

АНОТАЦІЯ

Роменська О.П. Вуглепластики для тонкостінних конструкцій ракетно-космічної техніки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 – Матеріалознавство. – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара; Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», Дніпро, 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню важливої науково-технічної задачі – підвищенню міцнісних характеристик вуглепластиків для тонкостінних конструкцій ракетно-космічної техніки шляхом розроблення і використання нових методів оброблення вихідних матеріалів – вуглецевого волокна та епоксидного сполучного.

Уперше визначено вплив модифікації поверхневого шару вуглецевих наповнювачів й інфрачервоного випромінювання на процеси формування композиційного матеріалу та отвердіння сполучного. Застосовано метод модифікування традиційного вуглецевого волокна УКН/5000 плазмою діелектричного бар'єрного розряду, де як плазмоутворювальний газ використовують повітря. З метою насичення поверхневого шару наповнювача функціональними групами: гідроксильними, карбоксильними, карбонільними та іншими, що відповідають за спроможність матеріалу до зшивання з епоксидною матрицею для активації газу запропоновано додання хімічних прекурсорів – акрилової кислоти або аліламіну.

Проведено комплексне дослідження поверхневого шару вуглецевих волокон УКН/5000 як традиційних, так і оброблених плазмою в середовищі акрилової кислоти або аліламіну, з використанням електронно-мікроскопічного аналізу, інфрачервоної, рентгенівської фотоелектронної та раманівської спектроскопії (комбінаційного розсіювання світла). Визначено кути змочування епоксидною матрицею наповнювача у вихідному стані та після модифікуючої обробки.

Встановлено, що у процесі плазмового оброблення утворюється нова рельєфна структура поверхневого шару вуглецевих волокон.

Результати інфрачервоної та рентгенівської фотоелектронної спектроскопії дозволили оцінити вміст функціональних груп в поверхневому шарі, у тому числі, карбонільних груп, які відповідають за реакційну здатність до зшивання з епоксидною матрицею.

Показано, що традиційне волокно на поверхні має незначну кількість карбонільних груп, а при обробці плазмою в середовищі акрилової кислоти їх значно збільшено. Встановлено, що плазмова обробка сприяє збільшенню кількості карбонільних груп і обумовлює підвищення адгезійної міцності на межі «наповнювач-матриця».

За допомогою раманівської спектроскопії (комбінаційне розсіювання світла) досліджено адгезійну міцність у контакті «наповнювач-сполучне». Для оцінювання активності поверхневого шару наповнювача запропоновано відношення інтенсивностей смуг D і G (I_D/I_G). Результати визначення кута змочування дозволили зробити висновок, що величина для традиційного вуглецевого волокна марки УКН/5000 складає – 28 град, а обробленого плазмою в середовищах акрилової кислоти – 23 град, аліламіну – 26 град.

Шляхом експериментального дослідження вуглецевих наповнювачів підтверджено доцільність застосування плазмового оброблення для активації поверхневого шару завдяки осадженню активних функціональних груп, що відповідають за адгезійну міцність композиту.

Встановлено, що модифікація наповнювача в середовищі акрилової кислоти може застосовуватися як новий метод оброблення для підвищення міцності конструкцій з вуглепластику.

За допомогою електронно-мікроскопічного аналізу досліджено структуру зразків вуглепластиків. Показано наявність більш щільної структури в композиті, де наповнювач оброблено плазмою в середовищі акрилової кислоти. Також визначено характер руйнування вуглепластику. Результати фрактографічного аналізу показали, що після руйнування

матеріалу з модифікованим наповнювачем спостерігається часткове виривання одиничних волокон із сполучного, а більша частина поверхні злому має однорідний характер руйнування, що свідчить про високу адгезію поверхні розділення фаз.

