

ществую-
и функци-
и борьбе
формирует
сть дви-
еется
делается
характе-
очередь
бранныго
т тради-

УДК 621.9.06.001.5

В. О. Астанин, В. М. Сергиенко

Исследование металлорежущего станка нетрадиционной компоновки

В настоящее время в станкостроении широко используется блочно-модульный принцип построения металлорежущих станков. При создании перспективных компоновок станков появились новые механизмы — электромеханизмы, в которых интегрированы электродвигатель и рабочий орган. Электромеханизмы являются: поворотные столы, в которых ротор электродвигателя совмещен с планшайбой; механизм подачи, в котором полый ротор электродвигателя жестко связан с гайкой шариковой винтовой передачи; шпиндельный узел, в котором шпиндель выполняет функции вала электродвигателя [1]. С созданием электромеханизмов появилась возможность влиять на сами принципы построения компоновок станков, а также разрабатывать нетрадиционные компоновки, кардинальным образом меняющие внешний вид станков и их характеристики.

В Новосибирском электротехническом институте создан опытный станок с ЧПУ [2], в основу конструкции которого положен электромеханизм поступательного движения (ЭМП) типа ЭМ8, входящий в состав комплектного электропривода серии УВ-3. ЭМП, представляющий собой электродвигатель с полым ротором и совмещенный с прецизионной передачей винт — гайка качения, оснащен встроенными датчиками скорости и положения, а также электромагнитным тормозом. Компоновка станка построена по типу пространственного механизма с замкнутой кинематической цепью и шестью степенями подвижности [3]. Теория подобных механизмов разрабатывается в ИМАШ им. А. А. Благонравова [4].

В состав станка (рис. 1) входят: шпиндельный узел 1, шесть ЭМП, подвижная платформа 2, основание 8, стол. ЭМП состоит из корпуса 6 и выдвижного элемента 5, соединенных посредством шарниров 9 и 3 соответственно с основанием 8 и платформой 2. На последней закреплен шпиндельный узел 1, созданный на базе такого же ЭМП. Основание 8 и тумба 7 стола, на котором закрепляют обрабатываемую деталь 4, выполнены из армированного бетона. Шесть ЭМП одновременно являются механизмами подачи и несущими элементами, которые работают только на растяжение-сжатие, не испытывая изгибных усилий. Такая компоновка обеспечивает уникальное сочетание малой металлоемкости и высокой жесткости конструкций.

Перемещение шпиндельного узла относительно обрабатываемой детали по любой из трех линейных (X , Y , Z) и трех поворотных (α , β , γ) осей (рис. 2) осуществляется путем согласованного изменения длин шести ЭМП с помощью системы

ЧПУ "УНИКОН-20", выпускаемого ПО "Север" (г. Новосибирск), и специализированного контроллера преобразований координат [5]. Это позволяет реализовать все стандартные функции системы ЧПУ "УНИКОН-20", рассчитанные на станок традиционной компоновки. Траектория шпинделя программируется в системе координат детали, а его положение в любой точке траектории может быть задано тремя линейными координатами конца инструмента и двумя угловыми координатами определяющими угол наклона оси инструмента. Таким образом, станок предложенной конструкции может служить для пятикоординатной обработки деталей сложной конфигурации.

Размеры рабочего пространства станка зависят от диапазона изменения длины механизмов подачи; в системе координат детали оно имеет довольно-

