

приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значения оптимальных режимов резания и максимальных значений целевой функции

Инструментальный материал	v , м/мин	T , мин	F , м ²
ВКК	188,052	7,558	0,142
ВКК – (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N	331,253	11,112	0,368

Инструмент, оснащенный СМП из ВКК с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N, в общем случае позволяет значительно повысить эффективность обработки по сравнению с инструментом из ВКК без покрытия.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить возможность повышения режущих свойств инструмента, оснащенного СМП из ВКК, путем применения многослойно-композиционных покрытий.

Установлено, что при продольном точении стали ХВГ инструмент, оснащенный СМП из ВКК с покрытием (Ti,Al)N-(Ti,Cr)N-(Ti,Cr,Al)N, в общем случае позволяет в 2..2,5 раза повысить эффективность обработки по сравнению с инструментом из ВКК без покрытия.

Литература

1. Верещака А.С. Некоторые тенденции развития технологической производственной среды. // СТИН. № 8. 2009. с. 9-14
2. Сотова Е.С. Повышение эффективности резания закаленных сталей путем применения высокопрочной композиционной керамики с многослойно-композиционными покрытиями. // Дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011.
3. Шарипов О.А. Повышение эффективности и обеспечение надежности резания инструментом из твердого сплава с износостойким покрытием: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МГТУ «Станкин», 1992. 198 с.

Виртуальная координатно-измерительная машина

к.т.н. проф. Суслин В.П., к.т.н. доц. Джунковский А.В., Поповкин А.В., Холодов Д.А.
 Университет машиностроения
 8(495) 223-05-23 доб.1392, 1472, labsapr@narod.ru

Аннотация. В статье рассмотрены принципы построения и реализации виртуальной координатно-измерительной машины (КИМ), позволяющей разрабатывать на ПК управляющие программы для реальных КИМ, не занимая их производственное время. В разработке виртуальной КИМ особое внимание уделено повышению реалистичности моделирования измерений на экране ПК и повышению быстродействия программных модулей для создания режима реального времени.

Ключевые слова: измерения, координатно-измерительная машина, виртуальная КИМ, координатные измерения, управляющая программа.

Эффективное использование дорогостоящего производственного оборудования снижает себестоимость продукции и повышает ее конкурентоспособность. Максимальная загрузка оборудования достигается при его использовании по прямому назначению без отвлечения на вспомогательные операции. Примером могут быть координатно-измерительные машины (КИМ), стоимость которых составляет миллионы и даже десятки миллионов рублей.

В производстве на КИМ осуществляют контроль правильности геометрии деталей, что позволяет на ранней стадии определить и исправить ошибки технологических процессов. Измерения деталей, как правило, осуществляется в автоматическом режиме по заранее подготовленным управляющим программам (УП). Чаще всего для подготовки управляющих программ используется сама КИМ. Оператор вручную производит измерения детали, а спе-

циальное программное обеспечение фиксирует его действия в виде команд управляющей программы. Такой способ подготовки управляющей программы называется режимом обучения.

Принципиально, что, когда КИМ занята подготовкой управляющей программы, она не используется по своему прямому назначению, следовательно, в это время не происходит компенсация затрат на ее приобретение. Поэтому естественным представляется решение создавать УП на персональных компьютерах (ПК). Современное состояние компьютерной техники, методов вычислительной геометрии и экранной графики позволяют моделировать процессы измерения на КИМ с высокой степенью реалистичности. Рабочее место, оснащенное ПК и специальным программным обеспечением, позволяющим моделировать измерения, назовем виртуальной КИМ. Ее назначение – подготовка управляющих программ для реальных координатно-измерительных машин.

Отметим, что современные зарубежные программы для КИМ, такие как PC DMIS, LK DMIS, METROLOG, Virtual DMIS, имеют в своем составе модули, реализующие режим виртуальной КИМ [1].

