

УДК 681.586.4:678.5:621.865.8

О.І. Свищ, студентка гр. ПК-41мп, к.т.н., доц. Богдан Г.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

М'ЯКІ РОБОТИЗОВАНІ ЗАХВАТИ FIN-RAY НА ОСНОВІ СИЛІКОНОВИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Анотація. Сучасні тенденції розвитку промислової та сервісної робототехніки спрямовані на впровадження колаборативних роботів, які працюють у спільному просторі з людиною та мають забезпечувати безпечну, делікатну й адаптивну взаємодію з об'єктами різної форми та жорсткості. Традиційні жорсткі захвати обмежені в цьому контексті через високі локальні напруження, необхідність механічної переналадки під кожен тип виробу та підвищені ризики пошкодження крихких деталей. У роботі розглянуто підхід до проектування м'яких роботизованих захватів типу Fin-Ray на основі силікону із локальним армуванням. Обґрунтовано вибір та текстильних підсилень, описано геометрію Fin-Ray-структури для трьохпальцевого захвату, а також принцип інтеграції приводу й сенсорики сили у вигляді тонких датчиків тиску в робочу поверхню пальців. Оскільки така конструкція забезпечує зниження пікових контактних навантажень та толерантність до похибок позиціонування маніпулятора, що є критично важливим для застосувань у колаборативній робототехніці. Окреслено перспективні області використання запропонованого підходу в харчовій, фармацевтичній, електронній та сервісній галузях.

Ключові слова: м'яка робототехніка; захват Fin-Ray; композит; колаборативний робот; сенсорика сили.

ВСТУП

Перехід до індивідуалізованого виробництва з великою номенклатурою виробів малих серій вимагає від засобів автоматизації здатності працювати з різноманітними об'єктами без тривалої переналадки оснастки. Одночасно розвиток колаборативної робототехніки висуває жорсткі вимоги до безпеки взаємодії людини та робота: обмеження контактних зусиль, енергії зіткнення та локальних напружень у зоні контакту. Жорсткі кінцеві ефектори, які історично домінують у промисловій автоматизації, погано узгоджуються з цими вимогами, оскільки мають високу жорсткість, локалізують тиск у невеликих зонах та зазвичай розраховані на стандартні габарити й форму деталей.

М'яка робототехніка пропонує альтернативний підхід, у якому кінцевий ефектор виконується з еластомерних матеріалів, здатних до значних деформацій без руйнування. Вони пасивно адаптуються до форми об'єкта, зменшуючи пікові напруження та компенсуючи геометричні похибки [2]. Однією з найбільш перспективних геометрій у цьому напрямку є структура типу Fin-Ray, що забезпечує ефект «обгортання» об'єкта при прикладенні сили до зовнішньої поверхні пальця.

ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ РОБІТ

Останніми десятиліттями м'яка робототехніка сформувалася як окремий напрямок, що спирається на біологічно натхненні структури, еластомерні матеріали та нетрадиційні принципи деформації [1–2]. У роботах багатьох наукових роботах систематизовано підходи до побудови м'яких виконавчих механізмів та кінцевих ефекторів, показано їхні переваги у задачах делікатного маніпулювання, а також окреслено ключові проблеми – матеріальна втома, неконтрольована повзучість, складність математичного моделювання.

Концепція Fin-Ray виникла як біоміметичне відтворення деформацій риб'ячого плавника: при дії сили на зовнішню поверхню структура не прогинається у протилежний бік, як класична балка, а згинається у напрямку

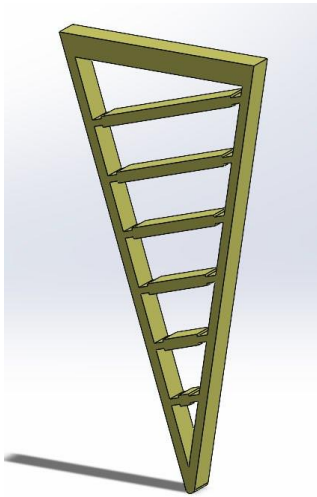


Рис. 1. Зд модель структури Fin-Ray

навантаження, частково обгортаючи об'єкт [3]. У сучасних роботизованих захватах Fin-Ray-структури застосовують як пальці, що здатні пасивно пристосовуватися до форми захоплюваних деталей, у тому числі з нерегулярними контурами. У поєднанні з еластомерними матеріалами такі пальці забезпечують широку зону контакту та зниження пікових контактних напружень.

