

Олег Осадчий¹, Валерія Парненко²

¹ магістр, кафедра конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: Oleg.Osadchiy-mmi22@iit.kpi.ua

² кандидат технічних наук, старший викладач кафедри конструювання машин
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
E-mail: valeri.parnenko@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1450-2744>, Scopus Author ID: [57217101654](https://scopus.org/authorid/57217101654)

**ДИЗАЙН ВИРОБІВ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ЇХ КОНСТРУКЦІЙ**

Технологічність конструкції виробів машинобудування є важливим аспектом у виробництві сучасних машин та обладнання. Стаття є оглядово-інформаційною. У статті розглянуто важливість вибору матеріалів на початковому етапі дизайну виробу машинобудування і вказується на їх безпосередній вплив на технологічність та ефективність виробництва. Також висвітлюються різноманітні фактори, які необхідно враховувати при виборі матеріалів, такі як властивості матеріалів, технологічні вимоги, вартість та доступність. Наведені основні типи матеріалів, які використовуються в машинобудуванні, такі як метали, полімери, композити та кераміка розглянуті їх переваги, недоліки та застосування. Вказані виклики, з якими стикаються виробники, а також на перспективи майбутнього розвитку в галузі вибору матеріалів для машинобудування.

Ключові слова: технологічність; конструкція; виробу машинобудування; дизайн; якість; технологічні тенденції; матеріали; проектування; DFM.

Рис.: 2. Бібл.: 9.

Актуальність теми статті. Машинобудування є однією з найважливіших галузей промисловості, яка забезпечує розвиток різних секторів економіки, включаючи промисловість, транспорт, сільське господарство та багато інших. Однак у сучасному конкурентному середовищі виробництва, успіх машинобудівного підприємства значною мірою залежить від технологічності конструкції його виробів.

Представлена у статті інформація має оглядово-інформаційний характер. Технологічність конструкції виробів машинобудування є критичним фактором, який визначає ефективність та якість виробництва. Вона включає в себе використання передових технологій, матеріалів, методів та процесів для розробки та виготовлення високоякісних виробів. Технологічність впливає на швидкість виробництва, ефективність використання ресурсів, зниження витрат, надійність та тривалість служби виробів.

Постановка проблеми. У сфері машинобудування виробники постають перед проблемою вибору оптимальних матеріалів для виготовлення виробів. Правильний вибір матеріалу має велике значення для забезпечення технологічності виробництва, його ефективності, маси та міцності виробів, термо- та корозійної стійкості. Одна з основних проблем полягає в тому, що є велика кількість матеріалів, доступних для використання в машинобудуванні, і кожен із них має свої особливості, переваги та обмеження. Виробники повинні враховувати такі фактори, як властивості матеріалів, їхню вартість, доступність на ринку, технологічні вимоги та виробничі обмеження.

Крім того, розвиток нових матеріалів та технологій виробництва створює постійну потребу у знаходженні оптимальних рішень. Виробники повинні орієнтуватися в останніх тенденціях у галузі матеріалознавства та машинобудування, а також проводити відповідні дослідження та тестування для визначення властивостей матеріалів та їхньої придатності для конкретних виробів.

Недостатня увага до проблеми вибору матеріалів може призвести до недосягнення оптимальних результатів виробництва. Неправильний вибір матеріалу може призвести до підвищених витрат на виробництво, зменшення якості виробів, проблем з експлуатацією та недостатньою конкурентоспроможністю на ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття дизайну виробів машинобудування для забезпечення їх технологічності (або використовуючи англійське термінологію Design for manufacturability (DFM)) є частиною загальної методології проектування

«дизайн для X» (або DFX) [1]. Ця методологія або підхід до проектування, який базується на знаннях, використовуючи які можна розробляти вироби, що мають усі бажані характеристики у своєму дизайні, такі як висока якість, надійність, зручність обслуговування, безпека, зручність для користувача, екологічність і короткий час від проектування до виходу на ринок. Причому витрати на виробництво такого виробу та витрати на обслуговування протягом усього терміну служби мінімальні [2].

Принципи проектування для технологічності (DFM) і їх застосування насправді не є новими [3]. Інженери-конструктори усвідомлювали важливість проектування виробів, які б були дешевими, простими у виготовленні. Однак використання терміну «дизайн» для позначення технологічності, визнання його як гідного інженерного підходу та розробка організованої методології DFM з'явилися зовсім недавно [2].

