

© С.В. Шатов¹, І.М. Мацюк², Е.М. Шляхов²

¹ Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

КОНСТРУКЦІЇ ПОЛЕГШЕНИХ ЗАКРИТИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

© S. Shatov¹, I. Matsyuk², E. Shlyahov²

¹ State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Dnipro, Ukraine

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

CONSTRUCTION OF CLOSED LIGHTWEIGHT GEARS

Мета. У даній роботі розглядаються можливі шляхи зниження маси закритої механічної передачі на прикладі зубчастого циліндричного одноступінчастого редуктора за рахунок оптимізації його корпусу.

Методика досліджень. В роботі показано, що зменшення металоємності одноступінчастого зубчастого циліндричного редуктора є актуальним для машинобудівної галузі. Зменшення витрат матеріальних ресурсів призводить до зниження собівартості. Економії металу сприяє застосування нових конструкційних матеріалів, зокрема, пластмас, полімерів і композитів, які мають значну міцність, підвищену корозійну стійкість, твердість. Корпус редуктора є його базовою деталлю із найбільшою металоємністю, на його частку припадає до 80% всієї маси виробу. Він сприймає навантаження, що діють в редукторі, а також відводить теплоту, що утворюється при його роботі. Основними критеріями надійності корпусних деталей є міцність, жорсткість, зносостійкість і довговічність. Необхідну жорсткість досягають оптимізацією форми і розмірів елементів корпусу, а також за рахунок раціонального розміщення ребер жорсткості. Таким чином, не змінюючи елементів основи корпусу, що забезпечують його жорсткість, зменшена його маса видаленням ненавантажених ділянок. Видалений метал може бути замінений легким неметалевим матеріалом.

Результати дослідження. В результаті дослідження побудовано тривимірну модель одноступінчастого редуктору потужністю 2,2 кВт, яку за допомогою програми Autodesk Fusion 360 дослідили на міцність і жорсткість. Малонавантажені ділянки основи корпусу та знімної кришки було видалено.

Наукова новизна. В роботі викладено результати дослідження зменшення маси одноступінчастого зубчастого циліндричного редуктора за рахунок оптимізації конструкції його корпусу з використанням 3D-друкування.

Практичне значення. Машинобудівна галузь застосовує інноваційні технології, до яких відноситься 3D-друкування окремих деталей зубчастих передач. У основі технології 3D-друкування лежить принцип пошарового створення (виросування) твердої моделі і воно може здійснюватися різними способами та з використанням різних матеріалів. У роботі запропоновано найбільш поширені способи створення об'єктів – це селективне лазерне спікання та стереоскопічний друк.

Ключові слова: *закрита механічна передача, зубчастий редуктор, зменшення маси, 3D-друкування, оптимізація конструкції*

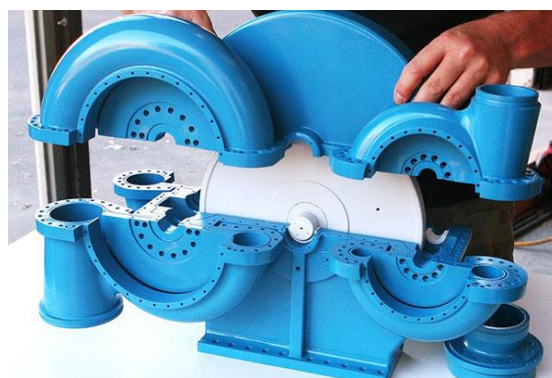
Вступ. Зменшення металоємності виробів є актуальним, як в цілому для машинобудівної галузі, так і для окремих підприємств. Матеріальні витрати займають більшу частку витрат виробництва. Зменшення витрат матеріальних ресурсів призводить до зниження собівартості виробів та до поліпшення показників ефективності діяльності підприємства. Ефективне використання різних матеріалів в процесі виробництва різноманітних видів промислової продукції є одним з найважливіших способів заощадження природних ресурсів [1]. Економії металу сприяє застосування нових конструкційних матеріалів, зокрема, пластмас, полімерів і композитів. Останні мають значну міцність, підвищену корозійну стійкість, твердість. На зниження металоємності, а отже, маси машин та обладнання впливає спрощення кінематичної схеми, поліпшення компоновання конструкцій, вибір габаритів машин і конструктивної форми деталей, оптимізація запасів міцності.