З використанням методу інфрачервоної спектроскопії проведено оцінювання складу функціональних груп на межі «апрет-сполучне» вуглепластиків. Відзначено зменшення інтенсивностей смуг поглинання вуглепластику на основі вуглецевого волокна УКН/5000, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти та епоксидного сполучного у порівнянні з традиційним, це дозволяє спрогнозувати підвищення міцності на межі «апрет-сполучне» у модифікованому композиті.

Отримані дані добре узгоджуються з результатами дериватографічного аналізу, в результаті якого встановлено, що температура деструкції вуглепластику на основі вуглецевого волокна УКН/5000, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти становить 750 °С, а традиційного – 721 °С. Ці дані підтверджують більш високу термостійкість вуглепластику на основі обробленого волокна.

Для визначення адгезійної міцності проведено випробування мікропластиків і оцінено максимальну руйнівну здатність джгута під час розтягання. Доведено, що середнє значення руйнівного напруження в джгуті обробленого вуглецевого волокна плазмою в середовищі акрилової кислоти вище ніж традиційного. Статистична обробка результатів визначення руйнівного напруження при розтяганні підтвердила дані механічних випробувань.

Дослідження фізико-механічних характеристик виготовлених вуглепластиків з модифікованим наповнювачем за штатною технологією показали підвищення міцності при згині та зсуві у порівнянні з традиційним композитом. Середні значення руйнівного напруження при згині та зсуві для модифікованого вуглепластику становлять 1260 МПа й 50 МПа, а для традиційного – 936 МПа і 34 МПа, відповідно.

Запропоновано і обґрунтовано застосування інфрачервоного випромінювання при формуванні і отвердінні композиту з метою отримання високих та стабільних характеристик. Створено обчислювальну програму розрахунку теплових полів у вуглепластику при використанні інфрачервоного випромінювання. Математичну модель побудовано з використанням методу кінцевих різниць, за допомогою якого розраховано ступінь отвердіння матеріалу в будь-якій точці та за будь-який проміжок часу, базуючись на величині теплопровідності композита.

Встановлено, з використанням електронно-мікроскопічного аналізу, що у вуглепластиках, виготовлених під впливом інфрачервоного випромінювання із обробленого вуглецевого волокна УКН/5000 плазмою в середовищі акрилової кислоти та традиційного й епоксидного сполучного, спостерігається упорядкована надмолекулярна кластерна структура. Відмінною рисою кластерної моделі є те, що в ній не регламентується характер морфології ланцюгів усередині кластера. В епоксидному полімері кластер складається з надмолекулярних утворень і має складчасту конформацію. Морфологія ланцюгів у кластері визначається хімічною будовою полімеру. Під час фрактографічного дослідження наведених структур спостерігається фіксація вуглецевих волокон в епоксидній матриці, чим і забезпечується висока адгезійна міцність в композиті.

Отримані результати добре узгоджуються з даними інфрачервоної спектроскопії. Встановлено, що під впливом інфрачервоного випромінювання відбувається переміна процесу поглинання матеріалу в контакті «наповнювач-сполучне» різними функціональними групами, як у випадку застосування наповнювача, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти вуглецевого волокна УКН/5000 та традиційного. Дані інфрачервоної спектроскопії показали, що зміни якісного складу матеріалу не спостерігається. Це підтверджує, що інфрачервоне випромінювання змінює механізм зшивання макромолекул за рахунок створення кластерної структури та суміщення процесів нагрівання і отвердіння, при якому

випромінювання сприймається безпосередньо макромолекулами, а не за рахунок явища конвекції.

Методом дериватографічного аналізу показано, що температура деструкції матеріалу на основі обробленого волокна й отверділого інфрачервоним випромінюванням складає 790 °С, а традиційного – 750 °С. Отримані дані підтверджують більш високу термостійкість модифікованого вуглепластику, виготовленого із використанням інфрачервоного нагрівання в процесі формування композита і полімеризації.

