

ЛЕЩИШИН М.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

ORCID ID: 0000-0003-1497-0094

e-mail: marfiichuk@gmail.com

ТВЕРДОТІЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛОДКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ ПІДВИЩЕНОЇ КОМФОРТНОСТІ

У роботі запропонований удосконалений метод коригування існуючих колодок за допомогою накладок, виготовлених методом тривимірного друку і закріплених у антропометричних зонах, які потребують коригування повноти для окремих споживачів. Саме коригування колодок за допомогою друкованих накладок з полімерних матеріалів та впровадження їх у роботу значно знизить вартість та скоротить термін виготовлення взуття за індивідуальним замовленням.

Ключові слова: індивідуальна колодка, накладки, 3D друк, індивідуальний пошив взуття.

LESHCHYSHYN M.M.

Kyiv National University of Technologies and Design

SOLID-BODY SIMULATION OF SHOE LAST ELEMENTS FOR MANUFACTURE OF SHOES OF HIGH COMFORT

Purpose. Investigate the process of adjusting the shape of the shoe last by modeling solid elements (individual overlays) made by 3D printing.

Methodology. We used a three-dimensional graphic environment Delcam Crispin with the use of modules ShoeMaker, LastMaker, PowerShape, which provide a full cycle of design processes of shoe production from processing scans of the feet, modeling the top design to the design of the last; Ultimaker Cura slicer to customize the printing of prototypes, made of different polymeric materials. The FDM method for 3D printing was used to study the adjustment of a shoe last with a printed cover.

Results. The proposed sequence of adjusting the shape of the lasts using solid modeling in CAD environments Delcam Crispin LastMaker and PowerShape allows for design and technological preparation for the manufacture of corrective lasts by 3D printing. The end result of the last adjustment process is a digital copy of the prototype last, which can be used to model shoes in the 3D space of modern CAD. To achieve improved performance in the use of lasts made by 3D printing, the physical and mechanical properties of polymeric materials were determined, experimental tensile studies of samples obtained by 3D printing on an upgraded bursting machine 2167 P-50. Elastan D70 was chosen from the researched materials, which satisfies the physical and mechanical characteristics for the production of the last cover and subsequent operation of the product.

Scientific novelty. Adjustment of the form and the sizes of a block is carried out at the expense of use of overlays made by a method of 3D printing which considers deviations of the sizes and the form of a block and foot of the individual customer.

Practical value. The paper proposes an improved method of adjusting existing lasts with the help of printed overlays in anthropometric areas, which require completeness adjustment for individual consumers. It is the adjustment of the last with the help of printed lasts made of polymeric materials that will significantly reduce the production time, reduce the cost and commissioning of shoe lasts to individual order.

Key words: individual shoe last, overlays, 3D printing, individual order shoes.

Постановка завдання

Сучасний покупець потребує конкурентоспроможних властивостей взуття, яке б не тільки приваблювало зовнішнім виглядом, але й відповідало високим споживчим властивостям, зокрема, комфортним, експлуатаційним, і функціональним. Важлива роль даних вимог забезпечується на стадії проектування майбутньої моделі. В цьому процесі є ефективне застосування САПР, в тривимірному графічному середовищі Delcam Crispin із застосуванням модулів ShoeMaker, LastMaker, PowerShape, які забезпечують повний цикл проектування процесів взуттєвого виробництва від обробки сканів стоп, моделювання конструкції верху до проектування колодки, форми низу та шаблонів деталей. При цьому важливою задачею є досягнення у споживача відчуття внутрішнього комфорту взуття, яке тісно пов'язане з проектуванням взуттєвої колодки як при масовому виробництві, так і при індивідуальному замовленні.

В даний час починає поширюватися новий метод отримання деталей – 3D друк [1, 2]. Процес створення цілісних тривимірних об'єктів практично будь-якої геометричної форми на основі цифрової моделі називають «адитивним виробництвом» або 3D друком. 3D друк заснований на концепції побудови об'єкта послідовно нанесеними шарами, що відображають контури моделі [3–5].

Для будь-якого бізнесу витрати – це важлива частина, тому що вони впливають на прибуток, і збереження витрат на низькому рівні суттєво важливе. 3D друк методом FDM дозволяє знизити виробничі витрати, оскільки виробництво за цією технологією дешевше, ніж при використанні інших методів 3D друку.

