

УДК 621.39

Міцнісні випробування ендопротезів, виготовлених адитивними технологіями

О.В. Сонець, Б.С. Воронцов

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

***Анотація.** Адитивні технології як інструмент створення нових виробів відкрили великі можливості в аспекті утворення як складної топології внутрішньої структури деталі, так і конструктивних елементів складної форми. Проте жодна технологія не може розвиватися відокремлено від інших. Якщо 3-D друк це інструмент для виготовлення складних за конфігурацією деталей, то потрібно знаходити і досліджувати нові методи та підходи до розрахунку таких виробів на міцність. І також знаходити технологічні рішення для того, щоб забезпечити перевірку розрахунків та комп'ютерного моделювання на лабораторних установках. Яскравим прикладом такої деталі є чашка ендопротезу кульшового суглобу людини. Вона має складну конфігурацію, перевіряти на міцність кожен деталь не має змоги, оскільки виробництво не серійне, а індивідуальне.*

***Ключові слова:** ендопротезування; адитивні технології; міцність.*

З розвитком адитивних технологій з'являється дедалі більше сфер в яких є запит їх використання. Окрім класичних галузей машинобудування, 3-D друк також використовується і в медичній сфері. Зокрема в протезуванні. Два найбільш відомі напрямки використання АТ у протезуванні – це друк зубних імплантів і друк суглобів верхніх та нижніх кінцівок або їх окремих частин[1]–[3].

Серед основних етапів проектування нового виробу є розрахунок конструкції на міцність. Якщо розглянути умови роботи зубного імпланту та врахувати його невеликі розміри, то є очевидним той факт, що ці вироби не піддаються суттєвим ударним навантаженням, крутним моментам, а статичне навантаження не перевищує в процесі експлуатації, а саме пережовування їжі, таке, що призвело б до деформації чи руйнування, оскільки величина сили, що прикладається, керується майже миттєво нервовою системою та, виходячи з фізіології щелепи людини не є значною.[4]

Кардинально інша ситуація відбувається під час роботи кульшового суглобу. Суглобовий хрящ має схильність до стирання через травми та захворювання. Окрім того, ці суглоби піддаються значним ударним навантаженням під час різких рухів. Життєдіяльність людини включає стрибки, падіння, заняття фізичними вправами або навіть вираження емоцій, що супроводжуються певною жестикуляцією.

Оскільки основний рух що відбувається під час роботи цього суглобу має ротаційний характер, то навантаження на нього має змінний характер не тільки за силовим показником, а й за вектором дії сили [5]. Ознайомившись із конструкцією протеза (Рис. 1), можна стверджувати, що найбільші напруження виникатимуть на шийці перед голівкою, оскільки там найменший поперечний переріз. Проте не варто нехтувати іншою конструктивною одиницею протезу – чашкою. Оскільки, окрім напівсферичної основи дуже часто чашки мають технологічні “відростки” (Рис. 2). За допомогою них чашці задається просторове розташування в місці, де було видалено необхідний об'єм кісткової тканини в тазовій кістці та відбувається закріплення чашки. Ці кріпильні елементи чашки мають свою індивідуальну форму на кожному протезі, проте з точки зору опору матеріалів можна вважати, що цей елемент є консольною балкою. Проте слід враховувати, що тут містяться отвори, а як відомо, отвори є концентраторами напружень. У літературі є інформація про експериментальні дослідження міцності елементів ендопротезів кульшового суглоба, виготовлених методом 3D-друку [6], проте недостатня кількість досліджень міцності саме вище згаданих елементів конструкції – “відростків”.

