

А. Бабенко

Професор, докт. техн. наук

Я. Лавренко

Національний технічний
університет України «Київський
політехнічний інститут»,
м. Київ

УДК 539.3

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЧАШКИ ЛАБОРАТОРНОЇ ЦЕНТРИФУГИ ПІД ДІЄЮ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Розглянуті аспекти міцності лабораторної центрифуги виробництва Thermo Scientific Electron Corporation. Проведено числлове моделювання чашки ротора лабораторної центрифуги, виготовленої з алюмінієвого сплаву 7075-T73. Встановлені можливості підвищення довговічності і моделювання напружено-деформованого стану центрифуги у відповідних робочих режимах.

довговічність, напружено-деформований стан, механічні властивості матеріалу

Вступ. Однією з актуальних проблем сучасного машинобудування є проблема підвищення довговічності елементів конструкцій. Вимоги підвищення продуктивності машин за одночасного зменшення їхньої ваги супроводжуються збільшенням динамічних навантажень та впливу вібрацій, які виникають.

Внаслідок напружень, що виникають у результаті коливань, відбувається руйнування деталей сучасних машин і механізмів, особливо при виникненні резонансних та нестійких станів. Нестійкі стани, в свою чергу, погіршують функціональні можливості конструкцій.

Лабораторні центрифуги використовують у медичних, біомеханічних, хімічних лабораторіях. Головними задачами конструювання є забезпечення надійності, міцності та простоти у використанні. У зв'язку з різними умовами функціонування, промисловість підтримує широкий діапазон роторів і адаптерів для лабораторних центрифуг, що виготовляються Thermo Scientific Electron Corporation (рис. 1).

В усіх конструкціях виникають сили, викликані робочими процесами, які також залежать від конструктивних факторів, тому потрібно розробити нові й уточнити існуючі



Рис. 1. Різноманітність конфігурацій роторів, що виготовляються Thermo Scientific Electron Corporation

ючі методики розрахунку і моделювання коливань систем і їхнього напружено-деформованого стану, оскільки вони потрібні при розрахунках на міцність та працездатність.

У цій статті досліджені найнавантаженіші об'єкти, якими є ротор та чашки лабораторної центрифуги.

Під час експлуатації було встановлено, що руйнування об'єктів відбувається з появою вібрацій з великими амплітудами при переході через резонанс у процесі розгону або гальмування. Руйнування конструктивних елементів роторів у лабораторних центрифугах створює потенційну небезпеку під час експлуатації.

До подібних конструкцій висувають низку вимог, одна з яких – це те, що за гарантований термін роботи повинна бути забезпечена безаварійність та безпечність. Ці вимоги забезпечує тим, що елементи таких конструкцій не повинні руйнуватись протягом гарантованого терміну роботи і наявністю протиаварійної оболонки.

Для забезпечення надійності конструкцій виробники лабораторних центрифуг виготовляють захисну оболонку центрифуги із запасом міцності, що призводить до збільшення ваги як протиаварійної оболонки, так і загальної ваги центрифуги. В деяких випадках вага центрифуг сягає 150 кг.

Зменшення загальної ваги центрифуги можна досягти за рахунок зменшення ваги протиаварійної оболонки. Це можливо з підвищенням точності прогнозування терміну експлуатації механізму [1, 7]. Для того, щоб прогнозувати ресурс конструктивних елементів, потрібно точніше визначити їхній напружено-деформований стан і механічні властивості матеріалу конструкції [2, 5].

Основна частина. Як було зазначено, одним з конструктивних елементів нових центрифуг є ротор у вигляді хрестовини, до якого прикріплені чотири чашки, в які, у свою чергу, вкладають форми для різної кількості мензурок (рис. 2). Під час роботи таких роторів існує можливість дисбалансу системи, що створює небезпеку руйнування.

У попередніх дослідженнях [1 – 4] встановлено, що руйнування чашок відбувається у місці кріплення самої чашки до ротора (рис. 3), а також на великих обертах шляхом відривання дна чашки. Характер руйнування наведений на рис. 3.

Нами встановлено, що однією з причин, яка сприяє руйнуванню у вигляді відриву дна стаканів від обичайки, є невдалий вибір технології виготовлення заготовки, наслідком чого є те, що структура волокон не збігається з напрямком дії максимальних розтягувальних напружень [4].

Працездатність конструкції може бути визначена як експериментальним шляхом, так і розрахунковим.

Натурні випробування із запуском та зупинкою роботи центрифуги мають високу вартість, тому для того, щоб спрогнозувати ресурс конструкції, було проведено моделювання напружено-деформованого стану центрифуги при різних видах навантажень.

Щоб спрогнозувати ресурс конструкції потрібно визначити напружено-деформований стан (НДС) [6, 7]. Задача визначення НДС розв'язувалась числовими методами широко розповсюдженим ліцензованим програмним пакетом Ansys [8]. Для використання цього пакета потрібно знати механічні властивості матеріалу.

