

УДК 621.9.011

МКЭ-АНАЛИЗ ДЕФОРМИРОВАНИЯ КРЕСТОВОГО СТОЛА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПОМОЩЬЮ ИИ

Студенты гр.10305120 Максименко А.А., гр.10305222 Жаврид Ю.Ю.,
Крепская В.Я.

Научные руководители – Довнар С.С., Яцкевич О.К., Касач Ю.И.,
Лапука А.Д.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Вертикально-фрезерные станки (ВФС) являются важным оборудованием в современном машиностроении. Они выпускаются (рис. 1, а) рядом белорусских станкостроительных заводов и обычно комплектуются крестовыми столами. Крестовый стол (рис. 1, б) с помощью системы ЧПУ обеспечивает перемещение обрабатываемой детали сразу по двум горизонтальным координатам X, Y.

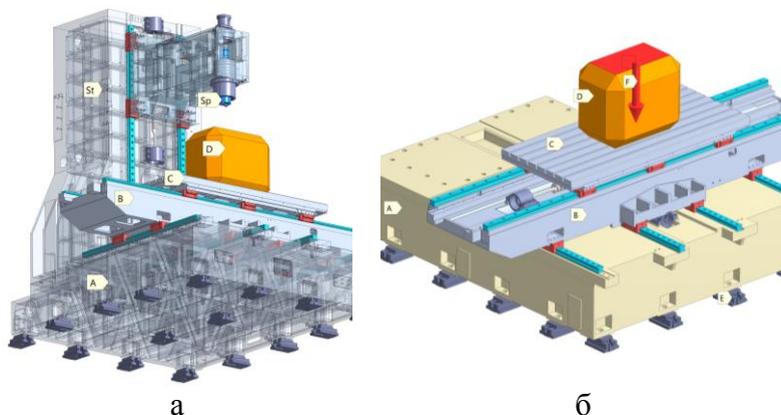
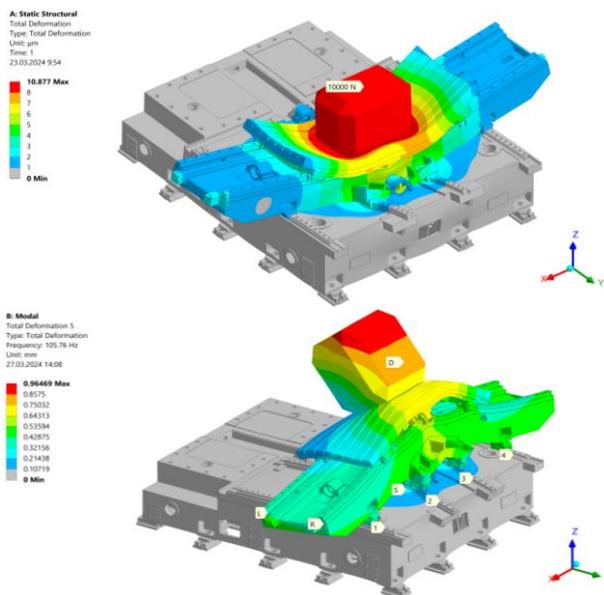


Рисунок 1 – Вертикально-фрезерный станок (ВФС) с чугунной станиной А (а) и крестовый стол (салазки В + плита С) на фибробетонной станине А (б): D – образ заготовки; F – вертикальная сила; St – стойка для вертикальных перемещений бабки со шпиндельным узлом Su

Крестовый стол является потенциально податливым узлом станка. Поэтому была поставлена задача проведения его виртуальных испытаний для последующего усиления несущей системы станка. Виртуальные испытания осуществлялись с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Объектом моделирования являлся вновь разрабатываемый вертикально-фрезерный станок ОАО «СтанкоГомель». Прежде всего, стол был подвергнут тестовому нагружению вертикальной силой по рис. 1, б. Картина деформаций стола приведена на рис. 2, а.

Видно, что податливым оказывается весь стек из трех плитообразных деталей, лежащих друг на друге – плита стола с системой направляющих X (находятся под ней), салазки с системой направляющих Y (лежат под ней) и потолок станины (находится по направляющим Y). Каждая система направляющих включает в себя рельсы и танкетки (опоры качения), катящиеся по ним.



