

Возможен ли успех станков новой концепции?

В.А.Потапов

В настоящее время конструктивные резервы повышения точности станков, в частности многоцелевых, в основном исчерпаны, поскольку, например, перемещения рабочих органов осуществляются в них по направляющим с теоретически ограниченной точностью и жесткостью. Для дальнейшего повышения точности, как правило, используют новые УЧПУ, обладающие более высоким быстродействием и дискретностью. Что касается жесткости, то в станках обычной компоновки она ограничена вследствие наличия зазоров между подвижными узлами, возникающих в результате действия вибрации и многих других факторов.

Необходимость преодоления указанных недостатков станков традиционного исполнения привела к разработке в нескольких странах (России, США, Швейцарии) станков новой концепции, основанной на применении платформы Стюарта [1], которая использовалась в авиации для моделирования полетов. Такие станки были выполнены преимущественно как многоцелевые, хотя указанная концепция позволяет реализовать на них также функции шлифования, полирования и координатных измерений. К проектированию подобных станков впервые приступили в СССР (1976 г.); за рубежом аналогичные разработки начались примерно через 10 лет [фирмы Giddings & Lewis (США) и Geodetic Technology International (далее Geodetic) (Швейцария) — в 1988 г., а фирма Ingersoll (США) — в 1987 г.].

В 80-х гг. по этому же принципу в Новосибирском электротехническом институте был создан экспериментальный станок с ЧПУ [2], в основу которого положен так называемый электромеханизм поступательного движения (ЭМП). Такой ЭМП, представляющий собой электродвигатель с полым ротором, совмещенный с прецизионной шариковой винтовой передачей (ШВП), оснащен встроенными датчиками скорости и положения, а также электромагнитным тормозом.

Подобные станки, получившие за рубежом на-

звание “гексаподы”, содержат четыре основные подсистемы [3].

1. Нижняя платформа или жесткая корпусная конструкция с встроенным рабочим столом для установки заготовок. Принцип такой конструкции основан на том, что треугольник и базирующиеся на нем геометрические фигуры, например тетраэдр, октаэдр или икосаэдр, нагружаемые только в углах, имеют максимальную жесткость.

2. Шесть регулируемых в осевом направлении, как правило, телескопических штанг, приводимых каждая от своего серводвигателя через ШВП. Штанги одним концом скреплены с корпусом или нижней платформой, а другим — с инструментальной головкой или инструментальным блоком (см. ниже), обеспечивая перемещение последних и их поворот в пространстве практически в любом направлении и под любым углом. Штанги образуют треугольные конструкции переменной геометрии, расположенные между жестким корпусом (платформой) и подвижной инструментальной головкой.

3. Инструментальная головка или блок, а также приводной двигатель и рабочий шпиндель с установочным конусом для инструментов. В одном из вариантов конструкции станка имеется возможность наклона шпинделя на угол до 90° к его оси и поворота относительно этой оси на 360° , что увеличивает число одновременно управляемых координат с шести до восьми.

4. ЭВМ для одновременного управления по всем координатам. Наиболее распространены персональные ЭВМ типа IBM PC 486, оснащенные дополнительными платами. Кроме того, необходимы системы управления частотой вращения шпинделя, подачи СОЖ и другими вспомогательными функциями.

Такой станок в целом значительно проще, легче и жестче станков классической компоновки. Телескопические штанги и рамная конструкция работают только на сжатие и растяжение, не испытывая изгиба, так как сила резания от шпин-

деля, расположенного на верхней платформе, передается вдоль штанг в виде растягивающих или сжимающих усилий. Поэтому у станка типа “гексапод” жесткость примерно в 5 раз, а рабочие скорости в 3–5 раз выше, чем у сравнимого с ним по характеристикам многоцелевого станка. Кроме того, поскольку штанги связывают подвижные и неподвижные части станка в единое целое, усилия распределяются по всей структуре равномерно, благодаря чему для станка не требуются массивное основание и дорогостоящий фундамент, что позволяет легко перемещать его при изменении планировки цеха.

