



МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.9.0116517.962.1

Ю.М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ, чл.-корр. НАН Беларуси
Президиум Гомельского филиала НАН Беларуси

М.И. МИХАЙЛОВ, канд. техн. наук
Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОНТАКТА В НАПРАВЛЯЮЩИХ КООРДИНАТНОГО СТОЛА МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА НА ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Разработана методика анализа напряженно-деформированного состояния координатного стола многоцелевого станка с вертикальным шпинделем, позволяющая учесть конструктивные параметры стола станка с особенностями условий контакта между элементами. Установлена доля влияния податливости каждого элемента крестового стола.

Ключевые слова: многоцелевой станок, координатный стол, направляющие, условия контакта, статическая точность

Введение. Стремительное совершенствование металлорежущих станков (МС) путем повышения мощности приводов, быстроходности и точности перемещений узлов, наряду с ростом их надежности требуют опережающего повышения геометрической и статической точности базовых узлов.

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 МС или для управления точностью обработки [1, 2].

Как известно, повышение геометрической и статической точности станков позволяет увеличивать их производительность благодаря возможности уменьшения числа рабочих проходов, оптимизации режимов обработки, уменьшения трудоемкости окончательных операций, но одновременно увеличивает стоимость.

Одним из основных элементов, влияющих на точность многоцелевого станка, является крестовый стол, а крестового стола — направляющие. Геометрическая и статическая точность направляю-

щих зависит от условий контакта, кроме того, в конструкциях направляющих могут использоваться композиционные материалы на основе полимеров [3]. Поэтому важно определить влияние условий контакта на перемещения узлов станка под действием нагрузки.

Методика моделирования. Для расчетов точности была создана трехмерная твердотельная модель крестового стола. Модель построена по аналогу крестового стола станка 21104П7Ф4 (см. рисунок 1 а).

Эта модель содержит: стол А, направляющие поперечного суппорта Б, корпус суппорта В, направляющие основания Г и его корпус Д (рисунок 1 б).

Полученная модель условно разделялась на элементы. В подвижных соединениях условия контакта описывались с учетом коэффициента трения. Если элементы линейные — деформации в пределах элементов постоянные, если элементы параболические — деформации изменяются линейно.

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 проч-

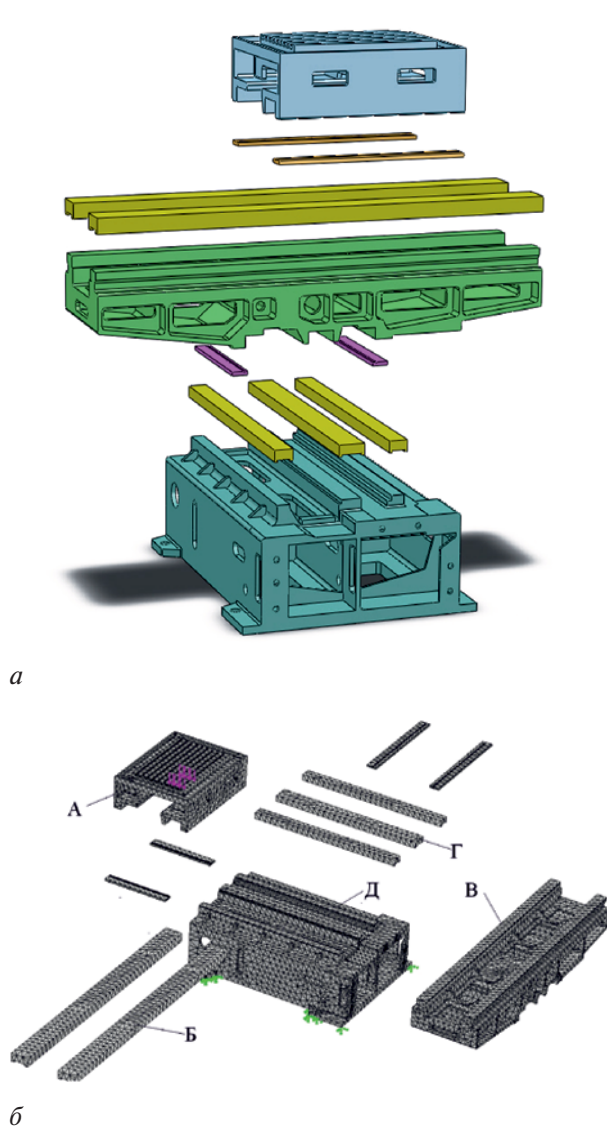
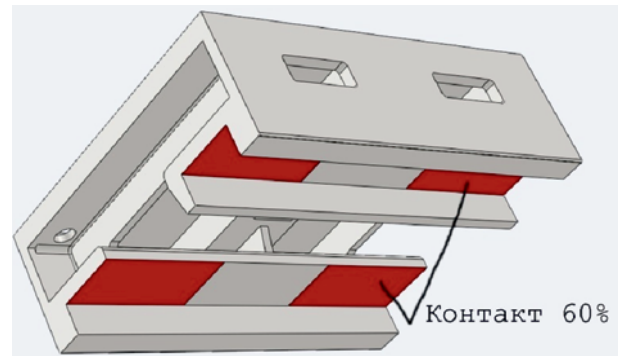