Мета роботи. Проаналізувати можливість зниження маси закритої механічної передачі на прикладі одноступінчастого зубчастого циліндричного редуктора за рахунок оптимізації його корпусу.

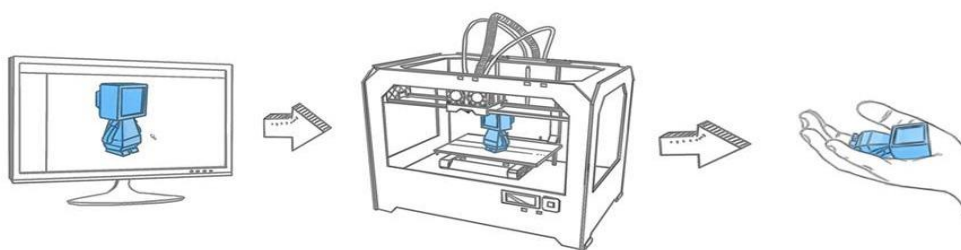
Основна частина. Різні сфери виробництва застосовують інноваційні технології, які направлені на поліпшення якості життя людини. Ці технології передбачають практичне використання досягнень у ІТ-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку машинобудівних кластерів. До таких технологій відноситься 3D-друкування об'єктів різного призначення (рис. 1, а, б). 3D-друкування - це процес (рис. 1, в) відтворення реального об'єкту за зразком 3D-моделі [2, 3, 4]. У основі технології 3D-друкування лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердої моделі [5, 6] і воно може здійснюватися різними способами та з використанням різних матеріалів. У машинобудуванні найбільш поширені способи створення об'єктів - це селективне лазерне спікання та стереоскопічний друк.



а



б



в

Рис. 1. 3D-друкування об'єктів: а, б – машинобудування; в - етапи 3D- друку

Селективне лазерне спікання використовує порошкоподібний термопластичний матеріал, який пошарово спікається лазером (рис. 2). Порошок в робочій камері розігрівається до температури, близької до плавлення, розрівнюється, і променем лазера на ньому промальовується необхідний контур. У місці контакту променя і порошку частки плавляться і спікаються один з одним і з попереднім шаром.

