

УДК 621.9.62

В. В. Гусев, доктор технических наук, проф., **А. С. Афендиков**
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
Тел.: +38 (071) 4667631; E-mail: kawhileo91@gmail.com
Тел.: +38 (066) 3086754; E-mail: msmo@fimm.dgtu.donetsk.org

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВОРОТНОЙ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ГОЛОВКИ

В работе предложено, для повышения точности обработки наружного контура антенного обтекателя, применить шлифовальную головку с дискретным поворотом ее вокруг вертикальной оси. Применение шлифовальной головки позволяет устранить смещение точки профилирования на образующей алмазного круга при его перемещении вдоль образующей изделия. Анализ, разработанной математической модели механизма поворота показал быстроедействие и устойчивость процесса поворота шлифовальной головки. Погрешность при дискретном повороте головки на порядок меньше динамической составляющей погрешности обработки при шлифовании обтекателя.

Ключевые слова: шлифование, точность, подача, структурная схема, устойчивость, быстроедействие.

V. V. Gusev, A. S. Afendikov

INCREASING THE ACCURACY OF THE MACHINING OF FAIRING THROUGH THE USE OF A TURNABLE GRINDING WHEEL HEAD

In the work it is proposed for raising of the accuracy of machining of the outer contour of the antenna fairing to use the grinding wheel head with its discrete rotation around a vertical axis. The use of the grinding wheel head allows to eliminate the displacement of the profiling point on the diamond wheel generatrix when it moves along the workpiece generatrix. Analysis of the developed mathematical model of the rotation mechanism showed the operation speed and stability of process of rotation of the grinding wheel head. The error during discrete rotation of the wheel head is by an order lower than the dynamic component of the machining error at grinding of the fairing.

Keywords: grinding, accuracy, feed rate, structural scheme, stability, operation speed.

Введение. В современной промышленности широкое распространение находит изготовление изделий из керамических материалов, благодаря их специфическим свойствам. Эти свойства делают хрупкие неметаллические конструкционные материалы, в частности, ситаллы наиболее пригодными для применения в условиях агрессивных сред океана и космоса, в самолето- и ракетостроении [1,2].

Из-за высокой твердости материала механическая обработка заготовок возможна лишь абразивным алмазным инструментом. Получение требуемого качества поверхности после механической обработки таких деталей зависит от ряда факторов с учетом того, что одной из важных задач машиностроения является повышение производительности технологических процессов при одновременном снижении их себестоимости [1].

Основное содержание и результаты работы. Технологический процесс обработки изделий включает многооперационную обработку шлифованием как наружного, так и внутреннего их контуров на станках РТ 66202, оснащенных агрегатной шлифовальной головкой и системой прямого копирования. Схема обработки заготовки представлена на рис. 1.

Перед обработкой шлифовальная головка разворачивается на фиксированный угол относительно оси обрабатываемой заготовки. Как показал анализ формирования

погрешности обработки наружного контура изделия [3], основная погрешность обработки

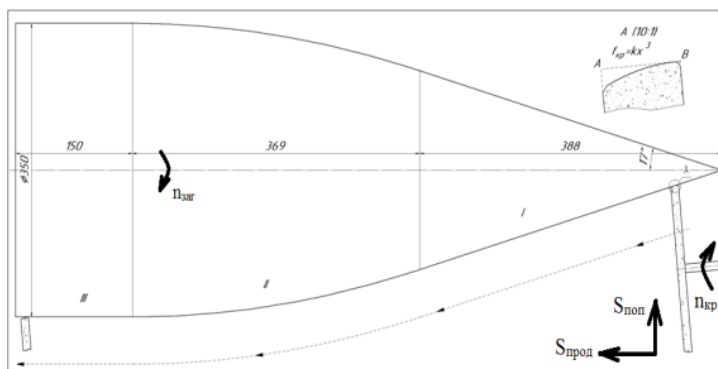


Рисунок 1. Схема обработки заготовки

связана со смещением профилирующей точки на образующей шлифовального круга, при его перемещении вдоль обрабатываемой заготовки. Существующая кинематическая погрешность существенно влияет на точность обработки и может превышать значение динамической в 10 раз.