Рисунок 1 — Твердотельная модель (а) и сетка конечных элементов крестового стола (б)

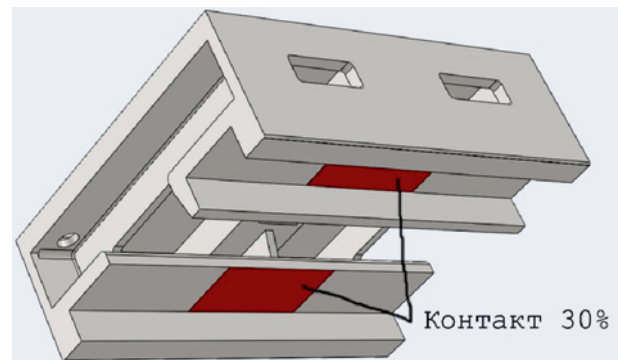
ности материалов производилось вычисление эквивалентных напряжений по выбранному критерию прочности.

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 равной максимальной осевой силе, соответствующей обработке детали на станке. Она принималась по паспорту станка и была равна 10 000 Н. Для определения влияния условий контакта в направляющих координатного стола многоцелевого станка были разработаны варианты с 60-процентными и 30-процентными контурными площадями контакта (рисунок 2).

Исходные данные для моделирования. Детали поперечного суппорта и продольного стола представляют собой литые конструкции из серого чугуна марки СЧ20. Для расчетов свойства чугуна принимались следующими: модуль упругости пер-



а



б

Рисунок 2 — Твердотельная модель стола с контурными площадями контакта: а — 60-процентный; б — 30-процентный

вого 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.

Компьютерная модель крестового стола. Моделирование методом конечных элементов производилось в статической постановке. Модель принималась линейно-упругой. Учитывалась контактная податливость. Сетка была построена по 3D-модели из гексаэдрических и тетраэдрических конечных элементов. Производился расчет напряженно-деформированного состояния модели крестового стола на основе анализа конечных элементов и свойств материалов сборки. Исследовались модели крестового стола с условием 30- и 60-процентного контакта между поверхностью продольного стола и направляющими. 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. 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.

Условия контакта в подвижных соединениях устанавливались одинаковыми для всех исследований с учетом особенностей каждого материала.

Результаты расчетов представлены на рисунках 3 и 5.

Анализ рисунков 3 и 5 позволяет заключить, что условия контакта оказывают большее влияние на уровень контактных напряжений, чем численное значение относительной контурной площади касания. Кроме того, выполнение контакта дискрет-

