

УДК 62-226.2:620.172.24

Дослідження міцності кінцевого з'єднання лопатки вентилятора

Мартиненко¹ В.Г., Гриценко² М.І.

1 – НТУ «ХП», м. Харків, Україна

2 – ТОВ «ІТЦ «Донвентилятор», м. Харків, Україна

Анотація. В роботі представлена експериментально-чисельна методика проектування та аналізу міцності кінцевого з'єднання хвоста алюмінієвої лопатки вентилятора головного провітрювання шахти із втулкою його робочого колеса. З'єднання реалізоване за допомогою затягування двох болтів, що поєднують два фіксатора із кінцевими поверхнями. Предметом дослідження є максимальне відцентрове навантаження з боку лопатки, яке може витримати таке кінцеве з'єднання, та характер його руйнування при перевищенні можливих навантажень. Дослідження проводиться за допомогою побудованої експериментальної установки на базі гідравлічного пресу, що шляхом створення тиску на нижню поверхню хвоста імітує дію відцентрового навантаження з боку лопатки та дозволяє відтворити характер руйнування з'єднання. Результати експерименту порівнюються із проведеним нелінійним скінченно-елементним аналізом, що враховує пружнопластичні властивості матеріалів та тертя в місцях контактів.

Ключові слова. Міцність; контакт; болтове з'єднання; тертя; метод скінченних елементів.

В роботі представлене експериментальне та чисельне дослідження кінцевого кріплення хвоста алюмінієвої лопатки вентилятора головного провітрювання шахти [1, 2], що засновується на випробуваннях спрощеної натурної моделі з відкинутим пером (рис. 1, а) та її подальшому скінченно-елементному аналізі (рис. 1, б та рис. 2, а). Розрахункова модель враховує пружнопластичні властивості матеріалів та нелінійні контакти із тертям (рис 2, б).

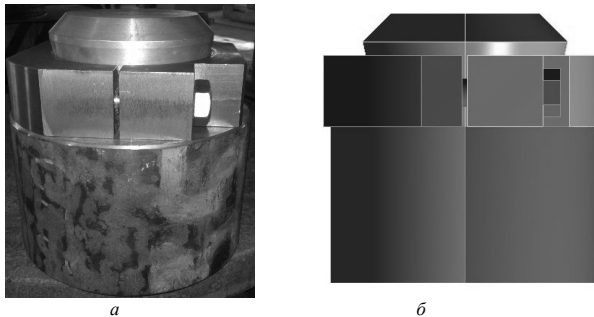


Рис. 1 – Експериментальна установка: а – натурна модель; б – геометрична модель

Запропоноване з'єднання складається з алюмінієвого кінцевого хвоста лопатки, двох сталевих фіксаторів із аналогічними кінцевими поверхнями та двох сталевих болтів, які поєднують фіксатори навколо хвоста. Попередня затяжка болтів дозволяє зафіксувати лопатку в ненавантаженому стані у гнізді та запобігти її небажані повороти. Така затяжка враховується в скінченно-елементному аналізі за допомогою визначення з дотриманням спеціальних правил осьової сили преднатягу болтів [3].

За допомогою гідравлічного пресу, що діє на нижню поверхню хвоста лопатки, імітується вплив відцентрового навантаження на кінцеве з'єднання з боку пера лопатки.

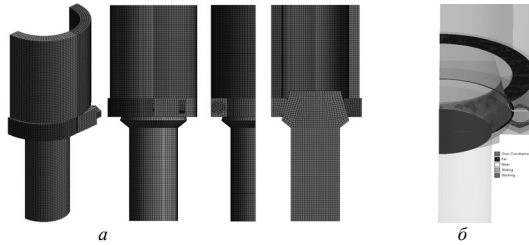


Рис. 2 – Розрахункова модель установки: *a* – скінченно-елементна сітка; *б* – початковий статус контактів

Нелінійний статичний аналіз пружнопластичної поведінки конструкції дозволяє визначити руйнівні навантаження, що спричиняють розрив болтів із подальшим роз'єднанням фіксаторів та вильотом лопатки із посадочного гнізда.

На рис. 3, *a-б* показаний контурний графік еквівалентних за Мізесом напружень в найбільш навантаженій частині з'єднання. Як видно з графіків, максимальні напруження, які дорівнюють 845 МПа, досягаються в робочій частині болтів (рис 4, *a*), що повністю відповідає характеру руйнування конструкції (рис 4, *б*) при досягненні максимального еквівалентного навантаження на неї 412 кН. Експериментальне дослідження підтверджує коректність визначення контактних напружень в місці кінчної посадки (рис 5, *a-з*).



