

# Технологическая наладка фрезерных обрабатывающих центров с использованием контактных измерительных систем RENISHAW

Юсупов Ж. А., Елсуков А. В., Попов А. С.

**RENISHAW**   
apply innovation™

Технологическое оборудование с ЧПУ широко применяется на предприятиях авиакосмической отрасли. Для его эффективного использования, помимо всего прочего, необходимо минимизировать затраты т.н. подготовительно-заключительного времени, включающего в себя технологическую наладку системы ЧПУ – «привязку» заготовки детали и определение вылетов инструментов. Ощутимо сократить трудоемкость технологической наладки фрезерных обрабатывающих центров дает возможность применение контактных измерительных систем Renishaw.

Контактные измерительные системы Renishaw (далее – датчики Renishaw) позволяют в автоматизированном режиме осуществить технологическую наладку станков с ЧПУ, а также контролировать точность обрабатываемых деталей. Между датчиком Renishaw и системой ЧПУ станка, на котором используется датчик, устанавливается связь через систему передачи сигналов. Выбор конкретной системы передачи сигналов определяется типом используемого датчика и типом станка, на который он установлен. Сигнал срабатывания датчика должен попасть в систему ЧПУ станка, чтобы зарегистрировать момент касания заготовки или инструмента щупом датчика. Кроме того, между системой ЧПУ и датчиком должна быть обратная связь, чтобы система ЧПУ могла управлять работой датчика.

Почти у каждого станка есть 3 линейные оси X, Y и Z. Когда контактный датчик используется на станках такого типа, это называется «3-осные измерения». Все измерительные циклы способны измерять в направлении осей X, Y или Z. Также, в зависимости от особенностей измерительных циклов, возможны измерения в произвольном направлении в какой-либо одной плоскости. А с датчиками моделей типа OMP400 или OMP600 возможно совершать измерительные движения в произвольном направлении в пространстве. Все это рассматривается как 3-осные измерения.

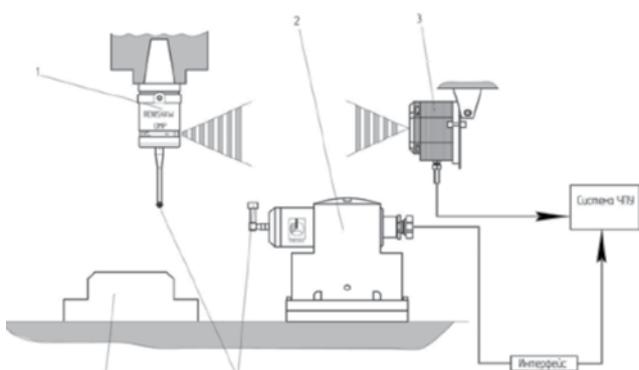
У некоторых станков дополнительно имеются 1, 2 или 3 вращающихся оси. Например, если на станке установлен вращающийся стол – ось C, вращающаяся вокруг оси Z, – то станок рассматривается как 4-осный, а измерения – как 3-осные. Четвертая ось используется для перемещения детали, а при измерениях она не задействована.

«5-осные измерения» производятся, когда оси вращения станка смещают ось инструмента. То есть, ось инструмента (или датчика) не образует прямого угла с плоскостью XY. Такие измерения требуют более сложных измерительных циклов, способных учитывать наклон датчика. Практически ни одно ПО, предлагаемое сегодня на рынке, не способно работать при таких условиях. Даже станки, системы ЧПУ которых способны применять 3-мерные коррекции на инструмент, не контролируют датчики адекватно. Проблема здесь в том, что координаты точки срабатывания датчика запоминаются в ЧПУ просто как положение станка по XYZ, а не как координаты чувствительного элемента датчика, и тем более не как координаты точки касания на поверхности. Вся эта информация должна быть просчитана либо при исполнении специальных измерительных циклов, либо на компьютерах вне станка.

Одним из преимуществ 5-осных измерений является то, что датчик может «дотянуться» практически до любого элемента измеряемой детали. Например, станок с осями B и C, расположенными на шпинделе, может сориентировать датчик в любом угловом положении. При использовании «5-осевого» программного обеспечения станок может практически работать как КИМ с поворотной головой.

Датчики Renishaw могут иметь оптическую, радиочастотную, и проводную системы передачи сигналов. Датчики для контроля деталей часто имеют оптическую систему передачи сигналов (рис. 1, датчик OMP40), а датчики для контроля инструмента (рис.1, датчик TS27R) – проводную систему передачи сигналов.

