

РОЗРАХУНОК ВТОМНИХ РУЙНУВАНЬ ДЛЯ КРОНШТЕЙНА КРОКОВОГО ДВИГУНА В SOLIDWORKS

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Проаналізовано метод дослідження втомних руйнувань в програмі Solidworks. Проведено інженерний аналіз втомних руйнувань для кронштейна крокового двигуна. Знайдено термін служби кронштейна крокового двигуна. Запропоновано шляхи підвищення терміну служби кронштейна крокового двигуна.

Ключові слова: втомне руйнування, кронштейн крокового двигуна, Solidworks.

Abstract

The method of fatigue failure analysis in Solidworks program was examined. An engineering fatigue analysis was carried out for a stepper motor bracket. The service life of the stepper motor bracket was calculated. Ways to increase the service life of the stepper motor bracket were proposed.

Keywords: fatigue failure, stepper motor bracket, Solidworks.

Вступ

В машинобудуванні значна кількість деталей машин [1, 2] працює із змінними по знаку навантаженням, що викликає втомні руйнування [3, 4]. Розрахунок втомних руйнувань базується на S-N кривій, яка вказує сумарну кількість циклів напруження до утворення руйнування [5, 6]. Модуль Simulation [7, 8] програми Solidworks включає потужний інструмент Fatigue для моделювання втомних руйнувань деталей машин [9, 10]. Дослідження властивостей матеріалів деталей машин базується на математичних моделях та методах, що в ходять в компетентності сучасних інженерів [11, 12]. Результати інженерних розрахунків за допомогою інструменту Fatigue дозволяють збільшити термін служби досліджуваних деталей машин [13, 14].

Метою роботи є розрахувати втомні руйнування для кронштейна крокового двигуна та запропонувати шляхи для збільшення його термін служби.

Результати дослідження

У Solidworks Simulation Fatigue при режимі Constant Amplitude для дослідження втомних руйнувань і прогнозування терміну служби деталей використовується емпірично-чисельний підхід, який базується на таких ключових математичних моделях і методах: математична модель втомного руйнування; метод скінченних елементів для розрахунку напружень; метод акумулювання пошкоджень за правилом Пальмгрена-Мінера; початкові припущення та обмеження моделі Constant Amplitude.

Основна концепція математичної моделі втомного руйнування основана на S-N кривій, яка побудована на основі експериментальних даних для відповідних матеріалів (див. рис. 1). Тобто, для кожного значення напруження S вказується відповідна кількість циклів до руйнування N :

$$\log(N) = a - b \cdot \log(S), \quad (1)$$

де N – кількість циклів до втомного руйнування; S – амплітуда напруження; a , b – експериментальні коефіцієнти, що залежать від матеріалу.

Методи скінченних елементів (ФЕМ) протягом аналізу втоми використовується як вихідні дані. В основу цього методу покладено визначення напружено-деформованого стану в результаті статичного аналізу.

У випадку режиму постійної амплітуди (Constant Amplitude) напружень використовується проста

форма правила лінійного сумування пошкоджень:

$$D = n / N, \quad (2)$$

де D – рівень пошкодження ($0 \leq D \leq 1$); n – кількість виконаних циклів навантаження; N – кількість циклів до руйнування при даній амплітуді.