Визначення механічних властивостей. Міцність матеріалу залежить від хімічного складу. У зв'язку з цим був проведений хімічний аналіз матеріалу в металург-

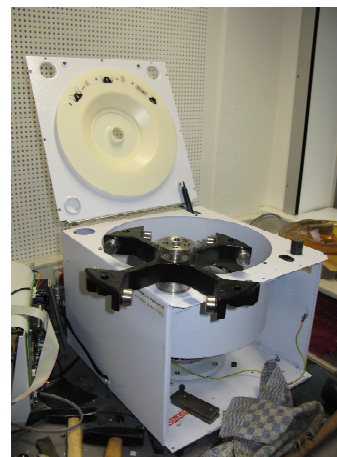
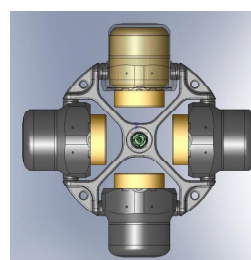
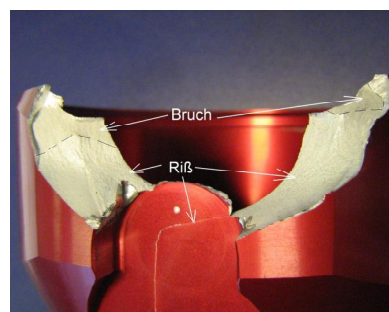


Рис. 2. Лабораторна центрифуга та ротор, що виготовляються Thermo Scientific Electron Corporation



а)



б)

Рис. 3. Зображення ротора з чашками та місце руйнування чашки

гійному відділі на державному підприємстві «Авіаційний науково-технічний комплекс ім. Антонова» (ДП АНТК ім. Антонова) [4]. Встановлено, що хімічний склад, з якого виготовлена чашка лабораторної центрифуги, відповідає алюмінієвому сплаву марки 7075-T73. Механічні

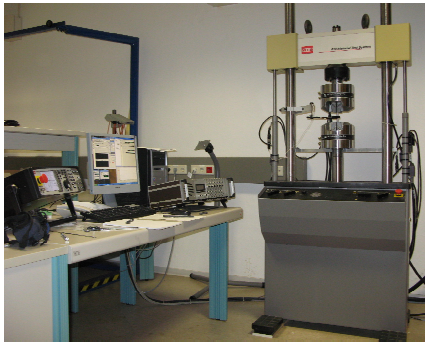


Рис. 4. MTS 810 Material Test System

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку

Площа дна чашки A , мм ²	Радіус центра ваги чашки R , м
4185,4	0,1357
Радіус центра ваги вантажу, м	Маса вантажу m , кг
0,192	0,8
Маса чашки m , кг	Кількість обертів n , хв ⁻¹
0,82	4700

властивості визначались за допомогою експериментального обладнання MTS 810 Material Test System, Оттофон-Геріке Університету Магдебурга (рис. 4) [3, 4].

Числове моделювання. Проведене числове моделювання з різними видами навантажень. Перш за все були визначенні максимальні напруження та деформації, які виникали у чашці під дією її власної ваги. Потім – розрахунки з врахуванням робочої швидкості обертання ротора лабораторної центрифуги. Данні, які використовувались для розрахунку, наведені у табл. 1.

Оскільки максимальна маса вантажу може досягати 0,8 кг, розраховано максимальний тиск 8,89 МПа, який діє на дно чашки та максимальну силу, яку створює вантаж під час обертання – 37,2 кН.

Моделювання НДС показало кореляцію результатів між випробуваннями чашки лабораторної центрифуги шляхом навантаження дна чашки за допомогою штока, що емітує робочий режим. Результати розрахунків за допомогою пакета Ansys наведені у табл. 2 та на рис. 5.

Висновки. Встановлено, що натурні випробування можна замінити шляхом статичного навантаження чашки лабораторної центрифуги силою, прикладеною до її дна. Можливість цієї заміни базується на результатах числового моделювання НДС та подібності характеру руйнування при різних методах навантаження. Числове моделювання виконувалось за допомогою програмного пакета Ansys. Результати виконаної роботи дають можливість скоротити як фінансові витрати, так і час випробувань.

