

УДК 519.688.531.3.539.4

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ В РОЗРАХУНКАХ НА МІЦНІСТЬ З УРАХУВАННЯМ КОНЦЕНТРАТОРІВ НАПРУЖЕНЬ

Стеблюк В.І.¹, Розов Ю.Г.²

1 – КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

2 – Херсонський національний технічний університет, м. Херсон, Україна

Анотація: Представлена методика використання і алгоритм проведення чисельного аналізу, заснованого на комп'ютерному моделюванні з використанням методу скінченних елементів, в розрахунках на міцність конструкцій (деталей) з урахуванням концентраторів напружень. Для створення коректної комп'ютерної моделі запропоновані критерії вибору форми і розміру скінченного елемента для використання в чисельному аналізі, що враховують мінімальні характерні геометричні розміри досліджуваного тіла і прийнятну відповідність результатів аналітичного і чисельного розрахунків на міцність. Як приклад використання розробленої методики, представлені результати розрахунків на міцність стволів стрілецької зброї з нарізною внутрішньою поверхнею різної форми.

Ключові слова: розрахунок на міцність; чисельний аналіз; метод скінченних елементів; концентрація напружень.

Альтернативною аналітичним і експериментальним методам розрахунків на міцність є методи комп'ютерного моделювання. З різноманітних методів комп'ютерного моделювання [1] на сьогодні найбільше застосування отримали моделі на основі методу скінченних елементів (МСЕ).

У сучасній літературі про застосування МСЕ простежуються два напрямки. Перше - це роботи теоретичного характеру [2-6], що розглядають математичні аспекти методу. До другого напрямку відносяться роботи прикладного характеру [7, 8], в яких розглядається застосування МСЕ для вирішення конкретних інженерних задач.

В основу МСЕ належить розбиття суцільного середовища (зокрема обсягу тіла) на безліч простих геометричних елементів (підобластей), так званих скінченних елементів (плоскі елементи: прямолінійні і криволінійні, правильні і довільні трикутники і чотирикутники; об'ємні елементи: прямолінійні і криволінійні чотиригранник і шестигранники).

Сукупність скінченних елементів, з'єднаних між собою і прикріплених до основи, утворює розрахункову схему, так звану скінчено-елементну схему або скінчено-елементну модель [9].

Приступаючи до скінчено-елементного аналізу, необхідно розуміти:

- до якої області аналізу відноситься ця задача;
- яка частина всієї конструкції (деталі) повинна досліджуватися детальніше;
- які спрощення можна допустити при створенні розрахункової моделі.

Коректна модель в МСЕ максимально наближена до реального фізичного процесу і дозволяє враховувати вельми тонкі фізичні ефекти. Особливості їх обліку в скінчено-елементних моделях описані в спеціалізованих програмних комплексах.

Багато пакетів скінчено-елементного аналізу досить довго з успіхом застосовують в самих різних областях: автомобілебудуванні, виробництві космічних апаратів, атомній енергетиці. Є приклади успішного їх застосування на вітчизняних підприємствах і в наукових установах.

Вельми великими можливостями розрахунку на міцність має програмний комплекс ANSYS [10], який дозволяє вирішувати крайові задачі практично у всіх інженерних

додатках, таких як: механіка твердого деформованого тіла, аеро- і гідромеханіка, теплопровідність, специфічні трубчасті і оболонкові конструкції і т. п.

Слід визнати, що основною складністю при застосуванні пакетів, які використовують СЕ-аналіз, є постановка завдання адекватно фізичній природі досліджуваного процесу. Це положення повною мірою відноситься до розрахунків на міцність. Рішення реальних 3D завдань при розрахунку навантажених механічних систем на міцність вимагає розбиття досліджуваної конструкції (деталі) на кілька десятків, а то і сотень тисяч скінчених елементів, а іноді з автоматичною перебудовою сітки елементів на кожному кроці за часом. У зв'язку з цим дуже важливо правильно визначити розмір, форму і кількість скінчених елементів.

Мета роботи – розробити методику використання і алгоритм проведення чисельного аналізу, заснованого на комп'ютерному моделюванні з використанням МСЕ, в розрахунках на міцність конструкцій (деталей) з урахуванням концентраторів напружень.

Найбільш небезпечними, з точки зору можливого руйнування, є концентратори напружень – місця з різкою зміною форми поверхні тіла (виточки, канавки, отвори, уступи і т.п., рис. 1), розмірів його перетину або з локалізованою неоднорідністю матеріалу всередині тіла (наприклад, наявність зварного шва), тобто зони, в яких проявляється, так звана, локальна концентрація напружень. Аналіз руйнувань таких виробів показує, що переважна більшість поломок, утворення крихких, втомних тріщин і інших причин втрати несучої здатності виникають, як правило, поблизу цих концентраторів.