В лаборатории САПР также ведется разработка виртуальной КИМ. В этой работе используется предшествующий опыт лаборатории САПР, накопленный при создании таких программных продуктов, как СПОП – пакет для проектирования изделий сложной формы и их обработки на фрезерных станках с ЧПУ, СПОП-ВиО – визуализатор обработки для проверки управляющих программ станков с ЧПУ, ГеоКон – система геометрического контроля по мат. моделям изделий сложной формы. Последние разработки лаборатории – это пакет ГеоАРМ, измерительная программа для работы на КИМ с ручным и автоматическим управлением [2, 3], и методы решения плохо обусловленных измерительных задач [4, 5]. Все перечисленные программы нашли применение в промышленности. Поэтому имеются основания к тому, что и новая разработка – виртуальная КИМ – также будет выполнена профессионально и будет востребована потребителями.

В виртуальной КИМ используются математические модели самой КИМ с необходимой степенью детализации и математические модели деталей, полностью описывающие их геометрию. При этом метрологическим службам не требуется создавать мат. модели деталей, так как на современных предприятиях проектирование изделий осуществляется на компьютерах, и объемные математические модели деталей в виде стандартных файлов передаются по сетям в измерительные лаборатории.

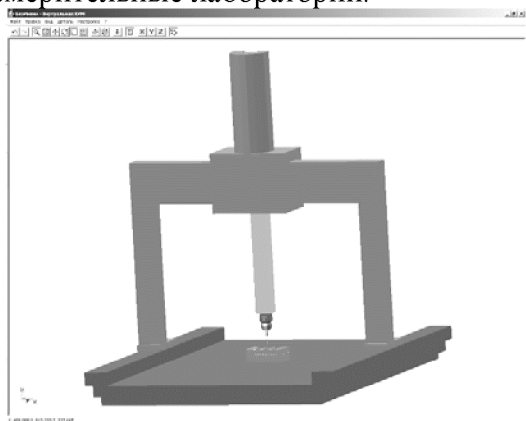


Рисунок 1 - Виртуальная КИМ в процессе измерения матрицы литьевой формы

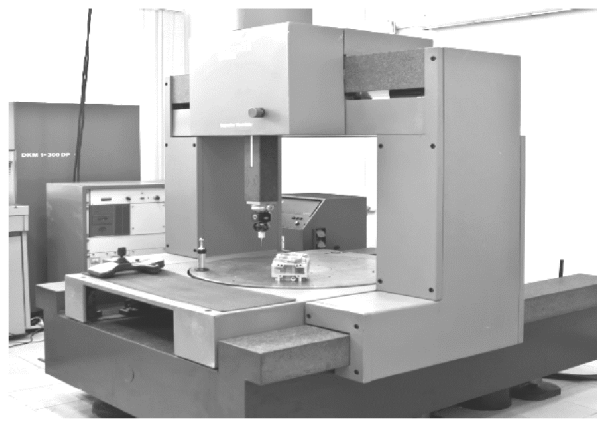


Рисунок 2 - Координатно-измерительная машина Inspector Maxi 610v

Общий вид главного окна виртуальной КИМ представлен на рисунке 1. В настройках имеется возможность задать для виртуальной КИМ параметры реальной КИМ, такие как максимальные перемещения по осям, параметры измерительной головки: угол поворота, длина датчика и шупа, диаметр наконечника.

Показанная на рисунке 1 виртуальная КИМ адекватна по параметрам имеющейся в лаборатории САПР реальной КИМ Inspector MAXI, которая показана на рисунке 2.

Для более крупного изображения процесса измерения предусмотрена возможность не

выводить на экран КИМ, что позволяет концентрировать внимание на измеряемом объекте, при этом отображается только деталь и измерительная головка, как показано на рисунке 3.

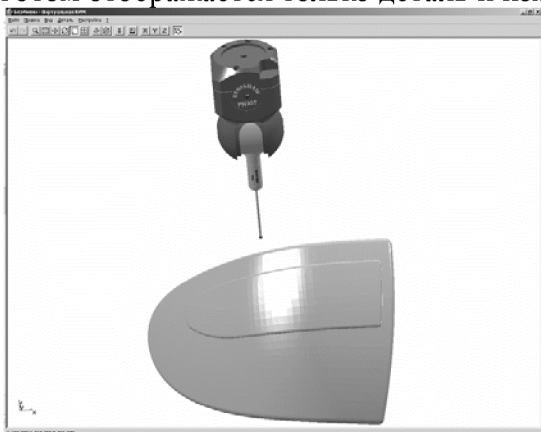


Рисунок 3 - Режим отображения без вывода изображения КИМ



Рисунок 4 - Джойстик AXIS 295 Video Surveillance joystick

Масштабирование изображения можно также производить с помощью обычного зума.

