

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НАСТРОЙКИ СТАНКОВ С ЧПУ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

В статье показана актуальность применения металлорежущих станков с ЧПУ в современном машиностроении, их преимущества и возможности, тенденции развития, важность их постоянного совершенствования. Описаны суть процессов наладки и настройки металлорежущих станков, их значение для обеспечения точности и производительности обработки резанием деталей машин, особенности этих процессов для металлорежущих станков с ЧПУ. Отмечено недостаточное внимание производителей металлорежущих станков с ЧПУ совершенствованию систем настройки этих станков. Описана динамика изменения способов размерной настройки станков с ЧПУ по мере улучшения конструкции и возможностей этих станков. Приведены основные характеристики этих способов, показана необходимость их совершенствования. Описан предложенный автором совместно с В. И. Резниченко и запатентованный в Российской Федерации «Способ автоматической ориентации в пространстве исполнительного органа машины с ЧПУ», его возможности и преимущества. Этот способ может быть использован для автоматической настройки и поднастройки большинства типов станков с ЧПУ, контроля состояния инструмента и решения других технологических задач.

Востребованность станков с ЧПУ в современном машиностроении. Преимущества этих станков. В настоящее время мировая экономика переживает, как известно, период 4-й промышленной революции, которая получила название «Индустрия 4.0». Основными средствами повышения эффективности экономики на этом этапе являются: 1) инновационный подход к развитию производства (постоянное обновление объектов и методов производства, ускорение темпов этого обновления, уменьшение, в результате, объемов выпуска однородной продукции при росте требований к ее качеству, преобладание серийного производства); 2) стремление к комплексной автоматизации производства и других сфер жизни на основе интеллектуальных технологий (использование искусственного интеллекта при принятии решений в системах управления, расширение применения гибких автоматизированных производственных процессов и др.).

Эти условия и тенденции развития современной экономики сделали весьма востребованным оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ). Разработка и совершенствование металлорежущих станков с ЧПУ является в настоящее время основным направлением развития стан-

костроения. Укажем на преимущества металлорежущих станков с ЧПУ перед другими видами станков, которые сделали станки с ЧПУ столь востребованными в современных условиях.

1. Переход на обработку другой детали происходит не за счет разработки новой технологии, а также проектирования и изготовления специальной оснастки, а за счет разработки нового программного обеспечения (ПО) и применения необходимой стандартной оснастки, что значительно быстрее и экономичнее.

2. Доля основного (машинного) времени, в общем, штучном времени изготовления детали на станке, вырастает до 50 % (в сравнении с 10–12 % для станков с ручным управлением). Это вызвано минимальным участием оператора в управлении станком. Он выполняет лишь работы, формирующие подготовительно-заключительное время обработки: установка и снятие заготовок и готовых деталей, наблюдение за ходом процесса. Наладчик производит смену и настройку режущего инструмента, программирование обработки. Сроки подготовки производства и общая продолжительность изготовления снижаются на 50–75 %.

3. Станки с ЧПУ обеспечивают более высокую точность обработки. Например, принято считать, что экономическая точность токарных и фрезерных станков общего назначения лежит в пределах 9–11 квалитетов, а станков с ЧПУ – 6–9 квалитетов [1]. Это связано с более высокой жесткостью и точностью станков с ЧПУ, наличием у некоторых из них систем компенсации силовых и тепловых деформаций элементов технологической системы станка, высокой точностью позиционирования рабочего органа.

4. Наличие ЧПУ процессом резания, ограниченное участие оператора и наладчика в управлении станком, уменьшение вспомогательного времени за счет ускорения холостых перемещений инструмента, выполнение установки детали на сменные полеты и настройки станка параллельно с обработкой детали создают предпосылки для многостаночного обслуживания станков с ЧПУ.

5. Сократилась номенклатура режущих и вспомогательных инструментов, упростилась конструкция установочных приспособлений, отпала необходимость в изготовлении фасонных копиров, эталонов при изготовлении фасонных поверхностей. Их профиль на станках с ЧПУ обеспечивается с помощью ПО. Широко используется нормализация и стандартизация технологической оснастки. Все это приводит к ускорению и удешевлению технологической подготовки производства.

6. Изменилась структура механической операции. Наличие на станках с ЧПУ поворотных столов и шпинделей с управлением по нескольким (до 6) осям, приводных инструментов (например, такие инструменты позволяют обрабатывать неосевые отверстия на токарных и фрезерных обрабатывающих центрах), инструментальных магазинов с большим числом инструментов (до 120 шт.) при их автоматической смене позволяет производить обработку детали со всех сторон при ее одной установке. В результате в технологическом процессе сокращаются число операций, номенклатура

оборудования, упрощается организация производства, ускоряется его подготовка, снижается стоимость продукции.