а

б

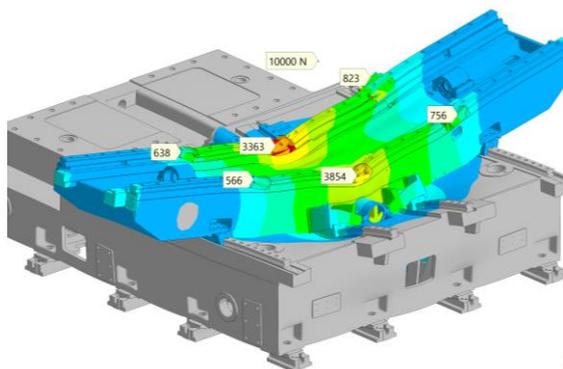
Рисунок 2 – Деформирование крестового стола под действием статической силы (а) и при резонансном возбуждении (б): L, R – рельсы системы направляющих X; 1, 2, 3, 4 – рельсы системы направляющих Y; D – образ детали; S – станина (здесь – чугунная)

На рис. 2, а стек из плиты, салазок и станины прогибается вниз. На рис. 2, б показано возбуждение резонанса (модальный МКЭ-анализ), когда плита, салазки и станина выгибаются вверх. В целом, рис. 2 передает податливость крестового стола как стека «плита – салазки – станина».

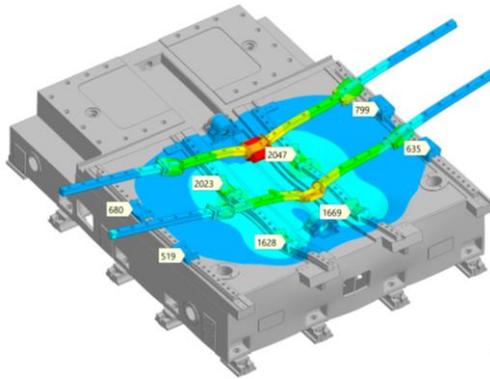
МКЭ-анализ позволил выявить силы в танкетках обеих систем направляющих (рис. 3). В системе направляющих X наиболее нагружены средние танкетки (рис. 3, а). В них силы реакции (3363 и 3854 Н) превышают силы в крайних танкетках (566 – 823 Н) в среднем в 5,18 раз. Получается, что крайние танкетки X выполняют, в основном балансирующую функцию.

В танкетках системы направляющих Y вертикальные нагрузки воспринимаются танкетками более равномерно (рис. 3, б). Средняя сила реакции для четырех центральных танкеток составляет 1841 Н, а для четырех концевых танкеток она равна 658 Н.

Таким образом, вертикальные нагрузки между этими двумя группами танкеток Y различаются только в 2,79 раза. Понятно, однако, что для крестового стола весьма актуальна задача управления силами в танкетках. Здесь можно действовать как через перераспределение жесткостных характеристик в салазках и плите, так и через изменение вертикального натяга в танкетках.

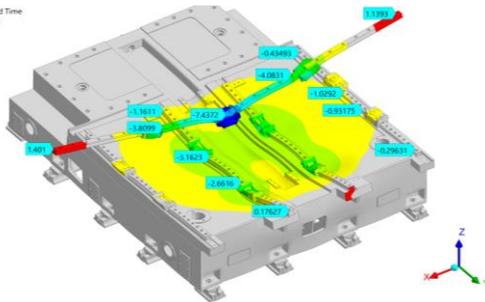


а

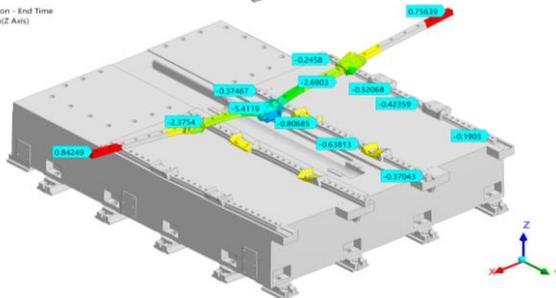
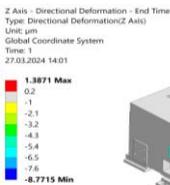


б

Рисунок 3 – Вертикальные компоненты сил реакции (Н) в танкетках направляющих X (а; 2 рельсы и 6 танкеток) и направляющих Y (б; 4 рельсы и 8 танкеток) под действием статической вертикальной силы $F = 10\text{kN}$