Оцінено міцнісні характеристики мікропластиків на основі наповнювача, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти, та традиційного, виготовлених з використанням інфрачервоного нагрівання. У результаті проведених випробувань встановлено, що руйнівне напруження при розтяганні зразків мікропластику, отриманих за допомогою інфрачервоного випромінювання з обробленого плазмою наповнювача в середовищі акрилової кислоти вище, ніж у вихідного, і становить 2750 МПа та 2488 МПа, відповідно. Цей результат також підтверджує збільшення кількості характерних функціональних груп у поверхневому шарі наповнювача.

Визначено основні характеристики вуглепластику – міцність при згині та зсуві. Аналіз отриманих результатів показав, що величина середнього руйнівного напруження при згині модифікованого вуглепластику, виготовленого з використанням інфрачервоного випромінювання, становить 1408 МПа, а традиційного – 1174 МПа. Під час зсуву, середнє значення руйнівного напруження – 52 МПа для модифікованого композиту і 43 МПа – для традиційного. Отже, встановлено підвищення до 20 % міцності вуглепластику.

На основі проведених досліджень встановлено, що оброблення вуглецевого волокна УКН/5000 плазмою в середовищі акрилової кислоти призводить до збільшення показників міцності вуглепластику, а застосування інфрачервоного нагрівання дозволяє додатково підвищити характеристики

матеріалу при інтенсифікації технологічного процесу виготовлення виробів і зниженні енергоємності.

Практичну реалізацію результатів дослідження отримано в ракетно-космічній та нафтовій галузях при формуванні силової оболонки корпусу бака діафрагмового (патент України на корисну модель № 138264. Спосіб виготовлення легких паливних баків високого тиску з композиційних матеріалів) та виготовленні елементів нафтопроводів і бандажів. Показано, що застосування вуглепластику на основі вуглецевого волокна УКН/5000, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти, та епоксидного сполучного Huntsman підвищує міцнісні характеристики бака діафрагмового та труб нафтового сортаменту при зменшенні часу виготовлення в 5 – 6 раз.

Уперше запропоновано технологію ремонту нафтопроводів за допомогою вуглепластикового бандажу, який є пакетом з попередньо підготовленого вуглецевого волокна УКН/5000, обробленого плазмою в середовищі акрилової кислоти, просоченого сполучним (патент України на корисну модель № 141543. Спосіб виготовлення силових елементів з композиційних матеріалів). Полімеризацію вуглепластикового бандажу запропоновано проводити безпосередньо на місці пориву нафтопроводу за допомогою розробленого пристрою інфрачервоного випромінювання, що дозволило значно скоротити час на ліквідацію пориву та ремонт трубопроводу.

Результати дисертаційних досліджень впроваджені на Державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля (Акт впровадження).

При використанні наукових та практичних результатів дослідження властивостей дослідних зразків нафтопроводів в умовах експлуатації в Івано-Франківському національному університеті нафти та газу (Акт про використання наукових та практичних результатів дослідження)

Результати дисертаційних досліджень використовують в освітньому процесі при проведенні лекційних, практичних і лабораторних занять, які

викладають відповідно до навчальних програм дисциплін на кафедрі технології виробництва фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (Акт реалізації).

Ключові слова: полімерний композиційний матеріал, вуглецеве волокно, матриця, намотування, отвердіння, тонкостінний вуглепластик, плазма, інфрачервоне випромінювання, електронно-мікроскопічний, інфрачервона спектроскопія, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, раманівська спектроскопія, дериватографічний аналіз, міцність.

SUMMARY

Romenska O.P. Carbon plastics for thin-walled rocketry-space structures. – Qualifying scientific work as manuscript.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree on a specialty 132 – Materials science. – Oles Honchar Dnipro National University; Yuzhnoye State Design Office, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of an important scientific and technical task - improvement of available methods of initial materials processing at creation of new carbon plastics with UKH/5000 carbon fiber with the increased durability characteristics for the use during manufacturing of modern thin-walled rocketry-space structures.

