

Исследование износостойкости полиуретановых подошвенных материалов различными методами

Д.А. Иванов, А.Н. Радюк^а, М.А. Козлова, А.Н. Буркин
Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь
^аE-mail: ana.r.13@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты оценки физико-механических свойств подошвенных материалов на основе отходов ППУ и сопротивления истиранию различными методами. В рамках работы установлено, что стандартом регламентируются только значения сопротивления истиранию при скольжении, а полученные результаты определения сопротивления истиранию по различным методам невозможно сравнить между собой.

Ключевые слова: полиуретановые подошвы, свойства, методы, сопротивление истиранию.

Study on Wear Resistance of Polyurethane Sole Materials by Different Methods

D.A. Ivanov, A.N. Radyuk^a, M.A. Kozlova, A.N. Burkin
Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
^aE-mail: ana.r.13@mail.ru

Annotation. The article presents the results of the assessment of the physical and mechanical properties of plantar materials based on PPU waste and abrasion resistance by different methods. Within the framework of the work, it was established that the standard regulates only the values of abrasion resistance during sliding, and the results obtained for determining abrasion resistance by various methods cannot be compared with each other.

Key words: polyurethane soles, properties, methods, abrasion resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных показателей качества обуви является ее надежность (эксплуатационные свойства). Весомость этого показателя в группе потребительских свойств при оценке конкурентоспособности обуви достаточно высока.

Как известно, надежность обуви зависит от износостойкости деталей обуви и прочности их соединений. Так как в данной работе речь идет о полиуретановых подошвенных материалах как детали обуви, а не обувь в целом рассматривается, то основным показателем надежности будет являться сопротивление истиранию.

Необходимо также отметить, что сопротивление истиранию является одним из основных эксплуатационным показателем, регламентированным различными ТНПА, прописанными в характеристиках материалов в справочной литературе и проспектах большинства производителей полимерных материалов для низа обуви.

Целью работы является оценка сопротивления истиранию полимерных подошвенных материалов различными методами.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являются подошвенные материалы на основе отходов пенополиуретана (ППУ), получение которых включает в себя следующие операции:

- подготовку отходов ППУ, пластификатора и стабилизатора и их взвешивание;
- измельчение отходов ППУ с помощью однороторной дробилки Alpine A 40/63-5-3;
- смешивание измельченных отходов в лопастной мешалке с другими ингредиентами;
- переработку материала с помощью шнекового экструдера ЭШПО-75Н4;
- измельчение полуфабриката до размеров гранул 2–4 мм;
- литье изделий при температурах 150–180 °С с помощью литьевого агрегата SP 345-3 фирмы Main Group.

Данный объект исследования выбран исходя из того, что в работе [1] в результате исследования образцов на износостойкость установлено, что наивысшее значение сопротивления истиранию имеет монолитный образец на основе отходов ППУ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большинство методов и средств испытаний на износостойкость созданы давно (более 50 лет назад) и были адаптированы к имеющимся в то время материалам для подошв – натуральным козам и резинам. Для определения показателя износостойкости подошвенных материалов применяются несколько ТНПА, которые описывают методику и средства испытания, среди них:

- ГОСТ 23509-79 (ИСО 4649–85). Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности [2];
- ГОСТ 426-77. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении [3];
- ГОСТ 11012-2017. Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ [4];
- ГОСТ 12251-77. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при качении с проскальзыванием [5];
- ГОСТ 11629-2017. Пластмассы. Метод определения коэффициента трения [6].

На сегодняшний день стандартами на материалы для низа обуви регламентируются значения, полученные по методике ГОСТ 426-77. Сущность метода заключается в истирании 2 образцов, прижатых к абразивной поверхности вращающегося с постоянной скоростью диска, при постоянной нормальной силе (26 Н) и определении показателей сопротивления истиранию или истираемости. Испытание проводится на приборе типа МИ-2 (Грассели).

В странах ближнего и дальнего зарубежья применяют метод Шоппера для определения сопротивления истиранию полимерных материалов для низа обуви, подобная методика приводится в ГОСТ 23509-79. Сущность метода заключается в истирании образца, прижатого к абразивной поверхности вращающегося барабана, при этом

образец перемещается параллельно оси барабана и вращается вокруг своей оси.

В работе [7] проводился анализ возможности использования испытательного оборудования для научных целей на базе аккредитованной лаборатории ОАО «Витебскдрев». Так для определения сопротивления истиранию использовался ротационный абразиметр TABER.

В данной работе предлагается провести исследование сопротивления истиранию полимерных подошвенных материалов по различным методам.

