

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-11-87-28>

УДК 614.839

Чернобривко М.В.Інститут проблем машинобудування
Національної академії наук України**Світлична С.Д.**

Національний університет цивільного захисту України

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ ТИПОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ КРІПЛЕННЯ ПІД ЧАС ДЕТОНАЦІЇ

Анотація. Запропоновано методику чисельного аналізу динамічної міцності та цілісності типових елементів кріплення на основі болтового з'єднання, що є складовими частинами у захисних контейнерах для зберігання вибухонебезпечних речовин. Методика базується на комплексному врахуванні статичного напружено-деформованого стану внаслідок збирання болтового з'єднання. Також ураховується динамічне навантаження внаслідок дії детонаційної ударної хвилі. За критерій локального руйнування матеріалу прийнято значення максимальної пластичної деформації. Математичне моделювання проводиться за методами скінченно-елементного аналізу. Застосування наданої методики на стадії проектування захисних контейнерів дозволяє зменшити кількість експериментальних випробувань і тим самим скоротити час розробки й здешевити її.

Ключові слова: імпульсне навантаження, динамічна міцність, пружно-пластичне деформування, критерій руйнування, болтове з'єднання.

Chernobryvko MarinaInstitute of Mechanical Engineering Problems of
National Academy of Sciences of Ukraine**Svetlichna Svitlana**

National University of Civil Defense of Ukraine

SIMULATION MODELING OF DESTRUCTION OF TYPICAL FASTENING ELEMENTS FOR DETONATION

Summary. A number of precautions are used to prevent injuries to people and industrial equipment during accidents at chemical plants. One of them is based on the use of protective containers for the storage of explosives. A typical container consists of a main structure and a lid of the loading hole. This cover is fixed to the container with fasteners based on bolted connections. To ensure the normative strength of such a connection at the design stage, an analysis of its dynamic strength is performed and the critical loads that cause the destruction of the structure are determined. To reduce the cost of design work, it is advisable to replace a number of experimental tests with numerical studies and simulate the process of destruction. Therefore, the development of methods for numerical analysis of dynamic strength and integrity of typical fasteners based on bolted joints is an urgent problem. Simulation of the destruction of composite structures based on bolted joints should adequately reflect the complex of mechanical loads. First, it is a static load due to the assembly of the bolted connection. Secondly, it is high-speed dynamic loads due to the action of a detonation shock wave. For mathematical modeling of such processes, it is necessary to take into account the influence of the load speed on the mechanical properties of metals in the bolted joint. An important role in modeling the destruction process is played by the correct choice of the criterion of destruction of the structural material. According to the analysis of previous studies, the criterion of maximum plastic deformation was chosen. For the numerical implementation of the developed mathematical model of high-speed deformation and destruction of the folded fastening structure on the basis of bolted connection taking into account nonlinear properties of mechanical characteristics of materials and influence of previous loadings during assembly of a design the finite element method is chosen. The application of the proposed technique at the design stage of protective containers allows to reduce the number of experimental tests and thus reduce the development time and to reduce its cost.

Keywords: impulsive loading, dynamic strength, fracture criterion, bolted connection, failure time.

Постановка проблеми. Для запобігання ураження людей та промислового устаткування під час аварій на об'єктах хімічної промисловості застосовують ряд запобіжних засобів. Один із них базується на використанні захисних контейнерів для зберігання вибухонебезпечних речовин.

Типовий контейнер складається з основної конструкції та кришки загрузочного отвору [1]. Ця кришка фіксується до контейнера кріпильними елементами на основі болтових з'єднань. Для забезпечення нормативної міцності такого

з'єднання на етапі проектної розробки проводиться аналіз його динамічної міцності та визначаються критичні навантаження, що спричиняють руйнування конструкції. Для здешевлення проектних робіт доцільно ряд експериментальних випробувань замінити чисельними дослідженнями та проводити імітаційне моделювання процесу руйнування. Тому розробка методики чисельного аналізу динамічної міцності та цілісності типових елементів кріплення на основі болтових з'єднань є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імітаційне моделювання руйнування складених конструкцій на основі болтових з'єднань повинно адекватно відображати комплекс механічних навантажень. По-перше, це статичні навантаження внаслідок збирання болтового з'єднання. Методи розрахунку таких навантажень докладно описані в монографії [2]. По-друге, це високошвидкісні динамічні навантаження внаслідок дії детонаційної ударної хвилі. Для математичного моделювання таких процесів потрібно враховувати вплив швидкості навантаження на механічні властивості металів в болтовому з'єднанні. Експериментальні дослідження такого впливу на механічні властивості сталей і алюмінієвих сплавів викладено в роботах [3–4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Важливу роль в моделюванні процесу руйнування відіграє правильний вибір критерію руйнування матеріалу конструкції. За аналізом попередніх досліджень [5–6] обрано критерій максимальної пластичної деформації. Для чисельної реалізації розробленої математичної моделі високошвидкісного деформування та руйнування складеної кріпильної конструкції на основі болтового з'єднання з урахуванням нелінійних властивостей механічних характеристик матеріалів та впливу попередніх навантажень під час збирання конструкції обрано метод скінченних елементів [7].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка методики чисельного аналізу динамічної міцності та цілісності типових елементів кріплення на основі болтових з'єднань.

