

В.Е. ГОРБАЧИК, К.А. ЗАГАЙГОРА

**АНИЗОТРОПИЯ
МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ**

Библиотека ВГТУ



Витебск 2003

УДК 685.34.03.675.92.017

ББК 37.25

Г 67

Авторы:

В.Е. Горбачик – докт.техн.наук, профессор, зав.кафедрой конструирования и технологии изделий из кожи УО «Витебский государственный технологический университет»;

К.А. Загайгора – канд.техн.наук, доцент кафедры конструирования и технологии изделий из кожи УО «Витебский государственный технологический университет».

Рецензенты:

А.П.Жихарев – канд.техн.наук, профессор, зав.кафедрой материаловедения Московского государственного университета дизайна и технологии.

А.Ю.Зыбин – канд.техн.наук, старший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института кожевенно-обувной промышленности (ГП ЦНИИКП) г. Москва.

Рекомендована:

Кафедрой «Конструирование и технология изделий из кожи» УО «Витебский государственный технологический университет»;

Советом Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Г.67

Горбачик В.Е. Анизотропия механических свойств синтетических кож. / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора. – Витебск: УО «ВГТУ», 2003. – 148 с.

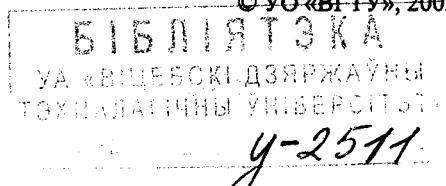
УДК 685.34.03.675.92.017

ББК 37.25

ISBN 985-6655-94-3

©Авт. Горбачик В.Е., Загайгора К.А., 2003

© УО «ВГТУ», 2003



СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	стр. 5
1. Теоретические предпосылки исследования анизотропии деформационных и прочностных свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви.....	8
1.1. Обоснование подхода для исследования анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож.....	15
1.2. Аналитическое описание анизотропии предельных характеристик искусственных и синтетических кож.....	21
1.3. Аналитическое описание анизотропии коэффициента удлинения искусственных и синтетических кож.....	24
2. Экспериментальное исследование анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви при одноосном растяжении.....	24
2.1. Методика исследования анизотропии.....	33
2.2. Особенности деформирования искусственных и синтетических кож под углом к осям структурной симметрии.....	48
2.3. Анизотропия показателей механических свойств искусственных и синтетических кож при одноосном растяжении.....	48
2.3.1. Анизотропия разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений.....	48
2.3.2. Анизотропия прочности.....	52
2.3.3. Анизотропия коэффициентов поперечных деформаций.....	54
2.3.4. Анизотропия угла сдвига γ и угла ϕ	57
2.3.5. Анизотропия остаточных деформаций.....	59
3. Исследование возможности аналитического описания анизотропии разрушающих удлинений, коэффициентов удлинений и прочности искусственных и синтетических кож.....	62
3.1. Проверка симметрии деформационных свойств искусственных и синтетических кож.....	62
3.2. Аппроксимация экспериментальных данных тензориальными формулами.....	66
4. Анизотропия механических свойств систем материалов при одноосном растяжении.....	73
4.1. Особенности деформирования систем материалов.....	75
4.2. Анизотропия характеристик механических свойств систем материалов.....	79

4.3. Исследование возможности описания анизотропии деформационных свойств систем материалов тензорными формулами.....	89
5. Анизотропия деформационных свойств обувных материалов и систем при двухосном растяжении	92
5.1. Разработка способа определения анизотропных характеристик плоских материалов.....	92
5.2. Характеристика анизотропии деформационных свойств искусственных и синтетических кож при двухосном растяжении.....	102
5.3. Анизотропия деформационных свойств систем материалов при двухосном растяжении.....	107
6. Исследование предельных характеристик искусственных и синтетических кож при двухосных видах растяжения.....	110
6.1. Исследование механических свойств СК при растяжении с различной степенью двухосности.....	110
6.2. Свойства искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном растяжении.....	115
6.3. Свойства систем материалов при двухосном симметричном растяжении.....	123
6.4. Определение предельных деформаций ИК, СК и систем материалов при двухосных сложных видах растяжения.....	127
7. Особенности производства обуви с верхом из синтетических кож с учетом анизотропии их механических свойств.....	131
7.1. Влияние анизотропии деформационных свойств синтетических кож на качество формования обуви.....	131
7.2. Учет анизотропии и особенностей механических свойств синтетических кож при разработке конструкции и технологического процесса производства обуви	135
Список использованных источников.....	141

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для верха обуви наряду с новыми видами натуральных кож широкое распространение получают искусственные (ИК) и синтетические (СК) кожи, которые отличаются технологией изготовления, структурой и свойствами. Эффективность применения ИК и СК во многом зависит от знания и правильного учета их свойств при разработке конструкции и технологии изготовления обуви. Это обуславливает необходимость всестороннего и детального изучения свойств синтетических и искусственных кож.

В работах А.Д. Зайончковского, Ю.М. Гвоздева, Е.Я. Михеевой, В.Л. Швецовой, М.Н. Иванова, М.А. Файбышенко, В.А. Егорычевой, Я.С. Скворчинской, В.Свободы, Л. Лоранта, А.И.Саутина, Г.П. Андриановой и др. исследовалась структура, физико-механические, упруго-пластические и гигиенические свойства ИК и СК для верха обуви.

Однако, как показывает практика применения этих материалов, производство обуви с верхом из ИК и СК зачастую сопровождается рядом характерных дефектов: заготовки некачественно формуются на колодках, зачастую излишняя ширина затяжной кромки по периметру, наблюдается неравномерная усадка верха в процессе хранения и эксплуатации обуви, что приводит к искажению ее формы, и др.

Одной из причин возникновения указанных дефектов является анизотропия, то есть различие свойств этих материалов в различных направлениях.

Несмотря на то, что искусственные и синтетические кожи для верха обуви в большинстве случаев обладают значительной анизотропией свойств, испытания их по ГОСТ 17316-71 проводятся только в продольном и поперечном направлениях. Экстремальные же значения характеристик механических свойств анизотропных материалов зачастую не совпадают ни с продольным, ни с поперечным направлениями.

В тоже время знание анизотропии деформационных свойств материалов и ее учет при разработке конструкции заготовок верха обуви должно способствовать сохранению запроектированной формы модели, получению стабильной

по величине затяжной кромки по периметру, лучшему облегаю заготовкой колодки, приводить к повышению стабильности технологического процесса производства обуви и облегчить решение проблемы соответствия выпускаемой обуви утвержденному образцу.

На основании детального исследования анизотропии деформационных и прочностных свойств материалов можно разработать рациональные варианты их раскроя, что создаст предпосылки для улучшения использования материалов по площади без ухудшения качества проведения технологических операций и качества обуви в целом.

В настоящей монографии излагаются результаты авторских работ, проводившихся в течение ряда лет в Витебском государственном технологическом университете (бывший Витебский технологический институт легкой промышленности) и посвященных исследованию анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож, а также систем, имитирующих верх обуви с этими материалами.

Впервые теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность исследования анизотропии механических свойств искусственных обувных материалов, обладающих большими деформациями, и их систем на основе гипотезы сплошной квазигомогенной ортотропной среды. Установлено, что искусственным (ИК) и синтетическим (СК) козам при одноосном растяжении под углом к осям структурной симметрии присущи все особенности деформирования, характерные для типичных анизотропных конструкционных материалов. Предложены аналитические формулы для определения анизотропии ряда деформационных и прочностных характеристик при одноосном растяжении СК и ИК для верха обуви и для расчета предельных значений деформаций при двухосных сложных видах растяжения, исходя из тензорно-полиномиального критерия прочности и основных соотношений теории термоупругости анизотропных сред, которые могут быть использованы при разработке рациональных систем раскроя ИК и СК, а также при проектировании обуви из этих материалов и в САПР.

Описаны разработанные авторами новые методики и установки для исследования механических свойств обувных материалов и их систем при различных видах растяжения (одноосное, стесненное, двухосное симметричное и с различной степенью двухосности), которые позволили повысить точность измерения исследуемых характеристик, снизить трудоемкость испытаний и дали возможность комплексного исследования обувных материалов и систем.

Изложены результаты комплексного исследования анизотропии деформационных и прочностных свойств обувных материалов и их систем при одноосном и двухосном растяжении. Показана возможность прогнозирования анизотропии деформационных свойств систем СК + ткань, зная характер анизотропии этих свойств компонентов системы и их взаимное расположение в системе.

Рассмотрены пути учета особенностей механических свойств синтетических кож и их анизотропии при конструировании и технологии производства обуви, внедрение которых позволяет существенно улучшить качество формования и повысить формоустойчивость обуви.

Данная монография предназначена для инженерно-технических работников научно-исследовательских организаций и обувных предприятий, а также для студентов, магистров, аспирантов и преподавателей соответствующих специальностей.

Авторы выражают благодарность рецензентам проф. Жихареву А.П. и с.н.с. Зыбину А.Ю. за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Замечания по книге просьба направлять по адресу: 210035, Витебск, Московский пр-т, 72, УО «Витебский государственный технологический университет».

