

УДК 623.4

Боєприпас протипіхотний для дистанційного мінування шляхом скиду з БпЛА типу коптер

В. В. Піманов¹, Д.О. Гуменний¹, О.К. Родюк¹, С.В. Ситник², Д.В Савченко².

¹ - КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

² - ТОВ «БСТІ «СТАНДАРТ-Т», м. Київ, Україна

Для збереження особового складу та полегшення роботи інженерних військ досить актуальним стало питання розробки пристроїв дистанційного мінування для БпЛА. Використання таких мето-дів встановлення мін дозволяє значно підвищити безпечність та ефективність за рахунок виконання завдань дистанційно. Для таких цілей було розроблено протипіхотний боєприпас для дистанційного мінування під БпЛА типу коптер. Такий боєприпас працює за принципом доставки за допомогою БпЛА з подальшим скидом з заданої висоти. У результаті падіння боєприпас фіксується у ґрунті та встановлює розтяжки за рахунок дії піропатрону, що зводиться ударно-спусковим механізмом. Завдяки застосуванню піропатрона вдалося забезпечити необхідний радіус дії встановлення розтяжок та спростити конструкцію виробу.

Бойова частина має радіус ефективного ураження понад 12 метрів завдяки оптимальному співвідношенню маси вибухівки та елементів ураження. Загальна конструкція та її елементи є стійкими до вологості та температурних умов. Розроблений пристрій підвищує ефективність ведення бою, забезпечуючи сучасний підхід до вирішення тактично-бойових завдань.

Ключові слова. БпЛА, 3Д-друк, дистанційне мінування, оборонні технології, вибухівка.

Метою роботи є розробка боєприпасу для дистанційного мінування за допомогою БпЛА типу коптер.

З початком агресії Російської федерації проти України досить гостро стало питання щодо удосконалення існуючих зразків озброєння та розробки нових. Це дало значний поштовх у розвитку різних типів БпЛА для різних способів застосування. Для збереження особового складу та полегшення роботи інженерних військ досить актуальним стало питання розробки пристроїв дистанційного мінування для БпЛА [1, 2]. Використання таких методів встановлення мін дозволяє значно підвищити безпечність та ефективність за рахунок виконання завдань дистанційно [3]. Для таких цілей було розроблено протипіхотний боєприпас для дистанційного мінування під БпЛА типу коптер. Такий боєприпас працює за принципом доставки за допомогою БпЛА з подальшим скидом з заданої висоти. У результаті падіння боєприпас фіксується у ґрунті та встановлює розтяжки за рахунок дії піропатрону, що зводиться ударно-спусковим механізмом. Завдяки застосуванню піропатрона вдалося забезпечити необхідний радіус дії встановлення розтяжок та спростити конструкцію виробу.

Розробка включає використання сучасних матеріалів і технологій, таких як 3Д-друк, що знижує вагу та собівартість пристрою [4, 5]. Бойова частина має радіус ефективного ураження понад 12 метрів завдяки оптимальному співвідношенню маси вибухівки та елементів ураження. Загальна конструкція та її елементи є стійкими до вологості та температурних умов в межах від -40 до +50 °С. Розроблений пристрій підвищує ефективність ведення бою, забезпечуючи сучасний підхід до вирішення тактично-бойових завдань.

На початку розробки було 2 концепції конструкції механізму розкидування розтяжок: з використанням пружини, у якості виштовхуючого елемента; з використанням стандартного холостого патрону, де у якості виштовхуючої сили використовується тиск, який з'являється

внаслідок згоряння порохових газів. Було прийняте рішення використати другу концепцію, що в подальшому показало не тільки необхідний радіус розльоту розтяжок, а також дозволило спростити конструкцію, що призвело до здешевлення пристрою.

Доставка та встановлення міни відбувається за допомогою БПЛА типу коптер, з вантажопідйомністю від 2,5 кг. Завдяки силі інерції міна фіксується вертикально встановлюючись у ґрунт металевим стрижнем. Під час удару об поверхню спрацьовує ударний механізм, який приводить в дію піропатрон, за рахунок якого, здійснюється розкидання вантажів, до яких кріпиться мононитка (стропа), яка забезпечує зону (радіус) взведення пристрою, шляхом механічної дії на неї. Даний боеприпас оснащений платою ініціації, що має таймер активації після падіння та самоліквідацією за вказаними часом. Також даний пристрій передбачає, в залежності від виробника плати ініціації, змінювати засоби ініціації пристрою.

Загальний вигляд боеприпасу протипіхотного для дистанційного мінування показано на рис. 1. Даний боеприпас має хвостовик 1 для стабілізації при скиданні з БПЛА, який кріпиться до механізму розкидування розтяжок 3. Даний механізм споряджений піропатроном, який зводиться ударно-спусковим механізмом. Для ініціації бойової частини 5, у корпусі 2 встановлюється плата ініціації у вікно 7. Сама бойова частина 5 має авторське рішення електродетонатора 4 з запобіжником. Даний електродетонатор дозволяє безпечно встановлювати плату ініціації, безпосередньо перед бойовим використанням.

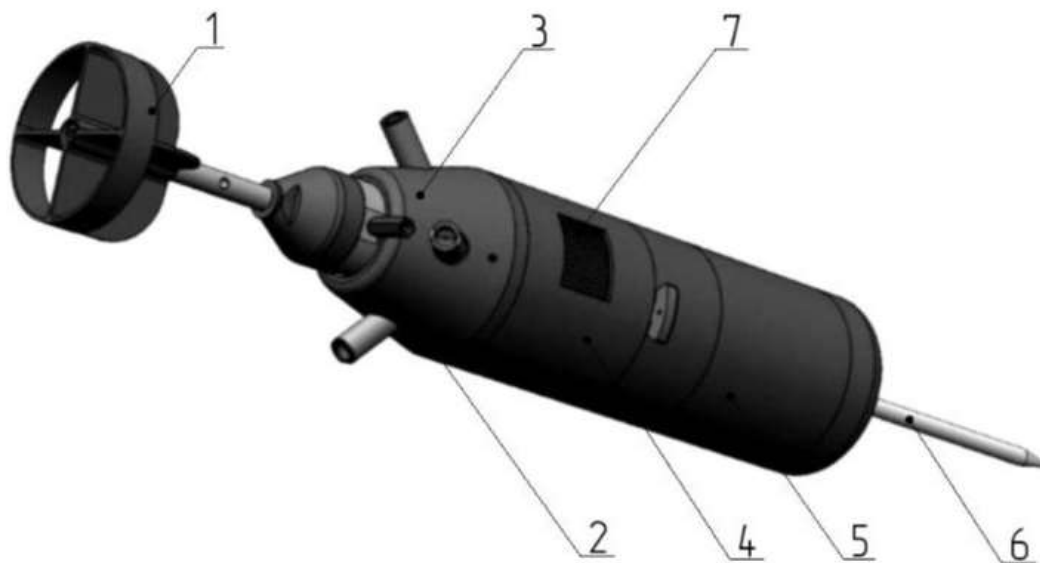


Рис.1. Загальний вигляд боеприпасу протипіхотного для дистанційного мінування

Бойова частина складається з осколкової корпусу, який містить додатково встановлену касету з готовими елементами ураження у вигляді кульок діаметром 5 мм, спорядженої вибуховою речовиною. Під час проектування бойової частини було застосовано наступне співвідношення між масою вибухівки та масою елементів ураження: 5:1, де 1 – це маса вибухівки. Експериментальним методом було встановлено радіус ефективного ураження. Він вважається таким, на якому у профіль людини (було прийнято 1 м^2) потрапить хоча б один уламок. Таким чином радіус ефективного ураження складає приблизно від 12 до 14 метрів.

Для виготовлення більшості зовнішніх та внутрішніх елементів пристрою було прийняте рішення використати адитивні технології. Ці технології дали змогу швидко виготовити деталі з високою точністю, забезпечити необхідну міцність, суттєво зменшити вагу та вартість пристрою.

Для більш відповідальних елементів пристрою, що потребують високої міцності та властивостей, які не має 3Д-друк, була застосована низка металів та технологій для отримання необхідних деталей.

Під час проектування корпусу ключовим моментом було забезпечення легкості збірки та з'єднання елементів конструкції між собою. Корпус має не тільки надійно фіксувати всі внутрішні елементи, а також бути герметичним та стійким до будь-яких погодних умов.

Висновки.

Результатом розробки є ефективний і безпечний боєприпас протипіхотний для дистанційного мінування, що відповідає всім сучасним військовим вимогам. Впровадження сучасних плат ініціації, дозволило оптимізувати конструкцію та знизити загальну вартість пристрою. Серед особливостей розробки є численні ключові запобіжники, які роблять експлуатацію безпечною для військового. Основними перевагами пристрою є простота збірки, стійкість компонентів до різних погодних умов і високий ефективний радіус ураження 12-14 метрів. Розвиток сучасних технологій, таких як 3Д-друк, забезпечив високу точність компонентів, мінімальні швидкості виготовлення та витрати.

