

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2026, Том 11, № 3 / 2026, Vol. 11, Iss. 3 <https://kostumologiya.ru/issue-3-2026.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL326.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Синёва, О. В. Обоснование эффективности этапа технологии копирования в обувной промышленности силиконовых масок — прямой 3D-печатью пресс-форм / О. В. Синёва, Л. А. Киреева, В. В. Костылева // Костюмология. — 2026. — Т. 11. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL326.pdf>.

For citation:

Sineva O.V., Kireeva L.A., Kostyleva V.V. Substantiation of the effectiveness of the technology stage of copying silicone masks in the shoe industry — direct 3D printing of molds. *Journal of Clothing Science*. 2026;11(3): 10TLKL326. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL326.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 685.34:621.9.049.77

Синёва Ольга Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия

Доцент

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: Olga-mgudt@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2871-3833>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=435847

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473431300>

Киреева Лариса Андреевна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия

Аспирант

E-mail: kireeva.annalarisa@yandex.ru

Костылева Валентина Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия

Заведующая кафедры «Художественного моделирования конструирования и технологии изделий
из кожи Костылева Валентина Владимировна», профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: kostyleva-vv@rguk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9124-4849>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=353612

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57204425426>

Обоснование эффективности этапа технологии копирования в обувной промышленности силиконовых масок — прямой 3D-печатью пресс-форм

Аннотация. Традиционная методика тиражирования обувной оснастки посредством силиконовой маски характеризуется дискретностью процесса, значительной долей ручного труда и низкой производительностью (полный цикл от деревянного эталона до готовой алюминиевой формы занимает от двух до четырех недель).

Появление промышленных установок селективного лазерного плавления (SLM) открыло возможность частичной модернизации цепочки — замены деревянной заготовки на полимерную

3D-модель. Несмотря на повышение точности прототипирования, данный подход не устраняет главный барьер серийного производства: необходимость последующего фрезерования или литья по выплавляемым моделям, сохраняется накопление погрешностей при пересъемке форм и высокий расход. В статье представлено обоснование эффективности аддитивных технологий для исключения промежуточных звеньев, которая сводится к разработке оптимизированного технологического процесса создания функциональных пресс-форм для производства подошв обуви путем прямого перехода от цифровой 3D-модели к металлической или полимерной оснастке методами SLM/DMLS и SLA, минуя этапы физического макетирования и литейного копирования. Для этого провели: контент-анализ основных категорий технологии субтрактивного и аддитивного получения мастер модели подошвы, разработали оптимизированный технологический процесс создания функциональных пресс-форм для производства подошв обуви путем прямого перехода от цифровой 3D-модели к металлической или полимерной оснастке, сравнили и оценили материалы для изготовления пресс-форм подошв (температурные режимы, скорость и ресурс). Данное исследование проводилось в рамках диссертационной работы Киреевой Л. А. «Исследование и разработка конструктивно-технологических решений низа обуви с использованием цифровых технологий».

Ключевые слова: пресс-форма обуви; оснастка; аддитивные технологии; технологический процесс

Введение

Производство деталей низа обуви (подошв, каблуков, набоек) требует специализированной технологической оснастки — пресс-форм. Их конструкция, материал и конфигурация напрямую зависят от типа полимерного сырья, метода крепления подошвы к верху изделия и проектируемой геометрии [1]. Оснастка должна обеспечивать не только точное формообразование, но и стабильную работу в различных организационно-технических условиях производственных циклов: ручном, автоматическом или роботизированном режимах литья под давлением.¹

Современный рынок предъявляет высокие требования к эстетике и эргономике обуви. Детали низа являются неотъемлемой частью композиционного решения модели, дополняя ее верхнюю часть и обеспечивая выполнение биомеханических требований системы «человек-обувь-окружающая среда» [2].

В условиях жесткой конкуренции перед производителями стоит двудеяная задача: расширение ассортимента за счет усложнения дизайна [3] при одновременной унификации базовых элементов для снижения себестоимости. Реализация сложных геометрических форм традиционными «субтрактивными» [4] методами, которые для данной области являются основными и традиционными, обеспечивают требуемое качество, но являются дорогостоящими и затратными по времени [5]. экономически нецелесообразна.

Рациональным инженерным решением становится внедрение аддитивных технологий. [6] 3D-печать, или «аддитивное производство» — это процесс создания цельных трехмерных объектов геометрической формы по моделям компьютерного дизайна путем последовательного нанесения слоев материала, повторяющих контуры будущего изделия [7; 8].