For the first time to increase the strength and stable characteristics of rocketry-space products made of carbon plastic, the effect of modification of the filler and infrared radiation during the formation and curing of the material was studied. This is the technology of treatment of traditional UKH/5000 carbon fiber with plasma of dielectric barrier discharge, where air is used as plasma-forming gas, was studied and presented. For gas activation, treatment with the addition of chemical precursors - acrylic acid or allylamine is proposed to create in the surface layer of the filler functional groups: hydroxyl, carboxyl, carbonyl and others responsible for the ability of the material to crosslink with an epoxy matrix.

A versatile study using electron microscopic analysis, infrared, X-ray photoelectron and Raman spectroscopy (combination light scattering) as well as the determination of the epoxy matrix wetting angles of the surface layer of YKH/5000 carbon fibers, both traditional and plasma-treated in acrylic acid or allylamine was performed. It is established that during plasma treatment a qualitatively new relief structure of the carbon fibers surface layer is formed. The results of infrared and X-ray photoelectron spectroscopy allowed to estimate the content of functional groups in the surface layer the carbon, alkoxy, carbonyl and carboxyl.

It is shown that the traditional fiber on the surface has a small number of carbonyl groups, and plasma-treated in acrylic acid has up to 16 %. It is established that the plasma treatment increases the number of carbonyl groups and serves to increase the adhesive strength at the "filler-matrix" boundary.

The adhesion strength in the "filler-binder" contact was investigated by Raman spectroscopy (combination light scattering). To evaluate the activity of the surface layer of the filler, the ratio of the intensities of the bands is proposed D and G (ID/IG). These data correlate with the results of determining the wetting angle, the value of which for the traditional YKH/5000 carbon fiber is – 28 deg, and plasma-treated in acrylic acid - 23 deg, allylamine - 26 deg.

An experimental study was performed and the expediency of using plasma treatment to activate the surface layer of carbon fibers and the deposition of active functional groups responsible for the adhesive strength of carbon fiber was shown. It is established that plasma treatment in acrylic acid can be used as a new method of processing fillers to obtain high strength characteristics of the structure.

The structure of carbon plastic samples was investigated by electron microscopic analysis. The presence of a denser structure in the composite is shown, where the filler is treated with plasma in acrylic acid. The nature of carbon fiber fracture was also determined. The results of fractographic analysis showed that after the destruction of the material with a modified filler there is a partial tearing of single fibers from the binder, and most of the fracture surface has a

uniform fracture character, indicating satisfactory adhesion of the phase separation surface.

Infrared spectroscopy was used to evaluate the composition of functional groups at the "finishing-binder" carbon fiber boundary. There is a decrease in the intensity of the absorption bands of carbon fiber based on carbon fiber YKH/5000, treated with plasma in acrylic acid compared to traditional, this predicts an increase in strength at the "finite-binder" in the modified composite.

In the paper, on the basis of derivatographic analysis it is established that the temperature of destruction of carbon plastic based on YKH/5000 carbon fiber, treated with plasma in acrylic acid is 750 °C, and traditional – 721 °C. These data confirm the higher heat resistance of carbon plastic based on the treated fiber. The research results are consistent with the strength characteristics of the carbon plastic. Statistical processing of the results of the destructive stress determination during tension confirmed the results of mechanical tests.

Studies of physical and mechanical characteristics of manufactured carbon plastics with a modified filler by standard technology have shown an increase in flexural and shear strength compared to traditional composite. The average values of the destructive stress during bending and shear for modified carbon fiber are 1260 MPa and 50 MPa, respectively, and for traditional - 936 MPa and 34 MPa, respectively.

The use of infrared radiation during the formation and curing of the composite in order to obtain high and stable characteristics is proposed. A computational program for calculating thermal fields in carbon fiber using infrared radiation has been created. The mathematical model is based on the finite difference method, which made it possible to calculate the degree of hardening of the material at any point and for any period of time, based on the thermal conductivity of the composite.

