

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН
України, доктору фізико-математичних наук,
старшому науковому співробітнику відділу
гетероструктурованих матеріалів Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України
Тарасенко Олегу Анатолійовичу

ВІДГУК

офіційного опонента – члена-кореспондента НАН України, завідувача відділу зварювання пластмас Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, доктора технічних наук, професора Юрженко Максима Володимировича **на дисертаційну роботу Сібілевої Тетяни Григорівни «Виготовлення сцинтиляторів на основі полістиролу методом 3D-друку»**, подану до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія.

Актуальність обраної теми дисертації.

Технологія тривимірного друку (3D-друку), що передбачає формування об'ємних об'єктів шляхом пошарового нанесення матеріалу відповідно до цифрової моделі, за останні роки стала загальнодоступною та широко впроваджується у різних галузях. Сьогодні її активно застосовують у машинобудуванні, будівництві, медицині, а також для виготовлення як унікальних деталей, так і у серійному виробництві. У процесі 3D-друку використовуються різноманітні матеріали, зокрема полімери, метали, фотополімери та кераміка. Основними перевагами цієї технології є суттєве скорочення часу та витрат на виготовлення продукції, можливість створення складних геометричних форм, які є недосяжними або малоефективними для традиційних методів виробництва, а також зменшення обсягів виробничих відходів, що сприяє підвищенню екологічної ефективності..

Дисертаційна робота Сібілевої Тетяни Григорівни присвячена розробці нових технологічних підходів для виготовлення багатоелементних сцинтиляторів на основі полістиролу зі складними геометричними конфігураціями методом 3D-друку.

Пластмасові сцинтилятори на основі полістиролу широко використовуються для виготовлення різноманітних детекторів іонізуючого

випромінювання. Але для сучасних експериментів з фізики високих енергій зростає потреба в детекторах зі складними геометричними конфігураціями, які мають високу просторову роздільну здатність. Класична технологія виробництва дрібносегментованих детекторів передбачає багатостадійність в процесі виготовлення із залученням широкого спектру обладнання, а саме: для виготовлення кожного окремого кубика пластмасового сцинтилятора; створення відбивача на кожному кубіку методом травлення; свердлення взаємоортогональних отворів; складання окремих кубиків в єдиний детектор із застосуванням спеціальних опорних конструкцій.

Використання 3D-друку може спростити процес виготовлення сцинтиляційних детекторів зі складною геометрією, уникаючи багатостадійності виробництва та застосування додаткових опірних конструкцій при зборці детектору.

Тому тему дисертаційної роботи Сібілевої Тетяни Григорівни вважаю актуальною, оскільки вона присвячена саме розробленню технологічних підходів щодо виготовлення багатoelementних детекторів на основі полістиролу за допомогою 3D-друку, а також створення для цього сцинтиляційних і світловідбиваючих полімерних композиційних матеріалів.

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.

Загальний обсяг кваліфікаційної наукової роботи, що подана на рецензію, складається із вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел літератури. Загальний обсяг роботи складає 207 сторінок, з них 168 сторінок основного тексту (вступ, розділи дисертації та висновки). Список використаних джерел літератури містить 138 найменувань. Дисертація містить 25 таблиць, 110 рисунків і 2 додатки. Результати досліджень викладені логічно, зрозумілою мовою та доступні для сприйняття.

Перший розділ дисертаційної роботи містить огляд літературних джерел і технологічної інформації, на основі якого обґрунтовано необхідність виконання дисертаційного дослідження. В ньому авторка розглядає види матеріалів та способи одержання пластмасових сцинтиляторів, та переваги технології 3D-друку над традиційними методами виготовлення сцинтиляційних детекторів.

Другий розділ містить інформацію про обладнання та загальні методи виготовлення експериментальних зразків, що були використані для досліджень. Зазначені методики дослідження сцинтиляційних та оптичних характеристик пластмасових сцинтиляторів.

У третьому розділі дисертації наведено результати досліджень з розробки сцинтиляційного філаменту для 3D-друку та відпрацювання різних складів філаментів та режимів 3D-друку. В таблицях представлені оптичні та сцинтиляційні характеристики одержаних зразків.