Використання адитивних технологій дозволяє суттєво зменшити витрати на отримання прототипів починаючи з початкових етапів прототипування (чорнові прототипи) закінчуючи повноцінними моделями, які в повному обсязі задовольняють дослідника. Таким чином, при використанні тривимірного друку для коригування форми колодок у виробництві взуття за індивідуальним замовленням необхідно забезпечити ряд вимог до отриманих деталей: точність, відповідність параметрам шорсткості і міцності.

Аналіз останніх джерел

Постійно зростаюча конкуренція на взуттєвому ринку змушує виробників вдаватися до розширення асортименту продукції та підвищення ефективності виробництва шляхом нових методик та автоматизації процесів конструкторської підготовки виробництв. Зарубіжний досвід проектування колодок в середовищі спеціалізованих САПР рекомендує поєднувати автоматизоване проектування з натурним моделюванням, коли прототип майбутньої моделі виготовляється вручну, а залучення комп'ютерних технологій зводиться до виконання певних технічних задач коригування параметрів моделі [6]. Однак в такому випадку частково ігноруються антропометричні, біомеханічні та інші вимоги до форми колодки.

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. Відомі світові бренди, такі як Nike, Adidas, Reebok, Under Armour, New Balance, уже використовують 3D технології при виробництві взуття.

Існує багато праць присвячених технологіям 3D друку і 3D принтерам. З них випливає, що вихідною сировиною для виготовлення деталей та виробів є полімерні матеріали у вигляді прутка різного діаметру [7].

Метою роботи є розробка методу коригування форми взуттєвої колодки за допомогою моделювання твердотільних елементів (індивідуальних накладок) виготовлених 3D друком, що значно зменшить термін виготовлення індивідуального взуття, вартість виготовлення колодки та зменшить кількість полімерних відходів.

Виклад основного матеріалу

Для визначення комфортності колодок українських виробників, було проведено антропометричні дослідження стоп чоловіків віком від 29–45 років у кількості 110 осіб.

Обмірювання проводилися на сучасному 3D сканері In Foot 3D, який дозволяє отримати копію поверхні стопи, її розмірні дані та плантограму.

На основі безконтактних обмірів за допомогою 3D сканера стопи та сканованих існуючих колодок українських виробників (Zotti, JB Plast та Lviv Plast), відповідного 43 розміру узгоджених за фасоном було отримано порівняльні параметри (табл. 1). На рис. 1 представлена сканована та імпортована поверхня стопи замовника (розміром 275 мм) та обраної колодки в середовищі LastMaker.

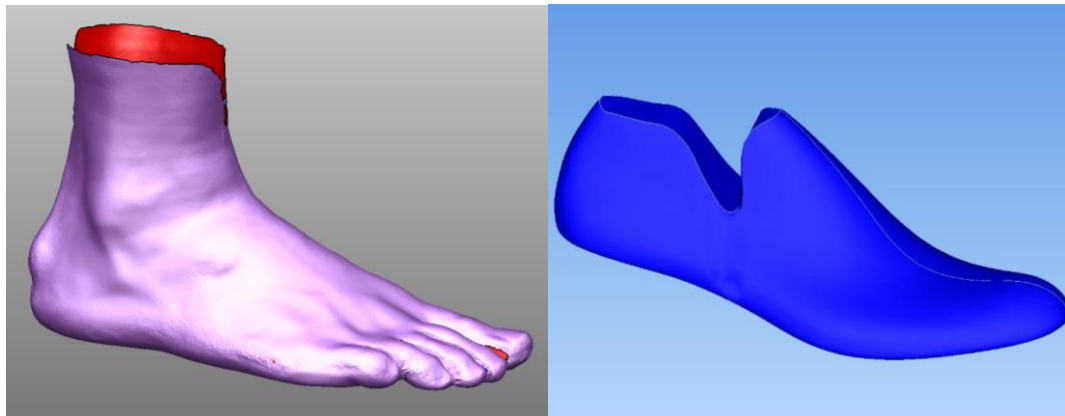


Рис. 1. Скановані за допомогою 3D сканера стопа та колодка

Таблиця 1

Порівняльний аналіз антропометричних параметрів стопи і параметрів колодок (приклад)

