

УДК 66.022.3

В. І. СІВЕЦЬКИЙ, О. Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, І. І. ІВІЦЬКИЙ, О. Є. КОЛОСОВ, В. М. КУРИЛЕНКО**МЕТОДИ ТА ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Питання отримання інформації про характеристики відповідальних деталей та вузлів, зокрема, про їх напружено-деформований стан (н.д.с.), в режимі реального часу надзвичайно актуальне у наш час. Введення у виробу з полімерних композиційних матеріалів інтелектуальних датчиків (ІД) дозволяє проводити дистанційну діагностику та моніторинг цих виробів безпосередньо під час їх експлуатації. Це актуально в таких сферах, як: авіакосмічна промисловість (контроль н.д.с. елементів літальних апаратів); медицина (контроль елементів штучних клапанів серця, тощо); суднобудування (контроль зносу найбільш відповідальних елементів підводних човнів); автомобілебудування та машинобудування (контроль напружень, які виникають у відповідальних місцях під час експлуатації).

Ключові слова: полімерні композиційні матеріали, інтелектуальні матеріали, інтелектуальні датчики.

Вопрос получения информации о характеристиках деталей и узлов, в частности, об их напряженно-деформированном состоянии (н.д.с.), в режиме реального времени чрезвычайно актуален в наше время. Введение в изделия из полимерных композиционных материалов интеллектуальных датчиков (ИД) позволяет проводить дистанционную диагностику и мониторинг этих изделий непосредственно во время их эксплуатации. Это актуально в таких сферах, как: авиакосмическая промышленность (контроль н.д.с. элементов летательных аппаратов); медицина (контроль элементов искусственных клапанов сердца и т.д.); судостроение (контроль износа наиболее ответственных элементов подводных лодок); автомобилестроение и машиностроение (контроль напряжений, возникающих в ответственных местах во время эксплуатации).

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, интеллектуальные материалы, интеллектуальные датчики.

Problem of obtain information about the characteristics of parts and components, in particular, their stress-strain state, in real time is extremely relevant in our time. Intrusion into the products made of polymer composite materials intelligent sensors allows for remote diagnostics and monitoring of these products directly during their operation. This is important in areas such as: aerospace (stress-strain state control elements of aircraft); medicine (control elements of artificial heart valves, etc.); shipbuilding (wear monitoring the most critical elements of submarines); automotive and mechanical engineering (control of stresses in critical areas during operation).

Keywords: polymer composites, smart materials and smart sensors.

Вступ. Інтелектуальний датчик – це мініатюрний вимірювальний пристрій у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох вимірювальних перетворювачів величини, яка вимірюється і контролюється, який виробляє вихідний сигнал, зручний для дистанційного передавання, зберігання та використання у системах керування і має нормовані характеристики.

Датчики на основі різних матеріалів і процесів вже тривалий час використовуються в різних областях техніки, перетворюючи неелектричні сигнали в електричні. Датчики, які використовуються для інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) мають вигляд мініатюрних сенсорних пристроїв, що вводяться в матеріал.

Інтелектуальні матеріали потребують змін методів контролю дефектності матеріалів [1] і переходу від традиційних методів неруйнівного контролю (сканування ультразвуком, томографія, акустичні, рентгеноструктурні та інші) до систем самодіагностики з використанням мікродатчиків (сенсорів), вбудованих в структуру матеріалу (конформних, капсульованих).

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У світі проводяться інтенсивні наукові дослідження в напрямках створення технологій та устаткування для виробництва ПКМ, зокрема, на базі експериментальних та числових методів та моделювання цих процесів.

Робота [2] присвячена широкому огляду конструкційних полімерних композиційних матеріалів, в тому числі інтелектуальних. Автор розглядає типи ПКМ, способи отримання інформації з них та їх властивості. Розглядаються питання введення у полімерний матеріал різних типів датчиків та інших модифікаторів, які дозволяють не тільки значно розширити сферу застосування полімерних композицій, а й знайти нові сфери застосування таких матеріалів.

У роботі [3] описані системи волоконно-оптичних датчиків, які можуть вимірювати деформацію, температуру і механічне напруження. Обговорюються способи реагування інтелектуальних конструкцій на виникаючі резонансні коливання. Описано сплави, що володіють ефектом пам'яті форми, а також п'єзокераміки, що широко використовуються в якості датчиків в розглянутих структурах. Наведені приклади застосування магнітострикційних матеріалів як активних приводів, що реагують на зміну зовнішніх умов.

У роботі [4] розглянуто проблеми аналізу, проектування і виготовлення формостабільних і інтелектуальних конструкцій з сучасних композиційних матеріалів. Розроблено моделі та алгоритми, що дозволяють оцінювати характеристики композитних конструкцій і управляти ними при виготовленні і в процесі експлуатації.