It was found that in carbon plastics made under the influence of infrared radiation from treated carbon fiber YKH/5000 plasma in acrylic acid and traditional, according to electron microscopic analysis, there is an ordered

supramolecular structure - a cluster model. A distinctive feature of the cluster model is that it does not regulate the nature of the morphology of chains within the cluster. In epoxy polymer, the cluster consists of supramolecular formations and has a folded conformation. The nature of the morphology of the chains in the cluster is determined by the chemical structure of the polymer. During the fractographic study of these structures, there is a fixation of carbon fibers in the epoxy matrix, which provides high adhesive strength in the composite.

The obtained results are in good agreement with the data of infrared spectroscopy. It was found that under the influence of infrared radiation there is a change in the absorption process by different functional groups in the contact zone "filler-binder", as in the case of the filler treated with plasma in acrylic acid carbon fiber YKH/5000 and traditional. Infrared spectroscopy data showed that no change in the qualitative composition of the material was observed. This confirms that infrared radiation changes the mechanism of crosslinking of macromolecules by creating a cluster structure and combining the processes of heating and curing, in which the radiation is perceived directly by macromolecules, and not by the phenomenon of convection.

The method of derivatographic analysis shows that the temperature of destruction of the material on the basis of the treated fiber and hardened by infrared radiation is 790 ° C, and traditional - 750 ° C. The obtained data confirm the higher heat resistance of the modified carbon fiber made using infrared heating, both during composite formation and during polymerization.

The strength characteristics of microplastics based on the filler treated with plasma in acrylic acid and traditional, made using infrared heating. As a result of the tests, it was found that the destructive stress during stretching of microplastic samples obtained by infrared radiation from plasma-treated acrylic acid filler is higher than the original and is 2750 MPa and 2488 MPa, respectively. This result also confirms the increase in the characteristic functional groups in the surface layer of the filler.

The main characteristics of carbon fiber are determined - bending and shear strength. Analysis of the obtained strength characteristics showed that the value of the average destructive stress in the bending of modified carbon fiber, made using infrared radiation, is 1408 MPa, and traditional - 1174 MPa. During the shear, the average value of the destructive stress is 52 MPa for the modified composite and 43 MPa for the traditional one. Therefore, an increase of up to 20% in the strength of carbon fiber has been established.

Based on the research, it is established that the treatment of carbon fiber YKH/5000 with plasma in acrylic acid leads to an increase in the strength of carbon fiber, and the use of infrared heating can further improve the characteristics of the material while intensifying the manufacturing process and reducing energy consumption.

The practical implementation of the study results was obtained during application in the rocketry-space and oil industries, namely during the formation of the pressure shell of the diaphragm tank (Ukrainian patent for utility model #138264. A manufacturing method of light fuel tanks of high pressure from composite materials) and the manufacture of oil pipelines elements and bandages. It is shown that the use of carbon plastic based on YKH/5000 carbon fiber treated with plasma in acrylic acid and Huntsman epoxy binder increases the strength characteristics of the diaphragm tank, and the use of polymerization technology under the exposure of infrared radiation reduces its manufacturing time by 5-6 times. Experimental studies of carbon plastic oil pipelines in operating simulation conditions have confirmed the effectiveness of the use of new carbon plastics for the manufacture of oil pipes with a diameter of 30 mm.

For the first time, the technology of repairing oil pipelines using carbon plastic bandage, which is a package with pre-prepared YKH/5000 carbon fiber, treated with plasma in acrylic acid impregnated with a binder was proposed (Ukrainian patent for utility model № 141543. A manufacturing method of load-bearing elements from composite materials). The polymerization of the carbon plastic bandage is proposed to be carried out directly at the point of rupture of the

pipeline using an infrared radiation device, which significantly reduced the time to eliminate the rupture and repair the pipeline.