The Anti-personnel ammunition for remote mining by dropping from a copter-type UAV

V. V. Pimanov, D.O. Gumennyi, O.K. Rodiuk, S.V. Sytnyk, D.V. Savchenko

Abstract. *To preserve personnel and facilitate the work of engineer troops, the development of remote mining devices for UAVs has become quite relevant. The use of such methods of mine placement can significantly increase safety and efficiency by performing tasks remotely. For this purpose, the anti-personnel munition for remote mining for UAVs of the copter type was developed. This munition works on the principle of delivery by UAV and subsequent drop from a specified height. As a result of the fall, the munition is fixed in the ground and sets up tripwires due to the action of a pyrotechnic cartridge, which is fired by a trigger mechanism. The use of a pyrotechnic cartridge made it possible to ensure the required range of the tripwire and simplify the design of the product.*

The warhead has a radius of effective destruction of more than twelve meters due to the optimal ratio of explosive weight to the destruction elements. The overall structure and its components are resistant to moisture and temperature conditions. The developed device increases the effectiveness of combat, providing a modern approach to solving tactical and combat tasks.

Keywords. *UAV, 3D printing, remote mining, defense technologies, explosives.*

Список літератури

1. Русанов А. Дрони ЗСУ мінують шляхи російських окупантів з повітря – деталі тактики від експерта. ІТС.ua. URL: <https://itc.ua/ua/novini/yak-drony-zsu-minuyut-shlyahy-rosijskyh-okupantiv-z-povitrya/>.
2. Крамаренко Д., Коваленко О., Мусієнко О. Битва безпілотників. Навіщо Україні FPV та чи змінить мільйон дронів хід війни. РБК-Україна. URL: <https://www.rbc.ua/rus/news/bitva-bezpilotnikov-navishcho-ukrayini-fpv-1703172982.html>.
3. Бойченко Ю. Які бувають типи мін і як їх розрізнити? Розповідаємо. URL: <https://nikvesti.com/news/public/297107-yaki-buvayut-typu-min-i-yak-yikh-rozrinyaty-rozpovidayemo>
4. Застосування сил і засобів дистанційного мінування. Настанова. — Київ: Видавничий дім «СВАРОГ», 2023. — 54 с: <http://surl.li/chswwk>.
5. Additive Manufacturing Technologies / I. Gibson et al. Cham: Springer International Publishing, 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7>Марков О.Е., Шарун А.О., Косилов М. С. Современные способы получения тонкостенных днищ ответственного назначения. Обработка материалов давлением. Краматорск: ДГМА, 2017. №1 (44). С. 115–123.

УДК 621.73.043

Технологія формоутворення заготовки для корпусу гранати калібром 40мм з прогнозованим утворенням елементів ураження

Піманов В.В.; Орлюк М.В.; Савченко Д.В.; Родюк О.К.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація. Розроблено технологію виготовлення корпусу гранати гранатометного пострілу калібром 40мм. За допомогою методу скінченних елементів в програмному комплексі DEFORM створено математичну модель та проведено моделювання процесів гарячого профілювання, карбування та подальшого холодного витягування у двохконусну матрицю з потоншенням напівфабрикату. Відображено розрахункові схеми процесів виготовлення заготовки корпусу, а також форму та розміри заготовок після вказаних операцій. Проаналізовано можливість отримання корпусу гранати калібром 40мм з прогнозованим утворенням елементів ураження запропонованою технологією виготовлення.

Ключові слова. Метод скінченних елементів; корпус гранати; попередньо-спрофільована заготовка; витягування.

Одними з ефективних видів боєприпасів для ведення вогню на відстані від 400 метрів до 2000 метрів є гранатометні постріли. Найбільш розповсюдженими серед них є боєприпаси стандарту НАТО осколково-фугасної та кумулятивної дії калібром 40мм. Такі боєприпаси можуть застосовуватися не тільки в автоматичних, а і в ручних чи підствольних гранатометах.

Загальна конструкція боєприпасу складається з гранати, що має підрильник, та гільзи з металевим зарядом [1, 2]. Підрильник є найбільш складною одиницею виробу, але на ефективність дії гранати впливає кількість вибухової речовини та конструкція корпусу гранати [3], яка впливає на параметри осколкового поля, масу та форму осколків [4,5].

Більшість виробництв виготовляють корпуси гранат механічною обробкою з круглого прокату. Дана технологія має малий коефіцієнт використання матеріалу, оскільки значна його частина йде у відхід у вигляді стружки.

Існують сучасні технології, які дозволяють отримувати заготовки або готові корпуси гранат [6]. Такі технології потребують високотехнологічного та дорогого обладнання.

Альтернативним методом є отримання заготовок корпусів шляхом пластичного формоутворення. Таке виробництво є масовим і потребує впровадження нових або вдосконалених технологій, які дозволять не тільки підвищити економічність виробництва, а й характеристики виробу в цілому.

Метою роботи є за допомогою програмного комплексу DEFORM розробити технологію виготовлення корпусу гранати калібром 40мм з прогнозованим утворенням елементів ураження.

Для проведення досліджень було обрано діючу конструкцію корпусу гранати калібром 40мм до гранатометного пострілу зразка НАТО (рис. 1, а) та введено конструктивні зміни (рис. 1, б), з урахуванням технології виготовлення, для підвищення ефективності осколкової вказаної гранати.

Особливістю даного корпусу є те, що він має на внутрішній поверхні концентратори для більш рівномірного дроблення корпусу з ефективною масою осколку. За рахунок нанесених концентраторів можливо прогнозувати кількість, форму та масу осколків.

Технологія виготовлення корпусу заготовки передбачає отримання концентраторів на його внутрішній поверхні шляхом формоутворення пластичною деформацією.

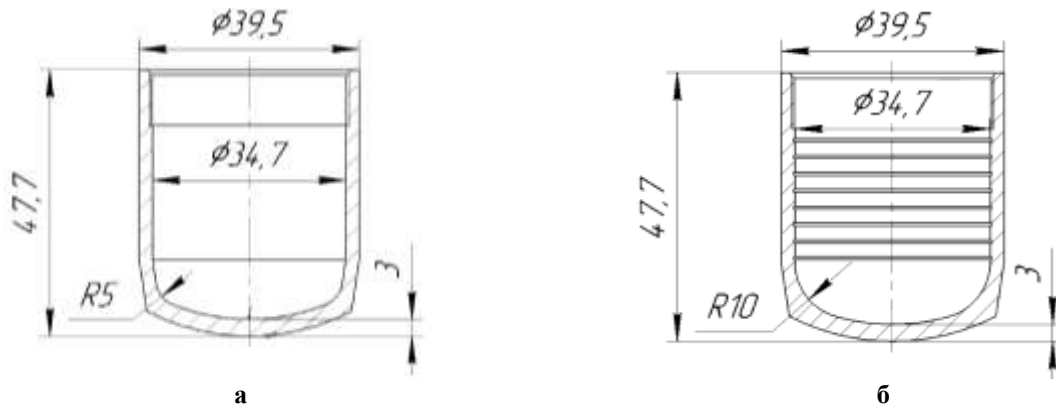


Рис. 1. Ескізи корпусів

Для отримання корпусу гранати до 40 мм гранатометного пострілу запропоновано наступний технологічний ланцюг: вирубка з листа чи зі смуги плоскої заготовки, гаряче профілювання плоскої заготовки (рис. 2), травлення від окалини та фосфатування поверхні заготовки під нанесення змащення, карбування на плоскій стороні заготовки концентраторів (рис. 3), холодне витягування з потоншенням заготовки (рис. 4), механічна обробка до кінцевої форми та розмірів.

За рахунок зміцнення матеріалу в процесі холодної пластичної деформації [8] було запропоновано виготовлення заготовки корпусу гранати зі сталі 10 [7]. Використання матеріалу з меншою межею міцності і більш високою пластичністю, ніж традиційні матеріали для виготовлення корпусів гранат, дозволяє скоротити кількість поопераційних переходів витягування, зменшити зусилля процесів та отримувати вироби з прогнозованими механічними властивостями

Форму та розміри профільованої заготовки підібрано експериментально розрахунковим шляхом [9] в програмному комплексі DEFORM [10]. Було проведено чисельне моделювання для процесів гарячого профілювання, карбування концентраторів та витягування.

Гаряче профілювання здійснюється за рахунок осадження фланцевої частини заготовки перемінним перерізом (конусною формою). Розрахункова схема процесу профілювання заготовки наведена на рис. 2.

При моделюванні була задана початкова температура заготовки 860-750°C, а температура деформуючого інструменту 300°C. Робочий хід пуансона становив 1,8 мм, зусилля деформування складало 2,78 МН.

