

О. К. Акмаев, Б. А. Еникеев

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

В статье показано, что технологические возможности многоцелевого станка токарной группы в значительной степени зависят от размеров и формы рабочего пространства станка. Показано, что многоцелевые станки токарной группы, выполненные на основе механизмов последовательной кинематики в сочетании с механизмами параллельной кинематики (гибридные схемы), обладают более широкими технологическими возможностями. *Компоновка станка; токарный станок; параллельная кинематика; технологические возможности*

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие требования к точности обработки поверхностей деталей и переход производственных предприятий к многономенклатурному производству приводят к необходимости создания многоцелевых станков с расширенными технологическими возможностями, позволяющих изготавливать широкую номенклатуру типовых по конструкции и форме деталей в условиях автоматизированного производства. Высокие технологические возможности станка обеспечивают возможность реализации принципа – «установили заготовку – сняли полностью обработанную деталь», что способствует повышению точности обработки и сокращению вспомогательного времени в условиях автоматизированного производства.

Одним из самых распространенных объектов металлообработки является деталь типа «тело вращения». Однако чаще всего тела вращения (валы, втулки, фланцы) имеют различные конструктивные элементы, требующие фрезерной, сверлильной, резьбонарезной и других видов обработки. Частичное или полное изготовление таких деталей возможно на многоцелевых станках токарной группы, отличающихся высоким уровнем технологической интеграции.

Целями данной работы являются:

1. Анализ существующих решений, позволяющих увеличить технологические возможности станков токарной группы.

2. Разработка компоновки многоцелевого станка токарной группы, отличающегося простотой конструкции, низкой металлоемкостью и повышенными, по сравнению с аналогами, технологическими возможностями.

3. Сравнительный анализ жесткости разрабатываемой компоновки и ближайшего аналога методом конечных элементов.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОНОВОК МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

Анализ технологических возможностей современных компоновок многоцелевых станков токарной группы показал, что одним из первых шагов к увеличению функциональности токарных станков было решение добавить к классической компоновке токарного станка револьверную головку со встроенным приводом вращающегося инструмента (фрезы, сверла, зенкера, метчика). Такое решение позволило производить не только токарную обработку детали, но и получать радиальные и осевые отверстия в телах вращения, производить фрезерование пазов и канавок. Примером подобного станка является станок модели 160НТ производства компании «Стерлитамак М.Т.Е.» [1].

Станок модели 160НТ предназначен для высокопроизводительной токарной обработки деталей типа «фланец», «втулка», «штуцер» и т. д. из различных конструкционных материалов в условиях единичного и мелкосерийного производства. Наличие только двух линейных управляемых координат (Z , X) ограничивает его технологические возможности.

Примером дальнейшего повышения технологических возможностей (универсальности) может служить токарный станок модели NL1500MCY производства компании MoriSeiki (Япония) [2]. Станок отличается наличием возможности перемещения инструмента по оси Y . Данная возможность реализуется за счет монтажа на первичных салазках поперечного пере-

мещения (ось X) вторичных салазок, расположенных под определенным углом к первичным, образующих ось YC . В процессе обработки детали система управления синхронизирует работу электродвигателей осей X и YC , осуществляя результирующее перемещение по оси Y , перпендикулярной оси X . На вторичных салазках размещается револьверная головка на 12 позиций. Фактическая длина хода первичных салазок составляет 260 мм, вторичных – 200 мм. Аналогичной компоновкой обладают станки модели TC-300 производства компании SPINNER, станки серии QUICK TURN NEXUS компании MAZAK и др.

Станок модели NL1500MCY, обладая возможностью перемещения инструмента по оси Y (рис. 1) в диапазоне ± 50 мм, имеет более высокие технологические возможности по сравнению со станком модели 160HT и позволяет изготавливать детали со сложно-профильными поверхностями за один установ, тем самым увеличивая производительность и точность обработки. Недостатками данного станка являются сложность конструкции суппорта, снижение его технологических возможностей по мере увеличения диаметра обрабатываемой детали, что объясняется неэффективной формой рабочего пространства в поперечном сечении (ромбовидная) и малой ее площадью (рис. 1). Такая форма рабочего пространства определяется наличием двух поперечных салазок, смонтированных одна над другой и расположенных под углом. На данных станках этот угол равен 30° . При максимальном диаметре (D_{\max}) заготовки 360 мм высота рабочего пространства $H = 100$ мм, т.е. 30 % от D_{\max} . Такая форма и размеры рабочего пространства не позволяют, например, выполнить обработку отверстий, ось которых находится за его пределами, или обработать лыску или канавку (рис. 1), размер опорной поверхности B которых, больше высоты H , и т. п. Еще одним примером повышения технологических возможностей станков может служить токарно-фрезерный обрабатывающий центр модели NT3100 [2] производства компании Mori Seiki. Данный станок имеет не только модуль вращения заготовки и револьверную головку, смонтированную с возможностью продольного и поперечного перемещения относительно оси заготовки, но и фрезерный шпиндель с возможностью поступательного перемещения по трем осям (X, Y, Z), а также кругового позиционирования на угол $\pm 120^\circ$ вокруг оси, перпендикулярной оси вращения заготовки. Станок оснащен