Дизайн виробів машинобудування для забезпечення їх технологічності включає будь-який етап, метод або систему, яка забезпечує дизайн виробу, що полегшує завдання виробництва та знижує витрати на виробництво. У дещо більш конкретному сенсі DFM – це передусім техніка, заснована на знаннях, яка використовує вказівки, принципи, рекомендації або практичні правила для проектування виробу, щоб його було легко зробити [2]. Ці вказівки зазвичай сприяють багатьом загальним атрибутам виробу — правильному функціонуванню, надійності, гарному зовнішньому вигляду, зручності обслуговування тощо, — але їхньою основною метою є покращення технологічності.

Мета статті. Головний аспект, який розглядається в статті, – це важлива роль вибору матеріалів на початковій стадії дизайну виробу в концепції загальної методології проектування для технологічності (DFM).

Стаття є оглядово-інформаційною та охоплює такі аспекти:

- важливість вибору матеріалів у машинобудуванні, чому вибір матеріалів має вирішальне значення для досягнення технологічних цілей у виробництві машинобудівних виробів;
- огляд основних факторів, які варто враховувати при виборі матеріалів, таких як властивості матеріалів, технологічні вимоги, вартість, доступність та екологічні аспекти;
- огляд різних типів матеріалів, які використовуються у машинобудуванні, таких як метали, полімери, композити та кераміка, з обговоренням їхніх переваг, недоліків та застосувань;
- висвітлення основних викликів, з якими стикаються виробники при виборі матеріалів, таких як швидкий технологічний розвиток, стандартизація та регулювання, а також вказівки на перспективи майбутнього розвитку в цій галузі.

Мета статті полягає в тому, щоб окреслити проблеми вибору матеріалів у машинобудуванні та показати стратегії, які можуть допомогти вирішити ці проблеми та забезпечити технологічність виробів машинобудування.

Виклад основного матеріалу. Під час розробки виробу інженери-конструктори мали тенденцію недооцінювати або не помічати вище згаданих факторів, зосереджували свої зусилля лише на трьох факторах: функції (продуктивності), характеристиках і зовнішньому вигляді виробу. Вони, як правило, нехтували тим, як зручно буде використовувати виріб протягом терміну його служби або яка буде його вартість.

Першим важливим кроком в дизайні виробу для забезпечення його технологічності є ранній вибір комбінацій матеріалів і процесів для виготовлення деталей, які потім можна ранжувати за різними критеріями [2; 3].

Вибір матеріалів є головним визначальним фактором для успішного функціонування та можливого, недорогого виробництва будь-якого продукту. У деяких випадках при виборі матеріалу виникає реальний конфлікт між функціональністю та вартістю.

Є реальна потреба в економії витрат на матеріали, оскільки для більшості продуктів ці витрати становлять основну частину від загальної суми [4; 5]. Однак метою є не обов'язково мінімальна вартість матеріалів, а мінімальна загальна вартість, яка включає

початкову ціну матеріалу, вартість обробки та складання його з іншими матеріалами у виріб, вартість гарантування довговічності продукту та його обслуговування, і т. д. Таким чином, у довгостроковій перспективі найдешевший матеріал може не бути матеріалом із найнижчою ціною [5].

Більшість інженерних матеріалів можна класифікувати за однією з трьох основних категорій: метали, кераміка та полімери. Їхній хімічний склад різний, механічні та фізичні властивості різні, і ці відмінності впливають на виробничі процеси, які можуть використовувати для виготовлення виробів з них. На додаток до трьох основних категорій існують композити – неоднорідні суміші інших трьох основних типів, а не єдина категорія (рис. 1) [3; 6].

