



исследованию механических свойств кожи при ее испытании на двухосное растяжение. Существует несколько вариантов испытания кожи на двухосное растяжение, которые отличаются между собой в основном принципам приложения деформирующих сил. Общим для всех этих испытаний является применение образца кожи в виде круга.

На рисунке 1 показаны схемы основных испытаний на двухосное растяжение.

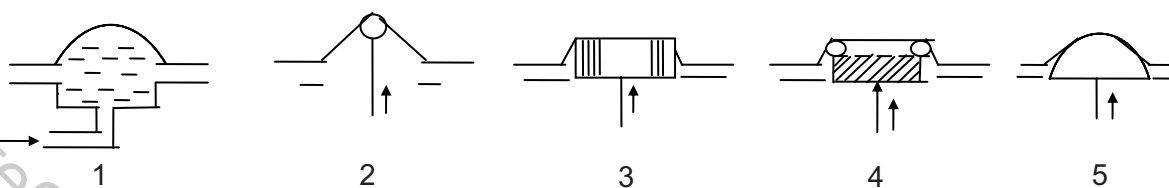


Рисунок 1 – Схема нагружения материала при двухосном растяжении

- 1 - растяжение с помощью эластичной мембраны;
- 2 - растяжение с помощью металлического шарика;
- 3 - растяжение плоским торцом цилиндрического пуансона;
- 4 - растяжение пуансоном в виде стакана с вмонтированными по краю роликами;
- 5 - растяжение сферическим пуансоном.

Среди указанных методов испытания кожи наиболее часто используется метод продавливания зажатого по кругу образца шариком (см. рис. 1), диаметр которого значительно меньше диаметра образца. Так как сама обувная колодка представляет сложную пространственную форму, то при непосредственном получении ее копии требуется решить большое количество практических проблем, а исследованием характера деформации на шарике получить достаточно точные характеристики самого материала нельзя. Для первоначального анализа механических параметров процессов формования кожи нами была выбрана достаточно простая форма, наиболее приближенная к форме носочной части колодки, – поверхность полушара.

В государственном стандарте Республики Беларусь для определения прочности при продавливании и растяжении продавливанием текстильных материалов, в том числе нетканых (СТБ ИСО 2960-2001), принят для испытаний образец материала диаметром 113 мм (площадь 10000 мм<sup>2</sup>), применяющийся в ряде стран, использующих метрическую систему единиц. Данный размер образца позволяет провести более точные измерения растяжения продавливанием. Аналогично и для кожевенных материалов вместо образцов диаметром 30 мм (1,2 дюйма), применявшихся ранее долгое время, есть необходимость перейти к исследованию процессов деформации на образцах диаметром 113 мм.

В усовершенствованном способе испытания кожи на двухосное симметричное растяжение, предложенном А.Ю. Зыбиным [1], в работах М.П. Куприянова [2], А.И. Комиссарова и А.Н. Жарова [3] учитывается толщина исследуемого материала, так как диаметр рабочей части образца невелик (10 или 25 мм), при этом относительное удлинение рассчитывается с использованием угла, определяющего положение первоначальной дуги образца, что усложняет дальнейшее проведение экспериментальной проверки полученных теоретических результатов. На характер деформации образцов большего диаметра ( $R = 113$  мм) при продавливании пуансоном в виде жесткой сферы толщина исходного материала существенного влияния не оказывает.

Рассмотрим растяжение образца кожи радиусом  $R$  (см. рис.2) шаровым сегментом того же радиуса и получим зависимости плоской деформации и

относительных удлинений материала по меридиану и параллели от одной величины  $h$  - высоты подъема шарового пуансона.

