

УДК 004:[678.027.3] DOI 10.36910/6775.24153966.2019.67.8

П.Ф. Зозуля, О.С. Поліщук, В.С. Неймак, А.О. Поліщук

Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ 3D-ДРУКУ У ВЗУТТЄВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Проведено аналіз сучасного стану взуттєвої промисловості та перспективи її розвитку за допомогою новітніх технологій. На основі проведеного аналізу встановлено, що виробництво виробів з пластичних мас є перспективним напрямком для виготовлення взуття. Представлено новий спосіб друку деталей полімерними гранулами та описано принцип роботи устаткування, що використовується при цьому.

Ключові слова: взуттєва промисловість, 3D-принтер, 3D-технологія, 3D-друку, полімерні матеріали.

П.Ф. Зозуля, О.С. Полищук, В.С. Неймак, А.О. Полищук

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ В ОБУВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Проведен анализ современного состояния обувной промышленности и перспективы ее развития с помощью новейших технологий. На основе проведенного анализа установлено, что производство изделий из пластических масс является перспективным направлением для изготовления обуви. Представлен новый способ печати деталей полимерными гранулами и описан принцип работы оборудования, используемого при этом.

Ключевые слова: обувная промышленность, 3D-принтер, 3D-технология, 3D-печать, полимерные материалы.

P.F. Zozulia, O.S. Polishchuk, V.S. Neimak, A.O. Polishchuk

APPLICATION OF 3D-PRINTING TECHNOLOGY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY

This article analyzes the current state of the shoe industry and prospects for its development using the latest technologies. Areas of application of 3D-printing technology in various industries are considered and characteristic directions of its application in light industry are given, in particular in the manufacture of clothing and footwear and details in the branch of mechanical engineering. A new pellet printing method is presented and its operation is described in detail.

It is also described that the production of plastic products is a promising direction for the development of general and special purpose footwear, which gives an understanding of the development of scientific bases for its further design and will contribute to the intensive development of this trend in Ukraine, and will be important for consumers and the economy as a whole.

Keywords: shoe industry, 3D-print, 3D-technology, 3D-printing, polymeric materials.

Постановка проблеми. Сучасне взуття відрізняється складністю конструкції, наявністю великої кількості деталей та складових елементів. Подошви взуття, особливо спортивного, мають складну геометричну форму, можуть включати активні елементи у вигляді трубок, стрижнів, пластин, пружин та інших деталей, що підвищують його експлуатаційні показники. Подібні деталі призначені для поглинання ударних навантажень, що виникають під час різних фізичних вправ, бігу, стрибків, а також сприяють відштовхуванню, що дозволяє поліпшувати показники спортсменів у різних видах спорту. Вказані елементи конструктивно можуть бути виконані як єдине ціле з подошвою або ж у вигляді різного роду вставок – полімерних або металевих [1].

Крім проблем, пов'язаних з проектуванням полімерних виробів складної геометричної форми, виникають й проблеми, пов'язані з їх виробництвом. Для виготовлення складних форм деталей взуття потрібно створити нові методи для їх виробництва. Тому одним із сучасних способів виготовлення взуття є тривимірний друк.

Сьогодні використання 3D-принтерів у масовому виробництві обмежується високою вартістю обладнання та тривалістю процесу виготовлення виробу. Технологія тривимірного друку може бути з успіхом використана у виготовленні дрібносерійних та для індивідуальних виробів, тому для цього виготовлення високошвидкісної оснастки є недоцільним [2].

3D-друк все більше використовується в різних сферах нашого життя. І якщо створення макетів для архітектури, зубних протезів для стоматології або зразків для промисловості досить звичне явище, то 3D-принтери для виробництва взуття відносно новий і перспективний напрямок. Любі дослідження в цьому напрямку є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З 2003 року спостерігається значне зростання продажу 3D-принтерів. Крім того, вартість їх суттєво знизилася та розширилася область застосування. В багатьох галузях народного господарства практичне використання 3D-друку вже не викликає сумнівів. Прикладом застосування може бути: медицина, машинобудування, радіотехніка та електроніка, архітектура, автомобілебудування тощо. За допомогою 3D-принтерів можна надрукувати меблі, музичні інструменти, засоби пересування, продукти харчування, будинки і навіть живі людські органи і тканини тощо [3,4].