При увеличении угла поворота оси шлифовального круга (в плоскости оси вращения заготовки и вектора продольной подачи) кинематическая погрешность уменьшается (рис.2), а в случае с изношенным кругом при $\alpha=10^\circ$ полностью исчезает. Однако проблема заключается в невозможности поворота шлифовальной бабки на большие углы (более 5°) из-за касания корпуса шлифовальной головки и обрабатываемой заготовки [3].

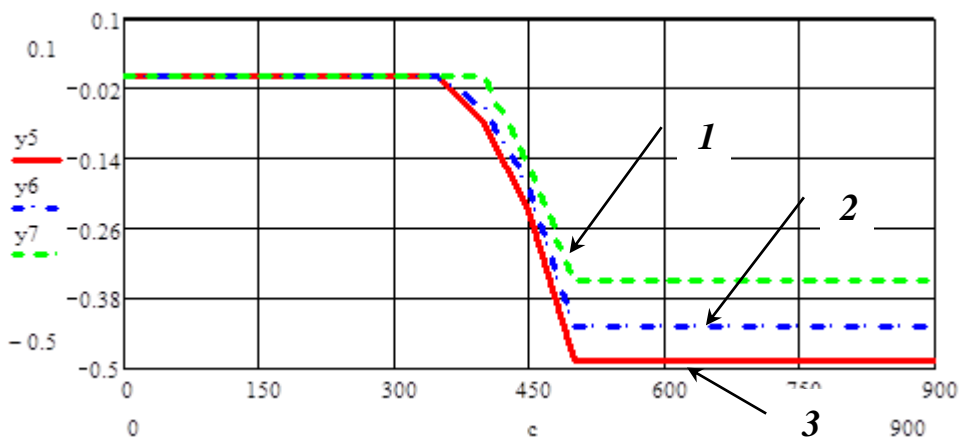


Рисунок 2. Величины погрешностей копирования при различных углах разворота нового круга (1- погрешность, возникающая при развороте круга на 7° ; 2 - погрешность, возникающая при развороте круга на 6° ; 3 - погрешность, возникающая при развороте круга на 5°) [3]

С целью получения переменного по длине детали угла поворота шлифовального круга на кафедре мехатронных систем машиностроительного оборудования Донецкого национального технического университета была разработана конструкция безлюфтового привода устройства поворота шлифовальной бабки. Привод поворота шлифовальной бабки представляет собой двухступенчатый цилиндрическо-червячный редуктор с двумя подпружиненными червякам. Выходной вал привода – вал червячного колеса –

обеспечивает поворот стола с установленной на нем шлифовальной бабкой. Шлифовальный круг перенесен на противоположную сторону шпинделя токарного станка, что предотвращает контакт шлифовальной бабки с обрабатываемой заготовкой. Использование такой конструкции шлифовальной головки возможно только в системах с автоматическим управлением, так как в данном случае у оператора станка нет возможности непосредственного визуального наблюдения за процессом обработки. Основным достоинством такой конструкции является возможность осуществления поворота шлифовального круга на необходимый угол, из условия обеспечения постоянства формообразующей точки на шлифовальном круге при ее перемещении вдоль контура заготовки, что позволит устранить описанную выше кинематическую погрешность (рис. 3).