¹ Стронгин Б. Е. Проектирование пресс-форм обувного производства. Е: Легпромбытиздат, 1988. 120 с.

Сайт компании «INTERPLAST» [Электронный ресурс] // Plastic Machinery / Пресс-форма: что это такое, из чего состоит и особенности проектирования: 23.10.2023? URL, <https://plasticmachinery.ru/baza-znaniy/press-forma-chto-jeto-takoe-iz-chego-sostoit-i-kak-ee-izgotavlivajut/#anchor-5> (дата обращения: 13.07.26).

Сайт компании «Proplastic» / [Электронный ресурс] // Завод пресс-форм. Режимы работы пресс-форм: авторежим, роботизированный режим, 06.11.2025, 23 10.2025\ URL: <https://завод-пресс-форм.рф/article/rezhimy-raboty-press-form.php> (дата обращения: 13.07.26).

Однако их комплексная интеграция в производственный цикл (включающая 3D-сканирование исходного образца, обратное проектирование, топологическую оптимизацию цифровой модели и выбор параметров печати) требует научного обоснования технико-экономической эффективности.

Исторически создание пресс-форм открытого типа для литья под давлением применяется метод тиражирования через промежуточные копии (силиконовые маски), снимаемые с физического эталона. Методика позволяет переносить сложный поверхностный рельеф на металлическую оснастку.²



Рисунок 1. Мастер-модель подошвы, изготовленная традиционным копировальным методом с применением ручного фрезерования эталона из древесины (образец из архива кафедры художественного моделирования, проектирования и технологии изделий из кожи РГУ имени А. Н. Косыгина)

Общая схема субтрактивного способа изготовления выплавляемых моделей со сложным поверхностным рельефом включает следующие этапы³:

- создание эталона мастер-модели из дерева/МДФ;
- создание силиконовой формы (предварительно заготовленный композиционный состав);
- удаление эталона из полученной формы;

² Аддитивные технологии. Канал посвящен аддитивным технологиям и 3D-печати и рассчитан на всех интересующихся данной тематикой. / Изготовление пресс-форм по мастер-моделям, отпечатанным на 3D-принтере URL: <https://dzen.ru/a/ZNXyQw6p71d4ZAm7?ysclid=mqtg23la3973248483> 11 августа 2023 г. (дата обращения: 13.07.26).

Сайт производителя Компания Z-axis — эксклюзивный дистрибутор компании KINGS 3D Printing Technology Co., Ltd в России и странах СНГ / Технология 3D-печати kings sla для обувной промышленности / URL: 18.07.2022 / https://kings3d.ru/novostdetalnokings_10_172/ (дата обращения: 13.07.26).

³ Патент на изобретение / Способ изготовления выплавляемых моделей со сложным поверхностным рельефом авторы / Ю. И. Степанов В. Г. Корниенко В. С. Толмачев В. А. Плаксин В. Г. Трембач 15.02.1994 г. / URL: <https://patents.google.com/patent/RU2007256C1/ru> (дата обращения: 13.07.26).

- создание гипсовой формы для заливки металла (гипсовая форма прокаливается в печи);
- заливка алюминиевого сплава;
- финишная механическая обработка.

Несмотря на доказанную эффективность в получении детализированного рельефа, данная технология характеризуется рядом системных недостатков. К ним относятся высокая трудоемкость, значительная длительность производственного цикла (обусловленная этапами стабилизации растворов и термической обработки), материалоемкость и накопление размерных погрешностей на каждом этапе пересъемки. Кроме того, результат критически зависит от субъективного фактора — высокой техничности исполнителей на этапах ручной доводки эталона и сборки формовочного пакета (рис. 1).

В связи с этим возникает научно-практическая задача обоснования полного отказа от промежуточных копий в пользу прямого аддитивного формирования элементов пресс-формы [9].

Цель работы — доказать эффективность аддитивных технологий для исключения промежуточных звеньев, которая сводится к разработке оптимизированного технологического процесса создания функциональных пресс-форм для производства подошв обуви путем прямого перехода от цифровой 3D-модели к металлической или полимерной оснастке методами SLM/DMLS и SLA, минуя этапы физического макетирования и литьевого копирования.

Тогда задачи сводятся к:

1. Контент-анализу основных категорий технологии субтрактивного и аддитивного получения мастер модели подошвы.
2. Разработанному оптимизированному технологическому процессу создания функциональных пресс-форм для производства подошв обуви путем прямого перехода от цифровой 3D-модели к металлической или полимерной оснастке методами SLM/DMLS и SLA.
3. Сравнительной оценке материалов для пресс-форм подошв (температурные режимы, скорость и ресурс).