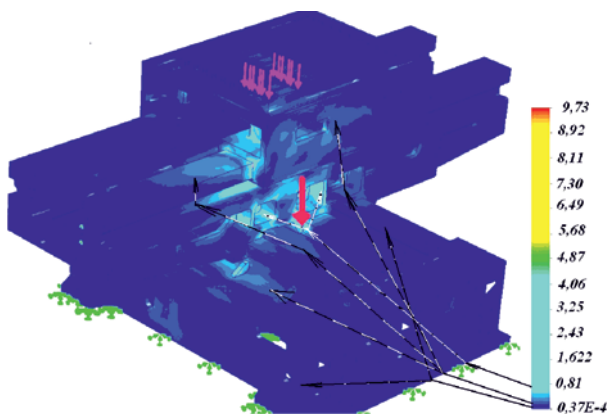
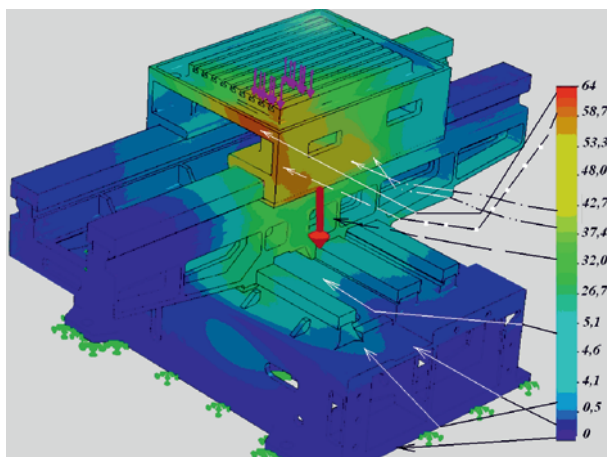
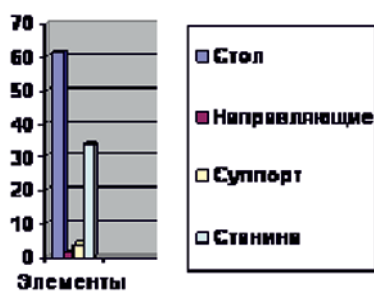


Рисунок 3 — Картина распределения эквивалентных напряжений при 30-процентной площади контакта, в МПа



а



б

Рисунок 4 — Картина перемещений (а) и доли отдельных элементов в общей податливости (б) при 30-процентной площади контакта

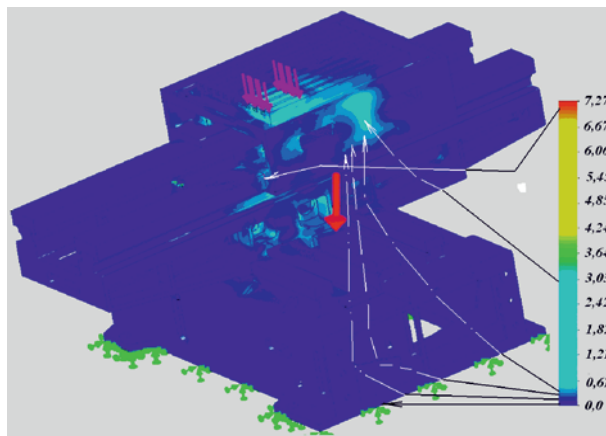
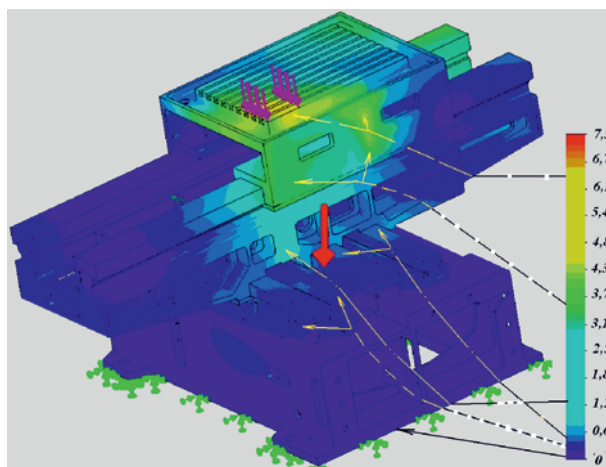


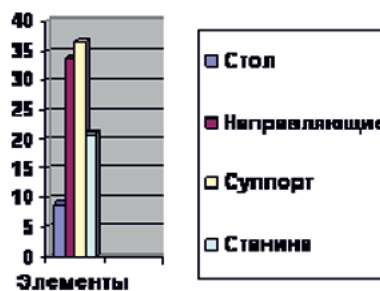
Рисунок 5 — Картина распределения эквивалентных напряжений при 60-процентной площади контакта, в МПа

ным приводит к значительному перераспределению напряжений (см. рисунок 3).

