

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ТОЧНОСТИ КООРДИНАТНОГО СТОЛА МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ШПИНДЕЛЕМ

М. И. МИХАЙЛОВ, А. Н. РОМАЧКОВ

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Введение

Точность станков является одним из основных показателей их качества. Стремительное совершенствование техники, повышение мощности, быстроходности и точности машин, аппаратов, приборов наряду с ростом их надежности требуют опережающего повышения точности металлорежущих станков (МС). Для потребителя точность МС выражается в их способности обеспечить у готового изделия заданные точность размеров, формы и взаимного положения обработанных поверхностей, их волнистость и шероховатость, а также стабильность этих показателей в заданных пределах [1].

Традиционно точность МС обеспечивалась соответствующей точностью изготовления его основных деталей, точностью сборки и регулировки, а также жесткостью элементов, износостойкостью опор и направляющих, стабильностью формы и размеров базовых и корпусных деталей. Кроме того, для повышения точности станков целесообразно использовать специальные устройства и системы для компенсации систематических погрешностей в конкретном экземпляре МС или для управления точностью обработки [1], [2].

Повышение точности станков не только увеличивает их производительность благодаря возможности уменьшения числа рабочих проходов, оптимизации режимов обработки, уменьшения трудоемкости окончательных операций, но и повышает стоимость. Поэтому установление оптимального уровня точности является технико-экономической оптимизационной задачей. Основным источником погрешностей станков с вертикальным шпинделем является отклонение узлов станка под действием сил резания. Одним из основных элементов, влияющих на точность крестового стола, являются направляющие. Часто в конструкциях направляющих используются композиционные материалы на основе полимеров. Требуется оценка влияния применения полимерных материалов на статическую точность крестового стола. В процессе эксплуатации на станок действуют все виды энергии, что может привести к изменению параметров отдельных элементов, механизмов и станка в целом.

Методика моделирования

Для расчетов точности была создана трехмерная твердотельная модель крестового стола (рис. 1). Модель построена по аналогу крестового стола станка 21104П7Ф4.

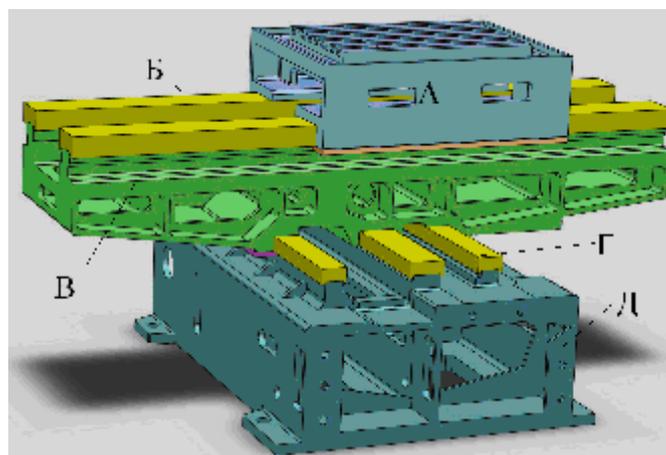


Рис. 1. Трехмерная твердотельная модель крестового стола

Полученная модель условно разделялась на элементы (рис. 2). В подвижных соединениях условия контакта описывались с применением коэффициента трения. Если элементы линейные – деформации в пределах элементов постоянные, а если элементы параболические – деформации изменяются линейно.