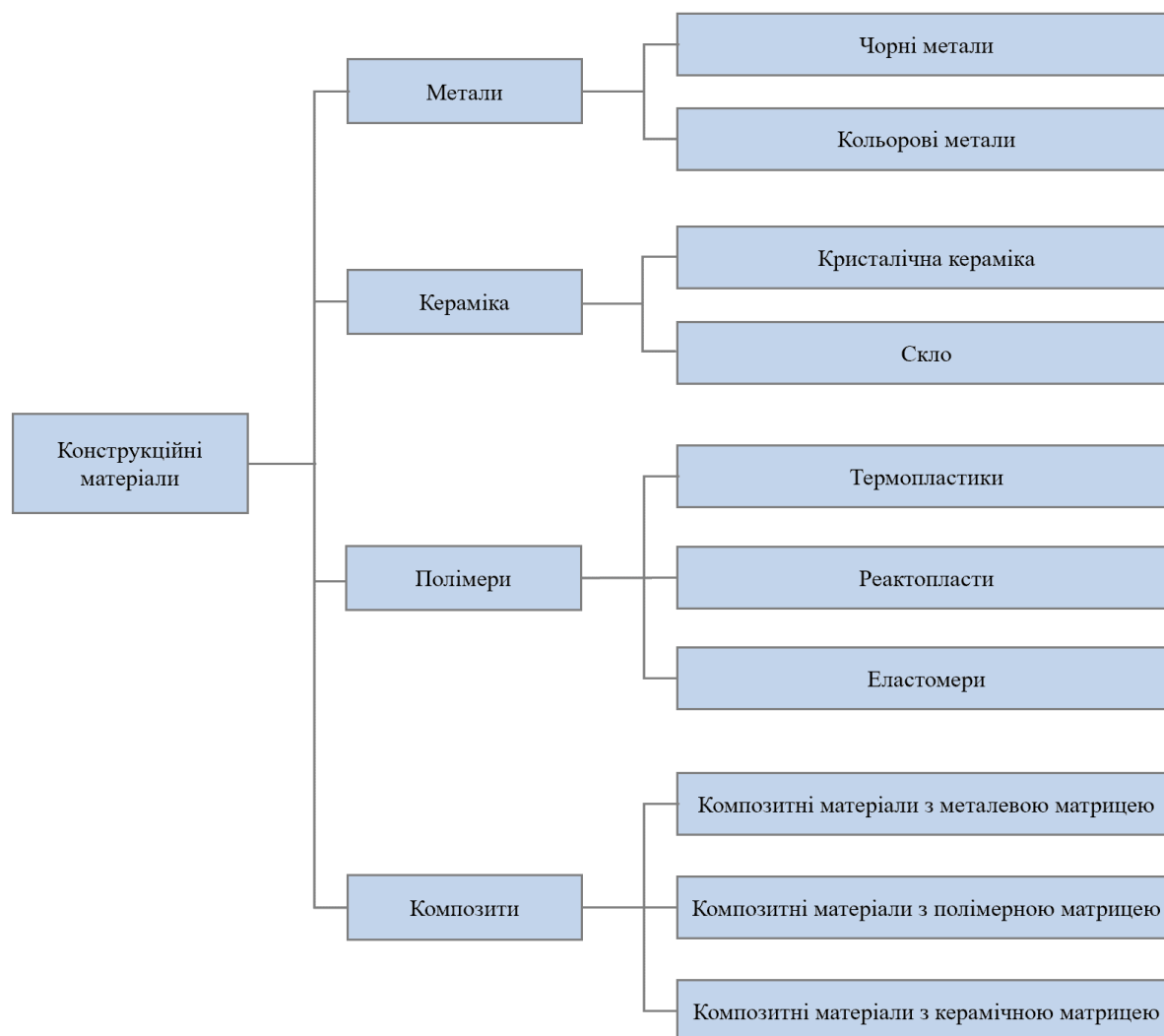


Рис. 1. Різноманітність конструкційних матеріалів

Джерело: адаптовано із [3].

На жаль, розробники схильні розглядати деталі з погляду процесів і матеріалів, з якими вони найкраще знайомі, і, як наслідок, вони можуть виключити з розгляду матеріали та комбінації процесу/матеріалу, які могли б виявитися більш економічними. Можливості для значного вдосконалення виробництва можуть бути втрачені через такий обмежений вибір відповідних матеріалів на ранніх стадіях розробки продукту.

Наприклад, використання композитних матеріалів замість традиційних металів може дозволити зменшити вагу виробу при збереженні необхідної міцності [5; 6] (рис. 2). Композитні матеріали мають кілька переваг у порівнянні з традиційними металами. Основні переваги композитних матеріалів полягають у таких характеристиках.