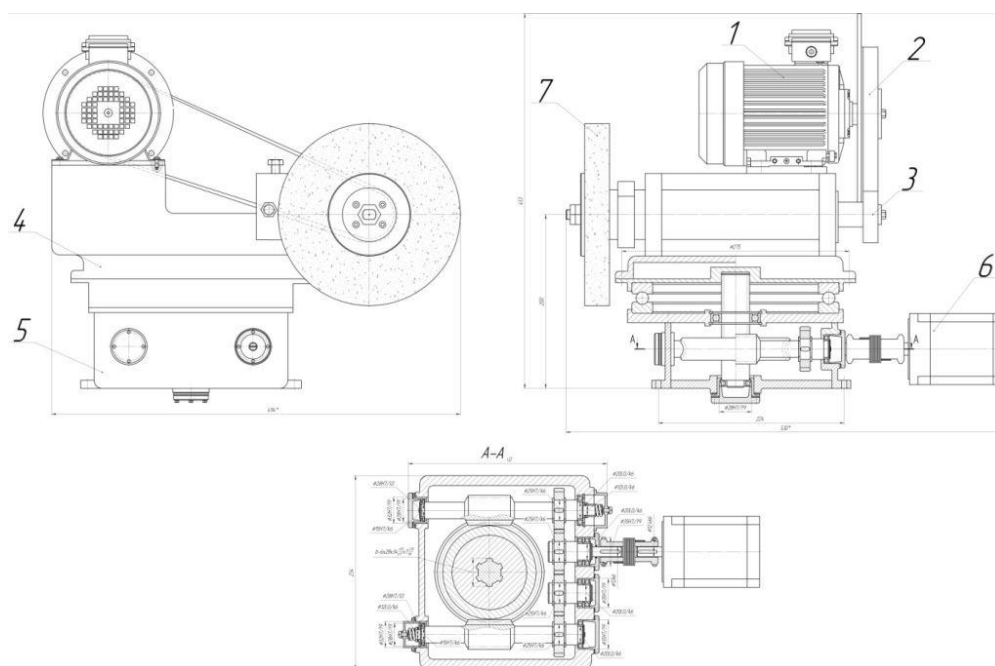


Рисунок 3. Конструкция модернизированной шлифовальной бабки и поворотного устройства (1 – двигатель привода круга, 2 – ременная передача, 3 – шпиндельный узел, 4 – корпус, 5 – поворотное устройство, 6 – шаговый двигатель привода поворотного устройства, 7 – шлифовальный круг)

В качестве направляющего элемента устройства поворота применен упорный подшипник, что уменьшило влияние момента трения в направляющих на общий момент сопротивления повороту. На основании уточненных исходных данных произведен повторный расчет зубчатых передач редуктора, для минимизации габаритов поворотного устройства. Для выбора двигателя поворотного устройства произведен расчет динамических характеристик привода. Общий момент сопротивления определялся по формуле:

$$M_c = M_j + M_{тр} + M_F, \quad (1)$$

где M_j – момент инерции вращающихся элементов шлифовальной бабки; $M_{тр}$ – момент трения в направляющих; M_F – момент от действия силы резания.

Также было определено значение угловой критической скорости вращения головки, при котором возникают релаксационные колебания [4]. При вращательном движении зависимость угловой критической скорости имеет вид:

$$\omega_c = \frac{\Delta M}{\sqrt{\psi \cdot k \cdot I}} \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right), \quad (2)$$

где ΔM - разность моментов трения при покое и движении, k - крутильная жесткость привода, I - приведенный момент инерции вращаемого узла.

Для анализа динамических параметров привода была составлена математическая модель механизма поворота шлифовальной головки [5]. Уравнение движения шагового двигателя при пренебрежении явлениями второго порядка имеет вид:

$$M_{\text{двиг}} = I_{\text{двиг}} \frac{d\Omega_{\text{двиг}}}{dt} + M_1; \quad (3)$$

где $M_{\text{двиг}}$, $I_{\text{двиг}}$, $\Omega_{\text{двиг}}$ - момент движения, момент инерции ротора и угловая скорость двигателя, M_1 – момент нагрузки на валу двигателя. С другой стороны, в соответствии с электромеханической характеристикой двигателя:

$$M_{\text{двиг}} = k_d U - k_m \Omega_{\text{двиг}}; \quad (4)$$

где k_d - коэффициент пропорциональности между напряжением U и моментом движения, k_m - коэффициент наклона электромеханической характеристики. Редуктор может быть представлен без инерционным элементом:

$$\Omega_1 = \Omega_{\text{двиг}} k_{\text{ред}}; \quad (5)$$

где Ω_1 - угловая скорость выходного вала редуктора, $k_{\text{ред}}$ - коэффициент передачи.