Анализ рисунков 4 а и 6 а позволяет заключить, что максимальные значения перемещений с ростом относительной площади контакта в 2 раза увеличились в 8,8 раза. Характер распределения перемещений при 30-процентной площади контакта в основном зависит от формы пятна контакта и его расположения относительно направляющих. Кроме того, рисунки 4 а и 6 а позволяют заключить, что с уменьшением площади контакта и ее формы



а



б

Рисунок 6 — Картина перемещений (а) и доли отдельных элементов в общей податливости (б) при 60-процентной площади контакта

происходит смещение зон максимальных перемещений с перераспределением доли податливостей отдельных элементов, что в совокупности приводит к снижению статической точности на 0,058 мм.

Был произведен анализ перемещений в модели направляющей продольного стола, вдоль ее боковой поверхности (рисунок 7), по результатам которого построены графики влияния условий контакта на перемещения направляющих (рисунок 8).

Как видно на рисунке 8, перемещения точек направляющих стола в зоне приложения нагрузки при соотношении относительной контурной площади касания $1 : 0,6 : 0,3$ приводит к их соотношению как $1 : 2 : 64$. Зондирование верхних направляющих поперечных салазок производилось аналогично направляющих продольного стола (рисунок 9).

Анализ рисунка 10 позволяет заключить, что на характер изменения перемещений вдоль направляющих форма площади касания оказывает не значительное влияние. Максимальные значения перемещений изменяются в пропорции $1 : 2 : 3,5$ при изменении относительной контурной площади касания в соотношении $1 : 0,6 : 0,3$.

Для оценки адекватности полученных результатов были проведены экспериментальные исследования статической точности стола, которые производились путем его нагружения посредством привода подач шпиндельной бабки. Схема нагружения аналогична той, которая использовалась при испытаниях твердотельной модели крестового стола. Максимальная приложенная нагрузка на стол составляла 4000 Н.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что максимальные статические перемещения с точностью в 10 % согласуются с результатами расчетов.

Заключение. Разработана методика анализа статической точности и прочности координатного стола многоцелевого станка с вертикальным шпинделем, позволяющая учесть конструктивные параметры стола станка с особенностями условий контакта между элементами. Произведены расчеты и экспериментальные исследования влияния условий контакта направляющих крестового стола на его статическую точность. Установлено, что максимальные значения перемещений изменяют-

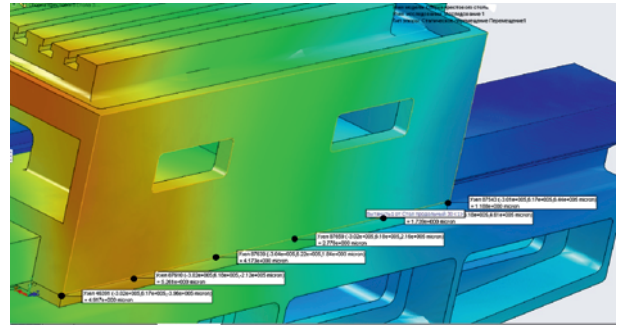


Рисунок 7 — Точки зондирования модели продольного стола

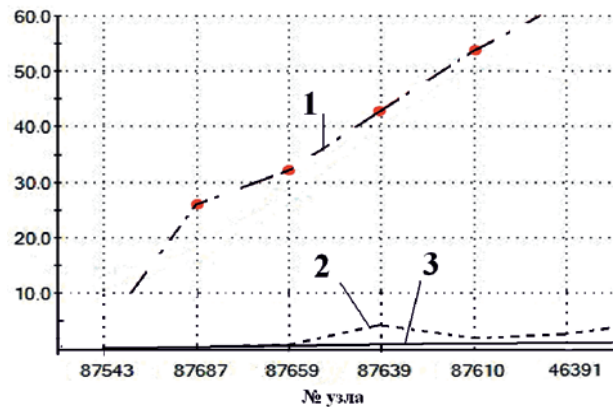


Рисунок 8 — Графики перемещений точек зондирования продольных направляющих стола с контактом:
1 — в 30 %; 2 — в 60 %; 3 — в 100 %