Материалы и методы

В статье представлен метод сопоставления данных технологических цепочек исследования, контент-анализ [10] электронных ресурсов производителей пресс-форм и анализ научной-технической литературы. В качестве категорий были выбраны характеристики технологического производства субтрактивным методом и использования аддитивных технологий: используемые материалы, этапы процесса, время, затраты, экологичность и т. д. Собранные эмпирические данные представлены в виде таблицы 1. Решение предложенной технологической схемы с использованием аддитивных технологий таблица 2, сопряжено с использованием методов:

- оцифровке эталонной подошвы методом контактного/бесконтактного сканирования или 3D-моделирования (обратный инжиниринг);
- применение алгоритма, объединяющего обратный инжиниринг, инженерный анализ и 3D-моделирование для создания пресс-формы, обеспечивающей минимальные отклонения от эталонной геометрии низа обуви, снижение вероятности производственных дефектов и повышение эксплуатационных характеристик готового изделия;

- аддитивного производства:
 - SLA (Stereolithography) для фотополимеров;
 - SLM (Selective Laser Melting) для металлических порошков (алюминиевые сплавы AlSi10Mg, инструментальные стали). проектированию твердотельной модели пресс-формы в CAD-среде с учетом коэффициентов усадки материалов низа обуви;
- анализу условий для изготовления тестового образца формы методом SLA-печати (фотополимеры) и промышленного образца методом SLM-печати (металл) таблица 3;
- изготовлению тестового образца прототипа пресс-формы.

Результаты

Анализ целесообразно провести в форме таблицы 1.

Таблица 1

Сравнение технологических цепочек субтрактивного метода производства и аддитивного подхода создания пресс-формы по мастер-моделям

Категория	Субтрактивный метод традиционного «Копирования»	Аддитивные технологии Цифровая цепочка (предлагаемая авторами — 3D — моделирование и 3D-печать)
1	2	3
Материалы для изготовления пресс-формы	МДФ/ Дерево (бук), композиционный состав (желатин, глицерин, мел, вода), формалин, композиционный состав на основе дибутилфталата, формовочный гипс, алюминиевый сплав	Фотополимерные смолы (Ultracur3D® ST45 от Forward AM и др.), порошки металлов (алюминиевые, стали, титан)
Этапы процесса	1. Создание эталона мастер-модели из дерева/МДФ; 2. Создание силиконовой формы 3. Создание гипсовой формы для заливки металла 4. Заливка алюминиевого сплава 5. Финишная механическая обработка	1. 3D-моделирование эталона мастер-модели подошвы 2. 3D-моделирование пресс-формы методом обратного инжиниринга 3. 3D-печать SLA, SLM/DMLS-технологии 4. постобработка (удаление поддержек, шлифовка)
Количество и стоимость материалов	Низкая стоимость. высокий расход: желатин 2000 г., глицерин 1400 г., мел 200 г., смесь дибутилфталата 1000 г., парафин 7000 г., стеарин 2500 г., этилцеллюлоза 500 г., гипс до 2500 г., алюминий от 15 000 г. до 45 000 г	Высокая стоимость. низкий расход: фотополимер от 800 г. до 2500 г. от 3500 до 6500 руб./кг., металл от 15000 г. до 45000 г. от 200 до 850 руб./кг
Временные затраты	Высокие. Фрезеровка мастер-модели из дерева до 6 ч., обработка силиконовой формы 1,5 ч, подготовка составов для формы 2,5 ч, отвердевание композиционного состава от 10 ч, сушка гипса до 24 ч., финишная обработка до 5 суток.	Низкие. Печать из фотополимеров от 3 до 24 ч. Постобработка от 1 до 4 ч. Печать из металл от 10 до 30 ч. машинного времени. Постобработка до 3 суток
1	2	3
Общая стоимость изготовления	Складывается из низкой стоимости материалов, но очень высоких трудозатрат квалифицированных скульпторов и операторов копировальных станков, а также расходов на исправление брака. Дорого при штучном производстве, рационально только при огромных тиражах одной модел	Высокие капитальные затраты на ПО, обслуживание оборудования. При этом радикальное снижение затрат на оплату труда мастеров и сокращение количества итераций делают стоимость единицы выгоднее уже на малых и средних сериях.
Число единиц используемого оборудования	Минимум цифровых устройств. Основные инструменты: верстаки, ручной инструмент, тяжелые копировально-фрезерные станки, печи для термообработки металла. Требуются большие площади цеха	Компактное высокотехнологичное оборудование: ПК с ПО/CAD системами для 3D моделирования. SLA/PolyJet, SLM/DMLS -3D-принтеры. Для постобработки: ультразвуковая ванна, камера дозасветки, сушильный шкаф, ручные инструменты, печи для термообработки металла