Основная сложность при разработке и эксплуатации станков типа “гексапод” состоит в создании математического обеспечения ЭВМ, выполняющей одновременный расчет траекторий перемещения ряда узлов в пространстве и другие функции. При этом траектории перемещения и частота вращения инструмента рассчитываются в оперативном режиме в реальном масштабе времени с помощью параллельно функционирующих процессоров, которые обрабатывают одновременно большое число команд и передают управляющие сигналы на серводвигатели штанг.

Точность позиционирования шпинделя станка не зависит от точности установки его узлов, поскольку отсутствуют физические элементы (стойки или направляющие), определяющие положение осей координат. Высокая жесткость и большая частота вращения шпинделя таких станков позволяют обрабатывать на них инструментами из сверхтвердых материалов легированные стали и сплавы, композиты и другие труднообрабатываемые материалы.

При единой концепции станки разных фирм различаются компоновкой, конструкцией и расположением штанг, наличием дополнительных устройств. Так, станки мод. Variax с объемной рамой (рис. 1) фирмы Giddings & Lewis построены по триангуляционному принципу; их структура имеет вид октаэдра, что обеспечивает высокую прочность штанг и жесткость станка в целом [4]. Верхняя (шпиндельная) и нижняя (с встроенным рабочим столом) платформы соединены между собой несколькими стойками, выходящими из ступиц. На пересечении этих стоек установлены карданные передачи, связывающие три пары взаимно пересекающихся телескопических штанг

с верхней платформой. Станок опирается на специальные виброизолирующие подушки, расположенные на концах трех штанг, выступающих из нижней платформы. Верхняя платформа может перемещаться по вертикали или горизонтали, а также наклоняться на угол до 25° , что позволяет позиционировать шпиндель по шести осям координат.

На нижней платформе станка расположены три газовых демфера, соединенных с верхней платформой и служащих противовесами. В каждую из шести штанг встроен серводвигатель мощностью 6 кВт. В станке предусмотрены устройства смены заготовок, устанавливаемых на приспособлениях-спутниках размерами 630×630 мм (время смены не более 10 с), и инструментов (время смены от стружки до стружки — 6 с) из 50-позиционного инструментального магазина, оснащенного поворотной рукой.

Основное отличие этого станка состоит в системе обработки данных, которая позволяет компенсировать изменения ряда его характеристик, возникающие в процессе эксплуатации. Например, тепловые деформации оказывают влияние на длину штанг. Поэтому в каждую штангу встроен лазерный интерферометр, постоянно измеряющий ее длину и передающий полученную информацию на ЭВМ системы управления станком. После ее переработки выдается команда на удлинение или укорочение каждой штанги; в результате шпиндель перемещается по заданной траектории. ЭВМ учитывает также кинематические и тепловые погрешности ШВП и изменения

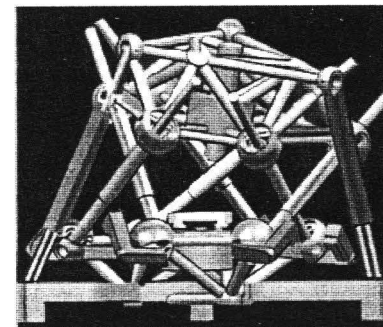


Рис. 1. Компьютерная модель станка мод. Variax фирмы Giddings & Lewis

размеров деталей станка, вызванные тепловыми деформациями или износом, и вносит в длину штанги соответствующую коррекцию.

По сведениям фирмы, точность по любой из осей координат составляет 10 мкм, что приближает станок по этому параметру к координатным измерительным машинам (КИМ). Жесткость станка 175 Н/мкм; скорость установочных перемещений 65 м/мин, рабочих — до 15 м/мин; усилие подачи достигает 31,5 кН.

В отличие от станка мод. Variax у станка фирмы Geodetic (рис. 2) шпиндель установлен на платформе значительно меньших размеров, подвешенной на концах шести штанг с корпусами из углепластика [5]. Эти штанги не телескопические; они сочленены с корпусом станка, выполненным в виде сборной рамы, посредством сферических шарниров и выступают из его верхней части. При вращении посредством ШВП штанги выходят из рабочей зоны либо входят в нее, что приводит к соответствующим перемещениям шпиндельной (верхней) платформы. Дополнительное шарнирное соединение позволяет шпинделю наклоняться на угол до 90°; сама платформа также может наклоняться. На раме, которая может быть установлена на опорах различных типов, расположены все двигатели и механизмы для перемещения штанг и шпинделя.