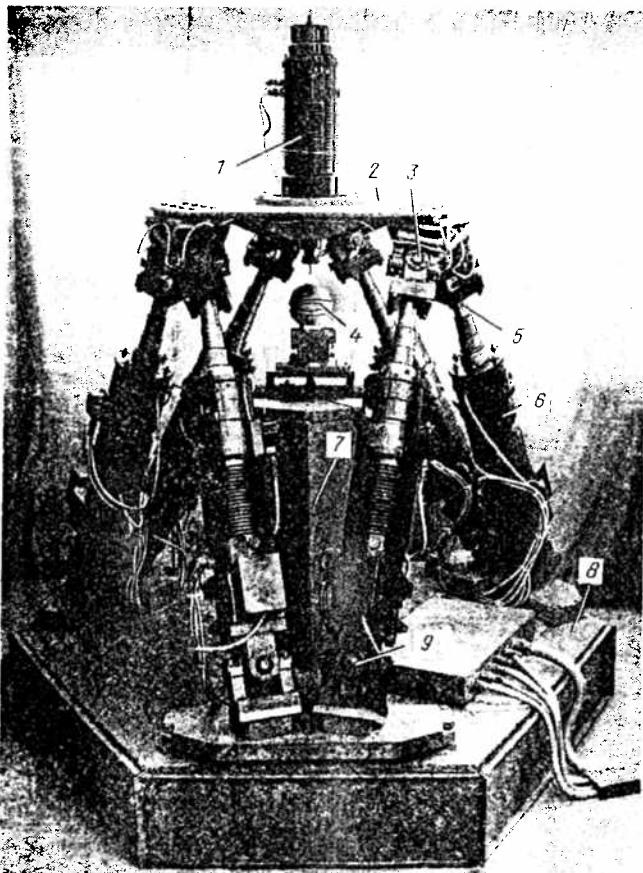


Рис. 1. Станок нетрадиционной компоновки

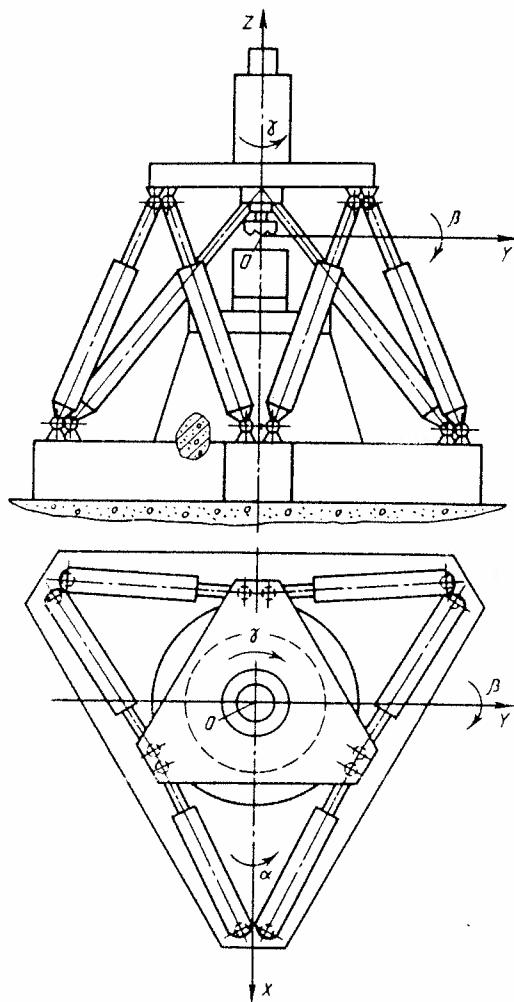


Рис. 2. Оси координат станка

но специфическую форму, которая может быть различной и определяется видом обрабатываемой детали. На рис. 3 приведена одна из форм представления рабочего пространства станка — линии

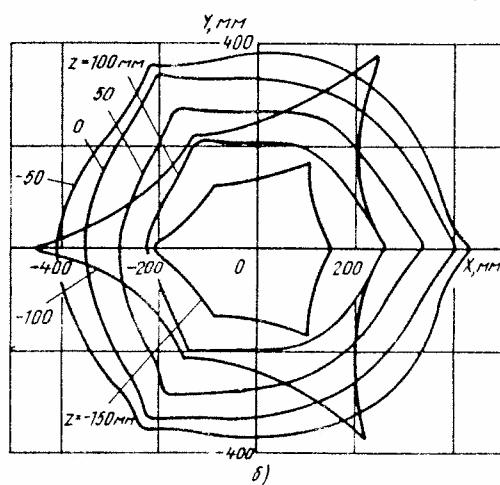
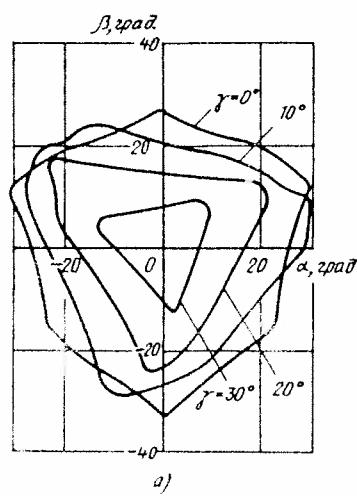


Рис. 3. Рабочее пространство станка при изменении угловой γ (а) и линейной z (б) координат положения конца инструмента