Паралельно розвиваються матеріальні платформи для м'яких роботизованих систем. Силіконові еластомери поєднують високе подовження до розриву, хімічну інертність та сумісність із харчовими й медичними застосуваннями. Водночас чисті еластомери мають обмежений ресурс при циклічних

навантаженнях і схильні до локальних пошкоджень у зонах концентраторів напружень. Це стимулює перехід до матеріалів з посиленням, де впроваджене текстильне, волоконне чи інше підсилення дозволяє цілеспрямовано формувати локальну жорсткість та підвищувати міцність.

Таким чином, сучасні дослідження показують потенціал поєднання:

м'яких еластомерних матеріалів, біоміметичних геометрій типу Fin-Ray та інтегрованої сенсорики сили та деформації.

Саме на перетині цих трьох складових знаходиться запропонована в роботі концепція м'якого композитного захвату Fin-Ray для колаборативної робототехніки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Геометрія пальцю типу Fin-Ray реалізовано у вигляді балки з двома гнучкими лонжеронами, з'єднаними системою косих поперечних перетинок. При цьому форму стандартного захвату було вирішено модифікувати за рахунок видаленню невеликого об'єму матеріалу у зоні з'єднання ребер-перетинок із бічними гранями, що мало б підвищити ефективність деформації та надійності утримання об'єкта

Композитне армування інтегровано таким чином, щоб у зонах максимальних розтягувальних напружень працювала тканина, а в зонах контакту – переважно силіконова матриця. Локальне зменшення товщини матриці в місцях кріплення перетинок до лонжеронів у поєднанні з армуванням формує ділянки, які виконують роль «м'яких шарнірів». Вони забезпечують плавний згин, збільшення площі контакту з об'єктом і одночасно обмежують деформації в небажаних напрямках.

В подальшому при проведенні експериментів з виготовленими захватами можна пробачити різницю деформації при навантаженні одночасно базового захвату та захвату з композитними вставками при однаковій геометрії.

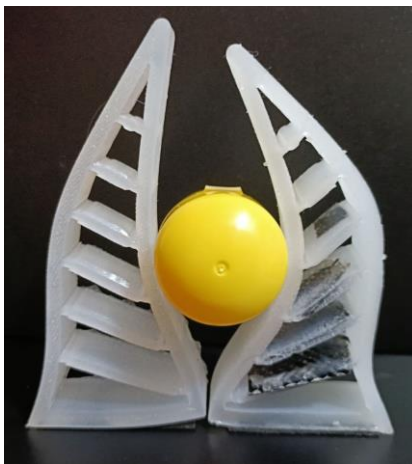


Рис. 2. Фото результатів навантаження базової конструкції та зразка з армованими ребрами

ВИСНОВКИ

У роботі сформовано концепцію м'якого роботизованого захвату типу Fin-Ray на основі силіконових еластомерів із локальним композитним армуванням для застосувань у колаборативній робототехніці. На основі аналізу сучасних підходів до м'яких роботизованих систем обґрунтовано доцільність поєднання біоміметичної геометрії Fin-Ray, еластомерної матриці та текстильних підсилень, що дозволяє знизити пікові контактні напруження, підвищити толерантність до похибок позиціонування та забезпечити делікатну взаємодію із крихкими об'єктами [1–3].

Показано, що модифікація базової структури пальця за рахунок видалення матеріалу в зоні з'єднання ребер-перетинок із бічними гранями та цілеспрямованого розміщення армувальної тканини формує «м'які шарніри», які покращують характеристику згинання та збільшують площу контакту із захоплюваним об'єктом. Така конструкція створює передумови для підвищення надійності утримання виробів різної форми без їх пошкодження та відповідає вимогам безпечної спільної роботи людини й робота.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Trivedi D., Rahn C. D., Kier W. M., Walker I. D. Robotics: Biological Inspiration, State of the Art, and Future Research. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2008, 5(3), 99–117.
- [2] Whitesides G. M. Soft Robotics. *Angewandte Chemie International Edition*, 2018, 57(16), 4258–4273.
- [3] Galloway K. C., Becker K. P., Phillips B., Kirby J., Licht S., Tchernov D., Wood R. J. Soft Robotic Grippers for Biological Sampling on Deep Reefs. *Soft Robotics*, 2016, 3(1), 23–33.
- [4] Nava G., Mutlu R., Van Hoof C. Fin-Ray Effect for Adaptive Grippers: A Review of Design Principles and Applications. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2021, 28(3), 72–85.

Наук. керівник – к.т.н., доц. Богдан Г.А.