

ОПИС ЗАВЕРШЕНОЇ РОЗРОБКИ

Найменування розробки (українською, англійською).

Розроблення технічних рекомендацій по створенню процесів приготування термопластичних полімерних композиційних матеріалів та формування інтелектуальних виробів з них

Development of technical recommendations for the creation of processes for the preparation of thermoplastic polymer composite materials and the formation of intelligent products from them

1. Номер державної реєстрації - 0119U100811, номер реєстрації в університеті – 2215 п.
2. Науковий керівник к.т.н., проф. Сівецький В.І., Sivetskyi V.I.
3. Суть розробки, основні результати. (укр., англ.; обсягом не менше 1500–2000 знаків кожною мовою).

В результаті виконання роботи розроблена нова технологія виготовлення інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів з використанням датчиків, що забезпечують можливість отримання достатнього рівня інформації про стан полімерної композиції та виробів з них для виготовлення на їх основі відповідальних конструкційних виробів.

Шляхом числового моделювання встановлені раціональні технологічні параметри процесів введення інтелектуальних датчиків у термопластичний полімерний матеріал методами інжекції та змішування, їх результати підтверджено експериментально.

Розроблено технології та удосконалене обладнання для введення інтелектуальних датчиків у термопластичний полімерний матеріал в процесах лиття під тиском, 3D-друку та екструзії. На них було отримано патенти України.

Розроблено та обґрунтовано числовим моделюванням схему електростатичного методу неруйнівного контролю стану інтелектуальних датчиків у полімерному виробі в залежності від глибини розташування, властивостей матеріалу та геометрії. Запропоновано оптимальну конструкцію сенсора для контролю стану інтелектуальних датчиків у полімерному виробі.

Створено експериментальну установку з дослідження інжекційної технології отримання інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів методом екструзії, розроблено методику експериментальних досліджень. Експериментально визначено залежності глибини занурення твердих частинок і потоків полімерної суміші від швидкості потоку, співвідношення в'язкостей і кута нахилу інжекційного пристрою.

Досліджені технології та розроблені способи введення інтелектуальних датчиків у термопластичні полімерні матриці при виготовленні відповідальних конструктивних деталей. Встановлені ефективні технологічні параметри процесів введення інтелектуальних датчиків в полімерну композицію.

As a result of the work, a new technology for the production of intelligent polymer composite materials using sensors that provide the ability to obtain a sufficient level of information about the state of the polymer composition and products from them to manufacture on their basis responsible structural products.

Rational technological parameters of processes of intelligent sensors introduction in thermoplastic polymeric material by injection and mixing methods are established by numerical modeling, their results are confirmed experimentally.

Technologies and improved equipment for the introduction of intelligent sensors in thermoplastic polymer material in the processes of injection molding, 3D printing and extrusion. Ukrainian patents were obtained for them.

The scheme of electrostatic method of non-destructive control of the state of intelligent sensors in a polymer product depending on the depth of location, material properties and

geometry is developed and substantiated by numerical modeling. The optimal design of the sensor for monitoring the status of intelligent sensors in the polymer product is proposed.

An experimental setup for the study of injection technology for the production of intelligent polymer composite materials by extrusion has been created, and a method for experimental research has been developed. The dependences of the immersion depth of solid particles and flows of the polymer mixture on the flow rate, the ratio of viscosities and the angle of inclination of the injection device were determined experimentally.

Technologies and methods of intelligent sensors introducing into thermoplastic polymer matrices in the manufacture of responsible structural parts have been studied. Effective technological parameters of processes of introduction of intelligent sensors in a polymeric composition are established.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (*заявка на патент, патент, свідоцтво на авторське право*).

Патент № 131263 U (UA) МПК (2006.01) B29C 47/00. Спосіб тривимірного друку полімерних виробів: / Олексішен В.О., Колосов О.Є., Сокольський О.Л., Соловей В.В.: u2018 07435, заявл. 03.07.2018, опубл. 10.01.2019, Бюл. № 1/2019.

Патент № 132388 Україна. МПК (2006.01) B29B 7/40. Змішувач для полімерних матеріалів / Івіцький І.І., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Устенко О.О., Швачко Д.Г. – Заявник Івіцький І.І., Сівецький В.І., Устенко О.О., Сокольський О.Л., Швачко Д.Г. - № 2018 09362; заявл. 14.09.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4/2019.