Виклад основного матеріалу. Розглядається типовий елемент кріплення, що складається з болта або гвинта, бонки, групи шайб та притискного елемента (рис. 1).

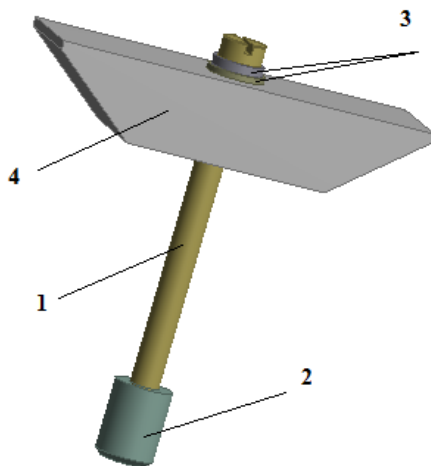


Рис. 1. Схема типового елемента кріплення:
1 – болт або гвинт, 2 – бонка, 3 – шайби,
4 – притискний елемент

Для визначення статичного напружено-деформованого стану, що виникає під час затягування болтового з'єднання, використана розрахункова модель, яка показана на рис. 2. Враховуємо, що бонка (1) та нахилені поверхні (2) і (3) контактують з основною конструкцією захисного контейнера, а сила натягу в болті (4) розраховується на основі обертаючого моменту за

методикою [2]. Для тестового розрахунку, що розглядається, вона складала 8,338 кН. Розрахунки проводились для металів, враховувались їх нелінійні пружно-пластичні властивості.

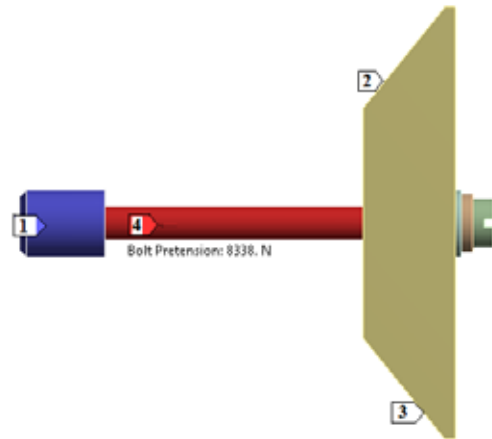


Рис. 2. Розрахункова модель для аналізу напружено-деформованого стану у зібраному елементі кріплення

На рис. 3 показані еквівалентні за критерієм Мізеса пластичні деформації. Вони виникають тільки у локальній зоні притиску болта з шайбами до притискного елемента. В інших частинах конструкції деформується в пружній стадії, а її напружено-деформований стан не викликає руйнування.

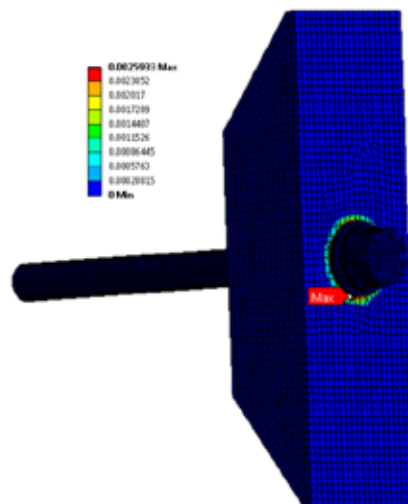


Рис. 3. Еквівалентні пластичні деформації
Джерело: розроблено авторами

Найбільш складною частиною розрахунку є дослідження динамічного напруженого стану під дією ударного навантаження. Для визначення руйнуючих навантажень внаслідок дії ударної хвилі застосовується розрахункова схема, що показана на рис. 4. Поверхня (1) контактує з основною конструкцією захисного контейнера. На поверхні (2) і (3) діють навантаження, які визначаються з розрахунку контактної взаємодії притискного елемента та основної конструкції, що рухається під дією ударної хвилі. А тиск на поверхню (4) визначається за даними по газодинамічному навантаженню, для тестових розрахунків він приймався 11,71 МПа.