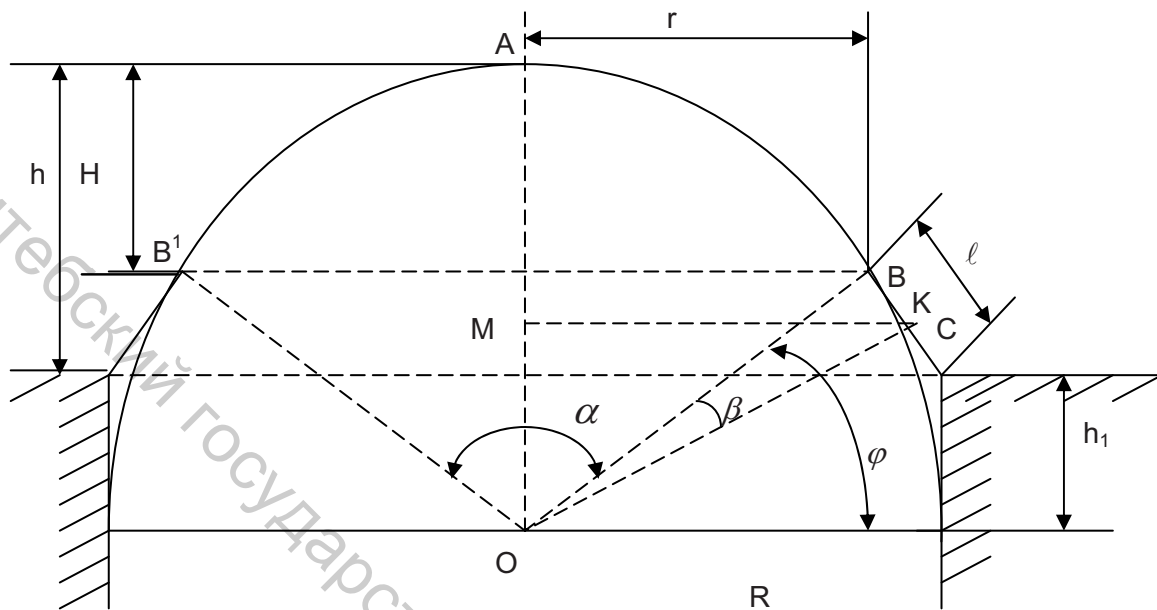


Рисунок 2

Плоская деформация

$$E_s = \frac{S - S_0}{S_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $S_0$  - первоначальная площадь деформируемого кругового образца радиуса  $R$ , т.е.  $S_0 = \pi R^2$ , а  $S$  - площадь поверхности, полученная продавливанием исходного образца при подъёме шарового пуансона на высоту  $h$ . При этом данная площадь состоит из суммы двух площадей:  $S_1$  - площади боковой поверхности усечённого конуса с радиусами оснований  $R$ ,  $r$  и образующей  $l$ , а также площади  $S_2$  - части образца, непосредственно контактирующего с поверхностью полушара.

Площадь боковой поверхности усеченного конуса  $S_1 = \pi(R + r) \cdot l$ , с учетом того, что  $\angle OBC = \frac{\pi}{2}$  образующая конуса  $l = h_1 = R - h$ ,  $r = R \cdot \cos \varphi$ , поэтому

$$S_1 = \pi R(R - h)(1 + \cos \varphi). \quad (2)$$

$$\text{Т.к. } \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{h_1}{R}, \text{ то } 1 + \cos \varphi = \frac{2R^2}{R^2 + (R - h)^2}. \quad (3)$$

Подставив в формулу (2) в полученный результат (3), имеем

$$S_1 = \frac{2\pi R^3(R - h)}{R^2 + (R - h)^2}.$$

При нахождении площади сферического сегмента с центральным углом контакта материала со сферой  $\alpha$  и высотой  $H = R - R \sin \varphi$ . С учётом того, что  $\sin \varphi = \frac{2h_1 R}{R^2 + h_1^2}$ , эта площадь  $S_2 = \frac{2\pi R^2 h^2}{R^2 + (R - h)^2}$ , а значит, полная площадь

поверхности после продавливания на высоту  $h$   $S = \frac{2\pi R^3 (R - h) + 2\pi R^2 h^2}{R^2 + (R - h)^2}$ .