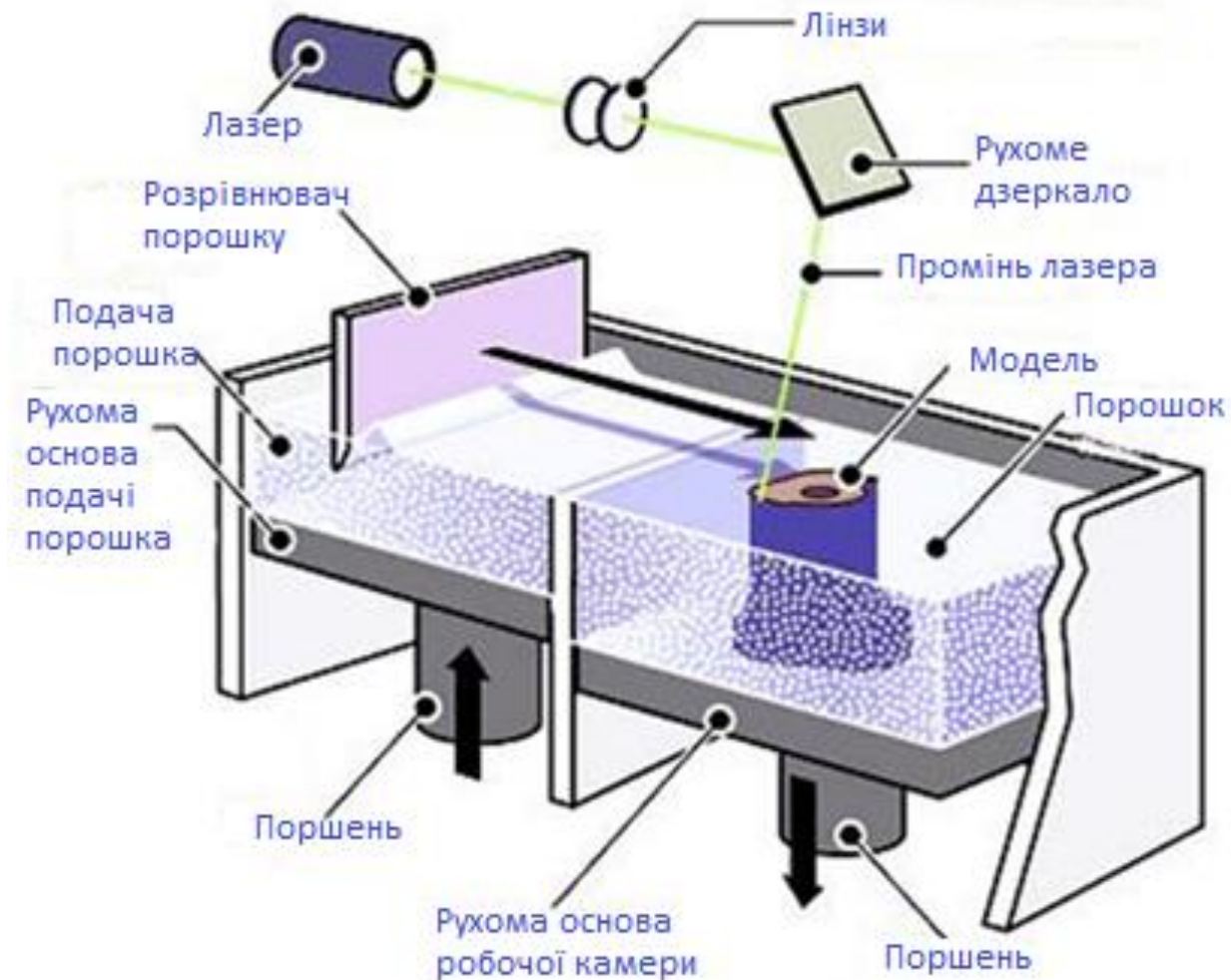


Рис. 2. 3D-принтер з технологією друку селективного лазерного спікання

Потім платформа опускається на товщину одного шару, в камеру насипається новий шар порошку, розрівнюється, і процес повторюється. Технологія характеризується високою швидкістю друку (до 35 мм/год), але вимагає значного часу підготовки до роботи, для нагрівання порошку і стабілізації температури, а отримані моделі мають пористу і шорстку структуру.

Стереоскопічний друк – метод, який базується на струменевої технології. Принтери подібної конструкції забезпечуються двома інгредієнтами порошкоподібної маси і рідкою речовиною (рис. 3). Робоча камера кожного принтера складається з двох частин: першої частиною є камера подачі порошку (в неї завантажуються модельний матеріал), а друга - це камера побудови, в якій вирощується необхідна 3D- модель. Спочатку по всій площині камери побудови рівномірно

розподіляється потрібний матеріал. Потім на тонкий перший шар наноситься спеціальне сполучна речовина, яка склеює всі частки матеріалу між собою.