The results of dissertation research are used during lectures, practical and laboratory classes, which are taught in accordance with the syllabus of the following disciplines: "New technologies in aircraft and rocketry", "Topical problems of development of aerospace production technologies" for bachelors, masters and post graduate students in the specialties as 134. Aviation and Rocket and Space technology, 132. Materials Science at the Production Technology Department of the Faculty of Physics and Technology of Oles Honchar Dnipro National University.

Keywords: polymer composite material, carbon fiber, matrix, winding, curing, thin-walled carbon plastic, plasma, infrared radiation, electron microstructural, infrared spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, Raman spectroscopy, derivatographic analysis, strength.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України:

1. Манько Т.А. Использование инфракрасного нагрева при изготовлении изделий из полимерных композиционных материалов / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. – . 2016. – номер 24, том. 19 Дніпро. – С.120-123.

2. Манько Т.А. Экспериментальные исследования свойств углеродных композиционных материалов на трубчатых моделях / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко, И.И. Деревянко // Наук. ж-л «Вісник Дніпропетровського університету» Серія: Ракетно-космічна техніка. – 2018. – номер 4, том. 26. – Днепр. – С. 58-63. DOI: <https://doi.org/10.15421/4518260101>.

3. Роменская О.П. Плазменная обработка, как метод повышения реакционной способности угленаполнителя, при взаимодействии с эпоксидной матрицей / О.П. Роменская, Т.А. Манько, И.А. Гусарова // Збірник наукових праць «Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки». том XXVII. – 2019. – С. 130-135.

4. Манько Т.А., Роменская О.П. Температурне отвердіння заготовок із ПКМ при НВЧ-нагріванні. Журнал «Механіка та керування», КПП, №13. - 2015. - С. 54-59. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380413201569499>.

5. Манько Т.А. Изготовление конструкций из полимерно-композиционных материалов методом намотки с применением инфракрасного нагрева / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко, Е.В. Шилина // Научно-технический журнал «Технологические системы», Киев 2(79)/2017. С. 15-19.

6. Манько Т.А. Разработка приспособления для дистанционного нагрева углепластиков в процессе намотки / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко // Журнал «Механіка гігроскопічних систем», КПП, №33 (2017) С. 84-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771332017104268>.

7. Манько Т.А. Исследование механических свойств углепластиков с модифицированным наполнителем / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко // научно-технический журнал «Технологические системы», Киев 1(82)/2018. С. 21-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.29010/082.4>.

8. Манько Т.А. Оценка прочностных свойств углепластиковых трубчатых конструкций при воздействии внутреннего одноосного давления [Evaluation of carbon-plastic tube structures strength properties under the influence of internal uniaxial pressure] / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко, И.И. Деревянко // научно-технический журнал «Технологические системы». – Киев. – 2018. – номер 4, том 85. – С. 46-49. DOI: <http://dx.doi.org/10.29010/085.9>.

9. Копей Б.В. Експериментальні дослідження властивостей елементів нафтопроводів в умовах експлуатації / Копей Б.В., Манько Т.А., Гусарова І.А., Роменська О.П. // Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Выпуск 5/2019 (118). – С. 123-128. DOI: <http://dx.doi.org/10.30929/1995-0519.2019.5.123-128>.

10. Манько Т.А. Технологические аспекты создания углепластиков со стабильными физико-механическими характеристиками [Technological aspects of creation of carbon plastics with stable physical and mechanical characteristics] / Т.А. Манько, О.П. Роменская, А.А. Самусенко, А.В. Рыбалко // Научно-технический журнал «Технологические системы». – Киев. – 2019. – номер 4(89). – С. 27-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.29010/89.3>.

