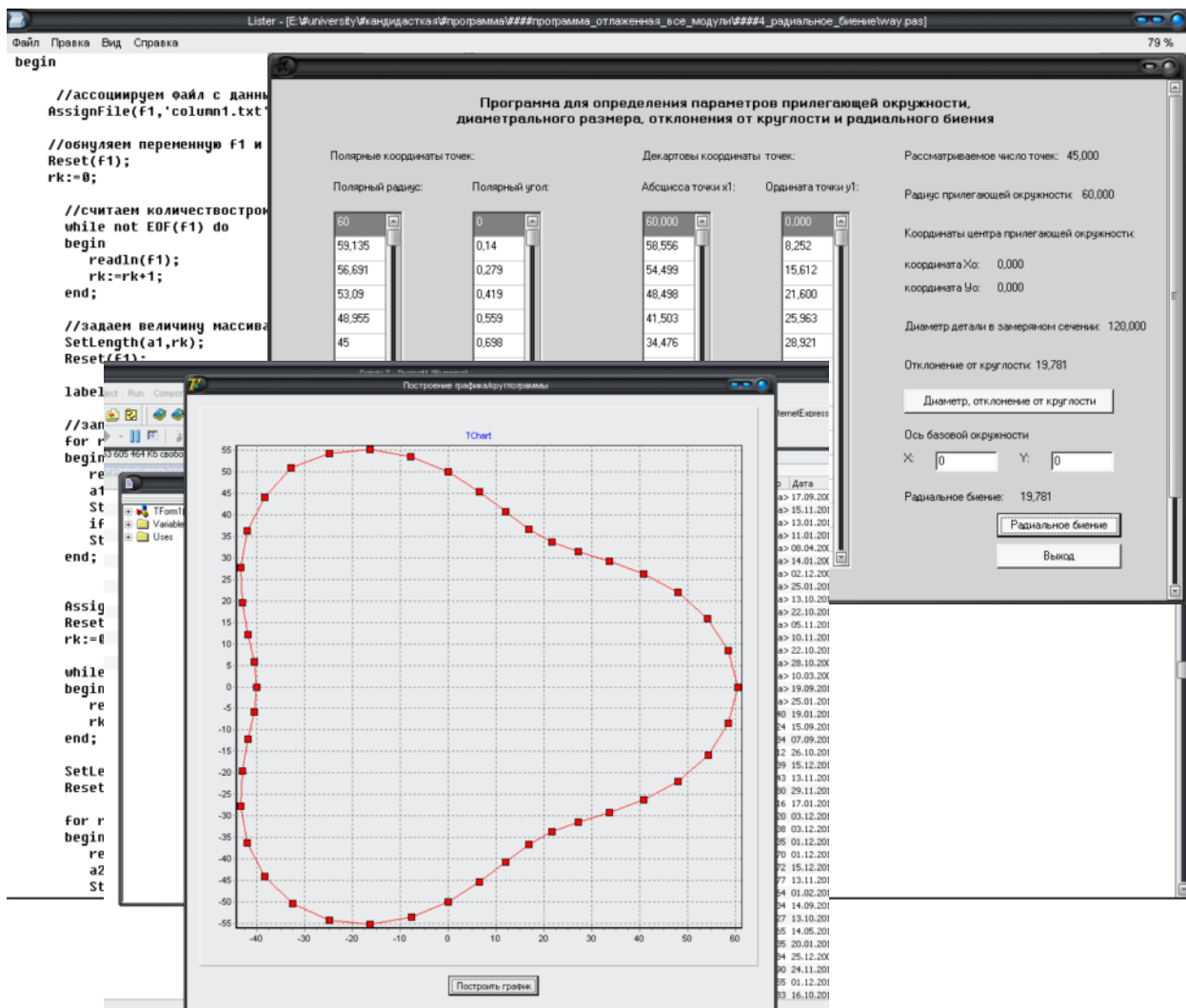


Рис. 2. Программная реализация моделей

Для реализации математических и программных наработок было спроектировано и изготовлено измерительное устройство, состоящее из модернизированных стандартных центров, шагового двигателя и датчиков положения, передающих через контроллер массивы с данными на персональный компьютер (рис. 3,4).

Компоновка устройства следующая: на станине 1 (см. рис. 3) расположены передняя и задняя бабки. К передней бабке крепится шаговый электродвигатель 2. Электродвигатель осуществляет тарированный поворот детали. Вращение детали осуществляют вращающиеся центры 3, 4.

Для определения радиус векторов проверяемых сечений используются датчики положения 5, установленные на стойках 6. Передачу вращения с вала двигателя на вал центра осуществляет постоянная втулочная муфта 7.

