

тягучесть которого в поперечном направлении в 15 раз превышает способность к растяжению в продольном направлении, что обусловлено особенностями строения и производства данного материала (производится на основе

техники мультислойной экструзии, при которой расплавленная термопластическая масса соединяется прямым контактом с нетканым материалом).

Таблица 2

Механические свойства термопластических материалов

Наименование материала, направление раскроя	Нагрузка при разрыве $P_{раз}$, Н	Предел прочности σ , МПа	Относительное удлинение при разрыве $\epsilon_{раз}$, %	Жёсткость при растяжении D_y , Н	Жёсткость при изгибе $P_{из}$, сН	Упругость $U_{из}$, %
TERMO 684/CC продольное поперечное	215,8 143,0	12,9 8,5	11,0 12,3	2056 1218	194,0 226,6	90 90
BICAL 12 продольное поперечное	257,4 253,9	10,73 10,58	23,0 23,3	1373 1090	561,0 865,5	90 90
GEMINI 115/NL продольное поперечное	372,7 388,3	14,7 15,3	8,3 10,0	5727 4734	360,8 523,6	90 90
FLEXAN 41/OP продольное поперечное	165,1 126,1	12,7 9,7	22,5 337,5	735 36	46,2 95,5	90 90
NEOTEX 0/OP продольное поперечное	318,1 303,3	19,9 18,9	9,7 9,3	3310 3291	197,6 232,9	85 90
NEOTEX 00/OP продольное поперечное	252,2 200,2	19,4 15,4	22,0 17,7	929 915	96,8 120,1	85 90

Как показал анализ полученных данных, между показателями жёсткости при растяжении и изгибе отсутствует тесная взаимосвязь. В целом, наиболее высокие показатели жёсткости отмечаются у термопластических материалов марок GEMINI 115/NL и BICAL 12. Это позволяет предположить, что задники из данных марок материалов будут в максимальной степени обеспечивать сохранение формы и устойчивость пяточной части обуви к оседанию вблизи грани следа в процессе носки обуви.

Среди материалов для подносков наибольшей толщиной, жёсткостью и сравнительно низкой деформационной способностью характеризуется марка NEOTEX 0/OP. Наименьшей жёсткостью обладает термопластический материал марки FLEXAN 41/OP. Учитывая это, наиболее целесообразным представляется использование марки NEOTEX 0/OP в качестве подносков мужской обуви, обуви с объёмной носочной частью и специальной обуви, подверженных в процессе эксплуатации значительным силовым воздействиям. Применение термопластических материалов марок NEOTEX 00/OP и FLEXAN 41/OP в качестве подносков детской и женской обуви позволит обеспечить достаточную жёсткость и формоустойчивость носочной части обуви и при этом не будет значительно утолщать пакет верха обуви.

Все исследованные термопластические материалы обладают высокими значениями упругости и достаточной способностью к восстановлению формы после деформирования.

Таким образом, результаты проведённых испытаний показали, что по комплексу показателей механических свойств все исследованные марки термопластических материалов удовлетворяют требованиям, предъявляемым к материалам задников и подносков. Полученные данные о качественных характеристиках материалов позволяют осуществлять рациональный подбор комплектующих обуви с учётом её целевого назначения, вида, рода и конструктивных особенностей.

Библиографический список

1. Жихарев А.П., Краснов Б.Я., Петропавловский Д.Г. Практикум по материаловедению в производстве изделий лёгкой промышленности: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. А.П. Жихарева. – М.: Академия, 2004. – 464 с.

УДК 685.34.025

А.Н. Буркин, В.Д. Борозна

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ФОРМОВАНИЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХА ОБУВИ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ ЕЁ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА

Процесс сборки обуви и в основном формования верха обуви во многом определяет её качество. Оценить эффективность проведения режимов формования можно по внешнему виду обуви: усадке, искажению геометрических размеров, перекоосу швов, разрушению деталей и разрыву швов, вылеганию задника и подноски и т.п. Кроме того, есть ещё и дефекты, которые скрыты и проявляются лишь в процессе носки обуви – это быстрая потеря формы обуви (растопывание, сваливание верха на наружную и внутреннюю стороны, складкообразование на союзочной части верха, оседание задника и подноски), разрушение деталей верха и швов, скрепляющих их и т.д. Известно, что основным дефектом, из перечисленных выше, является потеря формы (низкая формоустойчивость) обуви после её изготовления в процессе хранения и носки. Как показали исследования, проведённые в последнее время, примерно половина из всех дефектов обуви связана с неправильным выполнением режимов формования. Значительная доля этих дефектов приходится на низкую формоустойчивость.

