

УДК 629.463.65

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/05>**Фомін О. В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

Козинка О. С.

Державний університет інфраструктури та технологій

Грицай С. В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Зеленський О. В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Лісничий В. С.

Державний університет інфраструктури та технологій

ІННОВАЦІЙНИЙ ТА КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ АСПЕКТИ ПОЛІМЕРНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

У цій статті аналізується використання кристалічних, органічних та неорганічних сполук, які утворюють довгі макромолекули завдяки послідовному з'єднанню ланок. Такі сполуки мають важливе значення в машинобудуванні, оскільки забезпечують захист конструкцій від корозії та механічних коливань, що впливають на їх міцність і довговічність. Крім того, застосування захисних покриттів сприяє покращенню техніко-економічних показників як у машинобудуванні, так і у вагонобудуванні. На сьогоднішній день пластмаси знаходять застосування у кожному автомобілі. Найчастіше вони використовуються для виробництва деталей інтер'єру салону, зокрема його передньої частини. До того ж, з пластмас виготовляють елементи двигуна, трансмісії та шасі. Використання пластмас у ковзних підшипниках дозволяє знизити трудомісткість обслуговування, оскільки такі підшипники з пластиковими вкладишами та вбудованою змазкою не потребують регулярного мастила протягом пробігу до 80–100 тисяч кілометрів. Стаття також присвячена аналізу основних переваг та недоліків полімерами конструкційних матеріалів. У машинобудуванні та виробництві комплексного промислового обладнання важливо, щоб механізми працювали надійно навіть при високих навантаженнях та тривалій експлуатації. Для цього вони мають володіти відмінними антифрикційними властивостями, високою зносостійкістю, стійкістю до критичних температур і забезпечувати ефективну теплоізоляцію. Сучасні термoplastи та композитні матеріали успішно відповідають цим вимогам. Використання пластмас у машинобудуванні дає значний техніко-економічний ефект: зменшується вага машин, економляться кошти на використання кольорових металів і сталей, а також знижуються трудомісткість обслуговування та собівартість виробів. Особливо застосування пластмас у тертьових вузлах сприяє підвищенню продуктивності та довговічності машин, знижуючи витрати потужності через опір тертя, а також зменшуючи загальну вартість і масу конструкцій. Крім того, використання сучасних матеріалів або обробка металевих поверхонь виступають необхідними заходами конструктивного захисту, оскільки корозія може негативно позначатися на довговічності та безпеці машинобудівних виробів.

Ключові слова: машинобудування, транспорт, рухомий склад, полімери, пластмаси, нові матеріали, експлуатація, надійність.

Постановка проблеми. Сучасні полімерами в залізничній галузі виступають основним чинником як технічного, так і економічного прогресу, забезпечуючи єдиний шлях до зростання конкурентоспроможності. Завдяки високій міцності та низькій щільності, вони є незамінними при виробництві сучасних конструкцій і виробів. До того ж, ці матеріали мають ряд додаткових

переваг, зокрема стійкість до корозії та тривалість експлуатації. Висока технологічність їх переробки при відносно низьких температурах відкриває широкі можливості для виготовлення виробів будь-якої складності за мінімальних витрат.

Надійна робота автомобіля, його тривала експлуатація, комфорт під час поїздок та безпека на дорозі можливі лише за умови застосування

полімерних матеріалів – таких як пластмаси, гума, лаки та фарби.

Заміна металів на пластмаси при виробництві деталей складної конфігурації забезпечує значний техніко-економічний ефект, адже велика кількість пластмасових виробів може бути виготовлена на автоматизованих установках із мінімальними відходами сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ми маємо справу з полімерами, які займають одне з лідируючих місць серед матеріалів для машинобудування. Споживання пластмас у цій сфері досягло рівня сталого споживання за обсягом. Постійно зростає також використання лакофарбових матеріалів, синтетичних волокон, клеїв та гуми [1, с. 189].

Доцільність використання полімерів у машинобудуванні обумовлена, насамперед, можливістю зниження собівартості продукції. При цьому основні техніко-економічні показники машин також зазнають поліпшення – зменшується їх вага, підвищуються довговічність, надійність та інші експлуатаційні характеристики [2, с. 105].

