

ТЕНДЕНЦИИ МИРОВОГО РАЗВИТИЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С ЧПУ

О.И. Аверьянов, И.О. Аверьянова, Н.П. Юденков

Проведен анализ состояния уровня мирового станкостроения и прослежены тенденции дальнейшего совершенствования многоцелевых станков с ЧПУ при модернизации производства. Дано понятие диверсификации производства применительно к условиям перехода на инновационные пути развития. Определены три основных критерия оценки конкурентоспособности станков в современных условиях производства. Рассмотрены примеры новых разработок станочных модулей и узлов.

Ключевые слова: диверсификация, производство, многоцелевой станок с ЧПУ, надежность, точность, производительность, технология.

Введение

Совершенствование современной технологии машиностроения направлено на разработку методов обработки деталей с использованием станков с ЧПУ.

Для современных рыночных отношений характерными признаками, в отличие, например, от форм «плановых» отношений, являются частая смена номенклатуры изделий и повышение требований к точности их изготовления. Модернизация производства, связанная с переходом на новую технологическую базу предприятия, способствует *диверсификации производства* [1].

Анализ всего мирового выпуска станков с учетом ценности получаемой информации о новизне станков, конкурентоспособности и удельном весе в выпуске представляется весьма трудоемким и малоосуществимым. В связи с этим в данной работе использовали метод естественного представительства выборки, формируемой специалистами в процессе организации выставок и симпозиумов. С большой вероятностью можно допустить, что участники и организаторы выставок и симпозиумов формируют представительство выборки именно из тех образцов, которые определяют наибольшую информативную ценность при статистическом анализе тенденций развития современного станкостроения.

Для анализа этих тенденций использовали материалы, собранные за последние несколько лет на международных, европейских и отечественных выставках. При этом по аналогии с методом анализа событий-предвестников, принятым в прогнозировании, элементы и станки с ЧПУ учитывали только один раз.

Диверсификация производства

По мнению специалистов, работающих в области организации производства, диверсификация производства – это одна из самых сложных в условиях рыночной конкуренции форм развития разнохарактерных производств путем концентрации собственных возможностей производителей машиностроительной продукции. Диверсификация производства в современных условиях представляется как одновременное (или неодновременное) развитие многих структур производства, часто не связанных друг с другом разновидностей производства и услуг. При этом производитель продукции путем расширения номенклатуры изделий в рамках компании (концерна, предприятия, фирмы) стремится удовлетворить постоянно растущий потребительский спрос.

Появившиеся в последние годы понятия и определения процесса диверсификации производства имеют упрощенный характер. В условиях перехода промышленности на ин-

* Работа выполнена в рамках ФЦП (контракт № 14.В37.21.0460).

новационные рельсы развития возникает необходимость в более строгом и расширенном толковании диверсификации производства, затрагивающей многие вопросы, в частности, особенности формирования структуры металлообрабатывающего оборудования, составляющего технологическую базу предприятия.

В рассуждениях о необходимости проведения глубокой диверсификации производства встречаются разные мнения. По нашему мнению, заслуживают внимания положения, высказанные на заседании рабочей группы тематической сети MANTYS (Ганновер, Германия, 2007 г.), посвященном прогнозным исследованиям, относящимся к производственным промышленным технологиям, рынкам и моделям бизнеса. Большое внимание было уделено производственной гибкости предприятия, которая, по мнению участников рабочей группы, характеризуется его различными возможностями:

- возможностью изготовления многочисленных видов изделий на одном предприятии и в одном технологическом процессе;
- возможностью решения множества технологических задач на одном предприятии и в одном технологическом процессе;
- возможностью расширения номенклатуры изделий с наименьшими потерями, в минимальные сроки и при наименьших расходах;
- возможностью осуществления быстрой смены изделий и организации производства новых изделий.

Таким образом, диверсификация производства – это непрерывно развивающийся процесс освоения и совершенствования новых технологий, связанный с необходимостью расширения номенклатуры продукции предприятия и формирования признаков, характеристик и требований по технологическому оснащению предприятий необходимым оборудованием.

Отметим, что при диверсификации производства все предприятия окажутся в одинаковых условиях для принятия решений о сохранении прежней специализации и прежнего характера производства (серийное, крупносерийное или массовое), поскольку они будут зависеть только от рыночного спроса на продукцию. Самостоятельное значение приобретает проработка возможности изготовления изделий нескольких номенклатур с переменным годовым спросом.

Многоцелевые станки с ЧПУ

В мировой практике машиностроения широкое распространение, в основном в условиях единичного и серийного производств, получили многоцелевые станки (МЦС) с ЧПУ. Это объясняется тем, что стремительное развитие техники, широкое применение специальных или специализированных изделий вместо универсальных, сокращение сроков службы изделий и их частая смена в производстве привели к значительному увеличению номенклатуры изделий и уменьшению серийности их выпуска.