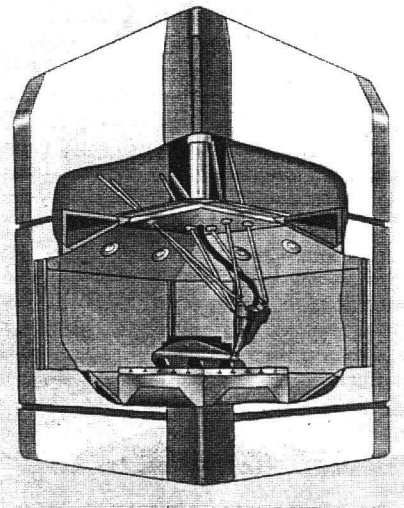


Рис. 2. Станок фирмы Geodetic

На таком станке осуществляется обработка по восьми координатам.

В верхней платформе расположены шесть серводвигателей, от которых осуществляется привод ШВП для изменения расстояния между базовыми точками на этой платформе и нижней платформой, т.е. для изменения положения шпиндельной платформы в пространстве. Каждый привод содержит специальную сферическую втулку, вентильный электродвигатель постоянного тока, устройство кодирования управляющих сигналов и две шариковые гайки.

Для соединения между собой отдельных элементов станка служат специальные зажимы. Позиционирование одного элемента относительно другого достигается вводом трех цилиндров, установленных на одном элементе, в три пары полусферических гнезд, имеющих на другом. Благодаря такой системе сборки-разборка узлов станка может быть выполнена с точностью, достигающей долей микрометра, что позволяет свободно снимать модули (например, привод штанги в сборе) для обслуживания или ремонта и затем устанавливать их обратно практически без настройки.

На шпиндельной платформе смонтировано несколько сменных шпинделей. Привод такого шпинделя осуществляется от вентильного электродвигателя постоянного тока мощностью 4 кВт; регулирование частоты вращения в пределах до 60000 об/мин — бесступенчатое. Шпиндель установлен в керамических подшипниках качения и имеет принудительное воздушное охлаждение, обеспечивающее также удаление стружки и СОЖ из рабочей зоны.

Для синхронизации вращения шпинделей предусмотрены два зубчатых редуктора, для взаимного нагружения которых служит регулируемое подпружиненное натяжное устройство. Система управления станком содержит блок управления перемещениями фирмы Delta tau (Великобритания), работающий от ЭВМ типа IBM PC 486. Для осуществления одновременного перемещения по всем осям координат с точностью 25 мкм и ускорением до 3g используются специальные алгоритмы.

Фирмой Geodetic разработано пять моделей подобных станков — от небольшого восьмикоординатного (см. рис. 2) до крупного шестико-

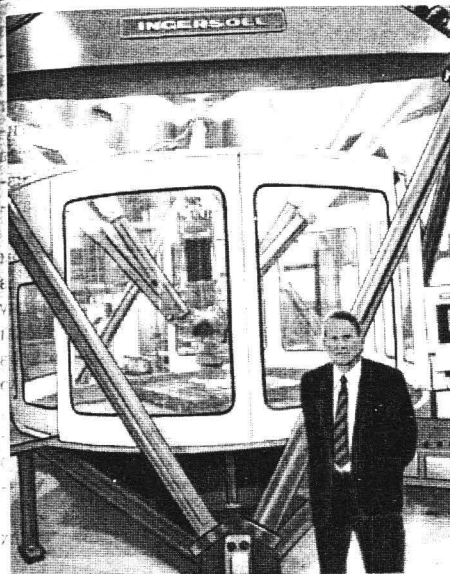


Рис. 3. Станок фирмы Ingersoll

ординатного высокоскоростного. Цена на них изменяется в пределах от 150 тыс. до 1 млн. долл. США.