Для достижения поставленной цели работы вначале определяли показатели физико-механических свойств подошвенных материалов на основе отходов ППУ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ППУ

В рамках работы определяли следующие показатели: толщина (ГОСТ 11358–89 «Толщиномеры и стенкоммеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1 мм. Технические условия»), плотность (ГОСТ 267-73 «Резина. Методы определения плотности»), твердость (ГОСТ 263-75 «Резина. Метод определения твердости по Шору А»), прочностные характеристики – условная прочность, относительное удлинение при разрыве и остаточное удлинение после разрыва (ГОСТ 270–75 «Резина. Метод определения упругопрочностных свойств при растяжении»).

Средние значения свойств сведены в таблицу 1. Также в таблице представлены данные по свойствам монолитных резин, к которым близки физико-механические свойства полученных пластин. Вывод сделан на основе анализа свойств различных материалов, применяемых в качестве подошвенных материалов.

Таблица 1 – Свойства пластин

	S , мм	ρ , г/см ³	H , усл. ед.	f_p , МПа	ϵ_p , %	θ , %
Среднее	6,6	1,2	77,4	6,0	278	25
		входит в диапазон		>	>	>
Монолитные резины	–	1,1-1,3	75,0-85,0	4,5	170	20

S – толщина, ρ – плотность, H – твердость, f_p – условная прочность при разрыве, ϵ_p – относительное удлинение при разрыве, θ – остаточное удлинение после разрыва

Как видно по данным таблицы 1 физико-механические свойства подошвенных материалов на основе отходов ППУ имеют достаточно близкие значения к материалам, применяемым в обувном производстве, а именно монолитной резине. Поэтому полученные материалы могут быть использованы для изготовления материалов и деталей для низа обуви.

Статистическую обработку результатов испытания физико-механических свойств полученных материалов проводили по ГОСТ 269-66 «Резина. Общие требования к проведению физико-

механических испытаний» [8]. Данные по статистической обработке результатов испытания твердости, условной прочности и относительного удлинения приведены в таблице 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТИРАНИЮ ПОЛИМЕРНЫХ ПОДОШВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследование проводили в соответствии с методиками, приведенными в стандартах.

Сопротивление истиранию (β) в Дж/мм³ по методу Грассели вычисляют по формуле (1)

$$B = A / \Delta V * K, \quad (1)$$

где A – работа трения в Дж (кгс·м), которую вычисляют по формуле (2)

$$A = F * l, \quad (2)$$

где F – среднее значение силы трения за время испытания, Н (кгс); l – путь трения, м, вычисляемый по формуле (3)

$$l = \pi Dn, \quad (3)$$

где D – расстояние между центрами образцов, м; n – число оборотов диска за время испытания.

$$L = 3,14 \times (13,6 \times 0,01) \times 202 = 86,2621 \text{ м}$$

$$A = 26 \times 86,26208 \times 0,001 = 2,2428 \text{ кДж}$$

Таблица 2 – Статистическая обработка результатов испытания

Показатель	\bar{X}	S	ν	ϵ	β	$CP = 95\%$ значения находятся
Твердость	77,4	0,5	0,7	0,4	0,5	77,4 ± 0,4
Условная прочность	6,0	0,4	6,8	3,8	63,4	6,0 ± 3,8
Относительное удлинение	278	21,1	7,6	4,2	1,5	278 ± 4,2

\bar{X} – среднее арифметическое результатов измерения; S – оценка среднего квадратического отклонения; ν – коэффициент вариации результатов испытания; ϵ – значение, равное половине доверительного интервала; β – относительное отклонение

Убыль объема полиуретана (ΔV) в мм³ двух испытуемых образцов вычисляют по формуле (4)

$$\Delta V = (m_1 - m_2) / \rho, \quad (4)$$

где m_1 – масса двух образцов до испытания, г; m_2 – масса двух образцов после испытания, г; ρ – плотность полиуретана, г/см³.

Для определения плотности использовалась следующая аппаратура: весы лабораторные Pioneer (рис.1) и штангенциркуль цифровой тип ШЦЦ-I-300 (рис. 2). Плотность (ρ) в г/см³ определяют по формуле (5)

$$\rho = m / V, \quad (5)$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, г/см³.

$$\rho = 1,2 \text{ г/см}^3.$$



Рисунок 1 – Весы лабораторные Pioneer



Рисунок 2 – Внешний вид штангенциркуля цифрового типа ШЦЦ-I-300В

Потери объема при истирании (V) в мм³ по методу A (метод Шоппера) вычисляют по формуле (6)

$$V = m / \rho \times 80 / m_k, \quad (6)$$

где m – потеря массы образца испытуемой резины на полном пути истирания, г; 80 – принятое среднее значение истираемой контрольной резины, мг; ρ – плотность испытуемой резины по ГОСТ 267, г/см³;

m_k – потеря массы образца контрольной резины на полном пути истирания (0,276 г).