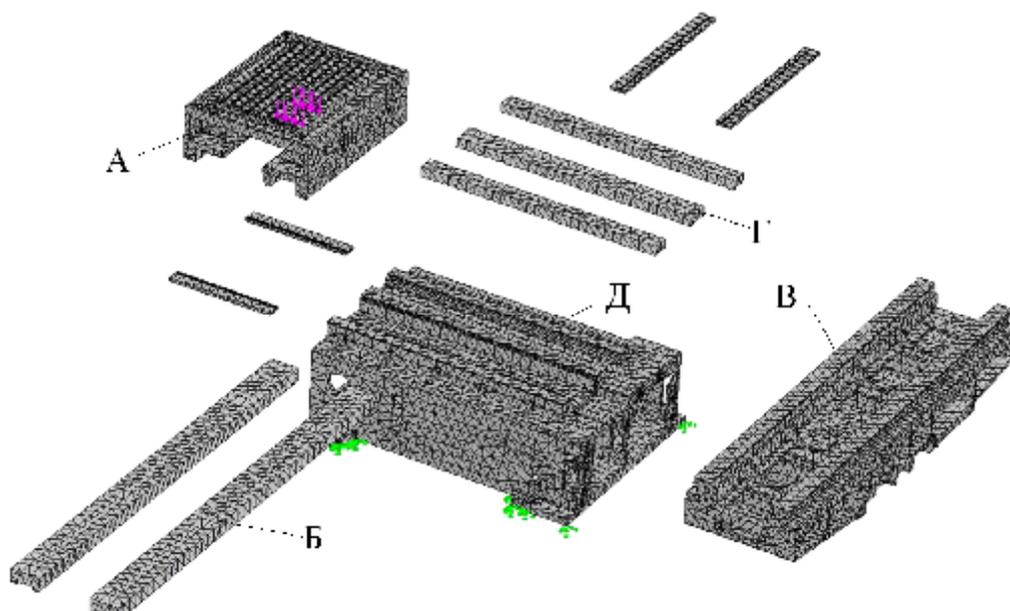


Рис. 2. Сетка модели крестового стола

Для каждого конечного элемента, зная перемещения (углы поворота) в узлах и аппроксимирующие функции, рассчитываются деформации. На основе деформаций вычисляются напряжения в элементах. При необходимости напряжения в узлах смежных элементов усредняются с последующим пересчетом напряжений в пределах каждого элемента.

На основе компонентов напряженно-деформированного состояния и параметров прочности материала (материалов) производилось вычисление эквивалентных напряжений по выбранному критерию прочности.

Анализ полученных исследований производился по графическо-численной шкале. В качестве граничных условий вводились ограничения перемещений основания, имитируя тем самым крепление его к фундаменту. Нагрузку

прикладывали к той части стола, которая обеспечивала наихудший вариант, при этом ее численное значение принимали равным максимальной осевой силе, соответствующей обработке детали на станке. Она принималась по паспорту станка и была равна 10000 Н.

Исходные данные для моделирования

Детали поперечного суппорта, продольного стола представляют собой литые конструкции из серого чугуна марки СЧ20. В расчетах свойства чугуна принимались следующими: модуль упругости первого рода $E = 110$ ГПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,28$, плотность $\rho = 7200$ кг/м³. Направляющие выполнялись из легированной стали с модулем упругости $E = 200$ ГПа, коэффициентом Пуассона $\mu = 0,3$ и плотностью $\rho = 7850$ кг/м³. Исходя из того, что контакт осуществляется между сталью и чугуном, коэффициент трения этих материалов принимался равным 0,3. Для исследования сборки с применением полимерных материалов принимался коэффициент трения между сталью и полимерным материалом, равный 0,05.