7. Снизились требования к квалификации операторов станков с ЧПУ, но увеличились требования к квалификации наладчиков. Высокая степень автоматизации обработки на станках с ЧПУ повысило культуру производства, улучшило условия труда, снизило утомляемость обслуживающего персонала. Используемые в этих станках устройства механизированного удаления и сбора стружки, очистки и многократного применения СОЖ, удаления масляного тумана в зоне обработки и др. позволили улучшить экологичность производства и условия труда рабочих.

8. При обработке на станках с ЧПУ возрастают требования к технологичности конструкции заготовки, но снижаются требования к технологичности конструкции готовой детали. Заготовки должны иметь ровные поверхности, обеспечивающие их надежную и часто автоматизированную установку. В тоже время на станках с ЧПУ можно обрабатывать детали сложной конструкции, высокой точности, с высоким качеством обработанных поверхностей. Это упрощает процессы конструирования и сборки машин, т. к. уменьшается номенклатура деталей, формирующих изделие. Это позволяет ускорить техническую подготовку производства, снизить стоимость изделий.

9. Станки с ЧПУ в наилучшей степени отвечают требованиям гибкого производства-легко адаптируются к выпуску новой продукции с высокой точностью, при минимальных затратах средств и времени на техническую подготовку производства.

Методы совершенствования современных станков с ЧПУ. В современных условиях непрерывного научно-технического прогресса происходит постоянный рост требований к качеству машин и эффективности их производства. Это требует совершенствования средств производства, в том числе и станков с ЧПУ. Совершенствование станков с ЧПУ направлено на развитие тех технических характеристик этих станков, которые обеспечивают им названные выше преимущества перед другими типами станков. Приведем примеры некоторых технических решений, которые улучшают основные эксплуатационные свойства станков с ЧПУ.

Точность обработки. Погрешность многосторонней обработки современных обрабатывающих центров находится в пределах 3–12 мкм, параметр $R_a = 1,6–0,4$ мкм. Для сохранения и улучшения этих показателей производители станков с ЧПУ используют следующие решения:

- повышение жесткости станков конструктивными и технологическими методами;
- изготовление станин станков из синтетического гранита MINERAKIT и др., что обеспечивает в 6–8 раз лучшее демпфирование колебаний, чем станины из серого чугуна;
- повышение жесткости и мощности шпинделей; для ОЦ при обработке заготовок средних размеров с макс. диаметром до 400 мм мощность шпинделя принимают от 12 до 40 кВт;

– совершенствование конструкции направляющих станины станка (замкнутые роликовые направляющие, линейные направляющие качения, направляющие скольжения прямоугольного сечения коробчатого типа и др.);

– мониторинг состояния станка и результатов обработки в режиме реального времени; результаты мониторинга поступают в СЧПУ станка, на дисплей станка, дистанционно через Интернет в заинтересованные службы или производителю станка; возможен мониторинг работы группы станков и его обобщенный анализ; мониторингу могут подвергаться такие данные, как температура отдельных узлов и деталей, силы или мощность резания, вибрации и дисбаланс шпинделей число обработанных деталей, перерывов в работе, деформации отдельных деталей при обработке, результаты измерений размеров обработанных деталей и др.;

– системы компенсации силовых и тепловых деформаций, вибраций элементов станка и обрабатываемой детали, в том числе за счет внесения изменений в траекторию инструмента и режимы работы в программе обработки детали;

– система контроля качества обработанных деталей с помощью измерительного щупа методом касания или оптического измерительного мостика; средства измерения обычно располагают вне зоны обработки, измерения производят на станке перед выгрузкой детали или вне станка, иногда с помощью контрольно-измерительной машины;

– система настройки инструмента вне станка или на станке с помощью измерительного щупа или оптического измерительного мостика;

– прямые измерения высокой точности перемещений рабочих органов при работе станка с помощью закрытых в основном оптических датчиков линейных и угловых перемещений (энкодеров) фирм HEIDENHAIN, RENISHAW, MARPOSS, BALLUFF и др.; точность измерений с помощью этих датчиков до ± 1 мкм, разрешение до 20 нм при периодической ошибке до ± 40 нм на измеряемой длине до 30 м;

– повышение точности крепления режущего инструмента в револьверной головке; при использовании системы TRIFIX повторяемость < 6 мкм (тот же инструмент, та же позиция), точность позиционирования < 10 мкм при переходе с одной позиции на другую.