Система оптической передачи сигналов обеспечивает контакт между датчиком и системой ЧПУ в инфракрасном диапазоне. Ее составными компонентами являются датчик, приемник оптических сигналов и интерфейс для подключения к системе ЧПУ. Датчик получает сигналы от устройства ЧПУ станка и, в свою очередь, передает в систему ЧПУ сигналы о состоянии датчика. Приемник оптических сигналов посредством кабеля подключается к соответствующему интерфейсу системы ЧПУ, который преобразует сигналы датчика таким образом, чтобы они были совместимы с системой ЧПУ станка.



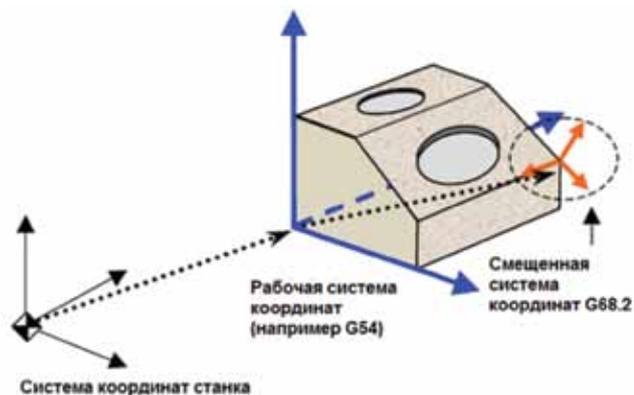
**1** Стандартная конфигурация контактной измерительной системы Renishaw: 1 – датчик OMP40; 2 – датчик TS27R; 3 – оптический интерфейс; 4 – контактный щуп; 5 – заготовка детали

Датчики для контроля деталей обычно находятся в инструментальном магазине станка и устанавливаются в шпиндель так же, как и обычный инструмент. Положение датчика для наладки инструмента на станке фиксировано, что позволяет организовать между датчиком и устройством ЧПУ проводную связь.

Датчики Renishaw функционируют под управлением измерительных программ, написанных на специальном языке для параметрического программирования (применительно к системам ЧПУ Fanuc это язык Macro B), такие программы назы-

ваются макропрограммами. Имена макропеременных макропрограммы выделяются символом #. Системные макропеременные используются для чтения и записи различной системной информации – данных о позициях рабочих органов станка, позиции инструмента и значениях его коррекции и др.

Существует множество команд «Multi axis». Это, в том числе, команды «Tilted Working Plane» (TWP). Это G68 или G68.2 или G68.3 или G68.4. Данная подготовительная команда вращает и транслирует текущую рабочую систему координат (WCS) в определенное положение. Перемещенная рабочая система координат называется Feature Coordinate System (FCS). Команда отменяется исполнением команды G69.



## 2 Tool Control Point

Также используется команда «Tool Control Point» (TCP), обычно это G43.4. По сути это команда TWP с одновременной интерполированной подачей инструмента на определенную высоту от плоскости обработки. Производить измерения при помощи этой команды не рекомендуется так как, в отличие от команд TWP, плоскость обработки или ориентация датчика может и не меняться при вращении осей. Отменяется командой G49.

Параметрами ЧПУ осуществляется настройка реакции системы на сигнал датчика касания и метод пересчета координат точки срабатывания датчика в координаты поверхности. Примеры параметров и их смысл приведены ниже.

Параметр P19680 – указывает тип кинематики станка:

- 0: станок не имеет осей вращения
- 2: кинематика станка «голова-голова»
- 12: кинематика станка «стол-стол»
- 21: кинематика станка «голова-стол»

Параметр P5006 бит 6 – TOS – устанавливает способ применения коррекции на инструмент по длине



- 0: коррекция применяется при первом перемещении по оси Z
- 1: коррекция применяется путем сдвига координаты станка

Параметр P6006 бит 4 – MSV – содержимое координатных переменных (при параметре TOS равном 1)



- 0: переменные #5041..#5048 (текущая позиция), #5061~#5068 (позиция срабатывания датчика) НЕ учитывают коррекцию инструмента по длине
- 1: переменные #5041..#5048 (текущая позиция), #5061~#5068 (позиция срабатывания датчика) учитывают коррекцию инструмента по длине

Параметр P6019 бит 4 – MSV – При примененной коррекции на инструмент, системные переменные, содержащие текущее положение станка



- 0: включают в себя коррекцию по длине
- 1: не включают в себя коррекцию по длине

Переменные ЧПУ также участвуют в процессе пересчета координат точки срабатывания датчика в координаты поверхности, понимание их содержимого необходимо для решения задач измерений. Примеры используемых переменных приведены ниже.

