УДК 621.14.455

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ВИРОБІВ, ОТРИМАНИХ ЗАСОБАМИ 3-DДРУКУ ІЗ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПОЛІМЕРНИХ АРМОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Самусенко[1] О.А., Титаренко[2] О.М., Орел[2] В.М., Саленко[2] О.Ф.
1 - ДП «КБ «Південне»
2 - Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

Технології 3-D друку нині знаходять все більш широке застосування в інженерній практиці, поступово переходячи з розряду специфічних модельних засобів реалізації твердо тільних моделей деталей до безпосередньо процесів відтворення готових конструкційних виробів. Цьому сприяє розробка нових видів матеріалів для адитивних технологій, які володіють більшою міцністю, твердістю, рядом інших специфічних особливостей, а також поява на ринках нових видів друкувальних пристроїв. Якщо раніше зазвичай технології FDMреалізовувалися досить відомими принтерами початкового класу типу «Макетбот», призначеними для створення переважно невеликих заготовок (розмірами до 150х150х200 мм) із пластиків типу PLA,ABS з роздільною здатністю 0,1 мм та товщиною шару до 0,25-0,35 мм[1], то нині активні зусилля дослідників засобів друку дозволили ряду провідних кампаній запропонувати принципово нові принтери, що мають роздільну здатність до 0,05 мм при товщині шару викладки до 0,1 мм, а використання поліефір-ефіркетонів (PEEK-матеріалів) дозволяє отримувати межу міцності виробу до 90 МПа, і приблизно до 120-150 МПа при армуванні скляними або вуглецевими волокнами. Такі показники роблять можливим використання даних засобів для виготовлення відповідальних і точних деталей, у тому числі, в аерокосмічній галузі.

У той же час питання раціональних умов друку та встановлення складних деталей для відтворення їх на робочому столі вивчені недостатньо, що досить часто призводить до значних ускладнень в процесі друку, появи надлишкової кількості браку, перевитрат матеріалу та часу на виготовлення деталі.

Отже, виявлення умов раціонального формування відповідальних деталей засобами є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить розширити межі використання адитивних технологій у високотехнологічних галузях.

В даній роботі розглядаються результати друку виробів простих геометричних форм із PLA пластику, армованого рубленим карбоновим волокном, мікрофотографія якого подана на рис. 1.

Особливістю друку карбоновмісними матеріалами є те, що, незважаючи на достатньо високу міцність самого матеріалу, надруковані вироби виявляються досить чутливими до технологічних режимів друку та способів викладки шарів на робочому столі. При цьому було встановлено, що процес характеризується досить низькою надійністю.

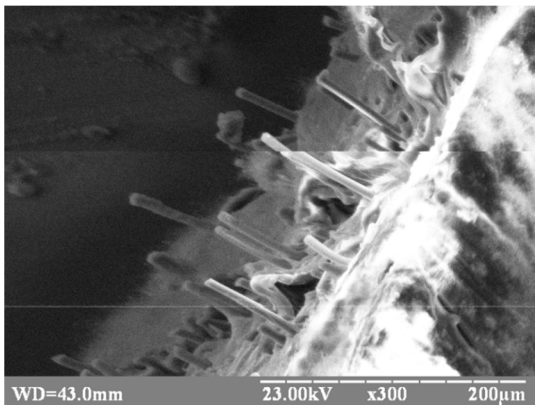

Рис. 1. Пластик, армований вуглецевим рубленим волокном, орієнтованим спеціальними засобами у розплаві перед екструзією

Так, на основі серії досліджень, виконаних нами під час відпрацювання технології виготовлення комплекту зразків для виробів під вакуумування, нами систематизовані та проаналізовані відмови процесу та види отримуваного браку. Встановлено, що псування заготовки або унеможливлення процесу виникає внаслідок наступного:

- відмова датчиків температури та, як наслідок, припинення екструзії (P_1);
- заклинювання нитки на котушці(P_2);
- вихід з ладу нагрівального елементу(P_3);
- механічне защемлення філаменту внаслідок його скручування або спадання петель на опору(P_4);
- відривання (повне або часткове) площадки адгезії(P_5);
- зрушення механічної ланки та зміна координат точки прив'язки екструдеру(P_6);
- перегрів драйверів крокових двигунів та втрата точки прив'язки до системи координат(P_7);
- відімкнення електроенергії(P_8);
- мережеві перешкоди(P_9);
- оновлення програмних засобів при роботі із підімкненим ПЕОМ(P_{10});
- дефекти філаменту та його обривання(P_{11});
- утворення пробки в екструдері внаслідок перезакалювання або недогріву хот-енду(P_{12});
- недоекструзія (внаслідок зміни умов друку)(P_{13});
- температурний вплив зовнішнього середовища(P_{14});
- зношування сопла понад критичний розмір(P_{15}).

