

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

2022, №3, Том 7 / 2022, No 3, Vol 7 <https://kostumologiya.ru/issue-3-2022.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL322.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Карабанов, П. С. Моделирование механической прочности деталей обуви из пористых материалов на основе ЭВА / П. С. Карабанов, В. В. Костылева, М. А. Молофеева, Г. А. Бороздина // Костюмология. — 2022. — Т. 7. — № 3. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL322.pdf>

For citation:

Karabanov P.S., Kostyleva V.V., Molofeeva M.A., Borozdina G.A. Modeling the mechanical strength of shoe parts from porous materials based on EVA. *Journal of Clothing Science*, 3(7): 04TLKL322. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL322.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 685.34.017

ББК 37.255

Карабанов Пётр Степанович

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»
Новосибирский технологический институт (филиал), Новосибирск, Россия
Заведующий кафедрой
Доктор технических наук, профессор
E-mail: p.s.karabanov@mail.ru

Костылева Валентина Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
Заведующая кафедрой
Доктор технических наук, профессор
E-mail: kostyleva-vv@rguk.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=353612

Молофеева Мария Александровна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»
Новосибирский технологический институт (филиал), Новосибирск, Россия
Магистрант
E-mail: molofeeva.masha@mail.ru

Бороздина Галина Александровна

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»
Новосибирский технологический институт (филиал), Новосибирск, Россия
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: galyaborozdina@yandex.ru

Моделирование механической прочности деталей обуви из пористых материалов на основе ЭВА

Аннотация. Показано, что пористые обувные материалы на основе ЭВА обладают рядом преимуществ перед монолитными (снижение расхода материала, лёгкость изделий, высокие теплозащитные свойства). Однако при снижении плотности материала уменьшаются их механические характеристики, которые помимо прочего определяются технологическими режимами формования изделия. В работе предложена модель влияния температуры литьевой формы и длительности вулканизации на механическую прочность формируемых изделий. Построение моделей проведено на основе математических методов планирования и анализа

эксперимента, для чего формовались тестовые пластины при различных режимах согласно матрице планирования. Результаты моделирования представлены в виде геометрических образов влияния режимов формования на механическую прочность изделий, и кривыми равных значений прочности. Разработанная модель показывает, что при определённом соотношении режимов литьевого формования возможно получение изделий максимальной прочности. Предложена номограмма для практического выбора режимов формования, обеспечивающих заданные показатели прочности изделий и приемлемую длительность вулканизации. При этом выбор режимов формования можно проводить с учётом требований к производительности процесса изготовления изделий.

Ключевые слова: материал на основе ЭВА; коэффициент расширения; механическая прочность; модель прочности; режимы формования; номограмма

Актуальность

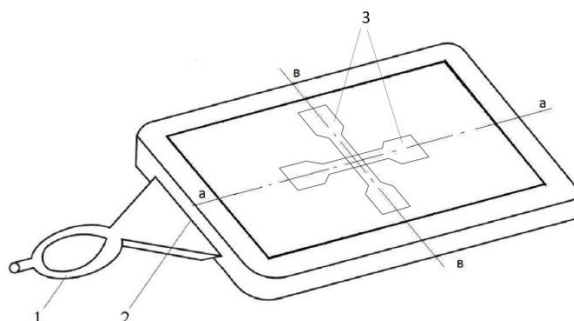
Для технологий производства обуви востребованы композиции, интерес к которым вызван их составом, внешним видом, экологичностью, инновационной функциональностью и др., то есть тем, что определяет срок службы изделий, удобство и комфорт при ходьбе. Индустрия обувных композиций располагает широким ассортиментом: сегодня можно выбрать тип материала, марку, производителя и импортера сырьевой базы. Неизменным остается требование к качеству и стоимости сырья. Применение композиционных материалов на детали обуви требует решения компромиссной задачи — соблюдение баланса между эстетической привлекательностью материала, его физико-механическими показателями и соблюдением температурных режимов обработки. Среди разнообразного ассортимента обувных материалов особый интерес представляют композиции на основе ЭВА, существенным преимуществом которых является возможность получения материалов низкой плотности, что снижает их расход на изделия, обеспечивает лёгкость обуви и её высокие теплозащитные свойства. Однако снижение плотности материала неизбежно приводит к падению его механической прочности [1]. Поэтому уменьшение плотности материалов ограничено требованиями к его механическим характеристикам, которые должны обеспечивать достаточную износостойкость и формоустойчивость обуви [2; 3].