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ АНИЗОТРОПИИ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ

1.1. Обоснование подхода для исследования анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож

Анализ литературы по исследованию анизотропии механических свойств различных материалов показал, что этот вопрос привлекал внимание многих исследователей в различных областях техники. Так, для материалов, применяемых в обувном производстве, в основном исследовалась анизотропия деформационных свойств и прочности натуральной кожи и тканей. Этому вопросу посвящены работы Н.В.Чернова, Н.И.Егоркина, Ю.Л. Кавказова, Ю.П.Зыбина, М. П.Куприянова, Н.А.Богданова, В.А. Скатернова и др.

Н.В.Черновым разработана теория, согласно которой структурные элементы кожи ориентируются в направлении действия силы, следствием чего является снижение тягучести в указанном направлении [1]. Анизотропия натуральной кожи обуславливается гистоархитектоникой ее структуры и значительной ориентацией макроструктурных элементов кожаной ткани в процессе производства.

Для оценки анизотропии удлинений натуральной кожи М.П. Куприянов предложил определять средний коэффициент неравномерности удлинений $K_{\text{ср}} = \epsilon_{\text{пол}} / \epsilon_{\text{прод}}$ при $\sigma = 9,8 \text{ МПа}$ [2]. На основании экспериментального исследования анизотропии удлинений отдельных участков кожи разработаны типовые схемы рационального раскроя кожевенных материалов [3, 4].

Н.А.Богдановым и В.А. Скатерным исследована анизотропия разрушающих удлинений, прочности и коэффициента поперечного сокращения обувных тканей [5, 6]. На основе экспериментального определения исследуемых характеристик построены полярные диаграммы, которые показывают из-

менение этих характеристик в зависимости от направления выкраивания образцов.

Более детальные исследования анизотропии деформационных свойств и прочности тканей и трикотажа, применяемых в производстве одежды, проведены Б.П. Поздняковым, К. Висенбергом, А.Чедвиком, Р. Шортером, Т.А. Модестовой, Б.А. Бузовым и др. В этих работах наряду с экспериментальными исследованиями деформационных свойств и прочности тканей изучалась возможность аналитического ее описания. Ткани в соответствии с их структурой, рассматривались как прерывистые среды, элементарная структурная ячейка которых имеет четко выраженную геометрическую форму. При этом анизотропия деформационных свойств и прочности тканей является следствием геометрического изменения формы структурной ячейки при приложении растягивающих усилий под углом к нитям основы и утка. Установлены эмпирические зависимости прочности и относительного удлинения от направления приложения растягивающих сил [7,8].

Применительно к синтетическим козам для верха обуви исследовалась анизотропия прочности СК на нетканой основе [9]. Основной причиной анизотропии авторы считают преимущественную ориентацию волокон структуры СК вдоль рулона при их производстве.

Многочисленные работы выполнены по исследованию анизотропии свойств различных конструкционных материалов [10-16]. Наряду с экспериментальным изучением анизотропии прочности и упругости конструкционных материалов исследовалась также возможность аналитического ее описания. И здесь следует отметить два подхода, используемых для этих целей. Первый состоит в том, что материал рассматривается как существенно неоднородная композитная среда, состоящая из армирующих компонентов (основы) и компонентов связующего. Анизотропию свойств композита при таком подходе определяют в зависимости от свойств компонентов. При этом оказывается необходимым экспериментальное определение свойств компонентов и полное отражение в расчетной схеме всех обстоятельств совместной работы основы и свя-

зующего в процессе деформирования материала.

Во втором подходе при рассмотрении механических свойств анизотропного материала вводится допущение о сплошной квазигомогенной среде, то есть вместо реального, обычно весьма неоднородного материала, рассматривается некоторая идеализированная сплошная однородная среда, обладающая симметрией строения и симметрией свойств. Такой подход в последнее время широко используется для изучения прочностных и упругих свойств таких анизотропных материалов, как металлы, древесина, фанера, стеклопластики и др. [10-16]. При этом свойства анизотропных сплошных сред, обладающих симметрией, количественно характеризуются тензориальными величинами, преобразование которых при повороте осей координат происходит по определенным законам.

Весьма положительным при этом можно считать, что для описания анизотропии свойств материалов различной структуры могут быть применены законы преобразования компонентов тензора одного и того же ранга при повороте осей координат, если имеется одинаковая симметрия этих свойств.

Следует также отметить, что большим преимуществом подхода, базирующегося на гипотезе сплошной квазигомогенной среды, можно считать то, что он позволяет рассчитывать по аналитическим формулам не только анизотропию свойств при одноосном растяжении, но и дает возможность теоретического расчета предельных кривых прочности анизотропных материалов при двухосном напряженном состоянии [11-14].

Таким образом, как показал анализ литературы, исследование анизотропии свойств материалов может основываться на представлении их структур как прерывистых сред, с четко выраженной геометрически правильной структурной ячейкой, композитных сред, свойства которых определяются в зависимости от свойств компонентов, и как сплошной однородной среды, имеющей симметрию строения и свойств.

Искусственные и синтетические кожи представляют собой системы, состоящие из одного, двух или трех разнородных компонентов, и изготавливают-

ся на тканевой, нетканой волокнистой, смешанной (волокнистая основа с армирующей тканью) основах или без основы (пленочные):

Структура искусственных кож на тканевой основе имеет четко выраженные ячейки в виде переплетения тканевой основы, неплотности которой заполнены полимерной пленкой, прочно связанной с основой, за счет чего достигается монолитность структуры.

Синтетические кожи на волокнистой основе представляют собой двухслойные системы: нетканую основу в виде синтетических волокон, соединенных полимерным связующим, и лицевую полимерную пленку. Ни одна из составляющих структуры этих кож не имеет четких структурных ячеек.

Синтетические кожи на нетканой волокнистой основе с армирующей тканью состоят из трех слоев: волокнистой основы, упрочняющей тканевой сетки, находящейся в середине, и полимерной лицевой пленки. В их структуре только тканевая сетка имеет четко выраженную геометрическую форму структурной ячейки, но она прочно связана с полимерной пленкой и волокнистой основой.

Что касается безосновных пленочных синтетических кож, то они не имеют четких структурных ячеек.

Таким образом, можно сделать вывод, что для искусственных и синтетических кож представление их структур, как прерывистых сред, с четко выраженной геометрически правильной структурной ячейкой мало пригодно, так как часть из них вообще не имеет таких ячеек (синтетические кожи на волокнистой основе и безосновные), но даже в случае тканевой основы деформации ячейки связаны с деформациями полимерного связующего.

Исследование анизотропии свойств синтетических и искусственных кож на основе компонентного подхода, как для композитных сред, свойства которых определяются в зависимости от свойств компонентов - основы и связующего, также мало пригодно, так как при этом не учитывается влияние технологических параметров производства, которые мало влияют на свойства компонентов структуры, но в значительной степени изменяют свойства готового ма-

териала.

Исследование анизотропии свойств материала на основе гипотезы сплошной квазигомогенной среды базируется на двух допущениях: - материалы рассматриваются как сплошные квазигомогенные среды; - материалы должны иметь плоскости симметрии свойств. Рассмотрение материалов как сплошных квазигомогенных сред предполагает, во-первых, монолитность структуры материалов, под которой подразумевается прочность связи элементов структуры, во-вторых, повторяемость механических свойств материалов при одинаковых температурах и скорости испытания, в-третьих, величину исследуемых образцов или изделий достаточно большую по сравнению с размерами структурных элементов материала [10, 13, 14].

Как отмечалось выше, компоненты структуры искусственных и синтетических кож для верха обуви (полимерная связующая, ткань и нетканая основа) прочно связаны между собой, что является одним из основных технологических требований, предъявляемых к этим материалам. Экспериментальные исследования ИК и СК разных структур при одинаковых температурах и скорости испытания показывают достаточно близкие значения характеристик их механических свойств. Как и все армированные материалы ИК и СК существенно неоднородны на расстояниях порядка поперечных размеров армирующих элементов. Однако, эти размеры пренебрежительно малы по сравнению с размерами детали обуви или образца.

Таким образом, искусственные и синтетические кожи для верха обуви в первом приближении можно рассматривать как сплошные квазигомогенные среды. При этом конкретные особенности их структуры не учитываются.

Исследование анизотропии свойств материала на основе гипотезы сплошной квазигомогенной среды предусматривает также наличие плоскостей симметрии свойств. Под плоскостью симметрии свойств следует понимать, что в рассматриваемой плоскости материала имеются эквивалентные направления, в которых величины исследуемых свойств отличаются незначительно. При этом симметричной называют такую фигуру, которая может быть совмещена

сама с собой при повороте вокруг осей симметрии или при ее отражении в плоскости симметрии [10, 15]. Наиболее часто в технике встречаются материалы, которым с достаточной степенью точности можно приписать наличие в каждом элементарном объеме 3-х взаимно-перпендикулярных плоскостей симметрии механических свойств. Такие материалы называются ортотропными или ортогонально-анизотропными. К ортотропным материалам относятся древесина, фанера, стеклопластика, текстолиты, пленки ориентированных полимеров и т.д. [10-17].