Внаслідок застосування полімерних матеріалів економляться ресурси металу, а зменшення відходів при переробці призводить до значного зростання коефіцієнта використання матеріалів (середній коефіцієнт використання пластмас приблизно у двічі перевищує показники для металів) [3, с. 720].

Аналіз літературних джерел [4, с. 458; 5, с. 85] дозволяє зробити висновок, що впровадження полімерних матеріалів – це обов'язковий захід, який дозволяє якісно покращити економіко-технічні показники в машинобудуванні. Важливо правильно вибрати відповідний полімерний матеріал, який відіграватиме велику роль у концепціях залізничних вантажних вагонах у сучасному машинобудуванні. Щоб забезпечити продуктивності, міцності, надійності та безпеку рухомого складу. Це зумовлює необхідність здійснення відповідних досліджень та напрацювань у зазначеному напрямі.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз легких, захисних та міцних матеріалів (полімерів), які відіграють особливу роль в машинобудуванні: захист від корозії та механічних коливань, які значно впливають на міцність та довговічність конструкцій. Перспективних моделей кузова напіввагону з нових матеріалів та застосування захисних покриттів для покращення техніко-економічних показників. Для досягнення поставленої мети, треба виконати ряд завдань:

- застосування полімерів у машинобудуванні;
- основні переваги полімерних конструкційних матеріалів;
- недоліків полімерних матеріалів;
- велике підприємство з виготовлення полімерів;
- застосування полімерних композиційних матеріалів на залізниці.

Виклад основного матеріалу. Доцільність використання полімерів у машинобудуванні визначається насамперед можливістю здешевлення продукції. При цьому покращуються найважливіші техніко-економічні характеристики машин: зменшується маса, підвищуються довговічність, надійність тощо.

Полімери – це сполуки, як органічного, так і неорганічного походження, які характеризуються кристалічною структурою завдяки з'єднанню ланок у довгі макромолекули. До них відносять природні речовини, зокрема білки, полісахариди, каучук та інші.

Епоксидні смоли – це полімери або олігомери, у яких присутні активні епоксидні групи. Вони широко використовуються як заливні смоли, а також для виготовлення епоксидно-скляних ламінатів і клеїв, що застосовуються для з'єднання металів, скла та керамічних матеріалів [6, с. 138]. Вони характеризуються високою адгезією лаків до металів, а також до покриття бетонних фундаментів. Епоксидні смоли виробляють під назвами: Araldit (Швейцарія), Epidian (Польща), Bacelit epoksi resin (Англія), Beckorx (Німеччина), DER (США), Dinox (США), Epikot (США), Epilox (Німеччина), Leverox (Німеччина), ED (СНД).

Пластмаса – це композиційний матеріал, у якому полімер виконує роль зв'язуючого компонента, що поєднує різні складові, такі як наповнювачі, пластифікатори, барвники, антиоксиданти та інші добавки [7, с. 1336]. Як наповнювачі в пластмасах можуть використовуватися скловолокно, тирса, азбест, газы та інші матеріали. Пластмаси, що містять наповнювачі, називають полімерними композиційними матеріалами.

З пластмас виготовляють кузови, кабіни автомобілів і їхні великогабаритні деталі, а також різноманітні дрібногабаритні елементи конструкційного та декоративного призначення, тепло- та звукоізоляційні компоненти та інші вироби [8, с. 241].

Полімерний матеріал каучук знайшов широке застосування в автомобілебудуванні. З нього виробляють полістирол і полівінілхлорид, які мають відмінні електроізоляційні властивості. В авіабудуванні

полімери використовуються у вигляді органічного скла, такого як поліметилметакрилат (плексиглас). Однак особливо велике поширення полімери отримали в загальному машинобудуванні [9, с. 83]. З полімерів виготовляють поліамідні волокна та тканини, зокрема шовк, капрон і нейлон. З кожним роком їх використання розширюється, що сприяло розробці нових матеріалів, таких як лавсан, поліетилентерефталат і штучна шерсть.

Важливим досягненням стало використання суміші триетилалюмінію та тетрахлориду титану, відомої як каталізатор Циглера-Натта, для отримання поліетилену високої щільності. Швидко освоєння цих каталізаторів сприяло появі таких синтетичних матеріалів, як поліпропілен і поліетилен.