Параметри		Обмір стопи	Існуюча колодка 1 (Zotti)	Існуюча колодка 2 (JB Plast)	Існуюча колодка 3 (Lviv Plast)	Відхилення колодки 1 від стопи (1-2)	Відхилення колодки 2 від стопи (1-3)	Відхилення колодки 3 від стопи (1-4)
		1	2	3	4	5	6	7
1	Довжина стопи, мм	275,0	290,0	292,0	294,0	-15,0	-17,0	-19,0
2	Довжина до кінця 5 пальця, мм	243,0	242,0	244,0	243,0	1,0	-1,0	0
3	Довжина до вн. пучка, мм	190,0	187,0	191,0	189,0	3,0	-1,0	1,0

Продовження табл. 1

		1	2	3	4	5	6	7
4	Довжина до зовн. пучка, мм	181,0	179,5	177,8	182,0	1,5	3,2	-1,0
5	Обхват пальців, мм	214,8	215,6	215,0	215,0	-0,8	-,02	-0,2
6	Обхват пучків, мм	289,0	275,0	274,0	278,0	14,0	15,0	11,0
7	Обхват через згин та п'яту, мм	360,0	351,0	350,0	352,0	9,0	10,0	8,0
8	Обхват підйому, мм	301,0	287,0	289,0	285,5	14,0	12,0	13,5
9	Висота I пальця, мм	25,0	27,0	26,0	27,0	-2	-1	-2

Проведений порівняльний аналіз обмірів стопи і існуючої колодки показав, що при виготовленні взуття за індивідуальним замовленням виникає необхідність суттєво коригувати взуттєві базові колодки, а саме в охоплюючих параметрах. Найбільші відмінності параметрів – в області охоплення пучків і підйому (рис. 2).

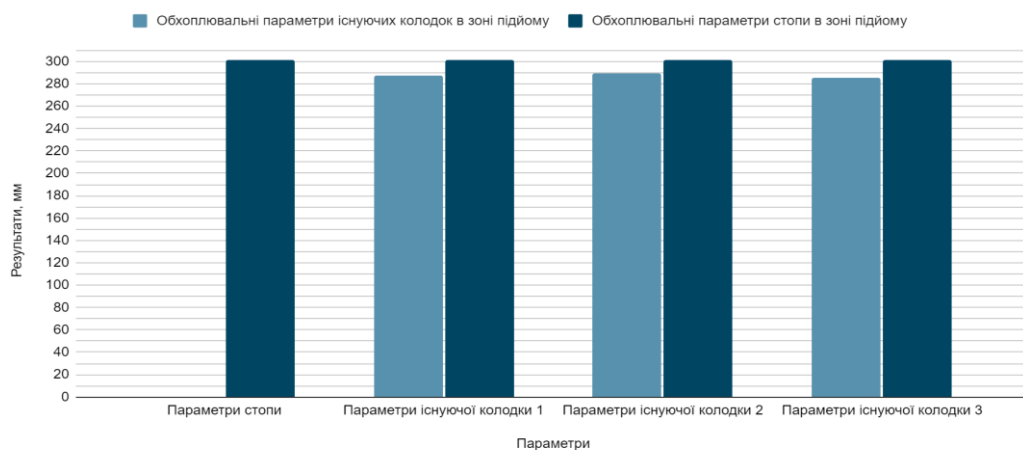


Рис. 2. Порівняльний аналіз відхилень параметрів стопи з параметрами існуючих колодок у зоні підйому

Отримавши 3D модель стопи та колодки, доцільно оцінити та визначити антропометричні зони коригування колодки індивідуальними накладками під окремого споживача (рис. 3).

Проаналізувавши цифрові моделі існуючої стопи та колодки, можна зробити висновок, що найбільш раціональним способом забезпечення відповідності розмірів колодки і стопи замовника є відкоригувати взуттєву колодку у невідповідних з стопою антропометричних зонах за допомогою “личин” у вигляді накладок у зоні зовнішнього пучка та підйому, на існуючій узгодженій взуттєвій колодці. Це мінімілізує термін виготовлення нової індивідуальної колодки та знизить вартість виробництва взуття, оскільки таким чином можна використовувати одну і ту ж колодку для різних замовників, змінюючи тільки індивідуальні накладки на колодку.