11. Рожковский В.Ф. Математическое моделирование процесса нагрева композитной конструкции инфракрасным излучением / В.Ф. Рожковский, Т.А. Манько, О.П. Роменская, В.С. Зевако // Науковий журнал «Математичне моделювання». – Кам'янське. – 2020. – № 1(42). – С. 125-136. DOI: [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(42\)2020.207010](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(42)2020.207010).

Статті, опублікованих у періодичних виданнях, включених до категорії «А»

Переліку наукових фахових видань України, або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

12. Манько Т.А. Исследование механизма влияния плазменной обработки на свойства низкомолекулярных углеродных волокон / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.В. Литот // Космічна наука і технологія. – 2020. – Том 26. – 1 (122). – С. 90-99. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2020.01.000>.

13. Dionisis Semitekolos. Comparative Physico-mechanical Properties Assessment of Tailored Surface Treated Carbon Fibres / Dionisis Semitekolos, Aikaterini-Flora Trompeta, Iryna Husarova, Tamara Manko, Oleksandr Potapov, Olha Romenska та ін. //Журнал «Materials» 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13143136>.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

14. Манько Т.А. Температурное отверждение заготовок из ПКМ при СВЧ нагреве / Т.А. Манько, О.П. Роменская // Тезисы доклада XVIII Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос». – Днепр (06 – 08 квітня 2016). – 2016. – С. 304.

15. Манько Т.А. Технологическое решение в технологии изготовления полимерных композиционных материалов / Т.А. Манько, О.П. Роменская // Тези доповіді IV Всеукраїнського форуму студентів, аспірантів і молодих учених. – Дніпро (27-28 квітня 2017). – 2017. – С. 250-251.

16. Манько Т.А. Использование инфракрасного нагрева при изготовлении изделий из углепластиков / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко // Тезисы докладов 6-й международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее». – Днепр (23-26 травня 2017). – 2017. – С. 82.

17. Манько Т.А. Разработка приспособления для дистанционного нагрева углепластиков в процессе намотки / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко // Тезисы доклада XIX Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос» . – Днепр (12-14 квітня 2017). – 2017. – С. 284.

18. Роменська О.П. Дослідження модифікованих вуглецевих волокон / О.П. Роменська, І.О. Гусарова, О.О. Дуденков, Т.А. Манько // Тези доповіді XV-тої відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України КМН-2017. – Львів (27-29 вересня 2017). – С. 166-167.

19. A. Potapov. Experimental comparison of model cases of “cocoon” type from composite with and without surface modified Carbon fiber / A. Potapov, I. Husarova, V. Kovalenko, A. Samusenko, I. Derevyanko, O. Romenskaya // EMRS symposium “Basic research on ionic-covalent materials for nuclear applications (г.Варшава, Польща) 18-21 вересня 2017. – С. 99.

20. Манько Т.А. Исследование механических характеристик углеродных наполнителей обработанных атмосферной плазмой / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская, А. Vanhulsel // Тезисы доклада XX Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос». – Днепр (11-13 квітня 2018). – 2018. – С. 250.

21. Гусарова И.А. Модификация эпоксидной матрицы наноразмерными углеродными материалами / И.А. Гусарова, А.Е. Бормотова, О.П. Роменская, А.А. Самусенко // Тезисы доклада XX Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос». – Днепр (11-13 квітня 2018). – 2018. – С. 238.

22. Роменская О.П. Экспериментальные исследования свойств углеродных композиционных материалов на трубчатых моделях / О.П. Роменская, Т.А. Манько, И.А. Гусарова, А.А. Самусенко И.И. Деревянко // Тезисы доклада XX Международной молодежной научно-практической конференции «Человек и космос». – Днепр (11-13 квітня 2018). – 2018. – С. 251.

23. Копей Б.В. Экспериментальные испытания модифицированных углепластиковых труб / Б.В. Копей, А.П. Джус, И.А. Гусарова, О.П. Роменская // Тезисы доклада IX Международной научно-технической конференция «Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта». – Республика Беларусь, г. Новополоцк (18-20 грудня 2018). – 2018. – С. 41-42.