Використання пластмас для виготовлення кабін, кузовів та їхніх великогабаритних деталей має значні перспективи, оскільки на кузов припадає близько половини маси автомобіля та близько 40 % його вартості. Кузови, виготовлені з корозійностійких пластмас, є більш надійними та довговічними в порівнянні з металевими, адже близько 70 % автомобілів із металевими кузовами не витримують 10-річного терміну експлуатації через корозію. До того ж, ремонт пластмасових кузовів є дешевшим і простішим.

Для виробництва кабін і кузовів автомобілів найчастіше застосовуються поліефірні склопластики та багатошарові пластики на основі фенольних смол і тканин з рослинних волокон (фенотекстоліти) [10, с. 65]. Наприклад, методом гарячого пресування зі склопластику виготовляли кузов легкового автомобіля «Корвет» (США), який складався з окремо формованих панелей, а також капот і облицювання вантажного автомобіля «Форд» серії L. Крім того, склопластик використовувався для виробництва кабін вантажного автомобіля «Фаун» і кузова спортивного автомобіля «ВМС» моделі 1100 (Великобританія) методом контактного формування. Для виготовлення кузовів застосовують також сополімер АБС і жорсткі пінополіуретани. Наприклад, кузов автомобіля «Діана-6-Мексарі» (Франція) складався з 11 деталей, одержуваних вакуумформуванням кополімеру АБС.

Були розроблені дослідні зразки легкового кабріолету УАК (маса 65 кг), виготовленого з пінополіуретану. Однак згодом поліуретан було замінено на алюміній, що зробило цей автомобіль економічно неперспективним через високу вартість.

Попри зазначені вище переваги полімерів перед металами, вони ще не отримали широкого поширення у виробництві великогабаритних деталей автомобіля, головним чином через недо-

статню жорсткість (низький модуль Юнга) та порівняно низьку атмосферостійкість, наприклад, у сополімеру АБС. Найширше пластмаси застосовують у виробництві деталей внутрішнього оздоблення салону автомобіля, особливо його передньої частини. При виготовленні декоративних деталей пластмаси фарбують у масі або металізують. На зовнішні видимі деталі метал наносять трудомістким, але таким, що дозволяє отримати більш зносостійкі покриття, гальванічним методом, на внутрішні деталі – вакуумним методом.

З пластмас виготовляють деталі двигуна, трансмісії, шасі. При використанні пластмас у підшипниках ковзання зменшується трудомісткість обслуговування автомобіля, тому що підшипники з вкладишами з пластмаси та консистентним мастилом, яке закладають під час збирання, не вимагають періодичного мастила при пробігу автомобіля до 80–100 тис. км.

Основні переваги полімерних конструкційних матеріалів:

- висока питома міцність (ставлення міцності до густини);
- зносостійкість;
- стійкість до хімічних впливів;
- гарні діелектричні характеристики;
- властивості полімерних матеріалів можна значно змінювати шляхом їх модифікації або поєднання з різними інгредієнтами. Наприклад, введення відповідних наповнювачів у полімери дозволяє отримувати фрикційні та антифрикційні матеріали, а також матеріали з струмопровідними, магнітними та іншими спеціальними властивостями.

До недоліків полімерних матеріалів відносяться:

- схильність до старіння;
- схильність до деформування під навантаженням (повзучість);
- залежність характеристик міцності від режимів навантаження (температура, час);
- порівняно невисока теплостійкість;
- відносно великий температурний коефіцієнт лінійного розширення;
- зміна розмірів під впливом на матеріал вологи чи агресивних середовищ.

З пластичних мас виготовляють широкий асортимент деталей і вузлів машин, а також різноманітне технологічне оснащення для різних галузей.

Основними причинами, чому традиційні матеріали на залізниці слід активно замінювати композитними, є їх висока корозійна стійкість, підвищена міцність, низька густина, відмінні ізоляційні властивості та хороше шумопоглинання

полімерних композитних матеріалів. Крім того, вироби з композитних матеріалів є більш надійними та довговічними в експлуатації, порівняно з їх аналогами, виготовленими з різних видів металів. На (рис. 1) зображено перспективний концепт кузова напіввагону який виготовлений з дерево-полімерного композиту. Це композитний матеріал, що складається з деревного порошку/волокон і пластику. Це водонепроникний і стійкий до комах матеріал, який не піддається корозії та гниттю, а також мають значний термін служби.