Проаналізувавши застосування 3D-принтерів в різних галузях промисловості можна зробити висновок, що найбільший потенціал 3D-принтери мають у виробництві промислових виробів. Тому 3D-друк має перспективи застосування і у легкій промисловості.

3D-принтери з технологією 3D-друку поступово освоюють сферу виробництва одягу та взуття. Також технологія 3D-друку дозволяє використовувати для виготовлення одного предмета виробів легкої промисловості кілька різних матеріалів. Такий підхід дозволяє вирішити проблеми, пов'язані з міцністю і еластичністю виробів, що виготовляються.

3D-технології при виробництві взуття – в останній час новини рябіють подібними заголовками, причому фігурують в них такі відомі всьому світу бренди, як Nike, Adidas, Reebok. Існує багато і інших прикладів застосування 3D-принтерів при виготовленні компонентів для одягу і взуття.

Існує багато праць присвячених технологіям 3D-друку і 3D-принтерам. З них впливає, що вихідною сировиною для виготовлення деталей та виробів є полімерні матеріали у вигляді прутка різного діаметру [5].

Постановка завдань. В роботі [4] здійснюється аналіз і систематизація сучасних технологій 3D-друку і 3D-принтерів. Розроблено узагальнену класифікацію 3D-принтерів, яка дає повне уявлення і характеристику про кожен тип, призначення тощо. Також до даної класифікації вперше внесено новий вид 3D-друку, а саме 3D-друк полімерними гранулами, який у промисловості, що стрімко розвивається, стане конкурентоспроможним на ряду з іншими видами 3D-друку і видами витратних матеріалів. Даний вид принтерів знаходиться на стадії розробки.

Однією із головних переваг такого виду принтера є можливість повторного друку деталей гранулами із відходів, які були отримані при попередньому друку. Тому можна і вже зовсім здешевити філамент, використовуючи вторинну сировину. Так, із вторинної сировини малореально отримати рівний за діаметром пруток з тієї простої причини, що властивості розплаву будуть неоднорідними по масі, звідси нерівномірний тиск в промисловому екструдері, нерівномірна пластичність розплаву і його усадка. Відповідно, і під час друку такий пруток буде вести себе абсолютно непередбачувано. В ході першої стадії переробки вихідного полімеру і першого терміну служби полімерного ланцюга відбуваються незворотні зміни, викликані хімічними впливами, термічної, тепло і фотоокислювальної деструкції, що призводить до появи активних груп. Ці групи при наступних переробках здатні запускати реакції окислення. Відповідно чим менша кількість переробок тим кращий матеріал і в результаті це вплине на якість майбутньої деталі чи виробу. Але також у випадках вторинної переробки полімерів є можливість створення нового матеріалу із новими властивостями завдяки додаванню до їх складу різних домішок, фарбників, пластифікаторів з метою покращення еластичності, пластичної деформації, морозостійкості, ударної міцності і зниження в'язкості для покращення їх подальшої переробки і експлуатації [3].

З метою розробки розробка 3D-принтера для виготовлення деталей та виробів легкої промисловості із використанням гранул в якості вихідної сировини в подальшому необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити установку для проведення експериментальних досліджень;
- дослідити процеси, що відбуваються всередині матеріального циліндра та які сили виникають при переміщенні полімерного матеріалу між робочими органами пристрою;
- визначити фізико-механічні характеристики отриманої деталі чи виробу.

Викладення основного матеріалу. На теперішній час найбільш розповсюдженим вузлом для переміщення полімерного матеріалу в нагрівальну частину є шнек. В результаті роботи полімерний матеріал також видавлюється із нагрівального елемента, як і у FDM принтерах [6].

Технологія друку гранулами, полягає в наступному: замість готового прутка, який в основному застосовують в якості вихідної сировини, використовуються гранули полімерів, які засипаються у відповідний бункер або зону завантаження, після цього матеріал-сировина подається обертовим шнеком у нагрівальну зону розплаву. В подальшому відбувається екструзія полімеру (рис.1). Для виготовлення деталі взуття термопластичний матеріал нагрівається у друкуючій головці до напіврідкого стану й видавлюється у вигляді нитки через сопло з отвором малого діаметра, осідаючи на поверхні робочого столу (для першого шару) або на попередньо сформованому шарі, з'єднуючись із ним.