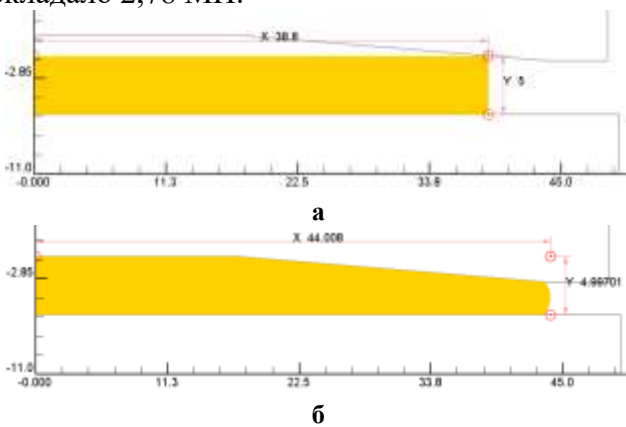


Рис. 2. Розрахункова схема процесу гарячого профілювання заготовки:
а – у вихідному положенні; б – у кінцевому положенні

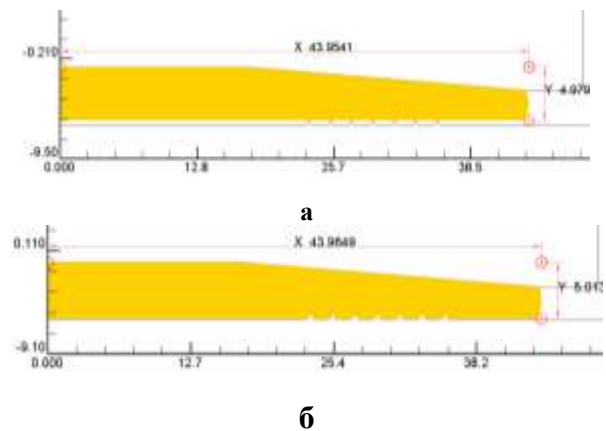


Рис. 3. Розрахункова схема процесу карбування концентраторів на заготовці:
а – у вихідному положенні; б – у кінцевому положенні

В процесі моделювання було встановлено зміну температури в об'ємі zdeформованої заготовки від 800 до 650. При цьому максимальні значення критерію руйнування K_p складають до 0,1 у місці мінімальної температури. У найтоншому місці кінцевого фланця інтенсивність деформації досягає значення 0,7. На плоскій частині потоншеного кінцевого фланця, при максимальному зусиллі процесу 2,78 МН, максимальні значення інтенсивності напружень досягають 350 МПа.

Після отримання спрофільованої заготовки, формування концентраторів пропонується провести карбуванням у холодному стані. Розрахункова схема процесу карбування наведена на рис. 3. При переміщенні пуансона 0,45 мм зусилля деформування складо 2,3 МН.

За результатами моделювання карбування встановлено, що максимальні значення критерію руйнування K_p , які досягають 0,15, знаходяться у місцях карбування концентраторів. В цьому ж місці максимальні значення напруження складають 700 МПа. У найтоншому місці кінцевого фланця інтенсивність деформації досягає значення 0,65.

Наступною операцією є витягування з потоншенням у двохконусну матрицю. Розрахункова схема процесу витягування наведена на рис. 4.

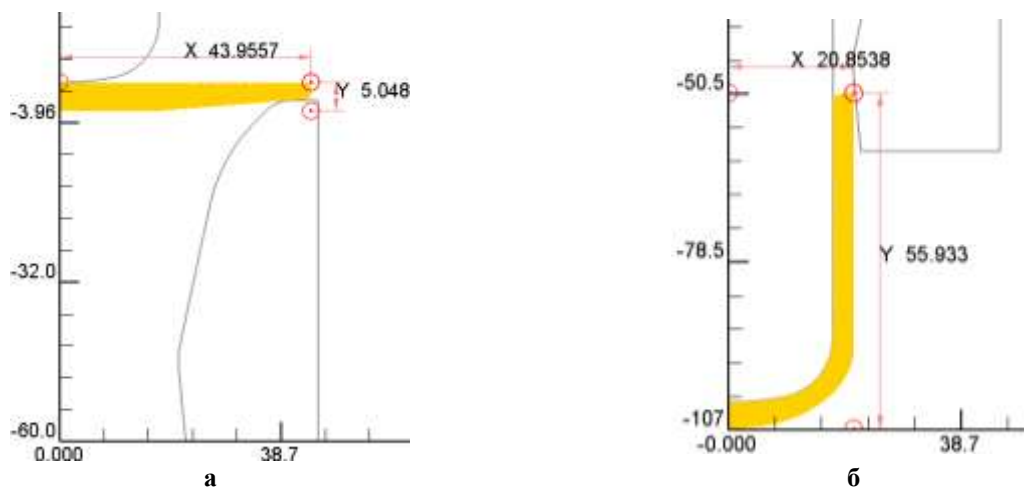


Рис. 4. Розрахункова схема процесу витягування з потоншенням:
а – у вихідному положенні; б – у кінцевому положенні

При моделюванні процесу витягування максимальне зусилля складо 250кН. Також встановлено, що значення критерію руйнування K_p в об'ємі zdeформованої заготовки досягають 0,8 в зовнішній радіусній частині та в місцях концентраторів (рис. 5). Максимальне значення інтенсивності деформації складає 1,1 (рис. 6) у верхній частині циліндричної заготовки.

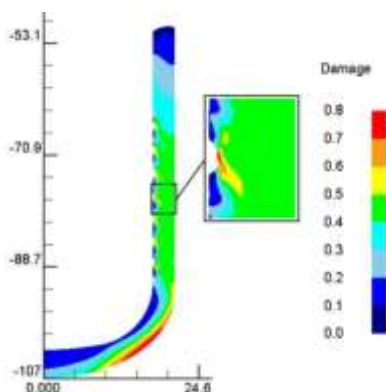


Рис. 5. Значення критерію руйнування K_p в об'ємі zdeформованої заготовки

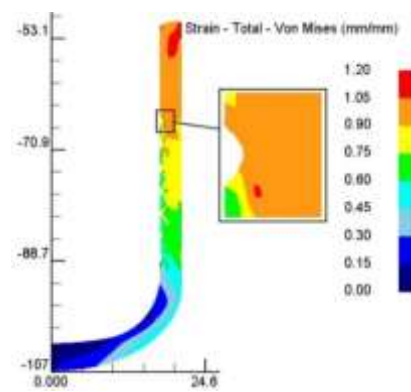


Рис. 6. Розподіл інтенсивності деформації в об'ємі zdeформованої заготовки

Вказані параметри дозволяють прогнозувати якісні характеристики матеріалу після деформування, які будуть використовуватись в подальших дослідженнях по впливу технологічних параметрів на осколковість корпусу гранати.

Висновки.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що за вказаною технологією можна отримати заготовку корпусу для осколкової гранати калібром 40мм зразка НАТО з прогнозованими елементами ураження. В результаті моделювання було отримано прогнозовані механічні властивості матеріалу корпусу гранати, які будуть використовуватись в подальших дослідженнях по впливу технологічних параметрів на осколковість корпусу гранати.

The technology of manufacturing a workpiece for a 40mm caliber warhead body with predicted formation of damage fragments

Valeriy Pimanov; Mykhailo Orliuk; Denys Savchenko; Oleksandr Rodiuk

Abstract. *A technology of manufacturing a 40mm caliber warhead body for automatic grenade launcher has been developed. Using the finite element method in the DEFORM software package, a mathematical model has been created and processes simulation of hot profiling, cold upsetting and cold sheet drawing into a two-conical die with thinning of the semi-finished product has been carried out. Calculation models of the manufacture processes for workpieces, as well as the shape and dimensions of the workpieces after the specified operations, have been displayed. The possibility of obtaining a 40mm caliber warhead body with predicted formation of damage fragments by the proposed manufacturing technology has been analyzed.*

Keywords. *sheet drawing, warhead body; previous profiled blanks, finite element method.*

Список літератури

1. Постріл гранатометний : пат. 124912 Україна : F42B 12/02, F42B 30/08, F42C 1/04, F42C 9/16, F42C 15/36. № а 2020 06281 ; заявл. 28.09.2020 ; опубл. 25.08.2021, Бюл. № 49/2021.
2. Постріл для гранатомета осколково-фугасний (ПГОФ-40): пат. 117795 Україна : F42B 12/02, F42C 9/14. № а 2017 06468; заявл. 23.06.2017 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18.
3. Зеленко В. К., Брызжев А. В., Злобин В. В., Королёв В. М. Выстрелы для автоматических гранатомётов / Пистолетные и снайперские патроны. Гранатомётные выстрелы. Учебное пособие. – Тула: Инфра, 2008. – 120с.
4. Васьківський М.І. Експериментальні дослідження основних показників ефективності гранат типу ВОГ-25 / М.І. Васьківський, С.П. Бісик, С.В., Журавський В.С. Курихін, С.Л. Кондрачуков, В.В Піманов. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ / ЦНДІ ОВТ ЗС України. Вип. 3 (74). К. : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2019. С. 87–98.
5. Перспективные европейские малокалиберные боеприпасы воздушного подрыва с программируемыми взрывателями [Електронний ресурс]: По представлению акад. РАРАН В.В. Селиванова / В.Н. Зубов, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 4 (99). – URL: http://btvt.narod.ru/4/rarn_airburst.htm
6. Powder injection moulding // PIM International, Vol. 14 No. 3 September 2020. [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.pim-international.com/powder-injection-moulding-international-magazine-archive/pim-international-vol-14-no-3-september-2020/>
7. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. Третьяков А. В., Зюзин В. И. 2-е изд. М., «Металлургия», 1973. – 224 с.
8. Евстратов В. А. Теория обработки металлов давлением / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1981. – 248 с.
9. Савченко Д. В. Розробка конструкції та технології виготовлення корпусу гранати гранатометного пострілу калібру 40 мм: магістерська дис.: 131 Прикладна механіка / Савченко Денис Валентинович. – Київ, 2022. – 96 с.
10. DEFORM Users Manual, 2000, Scientific Forming Technologies Corporation, Version 10.

