

В. С. ПАРНЕНКО

кандидат технічних наук, доцент,
кафедра конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1450-2744

Є. В. КОРБУТ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-1221-4052

ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ДЕТАЛІ ТИПУ «ТРИМАЧ» З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ AUTODESK FUSION

У даній роботі розглянуто методи оптимізації форми та матеріалу деталі з метою поліпшення її технологічності. Наведено огляд робіт в яких описані методи покращення технологічності деталей. Відомо, що програмне забезпечення Autodesk Fusion надає широкі можливості для моделювання, аналізу та оптимізації конструкцій, а також для створення технологічних процесів. У статті досліджується можливість застосування програмного забезпечення Autodesk Fusion для аналізу, моделювання та оптимізації форми деталі типу «Тримач». Розглянути основні проблеми, пов'язані з неефективністю використання матеріалів та недоліками у конструкціях деталей та вимоги до технологічності деталей. Наведено можливості програмного забезпечення Autodesk Fusion для аналізу та оптимізації форми деталей. Обговорюються інструменти Autodesk Simulation та методи, які надає це програмне забезпечення, для проведення аналізу міцності, моделювання напружень та деформацій, а також оптимізації геометрії деталі з урахуванням технологічних обмежень. В роботі представлені результати застосування програмного забезпечення Autodesk Fusion для оптимізації форми деталі типу «Тримач». Автори аналізують зміни в масі, міцності та ергономіці деталі після проведених оптимізаційних заходів. У заключній частині роботи наводяться порівняння результатів оптимізації форми деталі та її матеріалу, та показано, що за рахунок оптимізації форми було зменшено масу деталі на 60%. Також наведено результати зміни ваги деталі за рахунок зміни матеріалу, що призвело як до зменшення ваги деталі так і до використання більш дешевого матеріалу. Дана робота розкриває важливість використання сучасних інструментів CAD/CAM для покращення технологічності виробів, а також демонструє ефективність Autodesk Fusion у цьому процесі.

Ключові слова: конструювання для виробництва, технологічність деталей, CAD/CAM, Autodesk Fusion, технологічна підготовка виробництва.

V. S. PARNENKO

PhD, Associate Professor,
Department at the Machine Design
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-1450-2744

IE. V. KORBUT

PhD, Associate Professor,
Associate Professor at the Department at the Machine Design
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-1221-4052

IMPROVING THE MANUFACTURABILITY OF THE “HOLDER” PART USING AUTODESK FUSION SOFTWARE

This paper explores methods for optimizing the shape and material of a part to improve its manufacturability. It provides an overview of previous works describing methods for enhancing the manufacturability of parts. It is known that Autodesk Fusion software offers extensive capabilities for modeling, analysis, and optimization of designs, as well as for creating manufacturing processes. The article investigates the potential application of Autodesk Fusion software for

analyzing, modeling, and optimizing the shape of a "Holder" part. The main issues related to material inefficiency and design flaws of parts, as well as the requirements for part manufacturability, are discussed. The capabilities of Autodesk Fusion software for analyzing and optimizing part geometry are presented. The article discusses the Autodesk Simulation tools and methods provided by this software for strength analysis, stress and deformation modeling, and geometry optimization considering technological constraints. The results of applying Autodesk Fusion software for optimizing the shape of the "Holder" part are presented. The authors analyze changes in mass, strength, and ergonomics of the part after optimization measures. In the final part of the paper, a comparison of the results of optimizing the shape and material of the part is provided, showing that by optimizing the shape, the part's mass was reduced by 60%. The results of changing the part's weight due to material change are also presented, resulting in both reduced weight and the use of a cheaper material. This work highlights the importance of using modern CAD/CAM tools to improve product manufacturability and demonstrates the effectiveness of Autodesk Fusion in this process.

Key words: Design for Manufacturing, manufacturability, CAD/CAM, Autodesk Fusion, manufacturing process optimization.