Патент України на корисну модель № 132389, МПК B29B 7/40. Змішувач для полімерних матеріалів / Сівецький В. І., Сідоров Д. Е., Івіцький І. І. Устенко О. О. Швачко Д. Г. - u2018 09363, опубл. 25.02.2019 р, бюл. № 4

Патент № 132390 Україна. МПК (2006.01) B29B 7/44. Змішувач для полімерних матеріалів / Івіцький І. І., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Устенко О.О., Чемерис А.О. – Заявник Івіцький І. І., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Устенко О.О., Чемерис А.О. - № u 2018 09367; заявл. 14.09.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4/2019.

Патент № 132392 Україна. МПК (2006.01) B29B 7/38. Змішувач для полімерних матеріалів / Івіцький І. І., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Устенко О.О., Чемерис А.О. – Заявник Івіцький І. І., Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Устенко О.О., Чемерис А.О. - № u 2018 09371; заявл. 14.09.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4/2019.

Патент № 137210 U (UA), МПК (2006.01) B29C 45/72. Спосіб одержання виробу литтям під тиском / Сокольський О. Л., Мікульонок І.О., Сімончук Є. П. - u2019 03359, 03.04.2019; заявл. 25.02.2019, опубл.10.10.2019, Бюл. № 19/2019.

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню і перевищують кращі вітчизняні зразки, а розроблені рекомендації, методики та результати моделювання раціональних параметрів обладнання та технологічних процесів створення інтелектуальних композиційних полімерних виробів дадуть можливість створювати композиційні матеріали та інтелектуальні вироби спеціального призначення з них методами лиття під тиском, 3D-друку, пресування та екструзії й можливістю отримання інформації про стан виробів в умовах експлуатації.

6. Економічна привабливість для просування на ринок (*вартість реалізації проекту, терміни впровадження та окупності, показники*).

Створені пропозиції з конструктивного оформлення вузлів інжекційного й змішувального устаткування дозволяють

7. Потенційні користувачі (*галузі, міністерства, відомства, підприємства, організації*).

Результати роботи можуть бути впроваджені на виробництвах, які спеціалізуються в галузі переробки полімерних матеріалів; на підприємствах, які займаються виготовленням та експлуатацією високовідповідальних виробів з композиційних матеріалів, в тому числі в оборонній та природоохоронній сфері, в хімічній, авіаційній та суднобудівній галузях.

8. Стан готовності розробки (*лабораторний або промисловий зразок, технічна документація, бізнес-план, готова до впровадження тощо із зазначенням технологічного рівня готовності (TRL)*).

Ескізна документація інжекційних пристроїв, лабораторні зразки отриманих матеріалів, удосконалені математичні моделі та методики моделювання процесів створення інтелектуальних композиційних матеріалів і виробів.

9. Існуючі результати впровадження.

Впроваджено технологічні і технічні засади виготовлення полімерних композиційних виробів спеціального призначення на виробничій базі ТОВ НВП «Енергія-2000». Економічний ефект склав понад 890 тис. грн.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Інженерно-хімічний факультет, кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування.

(044) 406-84-30, cpsm.adm@kpi.ua

11. Фото (**обов'язково**) або кілька слайдів презентації з фото розробки в електронному вигляді (**рекламного характеру**). Якщо фото надається окремим файлом, бажано використовувати JPEG формат.



Експериментальна установка для дослідження інжекції інтелектуальних датчиків в процесі екструзії



Отримані зразки полімерної стренги з інжектованою порцією суміші полімеру з вуглецевим наповнювачем



Отримані зразки полімерної стренги з інжектованими макетами, які імітують інтелектуальний датчик

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання (*вагомі: монографії, підручники, посібники, наукові статті, дисертації, інші публікації*).

Монографії та глави в них:

1. Сокольський О. Л., Мікульонюк І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 236 с. Рекомендовано до друку Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського. Протокол № 7 від 9.11.2020 р.
2. Development of Modern Science: the Experience of European Countries and Prospects for Ukraine: Monograph. Analysis of the Global Market of Nanomodified Intelligent Polymer Composite Materials. I. Ivitskiy et al. Riga, Latvia : Baltija Publishing. 2019. 662 с.
3. General and Complex Problems of Technical Sciences: Experience of EU Countries and Implementation in the Practice of Ukraine: Monograph. Analysis of Approaches to Simulation of Mixing Processes in Equipment for Polymer Processing. O. L. Sokolskiy, I. I. Ivitskiy et al. Riga, Latvia : Baltija Publishing. 2019. 384 с.