У четвертому розділі дисертаційної роботи викладено результати, одержані при розробці світловідбиваючих філаментів для 3D-друку. Виготовлено зразки та досліджено їх оптичні властивості в залежності від типу полімерної основи та різних пігментів у складі світловідбиваючого філаменту.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи розглянуто особливості технологічного процесу одночасного 3D-друку сцинтиляційним та світловідбиваючими філаментами. Наведені результати випробовувань отриманих сцинтиляторів підтверджують цілковиту придатність розробленої технології для виготовлення пластмасових сцинтиляторів складної геометрії.

Висновки дисертаційної роботи сформульовані здобувачкою на підставі одержаних експериментальних результатів і цілком відповідають меті дослідження, а саме розробленню нових технологічних підходів з виготовлення сцинтиляційних елементів на основі полістиролу методом 3D-друку, зокрема багатoelementних сцинтиляторів зі складними геометричними конфігураціями.

Значимість дослідження для науки.

Наукова новизна результатів, одержаних дисертантом, полягає у визначенні оптимального складу сцинтиляційного філаменту та оптимальних складів світловідбиваючих філаментів, які забезпечують стабільність процесу 3D-друку пластмасових сцинтиляторів.

У роботі доведено можливість виготовлення пластмасових сцинтиляторів за допомогою 3D-друку, зокрема багатoelementних дрібноsegmentованих сцинтиляторів, із відносним світловим виходом на рівні зразків аналогічних геометричних конфігурацій, отриманих за традиційними технологіями.

При виконанні дисертаційної роботи автором вперше:

- Визначено оптимальний склад сцинтиляційного філаменту для 3D-друку, який включає паратерфеніл, 1,4-біс(5-феніл-2-оксазоліл)бензол, дифеніл, діоктилфталат та оптично прозорий полістирол. Показано, що додавання дифенілу та діоктилфталату в концентраціях 5–10%мас. як пластифікаторів сприяє зменшенню мінімального радіуса вигину філаменту до 65 мм. Це забезпечує механічну гнучкість матеріалу та стабільність процесу 3D-друку сцинтиляційними полімерами за технологією

моделювання методом пошарового наплавлення (FDM), запобігаючи розтріскуванню під час друку. Отримані зразки характеризуються відносним світловим виходом, порівнянним із матеріалами, виготовленими традиційними методами (масова полімеризація, екструзія, лиття під тиском).

- Досліджено вплив параметрів 3D-друку пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу на їхні оптичні та сцинтиляційні властивості. Встановлено оптимальні умови 3D-друку, за яких забезпечується отримання прозорих зразків з технічною довжиною оптичного ослаблення до 20 см та сцинтиляційними характеристиками, що є порівнянними з аналогами, виготовленими традиційними методами (полімеризація у масі, екструзія, лиття під тиском). Оптимальні параметри включають температуру екструзії 220–230 °C, температуру робочої платформи 100–110 °C, швидкість друку 25–30 мм/с, висоту шару 0,2 мм, щільність заповнення 100%, перекриття заповнення 10–15%, коефіцієнт подачі матеріалу 110–115%, діаметр сопла 0,4 мм, за умови відсутності активного охолодження під час друку.

- Встановлено оптимальні склади світловідбиваючих філаментів на основі полікарбонату та поліметилметакрилату з додаванням діоксиду титану (5–10 мас. %), дрібнодисперсного порошку політетрафторетилену (5–15 мас. %) та діоктилфталату (1–2 мас. %). Зазначені композиції забезпечують можливість формування світловідбиваючих шарів методом 3D-друку з високими оптичними характеристиками: коефіцієнт відбиття досягає 92 %, а коефіцієнт пропускання не перевищує 0,2 % на довжині хвилі максимуму люмінесценції пластмасового сцинтилятора (420 нм) при товщині шару 1 мм.