Симметрия свойств анизотропных сред определяется их строением или структурой. Так, строение древесины определяет три взаимно-перпендикулярные направления: продольное, радиальное и тангенциальное, в которых механические свойства существенно разнятся.

Симметрия свойств пленок ориентированных полимеров определяется упорядочением структуры вдоль направления ориентации. Вследствие этого они имеют различие механических свойств в продольном и поперечном направлениях и в направлении, перпендикулярном к плоскости листа. В каждом элементарном объеме пленок выделяют три взаимно-перпендикулярные плоскости симметрии механических свойств: серединную плоскость листа и две взаимно-перпендикулярные плоскости, проходящие вдоль направления ориентации и поперек его.

Симметрия свойств листовых слоистых материалов, таких как фанера, стеклопластики, текстолиты определяется симметрией отдельных слоев и их взаимным расположением.

Искусственные и синтетические кожи на тканевой, нетканой и смешанной основах представляют собой слоистые системы наподобие стеклопластиков и текстолитов, бесосновные - по структуре приближаются к пленкам ориентированных полимеров. Рассмотрим возможные схемы симметрии структуры различных искусственных и синтетических кож для верха обуви.

Структура искусственных кож на тканевой основе указывает на различие между продольным и поперечным направлениями, что обусловлено разли-

нием свойств ткани вдоль основы и утка. Кроме того в процессе производства искусственных кож тканевая основа и полимерная пленка ориентируются по направлению каландрования, что приводит к еще более значительному различию свойств в продольном и поперечном направлениях. Следовательно, можно предположить наличие в этих искусственных кожах двух плоскостей симметрии механических свойств, проходящих вдоль рулона и поперек его.

Структура синтетических кож на волокнистой основе указывает на преимущественную ее ориентацию в продольном направлении, что обусловлено технологией производства этих материалов. Это также позволяет предположить две взаимно-перпендикулярные оси структурной симметрии в плоскости листа: продольную и поперечную.

Синтетически кожи на смешанной основе представляют собой слоистый материал, для которого симметрия структуры определяется симметрией отдельных слоев и их взаимным расположением. Тканевая составляющая структуры, как отмечалось выше, имеет две плоскости симметрии: вдоль рулона и поперек него. Волокнистая же основа и полимерное связующее ориентируются в продольном направлении. Следовательно, можно предположить, что и синтетические кожи на смешанной основе должны иметь две взаимно-перпендикулярные плоскости структурной симметрии.

Синтетические кожи безосновные по своей структуре близки к ориентированным пленкам кристаллических полимеров, которые, как было сказано выше, относятся к ортотропным материалам. По аналогии и у этих синтетических кож так же можно предположить наличие двух плоскостей симметрии механических свойств.

Что касается третьей плоскости, проходящей перпендикулярно двум вышеуказанным, которая рассматривается в ортотропных материалах, то, учитывая небольшую толщину искусственных и синтетических кож, в качестве третьей плоскости условно можно рассматривать плоскость листа.

Таким образом, есть все основания к тому, чтобы искусственные и синтетические кожи для верха обуви отнести к ортотропным материалам. Для

окончательного вывода о возможности рассмотрения их как ортотропных материалов необходимо провести экспериментальную проверку симметрии свойств этих материалов в плоскости листа.

Относительная гомогенность и симметрия структуры искусственных и синтетических кож для верха обуви дают основание предположить возможность применения гипотезы сплошной квазигомогенной ортотропной среды для изучения анизотропии механических свойств этих материалов.

1.2. Аналитическое описание анизотропии предельных характеристик искусственных и синтетических кож

В ряде работ [10, 11, 16] на основании гипотезы сплошной квазигомогенной ортотропной среды выведены аналитические формулы для определения анизотропии характеристик механических свойств различных конструкционных материалов. Так, предложен и обоснован тензорно-полиномиальный критерий прочности, позволяющий аналитически определять прочность анизотропных материалов при различных напряженных состояниях: одноосном растяжении под произвольным углом к осям симметрии, при сложных двух и трехосных напряженных состояниях. Выведенные из этого критерия формулы, называемые тензориальными, широко используются для расчета анизотропии прочности древесины, фанеры, стеклопластиков и т.д. [10-17].

Для анизотропных материалов изучение прочности включает две задачи, тесно связанные между собой:

- исследование зависимости характеристик прочности от ориентации усилия по отношению к осям структурной симметрии материалов (анизотропия характеристик прочности);
- оценка прочности анизотропных тел при сложных (двух- и трехосных) напряженных состояниях).

Тензорно-полиномиальный критерий прочности позволяет решить обе задачи. При этом формулы для описания анизотропии предельных характеристик материала и формулы для расчета прочности при двух- и трехосных на-

пряженных состояниях, полученные из одного критерия прочности, оказываются тесно связанными между собой. Если эксперимент подтверждает, что одна из задач решена с достаточной для практики степенью приближения, то есть основания полагать, что и вторая даст приемлемые результаты.

Основным преимуществом тензорно-полиномиального критерия прочности по сравнению с другими, разработанными применительно к анизотропным материалам с учетом специфики их деформирования и разрушения [18-22] является то, что он хорошо подтверждается результатами испытаний при одноосном растяжении как слабо, так и сильно анизотропных материалов.

В развернутом виде тензорно-полиномиальный критерий прочности представляет собой полином 4-й степени относительно напряжений, действующих по площадкам, перпендикулярным осям симметрии материала. Для плоского напряженного состояния в одной из плоскостей симметрии материала тензорно-полиномиальный критерий прочности имеет следующий вид [16]:

$$\left[\frac{\sigma_x^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{90}^2} - \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot S_{xy} \right]^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \cdot \sigma_y, \quad (1.1)$$

где σ_0 - предел прочности при одноосном растяжении в направлении

оси симметрии X;

σ_{90} - предел прочности при растяжении в направлении оси симметрии Y;

σ_x, σ_y - растягивающие напряжения, действующие по площадкам,

перпендикулярным осям симметрии X и Y.

Величину S_{xy} в выражении (1.1) можно определить по формуле

$$S_{xy} = \frac{\sqrt{3}}{\sigma_\theta} - \frac{1}{\sigma_0} - \frac{1}{\sigma_{90}}, \quad (1.2)$$

где σ_θ - предел прочности при двухосном симметричном растяжении.

Из инвариантного полиномиального критерия прочности четвертой степени для частного случая одноосного растяжения в плоскости листа в направлении оси X (рис. 1.1) получена формула тензорного вида, позволяющая вычислять пределы прочности анизотропных материалов в произвольном на-

правлении [10]:

$$\frac{1}{\sigma_a} = \frac{\cos^4 \alpha}{\sigma_0} + \left(\frac{4}{\sigma_{45}} - \frac{1}{\sigma_0} - \frac{1}{\sigma_{90}} \right) \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{\sigma_{90}}, \quad (1.3)$$

где α - угол между направлением X' действия растягивающей силы и осью симметрии материала X (см. рис. 1.1);

$\sigma_0, \sigma_{45}, \sigma_{90}$ - разрушающие напряжения (пределы прочности) при одноосном растяжении образца материала в продольном, диагональном и поперечном направлениях, определяемые экспериментально;

σ_a - разрушающее напряжение в направлении оси X' .

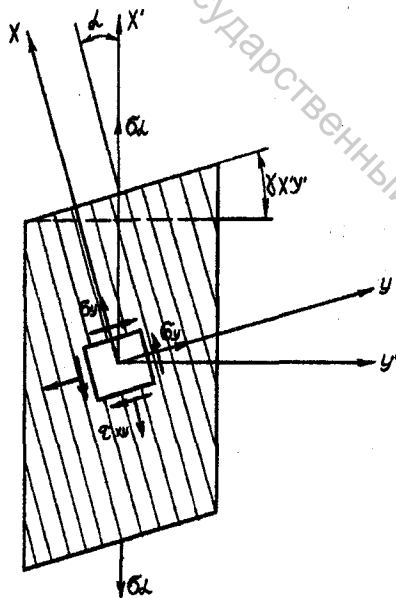


Рис. 1.1. Схема напряженного состояния элемента растянутого образца анизотропного материала

Формула (1.3) может быть приведена в более удобный вид

$$\sigma_a = \frac{\sigma_0}{\cos^4 \alpha + e \cdot \sin^2 2\alpha + c \cdot \sin^4 \alpha}, \quad (1.4)$$

$$\text{где } c = \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}}; \quad e = \frac{\sigma_0}{\sigma_{45}} - \frac{1+c}{4}.$$

Пригодность этой формулы подтверждают экспериментальные данные многих авторов, исследовавших анизотропию пределов прочности различных конструкционных материалов [10-15].