При выборе режимов литьевого формования деталей обуви из ЭВА требуется обеспечить минимальный цикл литья и получение бездефектных изделий с заданным коэффициентом расширения [4; 5]. При этом влиянию режимов литьевого формования на показатели механической прочности изделий не уделяется должного внимания, что не позволяет в полной мере использовать достоинства пористых обувных материалов на основе ЭВА.

В настоящей работе рассмотрена модель влияния режимов литьевого формования на прочностные характеристики деталей обуви из ЭВА, что позволит при прочих равных условиях обеспечивать высокие механические свойства изделий при приемлемой длительности цикла формования. Такой подход разрабатывается в рамках подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Молофеевой Марией Александровной и предполагается к внедрению в учебный процесс кафедры «Технология и конструирование изделий из кожи и упаковочное производство» НТИ (филиала) РГУ им. А.Н. Косыгина в виде учебных пособий.

Методы исследования

Для решения поставленной задачи при разных технологических режимах изготавливались тестовые пластины из композиции на основе ЭВА марки Ecoline и определялись механические характеристики отформованных образцов. Пластины формовали на литьевой машине Evolution 500 KingSteel (КНР). Общий вид тестовых пластин, которые широко применяются для отработки режимов формования изделий из ЭВА, представлен на рисунке 1.



1 и 2 разводящий и впускной литники; 3 — положение образцов при испытании на разрыв

Рисунок 1. Тестовая пластина (авторский)

Прочностные свойства материала характеризовали показателем предела прочности при растяжении σ по ГОСТ 270-75. Для этого тестовые пластины раздваивали по толщине и вырубали из них образцы типа II, располагая резак в продольном (вдоль оси а-а) и поперечном (вдоль оси в-в) направлениях (рис. 1). Полученные образцы испытывали на растяжение на испытательной машине Shimadzu AGS 10, при этом за величину σ принимали среднее значение между показателями прочности образцов, расположенных на тестовых пластинах в продольном σ_1 и поперечном σ_2 направлениях. При определении показателей σ_1 и σ_2 испытывали не менее пяти образцов, отформованных при данных режимах, что обеспечивало погрешность показателей, не превышающую 5 %.

Результаты и обсуждение

Построение модели проводили на основе математических методов планирования и анализа эксперимента [6]. При этом исследуемым параметром являлся показатель σ , а воздействующими на него факторами температура литьевой формы T и длительность вулканизации t материала. Диапазоны варьирования факторов выбраны в соответствии с применяемыми на практике интервалами регулирования значений T и t при изготовлении различных изделий из ЭВА Ecoline. В соответствии с этим фактор T варьировали в диапазоне от 170 до 200°C, а t — от 260 до 450 с.

Предварительные эксперименты показали неадекватность линейной модели, поэтому нами составлена матрица планирования эксперимента второго порядка, в соответствии с которой формовались тестовые пластины и определялись показатели их прочности. После обработки экспериментальных данных и необходимых критериальных оценок, получено уравнение регрессии, которое в именованных величинах имеет вид:

$$\sigma = -7,27 \cdot 10^{-4} T^2 + (0,307 - 1,02 \cdot 10^{-4} t) T - 30,13 + 1,78 \cdot 10^{-2} t + 2,23 \cdot 10^{-6} t^2. \quad (1)$$

На рисунке 2 представлен геометрический образ полученной модели, который иллюстрирует общую картину исследуемых закономерностей. Из рисунка следует, что

факторы T и t оказывают существенное влияние на прочность формируемых изделий, вызывая изменения показателя σ от 1,34 до 1,79 МПа.