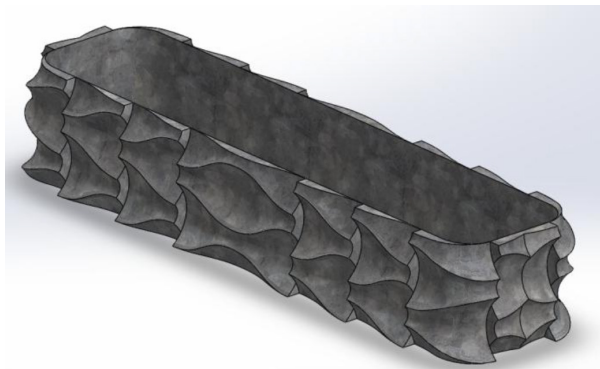


Рис. 1. Перспективний концепт кузова напіввагону з дерево-полімерного композиту

Дерево-пластикові композити вважаються екологічно безпечними матеріалами, адже після завершення їхнього життєвого циклу їх можна легко переробити для виробництва нових композитів.

Дніпрополімермаш – великий завод в Україні, що спеціалізується на виробництві гумоазбестових виробів. Заснований у 1967 році, завод пройшов через кілька структурних та організаційних перетворень за свою історію. Це найбільший виробник прес-форм для вулканізації пневматичних і масивних шин, камер та обідних стрічок в Україні. Продукція заводу використовується на 90 % шинними заводами країн СНД та України. Модельний ряд прес-форм є досить широким.

В даний час завод безперервно оновлює та модернізує обладнання та цехи. Завод займається виробництвом: обладнання для сільськогосподарських потреб, зварних металоконструкцій, обладнання для гірничодобувної, металургійної, переробної промисловості. Підприємство має гнучку технологію виробництва, що дозволяє швидко реагувати на найменші зміни в потребі ринку, в стислі терміни модернізувати продукцію, що випускається. Кваліфіковані співробітники займаються виробництвом, проектуванням та розробкою нестандартних машин, агрегатів та обладнання. На заводі безперервно відбувається впровадження та освоєння нових

технологій у машинобудуванні. Підприємство співпрацює з головними проектними та науководослідними інститутами. Все це дозволяє підприємству виробляти конкурентоспроможну продукцію та дотримуватись сучасних тенденцій ринку. При заводі є власне конструкторське бюро та технологічне підрозділ, у яких застосовуються сучасні програмні продукти.

Використання полімерних композиційних матеріалів у залізничній галузі забезпечує такі переваги:

- заміна дорогих металевих сплавів у конструкціях із зниженим навантаженням;
- зменшення ваги рухомого складу, що сприяє підвищенню швидкості;
- покращення безпеки перевезень завдяки використанню енергопоглинаючих елементів при зіткненнях;
- зниження рівня пожежної небезпеки на рухомому складі;
- скорочення трудовитрат під час ремонту;
- підвищення комфорту та ергономічності пасажирських вагонів, а також їх довговічності та зниження витрат на обслуговування;
- можливість повторної переробки виробів із термопластичних полімерів, що сприяє збереженню навколишнього середовища.

Висновки. Використання пластмас у конструкції автомобілів та рухомого складу дозволяє суттєво знизити їхню вагу, одночасно підвищуючи комфортність салону та рівень безпеки пасажирів. У середньому один легковий автомобіль містить близько 55 кг пластмас, при цьому ця кількість може зростати до 120 кг. Більше впроваджувати пластмаси у важке машинобудування, пасажирські та вантажні перевезення. Основною сферою застосування пластмас є виробництво великих зовнішніх компонентів із композиційних матеріалів, що сприяє зниженню маси транспортного засобу та підвищує його довговічність завдяки високій корозійній стійкості пластикових виробів. Крім того, використання високопродуктивних композитних пластмас дозволило виготовляти навантажені силові деталі, такі як ободи, рессори та вали.

Заміна металевих деталей на вироби з пластмас при виготовленні конструкцій складної форми забезпечує суттєвий техніко-економічний ефект, оскільки більшість таких компонентів може бути вироблена на автоматизованих установках з мінімальними відходами перероблюваного матеріалу.

Використання полімерних матеріалів у будівництві як пасажирського, так і вантажного рухо-

мого складу залізниці сприяє зниженню ваги, довговічності та зменшенню експлуатаційних скороченню витрат на виробництво, підвищенню витрат.

