

Ihor
I. Ivitskiy
Івіцький
Ігор
Ігорович

УДК 66.022.3

INTELLECTUAL POLYMER COMPOSITE MATERIALS IN SHIPBUILDING

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ В СУДНОБУДУВАННІ

DOI 10.15589/SMI. 2018.02.19

Ihor I. Ivitskiy

I. I. Івіцький, канд. техн. наук, доц.

i.ivitskiy@kpi.ua

ORC ID: 0000-0002-9749-6414

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», м. Київ*

Abstract. Polymer composite materials are widely used in shipbuilding. Currently, intensive research is being conducted in the world in the areas of creating technologies and equipment for the production of intelligent polymer composite materials, in particular, on the basis of experimental and numerical methods and modeling of these processes. The analysis of existing scientific works in this field also indicates that in open sources there is no information on the use of intelligent polymeric materials in shipbuilding. However, the implementation of continuous online monitoring of the stress-strain state of the structural elements of the courts will solve a number of problems. Introduction to the design of intelligent sensors will allow remote monitoring and monitoring of the stress-strain state directly during operation in real time. For stress control, it is most advisable to use an electro-capacitive method of non-destructive testing, which can provide control of materials with different properties, from dielectrics to conductors. The use of the electro-capacitance method is most appropriate for controlling such types of materials as intelligent polymer composites. Currently, there are technologies and equipment for the input of intelligent sensors into the polymer material during its production using the processes of extrusion, injection molding and pressing. When designing the technological modes of production of such materials, one should be aware of the need to take into account wall effects, which have a significant impact on the process due to the location of sensors mainly in the wall layers of the product. For the dosed introduction of intelligent sensors in the formation of products, we proposed two options for the design of injection devices: a device for dosed continuous introduction of sensors at a certain depth with a step and device for introducing one sensor at a certain point of the product. The use of intelligent polymer composite materials in shipbuilding allows continuous monitoring of integrity in real time with monitoring of the stress-strain state. This control allows respond in a timely manner to the violation of the integrity of the structure, which significantly increases the level of security.

Keywords: intelligent materials; polymer materials; stress control; stress-strain state; non-destructive testing.

Анотація. Полімерні композиційні матеріали знайшли широке застосування у суднобудуванні. На даний час у світі проводяться інтенсивні наукові дослідження в напрямках створення технологій та устаткування для виробництва інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів, зокрема на базі експериментальних і числових методів та моделювання цих процесів. Аналіз наявних робіт учених у цій галузі свідчить також про те, що у відкритих джерелах відсутня інформація про застосування інтелектуальних полімерних матеріалів у суднобудуванні. Проте здійснення неперервного онлайн-контролю напружено-деформованого стану елементів конструкції суден дасть змогу вирішити цілу низку проблем. Введення в конструкцію інтелектуальних датчиків дасть змогу проводити дистанційний контроль та моніторинг напружено-деформованого стану безпосередньо під час експлуатації в реальному часі. Для контролю напружень найбільш доцільно використовувати електроємний метод неруйнівного контролю, який може забезпечити контроль матеріалів з різними властивостями, від діелектриків до провідників. Застосування електроємного методу є найбільш прийнятним для контролю такого типу матеріалів, як інтелектуальні полімерні композити. На сьогодні є технології та обладнання для введення інтелектуальних датчиків у полімерний матеріал під час його виробництва з використанням процесів екструзії,

лиття під тиском і пресування. У проектуванні технологічних режимів виробництва таких матеріалів слід пам'ятати про необхідність урахування пристінних ефектів, які мають значний вплив на процес у зв'язку з розташуванням датчиків переважно у пристінних шарах виробу. Для дозованого введення інтелектуальних датчиків під час формування виробів запропоновано два варіанти конструктивного оформлення інжектувальних пристроїв: пристрій для дозованого неперервного введення датчиків на певну глибину і з кроком та введення одного датчика в певну точку виробу. Застосування інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів у суднобудуванні дає змогу здійснювати неперервний контроль цілісності у реальному часі з моніторингом напружено-деформованого стану. Такий контроль дає змогу вчасно реагувати на порушення цілісності конструкції, що значно підвищує рівень безпеки.