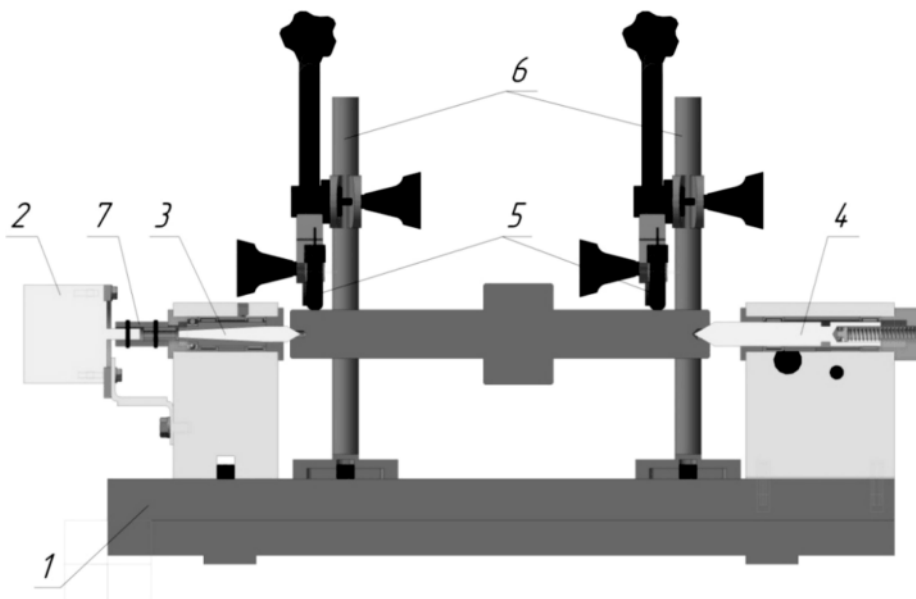


Рис. 3. Компоновка измерительного устройства

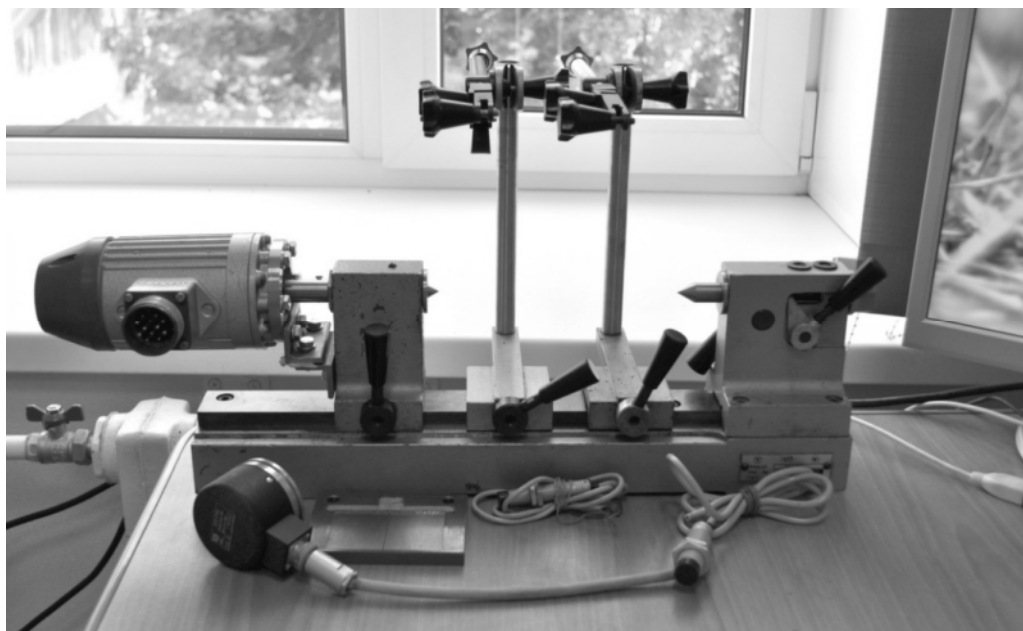


Рис. 4. Фотография измерительного устройства

Разработанное устройство на два-три порядка дешевле КИМ, более универсально, проще и надежней в эксплуатации, может использоваться на предприятиях, работающих в условиях серийного и массового производств. Информация о форме сечений, определенная с помощью измерительного устройства, необходима для последующей отделочной обработки (например, при программировании отделочных методов обработки).

Известные отделочные методы механической обработки (табл. 1) не всегда подходят для получения изделий особо высокой точности, а также изделий из материалов повышенной хрупкости (стекло и др.).