Управление перемещениями измерительной головки по осям X, Y, Z на виртуальной КИМ можно осуществлять как кнопками со стрелками на клавиатуре ПК, так и с помощью джойстика, например, такого как на рисунке 4.

При использовании джойстика режим управления измерениями на виртуальной КИМ в большей степени, по сравнению с использованием кнопок клавиатуры, соответствует измерениям на реальной КИМ, так как рукоятки и кнопки обоих джойстиков имеют одинаковые функции.

В виртуальной КИМ полностью реализован функционал моторизованной поворотной измерительной головки RH10 Renishaw. Такие головки на данный момент используются абсолютным большинством производителей КИМ для оснащения своей техники. Головка позволяет производить поворот измерительного наконечника вокруг двух осей с шагом $7,5^\circ$. Внешний вид реальной измерительной головки и ее реализация в виртуальной КИМ показаны на рисунке 5.

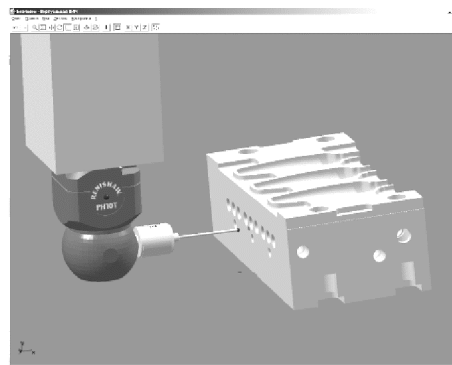
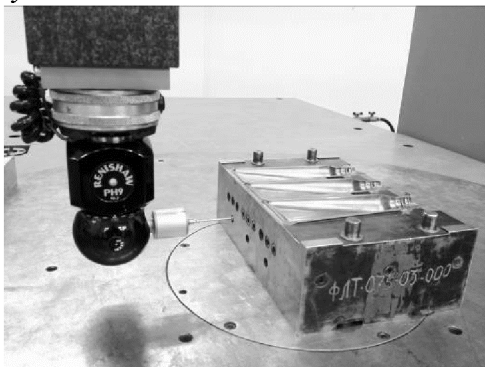


Рисунок 5 - Моторизованная поворотная головка и ее реализация в виртуальной КИМ

Некоторые сложности в работе виртуальной КИМ вызывает двумерность изображения на экране монитора. В основном это сказывается при необходимости подвести измерительный щуп к труднодоступным местам контролируемого изделия.

В целях снижения этого эффекта пользовательский интерфейс виртуальной КИМ поддерживает режим мультипроекционного просмотра и так называемый «прожектор», когда на экране отображаются проекции текущего положения наконечника на стол КИМ и поверхность измеряемой детали в координатных плоскостях. Вид экрана при работе в режиме «прожектора» показан на рисунке 6.

При использовании «прожектора» существенно улучшается восприятие оператором истинного положения измерительного наконечника относительно детали и ее элементов и сокращается время на выполнение виртуальных измерений.

Управляющие измерительные программы на виртуальных КИМ можно создавать в режиме обучения. При этом оператор задает тип измеряемого объекта (окружность, плоскость, цилиндр и т.д.) и производит виртуальное касание щупом нескольких точек поверхности объекта на его мат. модели. По координатам X, Y, Z точек касания программа определяет параметры объекта (центр и радиус окружности, центральную точку и вектор нормали плоскости, вектор оси и диаметр цилиндра и т.д.). Кроме этого, в управляющую программу записывается команда измерения данного объекта и траектория перемещения щупа для измерения объекта в заданных точках касания.