Для моделювання додаткових елементів колодки відповідного розміру, які б забезпечили підвищення комфорту внутрішнього простору взуття, використовували програмні модулі LastMaker і PowerShape у графічному середовищі Delcam Crispin [8].

Порівнявши скани стопи замовника та колодки, за допомогою модуля LastMaker, проведено дослідження необхідної величини коригування колодки у зоні прямого підйому та зовнішнього пучка. За допомогою функції «Расширенные настройки», програма дозволяє шляхом інтерактивної зміни коригувати колодку в окремих антропометричних зонах, перетинах та контурах.

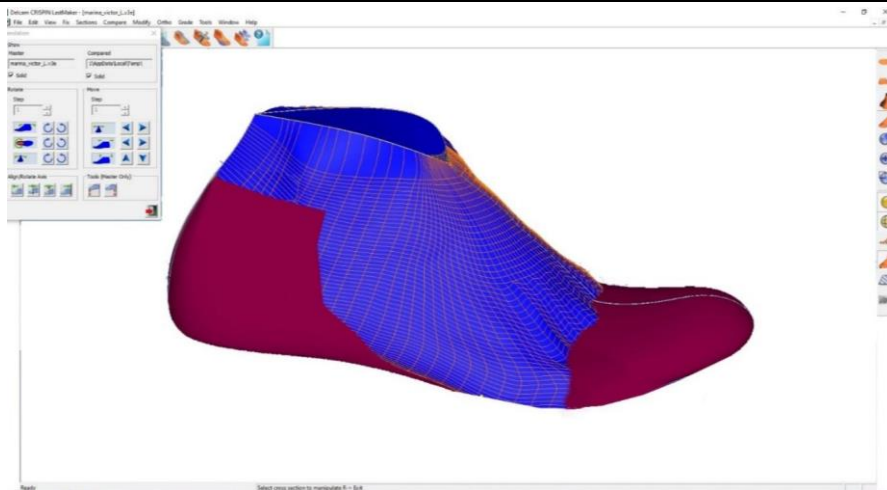


Рис. 3. Співставлення існуючої колодки та стопи замовника

Функцією «Изменить верх сечений» модифікуємо поверхню взуттєвої колодки шляхом редагування поперечних перерізів у антропометричних ділянках стопи.

Результати коригування взуттєвої колодки поперечного перерізу у зоні прямого підйому наведено на рис. 4.