Масштабируемость и гибкость	Низкая. Любое изменение дизайна требует полного или частичного переделывания физической мастер-модели. Сложно хранить и модифицировать старые формы	Высокая. Изменение дизайна занимает несколько минут работы в CAD. Цифровые файлы удобнее хранить их легко масштабировать под разные размеры
Экологичность и отходы	Большое количество пыли, токсичных паров (при работе с растворителями и смолами), физический мусор (стружка, обрезки, бракованные гипсовые слепки)	Минимальный физический мусор. Расход полимера строго равен объему детали
Требования к кадрам	Нужны редкие специалисты — скульпторы-модельеры и опытные операторы тяжелых копировальных станков	Нужны инженеры-технологи со знанием САМ и 3D-моделирования. Обучение персонала происходит быстрее, чем освоение ремесла
1	2	3
Погрешность	Зависит от квалификации мастера-копировщика. Накапливается на каждом этапе переноса (макет → копия → форма)	Определяется точностью сканера и разрешением станка. Погрешность легко контролируема и стабильна, обычно не превышает 0,05–0,1 мм. Геометрия полностью повторяет исходную цифровую модель

Разработано авторами

Сравнительный анализ технологических цепочек (табл. 1) выявляет компромисс между стоимостью сырья и производительностью процесса. Традиционный метод опирается на недорогие и доступные расходные материалы (гипс, силикон, древесину), но сопряжен с высокими трудозатратами и накоплением размерных погрешностей на каждом из многочисленных этапов. Аддитивное производство, напротив, трансформирует последовательную цепочку операций в параллельный цифровой процесс, позволяя напрямую перейти от CAD-модели к оснастке или ее функциональному прототипу.

В рамках исследования представлен алгоритм проектирования пресс-формы методом обратного инжиниринга (табл. 2), исключающий создание физических мастер-моделей. Цифровая природа алгоритма обеспечивает прецизионный контроль геометрии на этапе снятия «виртуальной маски» (3D-моделирование). Практическая апробация методики показала снижение порога квалификации оператора за счет автоматизации рутинных построений. Программно-аппаратная реализация предложенного маршрута осуществлялась с использованием открытого программного обеспечения Blender для полигонального моделирования и специализированных САМ-систем для подготовки моделей к печати.

Технологию разработки пресс-формы для изготовления подошвы методом обратного инжиниринга представим в виде таблицы 2.

Таблица 2

Разработка пресс-формы подошвы методом обратного инжиниринга

№ этапа Наименование этапа	Исходные данные / Объект	Технические параметры и действия	Ожидаемый результат
1	2	3	4
1 Масштабирование с учетом усадки материала	Цифровая модель подошвы	Выбор коэффициента: принятие среднего значения усадки $S = 1\%$ (среднее между ТЭП — 0,5–1,5 % и резиной) для универсальности пресс-формы. Расчет масштаба: — расчёт исходного объёма подошвы: исходная модель → объём (add ons → 3D Print Toolbox → 3D Print) → Выделение объекта → Statistics → Volume → Result — экструдировать по нормализ (по объёму): Режим Edit Mode → Выделение объекта → Extrude Along Normals → Меню → Offset (ввод значения) → 1 мм	Масштабированная CAD-модель будущей готовой детали, увеличенная на 1 %.