Использование МЦС с ЧПУ при переходе на технологию обработки деталей с многономенклатурным характером потребительского спроса является в настоящее время практически безальтернативным решением при выборе соответствующего технологического оборудования.

Использование в технологии изготовления деталей машиностроения металлообрабатывающих станков с ЧПУ и автоматизированных систем, созданных на их основе, потребовало решения ряда вопросов, связанных со спецификой создания и применения станков, технологии обработки и организации инструментального хозяйства, технико-экономического анализа областей применения станков. Эти вопросы нашли соответствующее отражение в трудах отечественных ученых [2].

Анализ тенденций мирового развития МЦС с ЧПУ проводили на основе изучения информационных материалов московских семинаров по развитию станкостроения, а также материалов международных выставок IMTS-2006, JIMTOF-2006, ЕМО-2007 – ЕМО-2011 [3].

Идеологическая основа создания МЦС с ЧПУ. Характеристики МЦС с ЧПУ позволяют достаточно успешно решать многие проблемы предприятий. К ним относятся [4]:

- повышение производительности станка в 1,5–2 раза по сравнению с производительностью аналогичных станков с ручным приводом;
- сокращение продолжительности цикла изготовления деталей и уменьшение запаса незавершенного труда;
- снижение потребности в профессиональной квалификации рабочего, поскольку подготовка производства переносится в сферу инженерного труда;
- сокращение времени, затрачиваемого

на доводочные ручные операции в процессе сборки, в результате изготовления партий взаимозаменяемых деталей по одной и той же программе.

Многоцелевые станки с ЧПУ являются продолжением развития сверлильных, фрезерных, расточных и токарных станков. По содержанию и составу выполняемых операций МЦС с ЧПУ практически не отличались от универсальных станков. На МЦС с ЧПУ процесс интеграции осуществлялся за счет включения новых операций, но это не означало, что эти операции невозможно было бы выполнять на станках, предшествующих многоцелевым станкам. В связи с этим важно определить принципиальные отличия МЦС с ЧПУ от традиционных универсальных станков.

Многоцелевые станки освободили операторов как от силовых, так и большинства логических функций. В этом отношении МЦС и ЧПУ не просто автоматизированный вариант предшествующих станков, а качественно новый станок, позволяющий организовать малолюдную технологию обработки. Автоматизация указанных функций предопределила и качественно новые технологические возможности многоцелевых станков – проведение сложной контурной обработки деталей и преобразование практически неограниченного объема информации об обработке заготовки в рабочий процесс без участия человека. Новые возможности и определили принципиальные отличия МЦС с ЧПУ от традиционных универсальных станков, что позволило наметить дальнейшие пути их развития с учетом передачи функций оператора не только машине, но и ЧПУ. Именно в этом скрыт смысл новых направлений и тенденций в развитии станкостроения с идеологической точки зрения [5].

Технологическая стратегия развития МЦС с ЧПУ

С технологической точки зрения многоцелевая обработка позволяет выполнять различные операции механической обработки на одном и том же станке при одном закреплении заготовки на станке [4, 6].

В сочетании с современными методами программирования МЦС с ЧПУ позволяют расширить технологические задачи, которые ранее выполняли на уникальных (специальных) станках или ином оборудовании. Возможность использования на МЦС с ЧПУ при

обработке деталей пяти-шести и более управляемых координат, а также наличие на станках инструментального накопителя позволяют выполнять широкий диапазон операций – от операции резания до операции шлифования и даже некоторых термических и лазерных операций [6].

МЦС с ЧПУ предназначены для обработки фасонных деталей широкой номенклатуры со сложными сочетаниями геометрических поверхностей. К таким деталям можно отнести, например кулачковые и коленчатые валы, корпусные детали и лопатки, штампы и пресс-формы. Растущие требования к повышению точности обработки сложных заготовок приводят к разработке комбинированных МЦС с ЧПУ, которые позволяют выполнять нескольких технологических задач. Такие станки становятся все более привычными, и сегодня уже никого не удивляют комбинированные станки, которые можно назвать как токарно-сверлильно-фрезерно-расточные. Использование нескольких разнохарактерных технологических операций на одном и том же станке, особенно с учетом завершающей обработки детали, уменьшает время нахождения детали на станке, уменьшает использование производственных площадей в результате сокращения единиц технологического оборудования, обеспечивает изготовление деталей с высокой точностью и снижает общие затраты производства. Технически использование завершающей обработки деталей на одном и том же станке означает преимущественно интеграцию различных стадий технологического процесса на одном комбинированном станке с ЧПУ.

В качестве примера можно привести станок фирмы Makino (Япония), выполняющий операции фрезерования, точения, измерения и сверления. В МЦС фирмы Buderus Schleiftechnik (Германия) с ЧПУ модели 435 существенно расширяются технологические возможности в результате интеграции в одном станке операций «твердого» точения, шлифования и накатки.