механизмом смены инструмента и инструментальным магазином. Отличается широкими технологическими возможностями, совмещает в себе 3-осевой горизонтальный токарный станок и 4-осевой вертикальный фрезерный центр, что дает возможность обрабатывать профили любой сложности. Кроме того, он позволяет вести параллельную обработку нескольких поверхностей за счет использования револьверной головки совместно с фрезерным шпинделем, существенно повышая производительность.

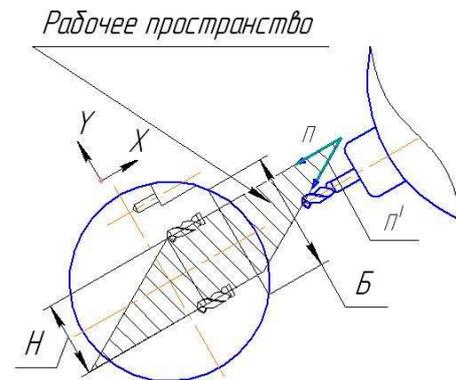


Рис. 1. Схема рабочей зоны станка NL1500

Сходной компоновкой обладает станок модели SPINNERTM, отличающийся использованием вместо поворотной фрезерной головки револьверной головки на 24 позиции с бесступенчатым регулированием ее угла поворота. Использование револьверной головки обеспечивает сокращение времени смены инструмента.

Рабочее пространство этих станков полностью перекрывает поперечное сечение обрабатываемой детали, что определяет их высокие технологические возможности.

Общими недостатками данных станков является большая металлоемкость и крайне высокая стоимость.

Одним из перспективных направлений развития станкостроения является создание компоновок с системами параллельной и гибридной кинематики [3], отличающихся небольшими массогабаритными показателями при высоких технологических возможностях. Особенностью таких систем является высокая сложность используемого математического аппарата и требуемых для его реализации систем автоматики.

При разработке многоцелевого станка токарной группы с расширенными технологическими возможностями использовались принципы гибридной кинематики, ставились следующие цели: рабочая зона должна полностью пе-

рекрывать поперечное сечение обрабатываемой детали максимального диаметра; компоновка станка должна быть компактной и иметь низкую металлоемкость. Эскиз предлагаемой компоновки [4] представлен на рис. 2.

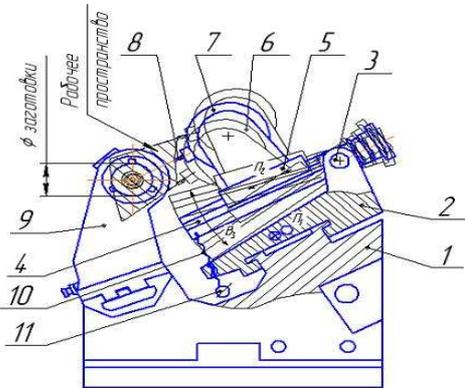


Рис. 2. Эскиз предлагаемой компоновки станка

На станине 1 станка смонтированы продольные салазки 2, имеющие опору, ось 3 которой расположена параллельно оси основного шпинделя станка. На оси опоры смонтирована

поворотная платформа 4, по направляющим которой перпендикулярно оси станка перемещаются поперечные салазки 5. На поперечных салазках смонтирован корпус 6 револьверной головки (фрезерной поворотной головки) 7 с неподвижным (резец) или вращающимся (сверло, фреза) инструментом 8, обеспечивающим обработку заготовки, закрепленной в шпинделе передней бабки 9 станка. Поворот платформы 4 вокруг оси 3 обеспечивается приводом, включающим в себя передачу винт-гайка 10 и регулируемый двигатель 11.