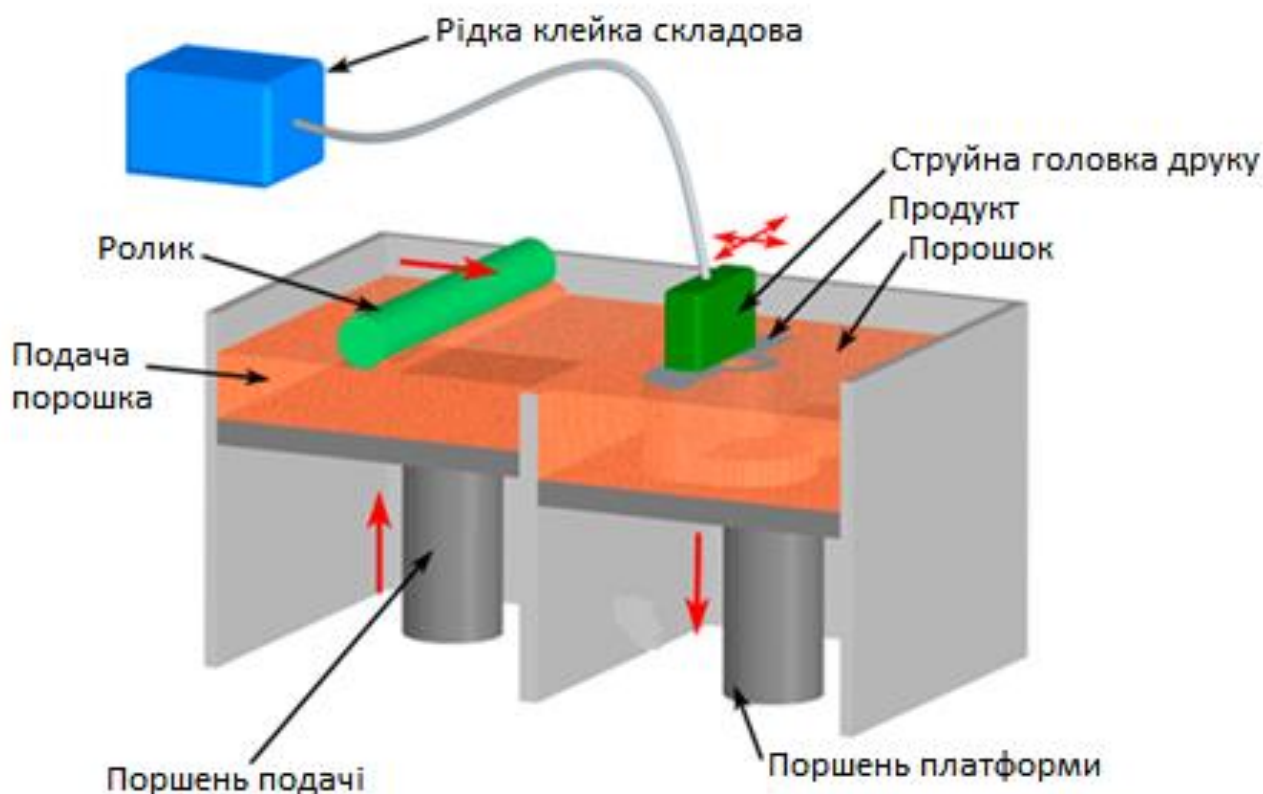


Рис. 3. Технологія стереоскопічного друку

Після того, як на платформі був нанесений клей, вони зміщуються. При цьому платформа подає камери вгору, а платформа області побудови опускається вниз. Зсув повинен відбуватися на однакову висоту. Відразу ж після зсуву головка знову починає свій рух, нарощуючи модель.

Більшість машин приводиться у дію двигуном через механічну трансмісію, в якості якої найбільшого поширення набула закрита зубчаста передача (редуктори, коробки швидкостей тощо).

У даній роботі розглядаються можливі шляхи зниження металоємності механічних передач на прикладі зубчастого циліндричного одноступінчастого редуктора.

Головним параметром одноступінчастого редуктора, як відомо, є міжосьова відстань зубчастих коліс [7, 8]. Маса редуктора суттєво залежить від величини головного параметра. На рисунку 4 зображена залежність маси редуктора від величини міжосьової відстані для редукторів серії 1ЦУ, що випускаються ТОВ «Redmash», для яких маса редуктора в діапазоні $L = 100 \dots 250$ мм змінюється практично лінійно від 25 до 250 кг.