Производительность обработки. Производители станков с ЧПУ уделяют большое внимание повышению производительности обработки. При рекламе своей продукции они подчеркивают на сколько и за счет чего может быть повышена производительность обработки при использовании нового станка. В среднем переход к новому поколению станков с ЧПУ данного вида позволяет повысить производительность обработки на 20–40 %. Это обеспечивается за счет следующих технических решений:

– использование высокоскоростных шпинделей, обеспечивающих максимальные скорости резания и скорости ускорения /замедления; скорости вращения шпинделей современных станков с ЧПУ токарной и фрезерной групп находятся в пределах 1500–12 000 об/мин:

- увеличение скоростей рабочих подач до 20 м/мин и скоростей быстрых (холостых) перемещений до 80 м/мин;
- увеличение емкости инструментальных магазинов до 120 шт., уменьшение времени смены инструмента до 1,5 сек.;
- применение линейного привода по одной из осей (часто по оси X) со скоростью перемещения до 60 м/мин и ускорением в 1g;
- использование автоматически перемещаемого люнета в станках с ЧПУ токарной группы, противошпинделя, управляемой от ЧПУ задней бабки;
- оптимизация режимов резания и работы сервоприводов с помощью специального ПО для данного типа станков, разработанного производителем станка;
- использование специального ПО производителя станка для разработки программы обработки для СЧПУ станка в кратчайший срок по чертежу или 3D модели детали, а также для проверки управляющей программы на компьютере вне станка; время проверки при этом сокращается до 10 раз;
- использование принципа кратчайших перемещений рабочих органов, повышения стойкости режущего инструмента, автоматизации загрузки-выгрузки заготовок с помощью робота или специального конвейера.

Роль и задачи процесса настройки станка с ЧПУ, методы ее выполнения, их недостатки. Важную роль в обеспечении точности и производительности обработки на металлорежущем станке играют его наладка и настройка. Как известно, наладка представляет собой весь комплекс работ по подготовке технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции. Настройка является частью процесса наладки и включает работы по установке режущего инструмента и регулировку его положения относительно обрабатываемой детали с целью обеспечения необходимой точности обработки и качества поверхности. По мере износа режущего инструмента, изменения зазоров и натягов в элементах технологической системы и других явлений в процессе резания происходит снижение точности обработки, достигнутой при настройке. Процесс ее восстановления называют поднастройкой станка. Он происходит без замены инструмента, путем регулировки его положения. Процессы настройки и поднастройки режущих инструментов оказывают большое влияние на точность и производительность обработки. Для станков общего назначения их длительность составляет 8–20 % общего фонда времени при обработке детали. Такую же примерно долю составляют погрешности настройки от общей погрешности обработки. Для станков с ЧПУ роль процессов настройки и поднастройки в обеспечении качества продукции и производительности обработки возрастает. Это связано с ростом точности обработки, увеличением числа режущих инструментов, используемых на отдельной операции, усложнением процесса настройки режущего инструмента по сравнению со станками без ЧПУ. Последнее обстоятельство вызвано следующим. При настройке станков без ЧПУ основной задачей является обеспечение точности взаимного расположения режущих инстру-

ментов, приспособления и устройств, определяющих величину и траекторию перемещения инструментов относительно обрабатываемой детали (кулачков, упоров, копиров и др.). При настройке станка с ЧПУ основной задачей является координация положения режущих кромок инструмента относительно системы координат станка и исходной точкой, являющейся началом программы обработки, а также точное определение координат настроечной точки инструмента относительно базовой точки инструментального блока или центра поворота инструментальной головки.

Несмотря на сложность задачи настройки станков с ЧПУ и важность ее для увеличения эффективности станков с ЧПУ производители станков с ЧПУ, на наш взгляд, уделяют недостаточно внимания совершенствованию методов и средств решения этой задачи. Эти методы и средства не меняются практически с конца 80-х годов XX века. В рекламной продукции производителей станков им или не уделяется внимание или они вскользь упоминаются. Рассмотрим вкратце изменение и современные способы настройки станков с ЧПУ.

Способы настройки станков с ЧПУ делятся на две группы: настройка вне станка и на станке. Настройка инструментов вне станка позволяет сократить время обработки, но снижает точность настройки, т. к. появляется погрешность установки инструмента на станке. При настройке режущего инструмента вне станка его устанавливают во вспомогательный инструмент (державку, переходную втулку и др.), который в свою очередь закрепляют в подставку, имитирующую присоединительные под вспомогательный инструмент поверхности револьверной головки, шпинделя и т. п. устройств станка. Задачей настройки инструмента вне станка является обеспечение координат его режущих кромок, заданных в карте наладки. При настройке режущих инструментов станков с ЧПУ вне станка применяют специальные приборы. Совершенствование этих приборов идет в основном за счет повышения точности и стабильности измерений. Вначале применяли универсальные средства контактных измерений (микрометры, штангенрейсмасы, нутромеры и т. п. Затем начали использовать измерительные приборы с индикаторами часового типа. Потом стали применять оптические методы измерений, которые преобладают сегодня в подобных приборах. Точность установки инструмента при этом повысилась от $\pm 0,06$ до $\pm 0,005$ мм [2; 3]. В настоящее время в этих приборах применяют следующие методы контроля положения режущих кромок инструмента в пространстве: контактный с применением контрольных опор и индикаторов часового типа; оптический с применением окулярного и проекционного микроскопов; оптический с применением индикаторов часового типа и микрокомпьютеров [3]. Наряду с приборами производства РФ (БВ 2010, БВ 2011, БВ 2012, БВ 2013, БВ 2015, БВ 2026, БВ 2027 и др.) широко используются приборы фирм Index, Karl Zeis, Rittler, Nikon, Zoller и др.