Наиболее близким аналогом, для сравнения по технологическим возможностям, принят станок NL1500МСУ, обладающий приводным инструментом и осью Y. На рис. 3 представлены эскизы рассматриваемых вариантов компоновок станков и соответствующие им схемы рабочих пространств, исходя из условия равной величины хода исполнительных органов, определяющих возможное положение инструмента в анализируемых станках.

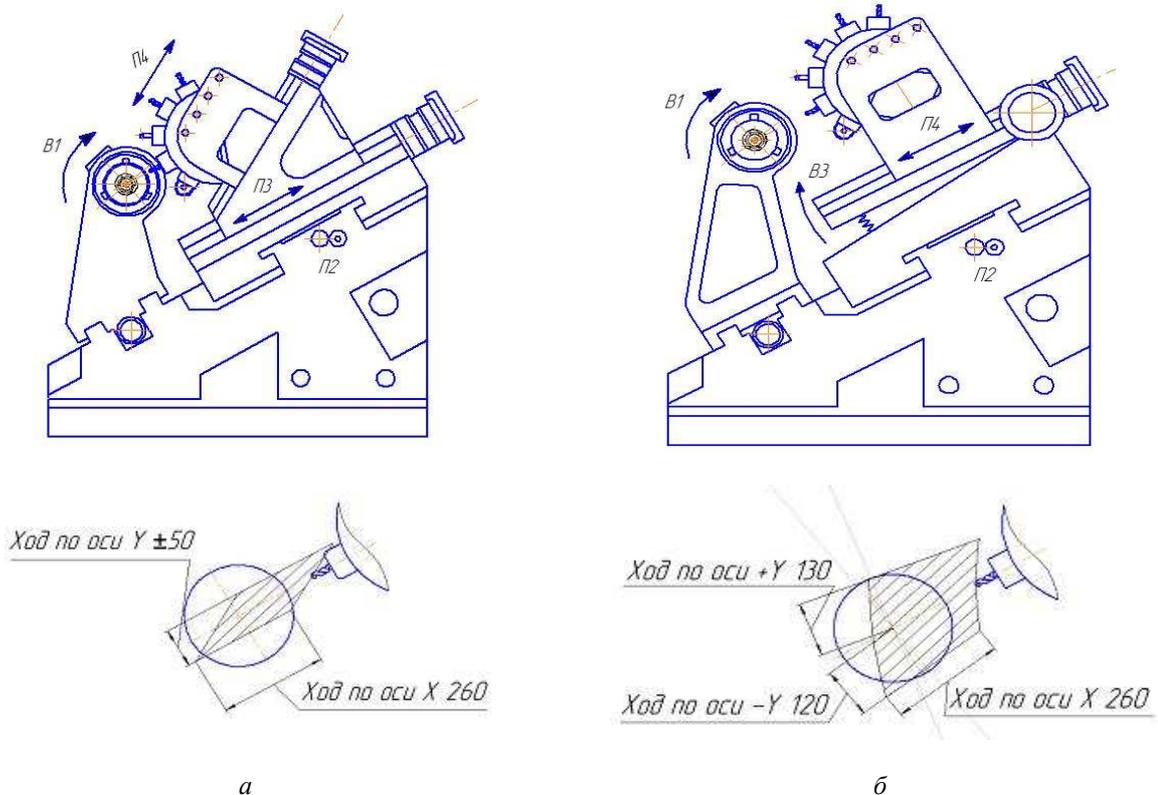


Рис. 3. Схемы компоновок и соответствующих им рабочих пространств анализируемых станков: а – станка NL1500МСУ; б – проектируемого станка

Увеличение рабочего пространства станка (рис. 3, б) свидетельствует о существенном расширении технологических возможности токарного многоцелевого станка (увеличение на 150 %), способствуя увеличению точности обработки и уменьшению вспомогательного времени.

Из приведенных данных видно, что за счет увеличения рабочего пространства предлагаемая компоновка дает существенный прирост технологических возможностей станка, так как позволяет, например, выполнить обработку отверстий и пазов, находящихся в любой точке поперечного сечения обрабатываемой детали. Позволяет также обработать лыску или канавку (рис. 1), размер опорной поверхности B которых больше высоты H и т. п.

Это позволяет сделать вывод о том, что технологические возможности станка предлагаемой компоновки сопоставимы с технологическими возможностями токарно-фрезерного станка производства фирмы Mori Seiki модели NT3100, отличающегося высокой стоимостью и металлоемкостью.

Рассмотрим подробнее компоновку узла, реализующего вращательное движение ВЗ, и проанализируем варианты его конструктивного исполнения.