Уравнение движения вала нагружения:

$$I \frac{d\Omega}{dt} + \lambda \Omega + \beta \left(\int \Omega dt - \int \Omega_1 dt \right) + M = 0, \quad (6)$$

где M , I , Ω - полезный момент, момент инерции и угловая скорость нагрузки, β - крутильная жесткость, λ - коэффициент вязкого трения. Таким образом, уравнение связи показывает на, что тратится полезная часть момента двигателя, и имеет вид:

$$M_1 = k_{\text{ред}} \beta \left(\int \Omega_1 dt - \int \Omega dt \right). \quad (7)$$

По полученной математической модели, которая состоит из уравнений (3-7), построена структурная схема электромеханической системы (рис. 5).

Блок Transfer Fcn2 – передаточная функция упругой системы привода. Общий вид передаточной функции для звеньев данного типа имеет вид:

$$\frac{1}{T_1^2 \cdot s^2 + T_2 \cdot s + 1}. \quad (8)$$

Коэффициенты T_1 и T_2 , можно определить из следующих выражений:

$$T_1 = \frac{1}{\omega_0}, \quad (9)$$

где ω_0 – частота собственных колебаний упругой системы поворотного устройства. Для определения частоты собственных колебаний был проведен расчет динамических характеристик упругой системы привода поворота. Расчетом было определено, что $\omega_0 = 26$ Гц.

$$T_1 = \frac{1}{26,29} = 0,038; T_2 = 2 \cdot \varepsilon \cdot T_1 = 0,069, \quad (10)$$

где ε - параметр затухания колебаний ($\varepsilon = 0,8$). Структурная схема электромеханической системы поворота шлифовальной головки приведена на рисунке 4.

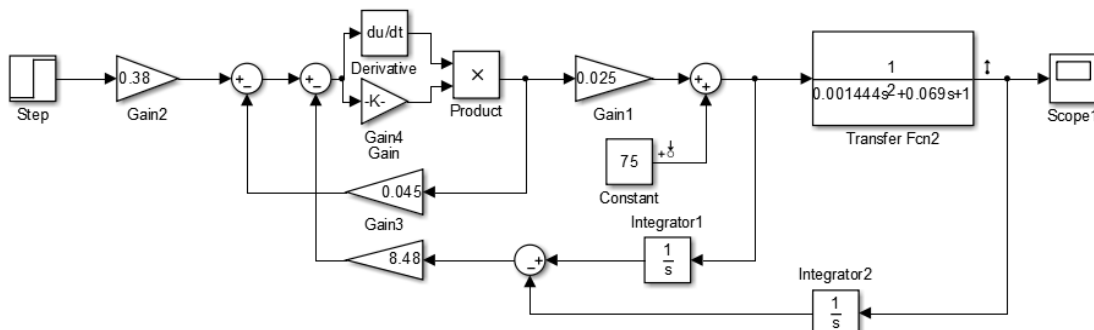


Рисунок 4. Структурная схема электромеханической системы в Matlab Simulink

Было выполнено моделирование поворота шлифовального круга при его движении вдоль параболического участка. Поворот шлифовальной головки проводили дискретно, так как при непрерывном повороте значение критической угловой скорости приводит к возникновению в системе релаксационных колебаний [4].

Дискретное значение угла поворота выбиралось из условия, чтобы погрешность обработки на параболическом участке детали не превышала 0,05 мм. Это составляет четвертую часть от динамической составляющей погрешности обработки (0,2 мм). Вращение шлифовальной головки на параболическом участке заготовки осуществляли через каждые 10 мм. Значение угловой скорости при повороте шлифовальной головки $\omega = 0,0548$ рад/с. Значение критической угловой скорости из условия отсутствия релаксационных колебаний составляет $\omega_c = 0,0283$ рад/с. Таким образом, дискретный поворот шлифовальной головки будет происходить без возникновения релаксационных колебаний.

Переходный процесс в электромеханической системе привода поворота шлифовальной головки представлен на рисунке 5. При повороте шлифовальной головки отсутствует перерегулирование. Установившееся значение достигается за 0,2 сек.

