

Исследование технологических возможностей вертикально-фрезерного станка типа обрабатывающий центр

77-48211/646432

11, ноябрь 2013

Бысов С. А., Малышев Е. Н.

УДК 621.91; 621.757

Россия, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

1m-kf.mgtu@inbox.ru

1m-kf.mgtu@inbox.ru

Введение

Наиболее эффективным средством автоматизации изготовления в условиях мелкосерийного и серийного производства, особенно деталей машин, имеющих сложные фасонные поверхности, является использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Эти станки сочетают в себе высокую производительность специального автоматического оборудования с гибкостью универсального, что и делает их главным техническим средством автоматизации в условиях мелкосерийного и единичного производства. Именно для этих типов производства, в котором выпускается около 75 % всей машиностроительной продукции, применение станков с ЧПУ является наиболее эффективным, так как позволяет автоматизировать процессы металлообработки без предварительного изготовления сложной и трудоемкой специальной оснастки и специального инструмента.

Постановка задачи

Анализируя современное машиностроительное производство, можно отметить, что при проектировании современных технологических процессов все шире используется принцип концентрации операций. Там, где раньше применяли операционные станки с максимальной дифференциацией процесса обработки на отдельные операции, сейчас концентрируют большее количество операций на одном станке с тем, чтобы сократить производственные площади и количество используемого оборудования. Особенно это проявляется при использовании станков с ЧПУ типа обрабатывающий центр (ОЦ) или многооперационных станках.

Раздел 1

Технологические возможности обработки на станках типа ОЦ чрезвычайно широки. В частности, на таких станках успешно выполняются всевозможные виды фрезерных работ различными конструкциями фрез: фрезерование плоскостей торцовыми фрезами, фрезерование пазов концевыми фрезами; фрезерование дисковыми фрезами; фрезерование по контуру плоских или фасонных поверхностей, фрезерование внутренних платиков, приливов и поверхностей.

На многооперационных станках выполняют виды работ, необходимые при обработке отверстий, в частности сверление по различным циклам обработки, рассверливание, зенкерование литых и предварительно обработанных отверстий, растачивание, последовательное растачивание в несколько проходов, растачивание набором резцов, установленных в одной расточной борштанге, растачивание резцовыми головками отверстий большого диаметра, развертывание.

Технологические возможности растачивания отверстий резко возрастают с применением планшупортной головки, радиальное перемещение резца которой программируется по заданному циклу. В этом случае возможно растачивание без смены инструмента ступенчатых отверстий, подрезание торцов, растачивание канавок и выточек, подрезание торца с противоположной стороны стенки детали, растачивание ступенчатых отверстий с внутренней стороны стенки деталей, растачивание конических и других отверстий.

На станке выполняема обработка крепежных отверстий по разнообразным циклам обработки: сверление, нарезание резьбы, подрезка торцов бобышек, зенкование и других. При этом близкое расположение отверстий не является препятствием для их обработки.

По точности исполнения большинство станков типа ОЦ близки к координатно-расточным станкам, поэтому на них выполняется тонкое растачивание отверстий. Точность позиционирования детали составляет $\pm 0,005$ мм, а точность повторной установки $\pm 0,0025$ мм.

Многие технологические возможности многооперационных станков определяются их компоновкой. Выпускаемые в настоящее время станки компонуют по типу горизонтальных и вертикальных консольно-фрезерных станков, бесконсольных вертикально-фрезерных и продольно-фрезерных станков, одностоечных и двухстоечных координатно-расточных станков и горизонтально-расточных станков. Большое количество компоновок в основном можно объяснить повышенным спросом на такие станки. Это обусловило значительное количество их изготовителей, которые строили эти станки на базе изготавливаемых ими универсальных станков. Каждый из перечисленных выше типов компоновок имеет свои отличительные признаки, обуславливающие технологические возможности, как по ряду выполняемых операций, так и по степени точности обработки.