В качестве основы привода поворота платформы взята шарико-винтовая передача. Типовой вариант конструкции предполагает применение передачи винт-гайка и электродвигателя, который передает вращение винту.

Недостатком такой конструкции привода являются вибрации, возникающие при вращении винта, а также повышенные осевые габариты из-за необходимости размещения электродвигателя.

Существуют приводы поступательного перемещения (компания SKF GroUp, Италия) в которых посредством зубчато-ременной передачи вращение от электродвигателя передается гайке, установленной в подшипниках, закрепленных в корпусе. Винт неподвижно зафиксирован в опорах.

Данная конструкция обладает рядом преимуществ по сравнению с первой, но отличается повышенной сложностью, вызванной большим количеством деталей, высокими массогабаритными показателями и низкой надежностью, определяемой наличием ременной передачи.

Учитывая недостатки приведенных вариантов приводов, предлагается использовать в нем

мотор-гайку. Схема привода представлена на рис. 4.

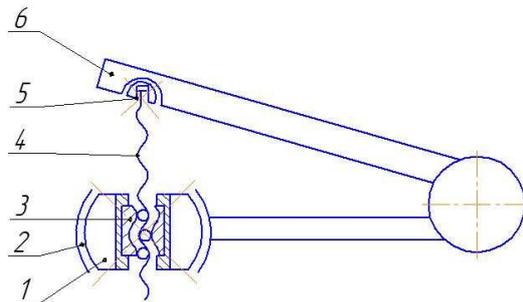


Рис. 4. Схема привода ШВП с мотор-гайкой

Привод содержит электродвигатель 1 с полым ротором, установленный в шарнире 2. Гайка 3 винтовой передачи расположена в полости ротора и жестко связана с ним, образуя мотор-гайку. Таким образом, при работе электродвигателя гайка 3 совершает вращательное движение и сообщает поступательное перемещение резьбовому винту 4, зафиксированному одним концом в шарнире 5, расположенном в поворотной платформе 6.

Данный вариант привода отличается от предыдущих приемлемыми массогабаритными показателями и простотой конструкции. При работе привода винт испытывает только напряжения растяжения-сжатия, что положительно сказывается на точности реализуемых перемещений и надежности работы узла.

На рис. 5 изображен эскиз мотор-гайки. Она содержит корпус 1 со статором электродвигателя 2, полый вал 3 с ротором электродвигателя 4, гайку (полугайку) 5 и винт 6, подшипниковые опоры 7.

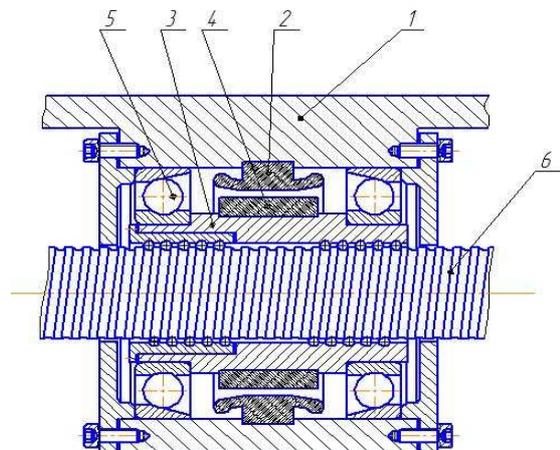


Рис. 5. Эскиз мотор-гайки

Мотор-гайка работает следующим образом. В корпусе 1 смонтирован статор 2 электродвигателя. При включении электродвигателя ротор 4 начинает вращаться, увлекая за собой полый вал 3 с полушками, вращение которых преобразуется в возвратно-поступательное перемещение винта 6 относительно корпуса 1 или наоборот. Осевые нагрузки, возникающие в передаче, воспринимаются радиально-упорными подшипниками.

АНАЛИЗ ЖЕСТКОСТИ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С использованием программного пакета Solid Works Simulation проведено исследование жесткости предлагаемой конструкции суппорта и суппорта станка-аналога методом конечных элементов. На рис. 6–7 представлены сборки двух рассмотренных конструкций. Инструмент и револьверная головка приняты абсолютно жесткими телами, таким образом, итоговое перемещение режущей кромки обусловлено упругими деформациями деталей суппорта. Величины составляющих силы, действующей в процессе резания, рассчитаны на основе рекомендаций [5] для случая лучистового продольного точения и приняты равными:

- окружная составляющая $P_Z = 3843$ Н;
- радиальная составляющая $P_X = 1345$ Н;
- осевая составляющая $P_Y = 1729$ Н.