№ этапа Наименование этапа	Исходные данные / Объект	Технические параметры и действия	Ожидаемый результат
2 Создание матрицы (Матрица 1)	Масштабированная модель подошвы	Деление подошвы на две части: Выделение рантовой части подошвы/ранта 2 раза Separate (P) отделение → Select Linked (L) выделить связанное → Separate (P) отделение → объединение двух объектов shift + ПКМ → Join (Ctrl + J) объединение Создание основы матриц: Выделение точек Shift + ЛКМ → Копирование и Вставка (Ctrl+C / Ctrl+V) → Выравнивание точек через масштабирование в проекцию S-Y-0 → Fill (F) Соединение(точек/ребер/ плоскостей) Модель матрицы в объёме: Extrude Region (E) — вытягивание от плоскости вверх/вниз по оси Z	Корпус верхней и нижней части пресс-формы
1	2	3	4
3 Моделирование переливных каналов и выталкивающих штифтов	Корпус Матрицы	Создание переливных каналов: Object Mode (Shift+A Cube) → Tab (Edit Mode, Alt+ЛКМ по ребру) → Ctrl+B 2 раза (фаска профиля) → G Z (заглубление) → E + X/Y/Z (экструзия траектории) → S/R (масштаб и повороты) → Object Mode (Apply Modifiers: Solidify для толщины канала + Bevel для радиусов) → P (отделение вентканала) → Shift+N (нормали наружу) → Ctrl+A (очистка трансформаций) Создание выталкивающих штифтов: Mesh → Цилиндр (-мм) → Корректировка/Масштабирование Scale (S) → New collection → Add Modifier → Generate Boolean	Завершённый корпус верхней и нижней части пресс-формы полостью под заливку полимера.
4 Моделирование механизма петли	Корпус Матрицы	Создание оси, втулок, цилиндров: Mesh → Add → цилиндр/параллелепипед → корректировка [Move (G) перемещение точек/рёбер/ плоскостей и Fill (F) Соединение/добавление (точек/ребер/плоскостей)] Соединение механизма петли с пресс-формой относительно оси: Вращение объектов / Rotation (R) → Поворот вокруг оси [R+X/Y/Z]	Сборочный узел подвижного соединения. способный вращаться вокруг Оси для беспрепятственного раскрытия формы.
5 Моделирование системы фиксации и центровки	Корпус Матрицы	Моделирование фиксирующих шпилек и винтов: Mesh → Цилиндр (5–7 мм) → Корректировка/Масштабирование Scale (S) → New collection → Add Modifier → Generate Boolean Стяжные винты: проектирование сквозных отверстий по углам плит для установки крепежных винтов, обеспечивающих жесткость конструкции при давлении литья	Полная цифровая сборка пресс-формы со всеми базирующими элементами (втулки, ось) и крепежом.
1	2	3	4
6 Подготовка к печати макета пресс-формы.и производство	Финальная 3D- сборка пресс- формы	Ориентация деталей: поворот моделей Матрицы и мелких элементов в пространстве построения принтера для минимизации нависающих углов. Генерация поддержек: автоматическое или ручное построение структур поддержки для выступающих частей (каналов литника, головок винтов). — Настройка масштаба и единиц измерения — Проверка и исправление геометрии Экспорт в слайсер: File → Export → Stl (.stl). Печать: изготовление макета на фотополимерном (SLA) или FDM-принтере.	Физический прототип (макет) разборной пресс-формы для проверки собираемости, точности линии разъема и <u>тестовой проливки модельным силиконом?</u>

Разработано авторами

Из таблицы 2 следует Схема алгоритма разработки пресс-формы в среде Blender 3D методом обратного инжиниринга (рис. 2).