УДК 621.762

Гаряче штампування дисперсно–зміцнених металоматричних композитів теорія та практика

Кирилюк Степан Федорович^{1,2}; Баглюк Геннадій Анатолійович¹; Толочин Олександр Іванович¹; Кирилюк Євгенія Сергіївна¹

1-Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київ, Україна

2- Донецький фізико-технічний інститут імені О. О. Галкіна НАН України, Київ, Україна

В роботі наведені результати комп'ютерного моделювання процесу гарячого деформування поруватої заготовки, а також поведінки металоматричного дисперснозміцненого середовища в процесі гарячого деформування. Моделювання проводили методом скінченних елементів з використанням програмного комплексу DEFORM 2D/3D. Результати моделювання показали що досліджувана схема забезпечує низьку неоднорідність деформацій по об'єму поковки. В свою чергу, результати експериментальних досліджень показали, що не зважаючи на значну пластичність матриці, метало матричні композити системи Al–TiC з підвищенням температури втрачають здатність до пластичної течії. Моделювання поведінки дисперснозміцненого середовища в процесі деформування показало що при підвищенні температури деформування дані композити схильні до утворення важкодеформованого карбідного каркасу. При цьому при підвищенні температури деформування здатність композиту до ущільнення – збільшується.

Ключові слова: пористе тіло; гаряче штампування; деформація; відносна густина; моделювання; поковка.

На даний момент є актуальним розроблення нових матеріалів та встановлення закономірностей поведінки їх при гарячому деформуванні. Комп'ютерне моделювання процесу гарячого деформування пористої заготовки та поведінки середовища що деформується, а також експериментальне підтвердження результатів моделювання має важливе значення для встановлення фундаментальних закономірностей поведінки матеріалів при їх термомеханічній обробці. Так отримані результати досліджень можуть бути використанні при розробленні технології виготовлення виробів функціонального призначення з заданими властивостями. Це дає можливість при проектуванні технологічного оснащення використовувати схеми деформування при яких відбудеться заповнення порожнини матриці, буде отримана мінімальна залишкова поруватість та відповідна структура композиційного матеріалу котра забезпечить необхідні технологічні параметри.

В даній роботі представлені результати моделювання в середовищі Deform 2D/3D, метою яких було встановлення розподілу деформацій та залишкової поруватості при гарячому деформуванні поруватого середовища за схемою що досліджується а також експериментальні дослідження та результати моделювання поведінки середовища що деформується.

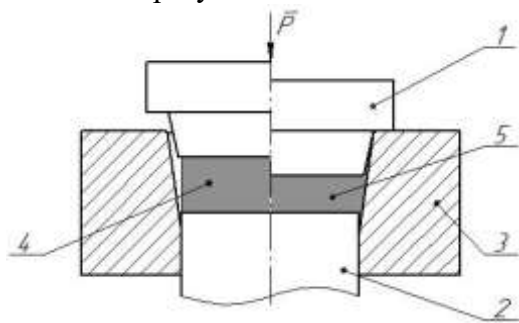


Рис. 1. Схема гарячого деформування
1 – верхній пуансон; 2 – нижній пуансон; 3 – матриця; 4 – заготовка; 5 – поковка

робочого інструменту становить $V=9$ мм/сек.

На рис. 1 приведена розрахункова схема [1]. В якості реологічної моделі середовища що деформується була прийнята модель жорстко–пластичного поруватого тіла [2] в гарячому стані. Вирішення відповідних граничних задач виконувалось методом скінченних елементів [3]. Вихідна поруватість становить 20%. Матеріал що деформується – Al–2024 (Д16Т) нагрітий до температури $T=450^{\circ}\text{C}$, коефіцієнт тертя 0,4. Оскільки під час експерименту планується проводити гаряче деформування на гідравлічному пресі, швидкість переміщення

Аналіз результатів комп’ютерного моделювання показав (рис. 2.), що досліджувана схема забезпечує рівномірний розподіл деформацій в більшості об’єму поковки. При цьому варто відмітити характерні зони знижених величин деформацій в верхній та нижній частині перерізу, котрі обумовлені наявною силою тертя між інструментом та матеріалом що деформується. Також варто відмітити зону інтенсивної течії матеріалу біля бічної поверхні матриці. Дана інтенсивна течія обумовлена витіканням надлишку матеріалу в порожнини облойних щілин на фінальній стадії деформування.

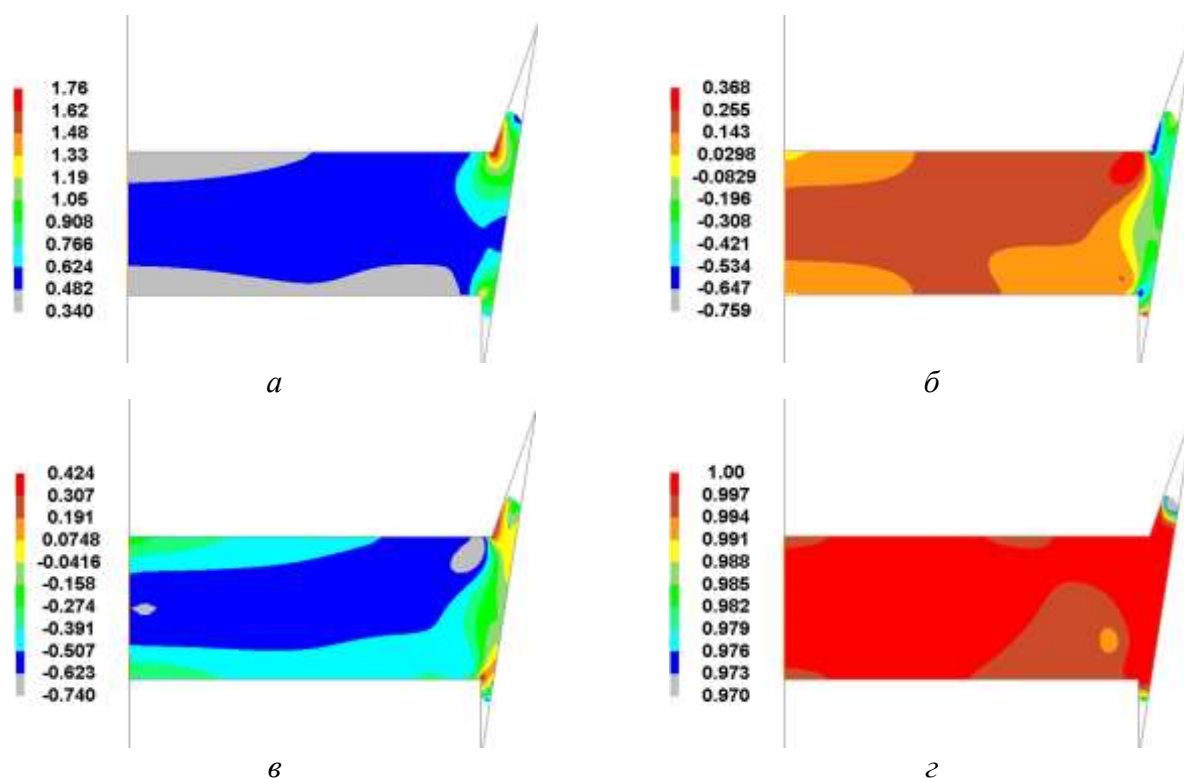


Рис. 2. Епюри розподілу інтенсивності деформацій ϵ_i (а), складових ϵ_R (б) та ϵ_z (в) а також відносної щільності θ по об’єму поковки

Для оцінки ефективності використання досліджуваної схеми деформування було проведено експериментальне дослідження з отримання циліндричних заготовок з метало матричного композиту системи Al–TiC за технологічною схемою котра включає в себе: отримання поруватої заготовки та подальше її гаряче штампування на гідравлічному пресі з температурами нагріву під гаряче деформування $T=520^\circ\text{C}$ та $T=630^\circ\text{C}$. Результати експериментальних досліджень показали, що під час деформування матеріалу збільшення температури нагріву призводить до зниження пластичності композиту в цілому оскільки при збільшенні температури нагріву спостерігалось не дозаповнення порожнини матриці. Оскільки, в композиті що деформувався, об’ємний вміст твердих включень становить близько 50% зниження пластичності композиту в цілому при підвищенні температури деформування пов’язане з утворенням важкодеформованого карбідного каркасу.