У роботах [5, 6] розглядається створення інтелектуальних полімерних систем на базі електроактивних датчиків, які дозволяють контролювати дію зовнішніх факторів на виріб, що дозволяє здійснювати моніторинг в режимі реального часу відповідальних деталей та вузлів. У роботі [7] розглядається можливість використання інтелектуальних полімерних матеріалів у медицині, зокрема, для таких високовідповідальних застосувань як протезування суглобів, штучні кардіоклапани та ін. У роботі [8] проводиться загальне порівняння полімерних композицій без інтелектуальних датчиків та з ними, роблячи висновки про можливість їх застосування у різних сферах. Проте, автори не за гострюють увагу на технологіях введення датчиків та параметрах обладнання.

Аналіз існуючих робіт вчених свідчить також про те, що незважаючи, наприклад, на різноманіття існуючих компонентів з пам'яттю форми, сучасних волоконнооптичних та п'єзоелектронних датчиків та

© В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, І. І. Івіцький, О. Є. Колосов, В. М. Куриленко. 2016

технологій наприклад, з'єднання різнорідних циліндричних конструктивних елементів, в цей час відсутні універсальні технології та устаткування для введення ІД в полімерний матеріал та їх переробки у відповідальні деталі. Тому розроблення ефективних технічних засобів створення ІПКМ та прогнозування їх н.д.с. є надзвичайно актуальним для вітчизняної науки і промисловості.

Аналіз типів інтелектуальних датчиків та можливостей їх застосування. Датчики поділяють на два типи: активні та пасивні. Активні датчики випромінюють і приймають сигнали, пасивні – реєструють і аналізують зміни без використання випромінювань.

Ємнісні системи датчиків фіксують зміни величини і фази змінного струму, індукційні датчики фіксують зміну індуктивності при внесенні в контрольований об'єм феромагнітних і електропровідних компонентів (при зміні магнітних і електричних властивостей).

Датчики, які отримують і обробляють сигнали, що виникають при механічному впливі на матеріал, використовують процеси акустичної, електронної, молекулярної, електромагнітної емісії.

Імпульси електромагнітного поля реєструються при зародженні та розвитку тріщин, розриві волокон, розшаруванні матеріалу. Електромагнітна емісія дозволяє прогнозувати з високою точністю міцність ІПКМ, граничні навантаження, залишковий ресурс роботи виробів, експлуатованих в умовах статичного, динамічного, вібраційного навантаження. При дії на матеріал динамічних навантажень (удар, імпульсний акустичний або тепловий вплив) емісія виникає як в точці впливу, так і в напрямку поширення акустичних хвиль, і несе інформацію про внутрішню будову матеріалу.

Поведінка матеріалів в електричних полях визначається складним зв'язком між інформаційними, тепловими властивостями та індукцією. При цьому можливе виникнення п'єзоефекту (механічна деформація → електрична індукція) і піроефекту (теплове розширення → електрична індукція).

На вібрації та імпульси реагують п'єзокерамічні, електромагнітні, магнітометричні, інерційно-механічні, трибоелектричні (ефект контактної електрорізації), вібродатчики.

П'єзоелектричні датчики – вимірювальні перетворювачі, дія яких заснована на п'єзоелектричному ефекті, служать для перетворення механічного зусилля в електричний сигнал. Найпростіший п'єзоелектричний датчик – пластина п'єзоелектрика, затиснута між струмопровідними поверхнями, до яких прикладаються вимірювані зусилля. Електрорушійна сила, що виникає між струмопровідними шарами, обкладками п'єзопластини, пропорційна зусиллю. Залежно від конструкції деталей та умов їх навантаження використовують п'єзопластини, що працюють на розтяг-стиск (компресійні), вигин, зсув.

Датчики, які використовують принцип акустичної емісії, виготовляють з полімерів (наприклад, з полівініліденфториду), в яких при зміні зовнішнього навантаження генеруються електричні заряди.

Ультразвукові п'єзоперетворювачі, чутливі елементи яких виготовлені у вигляді монолітних блоків в

поєднанні з демпферами зі змінними акустичними характеристиками, використовуються в якості сенсорів, які інформують про н.д.с., розшарування, тріщини, пористості, розташування дефектів в об'ємі ІПКМ.

Датчики тиску на основі магнітострикційних матеріалів (магнітострикція – зміна розмірів і форми кристалічного тіла при намагнічуванні через зміни відстаней між вузлами решітки в ферро- і феримагнетиках) – вимірювальні перетворювачі, дія яких заснована на магнітострикційному ефекті (перехід електромагнітної енергії в механічну), і ефекті Віллари, зворотному магнітострикції – зміні намагніченості матеріалу при його деформації. Магнітострикція використовується при розробці датчиків і мікродвигунів з п'єзомагнітних (зміна довжини стержня йод впливом зовнішнього магнітного поля) і п'єзоелектричних (зворотний п'єзоефект) матеріалів.

