

МКЭ-АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЖЕСТКОСТИ ЧУГУНО-БЕТОННОГО ИНДЕКСНОГО СТОЛА ДЛЯ КРУПНОГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКА

Довнар С. С., Макаренко К. Д., Николаев Д. А.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: kirillmakarenko@forwork@gmail.com

Summary. FEA simulation of the huge indexing table for a multi-purpose machine tool is provided. Excessive corner flexibility of the initial design is revealed. A set of reinforcing design solutions is generated. Several combinations of cast iron ribs and polymer concrete inserts are analyzed. Corner rigidity is enhanced from 48.8 to 388.5 N/ μm with table weight rising from 5.36 to 6.98 tons only. Covering of rib pattern by polymer concrete coating is found as an effective technic for corner reinforcing.

Работа относится к станкостроению и посвящена МКЭ-анализу крупногабаритного индексного (дискретно вращающегося) стола. Стол несет на себе обрабатываемую деталь и воспринимает силы резания. Стол является частью тяжелого многоцелевого станка с ЧПУ и должен обладать, точностью жесткостью и прочностью. Стол опирается (рис. 1) на станину по кольцевой поверхности А и вращается вокруг оси центрирующего отверстия В. Инденторы I являются деталями для тестового нагружения модели стола силами в ходе моделирования.

Исходная вариант стола T1 (рис. 1, 2) представляет собой чугунную отливку, прецизионно плоскую сверху и ребристую снизу. Она имеет габариты 2,5×2,5×0,3 м и массу 5,360 кг. Данный стол на практике показал недостаточную жесткость по углам. При базировании детали вдоль края стола точность обработки терялась и возбуждались автоколебания в ходе резания.

Для увеличения угловой жесткости предложены два пути – усилить чугунную отливку (модуль упругости чугуна 110 ГПа) и заполнить полости между ребрами отливки полимербетоном (модуль упругости 30 ГПа). Усиленная отливка RT1 получила большее число ребер и большую высоту (0,39 м) при увеличении массы до 6340 кг. Стол T1 с добавленной снизу полимербетонной подкладкой (405 кг) обозначим как T2, а стол RT1, усиленный полимербетоном (648 кг), как RT2.

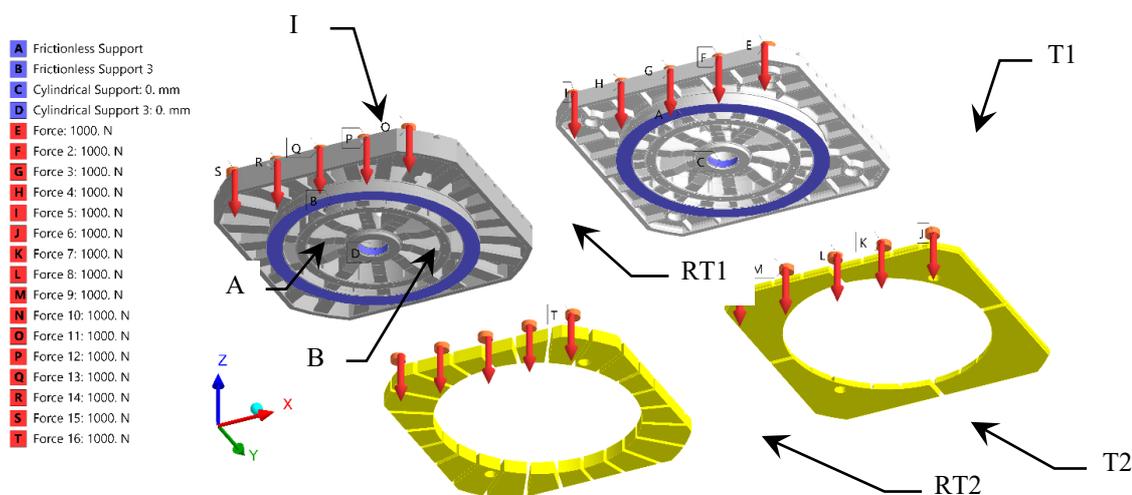


Рисунок 1 – Индексный стол станка (вид снизу) в исходном варианте T1 и в усиленном RT1, а также полимербетонные вставки для усиления T1 до T2 и RT1 до RT2

Эффективность каждого решения следует оценить с помощью виртуальных испытаний. Была построена линейная изотропная модель, в которой чугунные и полимербетонные части были сцеплены контактными парами со статусом *bonded*. МКЭ-анализ велся в статической постановке. Динамические задачи запланированы как следующий шаг проекта. Базовым вариантом нагружения (ВН1, рис. 1) было приложение вертикальной силы в 1 кН на каждый из 5-ти инденторов. Кроме того, сосредоточенной одиночной силой тестировали углы стола на их жесткость (ВН2).