Среди материалов, для которых показана пригодность формулы (1.4) есть близкие по структуре к синтетическим кожа для верха обуви. Это

пленки ориентированных кристаллических полимеров, стеклопластики, текстолиты и др. На этом основании можно предположить, что указанная формула может быть рекомендована и для описания анизотропии прочности искусственных и синтетических кож для верха обуви.

Отличительной особенностью материалов для верха обуви является их способность к большим деформациям. При производстве и эксплуатации обуви они подвергаются значительным растяжениям в различных направлениях, поэтому для них, наряду с прочностью, большое значение приобретают деформационные свойства.

Однако, даже для конструкционных материалов, обладающих небольшими деформациями, возможность аналитического описания анизотропии деформационных свойств не исследовалась. Поэтому, впервые поставленная задача изучения анизотропии деформационных свойств материалов, обладающих большими удлинениями, с использованием подхода, основанного на гипотезе сплошной квазигомогенной ортотропной среды, представляет большой теоретический интерес.

Было выдвинуто предположение, что тензорно-полиномиальный критерий прочности можно записать в относительных деформациях, определяющих предельное состояние сильно деформируемых материалов. Из такого предположения следует, что при одноосном растяжении под углом к осям структурной симметрии анизотропия разрушающих удлинений подчиняется тем же закономерностям, что и анизотропия пределов прочности. Это дает основание к тому, чтобы изменение разрушающих удлинений в зависимости от направления растягивающих усилий в плоскости материала аппроксимировать тензорной формулой, полученной из тензорно-полиномиального критерия четвертой степени:

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{\varepsilon_0}{\cos^4 \alpha + v \cdot \sin^2 2\alpha + c \cdot \sin^4 \alpha}, \quad (1.5)$$

$$c = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{90}}; \quad v = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{45}} - \frac{1+c}{4},$$

где ε_{α} - разрушающие удлинения в произвольном направлении;

$\varepsilon_0, \varepsilon_{45}, \varepsilon_{90}$ - разрушающие удлинения соответственно в продольном, диагональном и поперечном направлениях;

α - угол между продольной осью симметрии X материала и направлением растяжения X'.

Материал заготовки верха обуви при формировании на современном оборудовании наряду с одноосным растяжением испытывает различные виды двухосного растяжения [23]. При двухосном растяжении синтетических кож величина относительной и предельной деформации также является определяющей. Практически важно получить формулы, устанавливающие связь между разрушающими деформациями при одноосном и двухосном симметричном растяжении, а также позволяющие вычислять предельные значения деформаций при несимметричном растяжении с любым соотношением принудительных деформаций в двух взаимноперпендикулярных направлениях.

Аналогичная задача решалась относительно прочности для различных конструкционных материалов [14,24]. При этом использовали также тензорно-полиномиальный критерий прочности четвертой степени, который для случая двухосного напряженного состояния в плоскости ХУ материала может быть представлен в таком виде

$$\sigma_x = \frac{\sigma_0 \sqrt{1 + K + K^2}}{1 + DK + CK^2}; \quad (1.6)$$

$$K = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}; \quad C = \frac{\sigma_0}{\sigma_{90}}; \quad D = \frac{\sigma_0}{\sigma_{\theta}} \sqrt{3} - C - 1,$$

где σ_0, σ_{90} - пределы прочности при одноосном растяжении в направлении осей симметрии;

σ_{θ} - предел прочности при двухосном симметричном растяжении;

σ_x, σ_y - растягивающие напряжения, действующие по площадкам, перпендикулярным осям симметрии Х и У.

По уравнению (1.6) можно определить величину опасного для данного материала напряжения при двухосном растяжении, при котором $\sigma_x \neq \sigma_y$ и $\tau_{xy} = 0$, если для него экспериментально определены характеристики $\sigma_0, \sigma_{90}, \sigma_{\theta}$.

Выше было высказано предположение, что симметрия прочностных и деформационных свойств искусственных и синтетических кож идентична и,

следовательно, можно ожидать ортогональную анизотропию деформационных свойств. Тогда, сохраняя допущения, положенные в основу вывода приведенных выше соотношений, зависимость предельных значений деформаций искусственных и синтетических кож от соотношения удлинений в двух взаимно перпендикулярных направлениях при двухосном растяжении будет иметь следующий вид:

$$\varepsilon_x = \frac{\varepsilon_0 \sqrt{1 + K + K^2}}{1 - DK + CK^2}; \quad (1.7)$$

$$K = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}; \quad C = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{90}}; \quad D = \frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_{\theta}} \sqrt{3} - C - 1,$$

где K - переменное отношение деформаций по осям X и Y ;

$\varepsilon_0, \varepsilon_{90}$ - разрушающие деформации в продольном и поперечном направлениях при одноосном растяжении;

ε_{θ} - разрушающие деформации при двухосном симметричном растяжении;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ - задаваемые величины относительных деформаций по осям симметрии материала X и Y .

По формуле (1.7) можно определить величины предельных деформаций синтетических кож при двухосных сложных видах растяжения, если экспериментально определены характеристики $\varepsilon_0, \varepsilon_{90}, \varepsilon_{\theta}$.

Задаваясь различным соотношением $K = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x}$, можно построить расчетные предельные кривые в осях координат $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ и $\varepsilon_y = k \cdot \varepsilon_x$, дающим графическое представление о величинах допустимых деформаций синтетических кож при двухосных сложных растяжениях.

Таким образом, для определения предельных значений деформаций при двухосных сложных видах растяжения необходимо экспериментально определить значения предельных деформаций при одноосном (ε_0 и ε_{90}) и двухосном симметричном (ε_{θ}) растяжении.

1.3. Аналитическое описание анизотропии коэффициента удлинения искусственных и синтетических кож

Одной из наиболее важных характеристик деформационных свойств обувных материалов является коэффициент удлинения A , который используют для оценки способности материала к растяжению, а также при расчете деформаций заготовок верха обуви в процессе формования. Известно, что коэффициент удлинения численно равен относительному удлинению образца материала при растягивающем усилии 98 Н. Если предположить, что деформации искусственных и синтетических кож при таком усилии подчиняются закону Гука, то коэффициент удлинения A при растяжении образца, выкроенного по оси X' , расположенной под углом α к продольному направлению рулона, определится зависимостью

$$A = \varepsilon_{x'} = \frac{\sigma}{E_{x'}} = \frac{98}{E_{x'} \cdot b \cdot t}, \quad (1.8)$$

где σ - напряжение, при котором определяется A ;

E - модуль упругости;

b и t - соответственно ширина и толщина образца.

Напряжение σ , при котором находим A , является постоянным независимо от направления растяжения, так как толщина искусственных и синтетических кож определенного вида по площади практически постоянна, ширина же образцов при любых ориентациях берется одинаковой. Таким образом, коэффициент удлинения A изменяется пропорционально величине $1/E_{x'}$.

В работе [10] для описания анизотропии модулей упругости конструкционных материалов, подчиняющихся закону Гука, предложена формула преобразования компонент тензора 4-го ранга при повороте осей координат, которая имеет следующий вид

$$\frac{1}{E_{x'}} = \frac{\cos^4 \alpha}{E_x} + \left(\frac{4}{E_{xy}^{45}} - \frac{1}{E_x} - \frac{1}{E_y} \right) \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin^2 \alpha + \frac{\sin^4 \alpha}{E_y}, \quad (1.9)$$

где α - угол между направлением действия растягивающего усилия и осью симметрии материала;

E_x, E_y, E_{xy}^{45} - модули упругости соответственно в направлениях осей

симметрии X, Y и в диагональном направлении, составляющем угол 45° с осями X и Y.

Следовательно, можно предположить, что изменение коэффициента удлинения синтетических кож при растяжении их в различных направлениях будет подчиняться такой же закономерности.

Однако известно, что искусственные и синтетические кожи относятся к материалам с реономными свойствами, т.е. поведение их при растяжении не подчиняется закону Гука. Для описания реономных свойств материалов применяют соотношение теории термовязкоупругости анизотропных сред [25]. Связь между напряжениями и деформациями в этих соотношениях определяется интегральными операторами, в которых ядра ползучести представляются тензорами четвертого ранга. Для них справедливы те же законы преобразования и симметрии, что и для тензора упругости. Отсюда следует, что геометрия и связь с ориентацией для упругих и неупругих деформаций имеет одинаковый характер.

Вязкоупругие свойства для направлений, не совпадающих с направлением осей симметрии материала, определяют при этом формулами преобразования компонент тензора четвертого ранга при повороте системы координат, причем упругие постоянные в них заменяют интегральными операторами или модулями неупругой деформации.

На основании этого в формуле (1.8) вместо модуля упругости E_x нужно рассматривать модуль неупругой деформации E_x'' , а анизотропию модулей неупругих деформаций определять по формуле

$$\boxed{\phantom{E_x'' = E_x'' + \nu_x''(E_y'' + E_{xy}''^{45})}}, \quad (1.10)$$

где $E_x'', E_y'', E_{xy}''^{45}$ - модули неупругой деформации по соответствующему направлению.