Показаны перемещения различных точек конструкции, вызванные действием силы резания.

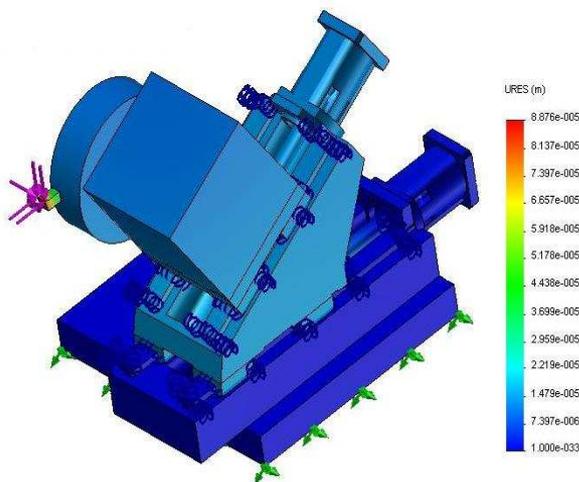


Рис. 6. Эпюра перемещений режущей кромки станка NL1500

Полученные данные свидетельствуют о сопоставимости показателей жесткости рассмотренных вариантов конструкции. Совокупные перемещения режущей кромки под действием силы резания составили для компоновки станка NL1500 – 89 мкм, для проектируемого станка – 95 мкм. Кроме того, сделан вывод о наличии значительных резервов в повышении жесткости предлагаемой конструкции суппорта.

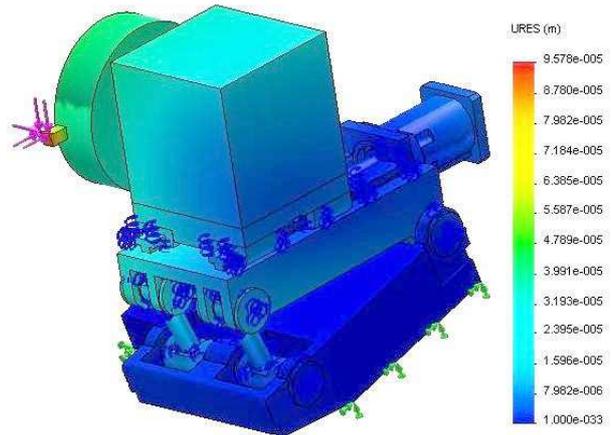


Рис. 7. Эпюра перемещений режущей кромки проектируемого станка

ВЫВОДЫ

1. На основе сравнительного анализа компоновок многоцелевых станков токарной группы и их технологических возможностей, синтезирована новая компоновка станка, обладающая существенно большей универсальностью по сравнению с аналогами, при упрощении конструкции и оптимизации массогабаритных показателей. Выполненное методом конечных элементов исследование жесткости двух вариантов конструкции суппорта, свидетельствует о сопоставимости показателей жесткости двух рассмотренных токарных станков и наличии возможности оптимизации конструкции проектируемого станка с целью повышения его жесткости.

2. Таким образом, различные типы металлорежущих станков на основе механизмов гибридной кинематики могут обладать существенными преимуществами по сравнению с классическими станками. Необходимо создание обобщенной теории синтеза подобных компоновок и решение задачи управления формообразованием для подобных механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО «Стерлитамак – М.Т.Е». Токарный станок с ЧПУ модели 160НТ высокой точности [Электронный ресурс] (<http://www.stanok-mte.ru>).
2. MORISEIKI Ltd. Продукция [Электронный ресурс] (<http://www.moriseiki.ru/products/>).
3. **Афонин В. Л., Подзоров П. В., Слепцов В. В.** Обработывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры. М.: МГТУ СТАНКИН, Янус-К, 2006. 452 с.
4. **Решение о выдаче патента** по заявке № 2011116038/02.
5. **Бабенко Э. Г.** Расчет режимов резания при механической обработке металлов и сплавов. Хабаровск: ДГАПС, 1997. 65 с.

ОБ АВТОРАХ

Акмаев Олег Кашафович, доц. каф. мехатронных станочных систем. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1971). Канд. техн. наук по техн. произв. летательн. аппаратов и двигателей (УГАТУ, 1983). Иссл. в обл. обработки точных деталей и в обл. разработки мехатронных станочных систем.

Еникеев Булат Азатович, магистрант той же каф. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. разработки мехатронных станочных систем и технологий модифицирования поверхностей деталей машин.