Наибольшее распространение получили станки типа ОЦ вертикальной компоновки. Эта группа станков обычно имеет вертикальный шпиндель и горизонтальный стол, что обуславливает применение их для обработки деталей, в которых обеспечен подход инструмента к заготовке с одной стороны. К таким деталям следует отнести корпуса типа плит и крышек с параллельно расположенными отверстиями. На таких станках обрабатывают детали с прямоугольными и фасонными отверстиями, пазами и канавками. На станках этого типа, оснащенных трехкоординатной контурной или универсальной системой ЧПУ, обрабатывают криволинейные поверхности выпуклой или вогнутой формы. Если такой станок оснастить поворотным столом типа глобусного стола, применяемого на координатно-расточных станках, на нем можно будет обрабатывать заготовки, к которым необходим подход инструмента со многих сторон. Однако при этом рабочий объем станка сокращается в 3—4 раза, что резко уменьшает габариты обрабатываемых деталей. Кроме того на стандартном столе можно установить поворотное устройство с горизонтальной осью вращения. Это также значительно увеличивает технологические возможности станка.

Технологические возможности обработки на станках типа ОЦ не следует ограничивать применением только режущего инструмента.

Распространенным примером расширенного использования технологических возможностей оборудования является формообразование деталей методами холодного пластического деформирования на металлорежущих станках общего назначения, в том числе с ЧПУ [1]. Такие процессы формообразования являются материалосберегающими; их можно эффективно использовать в автоматизированном производстве (особенно в условиях безлюдных или малолюдных производств) вследствие их высокой производительности, отсутствия стружкообразования и высокой стойкости используемого инструмента.

При исследовании механосборочных производств большое внимание уделяется оценке простоев и нахождению условий повышения эффективности использования основного оборудования [2]. Время, связанное с перемещением деталей после механической обработки на сборку и возвратное перемещение сборочных единиц на станок для обработки в сборе, является непроизводительно затраченным и может достигать нескольких часов. Устранить недостатки указанной технологии можно посредством концентрации процессов сборки и обработки в единой технологической системе, организованной на базе станка типа ОЦ.

Раздел 2

Описание формообразующей системы станка типа ОЦ. Технологические возможности станка во многом определяются структурой его формообразующей системы [3].

Под формообразованием поверхностей понимается процесс генерирования номинальных поверхностей деталей геометрически точным инструментом, который совершает номинальные рабочие движения относительно заготовки. Главными факторами в процессах формообразования являются геометрический (определяется геометрией поверхности обрабатываемой детали и исходной инструментальной поверхности) и кинематический (определяется закономерностями относительного движения заготовки и инструмента без учета физических явлений, протекающих в зоне обработки, действующих сил, температур и активных сред).

Формообразующей системой (ФС) станка называют совокупность звеньев технологической системы, взаимное положение и перемещение которых обеспечивает заданную траекторию движения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки. В звено входят все те элементы, которые во время работы станка остаются относительно неподвижными. Например, звеном является шпиндель токарного станка вместе с патроном и зажатой в нем обрабатываемой заготовкой. Два последовательных звена имеют в относительном движении не более одной степени свободы, то есть звено может либо поворачиваться относительно оси, фиксированной в соседнем звене, либо двигаться поступательно вдоль фиксированной оси, либо быть относительно неподвижным. При анализе геометрии и кинематики станка все звенья ФС являются равноправными, то есть достаточным является рассмотрение лишь относительного движения звеньев.

С целью упрощения аналитического описания процесса относительного перемещения звеньев ФС элементам системы придают движения со скоростями, равными по величине и противоположно направленными скоростям движений, которые совершает деталь относительно инструмента в реальном процессе обработки. В результате этого деталь будет остановлена, а все движения, необходимые для ее обработки, будет совершать инструмент. При таком допущении неподвижной считается система координат S_0 , связанная с деталью. Система координат S_i связана с i -м звеном и все подвижные звенья ФС пронумерованы последовательно, начиная от обрабатываемой детали ($i = 0$) и заканчивая инструментом ($i = 1$).