1. Висока міцність при низькій вазі. Композитні матеріали володіють високою міцністю та жорсткістю при значно меншій масі порівняно з традиційними металами. Це дозволяє знизити вагу кінцевого продукту, що впливає на його енергоефективність та економію палива [6; 7].

2. Висока корозійна стійкість. Композитні матеріали можуть бути стійкими до корозії та хімічних впливів. Особливо важливою є їх висока стійкість до корозії у вологому середовищі, де традиційні метали можуть піддаватися руйнуванню [8].

3. Гнучкість дизайну. Композитні матеріали дозволяють більшу свободу у дизайні продукту, оскільки їх можна формувати у складні геометричні форми. Це дозволяє виробляти продукти з високою міцністю та низькою масою, що особливо корисно у виробництві авіаційних та автомобільних компонентів [8].

4. Електроізоляція. Композитні матеріали на основі полімерних та керамічних матриць є відмінними електричними та тепловими ізоляторами. Це робить їх особливо цінними для використання в електроніці та електричних системах, де необхідно уникнути перенесення електричного струму [9].

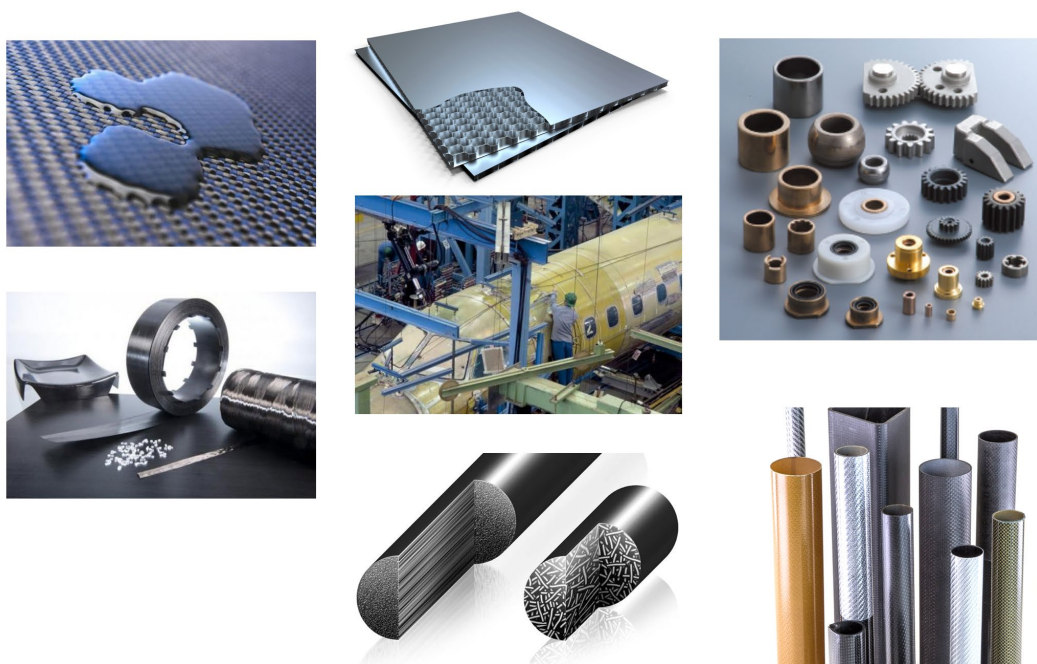


Рис. 2. Різноманітність використання композитних матеріалів

Джерело: з відкритих джерел Інтернету.

Вартість одиниці матеріалів є важливим фактором, коли порівнювані методи включають використання різних кількостей або різних форм кількох матеріалів. Наприклад, вартість матеріалів литої під тиском алюмінієвої деталі, ймовірно, буде більшою, ніж вартість чавунної деталі для того самого застосування. Інженерний пластик для деталі може мати ще більшу вартість. Процеси порошкового металу використовують меншу кількість дорогих матеріалів, ніж процеси лиття та механічної обробки. Крім того, втрати на брут можуть значно вплинути на вартість матеріалів [1; 3].

Для досягнення найменших витрат на матеріали, забезпечення технологічності виробу пропонуються наступні загальні рекомендації щодо правила вибору матеріалів [1]:

1. Використовуйте комерційно доступні форми заготовок, такі як прутки, дроти, балки, рейки, листи та інше, щоб мінімізувати внутрішньозаводські операції.

