

А.О. Погонін, д.т.н., проф.

Т.О. Дуюн, к.т.н., доц.

А.В. Гріньок, асист.

Бєлгородський державний технологічний університет ім. В.Г. Шухова, Росія

ВИКОРИСТАННЯ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО РОЗРАХУНКОВОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проаналізовані можливості методу кінцевих елементів (МКЕ) щодо його використання при дослідженні елементів металообробної технологічної системи, промодельовано напружено-деформований стан довбача при зубодовбанні.

Актуальність та постановка проблеми. Актуальність математичного моделювання технологічних процесів очевидна у зв'язку з проблемами надійної експлуатації та зниження матеріаломісткості конструкцій.

Одним з найважливіших етапів у проектуванні конструкцій є визначення можливих напружень і деформацій об'єктів, що викликають можливі зміни положень функціональних поверхонь та значень виникаючих деформацій і напружень.

Дані процеси описуються, як правило, диференціальними рівняннями, системою справедливих в певній області диференціальних рівнянь або рівнянь у приватних похідних. При цьому на систему накладаються початкові умови. На цій стадії математична модель є замкнутою і для практичного використання вимагається знайти розв'язок для конкретної множини числових даних. Тут виникають основні труднощі, оскільки точному розв'язанню піддаються рівняння простого виду усередині геометрично простих меж. При цьому стандартні алгоритми рішення існують лише для певних видів рівнянь, а саме рівнянь з постійними коефіцієнтами. При великій кількості залежних змінних виникають значні складнощі. Багато задач, не вирішуваних аналітично, можуть бути досліджені експериментально, що викликає необхідність використання додаткових, часто дорогих ресурсів.

Для подолання цих труднощів і програмної реалізації вищезгаданих розрахунків необхідно звести задачу до алгебраїчної форми, що включає тільки основні арифметичні операції. Для цього безперервну задачу необхідно розділити на елементи, а нескінченна множина чисел, що представляють невідому функцію або функції, замінюється кінцевим числом невідомих параметрів. Вказане визначає наявність певної форми апроксимації. Серед різних можливих видів дискретизації одним з найпростіших є процес переходу до кінцевих елементів, який при практичному використанні має велике значення і одержав назву "метод кінцевих елементів" (МКЕ).

Метою роботи є використання МКЕ, що реалізований в програмному комплексі ANSYS, при аналізі операції зубодовбання.

Основна частина. Метод кінцевих елементів одержав останнім часом велику популярність і широко застосовується при розв'язанні задач механіки твердого деформованого тіла, а також задач, що описуються рівняннями Лапласа або Пуассона.

Метод заснований на мінімізації деякого функціонала і дозволяє звести задачу до системи лінійних рівнянь. Ідея МКЕ полягає в апроксимації суцільних середовищ з нескінченними ступенями вільності (наприклад, таких як температура, тиск, переміщення тощо) сукупністю простих елементів, що мають кінцеве число ступенів вільності і зв'язаних між собою у вузлових точках.

МКЕ має масу переваг, що особливо проявляються при дослідженні складних геометричних об'єктів, що складаються саме з різномірних матеріалів і на які одночасно впливає ряд збудуючих чинників. Ці переваги полягають в наступному.

1. Властивості матеріалів суміжних елементів не повинні бути обов'язково однаковими. Це дозволяє застосовувати метод до тіл, які складаються з декількох матеріалів, що мають різні фізичні властивості.

2. Кінцеві елементи є об'ємними (наприклад, тетраedr або гексаedr), тому задача розв'язується у тривимірній постановці.

3. Криволінійна область може бути апроксимована за допомогою прямолінійних елементів або описана точно за допомогою криволінійних елементів. Таким чином, методом можна користуватися не тільки для областей з "доброю" формою границі.

4. Розміри елементів можуть бути змінними. Це дозволяє укрупнити або подрібнити мережу розбиття області на елементи, якщо в цьому є необхідність, що, наприклад, полегшує розбиття геометрично складного контура. Окрім цього, мережа розбиття може бути зменшена в місцях, де

очікуються високі градієнти шуканої величини і, навпаки, збільшена там, де шукана величина практично постійна, що дозволяє одержати більш точну картину розподілу шуканої величини.

5. Легко задати умови розривних поверхневих навантажень і змішаних граничних умов.

6. Можлива програмна реалізація МКЕ, що використовує універсальний алгоритм для розв'язання локальних задач.

Метод кінцевих елементів дозволяє провести комплексне дослідження стану об'єкта під дією широкого спектра дій і дає можливість оптимізувати конструкцію за вибраними параметрами, такими, наприклад, як переміщення, деформації, напруження, температура і температурні градієнти тощо.