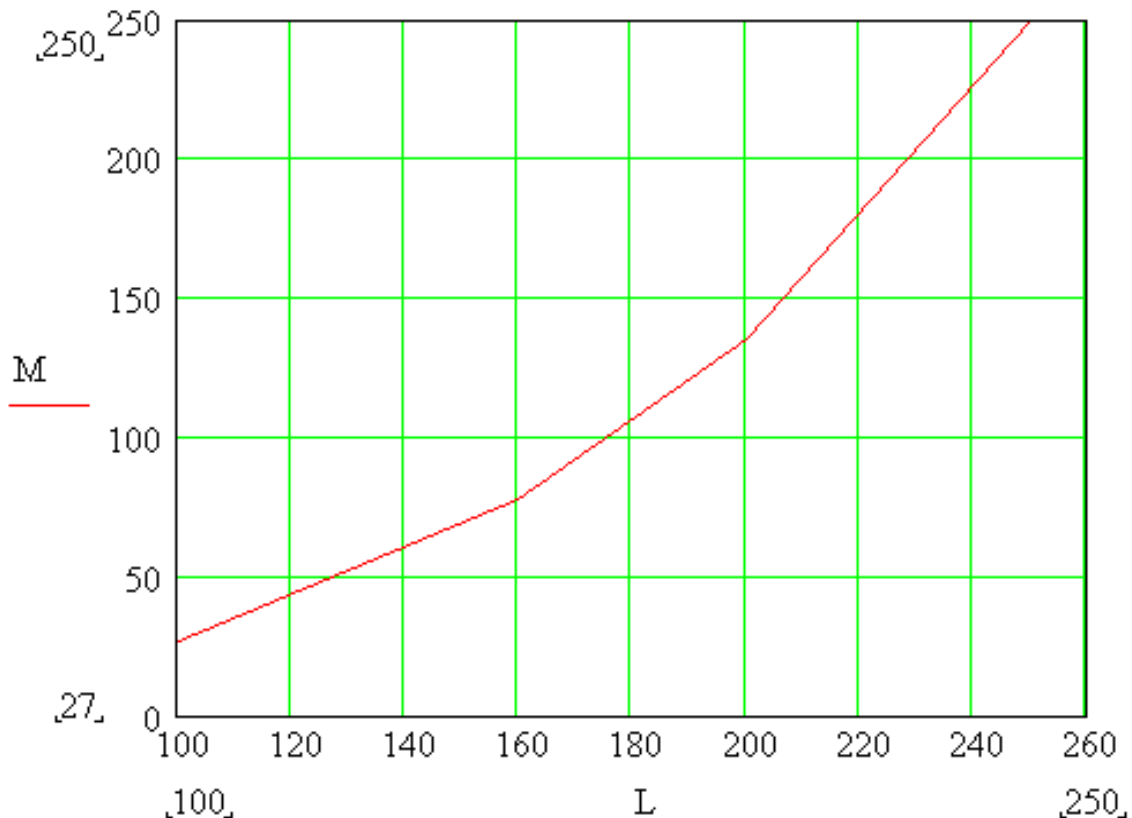


Рис. 4. Залежність маси одноступінчастого циліндричного редуктора M (кг) від величини міжосьової відстані L (мм)

Зменшення металоємності редукторів такого типу можливо у трьох напрямках:

- зниження маси корпусних деталей з урахуванням того, що не всі їх ділянки сприймають силове навантаження;
- виготовлення зубчастих коліс з неметалів;
- заміна підшипників кочення на підшипники ковзання з неметалів.

Під корпусними розуміють деталі, основне призначення яких – це встановлення робочих органів і вузлів різних приводів, деталей і складальних одиниць, а також забезпечувати герметичність і безпеку експлуатації.

Корпус редуктора є його базовою деталлю, габаритні розміри якої визначаються: видом передавальних механізмів, що становлять редуктор; числом, розмірами і відносним розташуванням деталей цих механізмів у внутрішній порожнині корпуса; прийнятій системі змащування зачеплень зубчастих коліс редуктора і його підшипникових вузлів. Корпусні деталі найбільш металоємні - на їх частку припадає до 80% всієї маси виробу. Вони сприймають навантаження, що діють в редукторі, і передають їх на підредукторну плиту або раму, а також відводять в навколишнє середовище теплоту, що утворюється при роботі редуктора. Основними критеріями надійності корпусних деталей є міцність, жорсткість, зносостійкість і довговічність.

У сучасному виробництві редукторів випускаються два типи корпусів - роз'ємні і нероз'ємні. Конструкція роз'ємного корпусу включає основу корпусу і знімну кришку.

У зв'язку з тим, що корпуси редукторів - малонавантажені деталі, розміри їх елементів (товщина стінок, припливів тощо) визначає не міцність, а жорсткість, необхідна для забезпечення працездатності кінематичних пар редуктора (зубчатих зачеплень, підшипників тощо). Необхідну жорсткість досягають оптимізацією форми і розмірів елементів корпусу, а також за рахунок раціонального розміщення ребер жорсткості.

В результаті дослідження побудовано тривимірну модель одноступінчастого редуктору потужністю 2,2 кВт, яку за допомогою програми Autodesk Fusion 360 дослідили на міцність і жорсткість. Малонавантажені ділянки основи корпусу та знімної кришки було видалено і отримали конструкцію, які показані на рисунку 5.