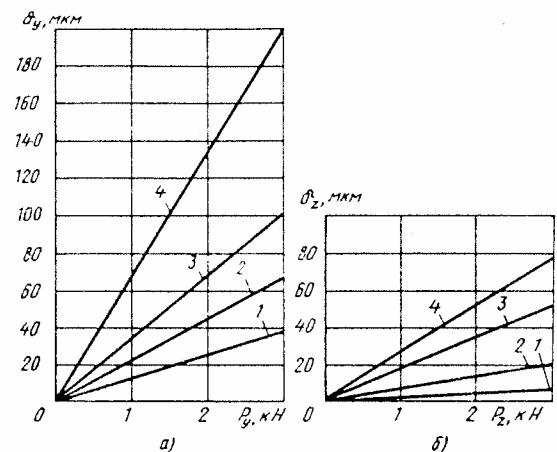


Рис. 4. Упругие деформации δ тумбы стола (1), шпинделя (2), платформы (3) и НС (4) в направлении осей Y (а) и Z (б) при нагружении соответственно силами P_y и P_z

уровня для линейных и угловых координат, полученные при ходе винта каждого механизма подачи 400 мм и изменении высоты положения конца инструмента в центральной части рабочего пространства.

Жесткость станка определяли в нескольких точках рабочего пространства. При этом к платформе прикладывали нагрузки в направлении осей координат и определяли общую деформацию несущей системы (НС) (шпинделья относительно тумбы стола), и деформацию отдельных элементов НС (тумбы, шпинделя и платформы относительно неподвижного основания).

Упругие деформации НС и ее элементов, приведенные на рис. 4, получены для случая, когда Y точка приложения силы P_z находилась в центре платформы, а силы P_y — на конце инструментальной оправки, вставленной в конус шпинделя; расстояние от конца оправки до рабочей поверхности стола составляло 300 мм. Нагрузку измеряли динамометром растяжением мод. ДПУ-0,5-2, а

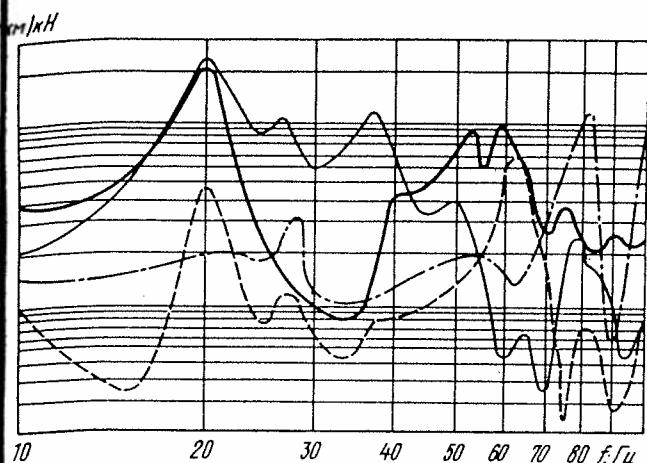


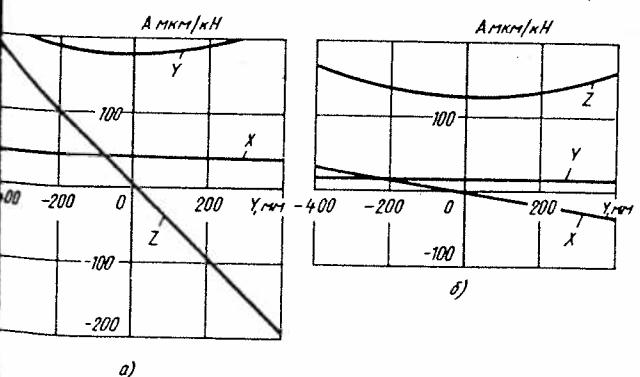
Рис. 5. АЧХ НС при колебании платформы [по осям X (штриховая линия) и Y (толстая сплошная линия) при возбуждении по оси Y и по оси Z (штрихпунктирная линия) при возбуждении по оси Z], а также корпуса механизма подачи [по оси Y (тонкая сплошная линия) при возбуждении по оси Y ; A — амплитуда колебаний, f — частота

упругие перемещения элементов НС — индикаторами.

В результате исследований жесткости станка можно сделать следующие выводы.

Зависимость деформации от нагрузки имеет линейный характер, причем при удалении шпинделя от стола жесткость НС по осям X и Y уменьшается, а по оси Z увеличивается. Наименьшая жесткость НС получена в направлении оси X . Соотношение податливостей по координатным осям $x : K_x : K_y : K_z = 3 : 2 : 8 : 1$.