Ключові слова: інтелектуальні матеріали; полімерні матеріали; контроль напружень; напружено-деформований стан; неруйнівний контроль.

Аннотація. Полимерные композиционные материалы нашли широкое применение в судостроении. На сегодняшний день в мире проводятся интенсивные научные исследования в направлениях создания технологий и оборудования для производства интеллектуальных полимерных композиционных материалов, в частности на базе экспериментальных и численных методов и моделирования этих процессов. Анализ имеющихся работ ученых в этой области свидетельствует также о том, что в открытых источниках отсутствует информация о применении интеллектуальных полимерных материалов в судостроении. Однако осуществление непрерывного онлайн-контроля напряженно-деформированного состояния элементов конструкции судов позволит решить целый ряд проблем. Введение в конструкцию интеллектуальных датчиков позволит проводить дистанционный контроль и мониторинг напряженно-деформированного состояния непосредственно во время эксплуатации в реальном времени. Для контроля напряжений наиболее целесообразно использовать электроемкий метод неразрушающего контроля, который может обеспечить контроль материалов с различными свойствами, от диэлектриков до проводников. Применение электроемкого метода является наиболее приемлемым для контроля такого типа материалов, как интеллектуальные полимерные композиты. В настоящее время есть технологии и оборудование для ввода интеллектуальных датчиков в полимерный материал при его производстве с использованием процессов экструзии, литья под давлением и прессования. В проектировании технологических режимов производства таких материалов следует помнить о необходимости учета пристенных эффектов, которые оказывают значительное влияние на процесс в связи с расположением датчиков преимущественно в пристенных слоях изделия. Для дозированного введения интеллектуальных датчиков при формировании изделий предложено два варианта конструктивного оформления инжектирующих устройств: устройство для дозированного непрерывного введения датчиков на определенную глубину и с шагом и для ввода одного датчика в определенную точку изделия. Применение интеллектуальных полимерных композиционных материалов в судостроении позволяет осуществлять непрерывный контроль целостности в реальном времени с мониторингом напряженно-деформированного состояния. Такой контроль позволяет своевременно реагировать на нарушение целостности конструкции, что значительно повышает уровень безопасности.

Ключевые слова: интеллектуальные материалы; полимерные материалы; контроль напряжений; напряженно-деформированное состояние; неразрушающий контроль.

References

- [1] Orekhov, V. A. (2013). *Primeneniye sinteticheskikh i polimernykh materialov v sudostroyenii i sudoremonte. Kongress Mezhdunarodnogo foruma "Velikiye reki"*.
- [2] Anisimov, A. V. (2015). **Polimernyye kompozitsionnyye materialy i sredstva zashchity ot korrozii dlya sudostroyeniya i korablestroyeniya.** *Novyy oboronnyy zakaz*, 3 (35), 80–81.
- [3] Krasil'nikova, O. A., & Kol'churin, A. I. (2016). **Primeneniye polimernykh konstruksionnykh materialov v sudostroyenii.** *European Research*, 5 (16), 22–24.
- [4] Gumenyuk, N. S., & Grushin, S. S. (2013). *Primeneniye kompozitnykh materialov v sudostroyenii. Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 8–1, 116–117.
- [5] Mikhaylin, Yu. A. (2008). *Konstruksionnyye polimernyye kompozitsionnyye materialy.* Sankt-Peterburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii.
- [6] Uorden, K. (2006). *Novyye intellektual'nyye materialy i konstruksii.* Moskva: Tekhnosfera.
- [7] Molodtsov, G. A. i dr. (2000). *Formostabil'nyye i intellektual'nyye konstruksii iz kompozitsionnykh materialov.* Moskva: Mashinostroyeniye.
- [8] Barisci, J. N., Conn C., & Wallace, G. G. (1996). Conducting polymer sensors. *Trends in Polymer Science*, Vol. 4, 9, 307–311.