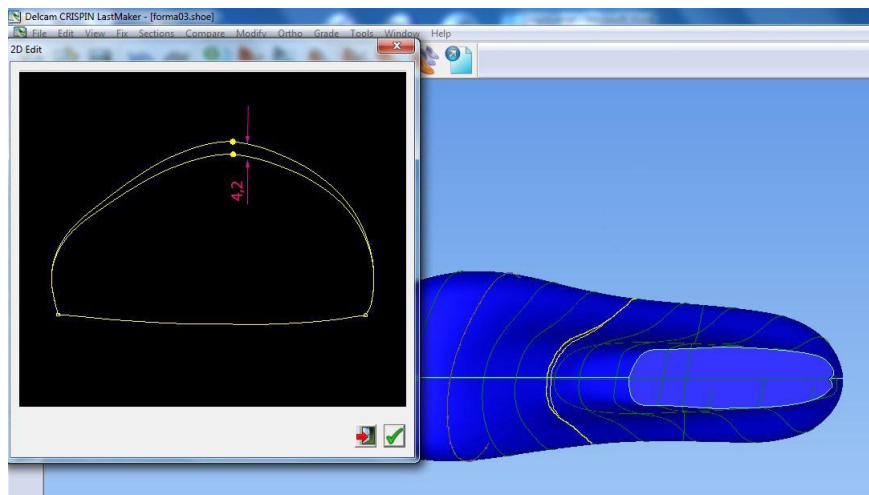


Рис. 4. Коригування зони прямого підйому на одну повноту

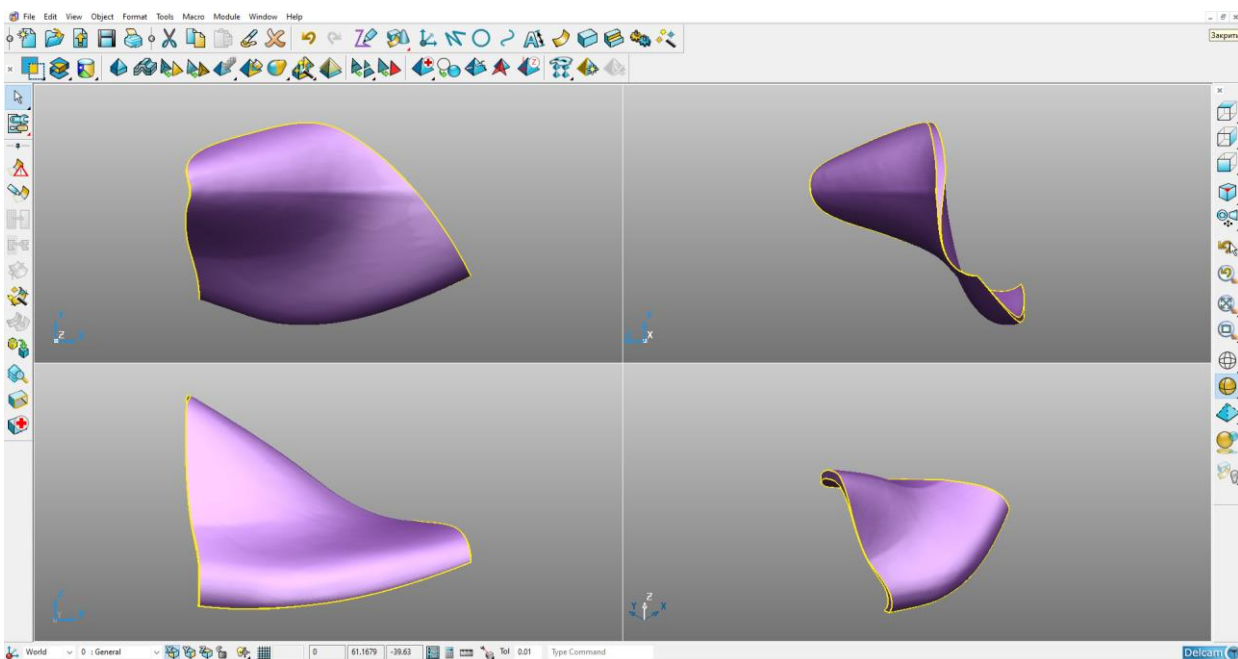


Рис. 5. Спроектована антропометрична накладка на колодку у графічному середовищі Delcam Crispin

За допомогою програмного комплексу Power Shape, для тривимірного і твердотілого моделювання, застосовуючи функцію «Віднімання поверхні», віднімаємо спроектовану накладку на колодці (враховуючи різницю висоти у зоні прямого підйому стопи з існуючою колодкою), та отримуємо твердотісну модель накладки готову до 3D друку, зберігаючи її в STL-форматі (рис. 5).

Для досягнення підвищення експлуатаційних характеристик у використанні накладок, доцільно виготовити їх за допомогою 3D друку, дослідивши матеріали. Сучасні 3D принтери мають можливість створювати моделі різної складності з різних видів пластиків, за доступною вартістю та швидким терміном виконання.

В роботі були досліджені фізико механічні властивості пластиків для 3D друку. Дослідження виконано відповідно до стандартних методів статичного випробування пластмас на розтяг [9–11].

Для дослідження використовували 5 видів пластику для 3D друку, параметри друку підбирали за рекомендованими технічними характеристиками для кожного матеріалу (табл. 2). Надруковані досліджувані зразки представлені на рис. 2.