Тогда полная плоская деформация (1) вычисляется по следующей формуле:

$$E_s = \left( \frac{2R(R - h) + 2h^2}{R^2 + (R - h)^2} - 1 \right) \cdot 100\% . \quad \text{Окончательно после преобразований}$$

получаем

$$E_s = \frac{h^2}{R^2 + (R - h)^2} \cdot 100\% . \quad (4)$$

Расчёт меридиального относительного удлинения формуемого на полушаре материала определим по формуле

$$E_m = \frac{L - d}{d} \cdot 100\% , \quad (5)$$

где  $d$  - первоначальный диаметр образца,  $L$  - длина образца по меридиану после подъёма пуансона на высоту  $h$ . При этом  $L = \alpha R + 2(R - h)$ , и если учесть, что

$$\alpha = 2 \left( \frac{\pi}{2} - \varphi \right) = \pi - 4 \operatorname{arctg} \frac{R - h}{R} , \quad (6)$$

то  $L = \pi R - 4R \operatorname{arctg} \left( 1 - \frac{h}{R} \right) + 2(R - h)$ . Тогда формула (5) принимает следующий вид:

$$E_m = \left( \frac{\pi}{2} - \frac{h}{R} - 2 \operatorname{arctg} \left( 1 - \frac{h}{R} \right) \right) \cdot 100\% . \quad (7)$$

При расчёте радиального (по параллели) относительного удлинения материала учтём, что некоторый первоначальный радиус образца  $\rho$  после его деформации

шаром приобретет новую величину  $\rho' = \overset{\smile}{AB} + BK$ . Так как при этом происходит и некоторое меридиальное удлинение,  $\varepsilon_m = \frac{\rho'}{\rho} - 1$ , а значит, первоначальный

радиус был равен  $\rho = \frac{\overset{\smile}{AB} + BK}{\varepsilon_m + 1} = \frac{R \frac{\alpha}{2} + R \operatorname{tg} \beta}{\varepsilon_m + 1}$ . С учетом полученных

результатов (6) и (7) имеем  $\rho = R \cdot \frac{\frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} \left( 1 - \frac{h}{R} \right) + \operatorname{tg} \beta}{\frac{\pi}{2} - 2 \operatorname{arctg} \left( 1 - \frac{h}{R} \right) - \frac{h}{R} + 1}$ . Относительное

удлинение образца по выбранной параллели найдем по формуле

$$E_r = \frac{2\pi KM - 2\pi\rho}{2\pi\rho} \cdot 100\% \text{ или } E_r = \left( \frac{KM}{\rho} - 1 \right) \cdot 100\%.$$

Из  $\square KMO$  следует, что  $KM = KO \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)$ , при этом  $KO = \frac{R}{\cos\beta}$ , т.е.

радиальный радиус выбранной параллели  $KM = \frac{R \sin\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)}{\cos\beta}$ . Итак, с учетом

(6), получаем формулу

$$E_r = \left( \frac{\cos\left(\beta - 2\operatorname{arctg}\left(1 - \frac{h}{R}\right)\right) \left(\frac{\pi}{2} - 2\operatorname{arctg}\left(1 - \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{R} + 1\right)}{\cos\beta \left(\frac{\pi}{2} - 2\operatorname{arctg}\left(1 - \frac{h}{R}\right) + \operatorname{tg}\beta\right)} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (8)$$

Найдем  $E_r$  по параллели, совпадающей с краем образца, непосредственно контактирующего с полушаром (т.е.  $\beta = 0$ )

$$E_r = \left( \frac{h(2R - h) \left(\frac{\pi}{2} - 2\operatorname{arctg}\left(1 - \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{R} + 1\right)}{(R^2 + (R - h)^2) \left(\frac{\pi}{2} - 2\operatorname{arctg}\left(1 - \frac{h}{R}\right)\right)} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (9)$$

Полученные результаты (4), (7) и (9) являются функциями одной и той же величины  $h$  - подъема шарового пуансона, что позволяет упростить экспериментальную проверку получаемых напряжений при продавливании образцов обувных материалов.