Величины $E_{x'}^n, E_x^n, E_y^n, E_{xy}^{n,45}$ связаны с коэффициентом удлинения A при растяжении под углом α к оси симметрии X искусственных и синтетических кож зависимостью

$$A_\alpha = \sigma / E_{x'}^n, \quad (1.11)$$

$$\text{при } \alpha = 0^\circ \quad A_0 = \sigma / E_x^n \quad (1.12)$$

$$\text{при } \alpha = 90^\circ \quad A_{90} = \sigma / E_y^n \quad (1.13)$$

$$\text{при } \alpha = 45^\circ \quad A_{45} = \sigma / E_{xy}^{n,45} \quad (1.14)$$

Подставляя (1.11) - (1.14) в выражение (1.10), получим

$$A_\alpha = A_0 \cos^4 \alpha + (4A_{45} - A_0 - A_{90}) \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha + A_{90} \sin^4 \alpha. \quad (1.15)$$

Разделив обе части равенства на A_0 , получим

$$\frac{A_\alpha}{A_0} = \cos^4 \alpha + \left(\frac{4A_{45}}{A_0} - 1 - \frac{A_{90}}{A_0} \right) \cos^2 \alpha \sin^2 \alpha + \frac{A_{90}}{A_0} \sin^4 \alpha. \quad (1.16)$$

Обозначим $A_{90}/A_0 = c$; $A_{45}/A_0 = a$, тогда

$$A_\alpha/A_0 = \cos^4 \alpha + (4a - 1 - c) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + c \sin^4 \alpha. \quad (1.17)$$

Выполнив некоторые преобразования, получим выражение

$$\frac{A_\alpha}{A_0} = \cos^4 \alpha + \left(a - \frac{1+c}{4} \right) \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha. \quad (1.18)$$

Обозначим $a - \frac{1+c}{4} = B$, тогда выражение (1.18) примет вид

$$A_\alpha/A_0 = \cos^4 \alpha + B \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha. \quad (1.19)$$

Откуда

$$A_\alpha = A_0 (\cos^4 \alpha + B \sin^2 2\alpha + c \sin^4 \alpha). \quad (1.20)$$

Таким образом, на основании теории термовязкоупругости анизотропных сред и рассмотрения анизотропии неупругих деформаций при постоянных напряжениях выведена аналитическая формула (1.20) определения анизотропии коэффициентов удлинений искусственных и синтетических кож для верха обуви. Однако пригодность выше сформулированных допущений и предложенных формул для описания анизотропии прочностных и деформационных характеристик искусственных и синтетических кож должна быть подтверждена результатами обоснованно поставленных экспериментов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИСКУССТВЕННЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

2.1. Методика исследования анизотропии

В работах [10, 12, 26] отмечается, что методика для исследования анизотропии механических свойств материалов считается приемлемой, если она обеспечивает в испытуемых образцах напряженное состояние, близкое к однородному одноосному, и разрушение образцов только в рабочей части. Сложность осуществления указанных требований связана с особенностями деформирования образцов анизотропных материалов при растяжении под углом к осям структурной симметрии. Как видно из рис.2.1, нормальные напряжения σ_x в этом случае вызывают не только продольные ϵ_x и поперечные ϵ_y деформации, но также и деформацию сдвига γ_{xy} , которая приводит к искажению первоначально прямых углов образца. Направление максимальной деформации анизотропного материала $\epsilon_{\max}$ при этом не совпадает с направлением растягивающих усилий. Окружность АВСД, нанесенная на поверхность образца, после растяжения под углом α к осям структурной симметрии, принимает форму эллипса $A_1B_1C_1D_1$, большая ось которого проходит под углом ϕ к направлению растягивающего усилия (см. рис. 2.2).

Испытание искусственных и синтетических кож для верха обуви на растяжение в настоящее время проводится на разрывных машинах с параллельно перемещающимися фиксированными зажимами (ГОСТ 17316-71). Предварительный эксперимент по исследованию анизотропии механических свойств синтетических кож по стандартной методике показал, что они ведут себя как типичные анизотропные материалы с присущими им особенностями деформирования, о которых говорилось выше. Однако, образцы, которые выкраивали под углом к осям структурной симметрии, закономерно разрушались по линии заземления в зажимах, в то время как образцы, выкроенные в направлении

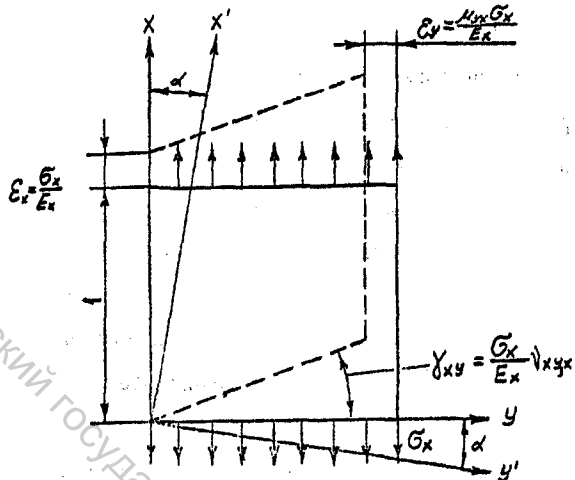


Рис. 2.1. Схема деформации анизотропного материала при растяжении под углом к осям структурной симметрии

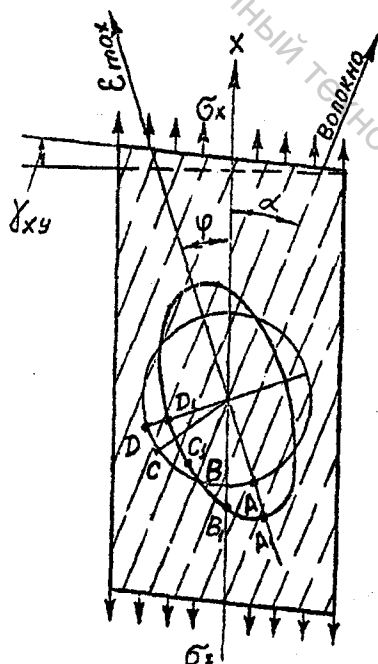


Рис. 2.2. Эллипс деформации при растяжении под углом к осям структурной симметрии

осей симметрии, разрушались в рабочей части. Это связано с тем, что в образцах, выкроенных под углом к осям структурной симметрии, по линии защемления имеет место значительная концентрация напряжений из-за “стеснений” сдвиговых деформаций, так как концевые сечения образца, зажатые в зажимы, не могут свободно поворачиваться по отношению к его оси. Растяжение синтетических кож также сопровождается значительными поперечными деформациями (также “стесненными” по линии защемления), которые приводят к сильному сворачиванию образцов (краевой эффект) из-за различной способности к сокращению отдельных слоев. Кроме этого, зажимы оказывают значительное удельное давление на образец в месте защемления, что еще больше усиливает неоднородность напряженного состояния.

Существующая методика испытания синтетических кож на растяжение не дает возможности измерять ряд деформационных свойств, которые появляются при растяжении под углом к осям структурной симметрии, таких, например, как деформации сдвига и др.

В связи с вышеизложенным возникла необходимость в разработке специальной методики исследования анизотропии механических свойств синтетических кож при одноосном растяжении. Были разработаны и изготовлены зажимы, названные «самоустанавливающимися», конструкция которых показана на рис. 2.3. Зажимы состоят из трех пар горизонтальных рычагов 1, 2 и 3, шарнирно соединенных с тремя вертикальными рычагами 4, 5, 6. Верхняя 1 и средняя 2 пары горизонтальных рычагов шарнирно соединены со средним вертикальным рычагом 6, который заканчивается хвостовиком 7, служащим для закрепления зажимов в разрывной машине. Нижняя пара горизонтальных рычагов выполняет функции зажимных губок для закрепления образца испытуемого материала. В средней части зажимных губок по ширине образца клеиваются вкладыши из резины или другого аналогичного материала, поперечное сечение которых симметрично уменьшается по направлению к рабочей части образца под углом 2-5°. Благодаря этому скосу удельное давление, передаваемое образцу, плавно уменьшается к краям губок.

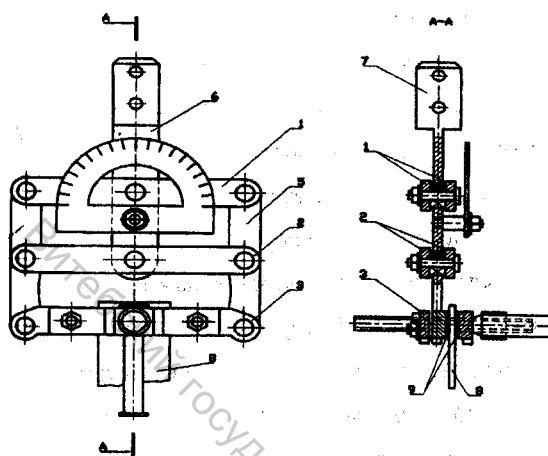


Рис. 2.3. Конструкция самоустанавливающихся зажимов

При растяжении образца самоустанавливающиеся зажимы легко поворачиваются в вертикальной плоскости, следуя за поворотом структуры материала. Благодаря этому снижается концентрация напряжений в образце, обусловленная "стеснением" деформаций сдвига. Однако самоустанавливающиеся зажимы не снижают влияния краевого эффекта на неоднородность напряженного состояния в испытуемых образцах.

