

модулей, составляющих комплекс, может быть сформирован в зависимости от конструкции конкретной машины, а степень их проработки – в зависимости от поставленных перед исследователем задач.

Список литературы: 1. Александров Е.Е., Волонцевич Д.О., Карпенко В.А. и др. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин. // Под общ. ред. А.Н.Туренко. – Харьков: Изд-во ХГАДТУ, 2001, – 640 с. 2. Ульянов Н.А., Ронинсон Е.Г., Соловьев В.Г. Самоходные колесные землеройно-транспортные машины. / Под ред. Н.А.Ульянова. – М.: Машиностроение, 1976. – 359 с. 3. Ульянов Н.А. Колесные двигатели строительных и дорожных машин: Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1982. – 279 с. 4. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Машиностроение, 1981. – 335 с. 5. Баловнев В.И., Завадский Ю.В., Кустарев Г.В. Использование ЭВМ при исследовании эффективности дорожных машин методами математического моделирования. – М.: Изд-во МАДИ, 1987. – 104 с. 6. Карпенко В.А., Качур В.М., Волонцевич Д.О. К вопросу моделирования подсистемы тягач – прицеп – подвеска - движитель шарнирно-сочлененных колесных машин // Вісник НТУ "ХПИ". Тем. вип. "Автомобіле- та тракторобудування". –Харків: НТУ "ХПИ", – 2004. – №2. – С.26-30.

Поступила в редколлегию 12.10.06

УДК 519.2:621.658.512

**А.В. ГРАБОВСКИЙ, А.Ю. ТАНЧЕНКО,
В.И. СЕРИКОВ**, канд. техн. наук, НТУ „ХПИ”,
М.М. ПЕКЛИЧ, ОАО „Головной специализированный
конструкторско-технологический институт”, г. Мариуполь

СОЗДАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ БАЗОВЫХ ПЛИТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Запропонована керуюча програмна оболонка, яка дозволяє проводити багатоваріантні розрахунки базових плит верстатних пристосувань з Т-образними пазами. Представлені тестові розрахунки досліджуваного класу конструкцій.

The managing shell program is offered allowing to conduct the multiple calculations of base frame of machine-tools with tee slots. Tests are presented calculations of the explored class of constructions.

Введение. Многолетний опыт использования различных станков, точность изготовления, а также требования к сложности изготавливаемых на станках деталей показали, что необходимы качественно новые подходы к изготовлению и расчету различных частей станков. Это связано с допустимой точностью изготавливаемых деталей, а также с необходимостью удешевления технологического оборудования. Для этого необходимо использовать более точные методики расчетов различных частей и узлов оборудования, на котором будут в дальнейшем производиться различного рода ответственные, точные технологические детали и конструкции [1].

Постановка задачи. Многолетний опыт эксплуатации станочных приспособлений различной конструкции показывает, что на качество обработки детали влияет не только надежное ее закрепление в крепежной станине, но и деформация самой станины в ходе обработки заготовки. Таким образом, необходимо учитывать величину и характер силовой нагрузки и, в зависимости от желаемой точности, рассчитывать конструкцию крепежной станины.

Одним из направлений развития конструкций станочных приспособлений является расчет базовых плит с Т-образными пазами под различные станки, в том числе станки с числовым программным управлением. Базовая плита представляет собой массивную плиту с вырезанными в ней пазами для крепления заготовки (рис. 1). Наибольший интерес представляют ее жесткостные характеристики, оценкой которых может служить максимальный прогиб, который очевидно будет иметь место в центре плиты. На жесткостные характеристики станины существенное влияние оказывает геометрия крепежного паза, поэтому, варьируя этими размерами в допустимых пределах, можно подобрать оптимальные их соотношения с целью получения наименьшего прогиба.

Данные расчеты необходимы для определения максимального прогиба, исследования вибрации базовой плиты при обработке деталей. Прогиб и вибрации возникают в результате силового воздействия фрезы, резца и т. д. на изготавливаемую деталь, закрепленную на базовой плите.