Електроп'єзокерамічні полімерні матеріали отримують наповненням епоксидних полімерів, поліуретанів, термопластів, гум керамічними порошками і волокнами. У керамічних п'єзоматеріалів напруження і деформації призводять до появи електричного заряду. Він же перетворює електричне поле в механічне напруження, збуджуючи ультразвукову хвилю. Аналогічними властивостями володіють п'єзополімери і полімерні матеріали, наповнені п'єзокомпонентами.

П'єзоелектричні пристрої у вигляді гнучких п'єзоелектричних сенсорних полімерних плівок дозволяють проводити вимірювання відразу в безлічі точок, мають мікроканали зв'язку, дають інтегральну інформацію про стан матеріалу конструкції, про тиск у багатьох точках поверхні виробу.

Датчиками для оцінки ступеня вібрації є магнітоеластичні аморфні матеріали з високим (до 95%) коефіцієнтом прямого і зворотного перетворення електричної енергії в механічну, наприклад, на основі полімерних магнітів. Полімерні магнітні матеріали – композиції на основі полімерних сполучних (термоактивних епоксидних, фенолоальдегідних, ненасичених олігоферних; термопластичних – пластифікований ПВХ, ПЕ, сульфохлорирований ПЕ, поліаміди, полістироли; еластичних – гумові суміші з каучуками різних типів, в тому числі олігомерних «рідких», термоеластоласти) і магнітних порошоків (ферити, порошки сплавів з рідкоземельними елементами самарій-кобальт, самарій-залізо).

Постійні магніти на полімерній основі з наповнювачами у вигляді дисперсних магнітних частинок використовують у виробництві датчиків і виконавчих пристроїв, електронних систем управління, приводних механізмів і електродвигунів. Перевагою їх використання в якості генераторів сигналів в датчиках є можливість додання різноманітних магнітних функцій компактному пристрою шляхом створення різних магнітних напрямних полів при формуванні в литтєвій формі. Вони легко вбудовуються в різні пристрої, з'єднуються з різними компонентами складних вузлів (зубчастими колесами, валами, фіксаторами), мають високу міцність і стабільність розмірів, корозійну стійкість.

Принцип роботи датчиків з магнітними елементами заснований на зміні магнітних властивостей під впливом виникаючого в системі механічного напру-

ження. Найбільш ефективні композиції з частинками анізотричної форми (голчастої, пластинчастої) – анізотропні магнітопласти, рівень магнітних властивостей яких в 3-3,5 рази вище, ніж у ізотропних, і на основі самарій-кобальтових сплавів, які забезпечують високі магнітні характеристики.

Загальна концепція оптико-волоконних датчиків (волоконно-оптичні розподілені сенсорні системи) для діагностики ІПКМ запозичена з техніки зв'язку. Використання оптоволоконних датчиків дозволяє об'єднати датчики зі структурою ІПКМ, забезпечити контроль параметрів по всьому об'єму виробу, провести множинні вимірювання за допомогою одного оптичного волокна без використання інших систем датчиків і засобів транспортування сигналів.

Системи, що складаються з одного датчика, можуть давати лише обмежену інформацію. При використанні системи сенсорів виникає проблема обробки величезної кількості даних. Це вимагає введення обмежень в кількості датчиків та у виборі контрольованих параметрів для забезпечення адекватної оцінки стану матеріалу і конструкції. Від системи сенсорів необхідно отримувати сигнали і передавати їх в систему аналізу даних без зміни параметрів сигналу при передачі його через поверхню розділу. У багатосенсорних системах створюються синергетичні ефекти, що підвищують кількість і доступність інформації про стан вимірюваного об'єкта. Основними напрямками розвитку сенсорної техніки є мініатюризація, застосування бездротових і багатосенсорних систем.

Перевага багатосенсорних систем – досягнення високого рівня точності і надійності. Тенденція розвитку багатосенсорних систем спрямована на розвиток модульних систем, що дозволяють додавати нові блоки і оновлювати старі без порушення функцій всієї системи.

За наявності великої кількості компонентів їх з'єднання електричними проводами створює значні труднощі. Бездротові системи датчиків розміщуються без просторових обмежень, вимірюваний параметр може реєструватися поблизу джерела. Бездротові датчики можуть взаємодіяти за допомогою ультразвукових, електромагнітних або інфрачервоних сигналів. Амплітуда, частота, фаза і час відгуку несуть інформацію, яка відноситься до вимірюваного явища (н.д.с., температура, тиск і т.д.). Для енергетично автономних бездротових датчиків не потрібно струмопроводів навіть для електроживлення.

Ціль та задачі дослідження. Для серійного виробництва виробів з ІПКМ, які можуть надійно передавати достовірну інформацію, необхідно досягти можливості точного позиціонування обмеженої кількості ІД в заданих координатах об'єму виробів, при чому не вручну, а в автоматизованому технологічному процесі. Метою даної роботи є аналіз та розробка методів та принципових схем пристроїв дозованого введення ІД у визначені точки або області полімерних виробів, які отримуються найбільш поширеними методами: пресування, екструзії та лиття під тиском.