2. Використовуйте стандартні форми, розміри або готові формування заготовок, а не спеціальні, коли це можливо. Іноді більш важкі заготовки зі стандартного матеріалу коштують дешевше, ніж менші або точніші заготовки спеціального матеріалу.

3. Обов'язково розглядайте використання попередньо обробленого матеріалу як засобу економії витрат на операції обробки поверхні готового компоненту.

4. Вибирайте якомога більше матеріалів (відповідно до функціональних вимог) для технологічності. Наприклад, використовуйте сплави вільної механічної обробки для оброблених деталей, сплави, що легко формуються, для штампувань тощо. Варто витратити час, щоб визначити, який різновид основного матеріалу найбільше підходить для послідовності обробки, яка буде використовуватися.

5. Розробляйте виріб для максимального використання матеріалу. Зробіть кінці, наприклад, квадратними, а не спеціальної форми, щоб зменшити витрати на механічну обробку та брут.

6. Уникайте конструкцій, які за своїм дизайном можуть бути з високим рівнем браку.

DFM не є фіксованою системою. Ця система постійно вдосконалюється як в рамках університетських науково-дослідних проєктів, так і деякими компаніями. Метою майже всіх розробок є зробити рекомендації більш доступними для дизайнерів і легшими для застосування. Крім того, що ще важливіше, оцінки ставляться на кожну рекомендацію, щоб розробник міг визначити, скільки витрат можна досягти, якщо включити конкретну рекомендацію. Усі ці досягнення залежать від використання комп'ютерів. Комп'ютеризація – це рух, що розвивається зараз в DFM [1, 2].

Інженери-конструктори, інженери-виробники та промислові інженери під час аналізу альтернативних методів виробництва частини чи продукту загалом або виконання окремої операції чи всього процесу стикаються зі змінними вартості, які стосуються матеріалів, прямої праці, непрямой праці, спеціального інструменту, інструментів та приладдя, що швидко псуються, комунальних послуг та інвестованого капіталу. Взаємозв'язок цих змінних може бути значним, і тому порівняння альтернатив при виборі матеріалів має бути детальним і повним, щоб належним чином оцінити їхній повний вплив на загальні витрати на одиницю продукції.

Висновки. Вибір матеріалів є критичним етапом у машинобудуванні, оскільки він має прямий вплив на технологічність, ефективність та якість виробів. Необхідно враховувати різноманітні фактори при виборі матеріалів, такі як властивості матеріалів, технологічні вимоги, вартість та доступність. Категорії матеріалів у машинобудуванні включають метали, полімери, композити та кераміку, кожна з яких має свої переваги та обмеження, тому інженери-конструктори повинні знати останні тенденції в галузі матеріалознавства та машинобудування, проводити дослідження та тестування для визначення властивостей матеріалів.

Проблеми вибору матеріалів можуть бути вирішені за допомогою наукових досліджень, співпраці з постачальниками та розробки нових технологій.

Майбутні перспективи включають швидкий технологічний розвиток, вдосконалення процесів вибору матеріалів та розвиток нових матеріалів з унікальними властивостями.

Загалом, правильний вибір матеріалів є важливим кроком для забезпечення технологічності виробів машинобудування, і вимагає системного підходу, наукових досліджень та постійного оновлення знань у галузі матеріалознавства та технологій виробництва.

Список використаних джерел

1. Bralla James G. Design for Manufacturability Handbook / Bralla James G. – The McGraw-Hill Companies, Inc, 1999. – 1296 p.
2. Boothroyd, G. Product Design for Manufacture and Assembly / G. Boothroyd, P. Dewhurst, W. A. Knight – Taylor & Francis Group, 2011. – 712 c.
3. Groover, M. P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / M. P. Groover. – Wiley, 2007. – 1025 c.