Более точная настройка режущего инструмента производится непосредственно на станке с ЧПУ путем ориентации инструментального шпинделя относительно установочных элементов приспособления с помощью

устройств, автоматически устанавливаемых в шпиндель из инструментального магазина и управляемых электроконтактными преобразователями, погрешность настройки шпинделя – 0,025 мм [4]; путем касания режущим инструментом датчика контакта или луча лазерного измерительного мостика (рис. 1), предварительно установленных на станке вне зоны обработки и точно скоординированных относительно системы координат станка. Датчики контакта вначале изготавливали с подвижным наконечником, с которым контактировал инструмент [2]. Ход инструмента до соприкосновения с датчиком контакта определялся с помощью микропереключателей. Погрешность настройки инструмента при этом не превышает 0,02 мм [4]. В современных датчиках контакта наконечник, соприкасающийся с инструментом, неподвижен. Ход инструмента до его соприкосновения с датчиком или вылет (размер) инструмента определяют с помощью отсчетно-измерительной системы ЧПУ станка. Погрешность настройки в этом случае примерно 0,005 мм. Погрешность настройки с помощью лазерного измерительного мостика фирмы Blum и др. порядка 0,002–0,004 мм [2].

Датчик, контактный или бесконтактный, представляет из себя устройство, устанавливаемое на столе или кожухе станка. После вызова инструмента из магазина станка, то есть активации его номера в системе ЧПУ, на стойке запускают цикл привязки инструмента – макрос (программа, написанная на понятном данной конкретной стойке языке макрокоманд). Выполнение этого макроса включает подвод инструмента к датчику привязки до касания в автоматическом режиме. Касание для получения более точного результата выполняется несколько раз по каждой необходимой для привязки оси. Инструмент перемещается до соприкосновения с датчиком контакта обычно со скоростью рабочей подачи. Сигнал срабатывания датчика (то есть регистрация момента касания) попадает в систему ЧПУ станка через систему передачи сигналов.

Существует три типа системы передачи сигналов: с помощью кабеля, оптическая бескабельная связь (посредством инфракрасного оптического бесконтактного устройства) и радиочастотная система передачи сигнала (с помощью радиочастотного приемо-передающего устройства). Выбор конкретной системы передачи сигналов определяется типом используемого датчика и типом станка, на котором он установлен. Таким образом, любое касание датчика отражается в системе ЧПУ. Срабатывание датчика – это фиксация текущих машинных координат инструментального суппорта (шпинделя или револьверной головки). Как обрабатывать полученные координаты, прописано в макросе. Поэтому крайне важно, чтобы описанный в нем алгоритм действий и расчетов был верным, а подходящий макрос перед измерениями был активирован. Как правило, макрос пересчитывает полученные координаты, чтобы они соотносились с нулем детали, и записывает их в таблицу офсетов. Также можно использовать макросы для учета износа инструмента и выявления его поломки.



а



б



в

Рис. 1. Настройка режущих инструментов на станке с помощью лазерного измерительного мостика (*а*), датчиков контакта (*б, в*)

Также существуют датчики поломки инструмента, которые дополнительно устанавливают к основному датчику привязки. Их задача быстро проверить, сломан ли инструмент. Нередко для этих целей используется лазерный тип датчика. Например, при серийном производстве в управляющую программу включается периодический вызов макроса проверки поломки: перед обработкой инструмент пересекает лазерный луч, и если он не прерывается, то управляющая программа останавливается.

Следует отметить недостатки рассмотренных методов настройки инструмента на станке с ЧПУ. При использовании датчиков контакта: 1) низкая производительность из-за необходимости многократных контактов инструмента с датчиком для одного измерения, время настройки одного инструмента 14–20 с. [3]; 2) высокая вероятность повреждения датчика контакта из-за соприкосновения его с инструментом на большой скорости, потеря его точности при этом; 3) трудность герметизации датчика контакта от стружки и СОЖ, что тоже снижает его точность. При использовании лазерного измерительного мостика основным недостатком является сложность определения вылета вершины токарного резца как в осевом, так и в радиальном направлении. Это требует многократных измерений, результат которых будет не точным.

Датчики касания (рис. 2) используют в основном для измерений и установки заготовок, но могут применять и для настройки инструмента на станках с ЧПУ.

Измерение, контроль детали и базирование заготовки проводится с помощью датчиков касания, устанавливаемых в шпиндель станка. По принципу работы датчики касания (измерительные щупы) могут быть контактного и индуктивного типов [2]. Наиболее распространенная конструкция включает (рис. 2) измерительный стержень с контактным наконечником (измерительный щуп), который крепится в корпусе датчика. Сам корпус содержит приемник сигналов, отсек для батареи, хвостовик в соответствии со стандартом шпинделя станка, а также разнообразные приспособления в зависимости от модели, например, сопла для очистки щупа. Конструктивной особенностью таких датчиков является так называемая ломкая вставка. Крепление измерительного стержня к корпусу таково, что при превышении допустимой нагрузки стержень ломается, но корпус остается целым.