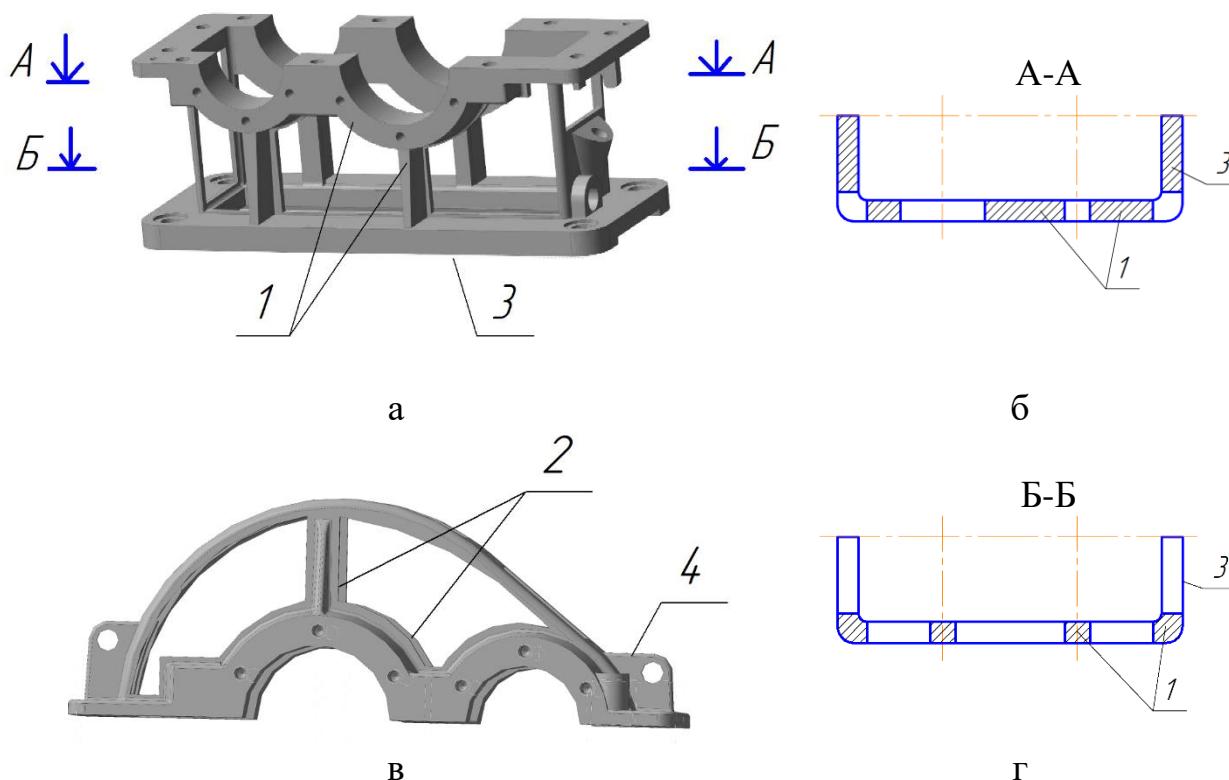


Рис. 5. Полегшена металева конструкція одноступінчастого редуктора:
 а - основа корпусу; б – переріз А-А; в - знімна кришка; г – переріз Б-Б;
 1, 2 – елементи, що забезпечують жорсткість; 3 – основа корпусу; 4 – знімна кришка

Таким чином, не змінюючи елементів основи корпусу, що забезпечують його жорсткість, зменшена його маса видаленням ненавантажених ділянок. Видалений метал може бути замінений легким неметалевим матеріалом (рис. 6).

Аналогічно зменшується маса знімної кришки.

Виготовлення таких корпусних деталей раціонально робити на 3D-принтерах.