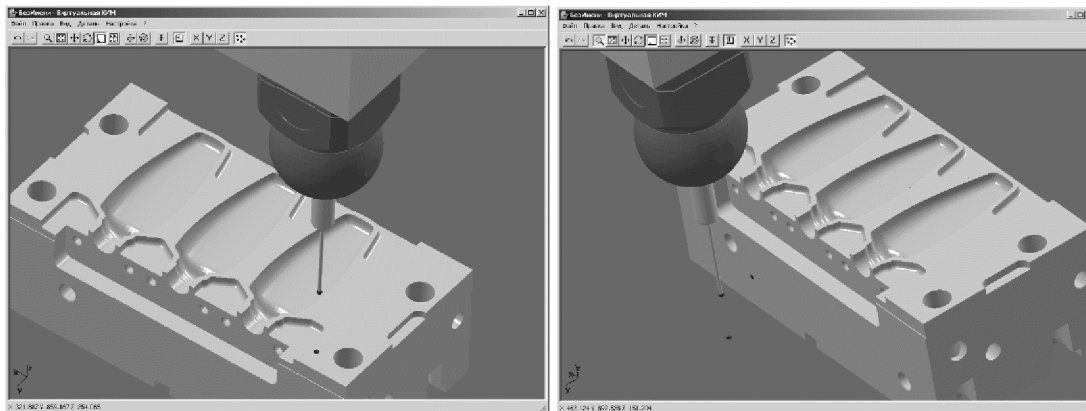


Рисунок 6 - Подсветка положения наконечника «прожектором»

Процесс виртуального касания детали щупом внешне содержит все элементы реального касания. При достижении щупом точки касания его движение в направлении детали прекращается, издается звуковой сигнал об измерении точки и происходит отвод щупа от детали на расстояние отхода, заданное в настройках системы.

Для увеличения производительности виртуальных измерений предусмотрена возможность измерения объектов по минимальному числу точек касания и расчет дополнительных точек с помощью программы. Например, в режиме обучения показываем измерение цилиндра в двух сечениях по три точки в каждом. В диалоге задаем количество сечений 4 и число измеряемых точек в сечении 5. В этом случае в УП будет записана команда измерения цилиндра по 20 точкам и сгенерирована траектория измерения этих точек.

Предусмотрена отметка маркерами измеренных на детали точек, что позволяет оператору более четко контролировать ход своей работы.

Подготовка управляющей измерительной программы на виртуальной КИМ будет продемонстрирована на примере валика, мат. модель которого в процессе виртуальных измерений показана на рисунке 7.

На валике были измерены две цилиндрические и две конические поверхности. При измерениях были определены диаметры цилиндров и углы конусов. В результате виртуальных измерений была создана управляющая программа для измерения валика на реальной КИМ, показанная на рисунке 8, и графический отчет об измерениях на рисунке 9а).

Затем валик был установлен на столе реальной КИМ Inspector MAXI, которая показана на рисунке 1, и была запущена управляющая программа для его измерения. В результате в автоматическом режиме были измерены все элементы валика, предусмотренные управляющей программой, в точках касания, заданных при виртуальных измерениях. По результатам измерений был создан графический отчет, содержащий результаты измерений валика, который показан на рисунке 9б).

Сопоставляя два графических отчета, можно увидеть, что на виртуальной КИМ производились измерения эталона (мат. модели) детали, поэтому полученные размеры совпадают с номинальными и выведены в отчет с тремя нулями после точки. В реальных измерениях сказываются погрешности изготовления детали и ошибки самой КИМ (1-2 мкм), поэтому реальные размеры несколько отличаются от номинальных.

При создании виртуальной КИМ особое внимание уделяется быстрдействию программы с тем, чтобы работа с ней проходила в режиме реального времени. Для этого приме-

нены алгоритмы оптимизации геометрических операций, в том числе адаптивные алгоритмы из теории автоматического регулирования [6].