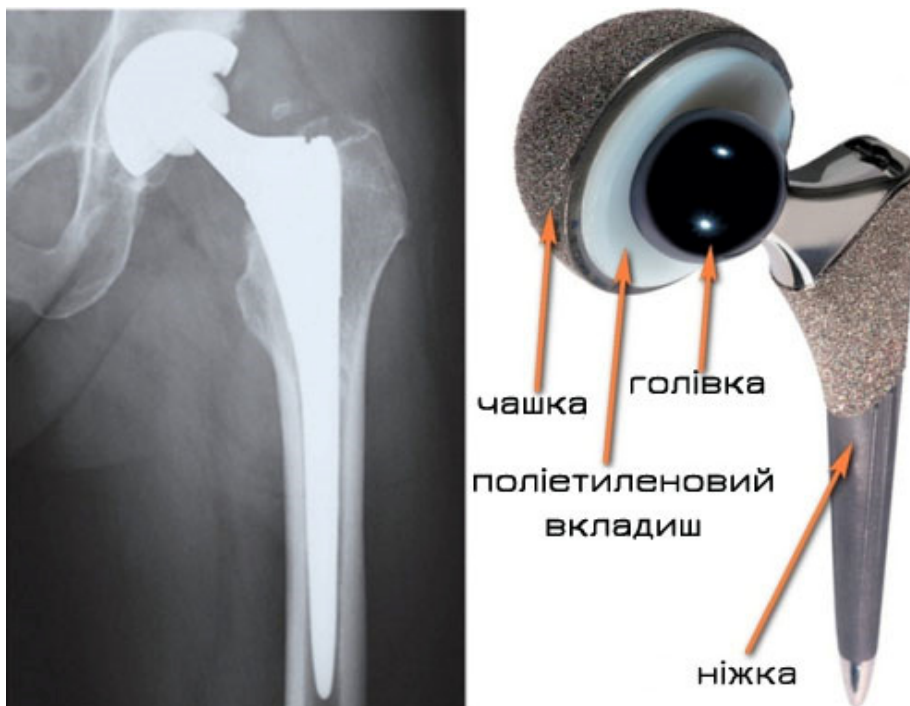


Рис. 1. Складові частини ендопротеза кульшового суглоба

Джерело: <https://medicalplaza.ua/uk/content/endoprotezirovanie-tazobedrennogo-sustava>



Рис. 2. Чашка ендопротеза кульшового суглоба з “відростками”

Джерело: <https://hipjoint.com.ua/reviziyne-endoprotezuvannya-kulshovoho-suhloba/>

Однією з технологічних проблем при розрахунку ендопротезу на міцність є те, що кожен виріб індивідуальний і у виробників немає можливості проводити лабораторні випробування кожного нового виробу.

Для вирішення цієї проблеми необхідно провести аналіз зразків протезів, визначити характерний спільний для всіх зразків конструктивний елемент та, з урахуванням біомеханіки кульшового суглобу, розробити і запропонувати схему навантаження, яку було б застосовано у системі комп'ютерного інженерного аналізу ANSYS. У подальшому цей експеримент буде проведено в лабораторних умовах на установках для випробування зразків.

Список літератури

1. England, T., Pagkalos, J., Jeys, L., Botchu, R., & Smith, R. C. (2021). Additive manufacturing of porous titanium metaphyseal components: early osseointegration and implant stability in revision knee arthroplasty. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 15, 60-64.
2. Revilla-León, M., Ceballos, L., Martínez-Klemm, I., & Özcan, M. (2018). Discrepancy of complete-arch titanium frameworks manufactured using selective laser melting and electron beam melting additive manufacturing technologies. *The Journal of prosthetic dentistry*, 120(6), 942-947.
3. Regis, M., E. Marin, L. Fedrizzi, and M. Pressacco. 2015. “Additive Manufacturing of Trabecular Titanium Orthopedic Implants.” *MRS Bulletin* 40(2): 137–44. doi: 10.1557/mrs.2015.1.
4. Edmonds, H. M., & Glowacka, H. (2020). The ontogeny of maximum bite force in humans. *Journal of Anatomy*, 237(3), 529-542.
5. Гужевський, І. В., & Солодей, І. І. (2017). Питання побудови сучасних математичних моделей біомеханіки при вирішенні проблем ендопротезування кульшового суглоба.
6. Korzh, M., Makarov, V., Shidlovsky, M., Yermakov, V., Nikitin, Y., Pidgaiska, O., Tankut O., Karpinsky, M., Karpinska, O., Zakhovayko, O., & Chupryna, D. (2023). Experimental study of the strength of hip endoprosthesis elements made by 3D printing. *ORTHOPAEDICS TRAUMATOLOGY and PROSTHETICS*, (4), 12–17. <https://doi.org/10.15674/0030-59872020412-17>

Strength testing of endoprosthesis produced by additive manufacturing technologies

O. Sonets, V. Borys

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

Abstract. Additive technologies, as a tool for creating new products, have opened vast opportunities in terms of forming both complex internal topology and intricate structural elements. However, no technology can develop in isolation from others. If 3D printing serves as a tool for manufacturing geometrically complex parts, it is essential to explore and develop new methods and approaches for calculating the strength of such products. Additionally, technological solutions must be sought to enable the verification of these calculations and computer modeling using laboratory equipment. A striking example of such a component is the acetabular cup of a human hip joint endoprosthesis. It features a complex configuration, and it is impractical to test each part for strength since the production is not mass-produced but individualized.

Keywords. endoprosthesis; additive manufacturing; strength.