Постановка проблеми

У процесі виробництва деталей часто виникають проблеми, пов'язані з неефективністю використання матеріалів та недоліками у конструкціях деталей, що можуть призводити до підвищення витрат на їх виготовлення. Під час конструювання виробу (деталі, заготовки) розглядаються можливості максимального спрощення його конструкції, заміни матеріалу на дешевший та більш доступний, створення раціональних форм і розмірів для полегшення процесів оброблення та забезпечення необхідної якості (міцності, жорсткості), зменшення кількості та довжини оброблюваних поверхонь, встановлення розмірів з мінімальною довжиною розмірних ланцюгів, забезпечення мінімального жолоблення під час термічної обробки та достатніх розмірів базових поверхонь [1, 2].

Для оптимізації цих процесів необхідно використання сучасних інструментів та технологій. Одним з можливих рішень є використання програмного забезпечення Autodesk Fusion. Відомо, що програмне забезпечення Autodesk Fusion надає широкі можливості для моделювання, аналізу та оптимізації конструкцій, а також для створення технологічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Оптимізація для технологічності конструкцій виробів, вузлів, складальних одиниць та деталей є одним з найважливіших етапів технологічної підготовки виробництва (ТПВ) [1, 2]. Як доказ, можна вказати, що завдяки поліпшенню технологічності конструкції виробу можна зменшити трудомісткість збирання на 8–12%, а іноді і на 20%, та собівартість виготовлення на 5–10% [2–3, 5]. Хоча оптимізація нового виробу для технологічності є важливою проблемою, і без неї просто неможливе існування будь-якого сучасного виробництва в галузі приладо- та машинобудування, аналіз літературних джерел показує, що до цього часу не існує єдиної розробленої системи або послідовної методології для оптимізації виробів для технологічності [1].

Використання Autodesk Fusion дозволяє інженерам швидко та ефективно оцінити різні варіанти конструкцій та вибрати оптимальний, що сприяє покращенню продуктивності проектування та зниженню витрат. Також важливою перевагою є можливість інтеграції з іншими інструментами та сервісами Autodesk, такими як Autodesk Simulation, що робить процес аналізу більш комплексним і ефективним [4].

Формулювання мети дослідження

Мета роботи є дослідження та опис процесу покращення технологічності деталі типу «Тримач» за допомогою програмного забезпечення Autodesk Fusion. В роботі приведені можливості Autodesk Fusion для оптимізації конструкції деталі при використанні різних матеріалів, аналізу та виявлення слабких місць у виробі, а також покращення його міцності. Робота спрямована на знаходження оптимального рішення з використанням сучасних інструментів комп'ютерного моделювання та аналізу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Використання Autodesk Fusion для статичного аналізу має декілька переваг і є необхідним для багатьох інженерних завдань. По-перше, програма надає можливість визначити напруження та деформації в конструкції з різних матеріалів під впливом навантажень, що дозволяє оцінити міцність та стійкість виробу. Крім того, засіб статичного аналізу допомагає виявити потенційні проблеми та слабкі місця в конструкції, такі як точки концентрації напружень або перевантаження деяких ділянок.

Інструмент оптимізації форми в Autodesk Fusion надає широкі можливості для швидкого та ефективного аналізу та покращення конструкцій виробів. Завдяки цьому інструменту можна автоматично створювати оптимальні форми, що відповідають визначеним критеріям, таким як мінімізація маси або підвищення міцності. При цьому враховуються різні умови та обмеження, такі як максимальні розміри, габарити устаткування, вимоги до міцності або стійкості. Використання інструменту оптимізації форми дозволяє значно зменшити час, необхідний для пошуку оптимального рішення, та забезпечує швидкий процес проектування та економію ресурсів.

Досліджувана конструкція деталі представлена на рис. 1. Деталь типу «Тримач» призначена для утримання і фіксації в певному положенні або на певній площині. Вона використовується як елемент інтер'єру, тому поруч

з певною міцністю повинна мати привабливий зовнішній вигляд. Деталі типу «Тримач» можуть мати різні конструкції і форми, залежно від конкретного застосування і вимог щодо функціональності і зовнішнього вигляду. Основним призначенням деталі типу «Тримач» є забезпечення зручності та надійності утримання предметів у визначеному положенні.



Рис. 1. Початкова конструкція деталі типу «Тримач» (спрощена)

Початкова конструкція деталі передбачала виготовлення її із нержавіючої сталі. Тримач повинен витримувати навантаження 800Н.