#4214 – текущая рабочая система координат (WCS)

Чтение значения переменной #4214 позволяет определить номер текущей рабочей системы координат – G53, G54, т.д.

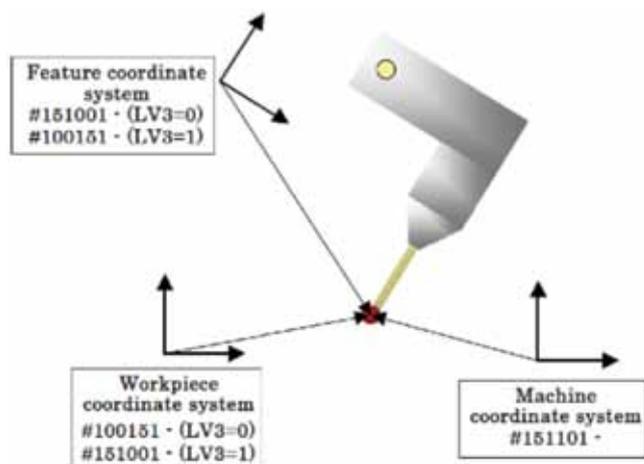
#4216 – активная команда трехмерной трансформации

Reading #4216 позволяет определить номер текущей (активной) команды поворота рабочей системы координат – G69, G68.2, G68.3, G68.4, G43.4 и т.д.

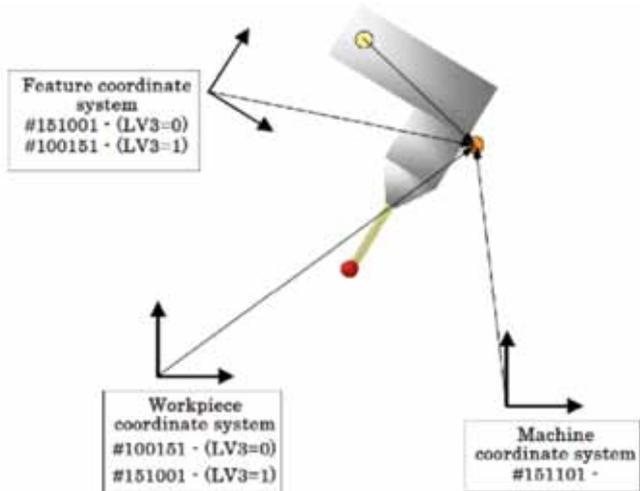
#151001 и #151101 – координаты положений срабатывания датчика хранятся в переменных #151001 – в системе MKS, и в #151101 – в системе FCS.

### Сводная таблица по местам хранения координат положений срабатывания датчика

Номер переменных	Система координат	
	Параметр LV3 = 0	Параметр LV3 = 1
#100151 и далее	WCS	FCS
#151001 и далее	FCS	WCS
#151101 и далее	MCS	

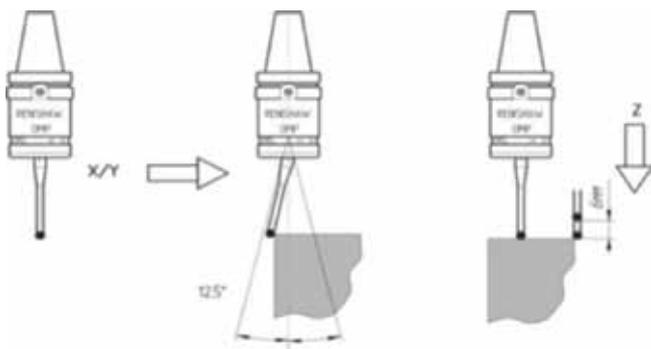


3 Пример при значении параметра MSV = 1 (6019 бит 4)



4 Пример при значении параметра MSV = 0 (6019 бит 4)

На рис. 5 показаны схемы измерения датчиком OMP40, а также предельные отклонения его контактного щупа. Сигнал срабатывания датчика возникает при смещении из исходной позиции контактного щупа в результате касания какой-либо поверхности. Система ЧПУ станка регистрирует позицию точки касания (так называемую позицию пропуска) и посылает команду на завершение текущего рабочего хода. В измерительной программе датчика перемещение с фиксацией позиции пропуска задается подготовительной функцией G31.