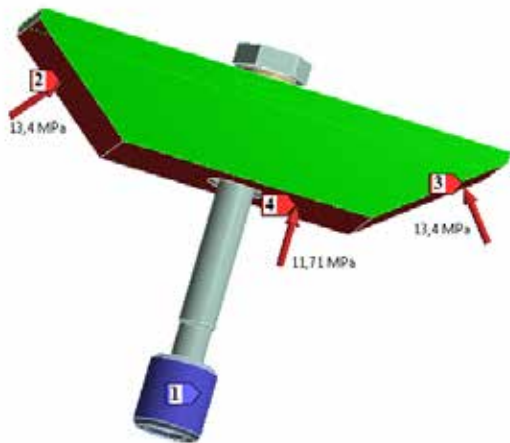


Рис. 4. Розрахункова модель для аналізу руйнування елемента кріплення

Джерело: розроблено авторами

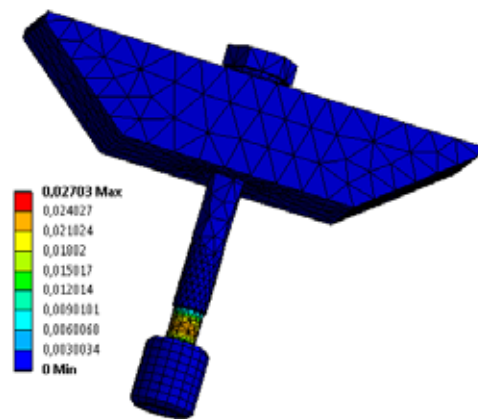


Рис. 5. Еквівалентні пластичні деформації в момент часу 1,33 мс

Джерело: розроблено авторами

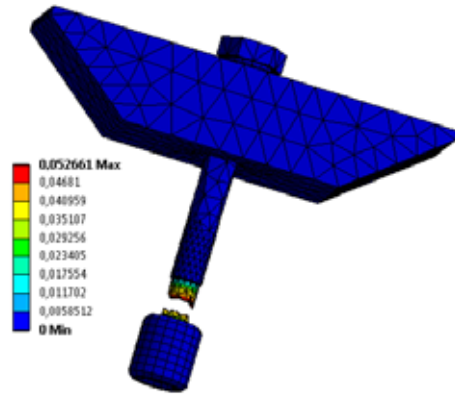


Рис. 6. Еквівалентні пластичні деформації в момент часу 1,45 мс

Джерело: розроблено авторами

За тестовими розрахунками газодинамічне навантаження в 11,71 МПа виявилось руйнуючим. На рис. 5 та рис. 6 показані еквівалентні за критерієм Мізеса пластичні деформації під час руйнування.

За результатами чисельного аналізу обирається діаметр болта та матеріал, що забезпечують цілісність конструкції для нормативного навантаження.

Висновки і пропозиції. Представлена імітаційна модель чисельного аналізу динамічної міцності типових елементів кріплення на основі болтового з'єднання. Вона базується на комплексному врахуванні статичного напружено-деформованого стану внаслідок збирання болтового з'єднання та динамічних навантажень внаслідок дії детонаційної ударної хвилі. Критерієм локального руйнування матеріалу є значення максимальної пластичної деформації. Застосування запропонованої методики на стадії проектування захисних контейнерів дозволяє зменшити кількість експериментальних випробувань і тим самим скоротити час розробки й здешевити її.

Список літератури:

1. Воробьев Ю.С., Чернобрышко М.В., Меша Ю.В. Термоупругопластическое деформирование составной оболочки при детонационном нагружении. *Механика та машинобудування*. 2005. № 1. С. 75–82.
2. Биргер И.А., Иосилевич И.А. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва: Машиностроение, 1990. 68 с.
3. Meyers M.A. Dynamics behavior of materials. New York, 1994. 283 p.
4. Степанов Г.В., Федорчук В.А. Локализованный сдвиг в металлах при ударном нагружении. *Проблемы прочности*. 2000. № 2. С. 27–42.
5. Чернобрышко М.В., Светличная С.Д. Моделирование деформации и разрушения элемента здания при ударно-волновой нагрузке. *Проблемы надзвичайних ситуацій*. 2015. Вип. 21. С. 127–131.
6. Чернобрышко М.В., Светличная С.Д. Модели процесса разрушения сферической оболочки при внутреннем нагружении. *Проблемы надзвичайних ситуацій*. 2017. Вип. 25. С. 144–148.
7. LS-DYNA theory manual. Livermore Software Technology Corporation. 2006. 680 p.

References:

1. Vorobiov Yu.S., Chernobryvko M.V., Mesha Yu.V. (2005). Termouprugoplasticheskoe deformirovanie sostavnoj obolochki pri detonacionnom nagruzhennii [Thermoelastic plastic deformation of composite shell under detonation loading]. *Mechanics and mechanical engineering*, no. 1, pp. 75–82.
2. Birger I.A., Iosilevich I.A. (1990). Rezbovyie i flancevyie soedineniya [Threaded and flange connections]. Moscow. (in Russian)
3. Meyers M.A. (1994). Dynamics behavior of materials. New York.
4. Stepanov G.V., Fedorchuk V.A. (2000). Lokalizovannyj sdvig v metallah pri udarnom nagruzhennii [Localized shear in metals under impact loading]. *Problems of strength*, no. 2, pp. 27–42.
5. Chernobryvko M.V., Svetlichna S.D. (2015). Modelirovanie deformacii i razrusheniya elementa zdaniya pri udarno-volnovoj nagruzke [Modeling of deformation and destruction of a building element under shock-wave load]. *Problems of emergencies*, vol. 21, pp. 127–131.
6. Chernobryvko M.V., Svetlichna S.D. (2017). Modeli processa razrusheniya sfericheskoj obolochki pri vnutrennem nagruzhennii [Process models of spherical shell destruction under internal loading]. *Problems of emergencies*, vol. 25, pp. 144–148.
7. LS-DYNA theory manual (2006). Livermore Software Technology Corporation.