

ТОВАРОВЕДЕНИЕ И ЭКСПЕРТИЗА ТОВАРОВ

А.Н. БУРКИН, К.Г. КОНОВАЛОВ, М.И. ДОЛГАН

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Как и любой материальный объект, обувь в процессе эксплуатации подвергается износу, причем наиболее изнашиваются наружные детали низа, имеющие непосредственный контакт с опорной поверхностью. Работа деталей низа связана с их истиранием, многократным изгибом и давлением. Изнашивание подошвы проявляется в основном лишь в уменьшении толщины и крайне редко — в изломе, выкрошивании ее отдельных фрагментов. Под *износостойкостью* подошвы принято понимать изменение ее толщины в процессе носки обуви. Остановимся на работе подошвы при ходьбе человека, в ее наиболее нагруженной части — пучковой [1].

При описании механизма ходьбы человека принято различать движущуюся и опорную ноги. Выдвинутая вперед нога опускается на опору обычно только пяткой, а затем наступает момент, когда тело опирается о землю обеими ногами (одна пяткой, другая фалангами). В следующий момент качающаяся нога соприкасается с опорой уже всей плантарной поверхностью. При этом обычно мышцы плантарной поверхности, сгибающие стопу, сокращаются, в результате чего стопа не только отделяется от опоры, но и отталкивается пальцами, что увеличивает скорость поступательного движения тела. Из опорной нога становится качающейся и сначала путем сокращения мышц, сгибающих бедро, приближается к фронтальной плоскости тела, затем выдвигается вперед, чтобы, создав телу новую опору, предохранить его от падения.

При ходьбе периоды опоры правой и левой ног в одном цикле движения не всегда одинаковы. Соотношения между интервалами времени периодов опоры при ходьбе и беге также неодинаковы как у разных людей, так и у одного и того же человека. В среднем затраты времени составляют одну секунду на один шаг. При ходьбе период опоры на пятку в среднем равен 7 %

Александр Николаевич БУРКИН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой стандартизации Витебского государственного технологического университета;

Константин Георгиевич КОНОВАЛОВ, аспирант Белорусского государственного экономического университета;

Мария Ивановна ДОЛГАН, магистрант Витебского государственного технологического университета.

всего периода опоры; на всю стопу — 33 %, на переднюю часть стопы — 60 %. Более чем у 50 % людей наибольшее усилие приходится на период, при котором происходят опора на пятку и отталкивание пальцами от опоры.

Во время движения стопа изгибается в голеностопном и плюснефаланговом сочленениях, а при изменении нагрузки на стопу и движении человека, т. е. сгибании и разгибании стопы, ее размеры — изменяются, а следовательно, и механические воздействия на низ обуви.

Радиус изгиба подошвы зависит от конструкции обуви, физико-механических свойств используемых материалов, а также от толщины и жесткости низа. Известно, что при изгибе относительное удлинение подошвы может составлять 16 % для натуральной кожи, а для резин — до 25 % [1]. Немаловажным фактором износа является удельное давление, которое во многом зависит от массы человека, его походки и т. д. Удельное давление колеблется в довольно широких пределах: от $2 \cdot 10^4$ до $6 \cdot 10^6$ Па и обычно составляет около $2 \cdot 10^5$ Па — в пучковой части обуви. Чем больше удельное давление, тем интенсивнее износ. Г.И. Кутяниным [2] было установлено, что площадь контакта с опорной поверхностью для кожаной подошвы (при нагрузке $5,5 \cdot 10^6$ Па) составляет всего 2—3 % площади касания с опорой, и фактическое удельное давление достигает $2 \cdot 10^6$ Па. При этом температура мгновенно повышается до 80—100 °С, что также способствует разрушению подошвы. Трение скольжения подошвы в этом случае присутствует только тогда, когда передаваемое на опорную поверхность горизонтальное усилие, развиваемое человеком при движении, больше силы трения. Известно, что горизонтальная составляющая опорного усилия достигает максимальной величины в начале и конце периода опоры, в такие моменты наиболее вероятно скольжение обуви по опорной поверхности, что приводит к быстрому износу низа обуви в носочной и пяточной частях.