Таблица 1. Методы отделочной обработки цилиндрических поверхностей

Отделочная обработка наружных поверхностей			Отделочная обработка внутренних поверхностей		
Способ обработки	IT	Ra	Способ обработки	IT	Ra
Тонкое точение	5-6	0,2-0,8	Тонкое растачивание	6-7	0,2-0,8
Тонкое шлифование	5 и точнее	0,1-0,4	Тонкое шлифование	5 и точнее	0,1-0,4
Суперфиниш	5 и точнее	0,05-0,4	Тонкое развертывание	6-7	0,4-0,8
Притирка	5-7	0,1-3,2	Протягивание, прошивка	6-8	0,05-1,6
Полирование	5-6	0,05-1,6	Притирка	5-7	0,1-3,2
Обработка ПЖД	6-9	0,05-1,6	Полирование	5-6	0,05-1,6
Хонингование	6-8	0,05-0,4	Дорнование, раскатывание	6-9	0,05-1,6
Лаппингование	5-6	0,025-0,8	Хонингование	6-8	0,05-0,4
Шабрение	6-7	0,1-0,8	Лаппингование	5-6	0,025-0,8
Доводка	5 и точнее	0,012-0,2	Шабрение	6-7	0,1-0,8
			Доводка	5 и точнее	0,012-0,2

Для получения поверхностей особо высокой точности может быть применена программируемая обработка пучком ионизированных частиц, при которой необходимо знать действительную форму поверхностей деталей перед обработкой (см. выше).

Основы данного метода разработаны в микроэлектронной промышленности, где ионная обработка или ионно-лучевое травление используются в технологии формирования электронных микроструктур. По величине удаляемой массы материала, скорости травления и глубине приповерхностных дефектов ионная обработка соответствует высоким требованиям точности. Физические основы процесса ионной обработки заключаются в механическом столкновении ионов с атомами твердого тела. Результат столкновения выражается в передаче импульса и энергии поверхностному атому. Если переданная в результате столкновения энергия превышает значение энергии связи, то атом отрывается от поверхности и переходит в распыленное состояние. Эффективность процесса зависит от массы ионов в потоке, их энергии, а также от угла наклона пучка к поверхности. Количественной оценкой процесса является коэффициент распыления, который выражается числом удаленных с поверхности атомов на один падающий ион.

Процесс ионной обработки поверхности имеет следующие специфические особенности.

1. Направленный ионный пучок создается с помощью ионного источника, в котором происходит ионизация атомов газа и формирование потока ионизированных частиц. Рабочим веществом источника чаще всего служит инертный газ. Поток ионизированных частиц инертного газа может распространяться только в вакууме, поэтому процесс производится в вакуумной камере.

2. Скорость удаления материала зависит от угла падения ионного пучка на поверхность. Для повышения эффективности процесса следует ориентироваться на оптимальный угол падения (60° - 70°), соответствующий максимальному значению скорости травления.

3. Удаление материала происходит в зоне взаимодействия пучка с поверхностью детали. Форма и размеры этой зоны ограничиваются диафрагмами, которые формируют поперечное сечение пучка.

4. Эффективность процесса удаления зависит от вида материала, его структуры и свойств. При этом многие металлы и диэлектрики имеют близкие по своему значению скорости травления.

5. При постоянной скорости травления толщина удаляемого слоя в зоне взаимодействия ионного пучка с поверхностью пропорциональна времени взаимодействия. За счет изменения времени взаимодействия можно менять толщину удаляемого слоя.

Указанные особенности позволяют в самом общем виде описать установку, с помощью которой реализуется предлагаемый способ. На рис. 5 изображена упрощенная блок-схема установки для ионной обработки деталей типа «тело вращения».