Попередньо для дослідження оптимізації форми було запропоновано використати інші матеріали, крім матеріалу початкової конструкції. У процесі добору матеріалу заготовки враховують її експлуатаційні та технологічні властивості, а також економічну ефективність використання. Матеріал заготовки практично визначає можливість виконання функцій деталі, яка буде виготовлена з цієї заготовки, а також виготовлення деталі з найменшими виробничими витратами. Як правило, для досягнення більшої технологічності деталі, рекомендується використовувати доступні матеріали, які найбільше піддаються обробці, за умови, що їхні функціональні характеристики та вартість є відповідними.

Для дослідження оптимізації форми деталі типу «Тримач» було обрано три різних матеріали. Було залишено початковий матеріал нержавіюча сталь та було запропоновано ще два: алюміній 6061 та пластик.

На рисунку 2 зображено тримач зі статичними навантаженнями силою в 800Н та діючою силою гравітації прикладеними до нього. Також накладені обмеження за задню площину (показано напівпрозорим знаком замка).

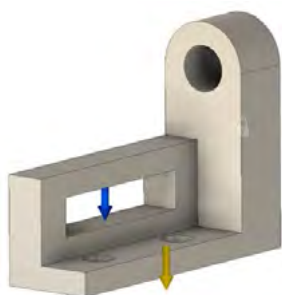


Рис. 2. Навантаження та обмеження

Алюміній, як правило, дешевше, ніж нержавіюча сталь, тому що він не вимагає значної обробки. Використання пластику для виготовлення деталей типу «тримач» має свої переваги і недоліки. Переваги полягають у легкості матеріалу, що полегшує транспортування та монтаж деталі, еластичності деяких типів пластику, що дозволяє підганяти деталь під різні форми та розміри, а також у стійкості до корозії, що робить його відмінним вибором для зовнішніх застосувань або у вологому середовищі. Крім того, виробництво пластикових деталей може бути дешевшим порівняно з металевими аналогами. Однак пластик має свої недоліки, зокрема, меншу міцність порівняно з металами, що може бути проблемою при великих навантаженнях. Також пластик обмежує температурний діапазон експлуатації та може бути менш стійким до механічних пошкоджень. Вибір матеріалу для виготовлення деталі «тримача» потребує уважного врахування всіх цих факторів для забезпечення оптимального результату.

За допомогою використання методу скінченних елементів (рис. 3) був проведений аналіз та моделювання поведінки виробу під впливом заданих навантажень і умов. Основні переваги використання методу скінченних елементів включають можливість точного моделювання складних геометричних форм, розрахунок напружень та деформацій, а також прогнозування місць можливого руйнування виробу. Крім того, за його допомогою можна ефективно оптимізувати конструкцію для забезпечення її міцності та стійкості при мінімальному використанні матеріалу.

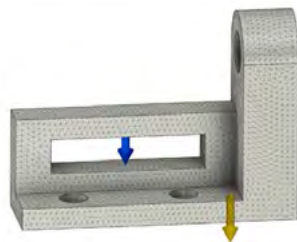


Рис. 3. Розбиття моделі деталі на елементи

Таким чином за заданих умов навантаження і обмежень за допомогою Autodesk Fusion був виконаний статичний аналіз тримача. На рисунку 4.а продемонстровано результати такого аналізу для матеріалу алюміній 6061.