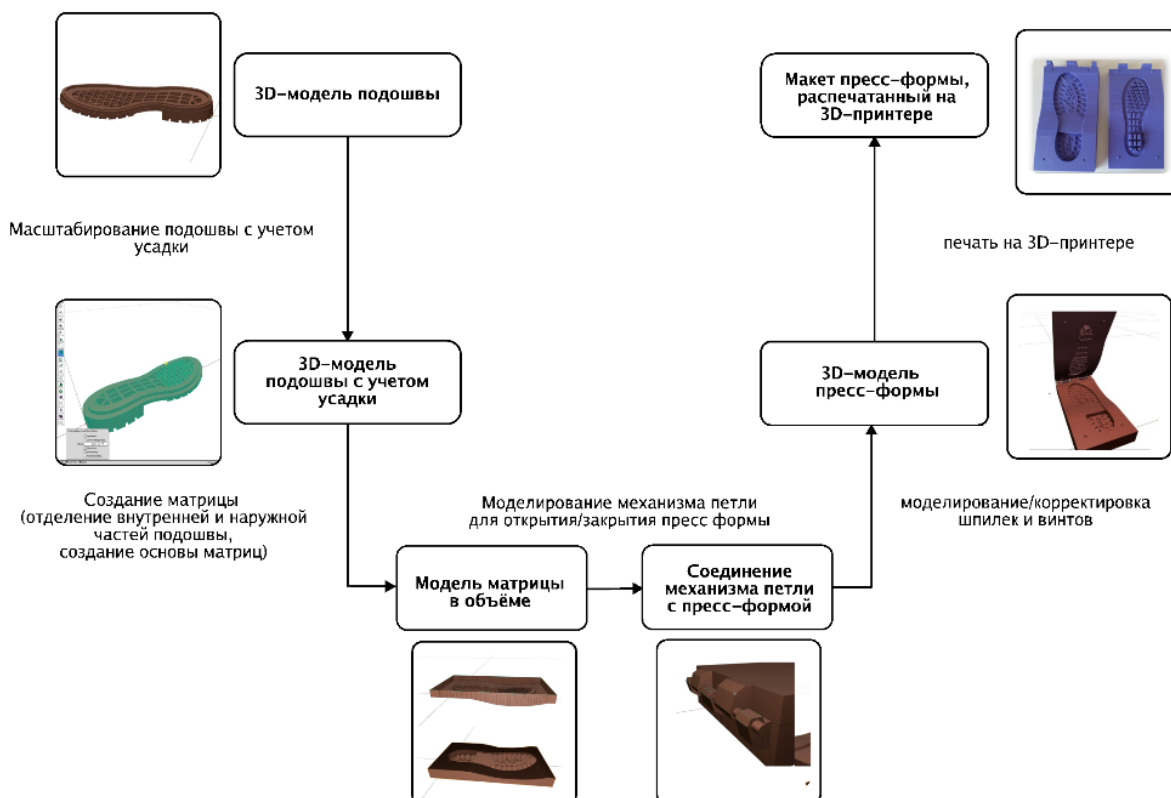


Рисунок 2. Схема алгоритма разработки пресс-формы в среде Blender 3D методом обратного инжиниринга (разработано авторами)

Анализ этапа виртуального реверс-инжиниринга подтвердил гипотезу о возможности децентрализованного проектирования оснастки. Цифровое снятие «виртуальной маски» и последующее CAD-моделирование позволяют полностью исключить использование физических расходных материалов (гипса, силикона) на стадии разработки, ограничиваясь лишь вычислительными мощностями и лицензионным программным обеспечением и дает возможность получения мастер-модели подошвы аддитивным способом (рис. 3).



Рисунок 3. Прототип макета пресс-формы, распечатанный на 3D-принтере из PLA пластика в масштабе 1:2 (разработано авторами)

Данный подход существенно снижает порог входа в производство и нивелирует логистические риски поставок сырья. Тем не менее, переход к чисто цифровому представлению модели (рендерингу) не решает фундаментальную инженерную проблему метода — обеспечение прецизионного переноса высокочастотного рельефа поверхности на конечное изделие. Историческая ценность силиконовых и гипсовых масок заключалась именно в их способности работать как физический негатив, гарантирующий идентичность копии эталону.

Следовательно, при внедрении алгоритма прямой аддитивной печати пресс-форм критическим фактором становится выбор материалов [11–13], которые должны обеспечивать:

- термомеханическую совместимость: материал печатной оснастки должен выдерживать температуру впрыска полимера подошвы без деформации;
- адгезионную нейтральность: исключить прилипание формуемого состава к стенкам напечатанной пресс-формы.

Таблица 3

Данные контент-анализа. Сравнительная оценка материалов для пресс-форм подошв (температурные режимы, скорость и ресурс)

Материал формы	Технология печати	Макс. рабочая температура* Температура заливаемого сырья**	Скорость цикла / печати***	Стойкость к давлению и износу****	Рекомендуемые материалы подошвы
Стандартные SLA/DLP смолы	Фотополимеризация	60–80°C	Печать: высокая; Цикл: медленный (долгое охлаждение из-за низкой теплопроводности)	Низкая. Деформация геометрии, риск залипания полимера, быстрый износ кромок. Ресурс — только прототипирование	—
Инженерные фотополимеры (High Temp)	Фотополимеризация	220–300°C	Печать: средняя; Цикл: средний	Средняя. Сохраняют форму при нагреве. Ресурс — мелкая серия (сотни циклов)	Термопласты, ТЭП
SLA Tough/Durable пластики	Фотополимеризация	до 80°C	Печать: высокая; Цикл: медленный	Средне-низкая. Подходят только для мягких резиновых смесей холодного формования без нагрева. Ресурс — прототипирование подошв, опытные партии лёгкой модельной обуви небольшими партиями	Мягкие резины, ЭВА
Порошки металла (AlSi10Mg / SLM-стали)	SLM / DMLS	300–500°C	Печать: низкая (часы-сутки); Цикл: очень высокий (секунды-минуты благодаря быстрому отводу тепла)	Максимальная. Высокая износостойкость, отличная теплопроводность, выдерживает давление впрыска. Ресурс — промышленный (десятки тысяч циклов)	ЭВА, резиновые смеси, ПВХ, ТЭП, ТПУ