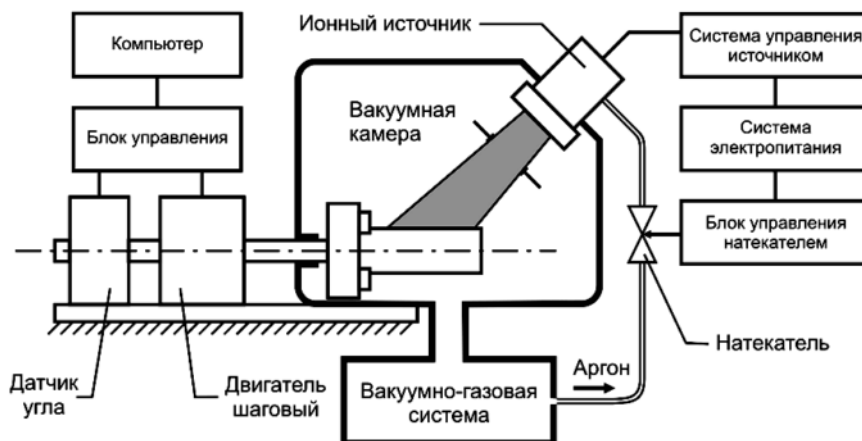


Рис. 5. Схема установки для ионной обработки детали вращения

Обрабатываемая деталь крепится в шпинделе, расположенном в вакуумной камере. В камере находится также источник ионов, направленный на поверхность детали, и система диафрагм, формирующая пучок ионов. Вакуумно-газовая система обеспечивает откачку газа из вакуумной камеры и ввод слабого потока инертного газа в ионный источник. Основное назначение вакуумно-газовой системы выражается в предварительной откачке вакуумной камеры и поддержании рабочего давления в процессе ввода инертного газа.

Ионная система состоит из источника ионов, систем управления и электропитания. Источник обеспечивает направленный поток ионизированных частиц из внутренней камеры, в которой генерируется низкотемпературный газовый разряд.

Система поворота детали предназначена для автоматического разворота детали внутри вакуумной камеры с одновременным контролем и индикацией угла разворота. Система должна обеспечивать угол разворота от 0° до 360° с переменной скоростью и возможностью позиционирования детали в заданном угловом положении. Конструктивно система состоит из шагового двигателя и датчика угла, связанных общим валом. Управление и контроль поворота обеспечиваются специальным электронным блоком, подключенным к персональному компьютеру на основе данных о действительной форме сечения. Принцип действия установки основан на регулировании скорости вращения детали, облучаемой потоком ионизированных частиц. Скорость вращения выбирается на основе результатов компьютерной обработки данных об изменении радиуса детали. Чем больше значение радиуса отклоняется от среднего в сторону увеличения, тем меньше скорость вращения детали. Другими словами, для каждой формы дефекта необходимо подобрать закономерность изменения скорости вращения.

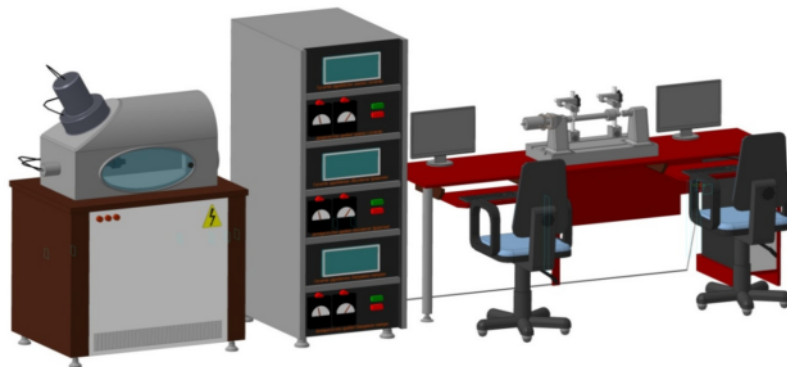


Рис. 6. Комплекс автоматизированного контроля и обработки

В общем виде дефекты некруглости имеют довольно сложную зависимость от окружного угла. Однако для всякой сложной зависимости в некотором приближении можно провести разложение в ряд Фурье и представить сложную зависимость в виде суммы простых тригонометрических функций. Для каждой простой функции можно подобрать закономерность изменения скорости вращения. Результирующую скорость вращения, как и дефект, можно представить суммой простых скоростей, сдвинутых относительно друг друга по фазе. Вращение детали с результирующей скоростью приводит к одновременному удалению дефектов различных форм.

В целом комплекс автоматизированного контроля и обработки состоит из двух конструктивных блоков. Первый блок – приспособление для контроля и система математической обработки результатов измерения. Второй блок – система ионной обработки, соответствующая схеме, представленной на рис. 5. Возможный внешний вид автоматизированного комплекса, состоящего из названных блоков, был спроектирован в рамках студенческой научно-исследовательской работы. Результаты проектирования представлены в объемной форме на рис. 6.

В составе комплекса организовано два рабочих места, каждое место оснащено персональным компьютером. С помощью компьютеров выполняется автоматическая обработка результатов измерений и организуется управление процессом удаления погрешностей. Первое рабочее место (на рис. 6 расположено справа) предназначено для выполнения контрольного этапа: проведение измерений и компьютерная обработка результатов. На втором рабочем месте выполняется удаление обнаруженных погрешностей путем ионной обработки. По окончании процесса деталь возвращается на первое рабочее место для оценки результатов обработки.