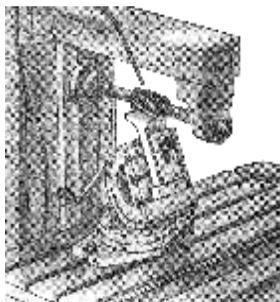


Рис. 1. Базовая плита для закрепления деталей

Ранее при изготовлении базовых плит большинство расчетов производилось приближенно, это приводило к значительному запасу по прогибу, что в свою очередь увеличивало толщину плиты. Увеличение толщины делало плиту более массивной, что затрудняло ее перемещение. В настоящее время можно уменьшить количество используемого металла для изготовления этих плит, это позволит сделать технологическое оборудование менее металлоемким, дорогостоящим и более легкоуправляемым.

Также базовые плиты очень часто используются при проведении различных высокоточных экспериментов, в которых необходимо оценивать степень погрешности, вносимой поверочной плитой.

Таким образом, возникла задача: создать управляющую программную

оболочку, которая будет помогать обычному инженеру проводить многовариантные расчеты базовых плит с Т-образными пазами.

Методика решения. В научно-технической литературе имеется много работ, посвященных применению метода конечных элементов (МКЭ) для расчетов сложных механических систем и машиностроительных конструкций [2, 3]. МКЭ сейчас нашел реализацию во многих современных САЕ-пакетах, например, таких как ANSYS, ABACUS, COSMOS/M и т.п. пакетах. Эти программы обладают хорошей эффективностью применения, несмотря на большую стоимость продукта, необходимость использования мощной вычислительной техники и высокие требования к квалификации пользователя.

Интегральной оценкой жесткостных характеристик базовой плиты может служить максимальный прогиб плиты, имеющий место в ее центре. Таким образом, центр станины – зона наибольшего отклика от силового воздействия. Поэтому в качестве вынуждающего силового фактора рассмотрим сосредоточенную силу, действующую в месте наибольшего прогиба перпендикулярно плите.

При расчете базовой плиты с пазами предлагается использовать предложенный ранее обобщенный параметрический подход для создания геометрии и проведения расчетов исследуемого объекта [4, 5]. Построенная модель в сочетании с информацией о действующих на объект нагрузках дает возможность проводить многовариантные прочностные и жесткостные расчеты крепежной станины. Специализированная управляющая программа, по сути представляя собой элемент САПР, позволяет упростить и в какой-то мере автоматизировать этот процесс. Программа была написана в среде программирования Object Pascal. С ее помощью исключается этап прямого изменения каких-либо параметров конструкции непосредственно в САЕ-пакете (рис. 2).

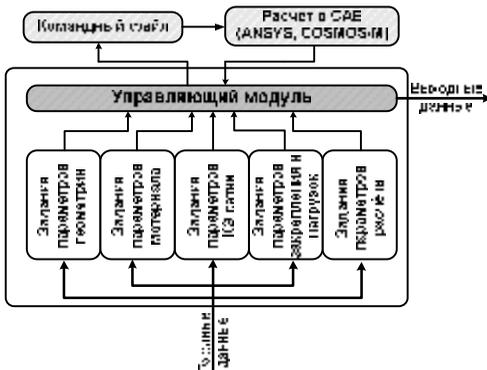


Рис. 2. Общая структура программно-модельного комплекса для исследования жёсткости крепежной плиты

Сложности общения с программным комплексом эта программа берет на себя, предоставляя пользователю простой интерфейс для изменения характеристик конструкции и нагружения. Созданная программа в дальнейшем может легко настраиваться и дополняться под условия конкретной задачи, после чего выводит в удобном виде (сохранять графические рисунки, создавать отчет в электронных таблицах).

Математическая модель. Среди численных методов метод конечных элементов на сегодняшний день наиболее универсален для численного расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции. Он особенно хорош своей гибкостью, простотой программной реализации, а также тем, что хорошо подходит для интерпретации физики изучаемого явления.

Фундаментальный принцип МКЭ заключается в разбиении изучаемой области на элементарные области конечных размеров. В каждой из этих областей, называемых конечными элементами (КЭ), неизвестная функция аппроксимируется полиномом. Разбиение или дискретизация области делается с учетом некоторых правил, позволяющих обеспечить эффективность производимых расчетов.