При ходьбе по горизонтальной поверхности наблюдается трение качения, возникающее при перекате стопы — в интервал времени между моментами отрыва пяточной и носочной частей от опоры. В этом случае материал подошвы также изнашивается в результате вдавливания твердых частиц опорной поверхности в материал. Этот процесс сопровождается повышением температуры, разрушением межмолекулярных связей и значительными разрывами поверхностного слоя материала, что также приводит к износу низа обуви.

Топография износа подошвы зависит от характера распределения давления стопы на опорную поверхность. Наибольший износ наблюдается под плюснефаланговым сочленением и первым пальцем стопы. Во время эксплуатации обуви опорные участки стопы давят на стельку и через нее на простилку и при этом вдавливают подошву в опору, что и приводит к местному истиранию.

Интенсивность износа подошвы из разных материалов неодинакова. В процессе опытных носок Н.Д. Закаевой [1] было установлено, что на 1 мм монолитная резиновая подошва истирается за 60—80 дней. В отличие от нее кожаная подошва изнашивается неравномерно — по слоям, причем было установлено, что сопротивление износу подошв из кож хромового метода дубления в 1,5 раза выше, чем из кож таннидного и хромтаннидного дубления. Скорость изнашивания подошв обусловлена многими факторами: категорией носчиков, характером опорной поверхности, временем года, метеорологическими условиями, а также уходом за обувью.

На износостойкость подошвы влияют также амортизационные свойства низа обуви, т. е. способность материалов поглощать часть нагрузки и распределять ее по площади подошвы. Амортизация низа обуви меняется в зависимости от твердости и толщины материалов. При повышении тол-

щины и уменьшении твердости подошвы увеличивается площадь активной опоры, т. е. уменьшается удельная нагрузка.

Следует отметить, что фундаментальные исследования износостойкости подошв проводились достаточно давно (в середине прошлого века) на материалах, которые в настоящее время практически не используются в производстве обуви. Появление современных материалов для низа обуви, поливинилхлоридов, термоэластопластов и полиуретанов, требует новых подходов к оценке износостойкости и обновления знаний о достаточно сложном процессе износа полимеров, имеющих иные структуру и свойства, нежели натуральная кожа и резина [3].

У резиновых подошв в процессе эксплуатации износ выражается в виде излома, выкрошивании, износа (потере толщины). Излом обычно происходит в пучках в области наибольшего изгиба подошвы, т. е. участке, в котором подошва подвергается максимальным напряжениям и деформациям. Кроме того, могут образовываться трещины по всей площади пучковой части подошвы из-за неустойчивости резины к многократно чередующимся деформациям сжатия и изгиба. Выкрошивание резиновой подошвы происходит, как правило, в носочном участке и по урезу с полевой и внутренней стороны в пучках. При этом в носочном участке может происходить откол резины по линии крепления. Износ (потеря толщины) резиновых подошв в условиях эксплуатации имеет такой же характер, что и у кожаных подошв, так как определяется теми же факторами. Наибольший износ подошвы происходит в трех участках: в носочной части под большим пальцем, в пучках под бугорками плюсовых сочленений с внутренней стороны и с внешней стороны пучков [4].

Резиновая подошва однородна по толщине, что обуславливает одинаковую износостойкость для всей толщины подошвы как при испытании на лабораторных приборах, так и при изнашивании в эксплуатации. А поскольку для подошвенной резины характерны упругие деформации и она плохо приформовывается к следу обуви, рельеф из-за различной потери толщины в разных зонах образуется на ходовой поверхности подошвы, а не на внутренней, как у кожи.

Следует отметить, что интенсивность изнашивания резиновой подошвы при одинаковых ее свойствах, так же как и кожаной, зависит от категории носчиков, условий носки и конструкции низа обуви.