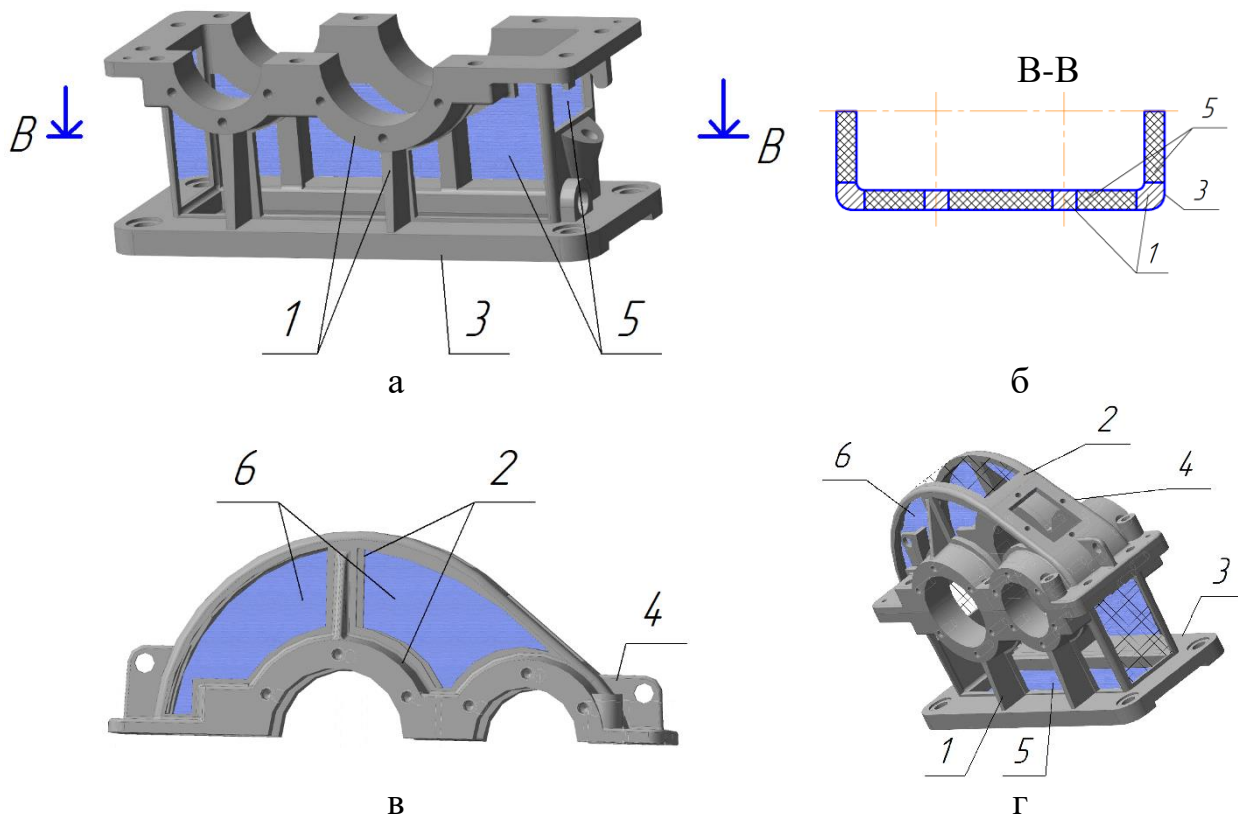


Рис. 6. Одноступінчастий редуктор, виготовлений з двох видів матеріалів: а - основа корпусу; б – переріз В-В; в - знімна кришка; г – загальний вигляд редуктора; 1, 2. – елементи, що забезпечують жорсткість; 3 – основа корпусу; 4 – знімна кришка; 5, 6 – елементи, що не сприймають навантаження

Аналіз показав, що загальне зменшення маси дослідженого редуктора за рахунок полегшення основи корпусу з кришкою складає 18%. Цей відсоток для більш потужних редукторів буде збільшуватися.

Подальшим продовженням роботи в цьому напрямку слід вважати використання додатка генеративного дизайну, наприклад, в продукті Autodesk Fusion 360.

Висновки. 1. Перспективним напрямом зменшення металосмності машин, зокрема корпусних деталей закритих механічних передач, є вдосконалення методів їх розрахунку та пошук оптимальних конструктивних рішень.

2. Побудовано тривимірну модель одноступінчастого редуктору потужністю 2,2 кВт та визначені малонавантажені ділянки корпусу, які замінені неметалевим матеріалом, що забезпечило зменшення його маси на 18%.

Перелік посилань

1. Жикаляк, М. В. (2016). Виснаження ефективних запасів корисних копалин – загроза національній безпеці України. *Мінеральні ресурси України*, (3), 3-7. http://ukrdgri.gov.ua/wp-content/uploads/2016/10/mru_03_2016_02.pdf
2. Лунева, Д. А., Кожевникова, Е. О., & Калошина, С. В. (2017). Применение 3D-печати в строительстве и перспективы ее развития. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*, 8(1), 90-101.

3. Савицький, М.В. (2019). *Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3D-друку будівельних об'єктів. Колективна монографія*. ФОП Удовиченко О.М.
4. Шатов, С.В., Савицький, Н.В., & Карпушин, С.А. (2017). Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов. *Строительство. Материаловедение Машиностроение*. (99), 194-200. http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmcvtek_2017_99_29
5. Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in construction*, 13(1), 5-19. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
6. Savytskyi, M. V., Shatov, S. V., & Ozhyshchenko, O. A. (2016). 3D-printing of build objects. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*, (3 (216)).
7. *Учебные материалы по Autodesk Inventor Fusion* (2012). Retrieved from: <http://labs.autodesk.com/>
8. Павлице, В.Т. (2003). *Основи конструювання та розрахунок деталей машин*. Вища школа.