- [9] Wallace, G. G., Teasdale, P. R., Spinks, G. M., & Kane-Maguire, L. A. (2008). *Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems*. Ed. 3. Northwest: CRC Press.
- [10] Wallace, G. G. (1992). **Intelligent polymer systems-concepts, approaches present uses and potential applications.** *Material Forum*, Vol. 16, 2, 111–115.
- [11] Bazhenov, V. H., Ivits'ka, D. K., & Hruzyn, S. V. (2013). Udoshkonalenny elektrostatychnyy metod neruynivnoho kontrolyu. *Metody ta prylady kontrolyu yakosti*, 2 (31), 26–28.
- [12] Ivitskiy, I. I. (2018). Extrusion of Intellectual Polymer Materials. *Web of Scholar*, Vol 1, 5 (23), 15-18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108460
- [13] Sivetskiy, V. I., Sokolskiy, O. L., & Ivitskiy, I. I. ta in. (2016). Metody ta prystroyi dlya vyhotovlennya vyrobiv z intelektual'nykh polimernykh kompozytsiynykh materialiv. *Visnyk NTU "KHPF". Mekhaniko-tehnologichni systemy ta komplekсы*, 4 (1176), 95–101.
- [14] Sokolskiy, O. L., & Ivitskiy, I. I. (2014). **Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment.** *Modern Scientific Research and their Practical application*, 10, 136–140.
- [15] Sokolskiy, O. L., Ivitskiy, I. I., Sivetskiy, V. I., & Mikulionok, I. O. (2014). **Vyznachennya vyazkosti prystinnoho sharu u formuyuchykh kanalakh obladnannya dlya pererobky polimeriv.** *Naukovi visti NTUU "KPP"*, 2, 66–69.
- [16] Ivitskiy, I. I., Sokolskiy, O. L., Sivetskiy, V. I., & Mikulionok, I. O. (2013). Chyslove modelyuvannya vplyvu prystinnoho sharu na protses techiyi polimeru v pererobnomu obladnanni. *Khimichna promyslovisht Ukrayiny*, 6, 34–37.
- [17] Ivitskiy, I. I. (2014). Polymer wall slip modelling. *Technology Audit And Production Reserves*, 5/3 (19), 8–11.

Постановка задачі. Полімерні матеріали знайшли застосування у виготовленні відповідних суднобудівних деталей, що експлуатуються в умовах впливу агресивних середовищ, великих коливань температур, високої вологості та ін.

У суднобудуванні основним завданням є зменшення кількості використовуваних матеріалів, підвищивши при цьому надійність і якість конструкцій. Вирішенню цього завдання багато в чому сприяє застосування композиційних матеріалів. Нові полімерні композиційні матеріали дають змогу створювати корпусні конструкції із сендвіч-композицій з високоміцними шарами зі склопластику і середнім шаром з полімерних композицій низької щільності. Застосування таких матеріалів забезпечує будівництво сучасних високошвидкісних суден [1].

В умовах посилення вимог щодо пожежної безпеки та екологічності суден нових поколінь зростає значення багатофункціональних теплозвукоізоляційних матеріалів і покриттів для облаштування суднових приміщень. Мала щільність матеріалів у забезпеченні пожежної безпеки дозволяє застосовувати їх в архітектурі надводної частини суден усіх типів, що сприяє поліпшенню стійкості, полегшенню експлуатації корпусу [2].

Унікальні властивості композиційних матеріалів дають змогу виготовляти високоміцні, легкі корпуси катерів, яхт. Для їх створення головним чином використовуються різні види склопластиків, які мають відмінну хімічну та біологічну стійкість. До його переваг також належать: міцність і технологічні властивості, поліпшення умов праці, скорочення витрат на вентиляцію виробничих приміщень [3].

