

УДК 621.7.07

Савченко В.О.¹, Кононенко О.С.²

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² студ. гр. БАД -214м НУ «Запорізька політехніка»

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ 3-Д ДРУКУ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Аддитивні технології, зокрема 3-Д друк полімерів методом пошарового наплавлення (Fused Deposition Modeling, FDM) та його численні варіації, зробили революцію у багатьох галузях промисловості, від прототипування до серійного виробництва функціональних деталей. Простота використання, відносна доступність обладнання та широкий спектр доступних полімерних матеріалів зумовили стрімке зростання популярності 3-Д друку. Однак, на відміну від традиційних методів обробки матеріалів, механічні властивості 3-Д друкованих полімерних виробів значною мірою залежать від численних параметрів процесу друку. Розуміння цих взаємозв'язків є критично важливим для забезпечення передбачуваної та надійної роботи 3-Д друкованих деталей у різних застосуваннях. Ця доповідь детально розгляне ключові параметри 3-Д друку та їхній вплив на основні механічні властивості полімерів, такі як міцність на розрив, міцність на вигин, ударна в'язкість, твердість та модуль пружності.

Основні параметри 3-Д друку, що впливають на механічні властивості:

1. Температура сопла є одним з найважливіших параметрів, що визначає якість міжшарової адгезії. Занадто низька температура призводить до недо-

статнього розплавлення полімеру, що ускладнює його з'єднання з попереднім шаром, утворюючи слабкі межі та пористість. Це безпосередньо знижує міцність на розрив та вигин, оскільки навантаження не може ефективно передаватися між шарами. З іншого боку, надмірно висока температура може спричинити термічну деградацію полімеру, змінюючи його хімічну структуру та погіршуючи механічні властивості, а також призводити до надмірної плинності та втрати геометричної точності. Оптимальна температура екструзії залежить від конкретного типу полімеру, його швидкості плавлення та теплопровідності, а також від швидкості друку.

2. Температура платформи відіграє ключову роль у забезпеченні адгезії першого шару та мінімізації термічних деформацій, таких як короблення (warping). Недостатня температура може призвести до відшарування деталі від платформи під час друку через різницю температур та усадку матеріалу. Це непрямо впливає на механічні властивості, оскільки невдалий друк не дозволяє отримати функціональну деталь. Занадто висока температура може призвести до надмірної адгезії, ускладнюючи зняття деталі, а також може впливати на процес кристалізації деяких полімерів, змінюючи їхню твердість та крихкість.

3. Швидкість, з якою друкуюча головка переміщується, впливає на час контакту між екструдованим матеріалом та попереднім шаром. За високих швидкостей час для належної міжшарової дифузії молекулярних ланцюгів є недостатнім, що призводить до слабкої адгезії та зниження міцності, особливо у напрямку, перпендикулярному до шарів (напрямок Z). Крім того, висока швидкість може призвести до нерівномірного екструдування та утворення дефектів. Низька швидкість, хоча й може покращити міжшарову адгезію, значно збільшує час друку та може призвести до перегріву попередніх шарів, що також може негативно вплинути на механічні властивості.

4. Висота кожного окремого шару безпосередньо впливає на якість поверхні та механічну анізотропію друкованих деталей. Менша висота шару забезпечує більш гладку поверхню та потенційно кращу міжшарову адгезію за рахунок більшої площі контакту між шарами. Однак, це також збільшує час друку. Більша висота шару може призвести до помітних ліній нашарування та гіршої міжшарової адгезії, що знижує міцність у напрямку Z. Оптимальна висота шару є компромісом між якістю поверхні, часом друку та необхідними механічними властивостями.

5. Внутрішня структура 3-Д друкованих деталей, що визначається щільністю та візерунком заповнення, має значний вплив на їхню вагу та механічні властивості, особливо на жорсткість та міцність на стиск. Вища щільність заповнення призводить до більшої кількості матеріалу всередині деталі, що збільшує її міцність, жорсткість та вагу. Візерунок заповнення також відіграє важливу роль. Різні візерунки (наприклад, сітка, трикутник, стільники) забез-

печують різну стійкість до навантажень у різних напрямках, впливаючи на анізотропію механічних властивостей.

6. Орієнтація деталі на друкарській платформі визначає напрямок укладання шарів відносно прикладеного зовнішнього навантаження. Механічні властивості 3-Д друкованих полімерів часто є анізотропними, тобто залежать від напрямку вимірювання. Міцність на розрив та вигин, як правило, є найнижчою у напрямку, перпендикулярному до шарів (напрямок Z), оскільки руйнування часто відбувається вздовж слабких міжшарових меж. Оптимальна орієнтація друку повинна враховувати очікувані напрямки навантаження на деталь під час її експлуатації для максимізації її міцності та довговічності.

7. Контроль швидкості охолодження кожного екструдованого шару є важливим для мінімізації деформацій, покращення якості поверхні та впливу на кристалізацію полімеру. Занадто швидке охолодження може призвести до внутрішніх напружень та зниження міжшарової адгезії, особливо для полімерів з високою усадкою. Занадто повільне охолодження може призвести до втрати форми та погіршення деталізації. Оптимальний режим охолодження залежить від типу полімеру та його теплофізичних властивостей.

Тому дослідження впливу цих параметрів на властивості готового виробу є актуальною задачею для матеріалознавства.