На примере использования в аэрокосмической отрасли промышленности для завершающей обработки деталей только одного станка было установлено, что время обработки уменьшилось в результате интеграции различных операций на 48 %. Завершающая обработка детали на одном станке с технической точки зрения доступна на большинстве моделей станков с ЧПУ.

Для оперативного реагирования на увеличивающийся спрос на машиностроительную продукцию в Европе стали осваивать так называемые модульные технологии, реализуемые на МЦС с ЧПУ. В этом случае станок с ЧПУ оборудуется многоцелевым интерфейсом для различных модульных технологий. Таким модулем могут быть, например система измерения, шлифовальный узел. Для электронного управления дополнительными модулями концепция передачи данных должна быть интегрирована в станок. Каждый модульный передатчик может передавать важную информацию. Таким образом, при использовании хранимой информации установку или замену модулей можно выполнять сравнительно быстро.

В настоящее время мировое станкостроение располагает множеством компоновок МЦС с ЧПУ [4]. Многообразие компоновок характеризует современную технологическую концепцию, базирующуюся на положении, согласно которому станки строят по служебному назначению с учетом типа и характера производства. Для реализации технологической концепции при проектировании МЦС с ЧПУ используется модульный принцип конструирования и изготовления [5]. Модуль – это узел, которому свойственны конструктивная и функциональная автономность и который может быть использован в устройствах различного назначения. Модульный принцип предусматривает применение в одной и той же системе нескольких повторяющихся модулей или их частей, выполняющих самостоятельные функции, например инструментальных модулей, модулей перемещения заготовок и др.

Логическим развитием модульного принципа построения МЦС с ЧПУ является разработка модулей на мехатронной основе. Принципиально важным является создание мехатронных модулей линейного и вращательного движений ограниченной номенклатуры, на базе которых возможно создание новых компоновок МЦС с ЧПУ, в том числе компоновок станков с параллельной кинематикой или в виде нетрадиционных «гексаподных» и других компоновок.

Основные достоинства модульного принципа построения МЦС с ЧПУ заключаются в следующем:

- создание в короткие сроки необходимого технологического оборудования из ограниченного комплекта модулей исходя из требований технологического процесса обработки заготовки;

- повышение гибкости системы проектирования технологического оборудования, поскольку для создания различных компоновок МЦС с ЧПУ многократно используется разное сочетание одних и тех же модулей;

- повышение надежности работы оборудования, так как оно создается из отработанных модулей;

- улучшение условий эксплуатации оборудования, его диагностики и ремонта.

Перечисленные достоинства можно обеспечить при использовании специальных опор качения в подвижных стыках узлов станка, введении элементов симметрии в компоновку станка с целью оптимального распределения потоков теплоты и т.п. В станках широко используются револьверные головки, количество которых в зависимости от габаритов станка может быть более двух. Использование токарного станка и синхронного шпинделя при резании задней бабки заметно увеличивает производительность станка, сохраняя при этом высокое качество обработанных деталей. Высокая производительность МЦС с ЧПУ обеспечивается также оптимальной траекторией движения инструмента и ориентацией его относительно заготовки.

Критерии, определяющие конкурентоспособность МЦС с ЧПУ

В отечественном станкостроении конкурентоспособность станков оценивается совокупностью критериев, объединенных понятием «качество как совокупность характеристик, относящихся к способности продукции удовлетворять установленные и предполагаемые потребности» [2]. Потребности выявляются в условиях потребительского спроса. Они могут изменяться со временем, поэтому необходимо периодически проводить анализ требований к качеству продукции. Потребности на основе устанавливаемых критериев переводят в характеристики, которые могут отображать эксплуатационные характеристики и функциональную пригодность продукции; надежность работы машин и оборудования; безопасность обслуживания технологических средств в машиностроительном производстве; охрану окружающей среды; экономические и эстетические требования и др.

Европейские станкостроители предлагают учитывать три критерия, определяющих потребительские свойства станка: *надежность*,

точность и интеллект. При этом подчеркивается, что учет только одного из них не может иметь решающего значения при создании (выборе) станков с ЧПУ.

Надежность. В Европе специалисты, работающие в станкостроительной отрасли промышленности, признают, что надежность работы станка является одним из основных требований, предъявляемых потребителями при выборе станка. Зачастую надежность считается определяющим критерием при оценке качества станка в целом.

Оценка качества станка должна основываться на использовании специальных методик для определения надежности, включая инструменты обратной связи «производственный сервисный инжиниринг – конструкторское бюро», чтобы постоянно повышать надежность конструкций станков с ЧПУ.