Для підтвердження даного припущення, було проведено комп’ютерне моделювання поведінки дисперснозміцненого середовища з різним впорядкуванням твердих включень в об’ємі композиту (рис. 3). Моделювання поведінки середовища проводили для двох температур $T=150^\circ\text{C}$ та $T=400^\circ\text{C}$. Для моделювання поведінки поруватого середовища, в якості реологічної моделі матрицікомполиту також було прийняте жорстко–пластичне порувате тіло з вихідною поруватістю 20%.

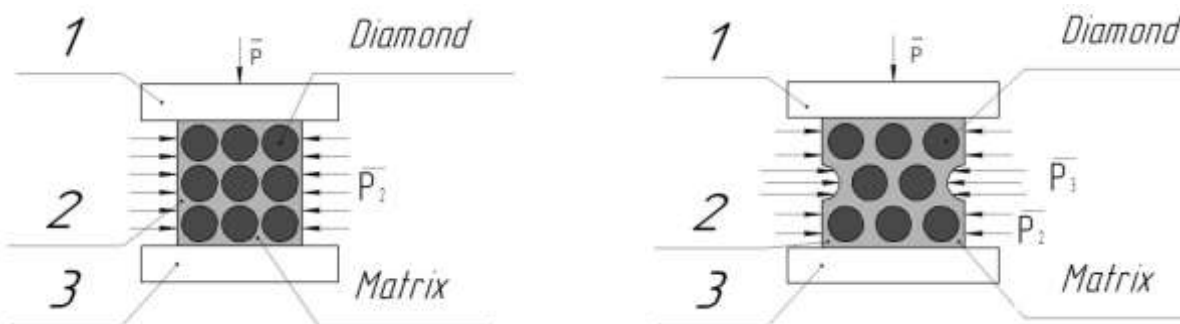


Рис. 3. Розрахункові схеми середовища що деформувалось
 1 – верхній деформуючий інструмент; 2 – середовище що деформується; 3 – нижній деформуючий інструмент.

Аналіз результатів моделювань показали, що при підвищенні температури гарячого деформування величина складової деформації відносно осі Z збільшується відносно складової R, з цього можемо зробити висновок що здатність матеріалу до пластичної течії – зменшилась. При цьому помітно зростає складова деформації пов’язана з ущільненням матеріалу. Резюмуючи вище наведене можна зробити загальний висновок, що збільшення пластичності матриці за рахунок підвищення температури гарячого деформування призводить до інтенсифікації процесу ущільнення але при цьому загальна пластичність композиту знижується.

На рис. 4 наведені епюри розподілу відносної щільності по об’єму матеріалу при однакових переміщеннях деформуючого інструменту. Як бачимо з епюр, підвищення температури деформування призводить до підвищення відносної щільності мінімум на 0,02, що відповідає зниженню залишкової поруватості на 2%. Це також підтверджує попередній тезис, що при підвищенні температури інтенсифікуються процеси ущільнення. Подальший аналіз епюр також показав, що деформування середовища відбувається до моменту утворення важкодеформованого карбідного каркаса після якого пластична течія середовища припиняється.

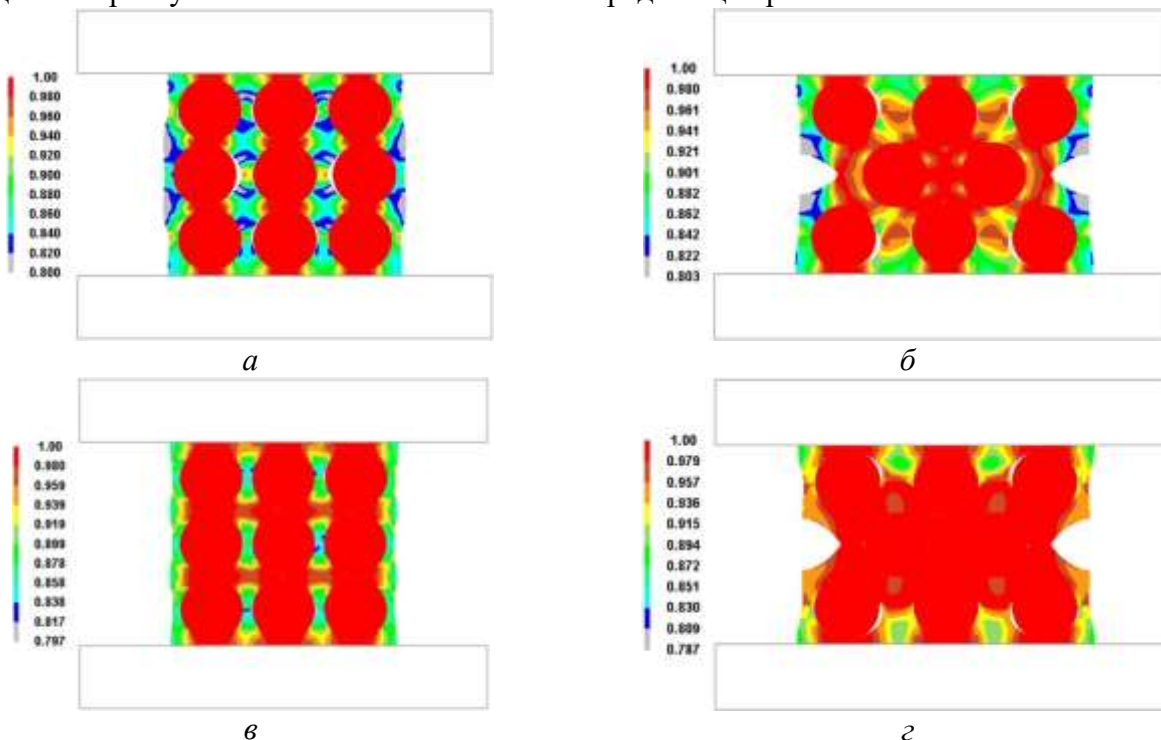


Рис. 4. Епюри розподілу відносної щільності θ по об’єму середовища що деформується при температурі деформування 150° C (а,б) та 400° C (в,г)

Резюмуючи вище наведене бачимо, що між моделлю та реальним експериментом завжди є розбіжність. І подальший аналіз отриманих експериментальних даних дає змогу встановити певні фундаментальні залежності котрі дадуть змогу в майбутньому розробляти більш ефективні технології виготовлення виробів функціонального призначення. В межах проведених досліджень можемо зробити наступні висновки:

1. Досліджувана схема деформування забезпечує низьку неоднорідність деформацій в об’ємі напівфабрикату.
2. При підвищенні температури деформування, матеріали з високим вмістом карбідної складової втрачають здатність до пластичної течії.
3. При підвищенні температури в процесі деформування пластична течія зберігається до моменту утворення важкодеформованого карбідного каркасу, при цьому схильність до ущільнення – збільшується.
4. При підвищенні температури, процес ущільнення реалізується за рахунок заповнення матеріалом матриці вихідної поруватості без переорієнтації карбідних включень в просторі, при цьому переміщення карбідів відбувається переважно відносно вісі Z.

Hot forging of dispersion-strengthened metal matrix composites: theory and practice

Kyryliuk Stepan^{1,2}; Bagliuk Gennadii¹; Tolochyn Oleksandr¹; Kyryliuk Yevgeniia¹

The paper presents the results of computer modeling of the process of hot deformation of a porous billet, as well as the behavior of the metal matrix dispersion-strengthened medium during hot deformation. The modeling was performed by the finite element method using the DEFORM 2D/3D software package. The modeling results showed that the studied scheme provides low inhomogeneity of deformations over the volume of the forging. In turn, the results of experimental studies showed that despite the significant plasticity of the matrix, metal matrix composites of the Al–TiC system lose their ability to plastic flow with increasing temperature. Modeling the behavior of the dispersion-strengthened medium during deformation showed that with increasing deformation temperature, these composites are disposed to the formation of a difficult-to-deform carbide framework. At the same time, with increasing deformation temperature, the ability of the composite to densify increases.

Keywords: porous billet; hot forging; deformation; relative density; modeling; forging.