а



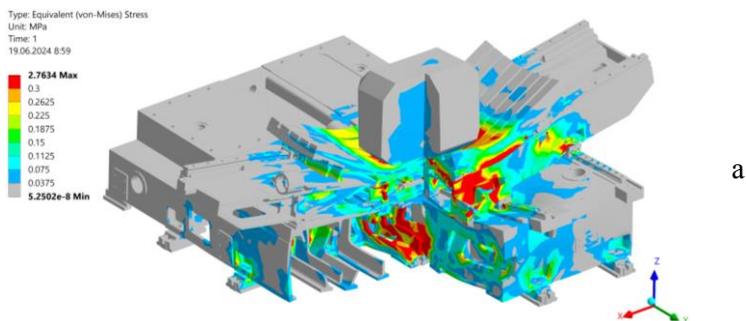
б

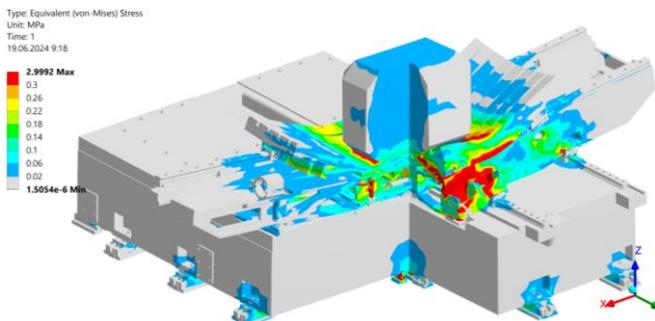
Рисунок 4 – Вертикальные перемещения (мкм; по оси Z) на рельсах и танкетках обеих направляющих систем (по X и по Y) для чугуновой станины (а) и фибробетонной станины (б)

На рис. 4 даны картины проседаний (вертикальных смещений) в системах направляющих X и Y. На рис. 4, а даны деформационные перемещения для чугунной станины. На средних рельсах Y они достигают 3,2 мкм (вниз по Z).

Для фибробетонной станины (рис. 4, б) аналогичные проседания не превышают -0,8 мкм, что в 3,9 раза меньше. Следовательно, фибробетонная станина хорошо решает задачу обеспечения жесткости и прямолинейности рельс в системе направляющих Y. Вверх по стеку «станина – салазки – плита» влияние жесткой фибробетонной станины ослабляется. Так, в середине рельсы X проседание составляет 7,4 мкм для чугунной станины (рис. 5, а). Для фибробетонного базиса (рис. 4, б) оно уменьшилось до 5,4 мкм (только в 1,37 раза). Итак, обеспечение жесткости крестового стола требует не только жесткой станины, но и усиления плиты и салазок.

Картины эквивалентных напряжений σ_e в станке даны на рис. 6 с использованием условного выреза «в четверть». Сами напряжения невелики, не превышают нескольких МПа и не угрожают прочности несущей системы. Однако распределения σ_e иллюстрируют неравномерность напряженного состояния всех чугунных литых деталей (плиты, салазок и стола на рис. 6, а). Здесь наблюдаются многочисленные локальные концентраторы напряжений. Только переход к монолитной фибробетонной станине (рис. 6, б) выравнивает и понижает напряжения в базисе станка. Возможно, салазки и плиту крестового стола также, в перспективе, следует делать с применение бетонного литья.





б

Рисунок б – Картины эквивалентных напряжений (МПа) в крестовом столе под действием вертикальной силы $F = 10\text{kN}$ для чугунной (а) и фибробетонной (б) станин. $\times 40000$

МКЭ-испытания крестового стола на чугунной и фибробетонной станинах вертикально-фрезерного станка позволяют сделать следующие наблюдения:

- крестовый стол в исходном состоянии передает вертикальные нагрузки, в основном на центральные танкетки по обоим (X, Y) системам направляющих;
- чугунная станина является самой податливой по вертикали деталью в стеке «стол – салазки – станина»;
- рекомендуется усиление чугунной станины диагональными ребрами или переход к фибробетонной станине;
- фибробетонная станина в монолитном исполнении резко, в 3–4 раза повышает жесткость под нижними рельсами X. Однако, на уровне заготовки эффект ослабляется оставшейся относительно высокой податливостью салазков и стола;
- крестовому столу требуется выравнивание (гармонизация) вертикальных жесткостей одновременно станины, салазков и стола. Только при этом условии потенциал фибробетона будет раскрыт в смысле жесткого базирования заготовки.

Вероятно, возможны и иные конструктивные решения узлов, обеспечивающих функции крестовых столов. Для снижения психологической инерции при поиске таких решений имеет смысл обратиться к средствам «искусственного интеллекта» (ИИ). Поэтому для анализа и обобщенного понимания компоновки было сделана попытка обращения к ИИ. Это отражено на рис. б.

Компоновки на рис. 6 подчеркивают открытость архитектуры крестового стола. Его стек плит может неограниченно наращиваться по вертикали. На рис. 6, а ИИ предложил концепцию из трех скользящих друг по другу плит, а на рис. 6, б число подвижных плит достигло четырех. Полагаем, что построения ИИ, хорошо передают склонность крестового стола к деформациям.

На рис. 7 представлен еще один вариант структурно-логического понимания идеи крестового стола, использующего тела качения для реализации имеющихся степеней свободы.



а



б

Рисунок 6 – Кинематическо-компоновочное ИИ-представление идеи крестового стола как набора скользящих друг по другу горизонтальных плит с помощью ИИ-библиотеки открытого доступа DALL-E3 в спонтанных вариантах а, б



Рисунок 7 – Специальное представление с помощью ИИ идеи крестового стола и интерфейса взаимодействия с ним авторов-студентов