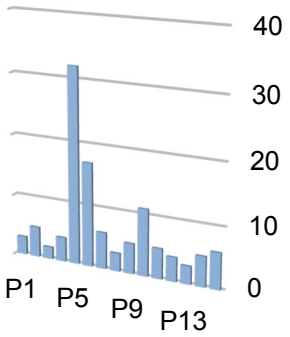

Рис. 2. Порівняльна діаграмачастості відмов процесу 3-D друку

Причини виникнення відмов мають різну природу. Частина з них має раптовий прояв (наприклад, вихід із ладу резистивних датчиків температури, вимкнення електрики тощо), частина – поступовий (збільшення отвору сопла для екструзії, відшарування моделі з робочого столу. Однак для встановлення закономірностей настання тих чи інших відмов необхідно опрацювати отриманий масив даних щодо прояву відмов, які можуть бути усунені або нивільовані відповідними технічними засобами.

Таким чином, із вироблених моделей відповідність нормам точності (по 9-12 квалітету для розмірів 25,0…240,0 мм) та за параметром шорсткості поверхні за Ra 6,3 мкм) мали 52%, що на етапі відпрацювання моделей і процесів є задовільним показником.

У подальшому, відсоток виходу годних парамтерів мав тенденцію до зростання. Частість настання відмов за причинами P_1 - P_{15} відображено діаграмою рис 2. Із представлених

результатів стає очевидним, що максимальна кількість порушень нормального ходу процесу пов'язане із порушенням адгезії на площадці початкового формування виробу.

Проблема початкового фіксування моделі при виготовленні була і залишається однією із найбільш актуальних[2]. Зазвичай навіть неповневідшарування початкових укладок моделі призводить до похибок форми, і, як правило, завершується вибраковкою деталі. Саме тому вибір засобів початкової фіксації об'єктів є основою для надійного відтворення особливо деталей, що вимагають значного часу для прототипування.

Стабільність електропостачання та відсутність мережевих перешкод і збуреньтакож безпосередньо впливають на якість і надійність друку. Нами установлено, що досить часто саме збурення мережі, а також різкий перепад напруги може викликати певні порушення ходу процесу друку і призвести до пропуску кроків приводних двигунів.

Іншим важливим висновком є висновок про неможливість простого копіювання форми виробів із металу засобами 3-Dдруку. Оскільки укладання матеріалу є досить складним термічним процесом, що залежить від багатьох факторів, готовий виріб може мати значні термічні залишкові напруження. Впливає на такі напруження і кількість екструдованого пластику, і відхилення навіть у долю відсотка при друкуванні виробів вагою понад 50 г може призводити до значних незворотних деформацій виробу. Як наслідок, виріб відшаровується від основи і нормальний хід технологічного процесу порушується. Відшарування веде не тільки до дефектів форми, а і до зміни умов виклала дання, отже, міцність починає значно знижуватися, а готовий виріб має меншу щільність.

Нами показано, що подібні дефекти усуваються введенням спеціальних баластних елементів, які після оброблення механічно видаляються.

а) **б)**

Рис. 3. Деформована пласка деталь (а), отримана без засобів компенсації напружень (100% заповнення) та годна деталь із компенсуючи ми елементами на столі принтеру (б)

Таким чином, забезпечення фізико-механічних властивостей відповідальних виробів, отриманих засобами 3-D друку із конструкційних полімерних армованих матеріаліввбачається у розробці системи прийомів і методів укладання пластику традиційними екструзій ними головками, що охоплюють питання визначення форми виробу, наявності компенсаторів та вибору відповідного пластику.

Список літератури:

1. *Энциклопедия* 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа:http://3dtoday.ru/wiki/3D_print/
2. *Щетинін В.Т.,* Орел В.М., Ченчева О.О., Павлюченко А.П. Про доцільність використання засобів 3D друку для підвищення точності статичних і динамічних досліджень важільно-обертових механізмів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Вип. 1/2015(90). Частина 2.