В показанной на рис. 2 конструкции датчика касания передача и прием сигналов о контакте датчика с объектом измерения осуществляется с помощью инфракрасных (ИК) диодов. Применяются также датчики касания с радиочастотным способом передачи сигнала. Этот способ более надежен в условиях обработки резанием.

Применение датчика касания для настройки режущего инструмента сопряжено с рядом трудностей. Прежде всего из-за сложной конструкции режущих инструментов необходим сложный алгоритм перемещений щупа датчика, чтобы установить координаты режущих кромок инструмента в пространстве. Иногда необходимо применение 2D- или 3D-сканирование. Это усложняет программирование, увеличивает время настройки, снижает ее точность. Погрешность настройки с помощью датчиков касания 0,005–0,008 мм.

Новый способ автоматической настройки и поднастройки машин с ЧПУ. Для устранения указанных недостатков принятых сейчас методов настройки станков с ЧПУ нами совместно с В. И. Резниченко предложен и запатентован в РФ «Способ автоматической ориентации в пространстве исполнительного органа машин с ЧПУ» [5], который может быть использован для автоматической настройки и поднастройки станков с ЧПУ, роботов, контрольно-измерительных машин (КИМ) и других машин с ЧПУ.

Основными особенностями предложенного способа являются: 1) использование оптического бесконтактного способа измерений, как наиболее точного из используемых в настоящее время при настройке инструмента; 2) применение для ориентации в пространстве режущего инструмента или рабочего органа машины с ЧПУ измерительной системы, состоящей из 3-х источников и 3-х приемников лазерного излучения, позволяющей решить поставленную задачу для режущего инструмента или рабочего органа любой конструкции; применение для ориентации по одной из координатных осей плоского луча излучения и расположение лучей малого диаметра по другим координатным осям в одной плоскости с плоским лучом, что позволяет быстро и точно сориентировать в пространстве вершину инструмента или рабочего органа (вершину режущей пластины резца, вершину сверла, вершину шарика или ролика обкатного инструмента, наиболее удаленную от оси точку захвата робота и др.).



Рис. 2. Конструкция измерительного щупа (датчика касания)

На рис. 3 приведена функциональная схема реализации предлагаемого способа для случая измерения и ориентации невращающегося исполнительного органа (ИО) машины с ЧПУ по одной координатной оси X . Используется пучок излучения, направленный от источника излучения 1 на приемник 2 перпендикулярно данной координатной оси X и расположенный на известном расстоянии от начала координат машины (станка) с ЧПУ. Вершина ИО должна находиться в одной плоскости с пучком излучения, что обеспечивает их пересечение при перемещении ИО перпендикулярно пучку.

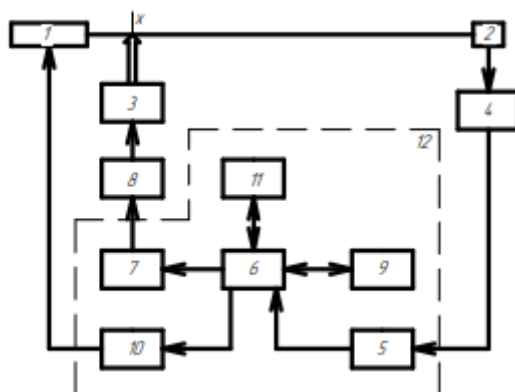


Рис. 3. Функциональная схема предложенного способа

При перемещении ИО, исходное положение оси которого относительно начала координат машины с ЧПУ известно, перпендикулярно пучку излучения (параллельно оси X) вершина ИО пересечет пучок излучения. В зависимости от необходимой точности измерений возможны два метода фиксации выхода вершины ИО в определенную точку пространства при его встрече с пучком излучения: 1) по сигналу от приемника излучения при полном перекрытии пучка излучения вершиной ИО; 2) по сигналу от приемника излучения при уменьшении интенсивности излучения ниже порогового значения при частичном перекрытии пучка излучения вершиной ИО. Второй метод более точен и производителен.

Возникший на приемнике 2 электросигнал через усилитель 4 поступает в блок 5 входных сигналов СЧПУ. Центральный процессор (ЦП) 6 обнаруживает поступивший сигнал и дает команду блоку 7 управления приводами на прекращение движения ИО вдоль данной координатной оси от привода 8. После останова ИО ЦП 6 производит расчет пути, пройденного ИО до встречи его вершины с пучком излучения, расстояния от оси ИО до его вершины или характерной точки (методика такого расчета показана ниже и поясняется рис. 4 и 5), сравнивает полученные результаты с допустимыми, хранящимися в блоке 9 памяти системы ЧПУ (СЧПУ), и вносит при необходимости коррективы в программу дальнейшей работы машины с ЧПУ.