Относительное движение звеньев ФС может быть представлено в виде числа k — упорядоченного перечня символов, который называют координатным кодом ФС:

$$k = k_1 k_2 \dots k_l, \quad (1)$$

где k_i ($i = 1, \dots, l$) — обозначение движения i -го звена ФС относительно $(i - 1)$ -го; l — число подвижных звеньев системы.

Координатный код концентрирует в себе основную информацию о структуре формообразующей системы, о количестве и последовательности расположения звеньев системы и их относительном движении.

Поскольку звенья ФС обладают лишь одной степенью свободы в относительном движении, то с каждым звеном однозначно связывается один из приведенных в таблице 1 символов:

Таблица 1 - Обозначение k_i относительного движения звеньев в координатном коде ФС

Ось	Поступательное движение звена относительно предыдущего вдоль оси	Вращательное движение звена относительно предыдущего вокруг оси
X	1	4
Y	2	5
Z	3	6

Таким образом, координатный код k ФС представляет собой l -разрядное число, каждый разряд которого принимает значение от 1 до 6.

Составим координатный код ФС вертикально-фрезерного обрабатывающего центра (на рисунке 1 инструментальный магазин условно не показан). В этом станке предусмотрено четыре движения формообразования ($n = 3$): вращение шпинделя, продольное, поперечное и вертикальное перемещения суппортов.

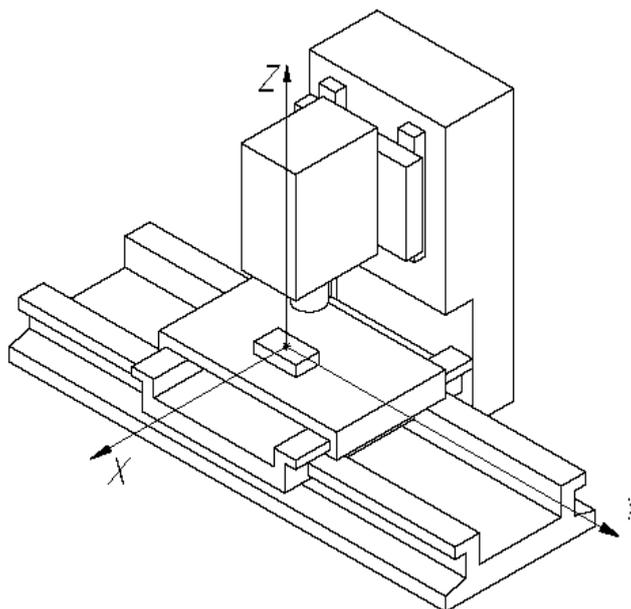


Рисунок 1 – Расположение координатных осей вертикально-фрезерного обрабатывающего центра

Нулевым звеном ($i = 0$) является обрабатываемая деталь со столом поперечного суппорта. Следующее звено ($i = 1$) — продольный суппорт. Поскольку нулевое звено всегда считается неподвижным, то в относительном движении продольный суппорт поступательно движется вдоль оси X, то есть $k_1 = 1$. Станина совершает поступательное движение вдоль оси Y, то есть $k_2 = 2$. Аналогично, поступательное движение вертикального суппорта

относительно станины совершается вдоль оси Z, то есть $k_3 = 3$, и, наконец, шпиндель вращается вокруг оси Z. Этому движению соответствует символ 6, то есть $k_4 = 6$. Таким образом, для данного ОЦ координатный код ФС представляет собой четырехзначное число:

$$k = 1236$$

Для описания возможности формообразования поверхностей технологическим оборудованием может быть использован вариационный метод [1], который позволяет, используя в качестве исходных данных координатный код ФС станка, получить уравнения всех возможных обрабатываемых на нем поверхностей.

