

Горбунов В.П., Григорьев В.Ф., Мицирук О.М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПЕРЕДАЧЕ ВИНТ-ГАЙКА КАЧЕНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛОВЫХ ФАКТОРОВ

Введение. 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 металлорежущие станки 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 станках с ЧПУ имеют приводы подачи, где одним из основных элементов является передача винт-гайка качения. Малые потери на трение, плавность движения на малых скоростях, беззазорность позволяют обеспечивать данным передачам большой диапазон регулирования подач и высокую точность передаваемым движениям при реверсировании. 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 отработки 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, что особенно проявляется при чистовой обработке. Тепловые процессы имеют большой диапазон рассеяния, переменны во времени, носят случайный характер, зависят от многих факторов, не поддаются точному расчету, а так же 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) станка, 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.

Цель работы. Целью работы является разработка методики оценки состояния передачи винт-гайка качения металлорежущего станка с ЧПУ путем моделирования воздействия на него тепловых факторов, возникающих в процессе работы, разработка мероприятий по повышению точности обработки и снижению брака.

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:

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

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

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

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.

Определяется изменяющееся во времени тепловое поле винта – тепловая задача.

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.

Результаты исследования и обсуждения. Термоупругий расчет реализован на примере ходового винта многоцелевого станка с ЧПУ модели MC 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 [4], при дискретизации которой построена конечно-элементная сетка (рис. 1).



Рис. 1. Конечно-элементная сетка ходового винта

Определение тепловых полей ходового винта будет осуществляться в среде конечно-элементного модуля Cosmos Works. Модуль теплового анализа является инструментом моделирования теплопроводности. Термический анализ в Cosmos Works допускает следующие граничные условия: температура, конвекция, тепловой по-

Горбунов В.П., к.т.н., доцент, зав. кафедрой машиноведения Брестского государственного технического университета.

Григорьев В.Ф., к.т.н., доцент кафедры машиноведения. Брестского государственного технического университета.

Мицирук О.М., м.т.н., ассистент кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ток, тепловая мощность излучения. Тепловые нагрузки, будучи скалярными величинами, не привязаны к системе координат. Основной проблемой при моделировании является тщательный подбор экспериментальных констант и их взаимодействие с окружающей средой. Параметры тепловыделений в паре винт-гайка качения, в опорах ходового винта, передача теплоты из сопрягаемых деталей путем теплопроводности рассматривались при переменном режиме работе привода (частота вращения ходового винта 20...200 мин⁻¹) на примере обработки детали типа «корпус». При расчетах использованы математические зависимости, приведенные в работе [3]. После определения величин и направления тепловых потоков, расчета коэффициентов теплоотдачи, проведен термический анализ нагрева винта от температуры. По результатам термического анализа построена кривая изменения температур по длине ходового винта (рис. 2) через 5 часов после начала работы привода подачи (начальная температура 20°C). Это время наступления теплового баланса, когда при действующих источниках и стоках теплоты, а также из-за постоянного перемещения гайки вдоль рабочей поверхности винта не происходит изменения температуры.

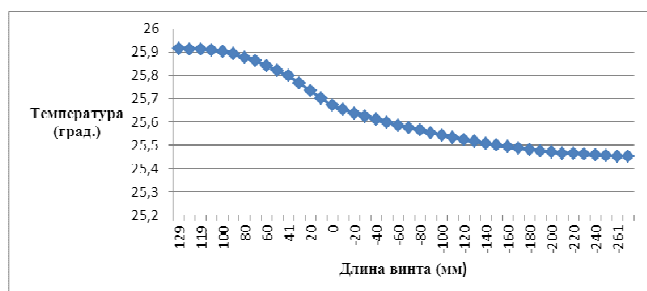


Рис. 2. График изменения температуры по длине ходового винта

Для получения деформаций в разные временные интервалы тепловое поле, которое принимается из термического анализа, последовательно меняется. В нашем случае термоупругий расчет реализован как статический, но, проводя его для ряда граничных условий, можно получить зависимость деформации винта от времени. При определении тепловых деформаций изменение силовых факторов, влияющих на шарико-винтовую передачу, не учитывалось.