На выставке 11.ЕМО (Милан, 1995 г.) фирмой Geodetic был показан новый вариант этого станка мод. GPM 1000-20S с рабочей зоной размерами 650×650×650 мм и управлением по шести или восьми осям координат. В первом случае ускорение на вершине фрезы достигало 3g, во втором — 6g. Частота вращения фрезы составляла 30000 об/мин, а скорость рабочей подачи — 30 м/мин.

В станке фирмы Ingersoll (рис. 3) телескопические штанги опираются на пространственную конструкцию, составленную из 12 металлических стоек [6], образующих несколько треугольных конструкций. Шесть стоек направлены вверх на длину 3—3,6 м и образуют три тре-

угольника, из вершин которых выходят вниз три пары штанг. В своей верхней части штанги связаны тремя опорными треугольниками и прикреплены к шпиндельной платформе. Шпиндель направлен вниз, в середину рабочей зоны.

Станки типа ТМ (технологический модуль), разработанные АО “ЛАПИК” (Саратов), обеспечивают выполнение в едином комплексе функций многоцелевого станка и КИМ. На них можно производить такие операции, как фрезерование, растачивание, сверление, разметку и измерение деталей; в дальнейшем предусматривается организовать шлифование и полирование [7]. Без специальной переналадки такой станок можно за 10 мин превратить в КИМ (рис. 4) [8].

Станки АО “ЛАПИК” отличаются наличием шести трубчатых опорных штанг, расположенных на рабочем столе и попарно связанных в своей верхней части. В результате получаются три кронштейна, соединяемые между собой другими трубчатыми элементами и образующие таким образом опорную раму. На этой раме установлено шесть узлов, содержащих шесть телескопических штанг, приводные электродвигатели постоянного тока и фрикционные приводы. Для каждой штанги предусмотрена система обратной связи на базе лазерного интерферометра, связанная с верхней платформой, на которой установлен шпиндель или измерительный шуп. В последнем случае

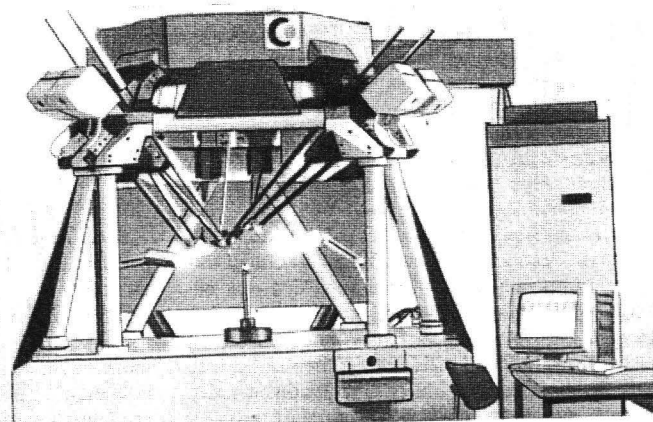


Рис. 4. КИМ мод. 750 АО “ЛАПИК”

используются гелий-неоновый лазер и оптоволоконные световоды, в результате чего точность позиционирования рабочих узлов по осям координат достигает 0,8 мкм.

Соединение рамы станка и штанг посредством универсального шарнира обеспечивает одновременно вертикальное и боковое перемещения. Штанги смонтированы в трех равноудаленных друг от друга точках на опорной раме станка и присоединены к платформе. Шарниры и фрикционные приводы применяют потому, что они более износоустойчивы, чем зубчатые колеса. Команды на перемещение могут задаваться в кодах ISO или на специальном языке. Платформа может выполнять следующие базовые движения: к заданной точке или на заданное расстояние при одновременном повороте в заданное положение; поворот в заданное положение или на заданный угол без перемещения; перемещение точки, расположенной на платформе, по заданной винтовой линии с одновременным вращением относительно этой линии. Грузоподъемность каждой из опорных штанг станка типа ТМ достигает 75 кг.

В системе управления станка предусмотрена функция саморегулирования, что обеспечивает его стабильную точность благодаря ликвидации погрешностей, вызванных естественными деформациями конструкций. После ввода исходных данных в систему управления могут компенсироваться погрешности обработки с учетом температуры, влажности и атмосферного давления.