Рассмотрим процесс износа подошвы как материального объекта и попробуем подойти с позиции теоретической механики. Любое твердое тело обладает набором особых (специфических) свойств: жесткость, прочность, твердость и т. п. Деформируемое твердое тело — это один из компонентов многочисленных и разнообразных механических систем. Например, простейший случай сжатия двух неподвижных тел является контактной задачей в теории упругости. Механика контактного взаимодействия проявляется во всем своем многообразии в системе *подошва-опора*: это и статика, и динамика процесса ходьбы.

По мнению некоторых исследователей, при изгибании системы деталей низа справедлива гипотеза плоских сечений, при условии упругого деформирования на поверхности цилиндра с радиусом кривизны в 50 мм [5, 15—17]. Это позволит нам исключить ряд допущений, которые неизбежно возникают при постановке подобного рода задач.

Рассмотрим оценку эксплуатационных свойств подошв с позиции трибологии (рис. 1), т. е. представим подошву как одну из деталей узла трения (подошва-опора). Эксплуатационную надежность (долговечность) подошвы в этом случае можно оценить по критерию-износу (T). В этом случае расчет износостойкости подошвы имеет вид

$$p \rightarrow N(p) \rightarrow I(p) \left. \vphantom{p \rightarrow N(p) \rightarrow I(p)} \right\} T(p, p_f, N_p, I_p),$$

где p — контактное давление, Па; $N(p) = N_p$ — долговечность по критерию износостойкости, дни/мм; $I(p) = I_p$ — интенсивность изнашивания при действии p ; p_f — предельное контактное давление (предел контактной усталости), Па.

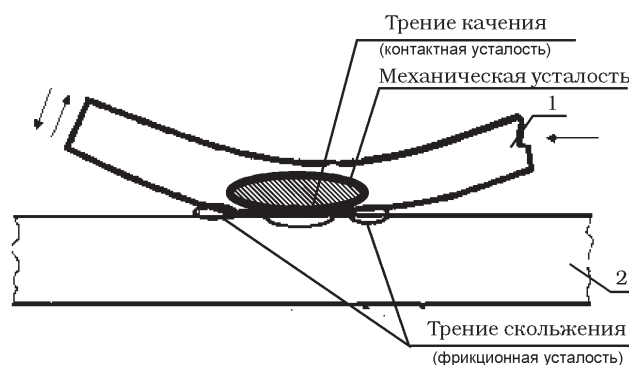


Рис. 1. Схема взаимодействия подошвы с опорой при ходьбе:
1 — подошва; 2 — опора

Контактное давление — это давление, распределенное по поверхности соприкасающихся твердых тел, имеющей следы местной деформации от сжатия.

Износостойкость (износоустойчивость) — это сопротивление материалов и других трущихся изделий изнашиванию. Она оценивается при эксплуатации или во время испытаний по длительности работы материалов или изделий до заранее заданного или предельного износа.

Истираемость материала характеризуется величиной потери первоначальной массы, отнесенной к 1 м^2 площади.

Износ — разрушение материала при совместном воздействии истирания и удара. Прочность при износе оценивается потерей массы, выражаемой в процентах.

Под долговечностью по критерию износостойкости понимается срок службы подошв до их физического износа, который обычно измеряют в дни/мм. В последнее время не встречаются публикации по опытным носкам обуви, в которых производилась бы оценка износостойкости современных подошвенных материалов.

Предельное контактное давление или напряженное состояние, при котором происходит разрушение материала подошвы в процессе сжатия, определяется в Па. Это малоисследованная область для современных полимерных материалов, как и истинная (реальная) площадь контакта подошвы с опорой.

Интенсивность изнашивания при действии контактного давления измеряют лабораторными методами. Показатель, используемый для этой цели, называют *истираемостью*. Он может иметь разную размерность в зависимости от применяемых методов и средств измерений. Ниже будут приведены некоторые наиболее распространенные методы исследования истираемости подошвенных материалов. Следует отметить, что описание различных приборов для испытания на истирание приведены в работах Н.Д. Закатовой, А.Д. Кукаркина, Н.Н Черникова, Е.С. Овечкиса. Однако принципиальные различия в конструкции приборов вызывают большие расхождения или полную несравнимость результатов испытания.