Пропоновані методи та пристрої дозованого введення інтелектуальних датчиків у процесах промислового виготовлення виробів з ІПКМ. На базі проведеного аналізу існуючих типів бездротових

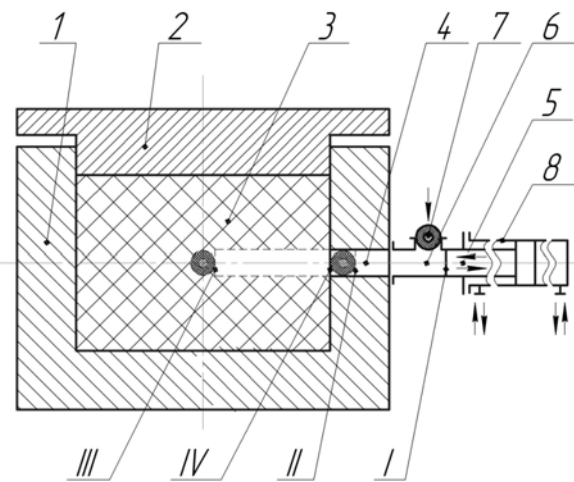
ІД запропоновано низку методів та пристроїв, які дозволитимуть вводити певну їх кількість в наперед задані області полімерних виробів в ході технологічних процесів пресування, екструзії та лиття під тиском.

При серійному виготовленні індивідуальних полімерних виробів методами пресування та лиття під тиском необхідно здійснювати автоматизоване введення ІД в певні точки об'єму виробів.

Для виготовлення виробів методом лиття під тиском пропонується застосування такого методу. На термопластавтоматі здійснюють впорскування в форму розплаву полімеру до моменту її заповнення під заданим тиском. Після цього вводять шупом датчик на задану координату по товщині та ширині виробу, виводять шуп з порожнини форми, а тиск знижують до заданого в технологічному регламенті значення і витримують певний час, потім охолоджують без тиску, розкривають форму та виймають виріб.

Для виготовлення виробів методом екструзії та співекструзії пропонується попередньо сформований довгомірний елемент, який може бути виконаний циліндричної або довільної форми поперечного перерізу, з розміщеними в ньому чи на його поверхні ІД, заправляти в екструзійну головку, крізь яку екструдувати розплав термопластичного полімеру, в ході чого відбувається оплавлення довгомірного елемента, спільна течія з основним потоком полімеру та охолодження.

Для формування виробів з ІД методом пресування запропонована конструкція прес-форми, оснащеної пристроєм їх дозованого введення в задану точку об'єму виробу. Прес-форма складається з двох півформ – матриці 1 та пуансона 2 (рис. 1).



Технологічний процес формування виробів за запропонованою конструкцією здійснюється таким чином. Відбувається заповнення формуючої порожнини 3 прес-форми прес-матеріалом, після чого здійснюється її проміжне зімкнення шляхом переміщення пуансона 2 відносно матриці 1. Закладна деталь 7, наприклад у вигляді полімерної капсули з ІД, подається в порожнину завантажувального пристрою 6, в якій знаходиться у вихідному положенні I виштовхувач 5, який виконаний у вигляді

щупа з можливістю закріплення на ньому і відкріплення від нього ІД (на рисунку не показано) і оснащений пристроєм зворотньо-поступального переміщення.

Після чого привід 8 переміщує виштовхувач 5 по порожнині завантажувального пристрою 6 і переміщує закладну деталь 7 в положення II.

Виштовхувач 5 за допомогою приводу 8 переміщує закладну деталь 7 з положення II в задану точку формуючої порожнини, положення III. Через заданий проміжок часу виштовхувач 5 за допомогою приводу 8 повертається у положення IV.

Після заданого проміжку часу на остаточне формування виробу виштовхувач 5 повертається у вихідне положення I. Після цього форма розкривається, а виріб виймається з формуючої порожнини 3.

Для формування виробів методом лиття під тиском (рис. 2) підготовлена порція полімеру з певним тиском вприскується у формуючу порожнину 3 прес-форми, яка утворена матрицею 1 та пуансоном 2 до моменту її заповнення. Щуп 4 в цей момент знаходиться в початковому положенні, у його внутрішню порожнину подається закладна деталь 6, завдяки тому, що отвір у стінці прес-форми та отвір 5 на поверхні щупа 4 сполучаються. В цей момент привід 11 переміщує заслінку 10, відкриваючи вихідний отвір щупа 4. Після цього привід 7 щупа 4 переміщує його в напрямку формуючої порожнини 3 на задану величину, після чого привід 8 переміщує виштовхувач 9 по внутрішньому каналу щупа 4, виштовхує закладну деталь 6 в заповнену формуючу порожнину 3 на задану величину ходу телескопічного щупа 4. Після виштовхування закладної деталі щуп 4 разом з виштовхувачем 9 переміщується в початкове положення приводом 7, а заслінка 10 закривається приводом 11. Здійснюється витримка матеріалу в формуючій порожнині

3 та охолодження виробу. Після цього форма розкривається, а виріб виймається з формуючої порожнини.