24. Манько Т.А. Плазменная обработка, как метод повышения реакционной способности угленаполнителя, при взаимодействии с эпоксидной матрицей / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская // Тезисы доклада XXI Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос» . – Днепр(10-12 квітня 2019). – 2019. – С. 258.

25. Деревянко И.И. Факторный анализ результатов испытаний опытной конструкции топливного бака из полимерных композиционных материалов

внутренним давлением с криогенными компонентами топлива / И.И. Деревянко, А.М. Потапов, А.Н. Симбиркина, И.А. Гусарова, А.В. Литот, С.А. Шилин, О.П. Роменская // Тезисы докладов 7-й международной конференции «Space technologies: Present and future». – Днепр (21-24 травня 2019). – С. 75-76.

26. Манько Т.А. Формування силової оболонки корпусу баку рідинного ракетного або реактивного двигуна / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская. // Тезисы доклада Международной научно-технической конференций «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ». – Львов (9-10 жовтня 2019). – 2019. – С. 124.

27. Манько Т.А. Исследование механизма влияния плазменной обработки на свойства низкокомодульных углеволокон / Т.А. Манько, И.А. Гусарова, О.П. Роменская // Тезисы доклада 7-й Международной конференции «Космические технологии: настоящее и будущее». – Днепр (21-24 травня 2019). – 2019. – С. 85.

28. Гусарова И.А. Применение модифицированных углекомполитов в перспективных изделиях авиационной и аэрокосмической техники (Application Of Modified Carbon Plastics In Advanced Units Of Aviation And Aerospace Structures) / И.А. Гусарова, Xiao Ying Li, О.П. Роменская, А.В. Литот, Yana Liang, И.И. Деревянко // Тези доповідей 9 Міжнародна конференція «Іновації в авіації та космосі» [9th EASN International Conference on Innovation in Aviation & Space]. Афіни, Греція (3-6 вересня 2019). – 2019. С. 130.

29. Роменская О.П. Формирование тонкостенных конструкций ракетно-космической техники из углепластиков с высокими прочностными характеристиками / О.П. Роменська, Т.А. Манько // Тезисы доклада XXII Международная молодежная научно-практическая конференция «Человек и космос». – Днепр (16-18 вересня 2020). – 2020. – С. 220.

30. Манько Т.А. Баки з вуглепластиків для безпілотних літальних апаратів / Т.А. Манько, О.П. Роменська, О.В. Бондаренко // Тези доповіді

Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ» (Львів, 14-15 травня 2020). Львів. Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2020. С. 107-108.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати роботи:

Патенти на винахід (корисну модель), що пройшли кваліфікаційну експертизу:

31. Патент України на корисну модель № 138264 UA. МПК F17C 1/00, B21D 51/24 (2006.01), F17C 1/06 (2006.01), F17C 1/16 (2006.01). «Спосіб виготовлення легких паливних баків високого тиску з композиційних матеріалів» /Потапов О.М., Сімбіркіна А.М., Гусарова І.О., Літот О.В., Шилін С.О., Дерев'янко І.І., Роменська О.П., Немченко Д.А., Федоренко С.В. // Заявка № u 2019 04635, дата подання 02.05.2019, дата чинності 25.11.2019; дата публ. відомостей 25.11.2019, Бюл. № 22. – 4с.

32. Патент України на корисну модель № 141543 UA МПК 2020.01 B29C 53/56 (2006.01), B29D 23/00, C08J 7/18 (2006.01). «Спосіб виготовлення силових елементів з композиційних матеріалів. Винахід на корисну модель». / Потапов О.М., Манько Т.А., Роменська О.П., Гусарова І.О., Федоренко С.В., Одайський С.О. // Заявка u2019 10869, дата подання 04.11.2019, дата чинності 10.04.2020; дата публ. відомостей 10.04.2020, Бюл. № 7. – 4с.