Компьютерная модель крестового стола

На рис. 2 представлена трехмерная модель крестового стола. Эта модель содержит: стол А, направляющие поперечного суппорта Б, корпус суппорта В, направляющие основания Г и его корпус Д. МКЭ-моделирование производилось в статической постановке. Модель считалась линейно-упругой. Учитывалась контактная податливость. Сетка была построена по 3D-модели из достаточно точных гексаэдрических и тетраэдрических конечных элементов. Производился расчет напряженно-деформированного состояния модели крестового стола на основе анализа конечных элементов и свойств материалов сборки. Исследование модели крестового стола с условием 100-процентного контакта между плоской поверхностью продольного стола и направляющими. При моделировании с использованием композиционных материалов на направляющих конечными элементами выделялся тонкий слой, толщина которого была равна толщине композиционного слоя. Размеры сетки выбирали переменными, при этом уменьшали размер конечных элементов в зонах стыка, в окружении отверстий, а также там, где происходит изменение кривизны: в местах перехода плоской поверхности в цилиндрическую и торовую (рис. 3). В процессе подбора плотности сетки, отработки граничных условий использовали конечные элементы первого порядка. Это позволяло правильно распределять нагрузку и перемещения в модели, что, в свою очередь, приводило к большей достоверности результатов исследования.

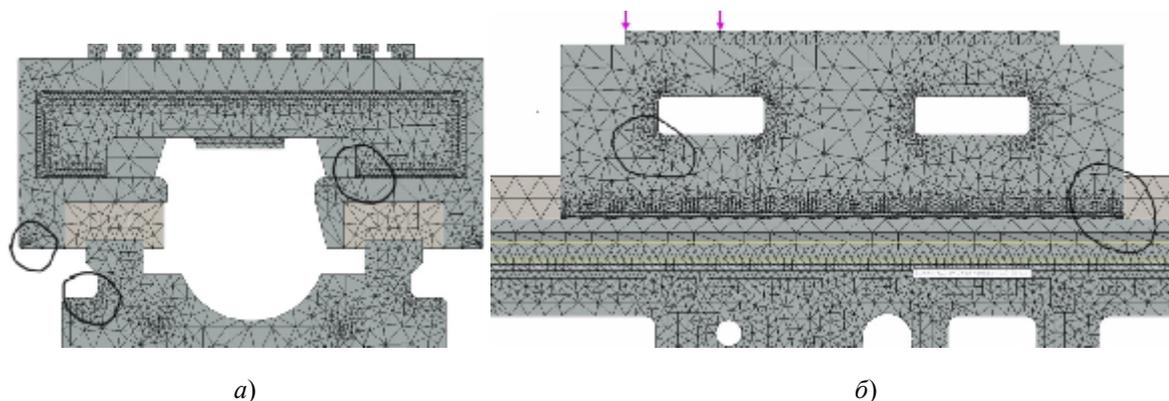


Рис. 3. Сетка модели с применением функции автоматического уплотнения в поперечном (а) и продольном (б) направлениях

Условия контакта в подвижных соединениях устанавливались одинаковыми для всех исследований с учетом особенностей каждого материала. Результаты расчетов представлены на рис. 4 и 5.