* Макс. рабочая температура: Температура тепловой деформации формы (Heat Deflection Temperature, HDT) при которой геометрия начинает необратимо искажаться под нагрузкой. ** Температура заливаемого сырья: Реальная температура заливаемого материала в жидком состоянии. *** Скорость цикла и печати: Оценка времени выращивания самого объекта на принтере и длительности одного производственного цикла «заливка — остывание — выемка». Металл проигрывает в скорости печати, но многократно выигрывает в скорости серийного производства за счет быстрого теплообмена. **** Стойкость: Способность сохранять геометрию пресс-формы при многократном термическом ударе (нагрев-охлаждение) и сопротивляться истиранию от плотной расплавленной массы. Разработано авторами на основе контент анализа фирм производителей

На этом фоне обратимся к оценке материалов для изготовления пресс-форм подошв [14; 15] (табл. 3). Из таблицы 3 следует, что единственно жизнеспособным вариантом для промышленного тиражирования является использование металла (SLM). Любые фотополимеры могут выступить лишь в роли материалов временной оснастки для тестов, так как их температуры переработки (170–190°C) превышают порог разрушения даже инженерных смол.

Обсуждение

В ходе исследования получены следующие результаты.

1. Сравнительным контент-анализом технологических цепочек установлено, что традиционный метод характеризуется высокой материалоемкостью вспомогательных процессов (гипсование, восковка) и накоплением размерных погрешностей. Цифровой подход на базе обратного инжиниринга трансформирует последовательную дискретную цепочку операций в параллельный вычислительный процесс, минимизируя влияние человеческого фактора.
2. Разработан алгоритм реверс-инжиниринга, который реализует технологический маршрут, исключая стадию физического копирования. Формирование геометрии в виртуальном пространстве обеспечивает возможность мгновенной итерации дизайна без переделки физических эталонов.
3. Проведена сравнительная оценка расходных материалов для аддитивного синтеза металлических и полимерных оснасток. В качестве оптимальных для мелкосерийного литья деталей низа обуви выделены функциональные полиамидные композиты, отверждаемые спеканием металлических порошков (SLM/ DMLS), а также жесткие высокотемпературные фотополимеры (High Temp).
4. Выполнена печать из филамента PLA прототипа с масштабным коэффициентом 1:2. Результаты подтвердили адекватность цифровой модели (mesh) исходному объекту и высокое качество передачи микротекстуры поверхности.

Полученные данные свидетельствуют о том, что аддитивные технологии являются эволюционным этапом развития методов тиражирования сложных форм. Однако реализация рабочих пресс-форм с помощью 3D-печати требует последующих экспериментальных исследований и доказательств, являясь перспективным направлением в данной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейфельд, М. А. Конструктивные особенности формованных подошв из термоэластопластов и основные их дефекты / М. А. Нейфельд, А. Н. Буркин, М. И. Долган // Костюмология. — 2025. — Т. 10. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/19TLKL325.pdf> (дата обращения 02.08.2026)
2. Киреева, Л. А. Анализ используемых материалов при изготовлении детали низа обуви — подошвы / Л. А. Киреева, О. В. Синева // Инновационные технологии: кожа, мех, химические материалы, производство: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти выдающегося советского ученого Н.В. Чернова, Москва, 20–21 ноября 2024 года. — Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2024. — С. 201–204. — EDN DKGBEU.