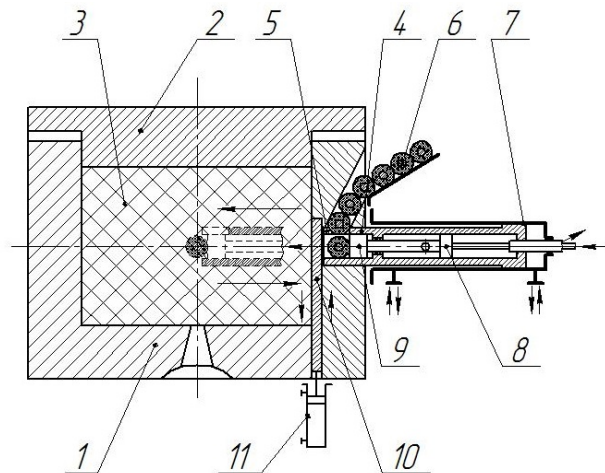


Рис. 2 – Схема форми для лиття під тиском

Для формування споряджених ІД довгомірних виробів з внутрішньою порожниною методом екструзії запропоновано конструкцію екструзійної головки (рис. 3), яка містить вхідний канал живлення 1, матрицю 2, що формує зовнішню поверхню полімерного виробу та дорн 3, що утворює внутрішню поверхню виробу. Дорн 3 кріпиться в корпусі 2 за допомогою дорнотримача 4 у вигляді ніжок. Дорнотримач 4 оснащено щонайменше одним каналом 5, який на вході з'єднаний з пристроєм додаткового живлення 6, а на виході зі зворотним клапаном 7 (за необхідності). В пристрої додаткового живлення 6 знаходиться концентрат суміші полімерів та інтелектуальних датчиків 8. Кінцеве розташування інтелектуальних датчиків 8 в готовому виробі визначає радіальну координату вихідного формуючого каналу 9.

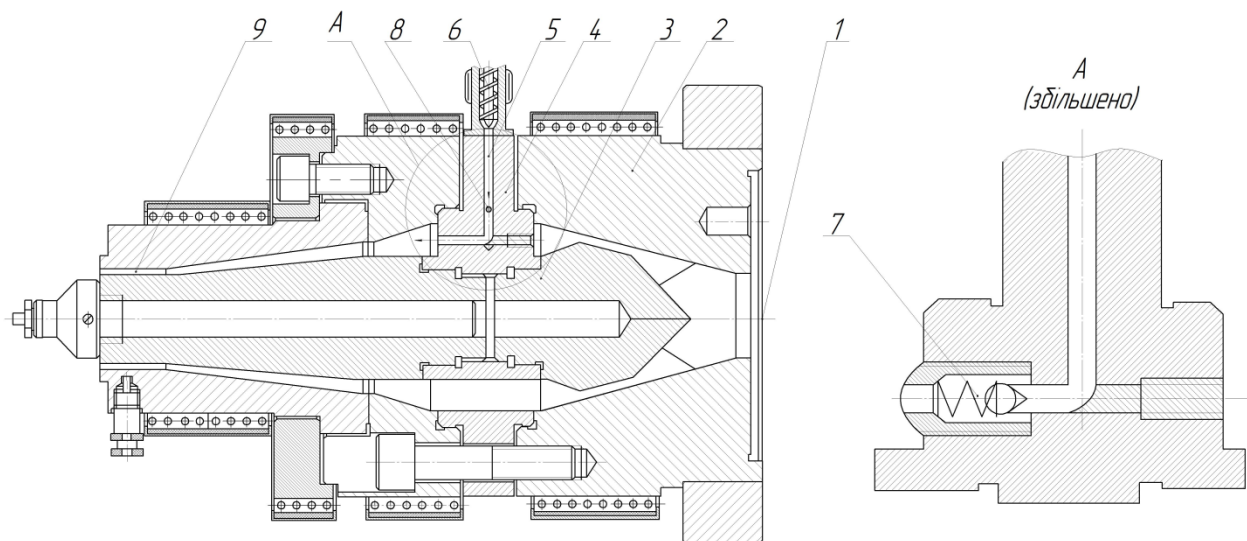


Рис. 3 – Схема головки

Пройшовши зону дорнотримача 4, в розплав через канал 5 з пристрою додаткового живлення 6 крізь зворотний клапан 7 разом із полімером потрапляють ІД 8, які в подальшому рухаються до вихідного формуючого каналу 9. В результаті на виході з головки одержуємо полімерний виріб, в стінці якого містяться інтелектуальні датчики.