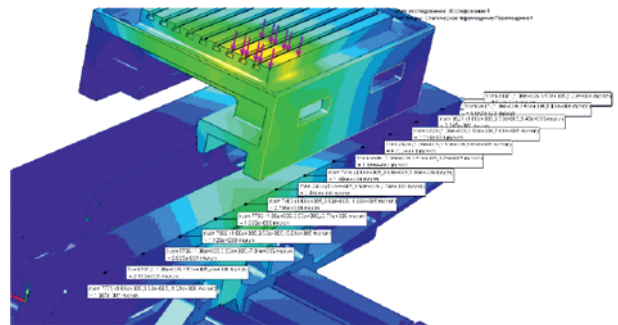


Рисунок 9 — Точки зондирования верхней направляющей поперечных салазок

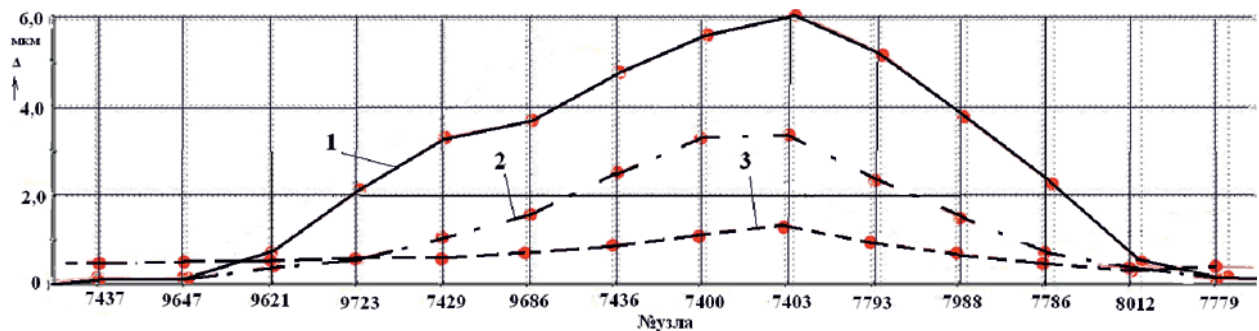


Рисунок 10 — Графики перемещений точек зондирования верхней направляющей поперечных салазок с контактом:
1 — в 30 %; 2 — в 60 %; 3 — в 100 %

ся в пропорции 1 : 2 : 3,5 при изменении относительной контурной площади касания в соотношении 1 : 0,6 : 0,3.

Максимальные перемещения точек направляющих стола в зоне приложения нагрузки при соотношении относительной контурной площади касания 1 : 0,6 : 0,3 приводит к их соотношению как 1 : 2 : 64.

С уменьшением площади контакта и ее формы происходит смещение зон максимальных перемещений с перераспределением доли податливостей отдельных элементов, что в совокупности приводит к снижению статической точности.

Список литературы

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 Абузафер Али // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр. / БНТУ. — Минск, 2010. — Вып. 25. — С. 270—277.
3. Михайлов, М.И. Анализ статической точности и прочности координатного стола многоцелевого станка с вертикальным шпинделем / М.И. Михайлов, А.Н. Ромочков // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — Гомель, 2011. — № 3. — С. 37—41.

Pleskachevski Yu.M., Mikhaylov M.I.

Influence of contact conditions in ways of the multifunction machine coordinate table on its stress-strain state

The technique of analysis of the stress-strain state of the multifunction machine coordinate table with vertical spindle, which allows taking into account the design parameters of the machine's table with the peculiarities of the conditions of contact between elements. The compliance impact share of each element of the compound table is determined.

Keywords: multifunction machine, coordinate table, ways, contract conditions, static accuracy

Поступила в редакцию 19.10.2012.