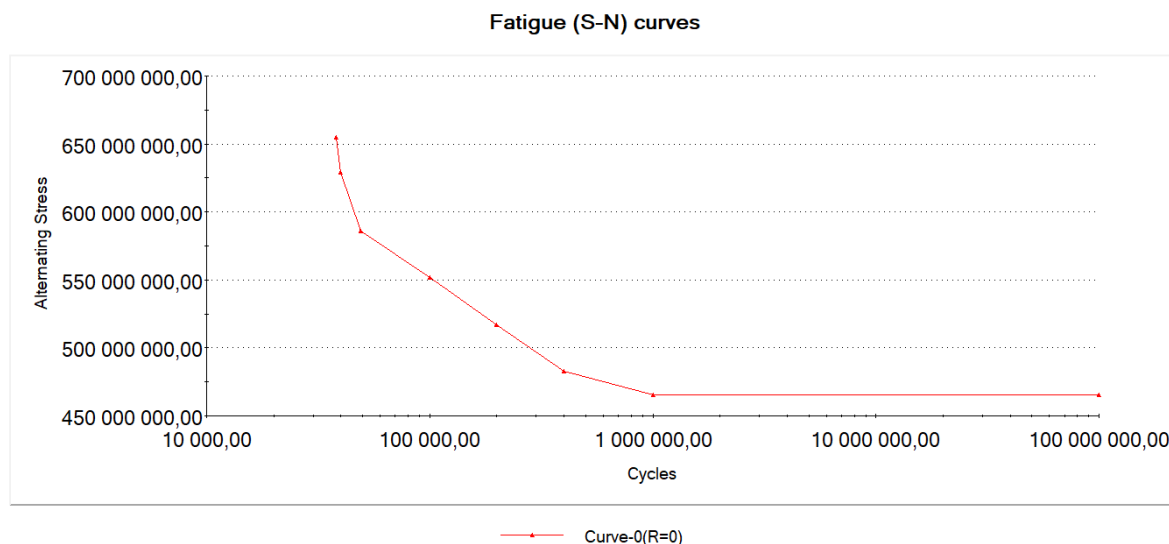


Рис. 1. S-N крива для вуглецевої сталі на основі кривих ASME згідно рекомендацій Solidworks

Початкові припущення та обмеження моделі Constant Amplitude: напруження не перевищують границю пружності матеріалу; кількість циклів однакова в усіх точках; не враховується розвиток тріщин.

Розроблено тривимірну модель кронштейна крокового двигуна (див. рис. 2, а) в програмі Solidworks. Виконано статичний аналіз кронштейна крокового двигуна при закріпленні його гвинтами та реалізації тягової сили 1.5 кН для матеріалу: конструкційна вуглецева якісна сталь AISI 1020.

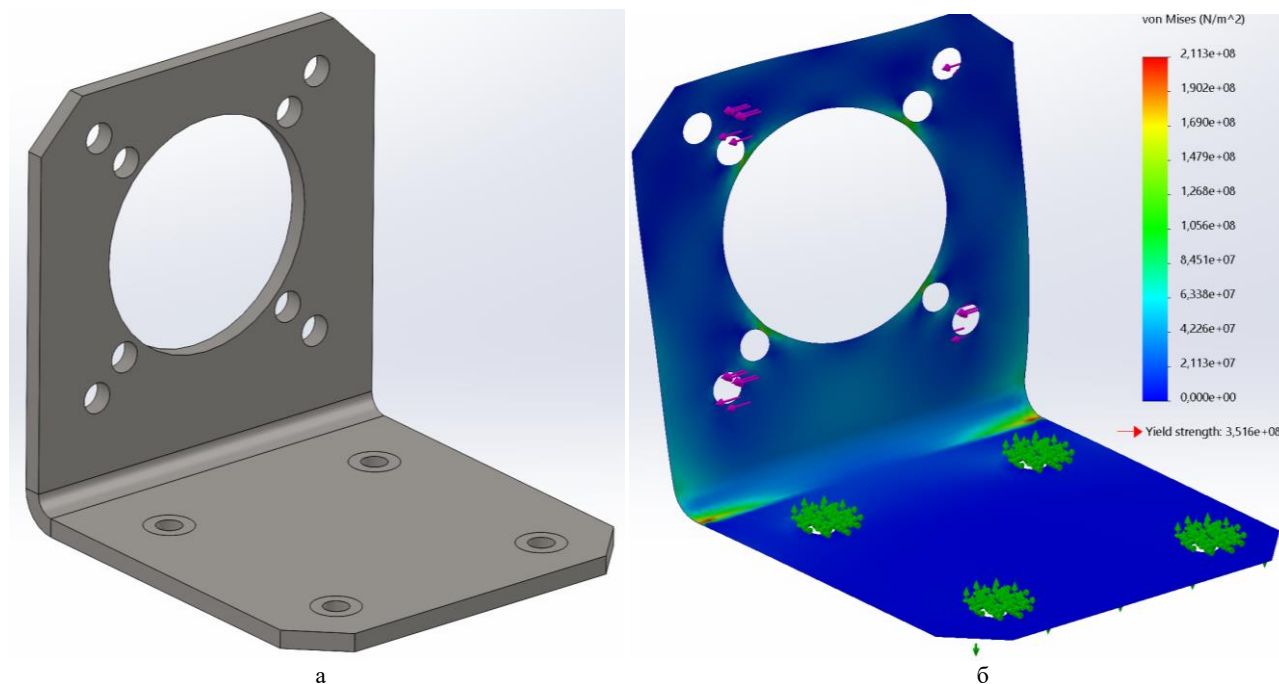


Рис. 2. Тривимірний модель кронштейна крокового двигуна (а) та її статичний аналіз (б) в Solidworks

В результаті статичного аналізу отримали максимальне значення напружень 211,3 МПа, а також коефіцієнт запасу міцності – 1,62, що лежить в межах рекомендованих значень (1,5-2,0) для деталей машин [15].