Это решалось путем применения образцов определенных размеров и форм.

Проведенные исследования по влиянию формы и размеров образцов на их напряженное состояние при одноосном растяжении показало, что в прямоугольных образцах размером 200 x 40 мм с рабочей частью 150 x 40 мм форма окружности диаметром $d = 10$ мм в середине образца не искажается краевым эффектом. На этом основании можно считать незначительным влияние краевого эффекта на неоднородность напряженного состояния в середине испытуемых образцов указанных размеров.

Измерение характеристик деформационных свойств синтетических кож, которые проявляются при растяжении под углом к осям структурной симметрии, предложено проводить покадровой фотосъемкой окружности $d = 10$ мм и квадрата 10 x 10 мм, которые предварительно наносятся в середине образца материала.

В литературе [27, 28] отмечается, что нагружение на маятниковых разрывных машинах идет рывками вследствие инерции маятниковой системы,

рывных машинах идет рывками вследствие инерции маятниковой системы, что не только искажает характер процесса растяжения, но и влияет на величину показателей механических свойств материалов. Кроме того, рекомендуемые ГОСТом 17316-71 маятниковые разрывные машины РТ-250-М2 не имеют приспособления для записи диаграммы “нагрузка-удлинение”, что снижает точность замеров. Для устранения указанных недостатков нами на базе существующей машины РТ-250-М2 был разработан стенд, обеспечивающий непрерывное и плавное нагружение исследуемого образца материала и автоматическую запись диаграммы “нагрузка-удлинение” [29], а также использовалась разрывная машина “Frank”. Сравнение результатов испытания синтетической кожи по разработанной и по обычной методикам показало, что образцы выкроенные под углом к осям структурной симметрии по новой методике имеют разрушающие удлинения и нагрузки соответственно на 7-17% и 10-12% выше [29, 30].

Для исследования анизотропии механических свойств синтетических кож образцы размером 200 x 40 мм вырубались по определенной схеме с изменением направления выкраивания от 0° до 360° с шагом 15°. За нулевое направление условно принято направление вдоль рулона. По каждому направлению испытывалось не менее 10 образцов. Чтобы исключить влияние перепада температуры и влажности среды, образцы перед испытанием выдерживались в эксикаторах при влажности 65% и температуре 293 °К.

При растяжении автоматически записывалась диаграмма “нагрузка-удлинение” и одновременно через 5% относительного удлинения производилась покадровая фотосъемка окружности и квадрата, нанесенных в середине рабочей части образца. По кривым растяжения определяли разрушающие удлинения и нагрузки, коэффициент удлинения. По фотопленкам - удлинения $\epsilon_{\text{пmax}}$, ϵ_x , ϵ_y , угол сдвига γ и угол отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ . Полученные значения исследуемых характеристик обрабатывались с использованием методов математической статистики.

Предварительные эксперименты по определению поперечного сокращения путем покадрового фотографирования квадрата, нанесенного в середине образца выявили ряд недостатков такого метода. Во-первых, указанный способ не позволяет осуществить непрерывную регистрацию поперечной деформации образца, что снижает его информативность, особенно на начальном участке растяжения. Во-вторых, в процессе растяжения образцов центр образца постоянно смещается и это требует синхронного перемещения фотоаппаратуры, что технически обеспечить достаточно сложно, а перемещение на глаз вносит существенные погрешности. Кроме того, растяжение большинства синтетических кож сопровождается значительным сворачиванием образцов (краевой эффект), а это в свою очередь искажает результаты измерений.

Учитывая это, было разработано устройство, которое позволило осуществить непрерывную регистрацию поперечного сокращения образца в процессе растяжения.

Устройство (рис. 2.4) содержит оптическую систему 1, состоящую из проекционной лампы 2 и линзы 3, связанную с предметной рамкой 4. Одна часть предметной рамки имеет два направляющих ролика 5 и прижимное стекло 6, через которое свет от оптической системы попадает на центральную зону испытуемого образца. Другая имеет расположенную в центре прорезь 8, через которую свет попадает на фотодатчик 9, который соединен с двухкоординатным самописцем ПДС-021. В центре прорези 8 закреплена игла 10, которая проходит в отверстие прижимного стекла 7 и предназначена для фиксации прибора относительно испытуемого образца 11. Обе части предметной рамки соединены между собой петлей 12 и крепятся защелкой 13. Устройство при помощи шарнирных направляющих стоек 14 и планки 15 крепится к неподвижному зажиму разрывной машины 16.

Устройство работает следующим образом: образец материала закрепляется в зажимах разрывной машины так, чтобы он проходил по направляющим 5, затем устройство поднимается до совпадения острия иглы с центром рабочей части образца и в этом положении подвижная часть рамки скрепляется с непод-

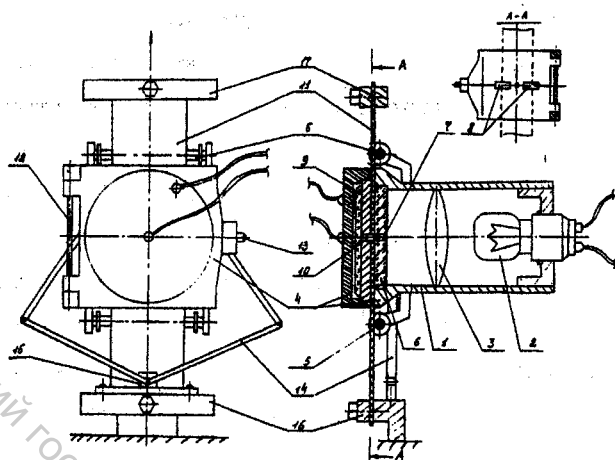


Рис. 2.4. Схема устройства для измерения поперечной деформации материалов

вижной при помощи защелки 13. При этом игла проходит сквозь материал и входит в отверстие 7, тем самым закрепляя устройство на образце. При растяжении образца происходит поперечное сокращение материала, которое увеличивает световой поток на фотодатчик, что в итоге приводит к росту тока, который регистрируется записывающим прибором ПДС-021. На другую координату самописца подается сигнал, регистрирующий продольную деформацию образца ϵ_x . Таким образом, на ПДС-021 записывается график зависимости поперечной деформации образца ϵ_y от продольной ϵ_x , т.е. $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$. Устройство надежно, обеспечивает высокую точность, объективность и повторяемость результатов. Новизна разработанного устройства подтверждена патентом [31].

Кроме поперечного сокращения по ширине в процессе растяжения происходит также поперечное сокращение и по толщине образца ϵ_z . Для его измерения нами также разработано специальное устройство, позволяющее осуществлять непрерывную регистрацию толщины образца в процессе одноосного растяжения (рис. 2.5).

Устройство состоит из корпуса 1, имеющего в своей конструкции подпружиненный прижим 2, с помощью которого оно крепится на образце мате-

риала 3, заправленного в зажимы 4 разрывной машины "Frank", светодиод 5, фотодиод 6 и подпружиненный шток 7. При движении штока 7 смещается имеющееся в нем окно 8, вызывающее изменение тока на фотодиоде 6, что фиксируется на регистрирующем приборе. Использование в качестве регистрирующего прибора двухкоординатного самописца ПДС-021 позволило получить график зависимости деформации образца по толщине от продольной деформации ϵ_x .

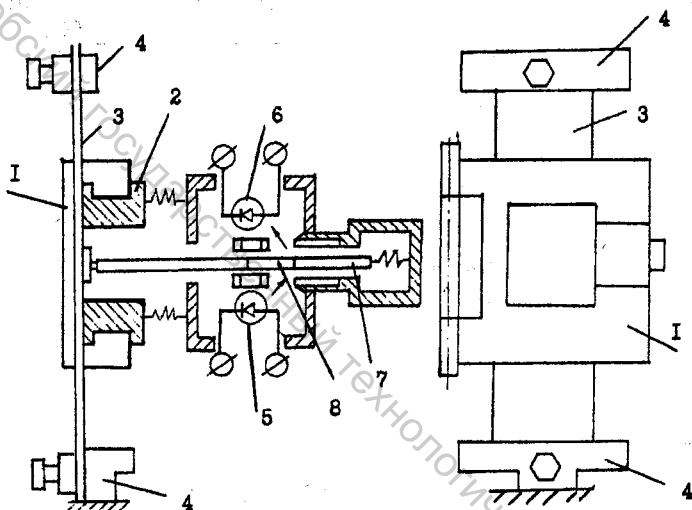


Рис. 2.5. Схема устройства для измерения деформации образца по толщине

Для определения относительного остаточного удлинения использовались образцы размером 150 x 20 мм (рабочая часть 100 x 20 мм). Образцы растягивали на специальных рамках, по направляющим которых перемещается рейка с укрепленными на ней зажимами. Образцы растягивали на 13% и выдерживали в растянутом состоянии в течение 2-х часов, что соответствует средним величинам деформаций заготовок верха обуви при формовании и времени, в течение которого обувь находится на колодках. После разгрузки образцов измеряли остаточные удлинения через семь суток пролежки с помощью микроскопа МИР-12 (цена деления 0,01 мм), что повысило точность измерений,

учитывая небольшие величины остаточных деформаций.