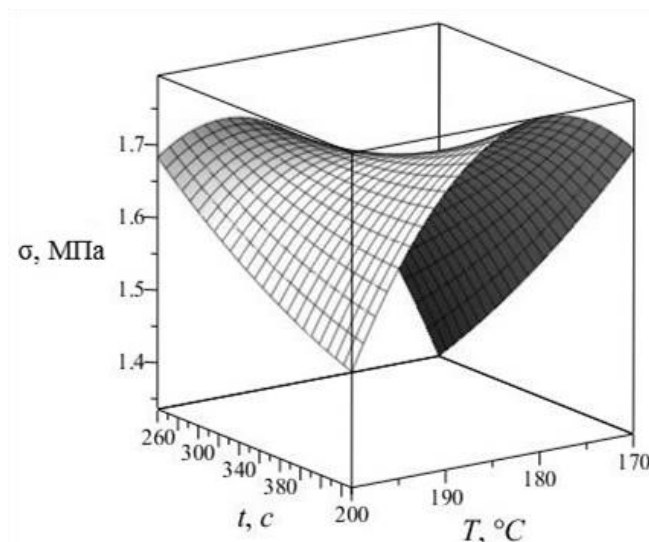


Рисунок 2. Геометрический образ зависимости параметра σ от факторов T и t (авторский)

Влияние одного из факторов (при среднем значении другого) на параметр σ представлено на рисунке 3, из которого следует, что температура формы T оказывает более существенное воздействие на параметр σ , чем длительность t вулканизации. Здесь следует отметить, что исследуемые тестовые пластины, как и детали обуви, являются плоскими изделиями небольшой толщины. Для таких изделий с ростом температуры формы резко интенсифицируются процессы структурирования материала [7], что приводит к повышению показателя его прочности σ . При этом зависимость σ от T имеет экстремальный характер (рис. 2, 3).

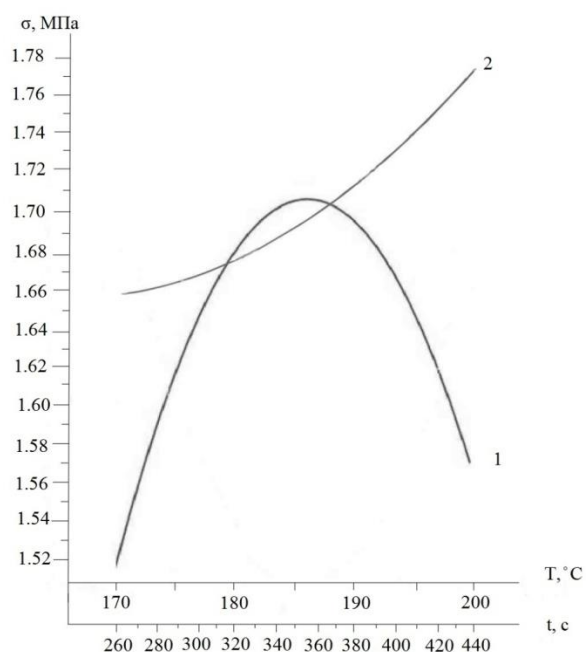


Рисунок 3. Зависимость показателя прочности σ материала от температуры T литевой формы при $t = 355$ с (кривая 1) и от длительности t вулканизации при $T = 185^\circ\text{C}$ (кривая 2) (авторский)

Влияние длительности вулканизации t на показатель σ существенно лишь при $T = 195 \dots 200^\circ\text{C}$ и $T = 170 \dots 175^\circ\text{C}$. Это объясняется тем, что увеличение длительности вулканизации при повышенной температуре литьевой формы приводит к интенсификации термодеструкции материала, сопровождающейся падением его механической прочности. Напротив, при увеличении длительности вулканизации в форме, имеющей пониженную температуру, процессы структурирования материала превалируют над его термодеструкцией, что приводит к повышению прочности вулканизата [7].