Для забезпечення якісного 3D-друку велике значення мають умови просування твердого матеріалу із зони завантаження і заповнення міжвиткового простору у шнекові. Для цього необхідно визначити які процеси відбуваються всередині нього та які сили виникають при

переміщенні полімерного матеріалу між робочими органами пристрою та як це впливає на процес друку та властивості кінцевої деталі.

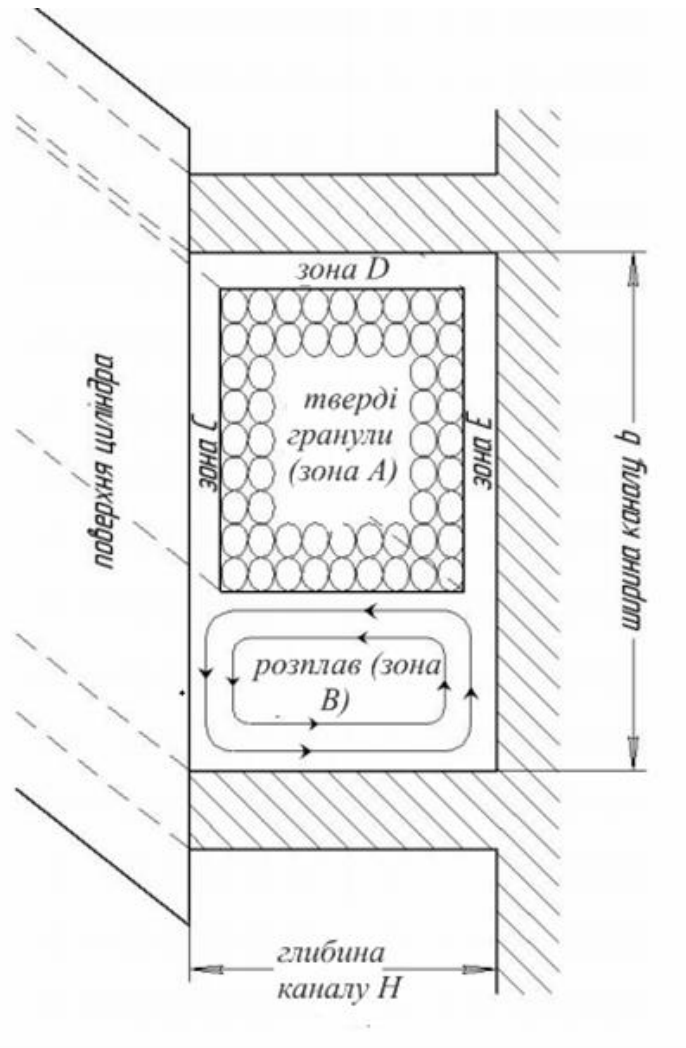


Рис.1. Схематичне зображення шнека із робочими зонами та основними параметрами в розрізі під час роботи

Завантаження установки полімерним матеріалом для екструзії, що подається в бункер, може бути у вигляді порошку, гранул і дрібних пластин. Однією із головних переваг розробленої установки є можливість повторного друку деталей гранулами із відходів, що були отримані при попередньому друку (рис.2). Використання вторинної сировини веде до здешевлення виробу.

Технологія FDM-друку, на перший погляд, може здатися безвідходною, проте можливі значні втрати матеріалів, що йдуть у відходи в процесі підбору оптимального режиму друку для конкретної моделі.

На рис.2 показані етапи перетворення, що відбуваються із полімерними матеріалами на шляху друку гранулами.

При нормальному температурному режимі спочатку утворюється довга пробка із полімеру, яка проштовхується по каналу. Довжина пробки повинна бути достатньо великою для того щоб проштовхуюча сила, яка виникає внаслідок повздовжнього руху, забезпечувала переміщення полімеру в зону плавлення.