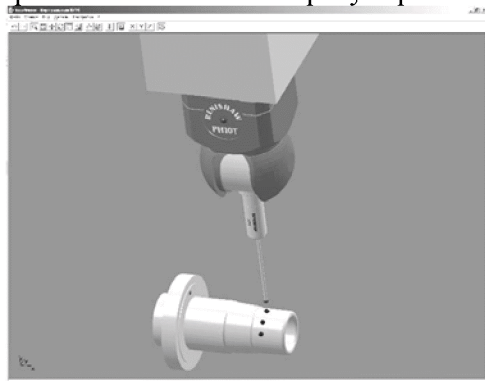


Рисунок 7 – Отображение точек касания при составлении программы измерений

```

CYLINDER /NAME=Цилиндр1 /Pts= 20
MOVE /X= -15.924 /Y= 31.342 /Z= 26.720
MOVE /X= 1.823 /Y= 29.798 /Z= 26.720
CYLINDER /NAME=Цилиндр2 /Pts= 20
MOVE /X= 26.208 /Y= 19.358 /Z= 24.120
CONE /NAME=Конус1 /Pts= 20
MOVE /X= 43.872 /Y= 19.358 /Z= 24.120
CONE /NAME=Конус2 /Pts= 20
    
```

Рисунок 8 – Управляющая программа измерения валика

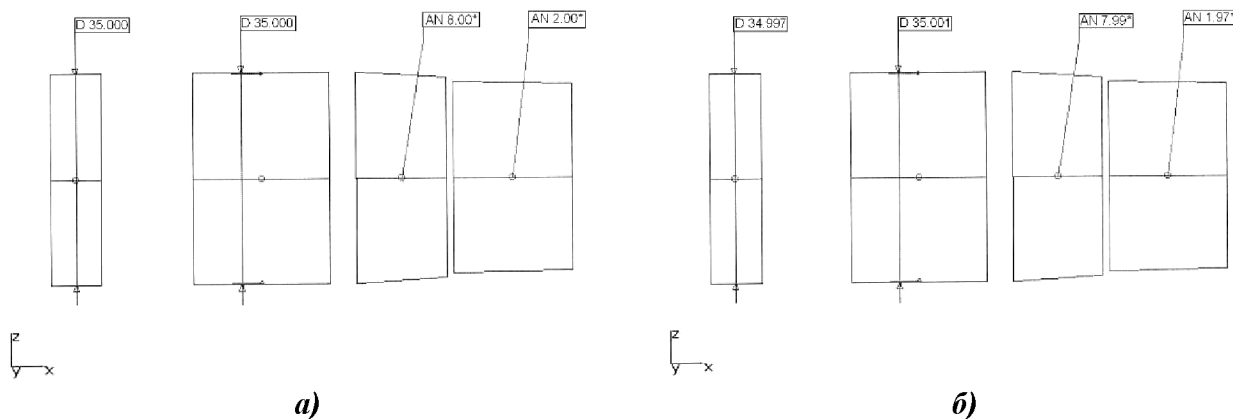


Рисунок 9 – Графический отчет с результатами измерений валика на виртуальной КИМ (а) и реальной КИМ(б)

Следует отметить, что виртуальная координатно-измерительная машина может быть полезной не только для производства, но и в учебном процессе. Будучи установленной в компьютерном классе на необходимое число рабочих мест, она позволит каждому студенту-метрологу получить достаточную практику, связанную с получением и закреплением навыков координатных измерений.

Литература

1. Справочное руководство по программному обеспечению LK-DMIS, 2002
2. Суслин В.П., Джунковский А.В. Современные методы измерения и контроля в машиностроении. «Технология машиностроения», № 5, с. 49-51, М: Изд-во «Технология машиностроения», 2004.
3. Суслин В.П., Джунковский А.В., Макаров А.И., Шутер М.Г. Программы измерений и контроля деталей автомобильной техники. «Автомобильная промышленность», М: «Машиностроение», 2005, № 3 с. 39-40.
4. Суслин В.П., Джунковский А.В., Холодов Д.А. Новый метод контроля геометрических параметров колец шариковых подшипников. «Автомобильная промышленность», М: Изд-во «Машиностроение», 2010, № 11, с. 28-30.
5. Суслин В.П., Джунковский А.В. Метод измерения малых сегментов цилиндрических поверхностей. М.: Известия МГТУ «МАМИ», 2011. № 2(12), с. 173-177. ISSN 2074-0530
6. Харитонов В.И. Учебное пособие «Управление техническими системами», М.: Изд-во «ФОРУМ», 2010, 384с.