4. Youssef H. A. *Machining technology: machine tools and operations* / H. A. Youssef, H. El-Hofy. – Taylor & Francis Group, 2008. – 672 p.
5. Smith, R. L. *Foundations of materials science and engineering* / R. L. Smith, J. Hashemi. – McGraw-Hill Education, 2006. – 1088 p.
6. Дослідження точності отворів у волокнистих полімерних композиційних матеріалах при обробці свердлами з дискретними покриттями глобулярного типу на робочій поверхні / Є. Корбут, В. Парненко, Т. Ніколаєнко, О. Плівак // *Технічні науки та технології*. – 2022. – №1(27). – С. 101-107. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1\(27\)-101-107](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1(27)-101-107).
7. Barbero E. J. *Introduction to Composite Materials Design* / Ever J. Barbero. – CRC Press, 2017. – 570 с.
8. Dieter G. E. *Engineering design* / G. E. Dieter, L. C. Schmidt. – McGraw-Hill Education, 2017. – 880 p.
9. Chawla K. K. *Composite Materials Science and Engineering* / K. K. Chawla. – Springer Science+Business Media New York, 2013. – 590 p.

References

1. Bralla James G. (1999). *Design for Manufacturability Handbook, 2nd Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
2. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston A. Knight. (2011). *Product Design for Manufacture and Assembly*. CRC Press. Taylor & Francis Group.
3. Mikell P. Groover. (2007). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Wiley.
4. Youssef, Helmi A., & Hassan, El-Hofy (2008). *Machining technology: machine tools and operations*. Taylor & Francis Group.
5. Smith, R. L., & Hashemi, J. (2006). *Foundations of materials science and engineering*. McGraw-Hill Education.
6. Korbut, Ye., Parnenko, V., Nikolaienko, T., & Plivak, O. (2022). Doslidzhennia tochnosti otvoriv u voloknystykh polimernykh kompozytsiinykh materialakh pry obrobsi sverdlamy z dyskretnymy pokryttiamy hlobuliarnoho typu na robochii poverkhni [Study of the accuracy of holes in fibrous polymer composite materials during processing with drills with discrete coatings of the globular type on the working surface]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (1(27)), 101–107. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1\(27\)-101-107](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-1(27)-101-107).
7. Ever, J. Barbero. (2017). *Introduction to Composite Materials Design*. 3rd Edition. CRC Press.
8. Dieter, G.E., & Schmidt, L.C. (2017). *Engineering design*. McGraw-Hill Education.
9. Krishan, K. Chawla. (2013). *Composite Materials Science and Engineering*. Springer Science+Business Media New York.

Отримано 12.06.23

UDC 62-1/-9

Oleh Osadchyi¹, Valeriia Parnenko²

¹Master of Science, Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)
E-mail: Oleg.Osadchiy-mmi22@iill.kpi.ua

²PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer, Department of Machine Design
National Technical University of Ukraine “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)
E-mail: valeri.parnenko@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1450-2744>. Scopus Author ID: [57217101654](https://orcid.org/57217101654)

DESIGN FOR MANUFACTURABILITY AND SELECTION OF MATERIALS OF MECHANICAL ENGINEERING PRODUCTS

The technology of engineering products is a very important factor that determines the efficiency and quality of production. The concept of manufacturability embodies the use of advanced technologies, materials, methods and processes for the development and manufacture of high-quality products. At the initial stage of product design, the designers are faced with the problem of choosing the optimal materials. The correct choice of material is of great importance to ensure production manufacturability, production efficiency, weight reduction and increase product strength, heat resistance and corrosion resistance. One of the main challenges is that there is a large number of materials available for use in mechanical engineering, and each

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

has its own characteristics, advantages, and limitations. Insufficient attention to the problem of material selection can lead to failure to achieve optimal production results. The wrong choice of material can lead to increased production costs, reduced product quality, problems with operation and insufficient competitiveness in the market.

The article is an overview and information. The main aspect considered in the article is the important role of material selection at the initial stage of product design in the concept of the general methodology of design for manufacturability (DFM). The purpose of the paper is to outline the problems of material selection in mechanical engineering and to show strategies that can help solve these problems and ensure the manufacturability of mechanical engineering products.

To achieve the lowest costs for materials to ensure the manufacturability of the product, some general rules for choosing materials are proposed. Prospects include rapid technological development, improvement of material selection processes, and development of new materials with unique properties.

In general, the correct choice of materials is an important step to ensure the manufacturability of engineering products, and requires a systematic approach, scientific research, and constant updating of knowledge in the field of materials science and production technologies.

Keywords: *manufacturability; construction; engineering products; design; quality; technological trends; materials; designing; DFM.*

Рис.: 2. Бібл.: 9.