Транспортування різних за формою та розмірами полімерних матеріалів (подрібнені відходи) або порошоків з поганою сипучістю та низькою насипною вагою в зоні живлення становить досить складну задачу. Тому необхідно враховувати всі сили, які впливають на процес друку деталей та розраховувати необхідні параметри для забезпечення безперебійної роботи.

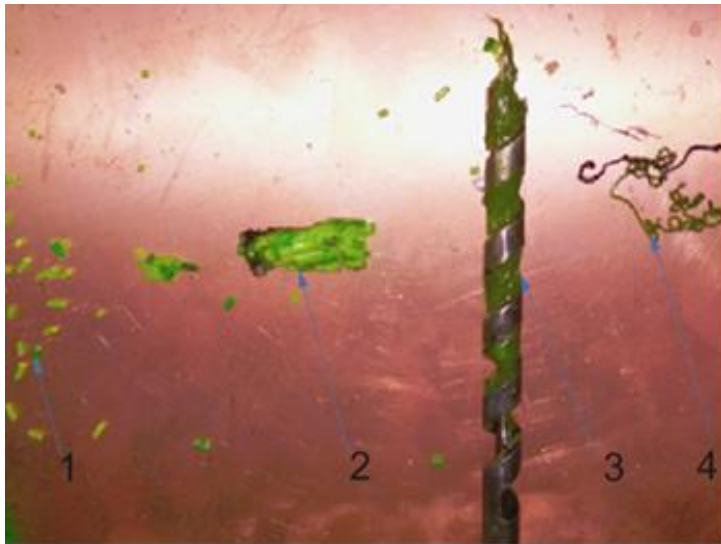


Рис.2. Робочий орган пристрою та етапи перетворення полімерних частин: 1-полімерні частинки, 2-початок етапу злипання і розплавлення полімерних частинок в суцільне тіло, 3-заповнення міжвиткового простору робочого шнеку під час роботи, етап гомогенізації полімерних частин в одне ціле, 4-вихідний матеріал після видавлювання.

Для подачі частин полімерного матеріалу в зону переробки, як вже відмічалось, використовується шнек. Після потрапляння полімерного матеріалу в канал шнека переміщення матеріалу відбувається примусово. Сили ваги все ще можуть відігравати незначну роль, але сили проштовхування переважають. На матеріал, що транспортується діють наступні сили (рис.3).

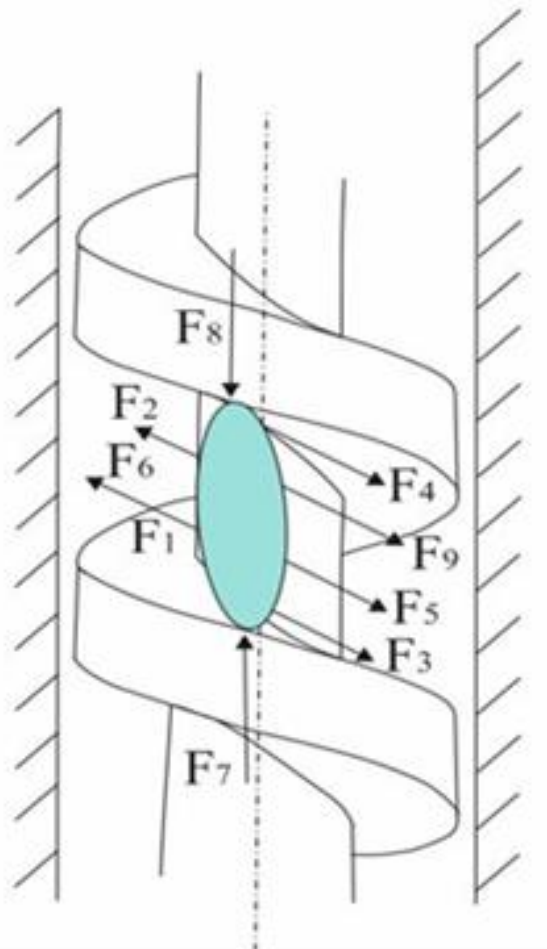


Рис.3. Схема розміщення сил, які діють на матеріал під час руху всередині пари циліндр-шнек