Если используется МКЭ в варианте метода перемещений, то за основные неизвестные принимаются компоненты перемещений в узловых точках, расположение которых зависит от формы подобласти, вида используемого полинома. При этом НДС элемента однозначно определяется через его узловые перемещения. В пространственных задачах перемещения в подобласти аппроксимируются трехмерной вектор-функцией

$$\mathbf{u}(x_1, x_2, x_3) = G(x_1, x_2, x_3)\mathbf{u}, \quad (1)$$

где $G(x_1, x_2, x_3)$ – матрица, \mathbf{u} – вектор, состоящий из фиксированных значений искомых перемещений в выбранных узловых точках элемента, по которым позже устанавливается связь с соседними элементами. Используя соотношение между растяжением и сдвигом, представленное в матричном виде:

$$\mathbf{e}(x_1, x_2, x_3) = D_G(x_1, x_2, x_3)\mathbf{u}, \quad (2)$$

и закон Гука, записанный следующим образом:

$$\mathbf{s}(x_1, x_2, x_3) = H\mathbf{e}, \quad (3)$$

можно выразить напряжения \mathbf{s} через перемещения \mathbf{u} в фиксированных узлах. Векторы \mathbf{s} , \mathbf{e} составлены из ненулевых компонент соответствующих тензоров. В равенстве (2) D_G можно построить, используя матрицу G и формулы Коши

$$e_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right), \quad i, k = 1, 2, 3. \quad (4)$$

Принцип минимума потенциальной энергии позволяет получить условия равновесия

$$f^{(i)} = K_i u^{(i)} \quad (5)$$

на каждом элементе Ω_i , $i = 1, 2, \dots, N$. Здесь $u^{(i)}$ – вектор искомых перемещений в узловых точках Ω_i , а $f^{(i)}$ – вектор сил, приложенных в узлах Ω_i . Выполнение условий равновесия в узлах всех элементов области приводит к системе линейных алгебраических уравнений относительно перемещений узловых точек

$$Ku = f \quad (6)$$

с симметричной разреженной матрицей K , называемой глобальной матрицей жесткости. На основе физических соображений (заданы условия, сдерживающие перемещения тела как целого) эта матрица – положительно определенная. Решение системы линейных алгебраических уравнений дает нам приближения к перемещениям в узловых точках исследуемой задачи.

Описание программного комплекса. Разработанный в данном проекте специализированный программный комплекс позволяет проводить многовариантные расчеты базовой плиты с пазами. Эта программная оболочка была написана в программной среде Delphi и позволяет:

- варьировать все параметры геометрии;
- выбирать из библиотеки необходимый материал либо задавать вручную параметры прочности;
- предлагает различные варианты разбивки КЭ сетки;
- задавать различные виды условий закрепления на границе, а также задавать различные виды действующих на плиту нагрузок, которые возникают от воздействия фрезы;
- производить расчет по всей геометрии, либо по одной четверти геометрии, учитывая условия симметрии;
- удобное представление и визуализация полученных результатов;
- конвертирование в Excel полученных результатов.

Программа состоит из 32 модулей, каждый из которых отвечает за определенные действия. Некоторые скриншоты программы показаны на рис. 3-9.