На рис. 2 представлены картины вертикальных перемещений (а) и эквивалентных напряжений (б) при ВН1. Они подтверждают, что для исходного стола Т1 углы действительно весьма податливы (маркер «-23.839» мкм) и являются слабым местом всей несущей системы станка. Причиной выступает низкая изгибная жесткость углов. Это видно по распределению изгибных напряжений (возле маркера «0.29105» МПа). Для квадратного стола наблюдается ситуация жесткого вписанного круга (центр в О) и свешивающихся углов С. Вертикальная жесткость угла при тестировании одной силой (ВН2) составляет только 48,8 Н/мкм.

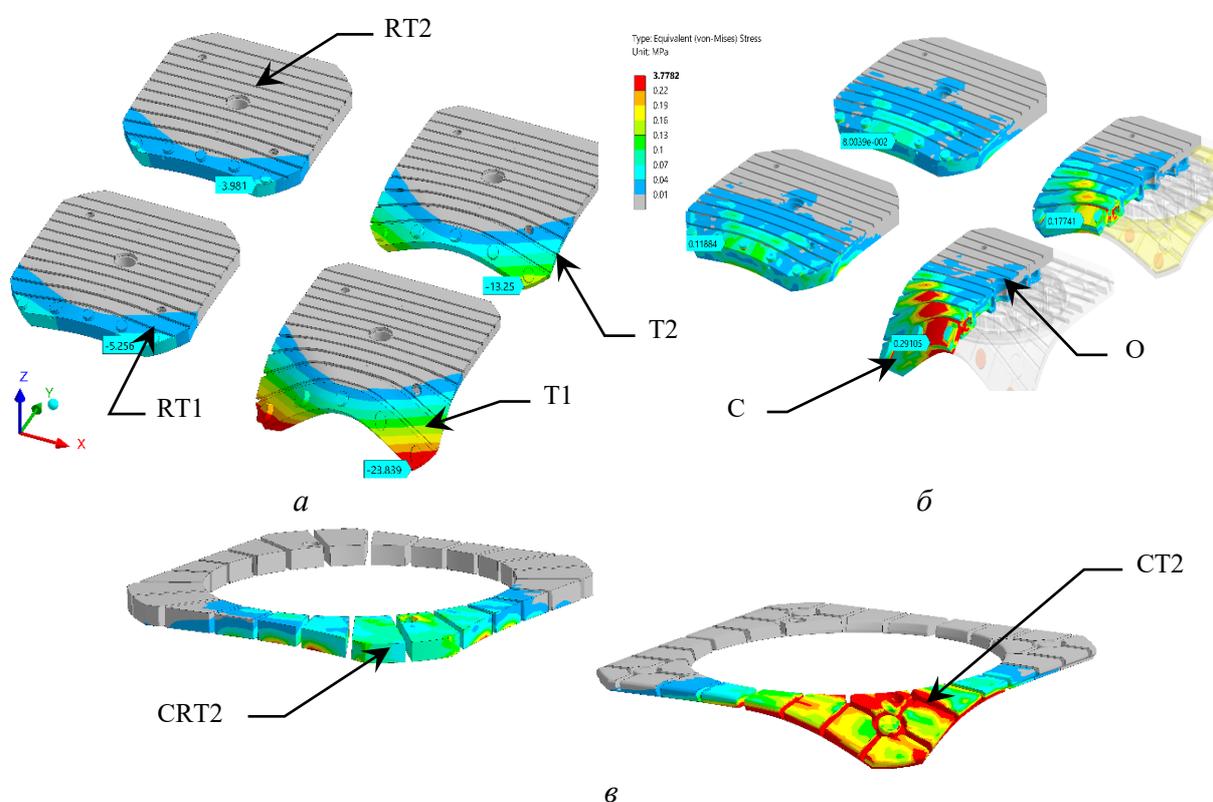


Рисунок 2 – Картины вертикальных (по Z) перемещений (а; мкм), эквивалентных напряжений (б; МПа) и касательных напряжений (в; МПа; интерфейс «бетон – чугун») при тестовом нагружении стороны стола ВН1 (по 1 кН на каждом из 5 инденторов). (Вид сверху; $\times 35000$)

Применение полимербетона (Т2) существенно улучшает ситуацию. Прогиб угла («-13.25» мкм) снижается в $\sim 1,8$ раза. Жесткость возрастает до 94,4 Н/мкм. Изгибные напряжения падают до «0.17741» МПа. Таким образом, усиление полимербетоном вполне эффективно, если нет возможности заменить индексный стол.

