

випробування в умовах ВНЗ, за результатами розрахунків та практичного використання запропоновані параметри друку різноманітних деталей з ABS пластику.

В ході експериментів встановлений оптимальний режим роботи з похибкою друку 5% (швидкість друку 60 мм/с, прискорення 300 мм/с, температура 250°C), визначено максимальну швидкість плавлення дроту ABS пластика, досліджено шляхи зниження деформування деталі при об'ємному осадженні та розроблено технологічні рекомендації для зниження деформування (застосування камери з контрольованою температурою; комбінацію з двох заходів: нагрівання робочого столу до 100 - 110 °C та програмна оптимізація траєкторії руху інструмента).

Список використаних джерел

1. Франке Й. 3D-MID - материалы, технологии, свойства. Перевод с англ. (2013, Three-Dimensional Molded Interconnect Devices (3D-MID) под ред. И. Волкова. – 2014. – 336 с.
2. Антон Шатов. Экструдер для 3D-принтера – принцип работы экструдера, важные характеристики и виды [Электронный ресурс] / Антон Шатов - Режим доступа: <http://3dwiki.ru/ekstruder-dlya-3d-printera-princip-raboty-ekstrudera-vazhnye-xarakteristiki-i-vidy/>. Дата обращения: 09.07.2014.
3. <https://3dprinting.com>
4. www.tesseract-design.com

УДК621.763

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗШИРЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО ГІБРИДНОГО МІКРО-НАНОКОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Бадай М.В., студ. гр. МЗВн-161

Науковий керівник: **Нагорна І.В.**, асистент кафедри зварювального виробництва та АПБК
Чернігівський національний технологічний університет

Більшість сучасних технологій потребують матеріалів зі спеціальними комбінаціями властивостей, які не характерні для звичайних металевих сплавів, кераміки та полімерних матеріалів, однак необхідні для космічної, підводної і транспортної промисловості [1]. Інженери проводять наукові дослідження нових конструкційних матеріалів з низькою густиною, високою міцністю та твердістю, високою стійкістю до стирання та ударною міцністю, а також високою корозійною стійкістю [3]. Таке поєднання властивостей є досить трудомістким. Дуже часто міцні матеріали мають більшу густину, а збільшення міцності або жорсткості матеріалів призводить до зменшення ударної міцності. Розробка композитних матеріалів дає можливість для розширення меж поєднання властивостей в одному матеріалі [4].

Як правило, композиційні матеріали (композити) представляють собою багатокомпонентні матеріали, які складаються з пластичної основи (матриці) та армуючого наповнювача [2]. Вони мають високу міцність, твердість і інші необхідні механічні властивості. Поєднання різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого відрізняються від властивостей окремо взятих його компонентів кількісно і якісно. Шляхом модифікації структури матриці і наповнювача, їх співвідношення і орієнтації наповнювача можна отримати широкий спектр матеріалів з необхідним набором властивостей [5]. Використання композиційних матеріалів, як правило, дозволяє зменшити вагу конструкції зі збереженням або поліпшенням її механічних властивостей [6].

Механічна поведінка композитів залежить не тільки від властивостей армуючих елементів і матриць, а також від міцності зв'язків між ними. У результаті, поєднання армуючих елементів і матричної системи створюється комплекс властивостей, які не тільки відображають початкові характеристики компонентів, але також включають в себе властивості, які не можуть бути досягнуті окремими компонентами. Концентрація волокон, довжина окремих волокон, їх орієнтація, склеювання волокон і матриці, а також розташування волокон мають великий вплив на властивості гібридного композиту [7].

У даний час велика кількість досліджень присвячена визначенню механічних властивостей багатокомпонентних гібридних композитів на основі вуглецевих волокон і вуглецевих нанотрубок, однак досить невелика кількість робіт описує вплив додавання вуглецевих нанотрубок у композити на основі скловолокна, а також їх вплив на теплові та механічні властивості [8]. З нашого боку було б розумно досліджувати теплові властивості, такі як коефіцієнт теплового розширення, багатокомпонентних гібридних композиційних матеріалів з урахуванням їх поширення. Тому, метою даної роботи є дослідження коефіцієнта теплового розширення нових багатокомпонентних гібридних композиційних матеріалів, основою яких є скловолокно, вуглецеві нанотрубки та епоксидна смола.

В якості одного з армуючих матеріалів, для виготовлення дослідних зразків, використовувалося алюмо-боро-силікатне скловолокно. Даний компонент композиту являв собою відрізок тканинного скловолокна з взаємно перпендикулярною орієнтацією волокон. Також, для виготовлення багатокомпонентного гібридного композиту, були використані багаточарові вуглецеві нанотрубки ХТF110FF-ЛНТ-ХТ, середній діаметр яких був рівний 50 нм, а середня довжина складала 2500 нм. Вуглецеві нанотрубки були синтезовані методом хімічного осадження (CVD). Густина нанотрубок становила 0,98 г/см³, ступінь чистоти – 95%. При виготовленні матричної основи використовувалася система Cold curing epoxy

system, яка складалася з епоксидної смоли низької в'язкості Araldite® LY 5052 і отверджувача - Aradur® 5052.