Формоустойчивость обуви закладывается в процессе её сборки при операциях технологического процесса, предшествующих формованию, собственно формования и фиксации верха обуви. В зависимости от способа формо-

вания и способа закрепления затяжной кромки заготовки количество таких операций может быть разным. Многообразие операций технологического процесса и показателей качества для их оценки требует комплексного решения подобного рода задач.

Решение таких задач может осуществляться с применением методов векторной оптимизации [1]. Задача обеспечения достаточной формоустойчивости обуви может быть сформулирована в следующем виде:

$$(q_1(X), q_2(X), \dots, q_k(X)) \rightarrow \max, \\ X \in D \\ D: h_j(X) \geq 0 \quad (j = 1, \dots, m), \quad (1)$$

где $q_i(X)$ ($i = 1, \dots, k$) – показатели качества (критерии) формоустойчивости обуви; $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – параметры формования; D – область их применения, ограниченная физическими и технологическими возможностями, $h_j(x) \geq 0$ ($j = 1, \dots, m$).

Формальным решением задачи многокритериальной оптимизации (1) является множество Парето P (решение X' принадлежит множеству P , если не найдётся другое решение $X'' \in B$, для которого значение хотя бы по одному критерию качества более предпочтительно и остальные имеют значение не хуже чем X'). Для выбора компромиссного решения X^{**} из множества P необходимы получение и обработка дополнительной информации J , которой располагают эксперты по проблематике формования и формоустойчивости обуви.

Можно выделить три основных подхода при решении задач многокритериальной оптимизации: априорный, апостериорный и адаптивный. Целью первых двух является сведение многокритериальной задачи к однокритериальной путём соответствующей свёртки критериев в один – глобальный. Априорный подход используется в случаях, когда информация о системе предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР), достаточна для построения глобального скалярного критерия, по которому осуществляется выбор компромиссной альтернативы. Апостериорный подход применим, если имеются предположения о функции предпочтения. Однако наиболее универсальным следует считать адаптивный или человеко-машинный подход, т.к. он наиболее эффективно позволяет осуществить поиск компромиссного решения, учитывая объём и вид знаний, располагаемых ЛПР.

$$q'_2(X, A_2) = \begin{cases} q_2(X, A_2), & \text{если } q_2(X, A_2) \leq 6; \\ 6 - (6 - q_2(X, A_2)), & \text{если } 6 < q_2(X, A_2) \leq 11; \\ 100/89 - 1/89 \cdot q_2(X, A_2), & \text{если } 11 < q_2(X, A_2) \leq 100. \end{cases} \quad (5)$$

Множество P является формальным решением задачи:

$$[q_1(X, A_1), q'_2(X, A_2)] \rightarrow \max X \in B. \quad (6)$$

Определение точек этого множества возможно с применением идеи глобального критерия:

$$Q[q_1(X, A_1), q'_2(X, A_2), \lambda], \quad (7)$$

где $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2)$ – вектор параметров свёртки. При выпуклых функциях $q_1(\cdot)$, $q_2(\cdot)$ и выпуклой допустимой области B есть область, где $X^* \in P$ находится как решение задачи (7):

$$Q[q_1(X, A_1), q'_2(X, A_2), \lambda] \rightarrow \max X \in B. \quad (8)$$

Варьируя значениями вектора λ и решая соответствующие задачи (8), можно получить некоторую сетку точек (P'), принадлежащих множеству P .

Структура $Q(X)$ может быть различной. Наиболее распространён линейный способ агрегации:

Поясним методику применения указанных подходов на конкретном примере. Рассмотрим двухкритериальную задачу обеспечения формоустойчивости обуви. В качестве критериев выбрана статическая ($q_1(X) = q_1(\cdot)$) и динамическая ($q_2(X) = q_2(\cdot)$) формоустойчивость для бесполочной обуви внутреннего способа формования после её производства, в процессе хранения, и устойчивость обуви при её носке. Варьируемыми параметрами технологического процесса формования заготовок верха обуви являются относительная влажность кожи (x_1), относительная деформация материала верха при формовании (x_2), температура воздуха заготовки на колодке (x_3) в Кельвинах. Интервалы варьирования параметров x_1, x_2, x_3 установили следующие:

$$\begin{aligned} 18 \leq x_1 \leq 27 \\ 5 \leq x_2 \leq 15 \\ 50 \leq x_3 \leq 390 \end{aligned} \quad (2)$$