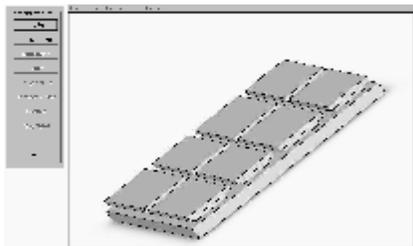


Рис. 3. Общий вид интерфейса программы

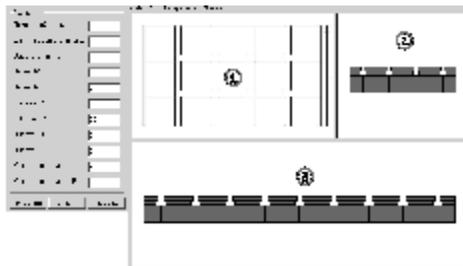


Рис. 4. Общий вид программы в меню изменения параметров геометрии



Рис. 5. Задание свойств материала



Рис. 6. Задания параметров КЭ сетки

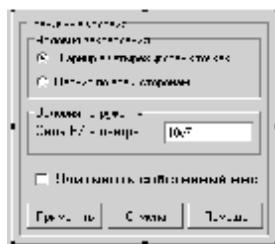


Рис. 7. Задание граничных параметров

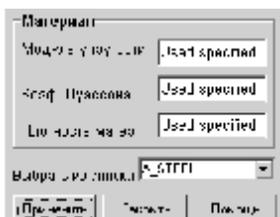


Рис. 8. Параметры материала

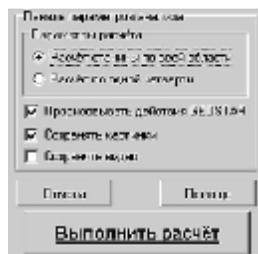


Рис. 9. Параметры расчета

Результаты численного эксперимента. Для демонстрации работоспособности программной оболочки и проведения тестовых расчетов введем следующие параметры расчетов, приведенные в таблице. Там же приведены результаты проведенного численного эксперимента – прогибы базовой плиты с пазами.

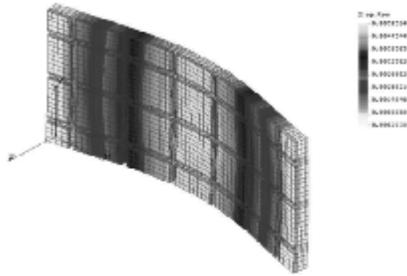
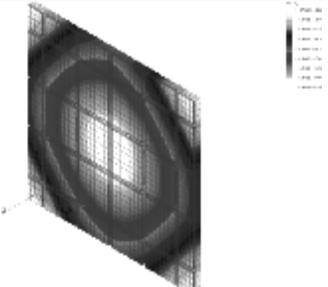
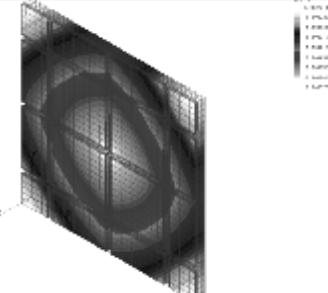
У представленной программы имеется также возможность считать и напряжения, возникающие в базовой плите.

Выводы. В результате работы был создан инструмент для многовариантного исследования прогиба базовой плиты с Т-образными пазами. При некоторой доработке возможности программы могут быть существенно расширены как по типу проводимого анализа, так и по классу исследуемых конструкций.

По картине прогибов видно, что максимальный прогиб находится в центре базовой плиты.

Основной задачей работы было создание программного комплекса, который позволил бы проводить исследования конструкции. Таким образом, проведенные тестовые расчеты являлись проверкой возможностей комплекса.

Созданный программный комплекс позволяет проводить исследования реальных конструкций и определять возможные варианты их улучшения в соответствии с поставленными требованиями.

Параметры геометрии	Визуальное представление прогиба базовой плиты	
	<p>Материал – A_STEEL; Сила – $10e7$ Н</p>	
	<p>Материал – ST_1020; Сила – $10e7$ Н</p>	
	<p>Материал – A_STEEL; Сила – $10e7$ Н</p>	

Список литературы: 1. *Петроченко В.В., Поспелов В.Е.* Пути экономии черных металлов в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1983. – 160 с. 2. *Еременко С. Ю.* Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. – Х.: Основа, 1991. – 272 с. 3. *Сабонадьер Ж. Кулон Ж.* Метод конечных элементов и САПР. – М.: Мир, 1989. – 190 с. 4. *Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А.* Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем // Механика та машинобудування. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – № 1. – С.3-7. 5. *Пелешко Е.В.* Применение обобщенно-параметрического подхода к анализу корпусов транспортных средств специального назначения // Механика та машинобудування. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005. – №1. – С.83-87.

Поступила в редколлегию 10.10.2006