

УДК 621.8

Розрахунок зубчатої передачі, виготовленої методом 3D-друку з PLA-композиту

В.В. Рубашевський, С.М. Шукаєв

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** В роботі представлений порівняльний аналіз розрахунків параметрів зубчастих передач, виготовлених з полімерно композиційних матеріалів, за класичною методикою та із використанням програмного модуля ANSYS Workbench. Результати розрахунків показали, що для деталей виготовлених методом 3D друку слід враховувати анізотропію механічних властивостей.*

***Ключові слова:** 3D-друк; PLA-композит; перевірочний розрахунок на міцність; зубчата передача.*

Традиційно у виробництві шестерень зубчастих передач використовуються різноманітні металеві сплави, зокрема, вуглецеві та леговані сталі, сірий чавун, бронзи та алюмінієві сплави. Використання полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) для виготовлення зубчастих передач має низку переваг порівняно з металами. Наприклад, ПКМ мають значно меншу щільність, ніж метали, що забезпечує зменшення маси передачі і, відповідно, інерційних навантажень. Крім того, полімери зазвичай дешевші за метали, а технології, такі як лиття під тиском або 3D-друк, знижують витрати на обробку, виключають необхідність в токарній, фрезерній чи термічній обробці. Багато ПКМ мають природні антифрикційні властивості, тому для їх роботи часто не потрібно мастило. Поліаміди, поліацеталі та їх композити зі скловолокном чи вуглецевим волокном мають високу зносостійкість, що підвищує довговічність зубчастих передач. Також ПКМ можуть працювати у парі зі сталевими чи іншими металевими деталями, знижуючи знос останніх. Полімери не піддаються корозії, на відміну від багатьох металів. Це робить їх ідеальними для використання у вологих чи хімічно агресивних середовищах. Перехід на адитивні технології, які активно використовують ПКМ, стає популярним у промисловості завдяки швидкості, економічності та можливості кастомізації деталей.

Адитивні технології (3D-друк) дозволяють швидко створювати прототипи і невеликі партії виробів без дорогих форм та штампів. Оскільки деталі, надруковані на 3D-принтері, виготовляються з пошаровим додаванням плавленого полімеру, то їм властиві ортотропні характеристики, що ускладнює розрахунок напружено-деформованого стану (НДС) виробу.

Методи розрахунку параметрів зубчастих передач, які використовуються для металевих передач, можна застосовувати до передач, виготовлених із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), включаючи ті, що створені методом 3D-друку. Проте для цього необхідно враховувати особливості матеріалів і технології виготовлення, зокрема те, що технологія 3D-друку призводить до появи анізотропії механічних властивостей, тобто міцність деталі залежить від орієнтації шарів друку.

Мета роботи полягає у розрахунку міцністному розрахунку зубчатої передачі виготовленої методом 3D друку аналітичним методом [1]–[3] і МКЕ з використанням програмного модуля ANSYS Workbench.

Для аналізу розрахунків вибрана зубчата прямозуба пара (Рис. 1) з вихідними параметрами, що наведені в таблиці 1. Для виготовлення деталей вибрано монофіламент PLA-Cg+ механічні характеристики якого були дослідженні експериментально в роботах [4]–[6].

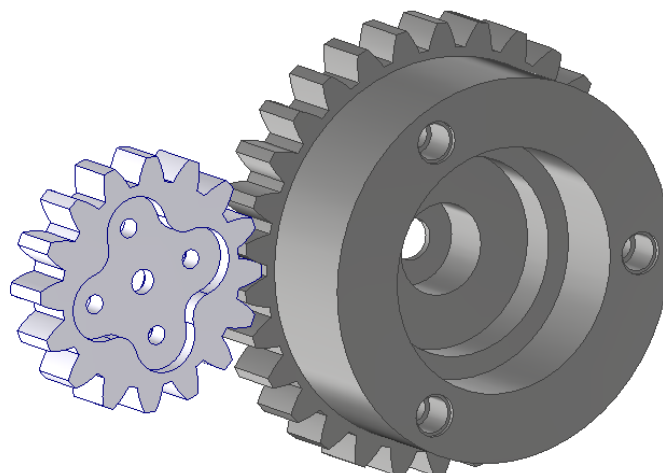


Рис. 1. Зубчата передача

Таблиця 1

Параметри зубчатої прямозубої пари

Параметр	Значення
Кількість зубців шестерні, z_1	16
Кількість зубців колеса, z_2	30
Модуль, m	1,75 мм
Мінімальна ширина грані, b_1	7 мм
Максимальний крутний момент, T	2,35 Нм