Оскільки ІД зазвичай розташовуються біля стінки виробу, велике значення мають ефекти, що виникають у пристінних шарах полімерного матеріалу [9]. Зазначені ефекти можуть впливати на зміну в'язкості полімеру у пристінному шарі, що в свою чергу впливатиме на точність розташування ІД [10]. Раніше проведені числові моделювання [11, 12] продемонстрували високу ступінь впливу пристінних ефектів на процес течії. З огляду на специфіку введення ІД у полімерний матеріал, врахування пристінних ефектів є вкрай важливим при моделюванні і проектуванні обладнання для створення ПКМ.

Для дозованого введення ІД при формуванні профільних полімерних виробів в екструзійній головці пропонується два варіанти конструктивного оформлення інжектуючих пристроїв, розташованих в зоні вихідного формуючого каналу. На рис. 4 представлено пристрій для дозованого введення ІД на певну глибину та з певним кроком їх розташування. Мікродатчики змішуються з полімером в черв'ячному пластикаторі 1, з якого утворена суміш потрапляє в інжекційний циліндр 2 і дозовано впорскується ним під заданим тиском безпосередньо в формуючий канал головки 3 за заданою періодичністю циклу. Синхронно з рухом інжекційного циліндра заслінка відкриває та закриває отвір до формуючого каналу. Тиск в гідроциліндрі інжекції перевищує тиск в формуючому каналі, що дозволяє занурювати датчики на задану глибину.

В разі необхідності введення, наприклад одного датчика в певну точку профільного екструдованого виробу запропоновано конструкцію інжекційного пристрою, схему якого представлено на рис. 5. В процесі екструзії частка полімерної композиції з формуючого каналу заповнює порожнину інжекційного циліндра 1. Після чого відкривається заслінка 2 і датчик 3, наприклад, який знаходиться в полімерній оболонці, проштовхується плунжером в інжекційну порожнину, де змішується з розплавом, що знаходиться в ній. Заслінка 2 закривається і за допомогою плунжера 6 здійснюється інжекція розплаву з датчиком 3 в формуючий канал 7.

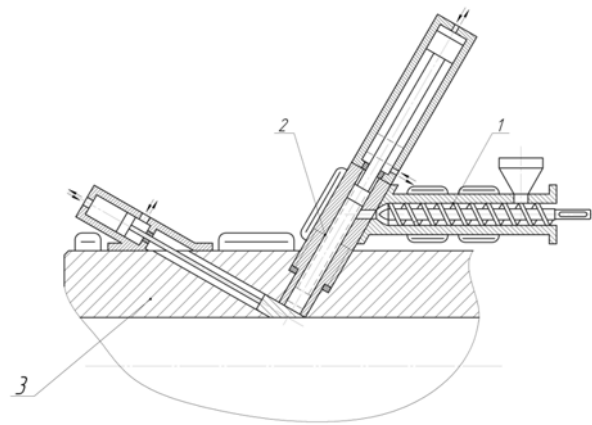


Рис. 4 – Схема інжектуючого пристрою для введення суміші ІД з розплавом

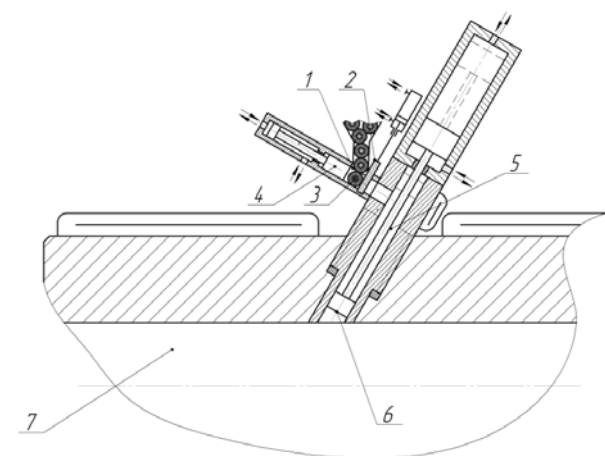


Рис. 5 – Схема інжектуючого пристрою для введення відокремлених ІД

З метою встановлення необхідних значень тиску інжекційного пристрою для занурення ІД на задану глибину здійснювалось числове моделювання [13], в ході якого змінювався тиск і кут нахилу інжекційного пристрою та визначалася глибина занурення датчика. Встановлено, що найбільша глибина введення датчиків досягається при куті нахилу у 25° . Результати розрахунків при куті нахилу інжекційного пристрою 25° зображено на рис. 6.