Список літератури:

1. Суберляк О. В., Яковенко Т. Т., Бабаханова Т. Г. та ін. Атлас технологічних схем виробництва полімерів та пластичних мас на їх основі / Суберляк О. В., Яковенко Т. Т., Бабаханова Т. Г., Тхір І. Г. – Л., 2002. 239 с.
2. Дослідження точності отворів у волокнистих полімерних композиційних матеріалах при обробці свердлами з дискретними покриттями глобулярного типу на робочій поверхні / Корбут Є., Парненко В., Ніколаєнко Т., Плівак О. *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).
3. Dieter G. E. Engineering design / G. E. Dieter, L. C. Schmidt. *McGraw-Hill Education*. 2017. p. 880.
4. Chawla K. K. Composite Materials Science and Engineering / K. K. Chawla. *Springer Science+Business Media New York*. 2013. p. 590.
5. Павленко В. М. та ін. Новітні технології в екологічно безпечних полімерних покриттях: дослідження, технології, перспективи. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2024. № 1 (19). С. 85–94. doi: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-85-94>
6. Sergii V. S., Sergii S. S., Fomin O., Gaichenia O., Zablotskyi Y., Pištěk V., Kučera P. Use of biofuels in marine diesel engines for sustainable and safe maritime transport. *Renewable Energy*. 2024. 120221 ISSN 0960-1481 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120221>
7. Sagin, S., Kuropyatnyk O., Sagin, A., Tkachenko I., Fomin O., Pištěk V., Kučera P., *Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe*. J. Mar. Sci. Eng. 2022. 10, 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>
8. Gorobchenko O., Fomin O., Gritsuk I., Saravas V., Grytsuk Y., Bulgakov M., Volodarets M. and Zinchenko D. Intelligent Locomotive Decision Support System Structure Development and Operation Quality Assessment. *IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. Kharkiv, Ukraine. 2018. P. 239–243. doi:10.1109/IEPS.2018.8559487
9. Sulim A. O., Fomin O. V., Khozya P. O., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of on-board capacitive energy storage of the underground rolling stock. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 5(1), P. 79–87. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/8
10. Fomin O., Sulym A., Kulbovsky I., Khozia P., Ishchenko V. Determining rational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2018. 2/1(92). P. 63–71. doi: 10.15587/1729-4061.2018.126080

Fomin O. V., Kozynka O. S., Hrytsai S. V., Zelenskyi O. V., Lisnychyi V. S. INNOVATIVE AND CONCEPTUAL ASPECTS OF POLYMER MECHANICAL ENGINEERING

This article analyzes the use of crystalline, organic, and inorganic compounds that form long macromolecules through the sequential bonding of links. Such compounds are of significant importance in mechanical engineering as they protect structures against corrosion and mechanical vibrations that affect their strength and durability. Furthermore, the application of protective coatings contributes to improved technical and economic indicators in both mechanical engineering and rail vehicle manufacturing. Nowadays, plastics are used in every automobile. They are most commonly employed in the production of interior parts of the cabin, particularly the front section. In addition, plastics are used to manufacture engine, transmission, and chassis components. The use of plastics in sliding bearings reduces the labor intensity of maintenance, since such bearings – with plastic bushings and integrated lubrication – do not require regular greasing for up to 80–100 thousand kilometers. The article also analyzes the main advantages and disadvantages of polymers as structural materials. In mechanical engineering and the production of complex industrial equipment, it is crucial that mechanisms operate reliably even under high loads and prolonged use. To this end, they must possess excellent antifriction properties, high wear resistance, stability at critical temperatures, and effective thermal insulation. Modern thermoplastics and composite materials successfully meet these requirements. The use of plastics in mechanical engineering yields significant technical and economic benefits: machine weight is reduced, expenses on non-ferrous metals and steels are saved, and both the labor intensity of maintenance and the production costs of components are lowered. In particular, the application of plastics in friction nodes contributes to increased productivity and longevity of machines by reducing power losses due to friction, as well as lowering the overall cost and weight of structures. Moreover, the use of modern materials or the treatment of metal surfaces serves as a necessary measure of structural protection, since corrosion can adversely affect the durability and safety of machine-building products.

Key words: mechanical engineering, transport, rolling stock, polymers, plastics, new materials, operation, reliability.