Даний метод реалізований в програмному розрахунковому комплексі ANSYS. Цей універсальний кінцево-елементний пакет протягом 30 останніх років є одним з лідерів серед аналогічних програмних засобів.

За допомогою ANSYS можуть бути проведені наступні види інженерного аналізу конструкцій:

1. Статичний аналіз – визначення напружень і деформацій в умовах статичного навантаження конструкцій. Статичний аналіз може бути лінійним і нелінійним. В процесі нелінійного статичного аналізу можна імітувати пластичну і надпластичну поведінку матеріалів, визначати жорсткість навантаження, задаватися великими деформаціями і напруженнями, враховувати контактні поверхні, аналізувати повзучість.

2. Частотний аналіз, що використовується для обчислення власних частот і типу коливань конструкції.

3. Гармонійний аналіз – визначення відгуку конструкції на навантаження, що змінюються в часі довільно. Тут можна враховувати всі нелінійні ефекти, допустимі в статичному нелінійному аналізі.

4. Вібраційний аналіз, що є розширенням частотного аналізу і використовується для обчислення напружень і деформацій, що виникають в результаті дії індукованих коливань або довільних вібрацій.

Окрім перерахованих задач на основі аналізу конструкції, можна також моделювати механізм їх руйнування, пластичну деформацію і втомне руйнування, враховувати специфіку композиційних матеріалів.

Модулі топографічної і параметричної оптимізації роблять ANSYS незамінним інструментом для інженерних розрахунків високого ступеня складності. ANSYS дає можливість аналізувати складні напружені стани з урахуванням електромагнітних параметрів як у випадках з електричними машинами, не вдаючись до спрощення математичної моделі досліджуваного об'єкта.

Основні стадії розв'язання задач. Отримання розв'язку в комплексі ANSYS складається з трьох послідовно виконуваних етапів.

1. Передпроцесорна підготовка. На цьому етапі, що попередній власне самому розрахунку, виконується тип розрахунку, побудова моделі (або її імпорт, побудований раніше засобами іншої програми) і додаток навантажень. Все це є початковими даними для розв'язання подальших задач. Призначаються фізико-механічні властивості матеріалу досліджуваного об'єкта.

2. Отримання розв'язку. Після створення початкових даних для розв'язку здійснюється перехід безпосередньо до розрахунку. На цій стадії задається вид аналізу, його опції, кроки розв'язання. Закінчується етап запуском на розв'язання кінцево-елементної задачі.

3. Постпроцесорна обробка результатів. В програмі ANSYS стадія постпроцесорної обробки закінчує інженерний аналіз. За допомогою постпроцесорних програмних засобів можливим є звернення до результатів розв'язку та представлення їх в зручному для аналізу вигляді. Результатами розв'язку можуть бути: значення переміщень, температури, напруження, деформації, швидкості, теплові потоки тощо.

Результатом роботи програми на постпроцесорному етапі є графічне або табличне представлення результатів.

Навантаження при розрахунках в ANSYS – це зовнішні та внутрішні зусилля і граничні умови на обмеження переміщень. Навантаження розділені на категорії:

- обмеження ступенів вільності;
- зосереджені сили і моменти сил;
- поверхневий тиск;
- об'ємні сили;
- інерційні навантаження;
- вимушені ненульові зсуви (лінійні та кутові);
- температури (при аналізі термічних напружень);
- потоки для врахування радіаційного розбухання матеріалу.

Програмні засоби дозволяють якнайповніше описувати електромеханічні процеси, що відбуваються при різних режимах роботи. Проектуються оптимальні співвідношення електромагнітних навантажень і геометричних розмірів, що дозволяють знизити при упровадженні витрати на матеріали, виробництво та експлуатацію.

Нижче результатами аналізу напружено-деформованого стану довбача при обробці зубчастого колеса внутрішнього зачіплення наведено приклад оптимізації режимів різання, конструктивних і геометричних параметрів інструмента при зубонарізанні за допомогою кінцево-елементного комплексу ANSYS. Були змінені режими різання, і при збільшенні напружень матеріалу в рамках допустимих зменшилась кількість формоутворювальних рухів інструмента. Процес різання при зубодовбанні має ряд особливостей, а саме: геометричні параметри шару, що зрізається, і напрям сходу стружки змінюються з певною періодичністю; окремі ділянки леза мають неоднакове навантаження, оскільки зрізають шар змінної перетину; довбач в процесі роботи виконує складні рухи, розглядати динаміку яких з математичної точки зору достатньо непросто.