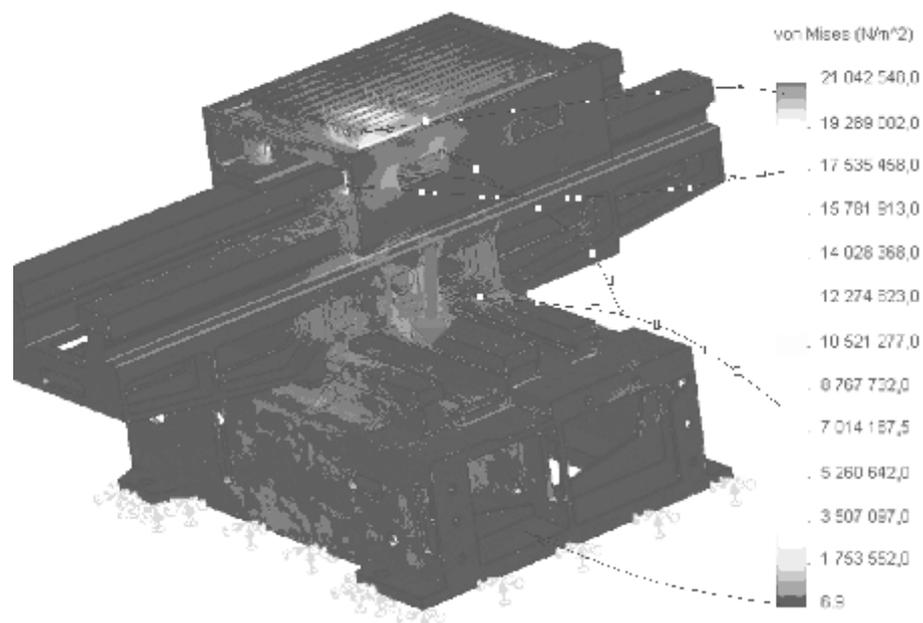


Рис. 4. Картина распределения напряжений в сборке

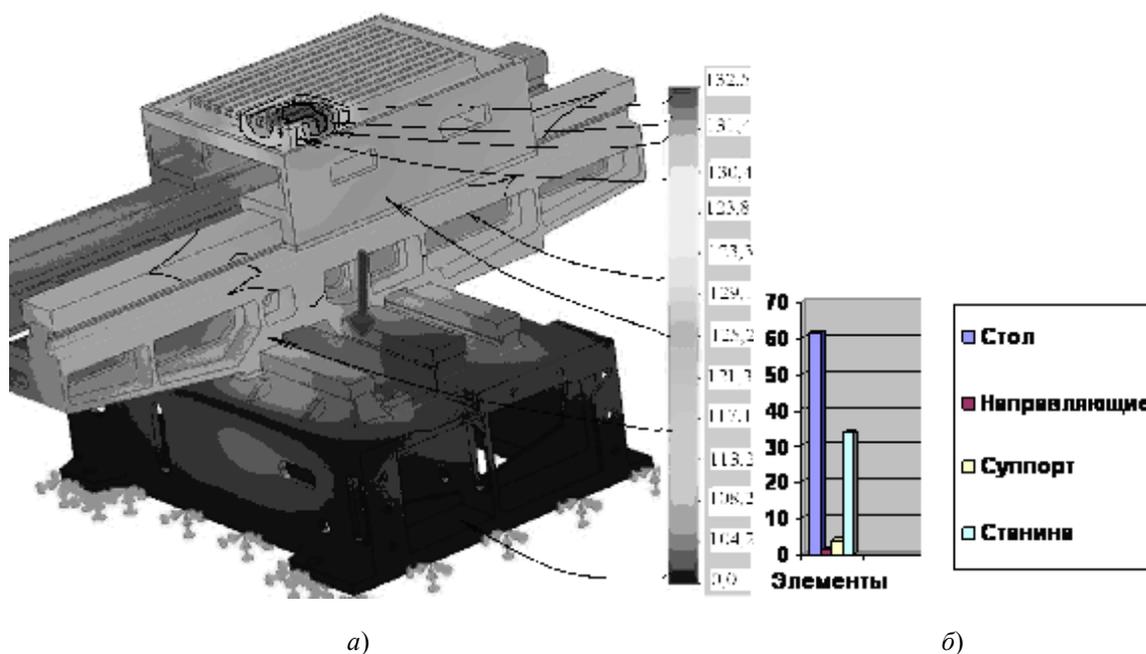


Рис. 5. Картина перемещений в сборке (а) и доли отдельных элементов в общей податливости (б)

Исследование модели крестового стола с применением полимерных накладок между плоскими поверхностями продольного, поперечного столов и направляющими выполняли по аналогичной методике. Результаты расчетов представлены на рис. 6 и 7.