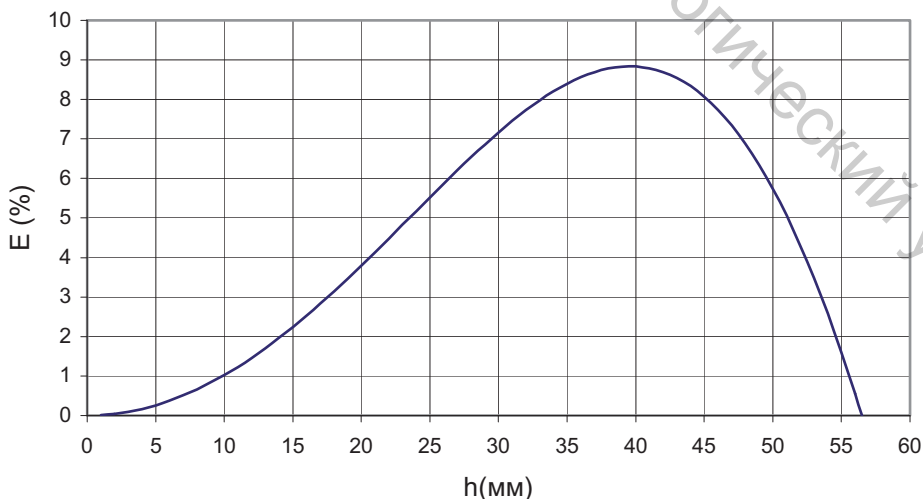


Рисунок 3 – Кривая зависимости радиального относительного удлинения материала по краю непосредственного его соприкосновения с полушаром и высотой подъема пуансона  $R = 56,5$  мм

Расчет относительного удлинения материала по параллели  $BB'$ , соответствующей краю его соприкосновения со сферой (см. рис.3), показывает, что

при подъеме пуансона на высоту  $h = 40$  мм такое удлинение является наибольшим. После подъема на 70,8 % от максимально возможной высоты шарового пуансона ( $R = 56,5$  мм) относительное удлинение материала по выбранной «крайней» параллели уменьшается до нуля.

Формула (8) дает возможность рассчитать радиальное относительное удлинение для параллели, соответствующей центральному углу

$\beta \in \left[ 0; 2\arctg\left(1 - \frac{h}{R}\right) \right]$ , а в случае, когда выбранная параллель находится

непосредственно на сфере  $\left( 2\arctg\left(1 - \frac{h}{R}\right) < \beta \leq \frac{\pi}{2} \right)$ , эта зависимость принимает вид

$$E_r = \frac{\varepsilon_m + 1}{\beta} \cdot \sin \beta - 1.$$

Полученные результаты (7) и (8) показывают, что в районе полюса полусферы  $E_r \approx E_m$ , а в месте зажима материала  $E_r = 0$ . Наибольшее значение для характеристики деформируемого материала при формовании на сфере имеют величины  $E_s$  и  $E_m$ , которые всегда больше  $E_r$ .

На рисунке 4 показаны кривые зависимостей между плоской деформацией, относительным удлинением материала и высотой подъема шарового пуансона диаметром 113 мм, которые могут быть использованы для оценки способности к растяжению кожи на величину продавливания  $h$  под действием некоторого нагружения.