Усиленный стол RT1 выше предшественника на 90 мм и имеет более развитую систему ребер. Шаг между ребрами сокращен вдвое. Масса отливки поднялась на 18 %. Изгибная жесткость на углах достигла 286,5 Н/мкм (в 5,87 раз по сравнению с

T1). Вариант RT1 решает проблему жесткости и прочности стола. Напряжения в чугуне снижаются до «0.11884» МПа.

Заполнение усиленного стола полимербетоном (вариант RT2) полезно, но не меняет ситуацию кардинально. Жесткость поднимается только на 36 % и достигает 388,5 Н/мкм. Для жесткого стола усиление полимербетоном, по-видимому, более важно для демпфирования вибраций. Отметим, что тонкая бетонная вставка (СТ2 на рис. 3, в) имеет гораздо более высокие касательные напряжения на границе с чугуном, чем толстая (CRT2).

Полимербетонная заливка в полости оребрения оказывается эффективным средством повышения жесткости (до 1,8 раз) податливых деталей. Это достигается при небольшом возрастании их совокупной массы (только на 8 %).

УДК 621.9.011:517.962.1

БИОНИЧЕСКАЯ РЕНОВАЦИЯ КОЛОННЫ ТЯЖЕЛОГО ПРЕЦИЗИОННОГО СТАНКА С ЧПУ

Довнар С. С., Лапука А. Д.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: stanislaw.dovnar@gmail.com

***Summary.** Bionic solution for reinforcement of “travelling column” machine is developed. It concerns special project of old heavy precise machine redesign and renovation. It is proposed to attach tree-like polymer-concrete outer bandage to the flexible column. Bionic-shape vertical console is created. Design is proved by FEA simulation. Static rigidity is increased twice. Bending eigenmode frequencies rises from 14–18 Hz range to the 26–31 Hz one. Torsional resonance shifts frequency from 35.2 to 52.9 Hz. Resonance amplitudes are weakened in 1.88–2.76 times. Bionic bandage is recommended for static so dynamic conditions. It takes only 28 % growth of the weight.*

Работа относится к процессу реновации тяжелого сверлильно-фрезерно-расточного (СФР) станка. СФР-станок имеет (рис. 1, а) колонну, движущуюся на салазках продольно. По колонне вертикально перемещается суппорт с ползуном. Ползун несет шпиндельный узел с инструментом. Ползун может двигаться поперечно. Станок управляется ЧПУ и предназначен для полной (черновой и чистовой) обработки крупных деталей на одной позиции.

Проблемой является статическая податливость несущей системы станка (НСС) при черновой обработке. На этапе чистового резания в системе возбуждаются существенные резонансы. Это ведет к автоколебаниям и потере качества резания. Обход резонансов возможен, но снижает производительность и технологические возможности машины.

СФР-станок нуждается в повышении статической и динамической жесткости. При реновации требуется сохранить крупные детали, например, колонну, так как за годы службы они освободились от остаточных напряжений и могут обеспечить точность.

С помощью МКЭ-анализа было установлено, что ключевым звеном в НСС является колонна. Было принято решение усилить ее с помощью наружного бандажа (рис. 1, б). Бандаж создан из полимербетона. Для обеспечения эффективности бандажа предложено придать ему бионическую форму с древовидным профилем ДП. Возникает бионический бандаж (ББ), спроектированный подобным стволу и прикорневой части дерева (рис. 1, в). Профиль ДП получен по результатам сканирования белорусских деревьев долговечных пород.

В результате возникает рациональная вертикальная консоль, состоящая из колонны и ББ. Она близка к идеальной равнопрочной балке. Вариация равнопрочной балки берется из мира деревьев, где ДП оптимизирован природой, и переносится в область техники.