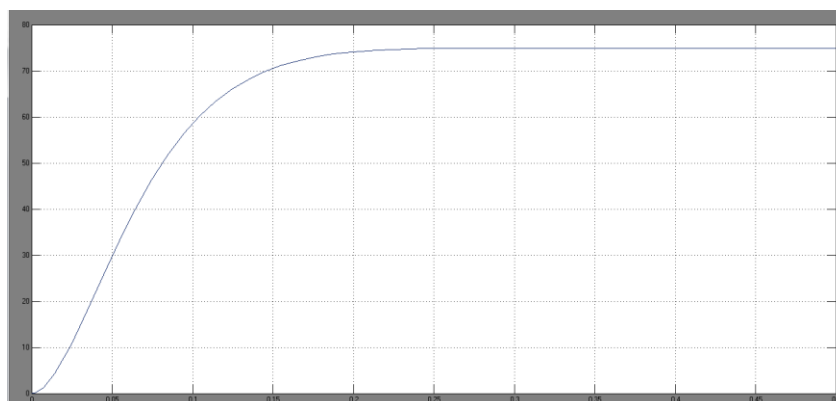


Рисунок 5. Переходный процесс в электромеханической системе

Анализируя график переходного процесса можно сделать выводы об устойчивости системы, что подтверждает АЧХ и ФЧХ объекта (рис. 6).

Анализируя АЧХ и ФЧХ объекта управления было установлено, что запас устойчивости по амплитуде составляет 62 дБ, запас устойчивости по фазе 170°.

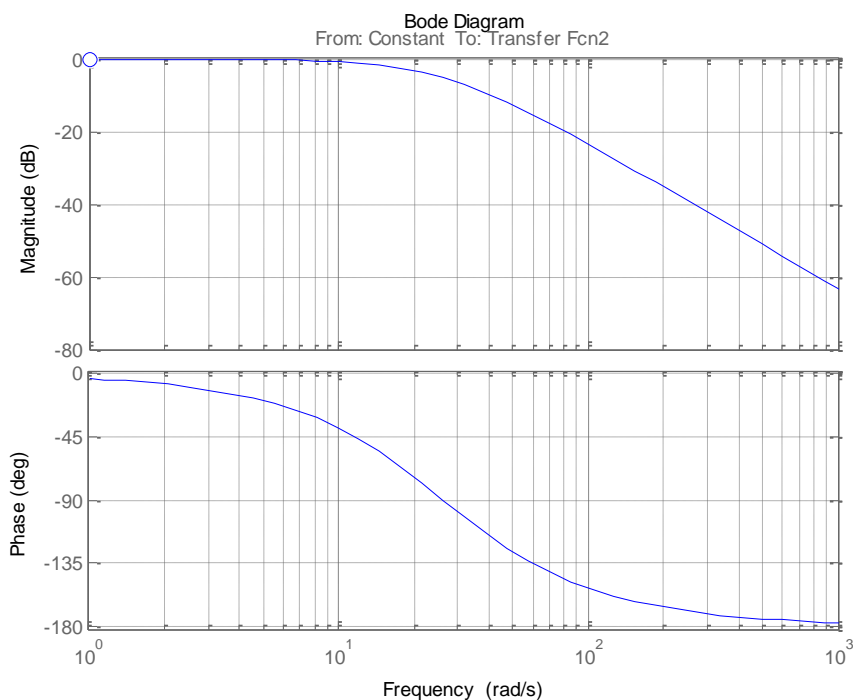


Рисунок 6. АЧХ и ФЧХ электромеханической системы привода

Схема привода поворота шлифовальной головки была реализована в Matlab Simulink (рис. 7). Схема электропривода построена на базе шагового двигателя в пакете SimPowerSystems (блок Stepper Motor).