Потерю объема (сопротивление истиранию) (V) в мм^3 по методу Б (метод Шоппера) вычисляют по формуле (7)

$$V = 1 / k \cdot m / p, \quad (7)$$

где k – коэффициент средней истирающей способности шлифовальной шкурки (0,64); m – потеря массы образца, г; p – плотность образца, определенная по ГОСТ 267, $\text{г}/\text{см}^3$.

Потери объема при истирании (V) в мм^3 по методу Табера вычисляют также по формуле (6)

Результаты определения сопротивления истиранию по различным методам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты определения сопротивления истиранию по различным методам

Образец	Метод Грассели	Метод Шоппера		Метод Табера
		А	Б	
	β	V	V	V
1	6,0	115	0,62	100
2	6,1	118	0,63	104
3	6,3	120	0,64	106
4	6,4	123	0,68	109
5	6,5	119	0,65	105
6	6,8	126	0,71	110
7	7,0	129	0,73	117
8	7,1	125	0,70	110
9	7,3	131	0,72	115
10	7,5	130	0,74	115
11	7,6	134	0,74	118
12	7,8	135	0,76	120

Необходимо отметить, что ТНПА регламентируются только значения сопротивления истиранию по методу Грассели. Так, согласно ГОСТ 10124-76 «Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви. Технические условия» [9] сопротивление истиранию должно быть не менее 2,5 Дж/ мм^3 . Все значения, полученные по результатам испытания и представленные в таблице 1, превышают нормируемое значение на 140–212 %.

Согласно данным, основные значения V по методу А (метод Шоппера) и методу Табера должны быть 50–250 мм^3 . Все значения, полученные по результатам испытания и представленные в таблице 1, находятся в рамках указанных выше значений.

Необходимо отметить, что полученные результаты определения сопротивления истиранию по методу Грассели, Шоппера и Табера не представляется возможным сравнить между собой.

Несмотря на одинаковый расчет методов А (метод Шоппера) и Табера они отличаются давлением на

абразив, скоростью движения во время абразивного износа и другими масштабными факторами, поэтому также не поддаются сравнению.

Полученные результаты исследования сопротивления истиранию подошвенных полимерных материалов по 3 методам можно лишь сопоставить с получением уравнения тренда в виде полиномиальной модели.

При проведении сравнительного анализа методов можно сказать, что испытания на приборе МИ-2, Шоппера и Табера не воспроизводят процесс истирания при эксплуатации обуви, так как не учитывают трение качения, механическую усталость и амортизационные свойства материалов. В связи с этим, актуальным становится вопрос о возможности создания прибора, который позволил бы приблизить условия испытания к реальному процессу носки обуви, а также позволил сочетать в себе представленные выше методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка износостойкости полиуретановых подошв обуви / А. Н. Радюк [и др.] // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОЙСК-2022) : сб. материалов Национальной (с международным участием) молодёжной научно-технической конференции. – Иваново : ИВГПУ, 2022. – С. 883–889.
2. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении по возобновляемой поверхности : ГОСТ 23509–79. – Введен 01.01.1982. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 1982. – 12 с.

3. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении : ГОСТ 426–77. – Взамен ГОСТ 426–66 ; введ. 01.01.1978. – Минск : Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 1992. – 8 с.
4. Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ : ГОСТ 11012–2017. – Взамен ГОСТ 11012–69 ; введ. 01.07.2018. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 7 с.
5. Резина. Метод определения сопротивления истиранию при качении с проскальзыванием : ГОСТ 12251–77. – Взамен ГОСТ 12251–66 ; введ. 01.07.1979. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с.
6. Пластмассы. Метод определения коэффициента трения : ГОСТ 11629–2017. – Взамен ГОСТ 11629–75 ; введ. 01.07.2018. – М. : Стандартинформ, 2017. – 6 с.
7. Исследование физико-механических свойств полимерных материалов для низа обуви на базе лаборатории ОАО «Витебскдрев» / К. А. Ковалев [и др.] // *Материалы и технологии*. – 2020. – № 2 (6). – С. 13–20.
8. Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний : ГОСТ 269-66. – Взамен ГОСТ 260-53 ; введ. 30.06.66. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1966. – 10 с.
9. Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви. Технические условия : ГОСТ 10124-1976. – Взамен ГОСТ 10124-62 и ГОСТ 385-62 ; введ. 01.01.77. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1977. – 19 с.