Результати розрахунків згідно загально прийнятого підходу [1]–[3] наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків згідно загальноприйнятої методики

Параметр	Значення
Ділильний діаметр, мм: шестерні колеса	28,00 52,50
Діаметр вершин, мм: шестерні колеса	33,22 58,82
Міжосьова відстань, мм	43,17
Передаточне число	0,534
Колова сила, Н	126 Н
Контактні напруження в полюсі зачеплення, МПа	3,2 МПа
Згинаючі напруження в небезпечному перерізі, МПа: шестерні колеса	26,1 МПа 8,5 МПа

Для перевірного розрахунку в ANSYS побудовано модель зубчастого зачеплення в Autodesk Inventor та імпортовано у програмний модуль Workbench [7], [8], на рис. 2 показано результати розрахунку.

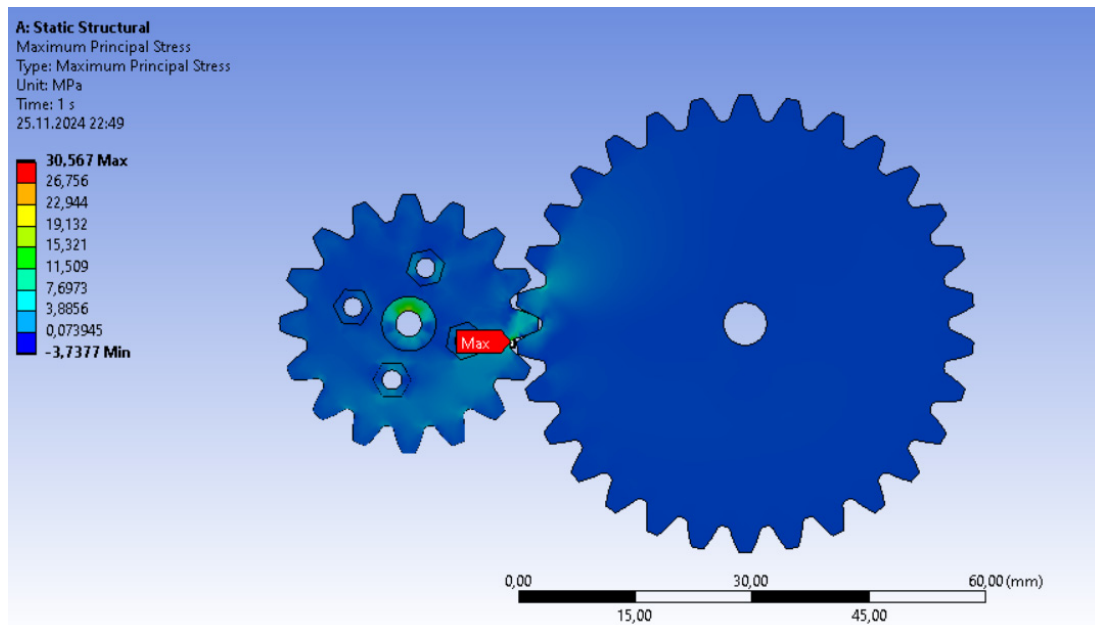


Рис. 2. Результати Maximum Principal Stress

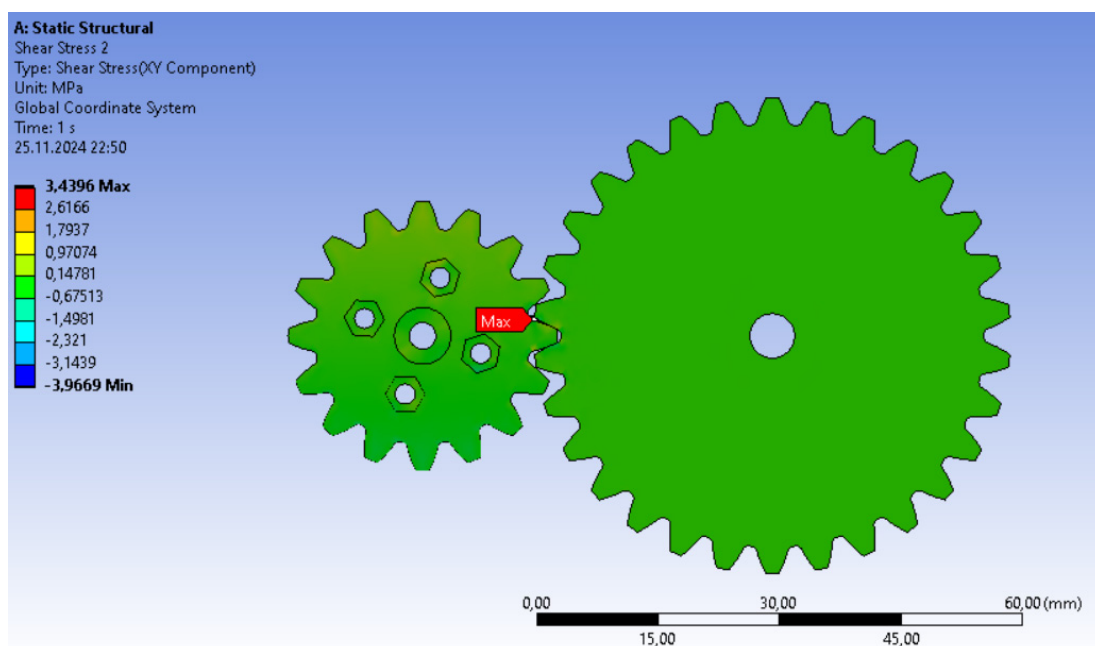


Рис. 3. Результати Shear Stress

З результатів розрахунку в програмному комплексі та згідно стандартного підходу бачимо, що різниця між результатами складає менше 15 %. Результати розрахунку отримані в ANSYS є більшими оскільки в програмному комплексі враховувалась анізотропії деталей виготовлених методом 3Д друку.

Висновки

Методи розрахунку зубчастих передач, розроблені для металів, можуть бути використані для передач із ПКМ в першому наближенні. Проте потрібно для таких конструкцій слід:

- враховувати специфічні властивості полімерів (механічні, теплові, технологічні);

- використовувати експериментальні дані про механічні властивості ПКМ.

Тому розроблення нових методів, які б адекватно враховували мікромеханічні властивості 3Д друківаних деталей залишається актуальною задачею механіки.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 1328-1:2006. Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бокових поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT)