Для отслеживания состояния станка, сбора машинных данных и их обработки, распознавания моделей и схем проводится его мониторинг на основе разработанных алгоритмов. Функционально алгоритмы должны упростить получение объективных данных по диагностике состояния отдельных узлов и механизмов и станка в целом. Управление контролем над процессом резания, а также постоянное получение информации о протекании процесса должно обеспечиваться из любого места рабочей зоны станка. Для более надежного и упрощенного использования сенсоров посредством их комбинаций или для обработки уже имеющихся и контролируемых данных, необходимо уменьшить количество очевидных источников ошибок.

При реализации мероприятий по обеспечению надежности работы станка рекомендуется использовать его функциональные поверхности для повышения износостойкости поверхностных слоев ответственных узлов и деталей и уменьшения загрязнений.

Точность. Большое значение при оценке точности изготовления детали отводится мониторингу процесса, основанного на использовании технических приемов для сбора данных и переработки информации по точности измерения составляющих процесса резания, распознавания их моделей и принятия решений для достижения оптимальной точности обработки деталей на станках с ЧПУ. Автоматическая настройка станка на заданную точность изго-

товления деталей должна осуществляться на основе специальной методики, используемой технологии и алгоритмов с применением ЧПУ для адаптации условий работы машины к конкретно выполняемой операции, чтобы улучшить, таким образом, калибровку измерительной системы и повысить точность измерения.

В станки будущего предполагается включить две измерительные системы: одну – для контроля обрабатываемых деталей в режиме реального времени с использованием точных шкал в процессе обработки в промышленных условиях, другую, в которой измеритель встраивается в непосредственной близости от инструмента – для измерения центральной координаты инструмента.

Комбинированное использование в станках измерителей традиционной и высокоточной (лазерной, с электронным лучом и т.п.) технологий позволит обеспечить наилучшие показатели производительности станка.

Интеллект. Это понятие включает в себя ряд дополнительных по отношению к ключевым задачам обработки эксплуатационно-технологических возможностей станков, которые оптимизируют и упрощают работу станков в процессе механической обработки.

В промышленности применяются станки с различными интеллектуальными интерфейсами. Использование универсальных станков чаще всего является экономически выгодным. Геометрия и форма поверхностей обрабатываемых деталей на универсальных станках зависят от совокупности движений инструмента по координатным осям, осуществляемым квалифицированными операторами (интеллектуальный интерфейс человека). Универсальные станки в будущем будут использоваться в основном во вспомогательных производствах.

Станки с интеллектуальным интерфейсом «человек – станок» имеют способность отслеживания ошибки человека в управлении на ранней стадии процесса, что исключает изготовление деталей низкого качества.

Разработку технических приемов для контроля управления станком и операционных технологических стратегий на различных уровнях развития предприятия целесообразно проводить с привлечением агентских посреднических технологий. Каждая из этих разработанных технологий представляет собой автономное программное обеспечение специ-

фических задач, которое встраивается в системы управления производством. Привлечение агентских технологий обеспечивает разработку оптимизированных технологических операций и необходимый контроль за качеством изготовления изделий. При этом централизованная система мониторинга заказчика остается без изменения.

Интеллектуальный контроль и способность станков к восприятию внешнего мира являются, по мнению специалистов, важнейшими задачами создания станков будущего. Технологии, основанные на искусственном интеллекте и на мехатронных компонентах с автономными способностями прогнозирования, обучения и самостоятельной оптимизации любых процессов или операций, создадут возможности обеспечения функционирования машин на более высоком уровне и постоянного улучшения их характеристик.

Таким образом, автономное производство предприятия основывается на установленных понятиях и технологиях для производства, в котором за производственными приказами автоматически следуют самоподготовка задействованных в процессе машин, автоматическая активизация цепи поставок и производства, самостоятельный контроль произведенных деталей (встроенная система проверки качества) и т.п.

Контролирующие сети и технологии, обеспечивающие возможность надежной и оптимизированной совместной работы между человеком и станком во время производственного процесса, создадут надежные условия для интеллектуального сотрудничества человека и машины.

Производительность станка в классической формулировке исторически определялась количеством деталей, обрабатываемых в единицу времени. На практике в качестве показателей производительности станка нередко используют косвенные показатели, такие как трудоемкость обработки; относительная производительность сопоставляемых станков; количество станков, необходимых для обработки деталей заданной годовой программы и др. При диверсификации производства, когда количество изготавливаемых деталей определяется рыночным спросом, в качестве критерия, определяющего потребительские свойства станка целесообразно выбрать критерий, с помощью

которого можно не только оценить затраченный труд на изготовление деталей, но и определить направления дальнейшего экономического развития предприятия. В любом случае выбор оборудования для обработки деталей означает необходимость определения совокупности типоразмеров станков, которые для конкретного предприятия образуют собственный технологический ресурс предприятия.