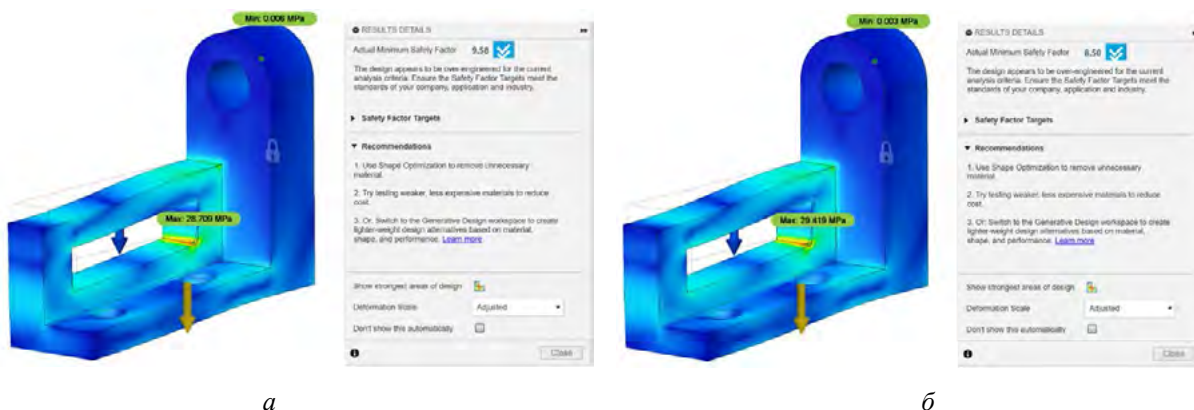


Рис. 4. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалів:
а – алюміній, б – нержавіюча сталь

Мінімальний коефіцієнт запасу складає 9.58. На рисунку 4.б продемонстровано результати такого аналізу для нержавіючої сталі. Мінімальний коефіцієнт запасу складає 8.50. В обох випадках програма пропонує за допомогою оптимізатора форми видалити зайвий матеріал або застосувати більш дешевший матеріал для зменшення витрат. Таким матеріалом для даної деталі може бути пластик.

Результати статичного аналізу деталі виготовленої з пластику продемонстровано на рисунку 5. Мінімальний коефіцієнт запасу складає 1.7. Цього може бути достатньо, але зовнішні чинники можуть призвести до того, що деталь зігнеться або зламається. Для типових проектних застосувань мінімальний коефіцієнт запасу є 3,0. В такому випадку треба або зміцнити конструкцію в найслабших місцях (дати матеріал або використати більш жорстку форму) або використати матеріал з вищою міцністю та міцністю.

Таким чином для подальшого дослідження оптимізації форми деталі типу «Тримач» було обрано лише два матеріалу: нержавіюча сталь та алюміній. Для покращення форми тримача було використано оптимізатор форми програми Autodesk Fusion.

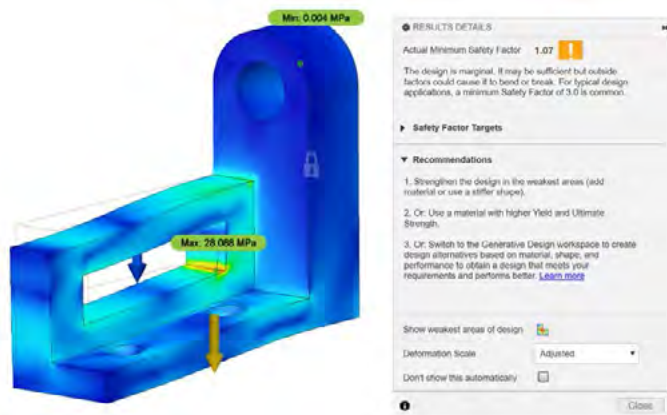


Рис. 5. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалу пластик

Після оптимізації та доробки форми була отримана деталь зображена на рисунку 6.



Рис. 6. Конструкція деталі типу «Тримач» Після оптимізації та доробки форми

Після оптимізації форми було проведено повторний статичний аналіз отриманої деталі, результати дослідження показані на рисунку 7. Мінімальний коефіцієнт запасу складає 5.22, що є цілком достатнім та надійним.

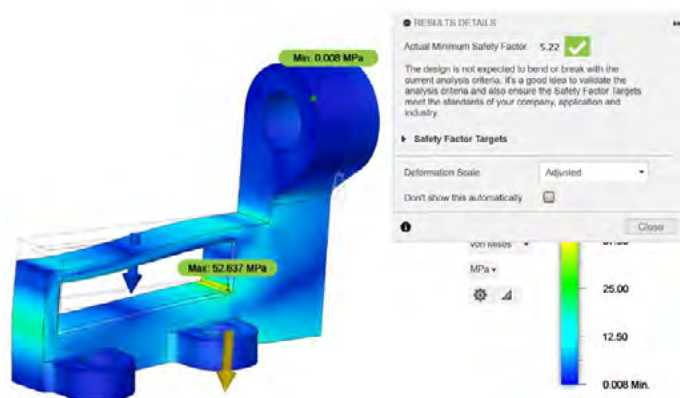


Рис. 7. Результати статичного аналізу деталі типу «Тримач» для матеріалу алюміній 6061

Висновки

Після оптимізації форми деталі типу «Тримач» в Autodesk Fusion вдалося отримати декілька важливих результатів. По-перше, оптимізація дозволила значно зменшити масу деталі при збереженні необхідної міцності. Характеристики деталі зведені в таблицю 1 де представлено в тому числі і зміни у вазі деталі.