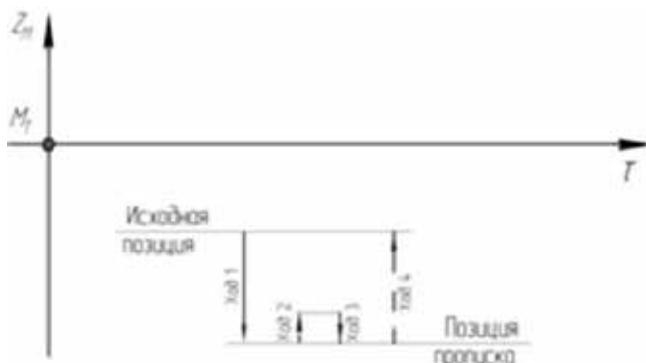
5 Схемы измерения датчиком OMP40

При выполнении измерений целесообразно использовать метод двух касаний. Первое касание выполняется на повышенной скорости подачи и при этом только проверяется корректность заданной исходной позиции датчика. Затем датчик незначительно отводится назад, чтобы щуп перестал касаться актуальной поверхности, и далее выполняется повторное касание при замедленной скорости подачи. Именно при втором касании происходит определение с высокой точностью позиции пропуска.

**Анализ достоверности позиции пропуска второго касания и обращение при необходимости к диагностическим сообщениям**

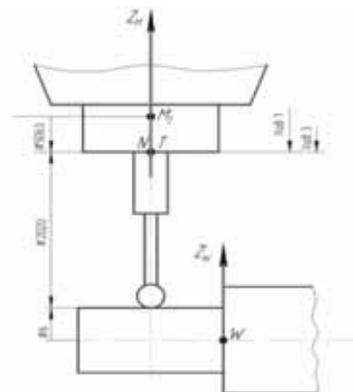
При определении смещения нулевой точки детали (программы) относительно начала отсчета МТ первый рабочий ход (рис. 6) выполняется на повышенной скорости подачи, второй – на расчетной малой скорости подачи. Вспомогательные ходы выполняются на ускоренной подаче. При выполнении рабочих ходов (рис. 7) фиксируются позиции пропуска #5063. По значению позиции пропуска первого рабочего хода анализируется корректность выбранной исходной позиции. Зафиксированная при втором рабочем ходе позиция пропуска после анализа ее достоверности используется для вычисления искомого смещения, при этом учитывается

значение системной переменной #2020, определяющей установленный при калибровке вылет его измерительного щупа, и позиция измерительной базы детали, заданной макропеременной #6.



6 Циклограмма измерения: 1, 3 – рабочие ходы; 2, 4 – вспомогательные ходы

На завершающем этапе определения смещения нулевой точки программы относительно начала отсчета МТ датчик возвращается в исходную позицию и формируется код системной макропеременной #2701, адресующей поле G54/Z области памяти смещений устройства ЧПУ. Макропеременной #2701 присваивается значение смещения, рассчитанное на основе позиции пропуска второго касания, и в область памяти смещений G54/Z заносится значение этой макропеременной.



7 Датчик в позиции пропуска

С использованием макропрограммы, реализующей изложенный алгоритм определения датчиком OMP40 смещения нулевой точки детали (программы), выполнены измерения, которые позволили установить, что точность «привязки» заготовки детали по оси ZM составляет ±0.001 мм, эти данные соответствуют величине, заявленной фирмой-поставщиком датчиков Renishaw. В то же время проведенное авторами данной работы исследование точности «привязки» заготовки детали при использовании обычного метода касания, поддерживаемого программным обеспечением системы ЧПУ Fanuc 31i, выявило достигаемую точность «привязки» заготовки детали 0.009 мм. Эти данные следует иметь в виду при выборе метода технологической наладки станков с ЧПУ в зависимости от точности обрабатываемой детали.

**Приглашаем посетить наши стенды на выставке "МЕТАЛЛОБРАБОТКА-2018" 14-18 мая 2018 г. в КВЦ "ЭКСПОЦЕНТР" главный стенд – 21С15 и стенд 81В30, где будет представлена автоматизированная ячейка с оборудованием Renishaw.**