За розрахунками інструменту Fatigue в режимі Constant Amplitude маємо наявність пошкоджень в зоні згину кронштейну крокового двигуна (див. рис. 3, а). При цьому термін служби деталі відносно не значний та становить 11,8 тисяч циклів (див. рис. 3, б).

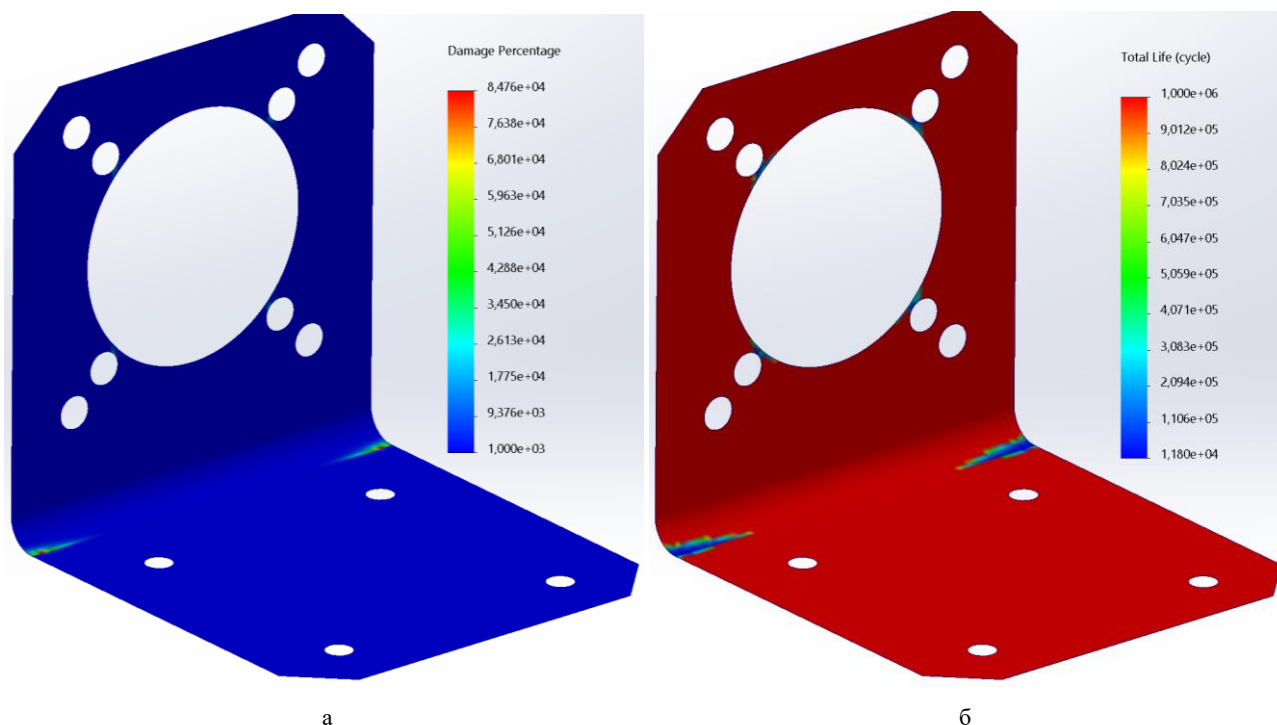


Рис. 3. Результат розрахунку втомних руйнувань з отриманням пошкоджень (а) та терміну служби (б)

Для покращення показників терміну служби кронштейна крокового двигуна пропонуємо: збільшити товщину перерізу листа заготовки (з врахуванням економічної доцільності); додати ребра жорсткості шляхом зварювання; використовувати матеріал з вищою границею втоми (з врахуванням економічної доцільності); зменшити амплітуду навантажень (по можливості). Якщо значного покращення результатів не вдається досягти, то рекомендовано виконувати регулярні перевірки в зоні найбільших втомних навантажень; виявляти і усувати поверхневі тріщини до їх поширення.