Розрахунок на міцність з урахуванням концентраторів напружень може проводитися аналітичними, чисельними методами (наприклад, МСЕ) і експериментально. Використання СЕ-аналізу особливо ефективно у випадках, коли традиційні методи розрахунків скрутні або, більш того, неможливі. В сучасних скінчено-елементних комплексах (в тому числі ANSYS) дослідження концентраторів напружень може бути зроблено шляхом побудови моделі за допомогою скінчено-елементної сітки і нерідко із застосуванням її локального згущення (рис. 2).

Для створення коректної СЕ-моделі з гарантованим адекватним результатом, необхідно визначитися з критеріями вибору форми і значенням характерного розміру скінченого елемента для майбутніх розрахунків. Пропонується використовувати наступні критерії:

1) максимальний розмір скінченого елемента не може перевищувати характерний мінімальний геометричний розмір досліджуваного тіла (наприклад, радіус заокруглення поверхні в вершині концентратора напружень; на рис. 1 - радіус r);

2) правильність відтворення математичною моделлю задачі величини розрахункового напруження, яке виникає в перерізі навантаженого тіла без наявності концентраторів напружень.

Даний підхід може бути використаний в розрахунках на міцність різних деталей (стрижнів (брусів), пластин (дисків), оболонок) при різних видах навантажень. При цьому необхідно дотримуватися наступного алгоритму:

1. Проводиться аналітичний розрахунок на міцність досліджуваного тіла при дії на нього заданих навантажень без урахування концентраторів напружень (наприклад, для стрижнів на рис. 1, в якості об'єкта досліджень, розглядається брус постійного перетину z , так званою, площею-брутто).

2. Проводиться чисельний розрахунок процесу навантаження досліджуваного тіла (без концентраторів напружень) з використанням скінчених елементів різних форми, розміру.

3. З урахуванням прийнятної величини помилки чисельного розрахунку (наприклад, на рівні не більше 2%), визначається характерний розмір скінченого елемента.

4. Проводиться перевірка виконання критерію 1 (неперевищення максимального розміру скінченого елемента характерного мінімального геометричного розміру досліджуваного тіла).

5. Проводиться чисельний аналіз досліджуваної деталі з урахуванням концентраторів напружень.

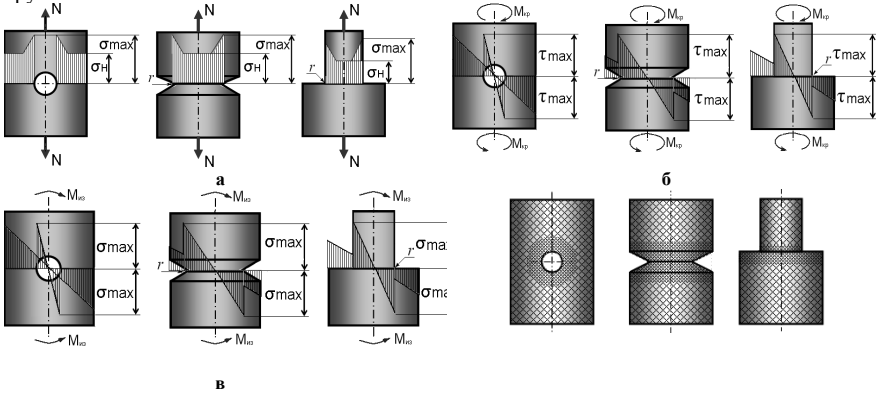


Рис. 1. Локальна концентрація напружень в стрижнях при:

а - розтягуванні; б - крутінні; в – вигині

Дотримуючись розробленої методики аналізу, вирішена задача про міцність ствола калібру 9,0 мм пістолета-кулемета під дією внутрішнього тиску порохових газів, в каналі для нарізної (з прямокутними нарізами) і полігонального профілю (рис. 3) [11]. Даний розрахунок було проведено з використанням комп'ютерної програми ANSYS.

Рис. 2. Скінчено-елементні моделі з локальним згущенням СЕ-сітки

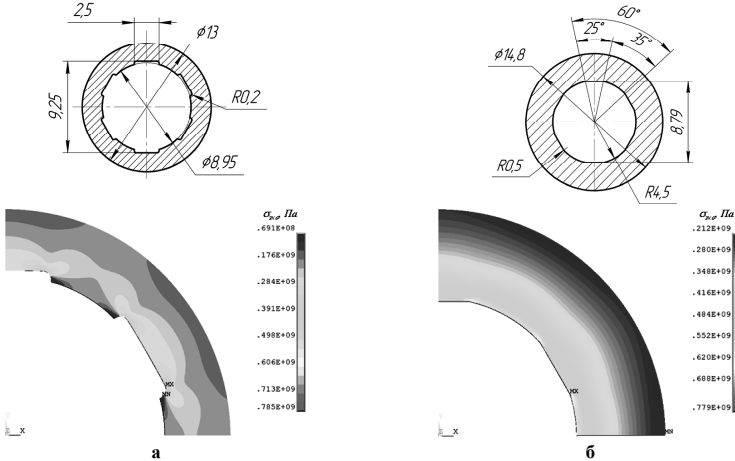


Рис. 3. Поперечний перетин та розподіл еквівалентних напружень в поперечному перерізі ствола з прямокутними нарізами (а) і з полігональним профілем внутрішньої поверхні (б)

Висновки. 1. Розроблено методику та алгоритм проведення чисельного аналізу, заснованого на комп'ютерному моделюванні з використанням МСЕ, в розрахунках на міцність конструкцій (деталей) з урахуванням концентраторів напружень.