3. Zhang J. Visual insights into personalizing women's running shoes: A consumer psychology perspective / Jie Zhang, Jun Yao, Hefan Hu, Xuecheng Zhao // Acta Psychol (Amst). — 2025. — vol. 253. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.104767> (дата обращения: 02.08.2026).
4. Краснов А. А., Смоленцев Е. В. Аддитивное и субтрактивное производство // Инновационная наука. 2016. №12-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnoe-i-subtraktivnoe-proizvodstvo> (дата обращения: 03.08.2026).
5. Федькин, Н. С. Анализ и выбор термопластичных материалов для изготовления пресс-форм подошв методом FDM-печати / Н. С. Федькин, А. В. Канатов // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы: Сборник научных трудов XII Международной научно-практической конференции, Москва, 25–27 марта 2026 года. Часть 2. — Москва: Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2026. — С. 180–185. — EDN ALTFSN.
6. Применение 3D-технологий быстрого прототипирования при изготовлении оснастки обувного производства и апробация формальной модели экспресс-формы для литьевого агрегата / В. В. Минец, И. Р. Татарчук, О. А. Белицкая, Е. В. Литвин // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2022. — № 2(398). — С. 329–333. — DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329. — EDN TWIIX.
7. Bandyopadhyay A., T.P. Gualtieri and S. Bose. 2015. Global Engineering and Additive Manufacturing. In S. Bose (Ed.), Additive Manufacturing: 1–18. CRC Press. DOI: 10.1201/b18893-2.
8. Алибекова М. И., Костылева В. В., Новиков А. Н., Фирсов А. В. Современные технологии в проектировании обуви // Дизайн и технологии. — 2017, № 57(99). С. 31–35 — EDN XXDGLD.
9. Куренкова, А. Г. Развитие цифрового модульного проектирования пресс-форм для формования подошв. Сообщение 3 / А. Г. Куренкова // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. — 2022. — Т. 56, № 2. — С. 81–89. — DOI 10.46418/0021-3489_2022_56_02_16. — EDN ZWDBOY.
10. Пашинян И. А. Контент-анализ как метод исследования: достоинства и ограничения // Научная периодика: проблемы и решения. 2012. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontent-analiz-kak-metod-issledovaniya-dostoinstva-i-ogranicheniya> (дата обращения: 13.07.2026).
11. Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров / О. Б. Коновалова, В. В. Минец, Е. С. Бокова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2022. — № 2(398). — С. 304–311. — DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_304. — EDN DMPFLK.
12. Полимерные материалы для 3d-печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности / О. Б. Коновалова, В. В. Минец, Е. С. Бокова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2021. — № 5(395). — С. 262–267. — DOI 10.47367/0021-3497_2021_5_262. — EDN PPWWIR.
13. Никитина, Л. Л. Особенности проектирования подошв из полимерных материалов и пресс-форм для их изготовления / Л. Л. Никитина, Л. Ю. Махоткина, Л. Г. Хисамиева //

Вестник Казанского технологического университета. — 2010. — № 9. — С. 373–376. — EDN MWNLHT

14. Ибрагимов, А. Т. Исследование возможностей использования полиэтилена низкой плотности... / А. Т. Ибрагимов, А. Ш. Умаров, У. М. Максудова, А. С. Рафиков // Вестник науки и творчества. — 2016. — № 8(8). — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26556864> (дата обращения: 14.07.2026).
15. А. М. Дожделев, А. Ю. Лаврентьев Обзор фотополимерных материалов для 3D печати методом стереолитографии // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 9-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-fotopolimernyh-materialov-dlya-3d-pechati-metodom-stereolitografii> (дата обращения: 14.07.2026).

Sineva Olga Vladimirovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

E-mail: Olga-mgudt@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2871-3833>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=435847

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57473431300>

Kireeva Larisa Andreevna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

E-mail: kireeva.annalarisa@yandex.ru

Kostyleva Valentina Vladimirovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

E-mail: kostyleva-vv@rguk.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9124-4849>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=353612

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57204425426>

Substantiation of the effectiveness of the technology stage of copying silicone masks in the shoe industry — direct 3D printing of molds

Abstract. The traditional method of replicating shoe accessories using a silicone mask is characterized by a discrete process, a significant proportion of manual labor and low productivity (the full cycle from a wooden standard to a finished aluminum mold takes from two to four weeks).

The advent of industrial selective laser melting (SLM) installations has opened up the possibility of a partial modernization of the chain — replacing a wooden billet with a polymer 3D model. Despite the increased accuracy of prototyping, this approach does not eliminate the main barrier to mass production: the need for subsequent milling or die casting, the accumulation of errors during reshooting and high consumption. The article provides a justification for the effectiveness of additive technologies to eliminate intermediates, which boils down to the development of an optimized technological process for creating functional molds for the production of shoe soles by directly switching from a digital 3D model to metal or polymer tooling using SLM/DMLS and SLA methods, bypassing the stages of physical prototyping and injection molding. To do this, we conducted a content analysis of the main categories of technology for subtractive and additive manufacturing of a master sole model, developed an optimized technological process for creating functional molds for the production of shoe soles through a direct transition from a digital 3D model to metal or polymer tooling, compared and evaluated materials for the manufacture of sole molds (temperature conditions, speed and a resource). This research was conducted as part of the dissertation of L.A. Kireeva «Research and development of constructive and technological solutions for the bottom of shoes using digital technologies».

Keywords: shoe mold; tooling; additive technologies; technological process