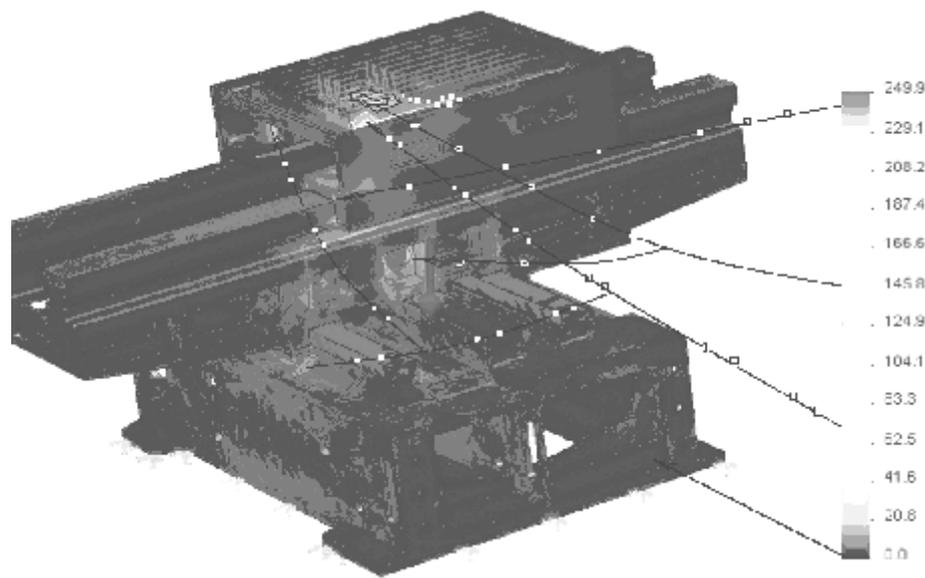


Рис. 6. Картина распределения напряжений в сборке

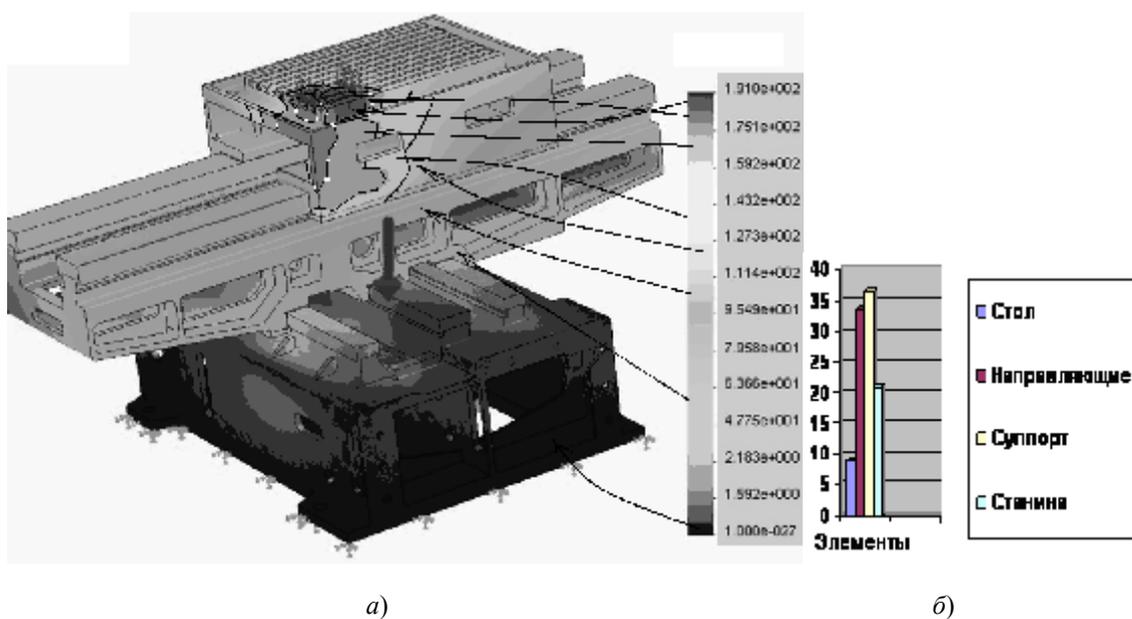


Рис. 7. Картина перемещений в сборке (а) и доли отдельных элементов в общей податливости (б)

Как видно на рис. 4 и 6, характер распределения напряжений и их уровень зависит от изменения материала направляющих. Анализ рис. 5, а и 7, а позволяет заключить, что произошло смещение зон максимальных перемещений и перераспределены доли податливостей отдельных элементов, что в совокупности привело к снижению статической точности на 0,058 мм.