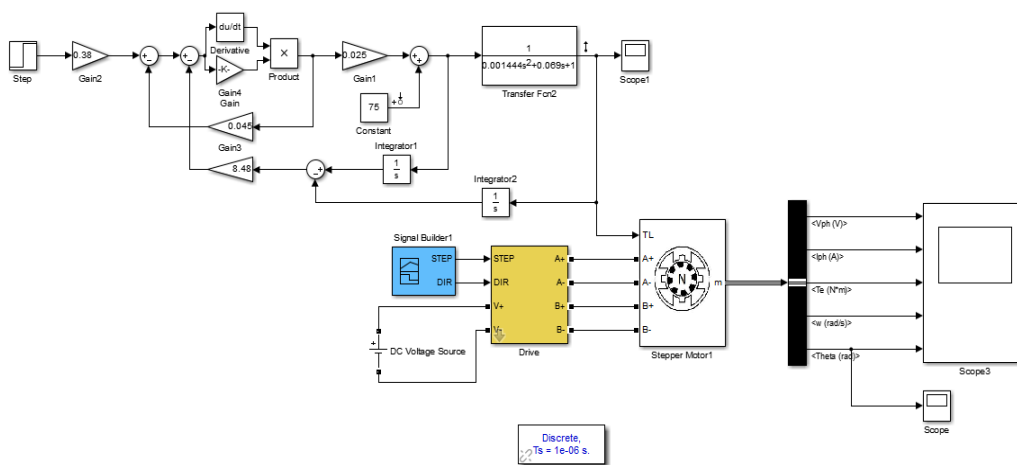


Рисунок 7. Схема привода в Matlab Simulink

Фазы электродвигателя питаются от преобразователей MOSFET (расположенными в блоке Drive), которые подключены к источнику питания постоянного тока. Дискретные токовые сигналы управления генерируются в блоке Signal Builder. График изменения

угла поворота шлифовального круга при обработке параболического участка приведен на рис. 8.

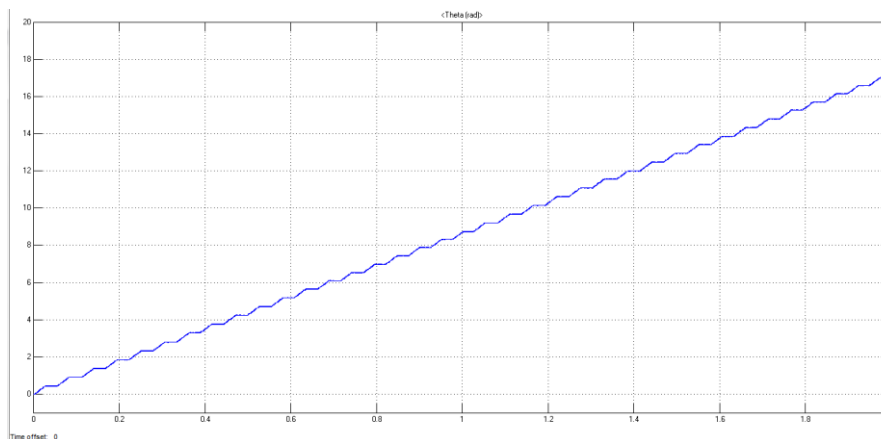


Рисунок 8. График изменения угла поворота шлифовального круга вдоль параболического участка

Заключение. Предложенный вариант конструкции шлифовальной головки устраняет кинематическую погрешность при обработке антенного обтекателя. Построенная математическая модель в Matlab Simulink позволяет произвести анализ динамических параметров привода поворота. Анализ, разработанной математической модели механизма поворота показал быстроедействие и устойчивость процесса поворота шлифовальной головки. При ее применении, погрешность формообразования будет в четыре раза меньше динамической составляющей погрешности обработки при шлифовании обтекателя, которые можно устранить за счет применения систем автоматического управления процессом резания на станках с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гусев, В. В. Технологическое обеспечение качества обработки изделий из технической керамики / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 250 с.
2. Суздальцев, Е. И. Радиопрозрачные, высокотермостойкие материалы XXI века // Огнеупоры и техническая керамика. – 2002. – №3. – С. 42-50.
3. Гусев, В. В. Влияние кинематической погрешности шлифования на точность обработки антенных обтекателей / В. В. Гусев, Л. П. Калафатова, Д. В. Поколенко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Вип. 3. – Харків: НТУ «ХПИ», 2009. – С. 231-236.
4. Пуш, В. Э. Малые перемещения в станках / В. Э. Пуш – Ленинград: Госгортехиздат, 1961. – 124с.
5. Петраков, Ю. В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням: Навчальний посібник / Ю. В. Петраков – Київ: УкрНДІАТ, 2004. – 383с.

Поступила в редколлегию 14.01.2020 г.