В докладе рабочей группы тематической сети MANTYS (Германия, Ганновер, 2011 г.), посвященном ключевым технологиям и их отличительным признакам, производительность станка было предложено оценивать с учетом особенностей процессов изготовления деталей в конкретных условиях предприятия. Так, корпусные детали, изготавливаемые на авиационных предприятиях, отличаются большим объемом снимаемого материала и ограниченным спросом на рынке. В этом случае производительность станка предлагается выражать как объем снимаемой стружки в единицу времени. Для автомобилестроения, производство которого характеризуется массовым или крупносерийным характером изготовления деталей, производительность может быть выражена через «количество деталей в час» или «стоимость обработки детали».

Процессы механической обработки продолжают оставаться главным потенциалом повышения производительности станка. В дальнейшем многие процессы механической обработки будут совершенствоваться в результате:

- объединения нескольких главных процессов (резания, структурирования и измерения) в единый процесс;
- сокращения общего времени обработки деталей за счет уменьшения времени вспомогательных процессов обработки (полировка, снятие заусенцев, очистка и т.д.);
- уменьшения времени простоя в расчете на одну деталь;
- улучшения характеристик традиционных процессов резания (скорость, потребление электроэнергии, способность создания различных геометрических форм деталей).

При интегрировании различных механических процессов в одном станке открывается широкое поле способов производства деталей с более высокой продуктивностью и точностью (уменьшаются манипуляции, время простоя в расчете на одну деталь и т.д.).

Опыт зарубежных фирм при совершенствовании металлообрабатывающего оборудования

Наиболее распространенным конструктивным вариантом шпиндельных узлов в МЦС с ЧПУ является мотор-шпиндель с частотным управлением диапазона регулирования частот вращения шпинделя. Устройства типа мотор-шпиндель относятся к приводу прямого действия (Direct Drive).

Американская компания IMT разработала модульную систему мотор-шпинделей, в которой каждый мотор-шпиндель состоит из стандартных деталей и собирается специально по заказу потребителя. Мотор-шпиндель может быть оснащен различными датчиками, системами охлаждения инструмента и может быть выполнен со специальным концом шпинделя (конус Морзе, крутой конус, фланцевое исполнение и т.п.), с заданными мощностью и частотой вращения приводов.

Интересный вариант мотор-шпинделя предложила фирма YCM (Тайвань). В отличие от аналогов в шпиндельном узле используется комбинированное охлаждение: для статора – жидкостное, а для подшипников и ротора – циркулирующим воздухом, что, по мнению специалистов фирмы, обеспечивает более быструю реакцию на термические всплески и более высокую точность обработки.

Некоторые фирмы изготавливают шпиндельные узлы, обеспечивающие подачу СОЖ в зону обработки. Фирма Brother (Германия) предлагает шпиндели со специальным каналом для подачи СОЖ.

Основным мировым производителем шпиндельных узлов является фирма SKF (Швеция), в номенклатуре которой имеются шпиндельные узлы с ременной передачей, мотор-шпинделями, вынесенным двигателем, водяным охлаждением и без охлаждения, шариковыми и роликовыми подшипниками, консистентной и жидкой смазками, в том числе смазкой «масляным туманом».

Фирма SKF также предлагает смазочную аппаратуру и устройства управления шпинделями. Специально для конструкторов станков в каталогах фирмы SKF приведены конструктивные схемы шпиндельных узлов с расчетами и вариантами смазки, характеристики смазочных материалов, а также различные рекомендации. Фирма SKF продает более 6000

шпиндельных узлов в год для использования в токарных, сверлильно-фрезерно-расточных и шлифовальных станках.

Другой производитель прецизионных подшипников – фирма UKF (Германия), которая производит шпиндельные узлы различных модификаций. Подобный подход подшипниковых фирм позволяет проверять новые решения в конструкциях подшипников и смазках в условиях эксплуатации.

Следует отметить, что до недавнего времени производители станков, как правило, сами изготавливали шпиндельные узлы, не доверяя изготовлению этих ответственных изделий никому. В настоящее время разработкой и изготовлением шпиндельных узлов (особенно электрошпинделей) все больше занимаются специализированные фирмы, в том числе производящие прецизионные подшипники качения. Таким образом, шпиндельные узлы все чаще приобретаются как комплектующие для станков, хотя крупнейшие станкостроительные фирмы (Mazak, DMG, Mori Seiki и др.) все еще продолжают их производить.

Фирма Air Turbine Spindles (США) применяет пневмошпиндели, которые при одинаковых габаритах с электрошпинделями развивают большую частоту вращения – до 90 000 мин⁻¹. Очищенный и отфильтрованный воздух, подаваемый в шпиндель, способствует активному отводу теплоты, обеспечивая таким образом высокую точность обработки деталей. Фирма изготавливает шпиндели с воздушным приводом широкого диапазона как для сверлильных станков с ЧПУ (для обработки печатных плат), так и для небольших настольных сверлильных и фрезерных станков.