Встановлені механізми руйнування конструкції чашки лабораторної центрифуги під час експлуатації. Одна з причин, яка сприяє руйнуванню, – невдалий вибір технології

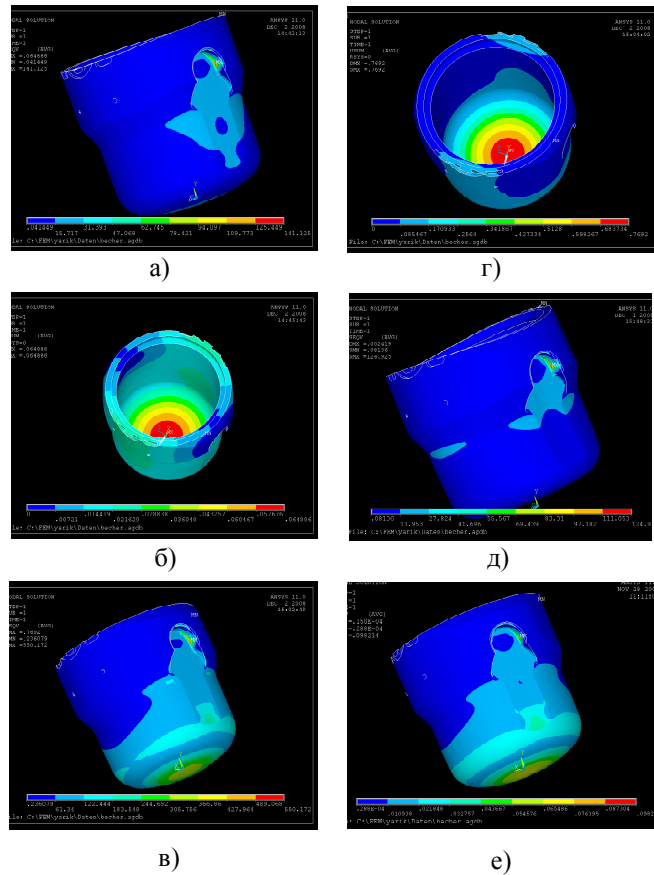


Рис. 5. Розподіл напружень (а), (в), (д) та деформацій (б), (г), (е) по конструкції чашки

Таблиця 2

Результати розрахунків за допомогою пакета Ansys

Сила, Н	Напруження, МПа	Деформація, мм
8,2	141,1	0,06
37211,3	550,2	0,77
8,0	124,9	0,09

виготовлення заготовки, що призводить до відриву дна стакану від обичайки. В усіх випадках моделювання НДС максимальні напруження спостерігаються в точці контакту цапфи ротора і чашок лабораторної центрифуги. Це призводить до руйнування чашки у місці контакту цапфи і стакану.

Література

1. Fischer J., Strackeljan J. FEM-Simulation and stability analyses of high speed rotor system.
2. Fischer J., Strackeljan J. Stability analysis of high speed lab centrifuges considering internal damping in rotor-shaft joints.
3. Лавренко Я.І. До питання про визначення ресурсу конструктивних елементів при змінних навантаженнях.

Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2009. – 56.

4. *Бабенко А.С., Лавренко Я.І.* Вплив технології виготовлення чашки лабораторної центрифуги на її міцність. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – 58.

5. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний: Учебник для вузов. – М.: Высш. школа, 1980. – 408 с.

6. Сопротивление материалов/ Под ред. Акад. АН УССР Писаренко Г.С. – 5-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк., 1986. – 775 с.

7. *Фролов К.В.* Проблемы прочности, долговечности и надежности продукции машиностроения. Испытания при малоцикловом нагружении. Метод. указ. – М.: АН СССР, Ин-т машиновед. им. А.А. Благонравова, 1986. – 88 с.

8. *Чигаев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф.* Ansys для инженеров: Справ. пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.

Отримана 18.04.11

A. Babenko, I. Lavrenko

Stress state of the lab centrifuge cup determination under action of dynamic loading

*National Technical University of Ukraine
«Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv*

The strength aspects of the lab centrifuge of Thermo Scientific Electron Corporation production are considered. Numerical calculation of a rotor cup of lab centrifuge made of AL7075-T73 was shown. Possibilities of life time increase and stress state of the centrifuge simulation to the corresponding operating conditions are established.

Інформація

8-th EUROPEAN SOLID MECHANICS CONFERENCE

9 July 2012 – 13 July 2012

Graz, Austria

The first European Solid Mechanics Conference (ESMC) was held in Munich in 1991. This very successful conference initiated a tri-annual series with subsequent conferences held in Genova, Stockholm, Metz, Thessaloniki, Budapest and Lisbon. The 8th European Solid Mechanics Conference will take place at the Grazer Congress, under the auspices of EUROMECH, during July 9-13, 2012. The aim of the ESMC is to provide a forum for scientists and engineers to exchange ideas on the current state-of-the-art in the mechanics of solids, on new concepts and ideas and to identify important new directions for research.

We invite you to participate in this conference and to contribute to any topic of your scientific interest. The General (contributed) Sessions for this conference have been organized into seven main areas:

Continuum Mechanics
Material Mechanics
Computational Mechanics
Multifield Problems
Structural Mechanics
Experimental Mechanics
Dynamics

In addition, Mini-Symposia will be organized in a range of specialized topics.

Two joint **EUROMECH-ECCOMAS** mini-symposia on

“**Science and Technology of Composites Manufacturing Processes**” and

“**Virtual Testing of Composites**”

will be organized during the Conference.

Contact:

Prof. G.A. Holzapfel

E-mail: holzapfel@tugraz.at