3. Заключение. Таким образом, приведенные исследования позволяют осуществлять комплексный компьютеризированный контроль поверхностей деталей машин на универсальном, недорогом, точном и простом в эксплуатации измерительном устройстве, а также осуществлять последующую программируемую обработку поверхностей. Нарботки, приведенные в статье, рекомендуется применять в условиях серийного и массового производств при контроле/изготовлении прецизионных деталей.

Список литературы: 1. Высогорец, Я.В. Комплексный компьютеризированный контроль точности / Я.В. Высогорец, С.Г. Чиненов // Инновации и традиции науки и образования: материалы Всероссийской научно-методической конференции. Сыктывкар: СыктГУ, 2010. – Часть 1. – С. 42-47. 2. Высогорец, Я.В. Комплекс для автоматизированного контроля и обработки деталей типа «тело вращения» / Я.В. Высогорец, В.М. Лопатин, С.Г. Чиненов // Научное оборудование в машиностроении: материалы научно-практической конференции (г. Ишимбай, 14-15 мая 2010 г.). Уфа:

УГАТУ, 2010. – С. 56-57. **3.** Высокорец, Я.В. Новый метод контроля цилиндрических поверхностей / Я.В. Высокорец, С.П. Максимов // Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве: сб. науч. тр. факультета «Машиностроительный» филиала ЮУрГУ в г. Миассе. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – С. 86–89. **4.** Лакирев, С. Г. Измерение сложнопрофильных цилиндрических поверхностей с использованием компьютера / С. Г. Лакирев, С. П. Максимов // Управляющие и вычислительные системы. Новые технологии: Материалы межвузовской научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ, 2000. – С. 11-12. **5.** Матвеев, В.В. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении / В.В.Матвеев, Ф.И.Байков, Ю.Н.Свиридов. – Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1979. – 111 с. **6.** Машиностроение. Энциклопедия в 40 т. / Ред. совет: К.В. Фролов и др. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Том III-7 / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др.; под общ. ред. В.В.Клюева, – 2-е изд., перераб и доп. М.: Машиностроение, 2001. – 464 с., ил. **7.** Патент 2 348 006 С1 Российская Федерация, МПК⁵¹ G 01 B5/08, G 01 B5/12. Способ размерного контроля поверхностей деталей, имеющих круглые сечения / С.Г. Чиненов, С.П. Максимов, Я.В. Высокорец – № 2007126311/28; заявл. 10.07.07; опубл. 27.02.09, Бюл. № 6 – 15 с. **8.** Патент RU 2147117. G01C19/56. «Способ балансировки полусферического резонатора волнового твердотельного гироскопа». Бодунов Б.П., Лопатин В.М., Лунин Б.С. **9.** Чиненов, С.Г. Способ размерного контроля цилиндрических деталей на примере круглых сечений. Математическое и программное обоснование / С.Г. Чиненов, Я.В. Высокорец // Конструкции, технологии, управление в машиностроении и строительстве: сб. науч. тр. факультета «Машиностроительный» филиала ЮУрГУ в г. Миассе. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – С. 75–80. **10.** IMT Technische Unterlagen. Koordinaten Meßgeräte „UMC 850 OPTON“. – Carl Zeiss, 1989. – 528 с: ил.

THE AUTOMATED CONTROL AND PRECISION PROCESSING OF CYLINDRICAL AND FACE SURFACES

Visogorets Y.V., Lopatin V.M., Chinenov S.G. (SUSU, Miass, Russia)

Abstract: The article considers data about researches in area automated control operations and precision processing of cylindrical and face surfaces. This article also representing some math models and software for automated control. Data from control operations also using for computer methods of precision processing by bunch of ionic particles. Designed some complexes for measurements and processing of surfaces.

Key words: the automated control and precision processing, complex accuracy parameter, ionic processing

АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ І ПРІЦІЗІОННА ОБРОБКА ЦИЛІНДРИЧНИХ І ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХОНЬ

Вісогорец Я.В., Лопатін В.М., Чіненов С.Г. (ЮУрГУ, Міас, Росія)

Анотація: У статті наведені дані про дослідження в галузі автоматизації контрольних операцій та обробки високоточних циліндричних поверхонь. Представлені математичні моделі та програмне забезпечення для контролю циліндричних і торцевих поверхонь деталей машин. Отримані дані можуть бути використані для комп'ютеризованих методів оздоблювальної обробки за допомогою пучка іонізованих частинок. Спроектвані комплекси для вимірювань і обробки зазначених поверхонь.

Ключові слова: автоматизація контролю та оздоблювальної обробки, комплексний параметр точності, іонна обробка.

Надійшла до редколегії 16.12.2010.