В шпиндельных узлах металлорежущих станков в качестве опор шпинделей применяют подшипники качения, подшипники скольжения с жидкой смазкой, гидродинамические и гидростатические подшипники, подшипники с газовой смазкой, активные магнитные подшипники [2]. Шпиндельные подшипники – важнейшие элементы шпиндельных узлов, от которых зависит точность и быстроходность шпинделя. Наиболее точные и быстроходные подшипники производят такие фирмы-бренды, как SKF, SNFA, NSK, NTN.

Номенклатура ведущих подшипниковых фирм позволяет удовлетворить любые потребности станкостроителей в шпиндельных опорах. Отмечается широкое применение ке-

раммических материалов в производстве шариков и роликов. Несмотря на высокую цену, подшипники с керамическими шариками во многих случаях вытесняют подшипники со стальными шариками.

Ведущие подшипниковые фирмы занимаются исследованием возможностей подшипниковых шпиндельных узлов и предлагают готовые решения различных проблем. Появились конструкции чисто керамических подшипников (шарики/ролики, сепаратор, наружное и внутреннее кольцо), а также подшипниковые картриджи.

Подшипниковые картриджи фирмы UKF позволяют собирать шпиндели с помощью готовых подшипниковых модулей, в которых предусмотрены предварительный натяг (изменяемый натяг в процессе работы); способ подвода смазки; вид охлаждения подшипников; различные датчики; тип подшипников для обеспечения заданной жесткости узла и частоты вращения и т.п. Картриджи предлагаются и для опор шариковых винтовых передач.

Кроме того, подшипниковые фирмы предлагают готовые станции смазки подшипников. Как известно, наибольшая частота вращения подшипников достигается при смазке масляным туманом. Однако такой способ смазки загрязняет окружающую среду. Для борьбы с этим явлением рабочую зону станка герметизируют и с помощью специального пылесоса отсасывают и фильтруют воздух. Несмотря на это, аэрозоль проникает в воздух цеха и отрицательно влияет на здоровье человека.

Для решения этой проблемы появились специальные «эко-дружелюбные» подшипники и системы смазки фирмы NTN (Япония), которые не позволяют масляному туману выходить за пределы опоры, а также снижают уровень шума подшипников. Фирма NTN разработала оригинальные системы консистентной смазки и смазки масляным туманом, которые обеспечивают рекордные частоты вращения подшипников с керамическими шариками. Параметр быстроходности ($\Pi = d n_{\max}$, где d – внутренний диаметр подшипника, мм; n_{\max} – максимальная частота вращения, мин⁻¹) составляет более $2 \cdot 10^6$ мм·мин⁻¹ при поддержании постоянной величины предварительного натяга. Данные параметры быстроходности обеспечиваются при консистентной смазке, которую закладывают во внутренний накопитель один раз в течение периода эксплуа-

тации. Расширяющееся масло в зависимости от температурного изменения в течение работы подается микроскопическими дозами непосредственно к шарикам. Ранее такие параметры быстроходности были доступны только при смазке масляным туманом.

Ресурсные испытания, проведенные фирмой NTN, показали, что ее системы смазки значительно превосходят аналоги систем смазок других фирм. Испытания проводили при различных ориентациях шпинделя (вертикальной и горизонтальной), регулируемом и нерегулируемом предварительном натяге, а также двух вариантах смазки (новой системе и традиционной).

Новая система смазки для подачи масляного тумана обеспечивает параметр быстроходности более $5 \cdot 10^6$ мм·мин⁻¹, что является наилучшим результатом в мире. Подаваемая к внутреннему кольцу подшипника смазка охлаждает его и не допускает перегрева шпинделя. При этом возможна большая величина предварительного натяга, а следовательно, и большая жесткость шпиндельного узла при уровне потери мощности, равном уровню потери мощности при традиционной смазке масляным туманом. Малое количество масла вводится в подшипники с помощью дозирующего устройства.

По данным фирм Германии, применение различных видов направляющих в металлообрабатывающих станках распределяется следующим образом: 60 % – направляющие скольжения, 18 % – направляющие качения, 14 % – комбинированные направляющие (качения – скольжения), 7 % – гидростатические и аэростатические направляющие, 1 % – направляющие других видов (например, магнитные).

Чаще всего в простых станках используются направляющие скольжения, которые отличаются компактностью, высокой нагрузочной способностью и хорошими демпфирующими свойствами. Основной задачей в области разработки полимерных материалов, используемых в направляющих скольжения, является разработка материала, который обеспечит малый коэффициент трения и, соответственно, равномерность движения и точность позиционирования.