Судноремонтним заводам усього світу добре відомі полімерні матеріали, різні епоксидні компаун-

ди, металополімери, що застосовуються для будівництва та ремонту кораблів, яхт і катерів. Ремонтна система, як правило, включає у себе повний набір матеріалів, які можуть знадобитися для відновлення поверхні металевих, пластикових корпусів, а також різноманітного суднового обладнання, деталі якого піддаються зносу в процесі експлуатації. До складу цих матеріалів входять епоксидні смоли, що мають високу механічну властивість, і деякі види наповнювачів, різні види герметиків, синтетичних клеїв, що дає змогу ефективно відновлювати працездатність зношених елементів, а також захищати їх у подальшій експлуатації [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі проводяться інтенсивні наукові дослідження в напрямках створення технологій та устаткування для виробництва інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів (ІПКМ), зокрема на базі експериментальних та числових методів і моделювання цих процесів.

Робота [5] присвячена широкому огляду конструкційних полімерних матеріалів, у тому числі інтелектуальних. Розглянуті типи ІПКМ, способи отримання інформації з них та їхні властивості, а також питання введення у полімерний матеріал різних типів датчиків й інших модифікаторів.

У роботі [6] описані системи оптико-волоконних датчиків, які можуть вимірювати деформацію, температуру і механічне напруження. Обговорені способи реагування інтелектуальних конструкцій на виникаючі резонансні коливання.

У роботі [7] розглянуто проблеми проектування і виготовлення інтелектуальних конструкцій із сучасних композиційних матеріалів. Розроблено алгоритми, які дають змогу оцінювати характеристики

композитних конструкцій і керувати ними під час виготовлення й в процесі експлуатації.

У роботах [8; 9] розглядається створення інтелектуальних полімерних систем на базі електричних датчиків, які дозволяють контролювати дію зовнішніх факторів на виріб.

У роботі [10] порівнюються полімерні композиції без інтелектуальних датчиків та з ними, роблячи висновки про можливість їх застосування у різних сферах.

Аналіз наявних робіт учених свідчить також про те, що у відкритих джерелах відсутня інформація про використання ІПКМ у суднобудуванні.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ — огляд можливостей застосування інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів у суднобудуванні для контролю стану високовідповідних деталей та елементів конструкції.

Основний матеріал. Питання отримання інформації про характеристики високовідповідних деталей та вузлів, наприклад про їхній напружено-деформований стан (н.д.с.), у реальному часі надзвичайно актуальне у наш час. Введення у виробу з полімерних композиційних матеріалів інтелектуальних датчиків (ІД) дає змогу проводити дистанційну діагностику та моніторинг цих виробів безпосередньо під час їхньої експлуатації.

Інтелектуальний датчик — це пристрій для вимірювання фізичних величин у вигляді сукупності одного або декількох перетворювачів. Він виробляє сигнал, зручний для передавання, зберігання та використання у системах керування.

Датчики на основі різних матеріалів і технологій використовуються в багатьох сферах техніки, перетворюючи неелектричні сигнали на електричні. Датчики, які застосовуються для інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів, мають вигляд мініатюрних сенсорних пристроїв, що вводяться в матеріал.

Здійснення неперервного онлайн-контролю н.д.с. елементів конструкції дасть змогу вирішити цілу низку проблем. Введення в конструкцію інтелектуальних датчиків дозволить проводити дистанційний контроль та моніторинг напружено-деформованого стану безпосередньо під час експлуатації в реальному часі.

Імпульси електромагнітного поля реєструються під час зародження та розвитку тріщин, розриву волокон, розшарування матеріалу. Електромагнітна емісія дає змогу прогнозувати з високою точністю міцність матеріалу, граничні навантаження, залишковий ресурс роботи виробу, що експлуатується в умовах статичного, динамічного, вібраційного навантаження. У разі дії на матеріал динамічних навантажень (удар, імпульсний акустичний або тепловий вплив) емісія виникає як у точці впливу, так і в напрямку поширення акустичних хвиль та несе інформацію про внутрішню будову матеріалу.

На рис. 1 зображена схема контролю н.д.с. елемента конструкції, яка складається з об'єкта контролю 1, введеного інтелектуального датчика 2, комбінованого приймача сигналу, підсилювача та аналого-цифрового перетворювача 3, бездротових передавача 4 і приймача 5, комп'ютера для приймання та аналізу даних 6.