Список літератури

1. Патент України на корисну модель u129663 А України, МКИ В22F3/02, В30В15/02. Штамп для гарячого штампування порошкових заготовок / Баглюк Г.А., Кирилук С.Ф., Коробка Є.М. / Заявл. 17.04.2018, Опубл. 11.12.2018. Бюл.№21. – 4 с.
2. Shima, S. M. Plasticity Theory for Porous Metals / Shima, S., Oyane // International Journal of Mechanical Sciences. – 1976. – Vol. 18. – P. 285-291.
3. Kheei A.R. Computational Plasticity in Powder Forming Processes. – Elsevier Science, 2005. – 449 p.– 1974. –Vol.10, No.1. –P.59-66.

УДК 673

Особливості виготовлення корпусних автомобільних карбонових деталей в умовах автоматизованого виробництва

Святський Ю.Г., Холявік О.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. У статті було вивчено та проаналізовано сучасний ринок композитних матеріалів, актуальність та перспективи використання в автомобільній сфері, а саме особливості та властивості виготовлення корпусних деталей з вуглецевого волокна в умовах автоматизованого виробництва. Проаналізовано переваги композитних матеріалів та їх використання в сучасній автоматизованій технології RTM.

Ключові слова: композитні матеріали, вуглепластик, карбон, автомобілебудування, RTM

Вуглецеве волокно існує вже понад 150 років, однак протягом останніх 50 років завдяки вдосконаленню виробничих процесів було досягнуто оптимального співвідношення міцності до ваги та великих обсягів виробництва. Завдяки своїй легкості та відмінній міцності вуглецеве волокно і його армовані термопластичні композити підходять для виробництва високотехнологічних деталей аерокосмічного, авіаційного, автомобільного та спортивного спрямування.

Метою даного дослідження є вивчення сучасного ринку композитних матеріалів, а саме актуальність та перспективи використання в автомобільній сфері, аналізуючи особливості та властивості виготовлення корпусних деталей з вуглецевого волокна в умовах автоматизованого виробництва.

Обсяг світового ринку композитних матеріалів з вуглепластикового волокна оцінювався в 23,6 мільярда доларів США в 2022 році, і очікується, що до 2030 року він зростатиме щорічно на 7,2%. Більшу частину потреб на деталі з вуглепластику складає автомобілебудування, і за прогнозами саме у цій галузі буде найбільший зріст потреб у майбутні роки. [1]

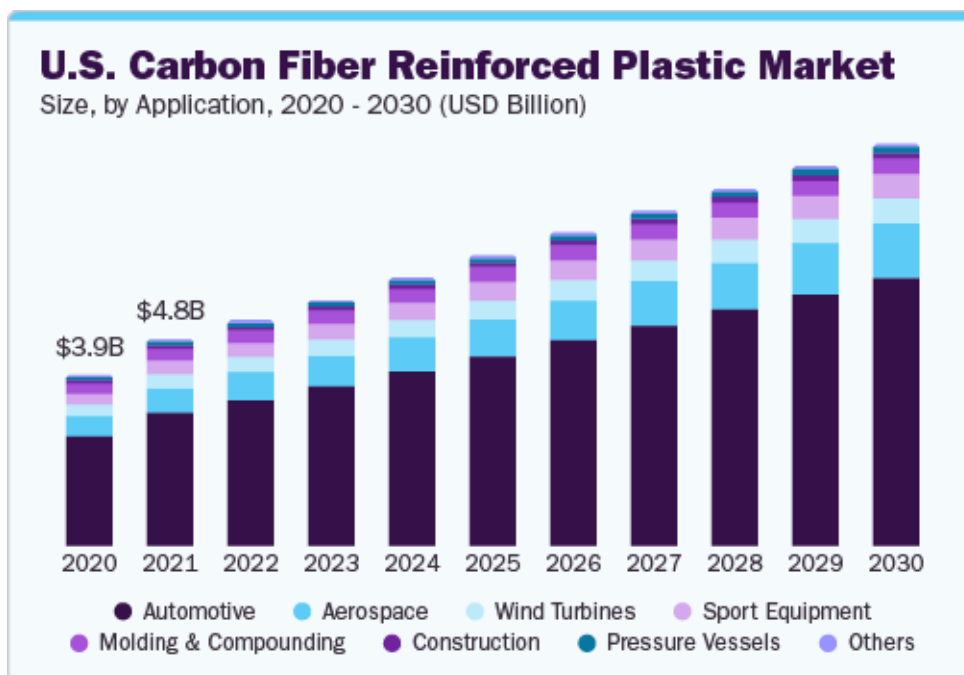


Рис.1 Прогноз зросту попиту на вуглепластик у різних галузях на світовому ринку

Насамперед, це пов’язано з фізичними властивостями вуглепластика. Завдяки високій міцності при низькій масі, стійкості до корозій та високим температурам, цей матеріал все частіше застосовується для виготовлення корпусних деталей автомобілів. З кінця 1970-х років на світовому ринку було представлено кілька видів пряжі з вуглецевого волокна. Матеріал містив до 95% вуглецю та мав значно підвищену міцність на розрив і модуль пружності порівняно з попередніми винайденими матеріалами. Наприклад, Toray Industries зараз виробляє вуглецеві волокна з міцністю на розрив 4000 МПа і модулем пружності 400 ГПа, однак раніше ці показники були значно нижчими. [2]

Проаналізувавши сучасний ринок композитних матеріалів було встановлено, що на сьогодні існує багато видів плетіння з різними показниками міцності на розрив та модуль пружності. На малюнку нижче представлені основні матеріали, що використовуються для виготовлення автомобільних деталей та фізичні показники міцності та пружності.

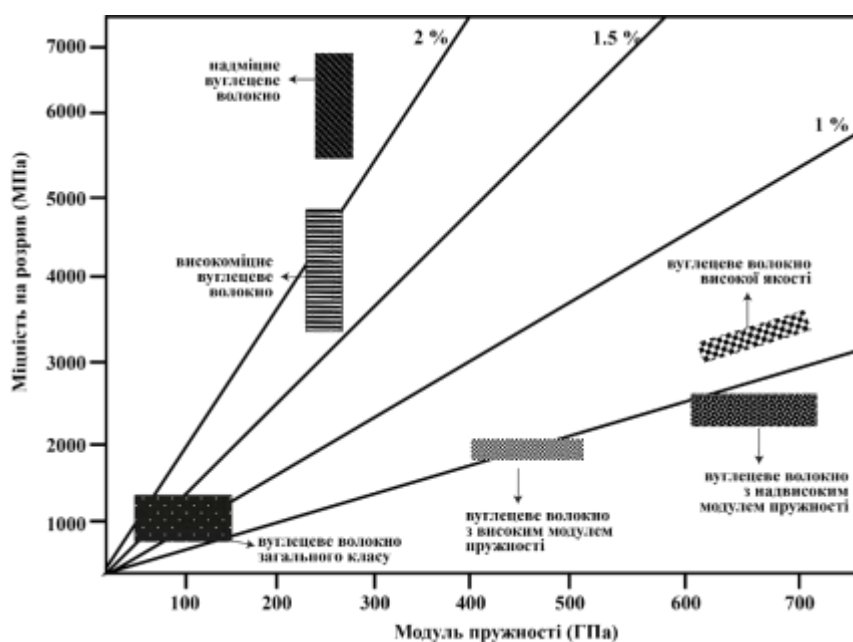


Рис 2. Властивості на розтягування різного сорту вуглецевого волокна, відтворені за еталонним зразком [3, перекладено українською]

Історична ретроспектива демонструє, що першочергово застосування новітніх технологій виробництва деталей з вуглепластику відбувалось у аерокосмічній галузі та спортивному автомобілебудуванні та поступово проклало собі дорогу до серійного виробництва автомобілів.



Рис.3 Корпусні карбонові деталі McLaren [4]

Хоча на сьогоднішній день основні способи застосування вуглецевого волокна в автомобілях масового виробництва передбачають скоріше косметичні вдосконалення, автовиробники дедалі частіше використовують його в компонентах підвіски та панелях кузова. Оскільки, карбонові матеріали володіють низькою густиною, це дозволяє значно зменшити вагу автомобіля, одночасно підвищуючи його міцність та жорсткість. Так наприклад, перший карбоновий монокок (шасі) був

створений командою формули-1 McLaren що є піонером у використанні вуглецевого волокна у виробництві автомобілів протягом понад 30 років. Болід MP4/1 (1981 р.) був першим автомобілем у Формулі-1, який мав шасі з вуглецевого волокна. У порівнянні з алюмінієвими конструкціями того часу, вуглецеве волокно було легшим, але міцнішим і, отже, швидшим, але безпечнішим. До останніх монококових автомобілів McLaren із вуглецевого волокна належать 675LT і 720S. Окрім того, McLaren Automotive створила Технологічний центр композитних матеріалів поблизу кампусу Центру передових виробничих досліджень (AMRC) в Університеті Шеффілда, Великобританія. Центр розробляє та виготовляє карбонові шасі Monocell та Monospace для майбутніх моделей. Наступне покоління Monocell буде створено з використанням передових автоматизованих технологій виробництва, розроблених спільно з AMRC.