Предложенные выше подход и оценка износостойкости подошвенных материалов необходимы для того, чтобы определить, насколько адекватно можно использовать имеющиеся технические нормативные правовые акты (ТНПА). Проиллюстрируем сказанное выше с позиции наиболее распространенных методов и средств измерения износостойкости подошвенных материалов.

Из имеющихся в наличии прибор МИ-2 является в настоящее время наиболее распространенным. Сопротивление истиранию резин определяют на нем в режиме скольжения. На приборе МИ-2 (рис. 2) два образца 8, закрепленные на рычаге 9, прижимаются к шлифовальному полотну 2, прикрепленному к вращающемуся диску 1. Рычаг имеет ось 3, помещенную в полум валу диска. К шлифовальному полотну образцы прижимаются силой, создаваемой грузом 7, соединенным гибкой тягой с осью 3. На рычаге 9 подвешивается груз 10, уравнивающий силу трения и удерживающий рычаг в горизонтальном положении [6].

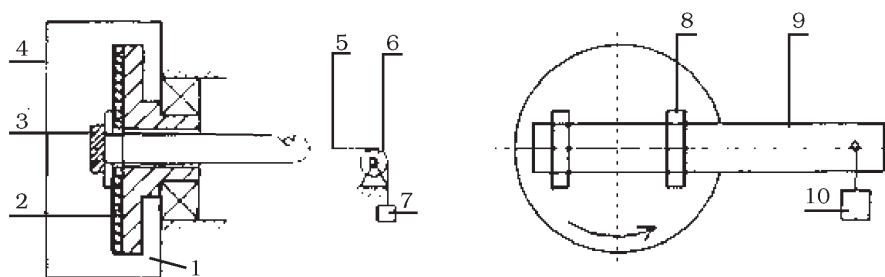


Рис. 2. Схема прибора МИ-2

Образцы резины до начала испытания взвешивают. Затем их истирают в течение 10 минут (400 оборотов шлифовальной шкурки), после чего взвешивают вторично.

Сопротивление истиранию β , Дж/мм³, вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{A}{\Delta V} K,$$

где A — работа трения, Дж; V — уменьшение объема резины за время испытания, мм³; K — коэффициент, учитывающий истирающую способность шкурки.

Сопротивление истиранию подошвенных резин составляет 2,5—6 Дж/мм³. На сопротивление истиранию существенно влияет состав резин, главным образом, вид и количество каучука и наполнителей. Обычно резины, содержащие сажи, имеют большее сопротивление истиранию, чем резины, наполненные каолином или другими неактивными наполнителями.

При испытании натуральных кож за сопротивление истиранию принимается число оборотов диска, необходимое для истирания 1 мм ее толщины. Обычно этот показатель составляет не менее 150 об/мин.

На приборе ИКВ конструкции А.И. Позняка (рис. 3) кожу истирают зернами кварцевого песка при трении качения во влажных условиях [7; 8]. Образец 3 закрепляют одним концом на секторе 4 зажимом 2, другим концом прикрепляют зажимом 5 к дну ванны 1 с увлажненным песком. Ванна 1 связана с шатуном 6 и с помощью механизма 7 совершает возвратно-поступательное движение с частотой 104 двойных хода в минуту. Усилие p , действующее на сектор 4, равно 250 Н.

В приборе А.И. Позняка зерна истирающего тела не укреплены, а подвижны, поэтому врезающееся зерно не прорезает всего образца, перемещающегося относительно него по принципу трения качения, а в зависи-

мости от упругих свойств кожи остается в нем или выталкивается. Поверхность образца, изношенного на приборе Позняка, обычно имеет такой же вид, как и после износа в процессе эксплуатации. Кроме того, испытания на этом приборе производят во влажном состоянии, что приближает их к износу в эксплуатации. Такие особенности испытания обуславливают значительную корреляционную связь (0,7) между показателями устойчивости кож к износу на приборе Позняка и износостойкости их в эксплуатации, поскольку в реальных условиях износ может происходить как в сухих, так и во влажных условиях [7].