Жесткость НС рассматриваемого станка по оси Y примерно такая же, как жесткость НС серийно выпускаемого станка мод. ИР32ОПМФ4 [6], а по осям X и Z она больше соответственно в 1,3 и 1,7 раза. Кроме того, имеется возможность еще повысить жесткость НС по всем координатным осям на 60–80 % путем увеличения жесткости шарниров (в 2,5 раза) и платформы в плоскости XOY (в 2 раза).



Ис. 6. Формы колебаний платформы по осям Z , Y и Z при возбуждении по оси Y с частотой $f=20$ Гц (а) и по оси Z с $f=82$ Гц (б)

и применения более совершенного шпиндельного узла.

При определении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) НС использовали специально изготовленный силовоизбудитель. Возбуждающее усилие 0,3 кН, обеспечивающее гармонические колебания с постоянной амплитудой во всем диапазоне исследуемых частот, прикладывали к концу специальной оправки, установленной на место шпинделя. В качестве иллюстрации на рис. 5 приведены АЧХ колебаний элементов НС при положении инструмента в центре рабочего пространства, а на рис. 6 — формы колебаний платформы.

Анализ множества кривых, подобных приведенным на рис. 5 и 6, позволяет сделать следующие выводы.

1. НС станка является системой с многими степенями подвижности; возбуждение НС по одной из осей вызывает ее колебания по другим осям.

2. Наиболее интенсивные колебания платформы происходят на частотах $f = 20$ и 82 Гц, а корпуса механизма подачи — при $f = 20$ Гц.

3. При возбуждении по осям X и Y платформа совершает весьма сложные колебательные движения — вращательные и поступательные одновременно. Изгиб платформы незначителен и составляет 30 мкм/кН при возбуждении по оси Z и 20 мкм/кН при возбуждении по оси Y , что соответствует величине прогиба кривых Z и Y на рис. 6.

Динамическую погрешность воспроизведения траектории рабочим органом определяли при обходе прямого угла в 25 характерных точках рабочего пространства без плавного снижения скорости при подходе к вершине угла. На рис. 7 приведены характерные траектории воспроизведения прямого угла в одной из точек рабочего пространства.

В результате анализа множества траекторий, подобных приведенным на рис. 7, можно сделать следующие выводы.

1. Вид траекторий воспроизведения прямого угла в различных точках рабочего пространства, лежащих только в горизонтальной или вертикальной плоскости, практически одинаков; при удалении платформы от стола искажения траектории увеличиваются.

2. Максимальная погрешность воспроизведения, наблюдаемая при обходе прямого угла в плоскости XOY , не превышала 0,3 мм.

Точность позиционирования рабочего органа в пространстве, определенная по известной методике

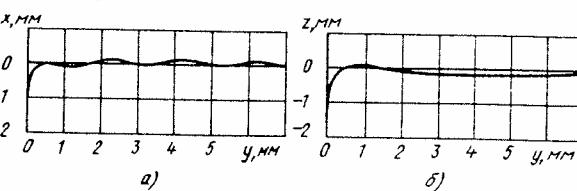


Рис. 7. Траектории воспроизведения рабочим органом прямого угла в плоскостях XOY (а) и ZOY (б) при скорости перемещения 2 м/мин

[7] с помощью специальных устройств, составляла 30 мкм по осям X, Y, Z и 20" по осям α , β , γ . После механической обработки детали-образца были получены следующие результаты: неплоскость торцовой поверхности до 15 мкм; отклонение положения плоскости длиной 200 мм, наклонной под углом 10°, не более 20 мкм; некруглость отверстия ф 50 мм и наружной цилиндрической поверхности ф 30 мм, полученных контурным фрезерованием, не более 25 мкм; точность взаимного положения осей отверстий до 30 мкм.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Размеры стороны рабочего шестиугольного стола, мм	700
Наибольшая масса обрабатываемого изделия, кг	500
Наибольший габарит обрабатываемой детали, имеющей форму:	
куба	250×250×250
призмы	120×450×450
цилиндра	φ 600×120
Конус для крепления инструмента в шпинделе по ГОСТ 15945-82	40
Ход винта ЭМП, мм	400
Максимальное перемещение шпинделя, мм:	
по осям X и Y	760
по оси Z	460
Максимальный угол поворота шпинделя, градус:	
по оси α	50
по оси β	60
по оси γ	76
Максимальное усилие подачи при линейных перемещениях, кН:	
по осям X и Y	25
по оси Z	40
Максимальный крутящий момент, кН·м:	
по осям α и β	16
по оси γ	9
Пределы изменения рабочей подачи:	
линейной по осям X и Y, мм/мин ..	1,6-16000
то же по оси Z, мм/мин	1,1-11000
угловой по осям α и β , градус/с	0,002-20
то же по оси γ , градус/с	0,003-30
Число одновременно управляемых координат	6
Точность линейного позиционирования, мкм	30
Точность углового позиционирования, угл. с	20
Габарит станка, мм	2000×2200×2300
Масса без бетонного основания, кг	1200

Выводы.