Сила F_1 – це сила тертя, яка діє зі сторони корпусу на пробку і заставляє її рухатись по шнеку. Пара сил F_2 і F_6 виникають в результаті повздовжнього тиску, що діє на даний елемент. Їх можна визначити, помноживши питомий тиск на площу поперечного перерізу каналу. Сила тертя F_3 - це сила, що здійснює вплив на пробку з боку штовхаючої стінки черв'яка. Сила тертя F_4 діє на матеріал з боку передньої стінки каналу. Сила тертя F_5 є силою діючою на пробку з боку стінок каналу шнека. Сили F_7 і F_8 - це нормальні сили, що діють зі сторони стінок каналу шнека на пробку. В черв'яків з боку серцевини на пробку діє додаткова нормальна сила F_9 . Також сила F_7 - це сила, з якою на пробку тисне стінка каналу. Вона складається з двох частин: сили F_8 і сили $F_{вр}$, що врівноважує всі інші сили [6]. При нормальній роботі екструдера сума проєкцій всіх сил на вісь черв'яка повинна дорівнювати нулю.

Вперше повний аналіз переміщення твердих часток в традиційному одношнековому екструдері був виконаний в роботі [7]. Аналіз, що проведений в даній роботі, є розширеним з врахуванням усіх зазначених вище сил.

Так як даний вид друку відносно новий, його можна застосовувати в різних сферах промисловості для друку різних деталей та елементів одягу і взуття. Також доцільним буде виготовлення за допомогою тривимірного друку макетів та прототипів виробів перед початком їх масового виробництва. Виготовлення прототипу дає можливість аналізу конструкції та усунення її недоліків на початковому етапі. У взуттєвому виробництві новим способом друку можна виготовляти як суцільне полімерне взуття, так і окремі деталі, такі як підосви, аксесуари, каблуки, колодки, а також взуттєві набійки. Завдяки сучасному устаткуванню тривимірного друку можливе створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі. Така технологія заснована на концепції побудови об'єкта шляхом поступового нанесення шарів, що відображають контури моделі

До переваг 3D-друку взуття можна віднести: можливість використання різного асортименту матеріалів, які мають різні властивості міцності та гнучкості, і в результаті виріб буде набагато якісніший в порівнянні із виробом, який буде виготовлений традиційним методом; виробництво 3D-моделі, яка буде повністю відповідати усім анатомічним особливостям людської стопи [8].

Висновки. Застосування технології 3D-друку здатне вирішити низку проблем у взуттєвій промисловості та підняти її на якісно новий рівень. Впровадження даної технології для масового виробництва одягу і взуття є актуальною задачею. Тому всі наукові дослідження та розробки, що будуть проведені та здійснені в цьому напрямку є актуальними, матимуть елементи наукової новизни, а отримані результати та устаткування матимуть велике практичне застосування.

Список використаних джерел:

1. Studfiles.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5424245/page:4/>
2. Pavuk.info [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pavuk.info/3d-druk-u-virobnitstvi-vzuttya/>
3. Zozulia P. General classification of 3D printing / N. Pyshcheniuk, M. Skyba, O. Polishchuk, M. Malec // Actual problems of modern science [collective monograph], UTP University of Sciences and Technology in Bydgoszcz, Poland, 2017. – p. 413-421.
4. Зозуля П.Ф., О.С. Поліщук, А.О. Поліщук. Перспективи застосування технології 3D-друку в легкій промисловості // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – №4 – С. 102 – 104.
5. Зозуля П.Ф., О.С. Поліщук, А.О. Поліщук. Узагальнена класифікація філаментів для 3D-друку // Вісник Хмельницького національного університету. – 2017. – №6 – С. 51 – 59.
6. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
7. Ossvald T. A. Lite plastmass pod davleniem. T. A. Ossvald, L.-SH. Tung, P. Dj. Gremann; pod red. E.L. Kalincheva. SPb.: Professiya, 2006. – 712 p.
8. 24tv.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://24tv.ua/sport/vidomi_sportivni_brendi_drukuvatimut_krosivki_na_3dprinteri_n619700

Рецензенти:

1. Кармаліта А.К., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету, к.т.н., професор.
2. Місяць В.П., професор кафедри прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну, д.т.н., професор

Стаття надійшла до редакції 15.09.2019