Количественная характеристика влияния факторов T и t на параметр σ представлена на рис. 4 в виде кривых равных значений показателя σ .

Полученные результаты позволяют найти максимумы параметра σ при различных значениях факторов T и t . Для этого продифференцируем по T уравнение (1) и, приравняв полученное выражение к нулю, найдём искомое уравнение, которое имеет вид

$$T = 211,14 - 0,07t. \quad (2)$$

Найденная линия максимумов параметра σ на рис. 4 показана пунктиром.

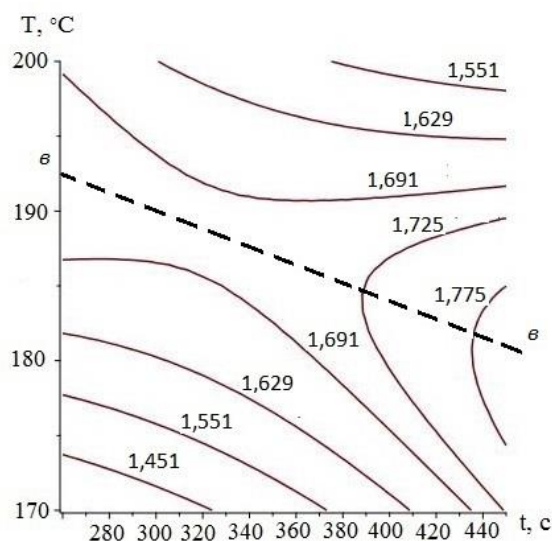


Рисунок 4. Кривые равных значений параметра σ и линия s - s его максимальных значений. Цифры у кривых — значения параметра σ (авторский)

Тогда, для определения численных значений σ_{\max} на линии максимумов, подставим выражение (2) в уравнение регрессии (1), в результате чего получим

$$\sigma_{\max} = 2,280 - 37,3 \cdot 10^{-3}t + 5,8 \cdot 10^{-6}t^2. \quad (3)$$

Представив зависимость параметра σ_{\max} от обоих факторов T и t , используя их взаимосвязь, определяемую выражением (2), можно получить номограмму (рис. 5).

Номограмма удобна для практического выбора режимов литьевого формования изделий из ЭВА. При этом очевидно, что наибольшее значение показателя прочности $\sigma_{\max}^* = 1,79$ МПа материала достигается при $T = 187^\circ\text{C}$ и $t = 450$ с. Однако следует заметить, что значения σ_{\max} на линии максимумов незначительно ниже величины σ_{\max}^* . Так, при $T = 193^\circ\text{C}$ и $t = 260$ с параметр σ_{\max} меньше σ_{\max}^* лишь на 6 %. Поэтому выбор режимов литьевого формования можно проводить с учётом требований к производительности процесса изготовления изделий.

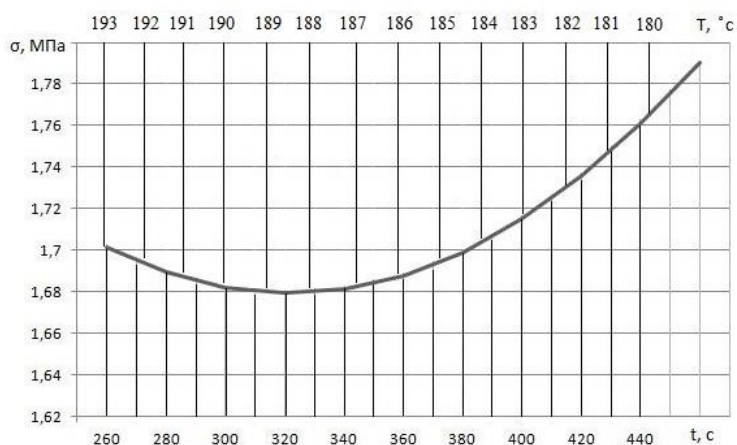


Рисунок 5. Номограмма для выбора режимов литьевого формования деталей обуви из ЭВА (авторский)