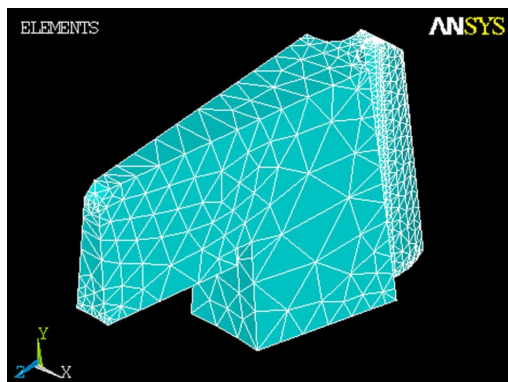


Рис. 1. Кінцево-елементна модель довбача

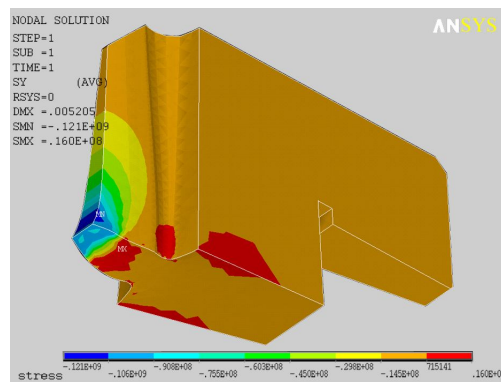


Рис. 2. Розподіл внутрішніх напружень в довбачі

На рис. 1 представлена кінцево-елементна модель довбача, в якій за кінцевий елемент використовується тетраедр.

На рис. 2 представлені результати проведеного аналізу. В місці прикладання навантаження виникають максимальні стискаючі напруження, величина яких зменшується з видаленням від передньої поверхні сектора інструмента. На решті частини передньої поверхні і западин зуба напруження також мають максимальне значення, але із зворотним знаком.

Висновки. Перевагою МКЕ моделі є можливість дослідження тривимірного напружено-деформованого стану матеріалу інструмента, варіювання режимів обробки з метою їх оптимізації та порівняльна простота представлення такої складної, з позицій динаміки, технологічної операції, як зубодовбання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Сегерлинд Л.* Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 236 с.
2. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов: Справочник / Под ред. В.И. Мяченкова – М.: Машиностроение, 1989. – 520 с.
3. *Филоненко С.Н.* Резание металлов. – Киев: Техника, 1975. – 320 с.

ПОГОНІН Анатолій Олексійович – доктор технічних наук, професор, декан машинобудівного факультету, завідувач кафедри технології машинобудування Белгородського державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова, Росія.

Наукові інтереси:

– технологія виготовлення та ремонту великогабаритних деталей.

Тел.: дом. 0722-32-17-71; роб. 0722-35-93-23.

E-mail: tmrk@intbel.ru

ДУЮН Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Белгородського державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова, Росія.

Наукові інтереси:

– напружено-деформований стан елементів технологічної системи.

Тел.: дом. 0722-25-16-80; роб. 0722 25-20-36.

ГРІНЬОК Анна Володимирівна – асистент кафедри технології машинобудування Белгородського державного технологічного університету ім. В.Г. Шухова, Росія.

Наукові інтереси:

– напружено-деформований стан елементів технологічної системи.

Тел.: дом. 0722-27-88-11.

E-mail: grinyokan@rambler.ru

Подано 18.04.2005

Погонін А.О., Дуюн Т.О., Грінюк А.В. Використання кінцево-елементного розрахункового комплексу ANSYS для моделювання напружено-деформованого стану технічних об'єктів

Погонин А.А., Дуюн Т.А., Гринёк А.В. Использование конечно-элементного расчетного комплекса ANSYS для моделирования напряженно-деформированного состояния технических объектов

Pogonin A.A., Duiyn T.A., Griniyok A.V. Usage of finite-difference computation complex ANSYS for modeling of deflected modes of technical objects

УДК 621.914

Використання кінцево-елементного розрахункового комплексу ANSYS для моделювання напружено-деформованого стану технічних об'єктів / А.О. Погонін, Т.О. Дуюн, А.В. Грінюк

Проаналізовані можливості методу кінцевих елементів (МКЕ), щодо його використання при дослідженні елементів металообробної технологічної системи, промодельовано напружено-деформований стан довбача при зубодовбанні.

УДК 621.914

Использование конечно-элементного расчетного комплекса ANSYS для моделирования напряженно-деформированного состояния технических объектов / А.А. Погонин, Т.А. Дуюн, А.В. Гринёк

Проанализированы возможности метода конечных элементов (МКЭ) относительно его использования при исследовании элементов металлообрабатывающей технологической системы, промоделировано напряженно-деформированное состояние долбяка при зубодолблении.

УДК 621.914

Usage of finite-difference computation complex ANSYS for modeling of deflected modes of technical objects / А.А. Pogonin, Т.А. Duiyn, А.В. Griniyok

The abilities of finite-difference method concerning its usage while investigating the components of metal-working technological system are being analyzed. The deflected models of gear cutter while gear-shaping is modeled.