

УДК 678.5.05:004.925.8

## ПІДХОДИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИГОТУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ФОРМУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ВИРОБІВ З НИХ

Сівецький В.І., Колосов О.Є., Івіцький І.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

У всьому світі протягом останнього десятиріччя спостерігається високий попит на інноваційні термопластичні полімерні композиційні матеріали (далі ТПКМ) та інтелектуальні вироби (ІВ) з них, у тому числі на матеріали зі спеціальними властивостями. Адже розроблені ІВ з ТПКМ в процесі їх експлуатації можуть надійно передавати достовірну інформацію про стан виробу за рахунок точного позиціонування обмеженої кількості інтелектуальних датчиків (ІД) у заданих координатах об'єму виробів в автоматизованих технологічних процесах їх формування.

Слід зазначити, що загальний імпорт ІВ в Україну перевищує 98%. Передові розробки в даному напрямку мають такі зарубіжні фірми, як RENAУ, КВЕ, Krauss Maffei (ФРН), Sincinnati Extrusion (Австрія). Наприклад, вартість одиниці формуючого обладнання для виробництва профілів складає від €100.000, що також підкреслює необхідність створення аналогічного імпортозамінного вітчизняного обладнання та технологій формування виробів з ТПКМ складної геометрії.

Саме тому зараз у світі проводяться інтенсивні наукові дослідження групами науковців в напрямках створення технологій та устаткування для виробництва ТПКМ, зокрема, на базі експериментальних і числових методів моделювання цих процесів. Серед них – вчені зі США, Італії, Росії та Білорусії [1]. Характерною особливістю наукових праць вищезазначених дослідників є те, що в них не розкриваються особливості використовуваних технологій та реалізуючих їх пристроїв для введення ІД у ПКМ, що є, очевидно, комерційною таємницею розробників. Тому ці роботи, як правило, фінансуються військово-промисловим комплексом.

Аналіз існуючих робіт вчених свідчить про те, що незважаючи, наприклад, на різноманіття існуючих компонентів з пам'яттю форми, сучасних волоконнооптичних та п'єзоелектронних датчиків, на цей час відсутні універсальні технології та устаткування введення ІД у термопластичний полімерний матеріал та його переробки у відповідальні деталі. Тому розроблення ефективних технічних засобів створення ІВ з ТПКМ та прогнозування їх напружено-деформованого стану (НДС) є надзвичайно актуальним для вітчизняної науки і промисловості, що може поставити ці розробки в один ряд із зарубіжними аналогами.

Успішна реалізація програми вітчизняних досліджень може суттєво зменшити імпортозалежність країни від цих виробів внаслідок створення вітчизняної технологічної бази виготовлення ІВ, що дозволить за окремими показниками перевищувати зарубіжні аналоги. Це підкреслює важливість розроблення технологічних засад та обладнання для позиціонованого введення, в попередньо визначені шляхом числового моделювання НДС майбутніх виробів критичні зони, детермінованої кількості ІД в ТПКМ безпосередньо на стадії формування відповідальних ІВ методами лиття під тиском, інжекції та пресування, для здійснення постійного моніторингу НДС виробів в процесі експлуатації.

Попередньо авторським колективом було запропоновано декілька гіпотез. Гіпотеза 1 полягає у можливості забезпечення введення мінімально необхідної кількості ІД і їх позиціонування безпосередньо на стадії автоматизованого формування виробів методами лиття, екструзії та пресування, у т.ч. з використанням ультразвуку (УЗ), за рахунок додаткового оснащення формуючого інструменту інжекційними пристроями та маніпуляторами. Це дасть змогу здійснювати всеохоплюючий й безперервний онлайн

моніторинг відповідальних ІВ спеціального призначення.

Гіпотеза 2 полягає у диверсифікації типів і форми датчиків та застосовуваних способів їх введення у залежності від призначення та методів виготовлення ІВ спеціального призначення з ТПКМ, а також побудови основ автоматизованої системи для безперервного моніторингу НДС ІВ. Це передбачає використання різних способів введення ІД у залежності від їх типу і форми та технологічного процесу виготовлення ІВ з ТПКМ.

У залежності від форми ІД та від сутності технологічного процесу виготовлення виробів з ТПКМ використовуються різні способи та пристрої для їх введення. Якщо використовується методи лиття під тиском та пресування, то найбільш доцільним є використання маніпуляторів, зокрема, 3D-маніпуляторів. А якщо застосовується метод екструзії, то для введення ІД найбільш доцільними є методи соекструзії, наприклад, для безперервних волокнистих ІД із застосуванням УЗ, або інжекції при введенні точкових ІД.

Таким чином, проведення комплексних досліджень має на меті подальше впровадження у промисловість розроблених вперше в країнах СНД науково-практичних засад конкурентоздатної вітчизняної технології та устаткування для реалізації безперервних процесів приготування ТПКМ та формування ІВ спеціального призначення з детермінованими властивостями, зокрема, композитів, що володіють здатністю контролю діючих навантажень, а також удосконалення устаткування для реалізації процесів компаундування при формуванні високо відповідальних конструкційних виробів.