Таблиця 2

Параметри друку досліджуваних зразків

№ п/п	Вид пластику	Температура друку, °C	Температура платформи, °C	Заповнення лінії, %	Швидкість друку, мм/с	Щільність кришки підтримки, %
1	Elastan D70	250	90	100	50	24
2	PETg	240	80	100	40	24
3	PLA	235	80	100	45	24
4	ABS	250	90	100	50	24
5	PCTG	225	85	100	40	24

Далі зразки зважувалися на електронних вагах, дані вказані у табл. 3, і випробовувалися на розрив на випробувальній модернізованій розривній машині 2167 Р-50. Отримані графіки напруження-деформації при розтягненні зразків з досліджуваних матеріалів, представлені на рисунку 6.



Рис. 6. Надруковані досліджувані зразки з різних видів пластику: 1 – Elastan D70; 2 – PETg; 3 – PLA; 4 – ABS; 5 – PCTG

Таблиця 3

Дослідження ваги полімерних зразків

№п/п	Вид пластику	Товщина нитки, мм	Вага досліджуваного зразка, г
1	Elastan D70	1,75	5,3
2	PETg	1,75	6,8
3	PLA	1,75	6,0
4	ABS	1,75	5,8
5	PCTG	1,75	6,0

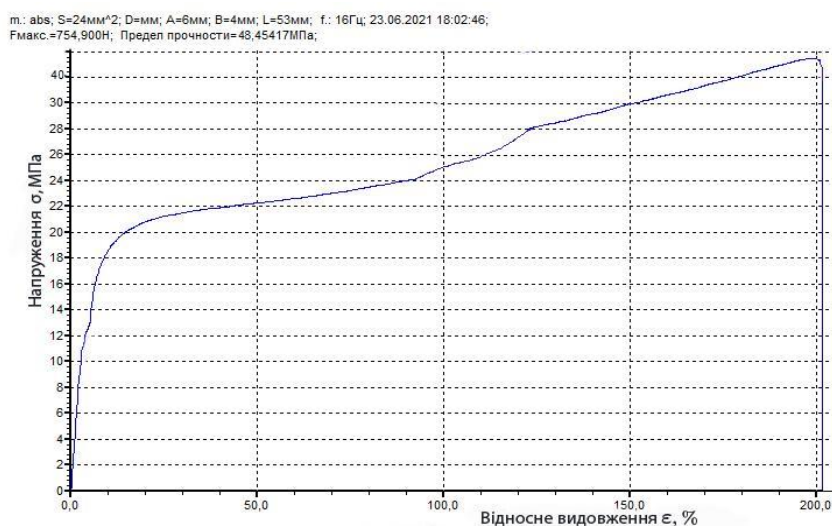


Рис. 6. Графік напруження-деформація при розтягненні зразка із Elastan D70

З отриманих експериментальних даних на розтяг полімерних матеріалів було побудовано графік, на якому показано межі міцності досліджуваних пластиків (рис. 7).