Для исследования были выбраны искусственные и синтетические кожи, охватывающие все известные структуры материалов, отличающиеся основой и покрытием. Для сравнения исследовался также ряд натуральных кож. Характеристика выбранных для исследования материалов представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристика исследуемых материалов

Основа	Покрытие	Материал	Толщина, мм	Страна изготовитель, артикул, ГОСТ, ТУ
Тканевая	Совмещенное (поливинилхлоридный и нитрильный каучук)	Винилискожа-Т (совинол)	0,7	СССР, арт. 7266
		Винибан	0,9	Япония
Нетканая волокнистая с армирующей тканью (смешанная)	Полиэфируретановое	СК-2	1,1	СССР, ТУ 17-21-07-123-75
		Корфам	0,8	США
		Барекс	1,1	ЧССР
Нетканая волокнистая без армирующей ткани (нетканая)	Полиуретановое	СК-8	1,3	СССР, ТУ 17-26-6-75
		Ксиле	0,8	ФРГ
		Кларино 1000	1,4	Япония
Без основы	Полиуретановое	Порвайр	1,0	Англия
Натуральные кожи	Акриловое	Опоек	1,0	СССР, ГОСТ 939-75
	Полиуретановое	Эластичная кожа (выросток)	1,0	СССР, ОСТ 17258-80
	Акриловое	Выросток	1,1	СССР, ГОСТ 939-75
	Акриловое	Шевро	0,9	СССР, ГОСТ 939-75

2.2. Особенности деформирования искусственных и синтетических кож под углом к осям структурной симметрии

Разработанная методика позволила детально исследовать и раскрыть особенности деформирования искусственных и синтетических кож при растяжении под углом к осям структурной симметрии.

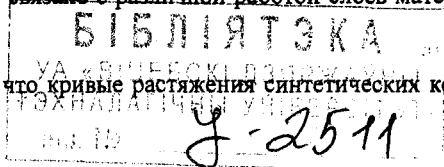
На рис. 2.6 представлены кривые “удлинение-нагрузка” исследованных искусственных (ИК) и синтетических (СК) кож.

Анализ кривых растяжения показывает, что их форма и взаиморасположение зависят от структуры материала и направления выкраивания образцов. Так, у всех ИК и СК кривые растяжения в продольном направлении сдвинуты к оси нагрузок, что свидетельствует о большей жесткости и преимущественной ориентации структуры материалов в этом направлении.

У СК на нетканой основе (кларино, СК-8, ксиле) при всех направлениях выкраивания образцов кривые растяжения выпуклостью обращены к оси нагрузок, то есть удлинения этих материалов вначале растут медленно, а по мере растяжения скорость нарастания деформаций увеличивается. Объяснить это, по-видимому, можно тем, что волокна синтетических кож на нетканой основе плотно прижаты друг к другу и склеены, и чтобы синтетические кожи могли легко растягиваться, необходимо сначала затратить работу на разделение волокон. Кроме того, кривые растяжения постепенно смещаются от оси нагрузок к оси удлинений при изменении направления выкраивания образцов, что свидетельствует об увеличении их тягучести при переходе от продольного направления к поперечному.

Характер кривых растяжения искусственных кож на тканевой (совинол, винибан) и синтетических на смешанной (корфам, СК-2) основах нечетко выражен. В одних направлениях кривые растяжения имеют выпуклость к оси нагрузок, в других - к оси удлинений. Зачастую кривые растяжения имеют S-образную форму, что, очевидно, связано с различной работой слоев материала на разных стадиях нагружения.

Следует также отметить, что кривые растяжения синтетических кож на



смешанной основе и винибана изменяют свою форму от выпуклой по отношению к оси нагрузок к вогнутой при переходе от продольного направления к диагональному и, наоборот - при переходе от диагонального направления к поперечному. Такой характер кривых растяжения, очевидно, можно объяснить тем, что при растяжении в продольном, поперечном и прилегающих к ним направлениях вследствие преимущественной ориентации структуры материалов в этих направлениях, деформация вначале растяжения происходит, в основном, за счет растяжения волокон компонентов структуры, а в конечный период к ней добавляется деформация сдвига отдельных слоев друг относительно друга. Поэтому интенсивность роста деформации в конце растяжения больше, чем вначале.

Растяжение же в диагональных направлениях вначале происходит в основном за счет ориентации структуры по направлению растягивающих сил, а в конце - за счет растяжения волокон структуры, что вызывает быстрый рост деформаций вначале и относительное замедление в конце растяжения.

Кривые растяжения ИК на тканевой и СК на смешанной основах сходны с кривыми растяжения тканей, что свидетельствует о большой роли тканевой составляющей структуры в механизме деформирования этих материалов.

Кривые растяжения безосновного порвайра по различным направлениям имеют почти прямолинейный характер и проходят очень близко друг к другу, что свидетельствует о более равномерной ориентации структуры по всем направлениям.

Кривые растяжения ИК и СК по различным направлениям указывают на значительную анизотропию их механических свойств. Исключением является порвайр, который обладает небольшой анизотропией. Анализ покадровой фотографии окружностей и квадратов, нанесенных на образцы, показал, что при растяжении образцов, выкроенных под углом к осям структурной симметрии, окружность превращается в эллипс, большая ось которого отклоняется от направления растяжения на некоторый угол ϕ , а квадрат - в параллелограмм. Аналогичный характер деформации окружности и квадрата наблюдается у всех

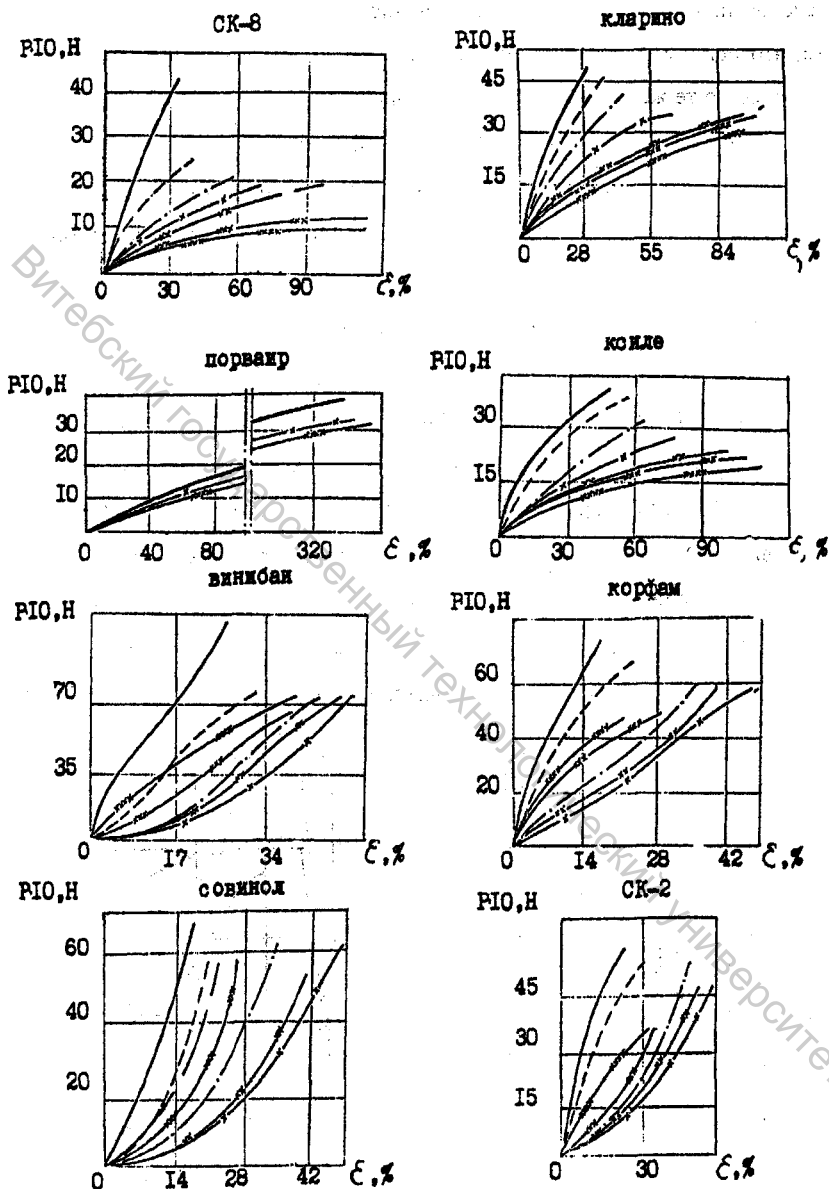


Рис. 2.6. Кривые «удлинение-нагрузка» ИК и СК при одноосном растяжении: — - продольное; - - - под углом 15° ; - . - - 30° ; — х — 45° ; — хх — 60° ; — ххх — 75° ; — хххх — поперечное

исследованных материалов, за исключением порвайра. Это свидетельствует о том, что при растяжении ИК и СК под углом к осям структурной симметрии имеют место те же особенности деформирования, что и при растяжении анизотропных конструкционных материалов: направление максимальной деформации не совпадает с направлением растяжения и отклоняется от него на угол φ ; наряду с продольными и поперечными деформациями появляются деформации сдвига, о наличии которых свидетельствует угол γ (см. рис. 2.2).