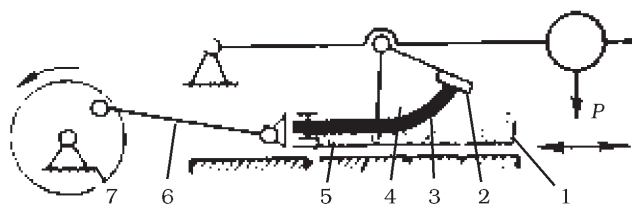


Рис. 3. Схема прибора ИКВ

Сопротивление истиранию определяют по средней потере толщины кожи и количеству часов, необходимых для истирания 1 мм толщины образца. Этот показатель должен быть равен не менее 5,5 ч/мм.

Большинство импортных приборов, предназначенных для испытания полимерных подошвенных материалов и аналогичных им, осуществляют истирание образцов в условиях движения с закрепленным образцом по возобновляемой поверхности [9; 10; 11, 67—73].

Схема такого прибора представлена на рис. 4.

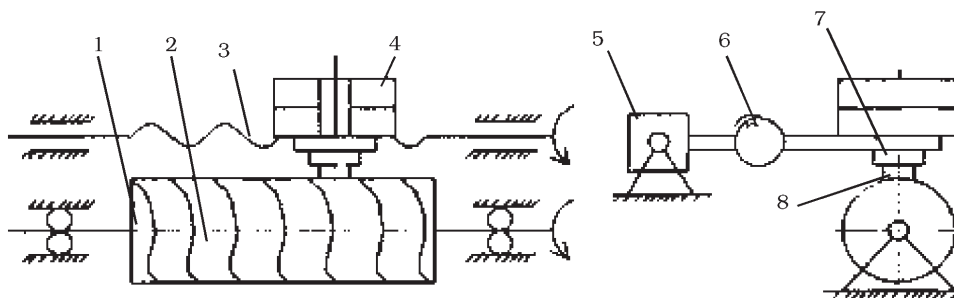


Рис. 4. Схема прибора

Проба крепится в держателе 8. Держатель с пробой движется по плоскости абразива 2, закрепленного на вращающемся барабане 1. Испытания на данном приборе проходят на основе стандартов ISO 4649 [10].

Международный стандарт ISO 4649 определяет два метода для установления сопротивления истиранию резин при помощи вращающейся цилиндрической барабана с абразивом. Оба метода предусматривают определение объема потери массы образца под действием силы трения об абразив, расположенный на вращающемся цилиндрическом барабане испытательных устройств. Первый метод предназначен для невращающегося образца, второй — для вращающегося. Для каждого метода за результат испытания может приниматься относительная потеря объема либо индекс износостойкости.

Проведем сравнительный анализ описанных выше приборов с позиции достоверности оценки эксплуатационных свойств обуви и, в частности, износостойкости подошвенных материалов. Способ испытания на приборе МИ-2 может быть охарактеризован следующим образом: это обработка материалов резанием, в частности шлифованием. Испытание на приборе МИ-2 не воспроизводит процесс истирания при эксплуатации обуви, так как не учитывает трение качения, механическую усталость и амортизационные свойства материалов. Следовательно, о количественной и адекватной оценке износостойкости подошвенных материалов не может быть и речи. Почти то же самое можно сказать и о способе испытания ISO 4649: это также обработка материалов резанием (шлифованием) по более сложной траектории перемещения образца. Безусловно, методика, реализованная в приборе ИКВ, позволяет оценивать износостойкость подошвенных материалов более адекватно, однако и здесь следует сделать ряд замечаний, которые можно свести к следующему:

износ подошвенных материалов в процессе носки обуви происходит в области двух видов абразивов: подвижного и неподвижного, что не реализуется в процессе испытания;

при испытаниях не реализуется трение скольжения;

отсутствуют зоны высокого (экстремального) контакта взаимодействия абразива с поверхностью подошвы.

Тем не менее это был революционный шаг в приборостроении прошлого века.