- Доведено можливість одночасного 3D-друку сцинтиляційним та світловідбиваючим філаментами, що дає можливість виготовлення багатоелементних пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу в межах єдиного виробничого циклу без потреби в додатковій постобробці. Отримані зразки характеризуються відносним світловим виходом при опроміненні космічними мюонами на рівні еталонного зразка аналогічної геометрії, виготовленого шляхом склеювання кубічних елементів сцинтиляційного матеріалу, отриманих методом полімеризації у масі. При цьому світлові перехресні перешкоди між окремими сцинтиляційними елементами не перевищують 2 %.

Окремо варто відзначити високий рівень публікацій та кількість апробацій результатів досліджень здобувачки.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено сцинтиляційні та світловідбиваючі філаменти, які забезпечують можливість виготовлення пластмасових сцинтиляторів з інтегрованим відбивачем методом тривимірного друку в межах єдиного виробничого циклу без необхідності подальшої постобробки. Отримані багатокомпонентні дрібносегментовані сцинтилятори демонструють відносний світловий вихід на рівні еталонного зразка аналогічної геометричної конфігурації, виготовленого шляхом склеювання сцинтиляційних елементів, отриманих методом полімеризації у масі.

Розроблені світловідбиваючі філаменти можуть застосовуватись як у поєднанні з 3D-друком сцинтиляційних елементів, так і окремо — для виготовлення відбивачів до інших типів сцинтиляторів. Зафіксоване значення коефіцієнта відбиття досягає 92 %.

Розроблені у роботі технологічні підходи щодо 3D-друку пластмасових сцинтиляторів на основі полістиролу можуть бути застосовані на будь-яких 3D-принтерах, що працюють за технологією FDM.

За результатами розробок отримано патент на корисну модель України №151781, G01T 1/20 (2006.01) «Сцинтиляційна матриця для реєстрації іонізуючого випромінювання».

Методом 3D-друку виготовлено сцинтиляційні матриці та прототип дрібносегментованого сцинтилятора «Суперкуб», які використовуються в дослідженнях міжнародної колаборації 3DET, і забезпечують мінімальні оптичні перехресні перешкоди та сцинтиляційну ефективність на рівні еталонного зразку, отриманого із склеєних кубиків, виготовлених методом полімеризації у масі.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. У дисертаційній роботі зустрічаються певні текстові неточності, наприклад написання терміну «3D printing» та «3D-printing» (стор. 11,13, 14), на сторінці 50 і далі – замість скорочення «DLP» використано скорочення «DPL».

2. На стор. 93 декларується потік заповнення 110%. Поясніть, будь ласка, відносно чого вимірювалась ця величина.

3. Важливим є питання наскільки зменшення RLO (стор. 103) впливає на працездатність надрукованих сцинтиляторів.

4. Було б непогано провести дослідження (наприклад, мікроскопію) якості розподілу наповнювача TiO_2 у зразках відбивачів (стор. 115). Чи є вірогідність формування його агломератів в полімерній основі?

5. Поясніть, будь ласка, таблицю 4.3, а саме рівень світлового виходу 109,0%.

Зазначені вище зауваження та дискусійні положення не зменшують наукової новизни і практичного значення дисертаційної роботи, не впливають на положення, які виносяться на захист і не знижують її загальної позитивної оцінки.

Відсутність порушень академічної доброчесності

Під час виконання дисертаційної роботи здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності. За результатами перевірки та аналізу матеріалів дисертації не було виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Таким чином, вважаю, що за актуальністю теми, ступенем обґрунтованості наукових положень, достовірністю, науковою новизною, теоретичною та практичною значимістю, об'ємом і рівнем отриманих результатів, висновків, сформульованих у дисертації, повнотою їх викладення в опублікованих працях, представлена дисертаційна робота Сібілевої Тетяни Григорівни «Виготовлення сцинтиляторів на основі полістиролу методом 3D-друку» повністю відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її авторка, Сібілева Тетяна Григорівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,
завідувач відділу зварювання пластмас
Інституту електрозварювання
ім. Є.О. Патона НАН України,
доктор технічних наук, професор

Максим ЮРЖЕНКО



Учений секретар Інституту
електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ
І.М. Ключков