Для деталі з алюмінію вага зменшилася більш ніж в 1,6 рази (або 60%), що скоротить витрати на матеріали. По-друге за результатами дослідження було замінено початковий матеріал на алюміній, що є дешевшим і більш легким матеріалом і це буде корисно для виготовлення більш легких і ефективних виробів.

Таблиця 1

Властивості деталі типу «Тримач» до та після оптимізації

Матеріал	Властивості деталі до оптимізації	Властивості деталі після оптимізації		
Алюміній	▼ Physical (Study 1 - Static Stress)			
	Area	31223.455 mm ²	Area	51886.201 mm ²
	Density	2.700E-06 kg / mm ³	Density	2.700E-06 kg / mm ³
	Mass	0.407 kg	Mass	0.246 kg
	Volume	1.508E+05 mm ³	Volume	91113.703 mm ³
	Physical Material	Aluminum 6061	Physical Material	Aluminum 6061
Нержавіюча сталь	▼ Physical (Study 3 - Static Stress)			
	Area	31223.455 mm ²	Area	51886.201 mm ²
	Density	8.000E-06 kg / mm ³	Density	7.855E-06 kg / mm ³
	Mass	1.207 kg	Mass	0.716 kg
	Volume	1.508E+05 mm ³	Volume	91113.703 mm ³
	Physical Material	Stainless Steel	Physical Material	Stainless Steel

Крім того, нова форма деталі покращила її ергономіку та зовнішній вигляд, що позитивно вплине на сприйняття користувачами та конкурентоспроможність виробу на ринку. Водночас, оптимізація дозволила зберегти необхідну функціональність та міцність деталі.

Покращення ефективності виробництва є ще однією перевагою оптимізації. Зменшення витрат на матеріали та обробку, а також скорочення часу виготовлення може значно знизити загальні витрати і підвищити ефективність виробництва.

Список використаної літератури

1. Swift K. G., Booker J. D. Process Selection. From design to manufacture : Butterworth-Heinemann. 2003. 316 с.
2. James G. Bralla. Design for manufacturability handbook : McGraw-Hill Handbooks. 1999. 1368 с.
3. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. Product Design for Manufacture and Assembly : CRC Press. 2011. 670 с.
4. Juniani, A.I.; Singgih, M.L.; Karningsih, P.D. Design for Manufacturing, Assembly, and Reliability: An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *Designs* 2022, 6, 88. <https://doi.org/10.3390/designs6050088>
5. Осадчий О. І., Парненко В. С. Дизайн виробів машинобудування та вибір матеріалів для забезпечення технологічності їх конструкцій : Технічні науки та технології. № 2 (32). 2023, С. 150–156.

References

1. Swift K. G., Booker J. D. (2003) Process Selection. From design to manufacture. Butterworth-Heinemann. [in English].
2. James G. Bralla. (1999) Design for manufacturability handbook. McGraw-Hill Handbooks. [in English].
3. Boothroyd G., Dewhurst P., Knight W. (2011) Product Design for Manufacture and Assembly. CRC Press. [in English].
4. Juniani, A.I.; Singgih, M.L.; Karningsih, P.D. (2022) Design for Manufacturing, Assembly, and Reliability: An Integrated Framework for Product Redesign and Innovation. *Designs*, no. 6, (88), pp. 1–29. <https://doi.org/10.3390/designs6050088>
5. Osadchiy O. I., Parnenko V. S. (2023) Dyзain vyrobiv mashynobuduvannia ta vybir materialiv dlia zabezpechennia tekhnolohichnosti yikh konstruksii. [Design of engineering products and selection of materials to ensure the manufacturability of their structures]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii* no.2 (32), pp. 150–156.