1. Предпочтительная область применения станка нетрадиционной компоновки — черновая и чистовая обработка деталей с фасонными поверхностями (например, лопаток турбин, штампов и пресс-форм). Поскольку в процессе обработки ось режущего инструмента может располагаться под требуемым углом к поверхности детали, отпадает потребность в специальном фасонном инструменте

и становится возможным увеличение скорости подачи. Заготовку на спутнике ориентируют произвольно, так как реальное положение требуемой поверхности заготовки можно определить на столе станка непосредственно перед обработкой; в соответствии с этим положением осуществляется управление перемещением режущего инструмента.

2. Станок данной компоновки по сравнению существующими фрезерно-копировальными многоцелевыми станками имеет в 3-4 раза меньшую металлоемкость, в 3-5 раз большее усилие подачи, в 2-3 раза меньшие размеры в плане и большие технологические возможности, так как осуществляется одновременное управление по шести координатам.

3. В станке отсутствуют корпусные детали, направляющими, силовые зубчатые передачи, силовой гидропривод и система централизованного смазывания, в результате чего, по сравнению с традиционными станками, значительно снижены затраты на обслуживание и ремонт и повышена надежность станка.

4. Основные узлы станка — электропривод мод. УВ-3 и система ЧПУ "УНИКОН-20" выпускаются серийно. При высокой степени повторяемости деталей и унификации узлов станка это позволяет в 3-4 раза снизить затраты на его изготовление, сборку и освоение. Модульность конструкции обеспечивает создание различных компоновок станка в зависимости от требуемых выходных показателей без значительных проектных затрат.

5. С применением, например, шестикоординатной внешней измерительной системы можно повысить точность позиционирования до уровня станков классов точности П и В.

Список литературы

1. Цифровые электромеханические системы / В. Г. Каган, Ю. Д. Бери, Б. И. Акимов, А. А. Хрычев. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 208 с.

2. Металлорежущий станок нетрадиционной компоновки на базе электромеханизмов поступательного движения / В. Г. Каган, В. В. Хомяков, В. О. Астанин, А. М. Миропольский // Технология, оборудование и экономика машиностроительного производства. Отечественный опыт. — М.: ВНИИТЭМР, 1987. — Вып. 2. — С. 1-5.

3. Steward D. A platform with six degrees of freedom // Proc. Inst. Mech. Eng. — 1965-1966. — V. 180. — pt. 1. — N 15. — P. 371-386.

4. Калинин А. Ш. Разработка и исследование промышленных роботов на основе 6-координат // Станки и инструмент. — 1982. — № 12. — С. 21-24.

5. Коган И. А., Ухин Н. Н., Цабель Г. Э. Процессор преобразования координат для системы ЧПУ // Мехатронные системы и их элементы: Межвуз. сб. науч. тр. — Новосибирск: Изд-во НЭТИ, 1991. — С. 103-108.

6. Блинов В. Б., Евстигнеев В. Н., Гринглас А. В. Экспериментальные исследования статических и динамических характеристик многоцелевого станка // Станки и инструмент. — 1986. — № 12. — С. 5-8.

7. Типовые методики и программы испытаний металлорежущих станков: Метод. рекомендации. — М.: НИИмаш, 1984. — 472 с.

П
лен
упр
обе
нас
но
мет
 маш
орг
хар

стве
хар
орг

х
х
х
х
х
х

х(т)
х
х

7(т)

Р ис
ных проце
перис
х(т)
ний;

2 Ст

$$\begin{cases} E_1 = f_1(X, Y, Z, \varphi) \\ E_2 = f_2 \\ E_3 = f_3 \\ E_4 = f_4 \\ E_5 = f_5 \end{cases}$$

X, Y, Z - координаты точки
точки
Y - угол наклона к Z
Z - угол наклона к X
X - коэффициент головки относительно оси по машинной системе

Книга по работе
техническим (рабочим) схемам
(рабочим схемам)
и машинной среде