При построении моделей $q_i(X, A_i)$ ($i=1, 2$) можно воспользоваться:

– методом наименьших квадратов:

$$\sum_{j=1}^n [q_i - q_i(x_j, A_i)]^2 \rightarrow \min A_i, \quad (i=1, 2), \quad (3)$$

где A_i – вектор определяемых параметров функции $q_i(X, A_i)$; n – число опытов;

– алгоритмическими методами (например, многомерной линейной экстраполяции). Последний вариант целесообразно применять при малом объёме статистики, в ситуации «информационного голода».

Структура моделей $q_i(X, A_i)$ ($i=1, 2$) была выбрана в виде полинома второй степени. Решением задачи 3 и анализом значимости коэффициентов полиномов установили следующие выражения математических моделей:

$$\begin{aligned} q_1(X, A_1) &= -24,26 + 0,99 x_1 + 0,96 x_2 + 0,15 x_3, \\ q_2(X, A_2) &= -46,33 + 2,72 x_1 - 0,62 x_2 + \\ &+ 0,17 x_3 - 0,02 x_1 x_2 - 0,01 x_1 x_3. \end{aligned} \quad (4)$$

Известно, что при носке обувь изменяет свои размеры в пучковой части на 5–7 % [3]. Примем 6 % как оптимальную величину. Для того чтобы большим значениям $q_i(X, A_2)$ соответствовало лучшее качество изделия, осуществим следующее преобразование:

$$Q = [q_1(X, A_1), (q'_2(X, A_2), \lambda)] = \lambda_1 q_1(X, A_1) + \lambda_2 q_2(X, A_2). \quad (9)$$

Однако для получения более равномерной сетки P' (в пространстве критериев) используется рациональное свёртывание:

$$\begin{aligned} Q[q_1(X, A_1), (q'_2(X, A_2), \lambda)] &= \\ &= [\lambda_1 q_1(X, A_1)^{\lambda_0} + \lambda_2 q_2(X, A_2)^{\lambda_0}]^{1/\lambda_0}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2)$.

На базе решений P' ЛПР может осуществить выбор компромиссного решения. Однако представление решений P' ЛПР эффективно, если число критериев $k=2$. В других случаях ЛПР трудно разобраться в имеющихся альтернативах, поэтому используются специальные методы векторной (многокритериальной) оптимизации. Далее проиллюстрируем

применение априорного, апостериорного и адаптивного подходов при выборе компромиссного решения X^{**} множества P .

При использовании априорного подхода необходимо иметь дополнительную информацию J для установления значений вектора параметров свёртки λ^* , соответствующих компромиссному решению. Часто наиболее удачным является другой путь – применение функции желательности. Для этого осуществим преобразование значений критериев в безразмерную шкалу желательности (таб.).

Соответствие между значениями критериев в физической шкале и шкале желательности

Желательность, значение критерия	Оценка по шкале желательности	$q_1(X, A_1)$, %	$q_2(X, A_2)$, %
Очень хорошо	0,80–1,00	82–100	5,00–6,00–7,00
Хорошо	0,63–0,80	75–82	4,50–5,00;
Удовлетворительно	0,37–0,63	65–75	7,00–7,50
Плохо	0,20–0,37	57–65	3,75–4,5;
Очень плохо	0,00–0,20	< 57	7,50–8,25
			3,10–3,75;
			8,25–8,90
			< 3,10; > 8,90

$$\hat{q}_1(X) = \exp\left\{-\left[\frac{1}{35}(100-q_1(X, A_1))\right]^{2,3}\right\},$$

$$\hat{q}_2(X) = \exp\left\{-\left[\frac{4}{9}(6-q'_2(X, A_2))\right]^{1,9}\right\},$$
(11)

где $\hat{q}_1(X), \hat{q}_2(X)$ – значения критериев по шкале желательности.