Одна и та же точка, принадлежащая обрабатываемой поверхности имеет в системах координат детали S_0 и инструмента S_l разные координаты, за исключением случая, когда S_0 и S_l полностью совпадают. Радиус-векторы этой точки в двух системах координат r_0 и r_l связаны матричным соотношением:

$$r_0 = \prod_{i=1}^l A_{i-1,i}^j \cdot r_l, \quad (2)$$

где $\prod_{i=1}^l A_{i-1,i}^j$ — произведение матриц $A_{i-1,i}^j$ в соответствии с кодом формообразующей системы, представляющее собой матрицу преобразования ФС.

$A_{i-1,i}^j$ ($j = 1, \dots, 6$) — одна из матриц обобщенных перемещений (таблица 2), описывающих либо поступательное движение системы S_i вдоль одной из осей системы S_{i-1} (поступательным перемещениям соответствуют матрицы A^1 , A^2 и A^3), либо вращение системы S_i относительно одной из осей системы S_{i-1} (вращениям соответствуют матрицы A^4 , A^5 и A^6).

Таблица 2 - Матрицы обобщенных перемещений

Вид движения	Матрицы, моделирующие движения относительно оси		
	X	Y	Z
Поступательное вдоль оси	$A^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Вращательное вокруг оси	$A^4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^5 = \begin{pmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$	$A^6 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

Примечание: Обобщенные координаты θ , ψ , φ - углы поворота относительно осей; x , y , z – линейные смещения вдоль осей; верхний индекс в обозначении матрицы A^j - номер обобщенной координаты (символ координатного кода)

Уравнение (2) составляется по координатному коду k ФС (1) и представляет собой математическую модель ФС, которая содержит перечень всех возможных движений его звеньев, выраженных через матрицы обобщенных перемещений.

Следовательно, по формуле (2) функция формообразования:

$$r_0 = A_{01}^1 A_{12}^2 A_{23}^3 A_{34}^6 r_4,$$

где r_4 — радиус-вектор формообразующих точек инструмента ($i = 4$).

Подставив значения матриц A^1 , A^2 , A^3 и A^6 из табл.2, получим

$$r_0 = A^1(x)A^2(y)A^3(z)A^6(-\varphi)r_4,$$

или

$$r_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} r_4$$

где φ — угол поворота шпинделя (знак минус соответствует вращению по часовой стрелке при взгляде с конца оси Z_{cm}), x, y, z — координаты, фиксирующие положение продольного, поперечного и вертикального суппортов относительно станины. Выполнив формальные преобразования, получим

$$r_0 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & x \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} r_4$$

Наконец, если обозначить координаты радиус-векторов

$$r_0 = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad r_4 = \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \\ 1 \end{pmatrix}$$

получим общее уравнение обрабатываемых поверхностей в параметрическом виде

$$\begin{cases} x_0 = x + x_4 \cos\varphi + y_4 \sin\varphi \\ y_0 = y - x_4 \sin\varphi + y_4 \cos\varphi \\ z_0 = z + z_4. \end{cases}$$

Раздел 3

При обработке на ОЦ могут использоваться несколько видов инструментов: различные резцы, фрезы, сверла, зенкеры и другие.

Схемы формообразования и уравнения обрабатываемых поверхностей можно получить перебирая связи между движениями и разные виды инструмента, т.е. задавая значения вектора r_4 .

Обработка цилиндрической фрезой с винтовым зубом. Радиус-вектор формообразующих точек цилиндрической фрезы с винтовым зубом (рис.2) имеет вид:

$$r_4 = \begin{pmatrix} R \cos(\varphi_i + z/p) \\ R \sin(\varphi_i + z/p) \\ z \\ 1 \end{pmatrix}, (3)$$

где $i = (1... n)$ — номер лезвия; n — число лезвий фрезы; φ_i — угол, определяющий положение лезвия на поверхности цилиндра фрезы и равный полярному углу точки A_i i -го лезвия, лежащей в плоскости переднего торца фрезы, т. е. при $z = 0$; R — радиус фрезы; z — независимая переменная, имеющая смысл линейного смещения вдоль оси Z_i ($0 \leq z \leq L$); L — длина фрезы; p — параметр, связанный с шагом H винтовой линии лезвия соотношением $H = 2\pi p$.