В последние годы наиболее широкое распространение получили накладные направляющие качения, которые серийно производятся специализированными фирмами. От качества

направляющих и правильного их монтажа зависят ресурс работы станка; точность обработки; механические, энергетические и другие потери. В направляющих, применяемых в МЦС с ЧПУ, используются роликовые или шариковые элементы качения, которые имеют наименьшее трение покоя, большую жесткость и высокую точность обработки. Лидером среди производителей направляющих является фирма ТНК (Германия).

В направляющих качения типа LM фирмы ТНК с шариковым сепаратором шарики равномерно распределяются при движении, что устраняет трение между ними. Кроме того, смазка, удерживаемая между каналом циркуляции шариков и шариковым сепаратором (полость для смазки), распределяется по поверхности контакта между каждой парой шариков. Сепаратор также вращается вместе с шариками, формируя масляную пленку на их поверхности, что устраняет опасность разрыва масляной пленки.

Специальное конструктивное исполнение направляющих фирмы ТНК позволяет осуществлять криволинейные перемещения исполнительных органов станка, что значительно расширяет область их применения. Постоянно совершенствуя свою продукцию, фирма ТНК предлагает потребителям шариковые направляющие, объединенные с шариковой винтовой передачей. Такое решение позволяет упростить процесс конструирования и сборки станков. Организованное специализированное производство на предприятиях фирмы ТНК гарантирует высокое качество изготовления изделий.

Направляющие широкого спектра предлагают многие фирмы. Так, японская фирма ИКО постоянно демонстрирует на выставках конструкции роликовых и комбинированных направляющих различной длины. Комбинированные устройства фирмы ИКО представляют собой сочетание роликовых направляющих и линейных приводов.

Итальянская фирма Elmore разработала и производит комбинированные роликовые направляющие с шариковым винтом широкой номенклатуры.

Фирма Nippon Bearing (Япония) представляет на выставках миниатюрные направляющие для небольших и точных перемещений. Эта фирма разработала широкий ассортимент круглых шариковых направляющих и подпят-

ников, а также дуговых направляющих для качающихся движений. Подобные направляющие никто больше не производит, несмотря на то, что качающиеся движения встречаются довольно часто в различных механизмах и в станках.

Отмеченные варианты направляющих относятся к так называемым неуправляемым направляющим. Эксплуатационные возможности направляющих при сборке станка обеспечиваются установлением необходимых предварительных натягов и выбором зазоров в подвижных стыках станка, которые должны сохраняться в течение всего периода эксплуатации. По мере изнашивания трущихся элементов работоспособность направляющих восстанавливается вручную регулировкой натягов и зазоров.

Активные направляющие и подшипники обеспечивают при моделировании процесса резания разрешение многих задач путем автоматизации управления зазором между трущимися поверхностями при высокой жесткости и демпфировании [7].

Несколько подходов к созданию направляющих с различными основополагающими физическими принципами в настоящее время находятся на стадии изучения. К ним относится создание направляющих с жидкими смазками (гидростатические), с газовыми смазками (аэроостатические), электромагнитных, пьезоэлектрических, а также комбинированных. Сложность структуры перечисленных систем направляющих является недостатком, однако использование мехатронных составляющих в управлении станком улучшает работоспособность его деталей.

Направляющие при работе с разделенным слоем (смазкой, магнитной подушкой и т.п.) между трущимися поверхностями имеют очень малую силу трения, высокую износостойкость, высокую демпфирующую способность, умеренную жесткость, динамическую характеристику, меньшую динамической характеристики направляющих скольжения и качения. Активные направляющие обеспечивают длительные стабильные условия обработки деталей без технического обслуживания. При этом они могут способствовать решению тепловых задач при моделировании работы станка сразу после того, как перестанет поступать теплота, образованная от трения, на станину станка. В этом случае время разогрева исполнительных

органов станка может быть сокращено.

Работоспособность гидростатических направляющих основана на подаче масла под давлением между скользящими поверхностями, обеспечивающей таким образом масляный слой, толщина которого составляет 10–50 мкм. Гидростатические направляющие чувствительны к деформациям и погрешностям изготовления и монтажа. Основными характеристиками таких направляющих являются несущая способность и жесткость. С изменением вязкости масла изменяется зазор в опоре и соответственно жесткость. Гибкие структуры управления величиной зазора гидростатических направляющих и изменениями динамических свойств системы станка позволяет осуществлять автоматическое регулирование процесса резания.

Наиболее актуальными исследовательскими темами считаются работы по изучению работоспособности магнитных и пьезоэлектрических направляющих. С этой целью исследуется распределение магнитного потока и распределение сил трения в зазоре в зависимости от влияния на них совокупности компонентов, характерных для данного вида направляющих. Такая работа имеет поисковый характер по многим причинам. Немногие попытки создания станков с ЧПУ при использовании магнитных опор и пьезоэлектрических направляющих были нерентабельными при исполнении конкретного проекта.