Безусловно, можно создать прибор, который позволяет приблизить условия испытания к реальному процессу носки обуви. Однако в таком случае актуальной является проблема — что делать с имеющейся базой средств измерений? Следует отметить, что от них не стоит отказываться, ведь они могут быть использованы для сравнительного анализа износостойкости подошвенных материалов. На наш взгляд, для этого нужно ввести в нормативную базу единые критерии (показатели) оценки износостойкости подошвенных материалов и найти между ними корреляционные зависимости. Предложения по перечню показателей для оценки износостойкости низа обуви приведены ниже, их два:

изменение (уменьшение) толщины образца, мм;

изменение (уменьшение) объема образца, мм³.

Уменьшение толщины образца (Δh) в миллиметрах измеряют штангенциркулем или индикатором часового типа.

Уменьшение образца (ΔV) в кубических миллиметрах вычисляют по формуле

$$\Delta V = \frac{1}{k} \frac{\Delta m}{\rho},$$

где k — коэффициент средней истирающей способности шлифовальной шкурки; m — потеря массы образца, мг; ρ — плотность образца, определенная по ГОСТ 267, мг · мм⁻³ [12].

Так же можно рассчитать уменьшение объема (ΔV) в кубических миллиметрах по следующей формуле:

$$V = \pi R^2 \Delta h,$$

где R — радиус образца, мм; Δh — уменьшение образца, мм.

Последняя формула может быть использована для сравнительного анализа результатов испытаний различных материалов.

Таким образом, существующие методы и средства исследования износостойкости подошвенных материалов позволяют дать только качественную характеристику их свойств. Представленные методики не дают возможности адекватно оценить износостойкость низа — этот важный показатель свойств обуви, а следовательно, не могут быть использованы для прогнозирования ее эксплуатационных свойств. Следует отметить также, что с помощью имеющейся приборной базы нельзя осуществить комплексное износоусталостное повреждение и разрушение низа обуви, которое происходит в процессе ходьбы человека.

Следует отметить, что до настоящего времени не проводились исследования по изучению процесса износа подошв в зависимости от изменения силы нормального давления в опорную фазу ходьбы, когда происходит переход от контактного абразивного износа к износу со скольжением.

Все сказанное выше еще раз свидетельствует о том, что необходимо развивать и совершенствовать методы и средства оценки эксплуатационных свойств товаров с целью прогнозирования их качества задолго до поступления в торговую сеть, т. е. на стадии подготовки производства.

Литература

1. Конструирование изделий из кожи: учеб. для вузов / Ю.П. Зыбин [и др.]. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982.
2. Любич, М.Г. Товароведение обуви / М.Г. Любич. — М.: Экономика, 1966.
3. Материаловедение кожевенно-обувного производства: учеб. пособие / А.Н. Буркин [и др.]. — Минск: Беларус. энцикл. им. П. Бровки, 2011.
4. Закатова, Н.Д. Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей / Н.Д. Закатова, Е.Я. Михеева. — Легкая индустрия, 1966.
5. Шагапова, И.М. Определение изгибающего момента для сращенных ситем низа обуви / И.М. Шагапова // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. — 1972. — № 15.
6. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении: ГОСТ 426-77. — Введен 01.01.1978. — Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992.
7. Краснов, Б.Я. Материаловедение обувного и кожгалантерейного производства: учеб. для средних проф.-техн. училищ / Б.Я. Краснов. — М.: Легпромбытиздат, 1988.
8. Кожа для низа обуви. Метод испытания подошвенной кожи на сопротивление истиранию во влажном состоянии: ГОСТ 10656-63. — Введен 01.01.1964. — Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992.
9. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности: ГОСТ: 23509-79. — Введен 01.01.1982. — Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992.
10. DIN ISO 4649:2010. Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of abrasion resistance using a rotating cylindrical drum device. — Введен 15.09.2010. — ISO TC 45\SC 2 Испытания и анализ: Swedish Standards Institute (SIS), 2010.
11. Буркин, А.Н. Приборы для испытаний на истирание полимерных материалов / А.Н. Буркин, А.О. Еременко // Метрология и приборостроение. — 2008. — № 2.
12. Резина. Методы определения плотности: ГОСТ 267-73. — Взамен ГОСТ 267-60; введен 01.01.1975. — Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1992.

*Статья поступила
в редакцию 18.03. 2013 г.*