Компанії Daimler, BMW (у моделях авто і3 і і8) і Lamborghini (у моделях авто Aventador і Huracán) також активно використовують запчастини з вуглепластику, насамперед щоб зменшити вагу автомобіля та покращити динамічні характеристики. Audi, Alfa Romeo та Toyota також інтегрують вуглепластик у частину деталей своїх автомобілів. Наприклад, Toyota Prius PHV вважається першим у світі автомобілем серійного виробництва, оснащеним задніми дверима з вуглепластику, що є ще одним зі способів зменшення ваги. Окрім того, вуглепластики забезпечують високий рівень вібростійкості, що сприяє зменшенню рівня шуму та підвищенню комфорту для водіїв і пасажирів.

Досягти значних обсягів виробництва вдалось завдяки автоматизації процесу виготовлення корпусних деталей за допомогою технологій обробки матеріалів тиском, що значною мірою позитивно вплинула на якість та швидкість виготовлення деталей. Серед основних технологій виготовлення корпусних деталей можна виділити наступні: пресування, вакуумне формування та інфузія. Розглянемо одну з технологій виготовлення деталей, що називається Resin Transfer Molding (RTM), яка на сьогодні є однією з найбільш автоматизованих та перспективних технологій для серійного та масового виробництва. RTM - це процес виготовлення композиту із закритою формою. На малюнку прставлені основні етапи виготовлення деталей даним способом.

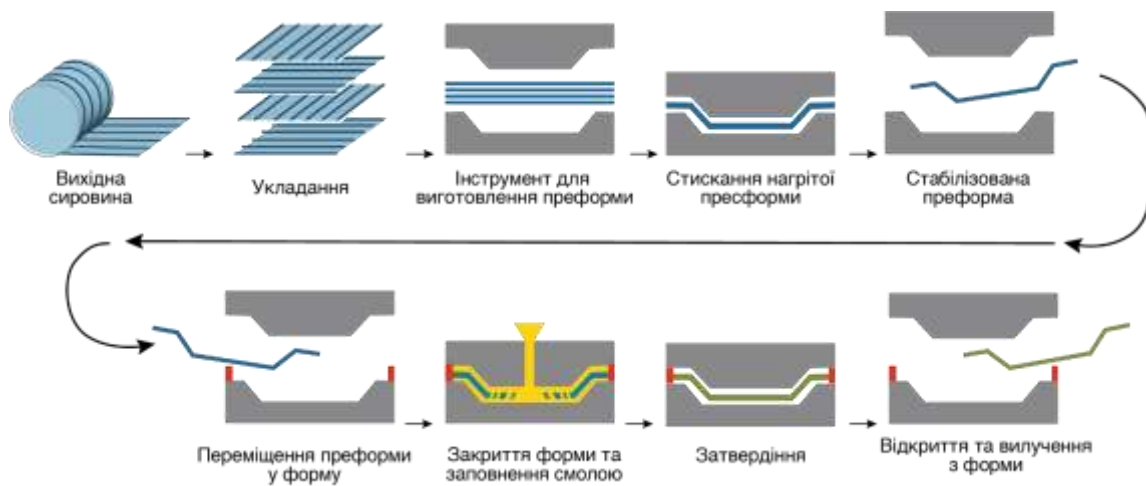


Рис. 5 Схема виробничого процесу RTM [5, перекладено українською]

Автоматична порізка матеріалу (тканини) на необхідні деталі виконується на станках з ЧПУ управлінням. Для оптимального розкрою матеріалу використовують програми з технологією штучного інтелекту, які автоматично розраховують розташування кожного елемента. Це в свою чергу, допомагає економити сировину.



Рис. 6 Автоматизована порізка заготовок з вуглепластику [4]

Наступний етап - викладка матеріалу. Технологія RTM дозволяє робити викладку матеріалу у декілька шарів, поєднуючи різне плетіння та орієнтацію волокон. Це дозволяє досягти правильного розподілу міцності та жорсткості у вихідній деталі відповідно до заданих параметрів. В McLaren для досягнення 1мм товщини деталі викладають 7 шарів волокна, а монокок автомобіля у деяких місцях досягає 20 мм. Викладка складних деталей наразі відбувається в ручну за допомогою лазерних вказівників, що дає достатню точність для цього процесу. Якщо деталь проста та не потребує складної схеми укладки шарів - то процес відбувається повністю автоматизовано.



Рис.7 Багатшарова викладка матеріалу для подальшого формування [4]

Формування майбутньої деталі відбувається у пресах. Попередньо сформовані дрібні деталі в подальшому можуть збиратись у одну велику (наприклад монокок автомобіля), або ж одразу переходити на наступний крок виробництва (наприклад дах автомобіля).



Рис. 8 Попереднє формування деталей у пресформах [6]

Переміщення заготовок з ділянки попереднього формування до ділянки фінального формування та заливки смолою може відбуватись автоматизовано за допомогою руки маніпулятора або ж по конвеєру. Це в свою чергу, дає змогу зменшити людський фактор, рівень виробничих травм та загалом дає змогу оптимізувати виробничі процеси.



Рис 9. Переміщення преформи між процесами виробництва [6]

Далі відбувається заповнення пресформи зв'язуючою рідиною (смолою). Однак, варто не забути, що пресформа очищується та покривається антиадгезійним (розділовим) шаром, щоб запобігти прилипанню деталі до форми. В пресформу викладається підготовлена преформа (попередньо укладений шар вуглецевого волокна). Пресформа герметично закривається, створюючи замкнутий простір для введення смоли. Герметичність є критично важливою для уникнення витоків рідини під час процесу.

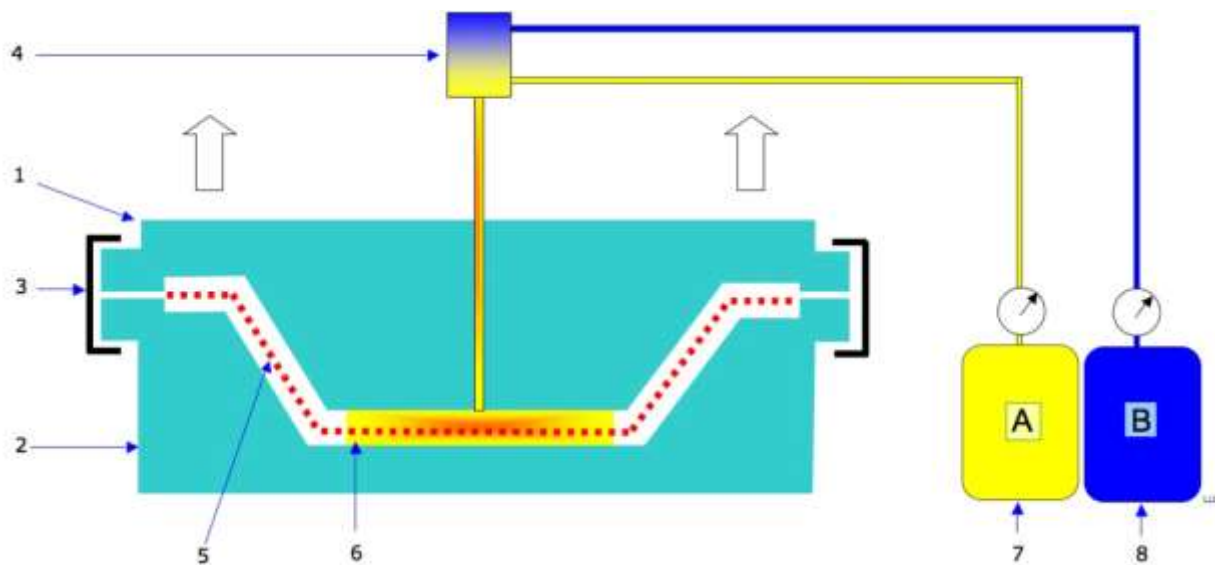


Рис 10. Заповнення пресформи зв'язуючою рідиною [8]

- 1.Верхня частина матриці (з підігрівом)
- 2.Нижня частина матриці (з підігрівом)
- 3.Зажим
- 4.Камера змішування
5. Волокниста преформа деталі
- 6.Нагріта зв'язуюча суміш
- 7.Смола
- 8.Затверджувач

Після затвердіння пресформа відкривається, і готова деталь вилучається. Завдяки антиадгезійному шару вилучення проходить легко. Готова деталь очищається, підрізається та полірується для досягнення кінцевого вигляду та відповідності вимогам замовника. Оскільки деталь виготовляється та загартовується в закритій формі, вона має гладкі поверхні з обох сторін, постійну товщину стінки та об’ємний вміст волокон на додаток до точності розмірів.