Затем в соответствии с программой измерений ЦП 6 через блок 10 выходных сигналов дает команду на выключение источников излучения, если цикл

измерений закончен, или на переход к измерениям по другим координатным осям. Команду на запуск цикла измерений может давать оператор с дисплейного пульта 11, на который выводится затем информация о результатах измерений, или ЦП 6 автоматически, после выполнения машиной определенного числа рабочих циклов. Блоки 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 входят в СЧПУ 12 машины.

На рис. 4 и 5 показаны схемы измерения расстояния от оси или заданной точки до вершины невращающегося ИО (рис. 4) и радиуса, вращающегося ИО (рис. 5). Вдоль одной координатной оси (X) при использовании данного способа.

При перемещении ИО до встречи его вершины или другой характерной точки с пучком излучения его ось проходит путь L_2 из произвольной точки O_1 с известными координатами в точку O_2 . ЦП 6 (рис. 3) определяет этот путь и расстояние L_1 от точки O_1 до пучка излучения, определенным образом расположенного в системе координат машины с ЧПУ. Искомый размер L_3 (рис. 4) или R (рис. 5) ИО ЦП находит как разность значений L_1 и L_2 .

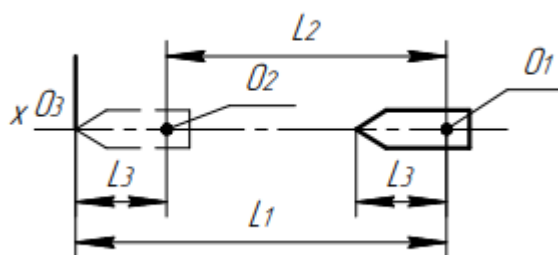


Рис. 4. Схема измерения невращающегося ИО

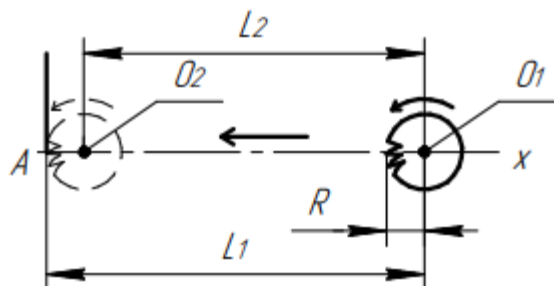


Рис. 5. Схема измерения вращающегося ИО

В качестве источника узконаправленного излучения могут использоваться лазер (например, гелий-неоновый лазер), другие источники светового излучения в видимой или инфракрасной части спектра, источники электромагнитного (например, радиоволн), рентгеновского, ультразвукового, радиоактивного и других видов направленного излучения. Приемником излучения, если в качестве излучателя используется лазер, могут служить фотодиоды, линейки фотодиодов (ПЗС-матрицы). Последние могут применяться для плоских лучей шириной более 15 мм. В такой линейке все фотодиоды должны работать самостоятельно, независимо друг от друга реагировать на изменение интенсивности луча, падающего на каждый из них. При ширине луча до 15 мм (это характерно для металлорежущих станков, роботов, контрольно-измерительных машин и других точных машин с ЧПУ) может использоваться фотодиод с соответствующим диаметром фотоприемной поверхности (например, фотодиод ФД-141К имеет диаметр фотоприемной поверхности 14 мм) и быстродействием в десятки НС (быстродействие

ФД-141К – 50НС). В зависимости от вида излучения могут применяться также соответствующие приемники электромагнитного, ультразвукового, инфракрасного, рентгеновского, радиоактивного и других видов излучения.

При настройке станка с ЧПУ данным методом не требуется предварительных измерений режущих инструментов перед их установкой на станок. Для компенсации возможных погрешностей установки и изготовления инструмента на первом этапе настройки инструмента при выведении его вершины в плоскость измерений используют плоский луч (световую плоскость) шириной 5–10 мм, достаточной для компенсации указанных погрешностей по одной из координатных осей. На примере настройки токарного резца на рис. 6 – это погрешность положения вершины резца по его высоте (по оси Y). Такой луч получают с помощью расширителя 4 лазерного пучка. В качестве такого расширителя могут использоваться цилиндрическая линза или пентапризма.