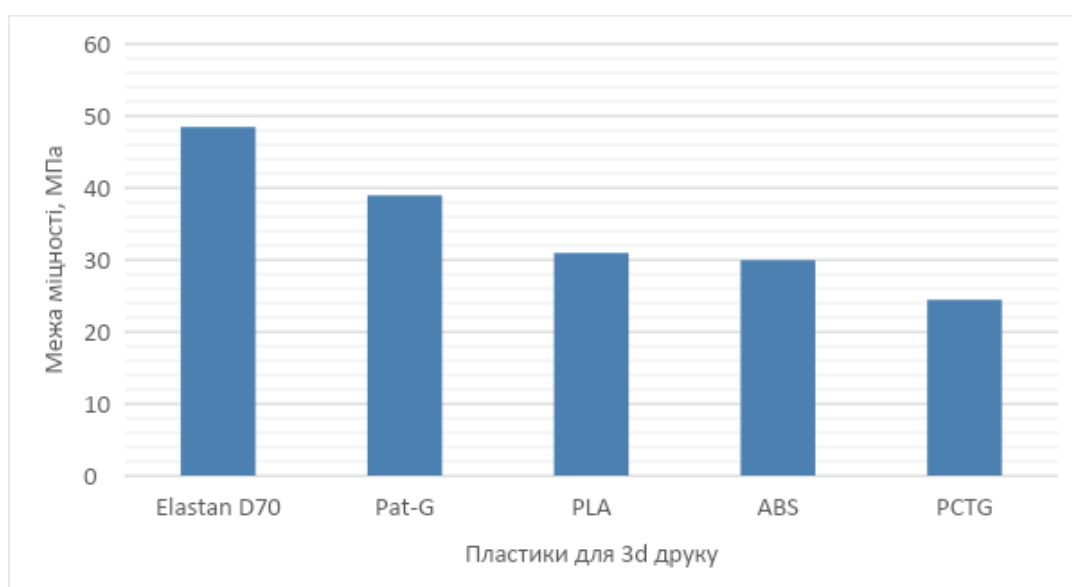


Рис. 7. Графік меж міцності досліджуваних пластиків

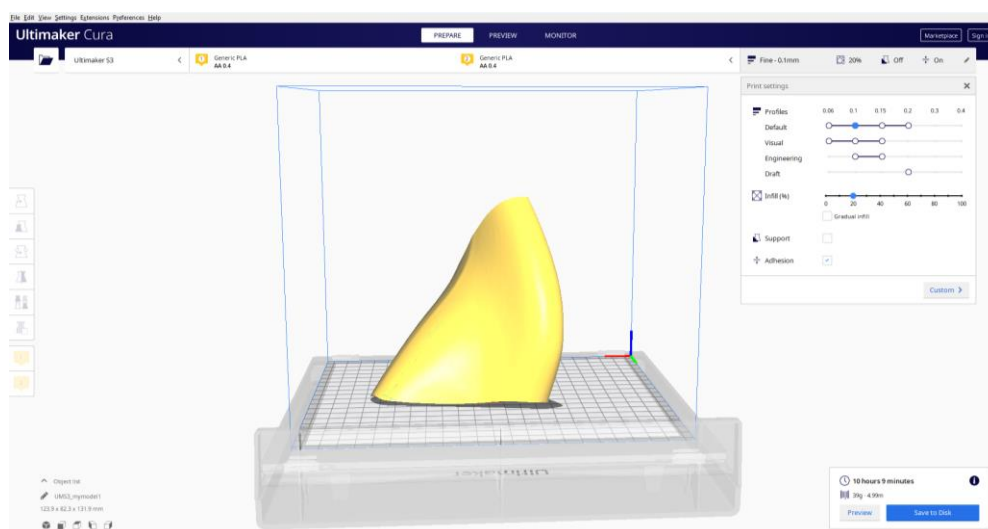


Рис. 8. Готове 3D зображення накладки у слайсері Ultimaker Cura

З досліджених матеріалів було обрано Elastan який має необхідні фізико-механічні характеристики для виготовлення накладки на колодку та подальшу експлуатацію виробу.

Нижче наведено зображення досліджуваної накладки на взуттєву колодку у слайсері Ultimaker Cura, необхідну для забезпечення підвищення комфорту взуття для індивідуального замовлення, підібрані необхідні налаштування та розрахований час друку деталі (рис. 8, табл. 4).

Таблиця 4

Параметри друку накладки з пластику Elastan D70

Параметри друку	Стандарті значення	Використані налаштування для друку накладки
	D 70	D 70
Температура друку	230–260 °C	250 °C Оптимальна температура друку, при ній полімер с екструдера виходить рівномірно.
Температура платформи	90–110 °C	90 °C якщо вибрати нижчу, то перший шар полімера не щільно приклеюється до платформи. Вища на декілька десятих градуса температура призведе, до того, що полімер не встигне остигати і буде плисти.
Напрямок друку	горизонтальний, вертикальний x-y, вертикальний z	горизонтальний
Заповнення лінії	10-100	20
Обдув	+	+
Швидкість друку	30–80 мм/с	50 мм/с Оптимальна швидкість друку, при ній полімер рівномірно остигає і чітко накладається шар за шаром.
Усадка при друку, %	0,7	0,7
Щільність кришки підтримки, %	20–30	24

Нижче (рис. 9) зображені надруковані з пластику Elastan D70 індивідуальні накладки на праву та ліву колодку.



Рис. 9. Друкована індивідуальна накладка 3D друком



Рис. 10. Прикріплена друкована накладка на колодку

Отриману індивідуальну друковану накладку кріпимо на існуючу колодку за допомогою скоб, що забезпечить стійкість накладки на колодці (рис. 10).