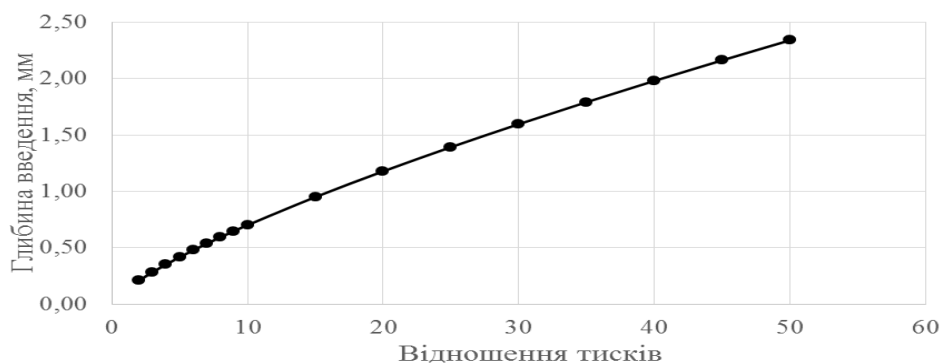


Рис. 6 – Залежність глибини введення датчика від відношення тисків

Отже, завдяки використанню інжекційних пристроїв з'явиться можливість вводити ІД крізь формуючу головку безпосередньо в екструдовані вироби, що дасть змогу при подальшій експлуатації виробів контролювати їх напружено-деформований стан та інші параметри.

Висновки

1. Сфера використання бездротових ІД у полімерних матеріалах надзвичайно широка. Проте відсутні технології та обладнання для автоматизованого дозованого введення датчиків у задані області полімерних виробів при їх виготовленні.

2. Запропоновані методи та пристрої забезпечать введення ІД в будь-які задані точки полімерних виробів, що дозволить зменшити кількість аварій та нещасних випадків під час експлуатації таких виробів завдяки завчасному отриманню сигналів від введених ІД про настання критичного стану.

Список літератури:

1. Романченко, М. А. Характерні дефекти одержуваних екструзією полімерних профілів та шляхи їх усунення [Текст] / М. А. Романченко, О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок, І. А. Горбань // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 6/11 (72). – С. 30–34. doi:[10.15587/1729-4061.2014.33648](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.33648)
2. Михайлин, Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы [Текст] / Ю. А. Михайлин. – Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2008. – 822 с.
3. Уорден, К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции [Текст] / К. Уорден. – Москва: Техносфера, 2006. – 224 с.
4. Молодцов, Г. А. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов [Текст] / Г. А. Молодцов, В. Е. Биткин, В. Ф. Симонов, Ф. Ф. Урмансов. – Москва: Машиностроение, 2000. – 352 с.
5. Barisci, J. N. Conducting polymer sensors [Text] / J. N. Barisci, C. Conn, G. G. Wallace // Trends in Polymer Science. – 1996. – Vol. 4, № 9. – P. 307–311.
6. Wallace, G. G. Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems [Text] / G. G. Wallace, P. R. Teasdale, G. M. Spinks, L. A. P. Kane-Maguire. – Florida: CRC Press LLC, 2003. – 230 p. doi:[10.1201/9781420031898_fmatt](https://doi.org/10.1201/9781420031898_fmatt)
7. Hoffman, A. S. «Intelligent» polymers in medicine and biotechnology [Text] / A. S. Hoffman // Macromolecular Symposia. – 1995. – Vol. 98, № 1. – P. 645–664. doi:[10.1002/masy.19950980156](https://doi.org/10.1002/masy.19950980156)
8. Wallace, G. G. Intelligent polymer systems-concepts, approaches present uses and potential applications [Text] / G. G. Wallace // Material Forum. – 1992. – Vol. 16, № 2. – P. 111–115.
9. Sokolskiy, A. L. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment [Text] / A. L. Sokolskiy, I. I. Ivitskiy // Modern Scientific Research and their Practical application. – 2014. – Vol. J21410. – P. 137–140.
10. Сокольський, О. Л. Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів [Текст] / О. Л. Сокольський, І. І. Івицький, В. І. Сивецький, І. О.

Мікульонок // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 2. – С. 66–69.

11. Івицький, І. І. Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні [Текст] / І. І. Івицький, О. Л. Сокольський, В. І. Сивецький, І. О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. – 2013. – № 6. – С. 34–37.
12. Івицький, І. І. Моделирование пристенного скольжения полимера [Текст] / И. И. Ивицкий // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/3 (19). – P. 8–11. doi:[10.15587/2312-8372.2014.27927](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.27927)
13. Івицький, І. І. Моделювання введення інтелектуальних датчиків у розплавленого полімерного композиційного матеріалу [Текст] / І. І. Івицький, О. Л. Сокольський, В. М. Куриленко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – № 5/3 (31). – С. 22–26. doi:[10.15587/2312-8372.2016.81236](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81236)

Bibliography (transliterated):