Для оценки адекватности полученных результатов были проведены экспериментальные исследования статической точности стола, которые производились путем его нагружения посредством привода подачи шпиндельной бабки (рис. 8). Схема нагружения аналогична той, которая использовалась при испытаниях твердотельной модели крестового стола в интегрированной среде *CosmosWorks*. Максимальная приложенная нагрузка на стол составляла 4000 Н.

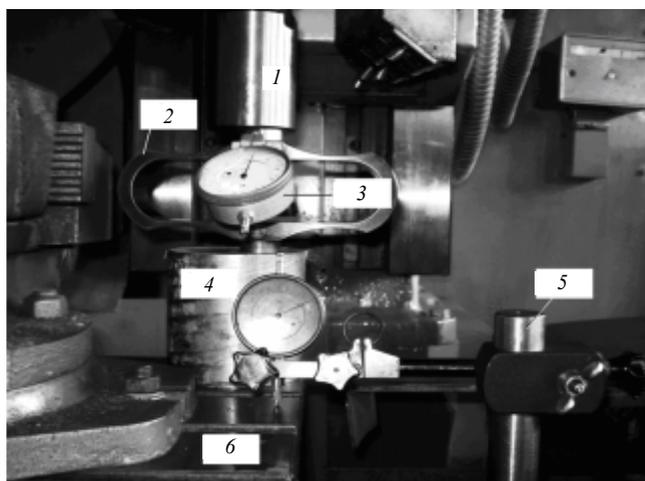


Рис. 8. Зона измерения статических перемещений:
1 – оправка; 2 – динамометр; 3 – измерительная головка; 4 – цилиндр;
5 – измерительная система; 6 – стол станка

Результаты испытаний представлены на рис. 9.

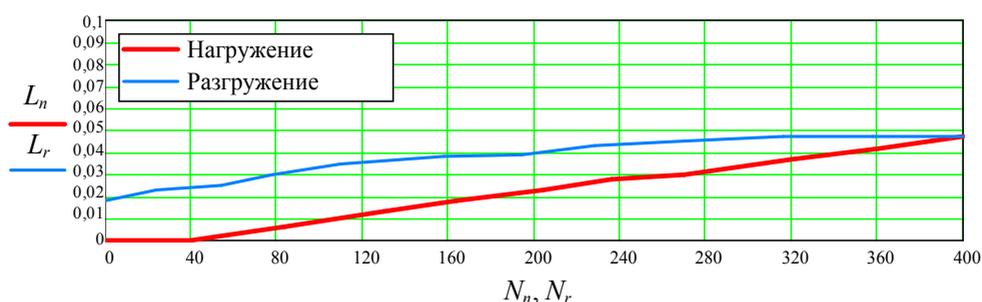


Рис. 9. Графики зависимостей перемещений стола от его нагружения и разгрузки

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что максимальные статические перемещения с достаточной точностью согласуются с результатами расчетов.

Заключение

Методами математического моделирования установлено, что одним из основных элементов, обуславливающим более 30 % податливости крестового стола, являются направляющие.

Стол и станина обладают достаточной жесткостью.

Геометрические параметры направляющих с композиционными накладками требуют оптимизации в зависимости от назначения станка.

Литература

1. Решетов, Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Туромша, В. И. Исследование жесткости продольно-фрезерного станка с подвижным порталом с помощью конечно-элементного моделирования/ В. И. Туромша, С. С. Довнар, Туми эль-Мабрук Абужафер Али // Машиностроение : респ. межвед. сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2010. – Вып. 25. – С. 270–277.