Для досліджень коефіцієнта температурного розширення використовувалися чотири зразки з різною масовою часткою нанотрубок (0,035; 0,075; 0,5 і 1 мас.%). Розподілення багат шарових вуглецевих нанотрубок в епоксидній смолі відбувалося протягом 1 годин і 4 хвилин з використанням ультразвукової ванни високої потужності ULTRA 7000. Використання даної методики в експериментальному дослідженні мало високий ефект, оскільки дозволило отримати гарну дисперсію вуглецевих нанотрубок при незначній їх кількості. Після процедури диспергування нанотрубок, для затвердіння епоксидної смоли, використовували отверджувач Aradur® 5052. Після додавання і ретельного перемішуванні отверджувача протягом 2 хвилин, відбувалася дегазація матричної системи у вакуумі. Ця методика реалізовувалася протягом 1 години з використанням вакуумної камери.

Виготовлення дослідних зразків проводилося методом вакуумного нагнітання із застосуванням двох шарів тканинного скловолокна. Для уникнення злипання затверділого зразка з поверхнею скляної основи використовували силіконове мастило у вигляді спрею – Mold release silicone spray. Суміш вуглецевих нанотрубок і епоксидної смоли повільно вливали у вакуумний мішок під тиском. Під час виготовлення дослідних зразків з'ясувалося, що з додаванням невеликої кількості вуглецевих нанотрубок в'язкість матричної системи збільшується, тому для зниження в'язкості епоксидної смоли використовували методику підігріву матричної системи на "водяній бані". Затвердіння зразків проходило протягом 24 годин при кімнатній температурі 23 °C і 3-х годин при 100 °C з використанням печі. Швидкість нагріву становила 3 °C/хв. Всі зразки були повільно охолоджені в закритій печі. Товщина виготовлених зразків становила $0,8 \pm 0,005$ мм. Така ж процедура була використана для виготовлення зразку на основі скловолокна та епоксидної смоли без додавання вуглецевих нанотрубок.

Дослідження коефіцієнта температурного розширення проводили на зразках з розмірами $4,5 \times 6 \times 0,8$ мм, що були вирізані з середини багатокомпонентного гібридного композиту. Термомеханічний аналіз проводили використовуючи термомеханічний аналізатор Pyris Diamond TMA виробництва Perkin Elmer. Значення коефіцієнта теплового розширення були отримані в інтервалі температур від -30 °C до +30 °C, при швидкості нагріву 5 °C/хв. Для визначення змін величини коефіцієнта теплового розширення було прикладене зусилля 10 мН протягом 12 хвилин. Зусилля прикладалося в напрямку, перпендикулярному до напрямку волокон, тобто по товщині зразків.

Результати проведених досліджень, щодо впливу масового відсотку нанотрубок у композитному матеріалі на основі епоксидної смоли і скловолокна на величину коефіцієнта температурного розширення, представлені у вигляді стовпчастої діаграми на рисунку 1.

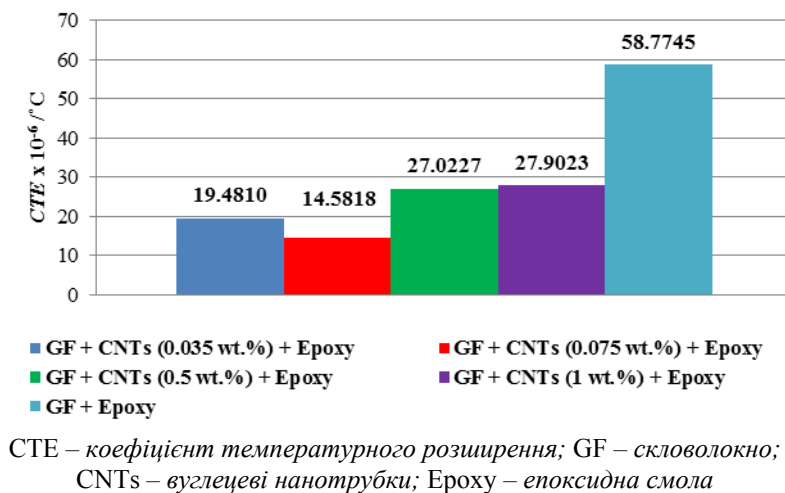


Рис. 1. Вплив масової частки вуглецевих нанотрубки на коефіцієнт температурного розширення композиційного матеріалу

Аналізуючи отримані результати, було встановлено, що додавання навіть незначної кількості вуглецевих нанотрубок в структуру композиційного матеріалу призводить до значного зменшення коефіцієнта теплового розширення. Також було досліджено, що зі збільшенням масової частки вуглецевих нанотрубок в гібридному нанокompозитному матеріалі спостерігається зростання коефіцієнту теплового розширення.

Отже, за результатами експериментальних досліджень можна зробити висновок, що оптимальним, з точки зору низького коефіцієнта теплового розширення, є композиційний матеріал на основі скловолокна з вмістом вуглецевих нанотрубок рівним 0,075 мас.%.