1. Romanchenko, M. A., Sokolskiy, O. L., Mikulonok, I. O., Horban, I. A. (2014). Characteristic defects of extruded polymeric profiles and methods of their elimination. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(11(72)), 30–34. doi:[10.15587/1729-4061.2014.33648](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.33648)
2. Mikhaylin, Yu. A. (2008). Spetsialnyye polimernyye kompozitsionnyye materialy. Saint-Petersburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii, 660.
3. Worden, K. (2006). Novyye intellektualnyye materialy i konstruktssii. Moscow: Tekhnosfera, 223.
4. Molodtsov, G. A., Bitkin, V. E., Simonov, V. F., Uрмансов, F. F. (2000). Formostabil'nyye i intellektual'nyye konstruktssii iz kompozitsionnykh materialov. Moscow: Mashinostroyeniye, 352.
5. Barisci, J. N., Conn, C., Wallace, G. G. (1996). Conducting polymer sensors. Trends in Polymer Science, 4 (9), 307–311.
6. Wallace, G. G., Teasdale, P. R., Spinks, G. M., Kane-Maguire, L. A. P. (2003). Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems. Florida: CRC Press LLC, 230. doi:[10.1201/9781420031898_fmatt](https://doi.org/10.1201/9781420031898_fmatt)
7. Hoffman, A. S. (1995). «Intelligent» polymers in medicine and biotechnology. Macromolecular Symposia, 98 (1), 645–664. doi:[10.1002/masy.19950980156](https://doi.org/10.1002/masy.19950980156)
8. Wallace, G. G. (1992). Intelligent polymer systems-concepts, approaches present uses and potential applications. Materials forum, 16 (2), 111–115.
9. Sokolskiy, A. L., Ivitskiy, I. I. (2014). Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment. Modern Scientific Research and their Practical application, J21410, 137–140.
10. Sokolskiy, O. L., Ivitskiy, I. I., Sivetskiy, V. I., Mikulionok, I. O. (2014). Vyznachennya v'язkosti prystinnoho шару u formuyuchykh kanalakh obladnannya dlya pererobky polimeriv. Naukovi visti NTUU «KPI», 2, 66–69.
11. Sokolskiy, O. L., Sivetskiy, V. I., Mikulionok, I. O., Ivitskiy, I. I. (2013). Chyslove modelyuvannya vplyvu prystinnoho шару na protses techiyi polimeru v pererobnomu obladnanni. Khimichna promyslovisht Ukrayiny, 6, 34–37.
12. Ivitskiy, I. I. (2014). Polymer wall slip modelling. Technology Audit and Production Reserves, 5(3(19)), 8–11. doi:[10.15587/2312-8372.2014.27927](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2014.27927)
13. Ivitskiy, I. I., Sokolskiy, O. L., Kurilenko, V. M. (2016). Simulation of intelligent sensors dipping into the melting polymer composite. Technology Audit And Production Reserves, 5(3(31)), 22–26. doi:[10.15587/2312-8372.2016.81236](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.81236)

Надійшла (received) 08.01.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методи та пристрої для виготовлення виробів з інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів/ В. І. Сивецький, О. Л. Сокольський, І. І. Івицький, О. Є. Колосов, В. М. Куриленко// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.95–101. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Методы и устройства для изготовления изделий из интеллектуальных полимерных композиционных материалов/ В. И. Сивецкий, А. Л. Сокольский, И. И. Ивицкий, А. Е. Колосов, В. М. Куриленко// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 4(1176). – С.95–101. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Methods and apparatus for the manufacture of intelligent polymer composites/ V. Sivetskiy, O. Sokolskiy, I. Ivitskiy, O. Kolosov, V. Kurylenko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 4 (1176). – P.95–101. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сівецький Володимир Іванович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», завідувач кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: siv-vi@ukr.net.

Сокольський Олександр Леонідович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: sokolkiev@ukr.net.

Івицький Ігор Ігорович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», старший викладач кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: i.ivitskiy@kpi.ua.

Колосов Олександр Євгенович – доктор технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: a-kolosov@ukr.net

Куриленко Валерій Миколайович – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», асистент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: valera2106@ukr.net.

Сивецкий Владимир Иванович – кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», заведующий кафедрой химической, полимерного и силикатного машиностроения; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; e-mail: siv-vi@ukr.net.

Сокольский Александр Леонидович – кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», доцент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; e-mail: sokolkiev@ukr.net.

Ивицкий Игорь Игоревич – кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», старший преподаватель кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; e-mail: i.ivitskiy@kpi.ua.

Колосов Александр Евгеньевич – доктор технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», профессор кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; e-mail: a-kolosov@ukr.net.

Куриленко Валерий Николаевич – аспирант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», ассистент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения; пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056; e-mail: valera2106@ukr.net.

Sivetskiy Vladimir – Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" head of the department of chemical, polymer and silicate engineering; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: siv-vi@ukr.net.

Sokolskiy Olexander – Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", assistant professor of chemistry, polymer engineering and silicate; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056; e-mail: sokolkiev@ukr.net.

Ivitskiy Igor – Candidate of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", senior lecturer in chemical, polymer and silicate engineering; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056.; e-mail: i.ivitskiy@kpi.ua.

Kolosov Olexander – Doctor of Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", professor of chemistry, polymer engineering and silicate; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056.; e-mail: a-kolosov@ukr.net.

Kurilenko Valeriy – post-graduate student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", assistant of the department of chemical, polymer and silicate engineering; Pobedy, 37, Kiev, Ukraine, 03056.; e-mail: valera2106@ukr.net.