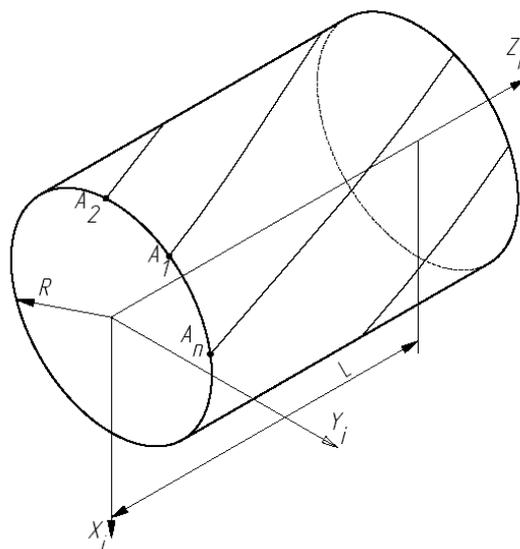


Рисунок 2 – Схема цилиндрической фрезы с винтовым зубом

Из уравнения (3) получаем уравнения для любого лезвия цилиндрической фрезы. Например, для n -го лезвия имеем $\varphi_n = 2\pi$ и, следовательно.

$$r_4 = \begin{pmatrix} R \cos \frac{z}{p} \\ R \sin \frac{z}{p} \\ z \\ 1 \end{pmatrix}^T$$

В частном случае для цилиндрической фрезы с прямолинейными зубьями $p \rightarrow \infty$ и

$$r_4 = \begin{pmatrix} R \cos \varphi_i \\ R \sin \varphi_i \\ z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad \varphi_i = 2\pi i/n; \quad i = 1, \dots, n; \quad 0 \leq z \leq L$$

где L — длина фрезы.

Для прямозубой однозубой фрезы ($n = 1, i = 1$) $\varphi = 2\pi$ и выражение для вектора принимает вид:

$$r_4 = (R, \mathbf{0}, z, \mathbf{1})^T$$

Для резца $z = 0$ и таким образом:

$$r_4 = (R, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{1})^T$$

Отметим, что уравнение (3) может быть представлено в матричном виде через матрицы A^j и вектор e^4 :

$$r_4 = A^6(\varphi_i)A^6(z/p)A^3(z)A^1(R)e^4$$

Пусть, например, на станке обрабатывается деталь резцом и, следовательно,

$$r_4 = (R, \mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{1})^T$$

Тогда

$$r_0 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & x \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Выполнив формальные преобразования, получим уравнения обрабатываемых поверхностей резцом на ОЦ в параметрическом виде

$$\begin{cases} x_0 = x + R \cos\varphi \\ y_0 = y - R \sin\varphi \\ z_0 = z. \end{cases}$$

Обработка периферией однозубой прямозубой фрезы. При обработке периферией однозубой прямозубой фрезы радиусом R и длиной z ($0 \leq z \leq L$):

$$r_4 = (R, \mathbf{0}, z, \mathbf{1})^T$$

или в матричном виде

$$r_4 = A^3(z)A^1(R)e^4$$

Сравнивая с функцией формообразования на ОЦ в матричном виде

$$r_0 = A^1(x)A^2(y)A^3(z)A^6(-\varphi)r_4,$$

и учитывая совпадение обобщенных координат линейного смещения вдоль оси Z , получим

$$r_0 = A^1(x)A^2(y)A^3(z)A^6(-\varphi)A^1(R)e^4,$$

Тогда

$$r_0 = \begin{pmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi & 0 & x \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & R \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Выполнив формальные преобразования, получим уравнения обрабатываемых поверхностей периферией фрезы на ОЦ в параметрическом виде

$$\begin{cases} x_0 = x + R \cos\varphi \\ y_0 = y - R \sin\varphi \\ z_0 = z. \end{cases}$$

Обработка торцем фрезы радиусом R. Радиус-вектор торцевой поверхности фрезы в матричном виде [1]:

$$r_4 = A^6(\psi)A^2(y)e^4$$

где ψ, y – полярные координаты точек на торце фрезы; $e^4 = (0, 0, 0, 1)^T$.