Список використаних джерел

1. Callister, W. D., (2007). Materials Science and Engineering: An introduction. 7th ed. York, PA: Quebec/Versailles.
2. Campbell, F.C., (2010). Structural Composite Materials: Introduction to composite materials Chapter 1 [pdf] Available at http://www.asminternational.org/content/ASM/StoreFiles/05287G_Sample_Chapter.pdf
3. Hull, D. and Clyne, T.W., (1996). An Introduction to Composite Materials. Cambridge University Press.
4. Kumar, Ch. K., (1998). Composite materials: Science and Engineering. 2nd ed. NY: Springer.
5. Roylance, D., (2000). Introduction to composite materials [pdf] Available at <<http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/composites.pdf>>.
6. Smith, W. S., (1987). Engineered Materials Handbook: Composites. Ohio: ASM International, Vol. 1.
7. Sreekala, M.S., George, J., Kumaran, M.G. and Thomas, S., (2002). Composites Reinforced with Glass and Oil Palm Fibres. Comp. Sci. Technol., Vol. 62, pp.339–353.
8. Warrior, A. et al., 2010. The effect of adding carbon nanotubes to glass/epoxy composite sinthefibre sizing and/orthematrix. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol.4, No 41, pp. 532–538.

УДК 691.4

ЗАСТОСУВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БУДІВНИЦТВІ

Біжовець І.О., студ. гр. МЗВн-161

Науковий керівник: **Ющенко С.М.**, асистент

Чернігівський національний технологічний університет

У сучасних умовах науково-технічного прогресу одне із чільних місць серед прогресивних технологій у багатьох галузях виробництва посідають адитивні технології. Адитивні технології (3D-друк) – одна із форм технологій адитивного виробництва, при якій тривимірний об’єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу за даними цифрової моделі [1]. Тривимірний друк об’єктів реалізується за допомогою спеціальних пристроїв – 3D-принтерів. Зростання зацікавленості адитивними технологіями обумовлюється такими факторами як високий рівень автоматизації виробництва, покращення якості продукції, прискорення процесів створення об’єктів, можливість оптимізації САД моделей, зменшення відходів виробництва [2].

Технологія 3D-друку розвивається досить динамічно. Постійне вдосконалення обладнання та формуючого матеріалу дозволяє отримувати все більш точні та якісні надруковані деталі, що призвело до виникнення ідеї використання 3D-друку в будівництві. На сьогоднішній день спостерігається відмова від загальноприйнятих концепцій у галузі будівництва та орієнтація саме на адитивні технології зведення [2,3].

Після того як група інженерів британського Університету Лафборо під керівництвом Сунгву Ліма створила унікальну цементну суміш, яка дозволила друкувати вироби практично будь-якої форми, використання 3D-принтерів у будівництві стало цілком реальним. Удосконалена інженерами цементна формула передбачає укладання методом екструдуювання, що дозволило значно спростити будівельні роботи, оскільки відпала необхідність в опалубці [4].

Найбільших успіхів у тривимірних технологіях досягла команда інженера Андрія Руденка, який є керівником приватного проекту по будівництву житлових будівель (США). Так, у 2015 році команда завершила друк номера-люкс у Льюїс Гранд Хотелі у місті Анджелес Сіті (Філіппіни) [5].

Шанхайська компанія “Win Sun” створила 3D-принтер, за допомогою якого, використовуючи цемент, посилений скловолокном, було “надруковано” одноповерховий будинок, вартість якого склала 50 % від вартості класичного методу будівництва [4].

У Росії за допомогою 3D-принтера компанії “Aricor” було надруковано житловий будинок загальною площею 38 м². Друк стін, перегородок та огорожувальних конструкцій тривав близько однієї доби при температурі +5⁰С. В основу технології покладено унікальне обладнання, застосування якого дозволяє зекономити до 70 % на зведенні коробки будівлі порівняно з традиційними методами будівництва [6].

В Україні друковані будинки пропонує компанія “PassivDom”. Свої будинки вони позиціонують не тільки як “друковані”, але й як енергоефективні, автономні та здатні до самонавчання. У 2016 році компанією на чолі з її керівником Максимом Гельбутом було збудовано мобільний та повністю енергонезалежний будинок. У 2017 році компанія планує розпочати продаж таких будинків [7].

Поряд із великою кількістю переваг технологія 3D-друку в будівництві має також ряд недоліків, які потребують ефективного вирішення. До них можна віднести неможливість будівництва великих будівель та армування бетонних деталей, невелику кількість існуючого обладнання та відсутність нормативної бази для будівництва таких об’єктів [8].

Підсумовуючи вищесказане, можна сказати, що використання адитивної технології дозволяє значно спростити реалізацію архітектурних проектів будь-якої складності та зменшити трудові і енергетичні витрати, а більш ефективне використання будівельного матеріалу призведе до здешевлення вартості будівництва. Можна припустити, що у зв’язку зі стрімким розвитком адитивних технологій їх існуючі недоліки у перспективі будуть поступово усунені. Тому, незважаючи на досить складні технічні та юридичні моменти, 3D-друк у будівництві буде розвиватися швидкими темпами та охоплювати все більше галузей будівельного ринку, про що свідчать сучасні застосування тривимірного друку будівель та споруд.