При цьому інтелектуальних датчиків та приймачів сигналу може бути декілька за кількістю необхідних точок контролю.

Для контролю н.д.с. найбільш доцільно використовувати електроємний метод неруйнівного контролю, який може забезпечити контроль матеріалів з різними властивостями, від діелектриків до провідників. Застосування електроємного методу є найбільш прийнятним для контролю ІПКМ [11].

На сьогодні є технології та обладнання для введення ІД у полімерний матеріал під час його виробництва з використанням процесів екструзії, лиття під тиском і пресування [12; 13]. Під час проектування технологічних режимів виробництва ІПКМ слід пам'ятати про необхідність урахування пристінних ефектів, які мають значний вплив на процес у зв'язку з розташуванням ІД переважно у пристінних шарах виробу [14–17].

Для дозованого введення ІД у разі формування виробів пропонуються два варіанти конструктивного оформлення ін'єктувальних пристроїв. На рис. 2 наведено пристрій для дозованого введення ІД на певну глибину та з кроком. ІД змішуються з полімером у пластикаторі 1, з якого суміш потра-

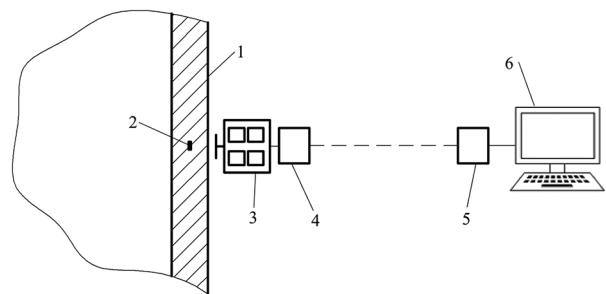


Рис. 1. Схема контролю напружено-деформованого стану елемента конструкції

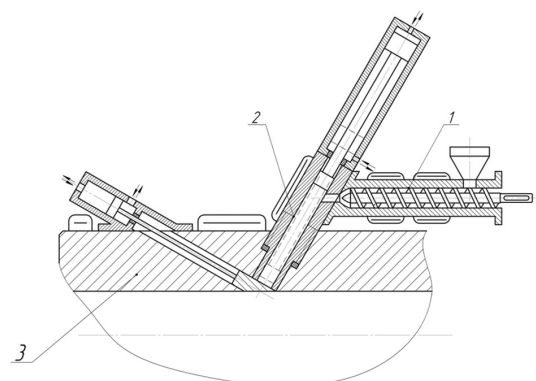


Рис. 2. Схема ін'єктувального пристрою для введення суміші інтелектуального датчика з розплавом

пляє в інжекційний циліндр 2 і впорскується ним під тиском безпосередньо у формуючий канал 3 із заданою періодичністю. Синхронно з рухом інжекційного циліндра заслінка відкриває та закриває отвір каналу. Тиск у гідроциліндрі інжекції перевищує тиск у формуючому каналі, що дає змогу занурювати датчики на необхідну глибину.

У разі необхідності введення одного датчика в певну точку виробу запропоновано конструкцію інжекційного пристрою, схему якого наведено на рис. 3. У процесі екструзії полімерна композиція з формуючого каналу заповнює порожнину інжекційного циліндра 1, відкривається заслінка 2 і датчик 3 проштовхується плунжером в інжекційну порожнину та змішується з розплавом. Заслінка 2 закривається та здійснюється інжекція у формуючий канал 7 за допомогою плунжера 6.

Перспектива подальших досліджень полягає в експериментальних дослідженнях контролю н.д.с. елементів конструкції суден за допомогою ІПКМ та обґрунтуванні техніко-економічної доцільності їх використання.