Выбор компромиссного решения $X^{**} \in P$ осуществляется решением задачи:

$$N(X) = N(\hat{q}_1(X), \hat{q}_2(X)) \rightarrow \max_{X \in P},$$
(12)

где $N(X) = N(\cdot)$ – обобщённая функция желательности. Структура $N(X)$ обычно выбирается в виде мультипликативной функции:

$$N(X) = \left[\prod_{i=1}^2 \hat{q}_i(X)\right]^{0,5}.$$
(13)

С учётом (13), решая задачу (12) для моделей (4), получим следующее компромиссное решение:

$$X^{**} = (30, 17, 370), \quad q_1(X^{**}, A_1) = 79,5, \quad q'_2(X^{**}, A_2) = 5,45.$$

Таким образом, в зависимости от сложности решаемых задач можно воспользоваться тем или иным методом векторной оптимизации с целью определения режимов формирования заготовки верха обуви.

Библиографический список

1. Габасов Р.Ф., Кириллова Ф.М. Методы оптимизации. – Минск: Изд-во БГУ, 1981. – 350 с.
2. Буркин А.Н. Оптимизация технологического процесса формирования верха обуви: монография. – Витебск: УО «ВГТУ», 2007. – 220 с.
3. Конструирование изделий из кожи: учебник для студентов / Ю.П. Зыбин, В.М. Ключникова, Т.С. Кочеткова, В.А. Фукин. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. – 264 с.

УДК 685.34.024

Т.М. Борисова, А.А. Науменко

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОЧНОСТЬ КРЕПЛЕНИЯ КАБЛУКА В ОБУВИ ШТИФТОВЫМ МЕТОДОМ

Известен ряд методов крепления каблука в обуви. Самым распространённым в настоящее время является штифтовый метод крепления, в котором в качестве штифтов применяются гвозди, прикрепляющие каблук изнутри. В соответствии с действующими стандартами прочность крепления каблука определяется по усилию отрыва. Основными технологическими параметрами гвоздевого крепления каблука, от которых зависит прочность его крепления, являются число гвоздей и их длина, выражаемая номером. Между прочностью P крепления каблука и числом гвоздей n существует зависимость:

$$P = S n^m,$$
(1)

где S – прочность, определённая экспериментально при $n=1$; m – коэффициент неравномерности, принимаемый 0,9 [1].

Однако при носке обуви прочность P обуславливается не только величинами S, n и m . Для того чтобы выявить дополнительные факторы, влияющие на прочность крепления каблука при носке обуви, рассмотрим картину напряжённо-деформированного состояния системы, включающей три элемента: каблук, гвоздь и стельку. Рассмотрим, какие силы действуют на каблук, прибитый гвоздём к стельке.

Прежде всего, внутри каблука действуют силы трения между стержнем гвоздя и материалом каблука. Эти силы обнаруживаются при извлечении гвоздя из каблука. Обозначим силу, которую необходимо приложить к гвоздю для извлечения его из каблука, через F_r . Гвоздь, пробивший стельку и вбитый в каблук, своей шляпкой вызывает сжатие стельки. Оно, также как и сила F_r , обеспечивает прочность прикрепления каблука к стельке. Силу, вызывающую сжатие стельки и создающую давление с её стороны на каблук, обозначим F_c . Обратим внимание на то, что способность стельки противостоять сжимающему действию шляпки гвоздя зависит от свойств материала стельки и может быть охарактеризована модулем объёмного сжатия стельки M . При носке на стельку оказывается давление, создаваемое весом человека и другими силами с его стороны. Обозначим его через P_d . Совершенно очевидно, что на прочность крепления каблука, прибитого к стельке, будет влиять фактор времени t , в течение которого давление на каблук со стороны стельки остаётся отличным от нуля. Этот фактор будет воздействовать даже при отсутствии носки, т.к. стелька, будучи прибитой к каблуку гвоздём, будет давить на него с силой F_c . Безусловно, действие времени следует рассматривать не само по себе в абсолютном смысле, а лишь на фоне срока службы изделия. Поэтому введём и эту величину, обозначив её через τ . В итоге можно ввести такую формулу:

$$P = f[F_r, F_c, P_d, M, t, \tau].$$
(2)

Поставим вопрос: существует ли функция, соответствующая этой формуле? Ответ на него можно получить, проведя анализ размерностей группы величин, входящих в эту формулу. Техника проведения такого анализа известна, например, из [1]. Используя её, выполним следующее.

Введём систему единиц измерений (которая может быть совершенно произвольной), содержащую в качестве основных единицу силы – ньютон, единицу длины – метр, единицу времени. Обозначим их, соответственно, через N, L, θ . Выразим в этой системе размерности всех величин, входящих в (2), и построим соответствующие формулы размерностей. Все записи сведём в таблицу.