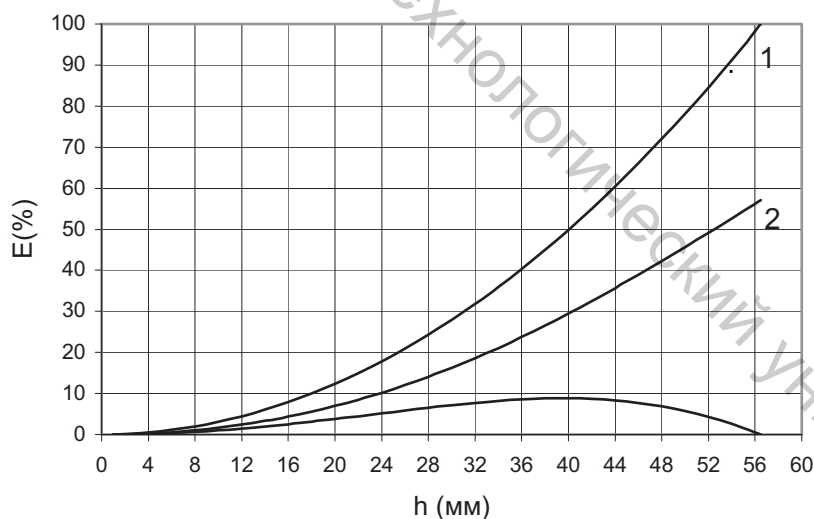


Рисунок 4 – Кривые зависимости между плоской деформацией (1), относительным удлинением по меридиану (2), радиальным относительным удлинением по краю соприкосновения с полушаром (3) и высотой подъема пуансона  $R = 56,5$  мм

Величина удлинения кожи, оцениваемая показателями  $E_s$  и  $E_m$ , зависит от отношения величины продавливания  $h$  к радиусу рабочей части образца  $R$ . При этом показатель  $h$  аналогичен коэффициенту удлинения при постоянной нагрузке.

Полученные результаты могут быть использованы для исследования процессов формирования новых обувных материалов, а также для изучения различных способов формирования, основанных на принципе постоянства деформации.

#### Список использованных источников

1. Зыбин А.Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви – М.: Легкая индустрия, 1974, 120 с.
2. Куприянов М.П. Деформационные свойства кожи для верха обуви – М.: Легкая индустрия, 1969, 246 с.
3. Комиссаров А.И., Жаров А.Н. Деформации и напряжения плоских материалов при формировании на полусфере, Сообщение 1, Известия высших учебных заведений, «Технология легкой промышленности», № 6, 1965

#### SUMMARY

In the article, the formulas for calculation of complete flat deformation, relative elongations on meridian and parallel of footwear materials on semi sphere are obtained.

The received results can be used for research of the processes of shaping new footwear materials as well as for studying various methods of shaping based on the principle of constant deformation.

УДК 678.674:539.217

### **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ВЛАЖНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ СУШКИ НА СВОЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКУ ОТХОДОВ ПЭТФ**

***М.Г. Таврогинская., В.В. Тимошенко***

При подготовке полимеров к переработке основной задачей является обеспечение требуемой влажности путем сушки или увлажнения, таблетирования, предварительного подогрева, в зависимости от вида перерабатываемого материала [1, 2].

Обычно влажность полимера после сушки должна быть ниже рекомендуемой перед загрузкой в нагревательный цилиндр перерабатывающего оборудования или прессформу. Сушку полимера следует заканчивать непосредственно перед переработкой. Зависимость степени влажности полимера от температуры и влажности окружающей среды указывает на необходимость тщательного хранения, в частности, выбираемая упаковка должна гарантировать минимальное насыщение полимера влагой [3-5].

Таким образом, необходимость строгого нормирования содержания влаги в полимерах перед переработкой является одной из важнейших технологических задач.

Цель работы: поиск корреляции между степенью влажности отходов полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и численными значениями физико-механических показателей получаемых изделий.

Тщательно контролируемая сушка ПЭТФ является важной предшествующей операцией перед его переработкой, так как ПЭТФ в твердом виде абсорбирует влагу из атмосферы (т.е. является гигроскопичным). В процессе хранения влага будет абсорбироваться до достижения значения равновесия, соответствующего условиям хранения. Это значение может достигать 0,4 % масс для кристаллического полимера. Для достижения высокого качества материала влажность не должна превышать 0,01 % масс. При температурах выше точки плавления (245-253 °С) присутствующая влага быстро гидролизует полимер, приводя к уменьшению его молекулярной массы и изменению соответствующих физико-механических свойств. Гидролиз может начинаться в твердой фазе при