2. Розроблена методика заснована на виконанні двох критеріїв:

- про неперевищення максимального розміру скінченного елемента характерного мінімального геометричного розміру досліджуваного тіла;

- про правильність відтворення математичною моделлю задачі величини розрахункового напруження, яке виникає в перерізі навантаженого тіла без наявності концентраторів напружень.

3. Використовуючи розроблену методику, проведено розрахунок на міцність стволів стрілецької зброї з нарізною внутрішньою поверхнею різної форми, які перебувають під дією внутрішнього тиску порохових газів, що підтвердило адекватність прийнятого підходу.

Method of use finite element analysis in the calculation on structural strength

Steblyuk V.I., Rozov Yu.G.

Abstract. The technique of using the algorithm of numerical analysis based on computer simulation using the finite element method in calculations on the strength of structures (parts), taking into account the stress concentrators. To create the correct computer model suggested criteria for selecting the shape and size of the final element to be used in numerical analysis, taking into account the minimum characteristic geometric dimensions of the test body and a reasonable agreement between the results of the analytical and numerical calculations of strength. As an example of the developed method, carried out the calculation on the strength of small arms barrel with a rifled internal surface of various shapes, which are under internal pressure of powder gases.

Keywords: calculation of strength, numerical analysis, finite element method, stress concentration.

Методика использования конечно-элементного анализа в расчётах на прочность

Стеблюк В.І., Розов Ю.Г.

Аннотация. Представлена методика использования и алгоритм проведения численного анализа, основанного на компьютерном моделировании с использованием метода конечных элементов, в расчётах на прочность конструкций (деталей) с учётом концентраторов напряжений. Для создания корректной компьютерной модели предложены критерии выбора формы и размера конечного элемента для использования в численном анализе, учитывающие минимальные характерные геометрические размеры исследуемого тела и приемлемое соответствие результатов аналитического и численного расчётов на прочность. В качестве примера использования разработанной методики, проведен расчёт на прочность стволов стрелкового оружия с нарезной внутренней поверхностью различной формы, находящихся под действием внутреннего давления пороховых газов.

Ключевые слова: расчёт на прочность, численный анализ, метод конечных элементов, концентрация напряжений.

Список літератури

1. Бусленко Н. П. Моделирование складных систем / Н. П. Бусленко. - М.: Наука, 1968. - 368 с.
2. Коннор Дж. Метод скінчених елементів в механіці рідини: пров. з англ. / Дж. Коннор, К. Бреббія; ред. В. А. Постнов. - Л.: Суднобудування, 1979. - 260 с.
3. Мітчелл Е. Метод скінчених елементів для рівнянь з приватними похідними: пров. з англ. / Е. Мітчелл, Р. Уейт; ред. Н. І. Яненко. - М.: Мир, 1981. - 214 с.
4. Розін Л. А. Метод скінчених елементів в застосуванні до пружним системам / Л. А. Розін. - М.: Стройиздат, 1977. - 129 с.
5. Сегерлінд Л. Застосування методу скінчених елементів / Л. Сегерлінд: пров. з англ. / Ред. Б. Є. Победря. - М.: Мир, 1979. - 392 с.
6. Стренг Г. Теорія методу скінчених елементів: пер з англ. / Г. Стренг, Дж. Фікс; ред. Г. І. Марчук. - М.: Мир, 1977. - 349 с.
7. Морозов Е. М. Метод скінчених х елементів в механіці руйнування / Є. М. Морозов, Г. П. Никишка. - М.: Наука, 1980. - 254 с.
8. Постнов В. А. Метод скінчених елементів в розрахунках суднових конструкцій / В. А. Постнов, І. Я. Хархурім. - Л.: Суднобудування, 1974. - 344 с.
9. Шимановський А. О. Застосування методу скінчених елементів у вирішенні завдань прикладної механіки / А. О. Шимановський, О. В. Пулято; Міністерство освіти Республіки Білорусь, Білоруський державний університет транспорту. - Гомель: БелГУТ, 2008. - 61 с.
10. Басов К. А. ANSYS: керівництво користувача / К. А. Басов. - М.: ДМК Пресс, 2005. - 640 с.
11. Розов Ю. Г. Оцінка впливу профілю каналу ствола на міцність стрілецької зброї / Ю. Г. Розов, В. І. Стеблюк, Ю. М. Сидоренко, Д. Б. Шкарлута // Артилерійське і стрілецьке озброєння. Міжнародний науково-технічний журнал. - 2012. - № 1. - С. 35-39.