Висновки

Запропонована послідовність коригування форми колодок за допомогою твердотілого моделювання в середовищах САПР Delcam Crispin LastMaker і Power Shape дозволяє здійснити конструкторсько-технологічну підготовку для виготовлення коригуючих накладок методом 3D друку. Кінцевим результатом процесу коригування колодки є отримана цифрова копія прототипу накладки, яку можна застосовувати для моделювання взуття в 3D-просторі сучасних САПР. Для досягнення підвищення експлуатаційних характеристик у використанні накладок, виготовлених за допомогою 3D друку, визначали фізико-механічні властивості полімерних матеріалів, були проведені експериментальні дослідження розтягу зразків, отриманих методом 3D друку на модернізованій розривній машині 2167 Р-50. З досліджених матеріалів було обрано Elastan D70, який має задовільні фізико-механічні характеристики для виготовлення накладки на колодку та забезпечує подальшу експлуатацію виробу. Запропонована методика коригування колодок дозволяє виготовити комфортне взуття за індивідуальними антропометричними даними та суб'єктивними відчуттями замовника-споживача.

Література

1. 3D-печать: третья индустриальноцифровая революция. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://bloggerator.org/page/3dpechat-industrialno-cifrovajarevoljucija-3d-printer-makerbot-cenaopisanie-perspektivy-1>.
2. 3D-модели для 3D-принтера [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://3dtoday.ru/3d-models/>
3. Янсон Х.А. Биомеханика нижней конечности. Гл. 3 / Янсон Х.А. – Рига : Зинатне, 1975. – С. 159–207.
4. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений. Гл. 1 / Скворцов Д.В. – М. : НМФ «МБН», 1996. – С. 10–30.
5. Перераспределение давления : учебное пособие, курс 3. – 31 с.
6. MA X., Luximon A. Design and manufacture of shoe lasts. International journal of advanced manufacturing technology, September 2013. P. 177–196.
7. Яременко Д. А. Методика исследования, диагностика и ортопедическое снабжение при статических деформациях стоп / Яременко Д. А. – Харьков, 1984. – 45 с.
8. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу Delcam CRISPIN / Б.В. Орловський // Вісник КНУТД. – 2012.– № 1. – С. 22–33.
9. Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles : ISO 527-1:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 23 p.
10. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics: ISO 527-2:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 11 p.
11. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics : ASTM D638-14. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2014. 11 p.

References

1. 3D-pechat: tretya industrialnocifrovaya revolyuciya. Chast 1 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://bloggerator.org/page/3dpechat-industrialno-cifrovajarevoljucija-3d-printer-makerbot-cenaopisanie-perspektivy-1>.
2. 3D-modeli dlya 3D-printera [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : <http://3dtoday.ru/3d-models/>
3. Yanson H.A. Biomehanika nizhnej konechnosti. Gl. 3 / Yanson H.A. – Riga : Zinatne, 1975. – S. 159–207.
4. Skvorcov D.V. Klinicheskij analiz dvizhenij. Gl. 1 / Skvorcov D.V. – M. : NMF «MBN», 1996. – S. 10–30.
5. Pereraspredelenie davleniya : uchebnoe posobie, kurs 3. – 31 s.
6. MA X., Luximon A. Design and manufacture of shoe lasts. International journal of advanced manufacturing technology, September 2013. R. 177–196.
7. Yaremenko D. A. Metodika issledovaniya, diagnostika i ortopedicheskoe snabzhenie pri staticheskikh deformatsiyah stop / Yaremenko D. A. – Harkov, 1984. – 45 s.
8. Orlovskiy B.V. CALS-tehnologii obektno-orientovanogo projektuvannia i vyhotovlennia vzuttia na zasadakh prohrannogo kompleksu Delcam CRISPIN / B.V. Orlovskiy // Visnyk KNUVD. – 2012.– № 1. – S. 22–33.
9. Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles : ISO 527-1:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 23 p.
10. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics: ISO 527-2:2012. Publication Date 15-February-2012. Brussels: ISO, 2012. 11 p.
11. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics : ASTM D638-14. West Conshohocken, PA: ASTM International. 2014. 11 p.

Рецензія/Peer review : 13.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.