Пьезоэлектрические направляющие, как и рассмотренные выше, интересны многим исследователям с точки зрения обеспечения надежной работы системы станка с высокими динамическими характеристиками. Предварительно проведенные исследования подтвердили потенциальную возможность решения проблемы устойчивости системы при использовании пьезоэлектрических структур. Известно, что процесс фрезерования протекает прерывисто, вызывая вибрацию шпинделя станка. В зависимости от мощности привода и частоты вращения шпинделя при фрезеровании диапазон вибрации шпинделя изменяется в широких пределах. Для демонстрации потенциальных возможностей пьезоэлектрических шпинделей была смоделирована адаптивная шпиндельная система, исследование которой показало наличие возможности устранения статического и динамического отклонений инструмента в

процессе фрезерования [8]. Три пьезоэлектрических силовых привода располагали вокруг шпинделя стандартного исполнения, обеспечивая таким образом высокую жесткость шпинделя, которая является обязательной для стабильного процесса фрезерования.

Техническое совершенствование МЦС с ЧПУ связано в основном с необходимостью решения конкретных организационных вопросов на участке, в цеху или на заводе в целом (по информационным данным с выставок). Однако решение этих вопросов не всегда выглядит очевидным для технического совершенствования самого станка.

Заключение

Наряду с устойчивой тенденцией развития МЦС с ЧПУ эти станки являются единственным технологическим средством, благодаря которому можно решать проблему диверсификации производства.

Заслуживает особого внимания позиция европейских исследователей, связанная с ограничением числа критериев при оценке конкурентоспособности станков с ЧПУ до трех. Это – надежность, точность, интеллект. Исходя из целесообразности критерия «производительность станка» предложено использовать только в условиях конкретного предприятия путем учета объема снимаемой стружки в единицу времени, или количества деталей в единицу времени.

Список литературы

1. *Аверьянова И.О.* Сравнительный анализ технологии изготовления продукции при диверсификации производства // Изв. Тульского государственного университета. Сер. Технические науки. 2010. Вып. 4. Ч. 1. С. 131–137.
2. *Черпаков Б.И., Аверьянов О.И., Адоян Г.А. и др.* Машиностроение. Энциклопедия. Т. 4 – 7 / под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Машиностроение, 2001. – 863 с.
3. *Юденков Н.П.* Современные мировые тенденции развития металлообрабатывающего оборудования // Труды международного станкостроительного форума «Современные тенденции в технологиях и конструкциях металлообрабатывающего оборудования». – М.: ВНИИТЕРМ, 2011. С. 8 – 11.
4. *Аверьянова И.О.* Эффективное использование металлообрабатывающих станков с

- ЧПУ: моногр. – М.: МГИУ, 2012. – 305 с.
5. Аверьянов О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ. – М.: Машиностроение, 1987. – 232 с.
 6. Denkena B., Mliller C. Komplettbearbeitung komplexer Werkstiickfamilien durch Verfahrensintegration // Hannover Kolloquium. 2004. S. 65–85.
 7. Neugebauer, R., Denkena, B., Wegener, K. 2007, Mechatronic Systems for Machine Tools: 57th General assembly of CIRP, Paris // Annals of the CIRP. 2007. Vol. 56. No. 2. P. 657–686.
 8. Denkena, B., Will, J.C. Schwingungsregelung einer adaptronischen Frassspindel mit Piezoaktoren. // Weikstattstechnik online. 2007. H. 11/12. S. 895–900.

Материал поступил в редакцию 22.01.2013

**АВЕРЬЯНОВ
Олег Иванович**

E-mail: gpanovko@yandex.ru
Тел.: (499) 134-53-36

Лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук, профессор кафедры металлообрабатывающих систем с ЧПУ ФГБОУ ВПО МГИУ. Сфера научных интересов – научные основы создания компоновок металлообрабатывающих станков с ЧПУ и формирование их технических характеристик. Автор более 150 научных трудов.

**АВЕРЬЯНОВА
Инна Олеговна**

E-mail: inn-av@yandex.ru
Тел.: (495) 620-37-39

Кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой металлообрабатывающих систем с ЧПУ, заведующая межвузовской лабораторией станков с ЧПУ ФГБОУ ВПО МГИУ. Сфера научных интересов – металлообрабатывающие системы с ЧПУ. Автор более 60 научных трудов.

**ЮДЕНКОВ
Николай Петрович**

E-mail: nikalet@mail.ru
Тел.: (499) 123-92-09

Член корреспондент Российской инженерной академии, директор по связям промышленных и государственных структур России в Ассоциации производителей станкоинструментальной продукции «СТАНКОИНСТРУМЕНТ». Сфера научных интересов – изучение тенденции мирового и отечественного развития станков с ЧПУ. Автор более 20 научных трудов.