REFERENCES

1. Assessment of wear resistance of polyurethane shoe soles / A. N. Radyuk [et al.] // *Young scientists – development of the National Technological Initiative (SEARCH-2022) : collection of materials of the National (with international participation) youth scientific and technical conference*. – Ivanovo : IVSPU, 2022. – P. 883–889.
2. Rubber. Method for determining abrasion resistance when sliding on a renewable surface : GOST 23509-79. – Introduced 01.01.1982. – Minsk : State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 1982. – 12 p.
3. Rubber. Method for determining abrasion resistance during sliding : GOST 426-77. – Instead of GOST 426-66 ; introduced 01.01.1978. – Minsk : State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, 1992. – 8 p.
4. Plastics. Test method for abrasive wear : GOST 11012-2017. – Instead of GOST 11012-69 ; introduction 01.07.2018. – Moscow : Standartinform, 2017. – 7 p.
5. Rubber. Method for determining abrasion resistance during rolling with slippage : GOST 12251-77. – Instead of GOST 12251-66 ; introduction. 01.07.1979. – Moscow : IPK Publishing House of Standards, 1999. – 6 p.
6. Plastics. Method for determining the coefficient of friction : GOST 11629-2017. – Instead of GOST 11629-75 ; introduction. 01.07.2018. – Moscow : Standartinform, 2017. – 6 p.
7. Investigation of physical and mechanical properties of polymer materials for the bottom of shoes on the basis of the laboratory of JSC "Vitebskdrev" / K. A. Kovalev [et al.] // *Materials and Technologies*. – 2020. – № 2 (6). – P. 13–20.
8. Rubber. General requirements for conducting physical and mechanical tests : GOST 269-66. – Instead of GOST 260-53 ; introduction. 30.06.66. – Moscow : IPK Publishing House of Standards, 1966. – 10 p.
9. Non-porous rubber plates and parts for the bottom of shoes. Specifications : GOST 10124-1976. – Instead of GOST 10124-62 and GOST 385-62 ; entered 01.01.77. – Moscow : USSR State Committee for Standards, 1977. – 19 p.

SPISOK LITERATURY

1. Ocenka iznosostojkosti poliuretanovyh podoshv obuvi / A. N. Radjuk [i dr.] // *Molodye uchenye – razvitiju Nacional'noj tehnologicheskoy iniciativy (POISK-2022) : sb. materialov Nacional'noj (s mezhdunarodnym uchastiem) molodjozhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*. – Ivanovo: IVGPU, 2022. – S. 883–889.
2. Rezina. Metod opredelenija soprotivlenija istiraniju pri skol'zhenii po vozobnovljaemoj poverhnosti : GOST 23509–79. – Vved. 01.01.1982. – Minsk : Gosudarstvennyj komitet po standartizacii Respubliki Belarus', 1982. – 12 s.
3. Rezina. Metod opredelenija soprotivlenija istiraniju pri skol'zhenii : GOST 426–77. – Vzamen GOST 426–66 ; vved. 01.01.1978. – Minsk : Gosudarstvennyj komitet po standartizacii Respubliki Belarus', 1992. – 8 s.
4. Plastmassy. Metod ispytaniya na abrazivnyj iznos : GOST 11012–2017. – Vzamen GOST 11012–69 ; vved. 01.07.2018. – M. : Standartinform, 2017. – 7 s.
5. Rezina. Metod opredelenija soprotivlenija istiraniju pri kachenii s proskal'zyvaniem : GOST 12251–77. – Vzamen GOST 12251–66 ; vved. 01.07.1979. – Moskva : IPK Izdatel'stvo standartov, 1999. – 6 s.
6. Plastmassy. Metod opredelenija koefficienta trenija : GOST 11629–2017. – Vzamen GOST 11629–75 ; vved. 01.07.2018. – Moskva : Standartinform, 2017. – 6 s.
7. Issledovanie fiziko-mehaničeskijh svojstv polimernyh materialov dlja niza obuvi na baze laboratorii ОАО «Витебскдрев» / К. А. Ковалев [i dr.] // *Materialy i tehnologii*. – 2020. – № 2 (6). – S. 13–20.

8. Rezina. Obshhie trebovaniya k provedeniju fiziko-mehaničeskikh ispytanij : GOST 269-66. – Vzamen GOST 260-53 ; vved. 30.06.66. – Moskva : IPK Izdateľstvo standartov, 1966. – 10 s.

9. Plastiny i detali rezinovyie neporistyie dlja niza obuvi. Tehničeskie uslovija : GOST 10124-1976. – Vzamen GOST 10124-62 i GOST 385-62 ; vved 01.01.77. – M. : Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, 1977. – 19 s.

Статья поступила в редакцию 30.06.2022