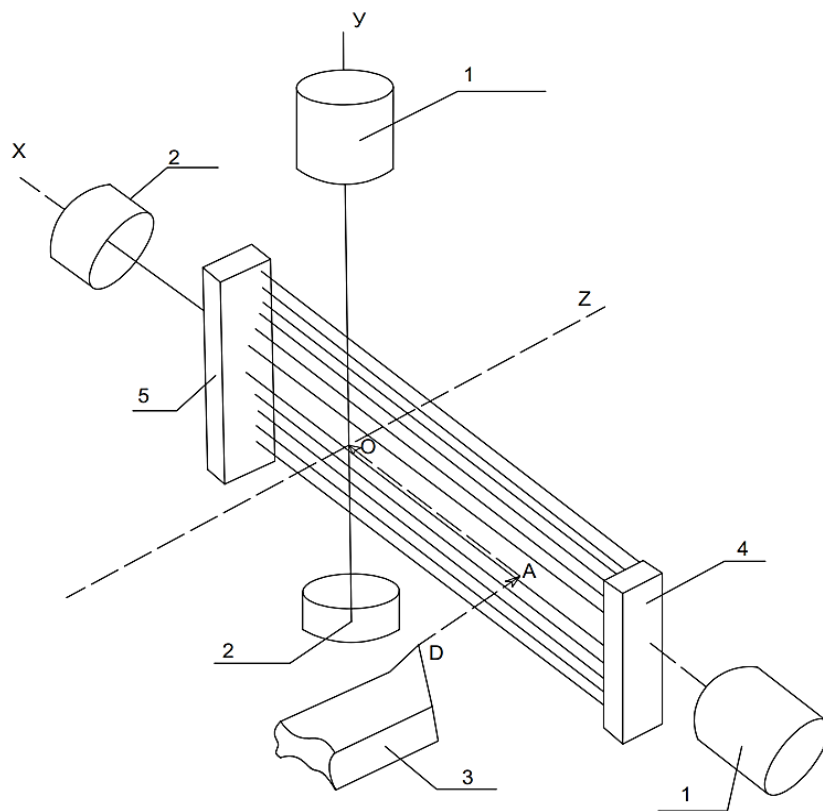


Рис. 6. Схема автоматической настройки токарного станка с ЧПУ предлагаемым способом

Плоский луч может быть направлен на фотодиод 2 соответствующего размера непосредственно или через оптический элемент 5, который вновь превращает плоский луч в цилиндрический. В качестве такого элемента могут быть использованы обратные цилиндрическая линза или пентапризма. В качестве приемника плоского луча может использоваться и ПЗС матрица. Однако в линейке фотодиодов между фотодиодами имеется минимальное пространство, которое нечувствительно для падающих на эти участки лучей.

Поэтому при ширине луча до 15 мм лучше использовать вместо линейки фотодиодов один фотодиод, имеющий ширину плоского луча. Вместо плоского луча можно было бы использовать и луч цилиндрической формы соответствующего диаметра. Известно, что диаметр луча гелий-неоновых лазеров может находиться в пределах 0,001–50 мм. Однако при этом нельзя будет обеспечить необходимую точность измерений, так как такой луч не сможет обеспечить выход вершины инструмента в одну точку по высоте луча.

Рассмотрим пример измерений и ориентации в пространстве невращающегося исполнительного органа машины с ЧПУ по двум координатным осям. Такая задача возникает, например, при настройке и поднастройке различных резцов и некоторых других инструментов (в частности, для обкатки или выглаживания деталей) на токарных станках с ЧПУ. Схема реализации предлагаемого способа для решения данной задачи показана на рис. 6. В качестве источников излучения здесь приняты гелий-неоновые лазеры 1, направленные на фотодиоды 2 таким образом, что лазерные лучи перпендикулярны осям Z и X станка, лежат в одной вертикальной плоскости на известном расстоянии от начала координат станка.

Цикл работы измерительной системы подобен описанному выше по рис. 3. Вначале СЧПУ включает источники и приемники излучения. Затем инструмент под управлением СЧПУ перемещается из исходного положения вначале вдоль оси Z до пересечения его вершины D с плоским лучом лазера в точке A , а затем – параллельно оси X до пересечения вершины с лучом лазера в точке O . СЧПУ оценивает вылет инструмента по каждой оси, сравнивает его с допустимым, принимает решение о возможности использования данного инструмента, вносит в случае необходимости изменения в массив коррекции на вылет инструмента по каждой оси.

Достоинствами данного метода перед наиболее распространенными в настоящее время методами настройки режущего инструмента на станках с ЧПУ с помощью датчиков контакта являются: 1) уменьшение погрешности настройки примерно с 0,02 мм до 0,002 мм; 2) повышение производительности, т. к. исключается необходимость многократных измерений и измерения выполняются при перемещениях инструмента по кратчайшему пути; 3) стабильность точности измерений, т. к. исключается вероятность повреждений контактных поверхностей датчиков во время измерений режущим инструментом, а между измерениями – стружкой и СОЖ; 4) уменьшение стоимости измерительной системы, т. к. увеличивается срок ее службы, снижаются расходы на ее эксплуатацию и ремонт. Достоинствами данного метода перед использованием лазерных измерительных мостиков являются: 1) увеличение области применения – если измерительные мостики могут применяться в основном для позиционирования и измерения в основном вращающихся инструментов, у которых режущие кромки формируют плоскую или цилиндрическую поверхности, то предлагаемый метод может быть использован для вращающихся и невращающихся режущих инструментов,