Выводы

Таким образом предложена модель оценки влияния температуры литьевой формы и длительности вулканизации на показатель механической прочности деталей обуви из материала на основе ЭВА. Модель показывает, что в пределах всего диапазона варьирования длительности процесса вулканизации (от 260 до 450 с) максимальные значения показателя прочности материала достигаются при температуре литьевой формы в интервале от 180 до 192°C. Полученные результаты позволяют выбирать технологические режимы изготовления изделий, обеспечивающие их высокую механическую прочность при заданной производительности процесса литьевого формования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карабанов, П.С. Моделирование свойств обувных пористых материалов на основе ЭВА / П.С. Карабанов, А.В. Кукарчук, О.Д. Мещерякова // Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности. — 2022. № 1. — С. 97–100.
2. Мельниченко, М.А. Получение вспененных композиционных материалов на основе вторичных полимеров / М.А. Мельниченко, Л.В. Чупрова, О.А. Мишурина // Современные наукоёмкие технологии. — 2015. № 9. — С. 52–55.
3. Колосова, А.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // А.С. Колосова, М.К. Сокольская, И.А. Виткалова, А.С. Торлова, Е.С. Пикалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2018. № 5–1. — С. 245–256.
4. Карабанов, П.С. Анизотропия показателя расширения формованных деталей обуви из вспенивающихся материалов на основе ЭВА / П.С. Карабанов, В.О. Скрипин, А.А. Северинов // Известия вузов. Технологии лёгкой промышленности. — 2021. — № 1. — С. 51–55.
5. Фадеев, В.П. Методы исследования пористых структур / В.П. Фадеев, К.С. Самохина // Интер-журнал «Науковедение». — 2015. № 4.
6. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента / В.Б. Тихомиров. — Москва: Лёгкая индустрия, 1974. — 262 с.
7. Белозеров, Н.В. Технология резины / Н.В. Белозёров. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Химия, 1979. — 472 с.

Karabanov Petr Stepanovich

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)
Novosibirsk Institute of Technology (branch), Novosibirsk, Russia
E-mail: p.s.karabanov@mail.ru

Kostyleva Valentina Vladimirovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia
E-mail: kostyleva-vv@rguk.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=353612

Molofeeva Maria Alexandrovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)
Novosibirsk Institute of Technology (branch), Novosibirsk, Russia
E-mail: molofeeva.masha@mail.ru

Borozdina Galina Alexandrovna

Russian State University named A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)
Novosibirsk Institute of Technology (branch), Novosibirsk, Russia
E-mail: galyaborozdina@yandex.ru

Modeling the mechanical strength of shoe parts from porous materials based on EVA

Abstract. It is shown that porous shoe materials based on EVA have a number of advantages over monolithic ones (reduction in material consumption, lightness of products, high heat-shielding properties). However, with a decrease in the density of the material, their mechanical characteristics decrease, which, among other things, are determined by the technological modes of molding the product. The paper proposes a model for the influence of mold temperature and vulcanization duration on the mechanical strength of molded products. Modeling was carried out on the basis of mathematical methods of planning and analysis of the experiment, for which test plates were formed under various modes according to the planning matrix. The simulation results are presented in the form of geometric images of the influence of molding modes on the mechanical strength of products, and curves of equal strength values. The developed model shows that with a certain ratio of injection molding modes, it is possible to obtain products of maximum strength. A nomogram has been proposed for the practical selection of molding modes that provide the specified strength indicators for products and an acceptable duration of vulcanization. In this case, the choice of molding modes can be carried out taking into account the requirements for the productivity of the process of manufacturing products.

Keywords: material based on EVA; expansion factor; mechanical strength; strength model; molding modes; nomogram