АННОТАЦИЯ

Цель. В данной работе рассматриваются возможные пути снижения массы закрытой механической передачи на примере зубчатого цилиндрического одноступенчатого редуктора за счет оптимизации его корпуса.

Методология. В работе показано, что уменьшение металлоемкости одноступенчатого зубчатого цилиндрического редуктора является актуальным для машиностроительной отрасли. Уменьшение расхода материальных ресурсов приводит к снижению себестоимости. Экономии металла способствует применение новых конструкционных материалов, в частности, пластмасс, полимеров и композитов, которые имеют значительную прочность, повышенную коррозионную стойкость, твердость. Корпус редуктора является его базовой деталью с наибольшей металлоемкостью, на его долю приходится до 80% всей массы изделия. Он воспринимает нагрузки, действующие в редукторе, а также отводит теплоту, образующуюся при его работе. Основными критериями надежности корпусных деталей является прочность, жесткость, износостойкость и долговечность. Необходимую жесткость достигают оптимизацией формы и размеров элементов корпуса, а также за счет рационального размещения ребер жесткости. Таким образом, не меняя элементов основания корпуса, обеспечивающие его жесткость, уменьшенная его масса удалением ненагруженных участков. Удаленный металл может быть заменен легким неметаллическим материалом.

Результаты исследований. В результате исследования построена трехмерная модель одноступенчатого редуктора мощностью 2,2 кВт, которую с помощью программы Autodesk Fusion 360 исследовали на прочность и жесткость. Малонагруженных участки основания корпуса и съемной крышки были удалены.

Научная новизна. В работе изложены результаты исследования уменьшения массы одноступенчатого зубчатого цилиндрического редуктора за счет оптимизации конструкции его корпуса с использованием 3D-печати.

Практическое значение. Машиностроительная отрасль применяет инновационные технологии, к которым относится 3D-печать отдельных деталей зубчатых передач. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания (наращивания) твердой модели и он может осуществляться различными способами и с использованием различных материалов. В работе предложено наиболее распространенные способы создания объектов - это селективное лазерное спекание и стереоскопическая печать.

Ключевые слова: *закрытая механическая передача, зубчатый редуктор, уменьшение массы, 3D-печать, оптимизация конструкции.*

ABSTRACT

Purpose. This paper considers possible ways to reduce the mass of a closed mechanical transmission on the example of a toothed cylindrical single-stage gearbox by optimizing its housing.

Methodology. The paper shows that the reduction of metal consumption of a single-stage gear cylindrical gearbox is relevant for the machine-building industry. Reducing the cost of material resources leads to lower costs. The use of new structural materials, in particular, plastics, polymers and composites, which have significant strength, increased corrosion resistance, hardness, contributes to the economy of metal. The gearbox housing is its basic part with the largest metal consumption, it accounts for up to 80% of the total weight of the product. It absorbs the loads acting in the gearbox, and also removes the heat generated during its operation. The main criteria for the reliability of body parts are strength, rigidity, wear resistance and durability. The required rigidity is achieved by optimizing the shape and size of the body elements, as well as through the rational placement of the stiffeners. Thus, without changing the elements of the base of the housing, providing its rigidity, its weight is reduced by removing unloaded areas. The removed metal can be replaced by a light non-metallic material.

Research results. As a result of the study, a three-dimensional model of a single-stage gearbox with a capacity of 2.2 kW was built, which was tested for strength and rigidity using Autodesk Fusion 360. Low-load areas of the body base and removable cover have been removed.

Scientific novelty. The paper presents the results of a study of reducing the mass of a single-stage gear cylindrical gearbox by optimizing the design of its body using 3D printing.

Practical implications. The engineering industry uses innovative technologies, which include 3D printing of individual parts of gears. The technology of 3D-printing is based on the principle of layer-by-layer creation (growing) of a solid model and it can be done in different ways and using different materials. The paper suggests the most common ways to create objects - selective laser sintering and stereoscopic printing.

Keywords: *closed mechanical transmission, gear reducer, weight reduction, 3D printing, design optimization*