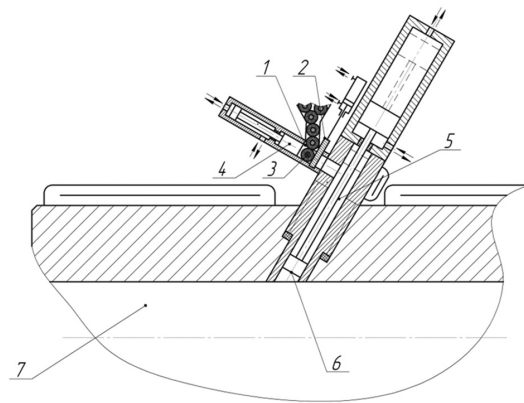


Рис. 3. Схема інжектувального пристрою для введення відокремлених інтелектуальних датчиків

ВИСНОВОК. Застосування інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів у суднобудуванні дає змогу здійснювати неперервний контроль цілісності у реальному часі з моніторингом напружено-деформованого стану. Такий контроль дозволяє вчасно реагувати на порушення цілісності конструкції, що значно підвищує рівень безпеки.

Список літератури

- [1] Орехов, В. А. (2013). Применение синтетических и полимерных материалов в судостроении и судоремонте. *Конгресс Международного форума «Великие реки»*.
- [2] Анисимов, А. В. (2015). Полимерные композиционные материалы и средства защиты от коррозии для судостроения и кораблестроения. *Новый оборонный заказ*, 3 (35), 80–81.
- [3] Красильникова, О. А., & Кольчурин, А. И. (2016). Применение полимерных конструкционных материалов в судостроении. *European Research*, 5 (16), 22–24.
- [4] Гуменюк, Н. С., & Грушин, С. С. (2013). Применение композитных материалов в судостроении. *Современные наукоемкие технологии*, 8–1, 116–117.
- [5] Михайлин, Ю. А. (2008). *Конструкционные полимерные композиционные материалы*. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии.
- [6] Уорден, К. (2006). *Новые интеллектуальные материалы и конструкции*. Москва: Техносфера.
- [7] Молодцов, Г. А. и др. (2000). *Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов*. Москва: Машиностроение.
- [8] Barisci, J. N., Conn, C., & Wallace, G. G. (1996). Conducting polymer sensors. *Trends in Polymer Science*, Vol. 4, 9, 307–311.
- [9] Wallace, G. G., Teasdale, P. R., Spinks, G. M., & Kane-Maguire, L. A. (2008). *Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems*. Ed. 3. Northwest: CRC Press.
- [10] Wallace, G. G. (1992). Intelligent polymer systems-concepts, approaches present uses and potential applications. *Material Forum*, Vol. 16, 2, 111–115.
- [11] Баженов, В. Г., Івіцька, Д. К., & Грузин, С. В. (2013). Удосконалений електростатичний метод неруйнівного контролю. *Методи та прилади контролю якості*, 2 (31), 26–28.
- [12] Ivitskiy, I. I. (2018). Extrusion of Intellectual Polymer Materials. *Web of Scholar*, Vol 1, 5 (23), 15-18. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108460.
- [13] Сівецький, В. І., Сокольський, О. Л., & Івіцький, І. І. та ін. (2016). Методи та пристрої для виготовлення виробів з інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів. *Вісник НТУ «ХП»*. *Механіко-технологічні системи та комплекси*, 4 (1176), 95–101.
- [14] Sokolskiy, O. L., & Ivitskiy, I. I. (2014). Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment. *Modern Scientific Research and their Practical application*, 10, 136–140.
- [15] Сокольський, О. Л., Івіцький, І. І., Сівецький, В. І., & Мікульонок, І. О. (2014). Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів. *Наукові вісті НТУУ «КП»*, 2, 66–69.
- [16] Івіцький, І. І., Сокольський, О. Л., Сівецький, В. І., & Мікульонок, І. О. (2013). Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні. *Хімічна промисловість України*, 6, 34–37.
- [17] Ivitskiy, I. I. (2014). Polymer wall slip modelling. *Technology Audit And Production Reserves*, 5/3 (19), 8–11.

© І. І. Івіцький

Статтю рекомендує до друку
д-р техн. наук, проф. В. Ф. Квасницький