Висновки

Виконано дослідження статичного аналізу та втомних руйнувань кронштейна крокового двигуна з конструкційної вуглецевої якісної сталі AISI 1020 в програмі Solidworks. Коефіцієнт запасу міцності для кронштейна крокового двигуна дорівнює 1,62 та знаходиться в межах рекомендованих значень. Розраховано втомні руйнування кронштейна крокового двигуна та знайдено термін служби 11,8 тисяч циклів роботи до появи ознак руйнування. Запропоновано рекомендації для покращення показників терміну служби кронштейна крокового двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kumar P. J., Tarun A. S. S., Gowtham M., Rao P. T., Yashwanth G. Design and fabrication of portable laser cutting and engraving machine. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(1.1), 2018. P. 570-573.
2. Піонткевич О. В., Сухоруков С. І., Сердюк О. В., Домославський В. М. Про лазерний технологічний комплекс на машинобудівному підприємстві. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2022. № 2. С. 96-100.
3. Vishtak I. V., Petrov O. V., Savulyak V. I., Sukhorukov S. I. Influence of the profile of longitudinal grooves of various depths on increasing static characteristics of radial gas bearings. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Vol. 1060, No. 1, 2021. P. 012011

4. Curtis L. R., Ayyub B. M. Uncertainty of Thermodynamic-Entropy-Based Reliability and Remaining Useful Life Predictions Under Variable Amplitude Fatigue. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Vol. 87707, 2023. P. V013T15A024
5. Huzni S., Rahmaddireja J., Fonna S., Ridha M. S-N Curve Estimation of AISI 304 in Air and Corrosive Environment Using Finite Element Method. In *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII*, 2013. pp. 1197-1200.
6. Dong Z., Wang X., Lou W., Huang Y., Zhong M., Fan H., Peng L. Simulation of the Spindle Coupled Multi-Axial Loading Fatigue Test of a Minivan Rear Axle. *Strength of Materials*, 49, 2017. P. 872-896.
7. Петров О. В., Піонткевич О. В., Буда А. Г., Коломієць В. С. Застосування CAD/CAE-системи Solidworks у задачах аналізу міцності деталей верстатних пристосувань. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця : ВНТУ, 2024. Вип. 19. № 1. С. 95–102.
8. Піонткевич О. В., Березюк О. В., Лозінський Д. О., Кавецький О. І. Застосування CAD/CAE-системи Autodesk Inventor для удосконалення фрезерно-гравірувального верстата з ЧПК. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Вінниця : ВНТУ, 2025. Вип. 1. С. 1–9. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2025-1-178-186>
9. Березюк О.В. Науково-технічні основи проектування приводів робочих органів машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів: автореф. дис. д-ра техн. наук. Хмельницький, 2021. 46 с.
10. Піонткевич О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В., Савуляк В. В. Забезпечення результатів вивчення CAD/CAE/CAM систем для підготовки фахівців із спеціальності «Прикладна механіка». Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції «Сучасна освіта - доступність, якість, визнання», 13–14 листопада 2024 р. КраматорськВінниця-Тернопіль, Краматорськ : ДДМА, 2024. С. 247-252.
11. Хом'юк В. В., Хом'юк І. В. Компетентностно-орієнтовані завдання як важливий чинник формування когнітивної складової математичної компетентності майбутніх інженерів. *Збірник наукових праць "Актуальні питання природничо-математичної освіти"*. Вип. 1, 2017. С. 107–114.
12. Хом'юк І. В., Хом'юк В. В. Математичне моделювання в контексті здійснення між предметних зв'язків курсу вищої математики у ВНЗ. *Збірник наукових праць «Актуальні питання природничо-математичної освіти»*. Вип. 2, 2017. С. 43–50.
13. Березюк О. В. та ін. Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'язучих. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, 2022. № 2. С. 36-45.
14. Хомич С. М., Цизь І. Є., Сацюк В. В. Прогнозування терміну працездатності відремонтованої поверхні деталі. *Сільськогосподарські машини*, №49, 2023. С. 105-110.
15. ДСТУ 2824-94 Розрахунки та випробування на міцність. Види і методи механічних випробувань. Терміни та визначення.

Голубович Ігор Сергійович — здобувач вищої освіти групи 2ПМ-24б, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Голубович Олександр Сергійович — здобувач вищої освіти групи 2ПМ-24б, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Науковий керівник: **Хом'юк Віктор Вікторович** — к. техн. наук, доцент кафедри вищої математики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua

Holubovych Ihor S. — student of group 2PM-24b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Holubovych Oleksandr S. — student of group 2PM-24b, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Supervisor: **Khomiuk Viktor V.** — Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Higher Mathematics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: khomyuk@vntu.edu.ua