Статті

1. Aleksandr E. Kolosov, Aleksandr V. Gondlyakh, Volodymyr I. Sivetskii, Elena P. Kolosova, Volodymyr V. Vanin, Dmytro E. Sidorov, Aleksandr L. Sokolskiy, Valeriy Yu Shcherbina, Igor I. Ivitskiy, Modeling the Structures of Oriented Macrofiber Polymer Composites as Capillary-Porous Bodies // Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2020, Article ID 1360523, 13 pages, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/1360523> (входить до наукометр. БД Scopus)
2. A.V. Gondlyakh, A.E. Kolosov , V.I. Sivetskii, E.P. Kolosova, V.V. Vanin, D.E. Sidorov, I.I. Ivitskiy. Creation of structural polymer composite materials for functional application using

- physicochemical modification // *Advances in Polymer Technology*. Volume 2019, Article ID 3501456, 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/3501456> (входить до наукометр. БД Scopus)
3. Gondlyakh A. V., Kolosov, A.E., Sivetskii, V.I., Kolosova, E.P., Ivitskiy, I.I., Symoniuk, V.P. Use of physicochemical modification methods for producing traditional and nanomodified polymeric composites with improved operational properties // *International Journal of Polymer Science*. vol. 2019. Article ID 1258727, 18 pages. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1258727> (входить до наукометр. БД Scopus)
4. Kolosov, A.E., Sivetskii, V.I., Kolosova, E.P., Sidorov, D.E., Ivitskiy, I.I. Creation of structural polymer composite materials for functional application using physicochemical modification // *Advances in Polymer Technology*. 2019. Article ID 3501456. <https://doi.org/10.1155/2019/3501456> (входить до наукометр. БД Scopus)
5. Gondlyakh, A., Chemeris, A., Kolosov, A., Sokolskiy, A., Antonyuk, S. Simulation of Delamination Processes of Multilayer Mechanical Engineering Structures // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2021, pp. 129–138. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_13 (входить до наукометр. БД Scopus)
6. A.E. Kolosov, A.V. Gondlyakh, D.E. Sidorov, E.P. Kolosova and I.A. Kazak, "Ultrasonic Technology of Impregnation and Dosing Application of Liquid Epoxy Binders on Fabric Fiber Fillers," In: V. Ivanov et al. (eds). *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III*. DSMIE - 2020. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, pp. 191-200, 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_19 (входить до наукометр. БД Scopus)
7. Gondlyakh A.V., Kolosov A.E., Sivetskii. Ultrasonic distribution of nanoparticles in liquid oligomers. // *Chemical and bioengineering*. 2020. Pp.81-83.
8. Y. Herasimenko and A. Sokolskiy, "Investigation of the flexible packaging elements joining by hot melt adhesive", *Modern engineering and innovative technologies*, Karlsruhe, Germany. vol. 1, no. 11, pp. 5-8, Publ. March 2020.
9. Сокольський О.Л., Гур'єва А.О., Гур'єва Л.Н. Вплив зони спаю на механічні властивості литих пластмасових виробів // *Magyar Tudományos Journal* (Budapest, Hungary). 2020. № 40. P. 64–67.
10. Герасименко Ю.Ю., Сокольський О.Л. Моделювання процесу руйнування термоклейового з'єднання. *Наукові вісті КПП*. 2020. № 4 (131). С. 93-99.
11. Моделювання зони спаю в литих пластмасових пакувальних виробках / Сімончук Є.П.; Сокольський О.Л.; Чемерис А.О.; Гур'єва Л.Н. // *Упаковка*. № 4. 2021. С. 44-45.
12. Oleksyshen V.O., Sokolskiy A.L. , Kolosov A.E. , Solovei V.V. The impact of 3D printing parameters on physical and mechanical properties of thermoplastic products. *Modern engineering and innovative technologies*. Karlsruhe, Germany. Is. No.11, Part 1, pp. 9-16. Publ. March 2020. doi: 10.30890/2567-5273.2020-11-01-012.
13. Oleksyshen V., Sokolskiy A., Kolosov A., Solovei V. Determination of geometric and kinematic characteristics of FDM 3D print process. *Technology audit and production reserves*. №2/1(52), pp. 19-21. 2020. doi: 10.15587/2312-8372.2020.200999.
14. Герасименко Ю.Ю., Сокольський О.Л. Моделювання процесу плавлення термоклейового матеріалу. *Упаковка*. 2021. № 3 (142). С. 21-24.
15. A.V. Gondlyakh, A.E. Kolosov, V.I. Sivetskii, D.E. Sidorov, E.P. Kolosova, V.V. Vanin, S.I. Antonyuk. Physicochemical modification of heat-shrinkable epoxy polymers. // *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2021. No. 2. pp. 49-55. ISSN 0321-4095 (входить до наукометр. БД Web of Science).

13. Надати ключові слова до розробки

Полімер, композиція, змішування, моделювання, екструзія, лиття під тиском, інтелектуальні датчики