у которых режущие кромки формируют плоскую или цилиндрическую поверхности или имеют вершину (резец, сверло и др.), метод может использоваться также для широкого круга рабочих органов машин с ЧПУ (роботов, измерительных машин и др.); 2) при измерении и позиционировании инструмента (рабочего органа машины с ЧПУ), имеющего вершину, предлагаемый метод значительно производительнее, т. к. процесс измерений значительно упрощается, не требует многократных измерений и сложной обработки результатов. По сравнению с датчиками касания предлагаемый метод имеет следующие достоинства: 1) снижение погрешности настройки примерно с 0,008 до 0,002 мм; 2) значительное уменьшение времени измерений и настройки, т. к. при предлагаемом методе измерения выполняются однократно и по кратчайшим траекториям; 3) при применении датчиков касания измерения выполняют в зоне обработки, что затрудняет передачу результатов в СЧПУ станка.

Основным недостатком данного метода является вероятность искажения результатов измерений из-за наличия в атмосфере станка паров СОЖ и смазки. Однако опыт эксплуатации лазерных измерительных мостиков показывает, что эта трудность преодолима. В последние годы ведущие изготовители станков с ЧПУ стали оснащать эти станки для улучшения экологии системами удаления масляного тумана и стружки. Это облегчает задачу герметизации предлагаемой измерительной системы, которая располагается вне зоны обработки. Измерения при этом производят при отсутствии обработки детали на станке.

Заключение. Процесс настройки металлорежущих станков оказывает существенное влияние на точность и производительность обработки деталей резанием. Для станков с ЧПУ значение этих процессов для обеспечения эффективности этих станков возрастает в связи с усложнением этих процессов для станков с ЧПУ и увеличением возможностей этих станков в обеспечении точности и производительности обработки. В тоже время в последние 30 лет не произошло существенного совершенствования методов настройки и поднастройки станков с ЧПУ и они в настоящее время ограничивают возможности станков с ЧПУ в увеличении их точности и производительности. Предложенный автором и В. И. Резниченко и запатентованный в РФ способ автоматической настройки машин с ЧПУ является более универсальным и эффективным, чем все существующие в настоящее время. Его применение позволит увеличить точность обработки на станках с ЧПУ, повысить производительность, снизить расходы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверченков, А. В. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка: учебное пособие / А. В. Аверченков, М. В. Терехов, А. А. Жолобов, Ж. А. Мрочек. – Электрон. дан. – Москва: ФЛИНТА, 2014.
2. Каштальян, И. А. Обработка на станках с числовым программным управлением: Справ. пособие / И. А. Каштальян, В. И. Клевзович. – Минск: Вышэйшая школа, 1989.

3. Тригубкин, В. А. Техническая эксплуатация станков с ЧПУ и робототехнических комплексов: курсовое и дипломное проектирование / В. А. Тригубкин. – Минск: Беларусь, 2010.
4. Микитянский, В. В. Точность приспособлений в машиностроении / В. В. Микитянский. – М.: Машиностроение, 1984.
5. Способ автоматической ориентации в пространстве исполнительного органа машины с ЧПУ. Российская федерация / ПАТЕНТ №2009764 на ИЗОБРЕТЕНИЕ / Авторы Кане М. М. и Резниченко В. В. / Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 30.03.1994 / Приоритет изобретения 21.06.1988 г.

Поступила 15.05.2025

УДК 621.793

Комаровская В. М.¹, Левшуков А. П.², Саковский В. И.¹,

Латушкина С. Д.³, Чубса И. А.¹

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ПЛАСТИН

*1. ОАО «Минский завод шестерен»,
Минск, Беларусь*

*2. ОАО «Минский подшипниковый завод»,
Минск, Беларусь*

*3. ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»,
Минск, Беларусь*

Приведены результаты промышленных испытаний твердосплавных пластин на ОАО «Минский завод шестерен». Определили оптимальный состав твердого сплава для МНП, а также диапазон значений радиуса скругления режущей кромки (70–90 мкм) и шероховатости (Ra 0,3–0,4 мкм), которые обеспечивают повышение стойкости. Установили оптимальный материал покрытия для конкретных задач предприятия (черновая токарная обработка заготовки «Блок-шестерня»).

В настоящее время одной из актуальных проблем любого производства, где используется механическая обработка изделий, в том числе и токарная, является износ инструмента. В основном на данный момент в качестве режущей части токарных резцов используются многогранные неперетачиваемые пластины (МНП), которые в отличие от напайных имеют большую прочность (нет дополнительных напряжений, которые возникают при пайке), не требуют заточки, а также позволяют многократно использовать державки инструмента. Все это привело к постепенному переходу большинства промышленных предприятий, связанных с механической обработкой на использование многогранных неперетачиваемых пластин. Так, например, на ОАО «Минский завод шестерен» в 100 % случаев токарной обработки используются твердосплавные МНП. В связи с этим одним из направлений экономического развития предприятия является повышение периода стойкости МНП с возможностью интенсификации режимов резания без потери качества обработки изделий. Поэтому