Рис. 3 – Контурний графік еквівалентних за Мізесом напружень в експериментальній установці, [МПа]

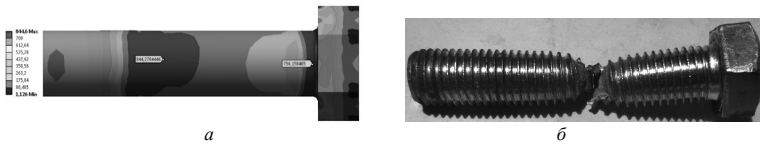


Рис. 4 – Болт після руйнівного навантаження: *a* – контурний графік еквівалентних за Мізесом напружень, [МПа]; *б* – реальний зразок

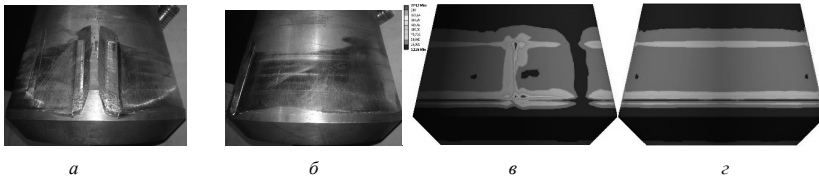


Рис. 5 – Кінчна поверхня лопатки: *a* – реальний зразок, вид збоку; *б* – реальний зразок, вид спереду; *в* – контурний графік напружень, [МПа], вид збоку; *г* – контурний графік напружень, [МПа], вид спереду

Як видно з графіків, в місці кінчного з'єднання еквівалентні за Мізесом напруження перевищують умовну границю текучості використаного литтєвого алюмінію, яка дорівнює 170 МПа, що призводить до появи в цих місцях характерних зон пластичної деформації (рис. 5, а-б). У відповідності до статичного аналізу максимальні еквівалентні за Мізесом напруження в болті перевищують границю тимчасового опору сталі, з якої вони виконані, що дорівнює 825 МПа.

Відповідність результатів статичного аналізу результатам натурального експерименту дає можливість зробити висновок про коректність проведеного скінченно-елементного моделювання. Це дозволяє використовувати розроблену постановку задачі для визначення міцності конструкцій вентиляторів із кінчними з'єднаннями лопаток без виконання попередніх експериментальних досліджень.

Окрім того, розроблена методика може бути поширена на більший круг кінчних та циліндричних з'єднань завдяки простоті підходу та універсальності постановки нелінійної скінченно-елементної задачі, що моделює конструкції із попередньо навантаженими чи затягнутими елементами [4].

Experimental and numerical investigation of strength of a fan blade conical joint

Martynenko V.G., Hrytsenko M.I.,

Annotation. The paper presents an experimental numerical technique for designing and analyzing the strength of a conical joint of an aluminum fan blade connection with a sleeve of its impeller. The connection is realized by tightening two bolts, which combine two latches with conical surfaces. The subject of the study is a maximum centrifugal load from the blade, which can be applied to such a conical connection, and a nature of its rupture due to possible loads. The research is performed using a constructed experimental rig based on a hydraulic press, which simulates an action of the centrifugal load of the blade by creating a pressure on a lower surface of the tail and allows to reflect the nature of the connection rupture. The results of the experiment are compared with a nonlinear finite element analysis, which takes into account elastoplastic properties of the materials and friction in contact locations.

Key words. Strength; contact; bolt joint; friction; finite element method.

Исследование прочности конического соединения лопатки вентилятора

Мартыненко В.Г. Гриценко Н.И.

Аннотация. В работе представлена экспериментально-численная методика проектирования и анализа прочности конического соединения хвоста алюминиевой лопатки вентилятора главного проветривания шахты с втулкой его рабочего колеса. Соединение реализовано с помощью затяжки двух болтов, соединяющих два фиксатора с коническими поверхностями. Предметом исследования является максимальная центробежная нагрузка со стороны лопатки, которую может выдержать такое коническое соединение, и характер его разрушения при превышении возможных нагрузок. Исследование проводится с помощью построенной экспериментальной установки на базе гидравлического пресса, который путем создания давления на нижнюю поверхность хвоста имитирует действие центробежной нагрузки со стороны лопатки и позволяет воспроизвести характер разрушения соединения. Результаты эксперимента сравниваются с проведенным нелінійним конечно-элементным анализом, учитывающим упругопластические свойства материалов и трение в местах контактов.

Ключевые слова. Прочность; контакт; болтовое соединение; трение; метод конечных элементов.

Список літератури

1. Мартыненко В.Г., Гриценко Н.И. Анализ статической и динамической прочности осевого вентилятора с учётом аэродинамических свойств потока и неоднородности температурного поля. *Проблемы машиностроения*. 2015. Т. 18, № 4/1. С. 44-52.
2. Мартыненко В.Г., Гриценко М.І., Мавродій С.В. Проектування, аналіз та експериментальне дослідження статичної міцності композиційної біметалічної лопатки вентилятора головного провітрювання шахти. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»*. Серія: Динаміка та міцність машин. 2018. № 38 (1314). С. 20-31.
3. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва: Машиностроение, 1990. 368 с.
4. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчёт на прочность деталей машин. Справочник. Москва: Машиностроение, 1993. 640 с.