Ввиду совпадения обобщенных координат главного движения и полярного угла поверхности фрезы можно принять $\theta = \varphi + \psi$, а также учитывая совпадение обобщенных координат линейного смещения вдоль оси Y, получим

$$r_0 = A^1(x)A^2(y)A^3(z)A^6(\theta)e^4$$

Тогда

$$r_0 = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & x \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Уравнения обрабатываемых поверхностей торцем фрезы на ОЦ в параметрическом виде

$$\begin{cases} x_0 = x; \\ y_0 = y; \\ z_0 = z. \end{cases}$$

Накладывая различные функциональные связи при обработке конкретным инструментом, можно получить несколько возможных схем обработки и соответствующие им параметрические уравнения обрабатываемой поверхности.

Перечень видов функциональных связей и обрабатываемых поверхностей приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Поверхности, формообразуемые резцом на станке типа ОЦ

Форма-образуемая поверхность	Связь между переменными	Параметрическое уравнение обрабатываемой поверхности	Характеристика параметра
Общее уравнение обрабатываемой поверхности	-	$\begin{cases} x_0 = x + R \cos \varphi \\ y_0 = y - R \sin \varphi \\ z_0 = z. \end{cases}$	-
Цилиндр прямой круговой	$x = 0,5D$	$r_0 = \begin{pmatrix} 0,5D \cos \varphi \\ -0,5D \sin \varphi \\ z \end{pmatrix}$	D - диаметр цилиндра
Торцовая плоскость	$z = c$	$r_0 = \begin{pmatrix} x \cos \varphi \\ -x \sin \varphi \\ c \end{pmatrix}$	c - расстояние от торца до начала координат
Поверхность вращения с заданной образующей	$x = f(z)$	$r_0 = \begin{pmatrix} f(z) \cos \varphi \\ -f(z) \sin \varphi \\ z \end{pmatrix}$	$f(z)$ - текущий радиус поверхности вращения на расстоянии z от начала координат
Кулак с прямолинейной образующей	$x = \rho(\varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} \rho(\varphi) \cos \varphi \\ -\rho(\varphi) \sin \varphi \\ z \end{pmatrix}$	$\rho(\varphi)$ - полярный радиус кулачка
Винтовая поверхность	$z = z(\varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} x \cos \varphi \\ -x \sin \varphi \\ z(\varphi) \end{pmatrix}$	Если $z(\varphi) = p\varphi$, то p - винтовой параметр
Произвольная поверхность	$z = z(x, \varphi)$	$r_0 = \begin{pmatrix} x \cos \varphi \\ -x \sin \varphi \\ z(x, \varphi) \end{pmatrix}$	-

Заключение

Выполненные исследования позволили получить в параметрическом виде уравнения поверхностей (табл. 3), обработка которых возможна на станках типа ОЦ.

Наряду с формообразующими и обрабатываемыми операциями на станках данного типа осуществляют сборочные операции, что является примером расширенного использования технологических возможностей указанного оборудования [4].

Список литературы

1. Могильный Н.И. Ротационная вытяжка тонкостенных деталей на токарных станках с ЧПУ. М.: Станки и инструмент, 1992. № 8. с. 34-35.
2. Бысов С.А., Малышев Е.Н. Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Наука и образование.

МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. URL. <http://technomag.edu.ru/keywords/362643/index.html> (дата обращения: 02.06.2012).

3. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1986. 336 с.

4. Малышев Е.Н., Бысов С.А. Реализация комплекса обработки и сборки на одном станке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2009. № 1. С. 14-21.