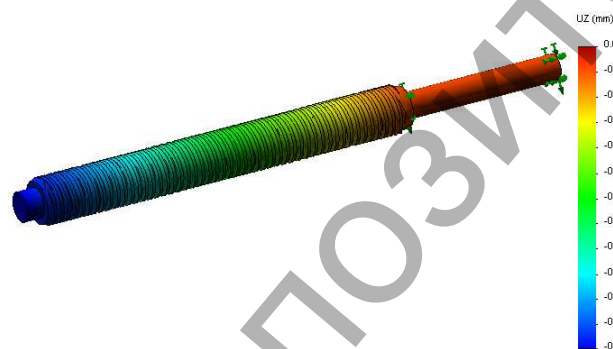


Рис. 3. Эпюра линейных смещений винта вдоль оси U

На рисунке 3 приведена эпюра линейных смещений винта вдоль оси U при среднем значении скорости установочных движений равной 1150 мм/мин через 5 часов работы. График деформаций (линейных смещений) винта для тех же условий работы представлен на рисунке 4. По данным зависимостям можно сделать вывод, что наибольшее линейное смещение получает свободный конец винта.

Это связано с тем, что противоположный конец жестко закреплен в подшипнике, и поэтому линейное смещение винта в противоположную сторону невозможно. По графику деформаций винта можно определять смещения в любой точке вдоль его оси. Максимальное линейное смещение винта от тепловых деформаций составило $\Delta U=19,8$ мкм. Сравнивая форму графиков (рис. 2 и рис. 4), можно предположить, что участок перехода цилиндрической поверхности в винтовую наиболее характерный для контроля (оценки) величины деформаций винта по изменению температуры.

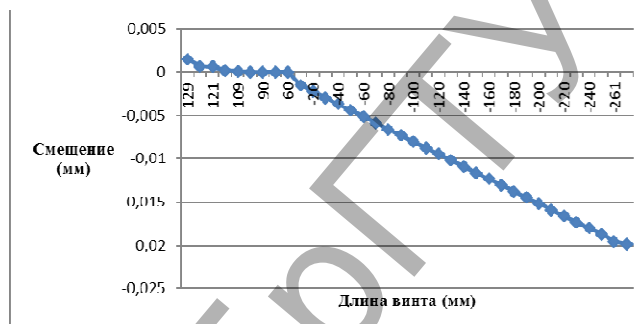


Рис. 4. График зависимости деформаций вдоль оси винта

Данные линейные смещения вдоль оси винта приводят к увеличению погрешности линейного размера обрабатываемой детали. Используя установленные зависимости, можно с высокой степенью достоверности диагностировать величину смещения, а также вносить коррекцию в управляющую программу устройства ЧПУ для компенсации тепловых деформаций ходового винта.

Заключение

1. Предложена методика построения термоупругой модели ходового винта с определением тепловых полей и деформаций, тепловые потоки в которой можно корректировать при каждой смене режимов работы в пределах операции, смены.
2. Установлена зависимость деформации и температуры в контрольной точке ходового винта привода подачи, что позволяет диагностировать величину смещения, а также снижать погрешность, связанную с тепловыми деформациями ходового винта в процессе работы станка.
3. По результатам 3D-моделирования можно определять изменяющиеся во времени тепловые деформации винта и прогнозировать изменение погрешности координатных перемещений привода подачи станка с ЧПУ.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник: в 3-х т. – Т. 1: Проектирование станков / 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. – 444 с.
2. Кордыш, Л.М. Тепловой расчет исполнительных механизмов привода подачи станков с ЧПУ / Л.М. Кордыш, Л.В. Марголин // Станки и инструмент. – 1983. – № 5. – С. 22–24.
3. Соколов, Ю.Н. Термические расчеты в станкостроении / Ю.Н. Соколов. – М.: Машиностроение, 1968. – 77 с.
4. Прерис А. Cosmos Works 2005/2006 / А. Прерис. – СПб.: Питер. – 528 с.

Материал поступил в редакцию 10.12.15

GORBUNOV V.P., GRIGORIEV V.F., MISHIRUK O.M. Modeling error of the displacements in the transmission screw-nut rolling under the influence of thermal factors

The method of assessment of the state change of the transmission screw-nut rolling by modeling the thermal effects arising under different conditions of work. To evaluate the linear displacement of the screw along its axis of the conducted study a thermoelastic model with the imposition of boundary conditions based on the transmission design and mode of operation. The results of theoretical research allow to predict the change of the geometric accuracy of the drive feed.