

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА КАЧЕНИЯ МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ЧПУ НА ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

*О.М. Мищирук, В.П. Горбунов*

Брестский государственный технический университет,  
Брест, Республика Беларусь

Металлорежущее оборудование имеет решающее значение при формировании точности обработки, где каждый узел в той или иной степени участвует в достижении требуемой точности изделия. Особое место среди данного вида оборудования занимают многоцелевые станки (МЦС) с ЧПУ, которые обеспечивают высокую точность обработки и производительность, обладая высокой степенью автоматизации. Что, в свою очередь, обеспечивается наличием независимо управляемых системой ЧПУ координатных перемещений рабочих органов, широкого диапазона регулируемых частот вращения шпинделя и подач, автоматической сменой инструмента, заготовок и др. Важное значение в повышении производительности и точности обработки на МЦС с ЧПУ имеют приводы подачи. В настоящее время диапазон скоростей привода подач очень велик. Появление устройств и систем адаптивного управления, обладающих высоким быстродействием, предъявило еще более высокие требования к динамическим характеристикам данных приводов. Нередко именно погрешности приводов подачи являются основным ограничением повышения производительности и точности обработки станков с ЧПУ. Обеспечение высокой точности обработки также вызывает дополнительные требования к статической и динамической точности привода подачи.

На точность обработки координатных перемещений приводами подач влияют как силовые, так и тепловые процессы, возникающие в его элементах. Причем до 40-70% [1] от общей погрешности обработки могут составлять погрешности от тепловых деформаций. Тепловые процессы имеют большой диапазон рассеяния, переменны во времени, носят случайный характер, зависят от многих факторов, не поддаются точному расчету, а также трудно диагностируются.

Предлагаются методы исследования данных погрешностей путем анализа конструкции привода подачи с моделированием теплового воздействия, возникающего при реальных условиях обработки на его узел (ходовой винт) с последующим прогнозированием изменения его начальной точности.

Нагрев ходовых винтов происходит как в результате теплообразования в паре винт-гайка, так и передачи тепла из сопрягаемых деталей, элементов гидросистемы (смазки) МЦС за счет теплопроводности базовых элементов, что вызывает дополнительное перемещение (изменение пространственного положения) узлов и деталей (например, температурное удлинение винта) [2].

Теплообразование в паре винт-гайка является достаточным для нагрева ходового винта прецизионного станка на несколько градусов, что приводит к нарушению точности обрабатываемого изделия.

Экспериментальное исследование тепловых деформаций или температуры нагрева станка является очень трудоемким процессом. В связи с развитием вычислительной техники широкое применение при описании тепловых процессов, происходящих в станках, получили численные методы. Наибольшее распространение получили метод конечных элементов, метод конечных разностей и метод граничных элементов. В нашем случае используется метод конечных элементов, так как он позволяет осуществлять детализацию решений в различных областях изучаемого объекта, что минимизирует погрешности расчета.

Для описания тепловых процессов, происходящих в винте, используется метод математического моделирования, который включает следующие основные этапы:

1. Анализ конструкции передачи с указанием параметров гайки, винта и схемы его закрепления.

2. Выявление основных источников тепловыделения, их вида и месторасположения; условий теплообмена между деталями передачи, а также деталей с окружающей средой и других факторов.

3. Расчет мощности источников, величины и направления тепловых потоков, коэффициентов конвективного теплообмена с окружающей средой.

4. Моделируется тепловая модель базовой детали станка – винта – с оговоренными и обоснованными допущениями на основе математической модели, записанной в виде граничных условий, отражающих связи детали с точки зрения их теплового обмена.

5. Определяется (изменяющееся во времени тепловое поле винта – тепловая задача.

6. На основе теплового поля определяются деформации винта для любого момента времени – решается термоупругая задача.

В качестве граничных условий приложены тепловые поля, определенные при термическом анализе, а также схема закрепления винта в опоре. Для получения деформаций в разных временных интервалах последовательно изменяется тепловое поле, принимаемое из термического анализа. Термоупругий расчет реализован на примере ходового винта МЦС с ЧПУ модели МС 12 – 250, обеспечивающего перемещение салазок станка вдоль координаты У, как наиболее подверженного влиянию тепловых деформаций. Схема закрепления винта – консольная, то есть один конец винта закреплен, а второй свободный. По геометрическим размерам создана трехмерная твердотельная полноразмерная модель винта в графической среде Solid Works, при дискретизации которой построена конечно-элементная сетка (рисунок 1).



Рисунок 1 – Конечно-элементная сетка ходового винта

При определении тепловых деформаций изменение силовых факторов, влияющих на шарико-винтовую передачу, не учитывалось.

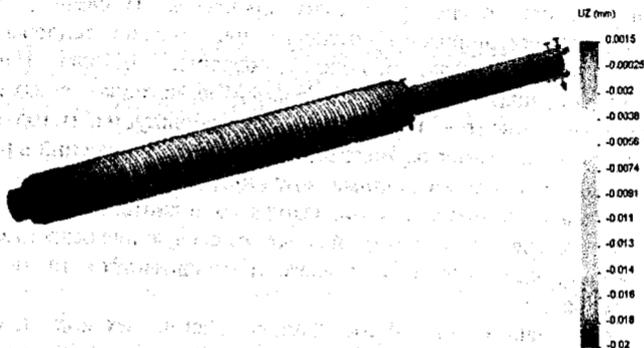


Рисунок 2 – Эпюра линейных смещений винта вдоль оси Y

После определения величин и направления тепловых потоков, расчета коэффициентов теплоотдачи, проведен термический анализ нагрева винта от температуры при выключенном станке (принята  $20^{\circ}\text{C}$ ) до наступления теплового баланса (в нашем случае  $25,9^{\circ}\text{C}$ ).

На рисунке 2 приведена эпюра линейных смещений винта вдоль оси Y при значении скорости подачи равной 1150 мм/мин через 5 часов работы. По графику деформаций винта (рисунок 3) можно определять смещения в любой точке вдоль его оси. Максимальное линейное смещение винта при тепловых деформациях составило  $\Delta u = 19,8$  мкм.

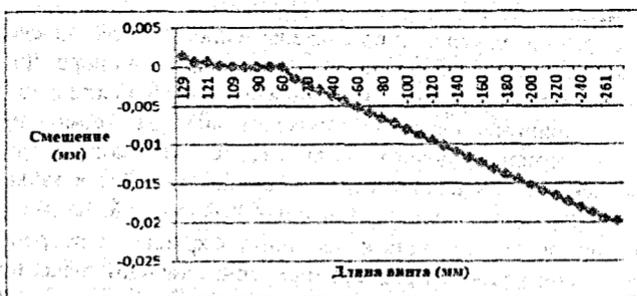


Рисунок 3 – График зависимости деформаций вдоль оси винта

По результатам 3D моделирования можно определять изменяющиеся во времени тепловые деформации винта и прогнозировать изменение геометрической точности привода подач МЦС с ЧПУ.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3-х т. / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов [и др.]; под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – Т1: Проектирование станков. – 444 с.
2. Соколов, Ю.Н. Термические расчеты в станкостроении. – М.: Машиностроение, 1968. – 77 с.