Для реалізації поставленої мети передбачається вирішення наступних задач:

1) розроблення інноваційних технологій та пристроїв для позиціонованого введення ІД у ТПКМ на стадії формування ІВ методами пресування, лиття під тиском та екструзії за умов забезпечення можливості зняття інформації з них про НДС ІВ спеціального призначення;

2) обґрунтування необхідної кількості введених ІД у ІВ для отримання достовірної інформації про їх НДС в процесі експлуатації;

3) розроблення методики моделювання процесу введення ІД в розплав ТПКМ в процесах пресування, лиття та екструзії;

4) розроблення технічних рекомендацій по конструктивному оформленню формуючого устаткування, інжекційних та маніпулюючих пристроїв для введення необхідної кількості ІД у ТПКМ на стадії формування ІВ методами пресування, лиття та екструзії;

5) підготовка до впровадження розроблених методик розрахунків і конструкцій формуючого устаткування, інжекційних пристроїв та маніпуляторів у виробництво для виготовлення конкурентоздатних ІВ на базі ТПКМ.

Реалізація програми досліджень передбачає використання інноваційного підходу, що полягає у розробленні конструкцій формуючого устаткування, оснащеного додатковими інжекційними пристроями та маніпуляторами і технологічного регламенту процесу виготовлення ІВ з ТПКМ у залежності від форми ІД та типів пристроїв для їх введення, а також від особливостей використовуваних методів формування ІВ спеціального призначення.

Таким чином, в результаті виконання програми досліджень буде розроблено ряд технологій та удосконалено конструкції формуючого обладнання для одержання ІВ з ТПКМ, в тому числі спеціального призначення, зі здатністю реагувати на зовнішні навантаження.

Передбачається застосувати комплексний підхід до розроблення методів приготування ТПКМ і формування ІВ з них, базуючись на застосуванні методів числового моделювання основних стадій їх формування та розробленні систем інформаційної підтримки життєвого циклу експлуатації конструкційного виробу.

Для мінімізації кількості висококошторисних ІД та спрощення системи обробки даних з одночасним забезпеченням достовірності моніторингу НДС відповідальних полімерних виробів необхідно розробити систему автоматизованої оцінки критичних зон навантаження виробів та прогнозування їх життєвого циклу в процесі експлуатації.

В залежності від конструктивних особливостей виробів та використаних полімерних

матеріалів застосовуються різні технології виготовлення ІВ. Різноманіття технологій формування виробів зумовлює застосування різних способів та пристроїв для позиціонованого введення необхідної кількості ІД без порушення структури та фізико-механічних властивостей виробів.

Тому необхідно проведення досліджень НДС виробів в стаціонарних та експлуатаційних умовах з визначенням критеріїв настання критичного стану, встановлення залежності точності отримання інформації про НДС від глибини залягання ІД, технологічних параметрів та режимів процесу приготування ТПКМ і формування ІВ із позиціонованим введенням ІД, а також конструктивних параметрів формуючого обладнання, модернізованого маніпуляторами та інжекційними пристроями.

Такий підхід дозволяє використовувати результати числового моделювання, експериментальних досліджень, наприклад, екструзійного формування профільних виробів, та конструктивних параметрів модернізованого формуючого обладнання, для забезпечення можливості реалізації технологій виготовлення ІВ. При цьому ряд ідей доцільно взяти з результатів попередніх досліджень щодо проектування процесів та обладнання приготування класичних та наномодифікованих ПКМ та формування конструкційних виробів з них, у тому числі з використанням низькочастотного ультразвуку [2 – 6].

Прикладна значимість досліджень полягає у визначенні оптимальних технологічних режимів та конструктивних параметрів інжекційних пристроїв та маніпуляторів формуючого литтєвого, пресового та екструзійного обладнання, що використовується для виготовлення ІВ, а також уведення у задану координату виробу обґрунтованої кількості ІД. Це дає змогу контролю стану виробів за рахунок безперервного моніторингу їх НДС в процесі експлуатації.

Таким чином, розроблення науково-практичних засад інноваційної вітчизняної технології та обладнання компаундування термопластичних полімерних композиційних матеріалів та формування ІВ з них методами лиття під тиском, пресування та екструзії є актуальним завданням сьогодення.

#### Список літератури:

1. Михайлин Ю. А. *Специальные полимерные композиционные материалы* [текст] / Ю. А. Михайлин. – СПб.: Научные основы и технологии, 2008. – 660 с.
2. Колосова О. П. *Моделювання процесів виготовлення реактопластичних композиційно-волокнистих матеріалів* [монографія] / О.П. Колосова, В. В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.Є. Колосов. – К.: ВПК «Політехніка» НТУУ «КПІ», 2016. – 164 с.
3. Колосова О. П. *Моделювання процесів та обладнання для виготовлення реактопластичних матеріалів* (монографія з грифом Вченої ради КПІ ім. Ігоря Сікорського) [електронне видання] / О.П. Колосова, В.В. Ванін, О.Є. Колосов, В.І. Сівецький. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 235 с. <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20533>
4. Колосова О. П. *Ультразвукова обробка технологічної сировини полімерних композиційних матеріалів* [електронне видання]. Затверджено Вченою радою КПІ імені Ігоря Сікорського як навчальний посібник для аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» / О.П. Колосова, В.В. Ванін, О.Є. Колосов, В.І. Сівецький. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 188 с. <http://ela.kpi.ua/jspui/handle/123456789/20534>
5. Сівецький В. І. *Технології і устаткування для формування виробів з традиційних та інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів* [текст]: монографія / В.І. Сівецький, О.Є. Колосов, О.Л. Сокольський, І.І. Івіцький. – К.: ВПК «Політехніка», 2017. – 120 с.
6. Колосов О. Є. *Композиційні та наноматеріали*. Затверджено Вченою радою КПІ імені Ігоря Сікорського як навчальний посібник для аспірантів, які навчаються за спеціальністю «Галузеве машинобудування» [електронне видання] / О.Є. Колосов. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 224 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19767>.