Пять станков такого типа эксплуатируются на различных российских предприятиях. Результаты эксплуатации показали высокую эффективность станков типа ТМ при обработке сложнопрофильных деталей (элементов крыльев самолетов, пресс-форм, штампов и др.) как из труднообрабатываемых материалов, так и из легких сплавов. Масса этих станков находится в пределах 2,5—3,5 т, размеры рабочей зоны — от 500×350×300 до 1000×700×500 мм. Угол поворота по осям координат А, В и С не

превышает 45°; точность позиционирования узлов составляет 0,8—1,4 мкм. КИМ аналогичны станкам типа ТМ по размерам рабочей зоны; длина измеряемых на них деталей не превышает 1000 мм. Все КИМ сертифицированы и зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений. Разрабатываются КИМ с длиной измерений до 10000 мм и станки с длиной обработки до 5000 мм.

В отличие от российских у зарубежных фирм опыт промышленной эксплуатации своих станков отсутствует. Поставки станка мод. Variax на одну из американских фирм планировались на первый квартал 1995 г., а сведений о поставках станков фирмы Geodetic нет. По-видимому, это связано с работой по снижению стоимости этих станков, определяемой главным образом расходами на математическое обеспечение, и доведению ее до стоимости пятикоординатных многоцелевых станков.

Некоторые характеристики рассмотренных станков приведены ниже.

Фирма-изготовитель	АО "ЛАПИК"	Giddings & Lewis	Geodetic
Модель станка	TM-500	Variax	—
Размеры рабочей зоны (X×Y×Z), мм	500×350×300	630×630×630	Объем 1 м ³
Максимальное угловое перемещение, градус	45	45	180
Точность позиционирования рабочих органов, мкм	0,8	10,0	25,0
Мощность главного привода, кВт	2,6	22,0	4,0
Частота вращения шпинделя, об/мин	10—6000	100—15000	до 60000
Максимальное ускорение при движении узлов, g	1	1	3
Габарит станка, мм	1780×1280×2150	6700×6550×4300	Занимаемая площадь 4 м ²

Рассмотренная концепция начинает постепенно распространяться на другие типы металлообрабатывающего оборудования. Так, на выставке 11.ЕМО фирмой Comau (Италия) демонстрировался робот мод. Tricert HP1, оснащенный тремя линейными исполнительными механизмами, работающими по принципу "гексапода". Область его применения — снятие заусенцев или обработка алюминиевых деталей с небольшими припусками. Робот имеет три опоры, регулируемые по

длине указанными механизмами с встроенными в них ШВП. Посредством опор перемещается инструментальная державка, имеющая две оси вра-

щения и несущая приводной инструмент, например торцовую фрезу, установленную в высокоскоростном шпинделе.

Список литературы

1. Stewart D. A platform with six degrees of freedom // Proc. Inst. Mech. Eng. — 1965—1966. — V. 180. — Pt. 1. — N 15. — P. 371—386.
2. Астанин В.О., Сергиенко В.М. Исследование металлорежущего станка нетрадиционной компоновки // Станки и инструмент. — 1993. — № 3. — С. 5—7.
3. Eastman M. Will hexapods go from show flow to shop floor? // Cutting Tool Engineering. — 1995. — V. 47. N 4. — P. 102—110.
4. Allcock A. Hexapod avoids slideway errors // Machinery and Production Engineering. — 1995. — V. 153. — N 3885. — P. 26—27.
5. Allcock A. A machine for the 21st century // Ibid. — P. 20—22.
6. Vasilash G.S. Talking about new technology // Production. — 1994. — N 6. — P. 70—71.
7. The Russians are coming! // Machinery and Production Engineering. — 1995. — V. 153. — N 3897. — P. 19—20.
8. Лантрев А.Г. Координатно-измерительные и обрабатывающие машины с платформой Стюарта // Метроном. — 1994. — № 5—6. — С. 11—16.

“Библиотека Машиностроителя”

www.lib-bkm.ru