Однак існують певні недоліки при виготовленні деталей з малими радіусами. Наприклад, можливість виникнення дефектів, таких як порожнини, повітряні бульбашки чи нерівномірне просочення смолою, особливо при недостатньому вакуумуванні чи неправильному налаштуванні тиску.

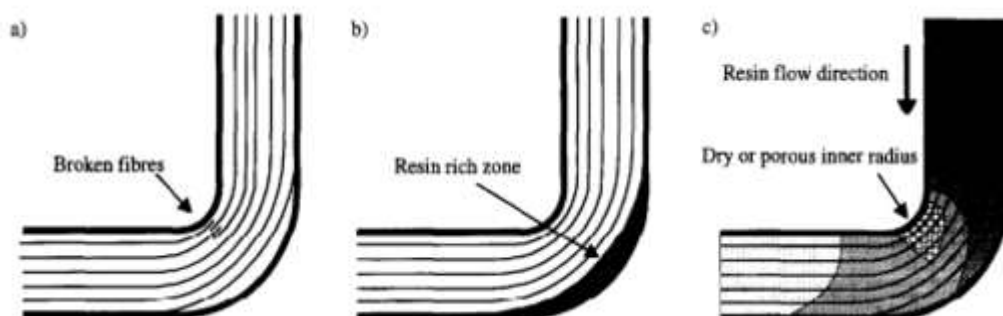


Рис 11. Недоліки виготовлення деталей способом RTM [8] а)пошкоджене волокно, б)зона, перенасичена смолою, с)сухий або пористий внутрішній радіус

Таким чином, ця технологія найбільше підходить для виробництва компонентів, які піддаються сильним структурним навантаженням або мають відповідати особливим вимогам щодо точності розмірів, стабільності та відтворюваності. Можливість часткової автоматизації та повної автоматизації робить цей процес унікальною виробничою технологією, придатною для серійного виробництва складних, тривимірних і безперервних компонентів, армованих волокном.

Висновки

Підсумовуючи все вищезазначене, було встановлено, що використання вуглепластика для виготовлення корпусних автомобільних деталей є доцільним, оскільки даний матеріал має високу міцність, низьку вагу, стійкість до корозії та високих температур. Автоматизація процесів виробництва деталей з вуглепластику дає змогу підвищити ефективність виробництва та знизити виробничі ризики. Глобальна автоматизація виробництв дозволяє зменшити людський фактор та здійснити удосконалення форм та текстур деталей машинобудування за допомогою використання високотехнологічних автоматизованих машин та комп’ютерних технологій. Окрім того зріст попиту на використання даного матеріалу стимулюватиме збільшення обсягів виробництва енергоефективних автомобілів що сприятиме ресурсозбереженню та покращенню стану екології.

Список використаних джерел та літератури

1. “Global Carbon Fiber Reinforced Plastic Market Share Report, 2018-2024,” URL: www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carbon-fiber-market
2. “PRODUCT DATA SHEET. Toray CFRT® TW-4000,” <https://www.toraytac.com/>, 2019. URL: www.toraypmc.com/media/06d50f2e-4bea-45ab-bc9a-e00a6c575d6e/M-7k4g/PMC/Documents/Datasheets/Woven/Carbon-Glass/TORAY-TW4000_DS_042419.pdf
3. H. Shaikh *et al.*, “Progress in Carbon Fiber and Its Polypropylene- and Polyethylene-Based Composites,” *Polymer-plastics Technology and Engineering*, vol. 53, no. 17, pp. 1845–1860, 2014, URL: <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.886122>.
4. McLaren, “The Official McLaren Website – McLaren.com,” *McLaren.com*, 2018. URL: www.mclaren.com/

5. Arzu Ahmadova, "Numerical Modelling of porosity generation, movement, and compaction during the RTM process.," *Research Gate*, Sep. 24, 2018. URL: www.researchgate.net/publication/331330329_Numerical_Modelling_of_porosity_generation_movement_and_compaction_during_the_RTM_process
6. "Megacity Vehicle to become the world's first volume-produced car with a passenger cell made from carbon.," *BMW Group PressClub*, 2025. URL: www.press.bmwgroup.com/global/photo/compilation/T0082024EN/megacity-vehicle-to-become-the-world%E2%80%99s-first-volume-produced-car-with-a-passenger-cell-made-from-carbon
7. F. Khan *et al.*, "Advances of Composite Materials in Automobile Applications – A Review," *Journal of Engineering Research*, Feb. 2024, URL: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>.
8. M. Gascons i Tarrés, "Assessment of virtual design and manufacturing techniques for fibre reinforced composite materials," p. 177, 2011, URL: <http://hdl.handle.net/10803/52864>

FEATURES OF MANUFACTURING BODY AUTOMOTIVE CARBON FIBER PARTS IN AUTOMATED PRODUCTION

Sviatskyi Yurii, Holiavik Olha

Abstract. The article studies and analyzes the modern market of composite materials, the relevance and prospects of their use in the automotive sector, namely the features and properties of manufacturing body parts from carbon fiber in automated production. The advantages of composite materials and their use in modern automated RTM technology are analyzed.

Keywords: composite materials, carbon fiber, carbon, automotive industry, RTM

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ САМОНАВІДНОЇ ОКОПНОЇ ТУРЕЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОКОНТРОЛЕРА ТА ДАТЧИКІВ

Холявік О.В., Здоровець А. В., Маловацький Д.

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Анотація. Використання в цифрову еру роботизованих та безпілотних систем надали змогу зберігати людські життя та їх здоров'я, уникаючи, або зменшуючи їх присутність в будь-якій небезпечній сфері діяльності. Війна в Україні стала великої трагічною проблемою. Постала задача у пошуку та запровадженні інженерних рішень для досягнення заданих бойових задач.

Концепт самонавідної окопної турелі полягає у виконанні задач близького контакту з ворогом в зоні бойових дій, акцентуючись на розміщенні біля окопу. Головне завдання – оборонна рубежу, ліквідація ворога, забезпечуючи мінімальну необхідність особовому складу ризикувати та вести прямий бій. Наведення на ціль забезпечується послідовним алгоритмом роботи датчиків, мікроконтролером з програмою щодо визначення ворога, приводи.

Актуальністю даної проблеми, як зазначалося раніше, є бойові дії на території нашої країни та зведення ризику особового складу до мінімуму. Було проаналізовано наявне та доступне подібне озброєння. В Україні єдиний відомий аналог турелі – бойовий модуль «Шабля»^[1], він керується дистанційно, спосіб розміщення стаціонарний, на нього загалом встановлюють кулемети.

Відмінність нашої розробки від аналога полягає у близькому контакті з ворогом, встановлення штурмових гвинтівок, а також основна полягає у використанні *комп'ютерного бачення** для самонаведення на потенційну ціль.

Область застосування турелі не обмежується тільки розміщенням в окопі, є можливість застосування для охорони та/або оборони стратегічних об'єктів, контролю території та підтримки піхоти.

Для реалізацію проекту розглядається використання деяких корпусних деталей з переробленого композиту задля зменшення ваги конструкції та більш низької вихідної ціни на відміну від первинного композиту. Окрім композитного матеріалу, каркас та корпус складається з доступних металевих, пластмасових і гумових комплектуючих, забезпечуючи відповідні міцнісні

х
а
р
а
к
т
р
и
с
т
и
к
и
.

Комп'ютерний зір або Комп'ютерне бачення — теорія та технологія створення машин, які можуть проводити виявлення, відстежування та визначення об'єктів.^[2]

Механічний рух буде задаватися за рахунок двох встановлених сервоприводів, що в свою чергу керуються мікроконтролером. Керування і автономність буде забезпечуватися через ряд тепловізійних, лазерних та оптичних датчиків, система буде визначати і наводиться на потенційну ціль, керуючись «комп'ютерним баченням», очікуючи остаточного дозволу на відкриття вогню від оператора.



Рис. 1. Візуалізована 3D-модель турелі в середовищі SOLIDWORKS.

Розробка проекту має три ключові етапи: розрахунок та проектування елементів конструкції, підбір серводвигунів; розробка програмного забезпечення, щодо розпізнавання і визначення цілі та керування наведенням озброєння; компонування силових та електронних компонентів в одну систему.

Висновки:

1. В даний нелегкий час є висока потреба розробки та удосконалення різноманітних речей, що матимуть ефективну роботу і допомогу для наших військових.
2. Наш проект враховує виконання необхідних задач, щодо заміни та збереження особового складу, оборони, використання доступних матеріалів, розробку програмного забезпечення, на прикладі вже існуючих.

Список використаних джерел та літератури

1. roboneers.net
2. Л. Шапиро, Дж. Стокман. Компьютерное зрение = Computer Vision. — М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с.