2. ДСТУ ISO 1328-2:2006. Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 2. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень радіальних складових і биття (ISO 1328-2:1997, IDT)
3. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин /В. Т. Павлице. Львів: Афіша, 2003. 560 с.
4. Viktor RUBASHEVSKYI, Sergiy SHUKAYEV. "Effect of constructive parameters on tensile strength of 3d-printed pla-graphite composite" Acta Technica Napocensis Series: Applied Mathematics, Mechanics and Engineering Vol 65 No 1S (2022) P. 239-244.
5. V. Rubashevskiy, S. Shukayev, A. Babak. «The effect of 3D printing process parameters on the mechanical characteristics of graphite modified polylactide in compression tests. *Strength Mater* 54, 1019–1026 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11223-023-00496-6>
6. В. Рубашевський і С. Шукаєв, «Міцність і пружність PLA + графіт композитів: експериментальний і теоретичний аналіз», *Mech. Adv. Technol.*, т. 7, вип. 2 (98), с. 145–154, Вер 2023. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2023.7.2.286738>
7. <https://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2025/ENU/>
Workbench User's Guide ANSYS, Inc. Release 15.0 November 2013

Calculation of a gear made by 3D printing from PLA-composite

V. Rubashevskiy, S. Shukayev

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. *The paper presents a comparative analysis of calculations of gear parameters made of polymer composite materials using the classical method and using the ANSYS Workbench software module. The results of the calculations showed that for parts made by 3D printing, the anisotropy of mechanical properties should be taken into account.*

Keywords: 3D printing; PLA composite; strength verification calculation; gear transmission.