При растяжении порвайра углы γ и φ имеют небольшие величины (порядка $1-2^\circ$), что говорит о незначительной анизотропии этого материала.

Величина угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил φ и угла сдвига γ ИК и СК изменяется при растяжении образцов [32]. На рис. 2.7 в качестве примера представлены графики зависимости углов γ и φ от относительного продольного удлинения при растяжении образцов свиного, кларино и корфам, выкроенных под углом 30° к продольному направлению. Для других направлений, в которых имеются углы γ и φ , эта зависимость имеет аналогичный характер.

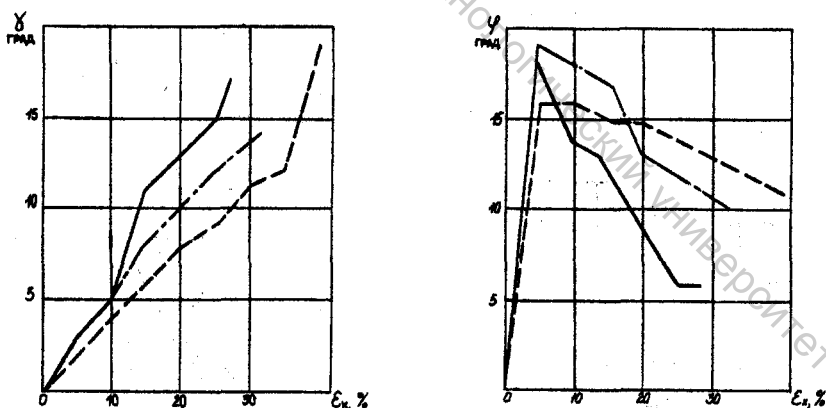


Рис. 2.7 – Изменение угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил φ искусственных и синтетических кож в зависимости от относительного продольного удлинения ϵ_x .

Условные обозначения: — - свиной; --- - корфам; ---- - кларино

Из рисунка следует, что угол ϕ вначале растяжения имеет максимальную величину, а по мере удлинения он уменьшается. Это говорит о том, что с увеличением относительной продольной деформации образцов ИК и СК, выкроенных под углом к осям структурной симметрии, направление максимальной деформации стремится совпасть с направлением растягивающих сил.

В отличие от угла ϕ угол γ с увеличением относительного удлинения возрастает и достигает максимального значения перед разрушением. Это свидетельствует о росте доли деформации сдвига в общей деформации этих материалов при увеличении их удлинения.

На величины углов γ и ϕ влияет структура материала. Более высокие значения этих углов при одних и тех же удлинениях у ИК на тканевой и СК на смешанной основах, т.е. у материалов, имеющих в структуре ткань, при растяжении которой в таких случаях наблюдается плоскостной сдвиг, меньшие - на нетканой основе. Таким образом, вид основы материалов определяет особенности их деформирования при растяжении под углом к осям структурной симметрии.

В табл. 2.2 представлены данные относительных удлинений по большой оси эллипса (максимальных деформаций $\varepsilon_{\max}^p$) при различных значениях относительного продольного удлинения свинола, кларино и корфама. Из таблицы видно, что максимальные деформации отличаются на значительную величину от деформации в направлении растяжения. Эта разница возрастает с увеличением продольного удлинения и достигает максимума перед разрушением. Такой характер зависимости $\varepsilon_{\max}^p$ от ε_x хорошо согласуется с зависимостью величины угла сдвига γ от ε_x , т.е. чем больше деформации сдвига, тем больше разница между максимальной деформацией и деформацией в направлении растяжения.

В работе [16] для расчета величины максимальной деформации анизотропных конструкционных материалов при их растяжении под углом α к осям структурной симметрии приводится уравнение

$$\varepsilon_{\max}^p = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_y - \varepsilon_x)^2 + \gamma_{xy}^2}, \quad (2.1)$$

где ε_x - относительное удлинение в направлении действия растягивающих сил;

ε_y - относительное поперечное сокращение в направлении, перпендикулярном действию растягивающих сил;

γ_{xy} - угол сдвига.

Таблица 2.2 – Сравнение значений деформаций в направлении действия растягивающих сил ε_x и максимальных деформаций по большой оси эллипса ε_{max}^2 в процессе растяжения

Вид основы	Наименование материала	Характеристики		
		$\varepsilon_x, \%$	$\varepsilon_{max}^2, \%$	$\Delta = \varepsilon_{max}^2 - \varepsilon_x$
Нетканая	Кларино 1000	5,0	5,2	0,2
		10,0	10,2	0,2
		15,0	16,4	1,4
		20,0	21,5	1,5
		25,0	27,5	2,5
		30,0	32,5	2,5
		35,0	38,6	3,6
		41,0	50,0	9,0
Смешанная	Корфам 216	5,0	5,4	0,4
		10,0	10,8	0,8
		15,0	16,2	1,2
		20,0	25,5	5,5
		25,0	31,6	6,6
		31,0	44,0	13,0
Тканевая	Винилискожа-Т	5,0	5,2	0,2
		10,0	10,6	0,6
		15,0	16,0	1,0
		20,0	24,5	4,5
		25,0	34,6	9,6
		27,0	38,0	11,0

Представляет интерес проверить возможность применения данного уравнения для расчета величин максимальных деформаций искусственных и синтетических кож.

В табл. 2.3 дано сравнение расчетных значений максимальной деформации ε_{max}^p , определенных по уравнению (2.1), с экспериментальными значениями

ми деформаций по большой оси эллипса $\varepsilon_{\max}^3$ и их относительная разница δ , которая в среднем составляет 6%, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов.

Таблица 2.3 - Сравнение экспериментальных $\varepsilon_{\max}^3$ и расчетных $\varepsilon_{\max}^P$ значений максимальных деформаций в процессе растяжения искусственных и синтетических кож

Вид основы	Наименование материала	Характеристики			
		$\varepsilon_x, \%$	$\varepsilon_{\max}^3, \%$	$\varepsilon_{\max}^P$	δ
Нетканая	Кларино 1000	5,0	5,2	5,5	6,0
		10,0	10,2	10,8	6,0
		15,0	16,4	17,0	3,7
		20,0	21,5	23,0	6,9
		25,0	27,5	27,0	7,2
		30,0	32,5	34,6	6,5
		35,0	38,6	39,0	1,0
		41,0	50,0	53,0	4,0
Смешанная	Корфам 216	5,0	5,4	5,8	7,4
		10,0	10,8	11,5	6,5
		15,0	16,2	17,4	7,6
		20,0	25,5	28,0	9,8
		25,0	31,6	34,0	7,5
		31,0	44,0	45,0	2,2
Тканевая	Винилискожа-Т	5,0	5,2	5,6	7,6
		10,0	10,6	11,6	9,4
		15,0	16,0	17,5	9,4
		20,0	24,5	27,5	10,2
		25,0	34,6	38,0	9,8
		27,0	38,0	41,0	7,8

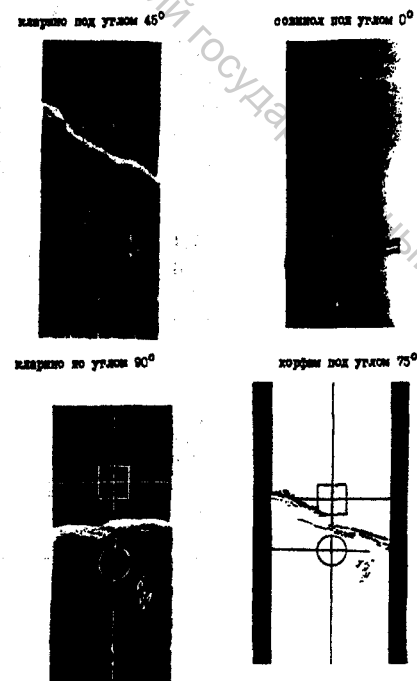
Примечание: $\delta = \frac{\varepsilon_{\max}^3 - \varepsilon_{\max}^P}{\varepsilon_{\max}^3} 100 \%$.

Таким образом, уравнение (2.1) можно применять для расчета величины максимальной деформации ИК и СК при растяжении их под углом к осям структурной симметрии.

Разрушение образцов синтетических кож при испытании по разработанной методике наблюдалось в рабочей части и это дало возможность тщательно

исследовать характер их разрушения [30].

При растяжении ИК и СК в продольном и поперечном направлениях происходит прямой отрыв, т.е. плоскость разрушения перпендикулярна направлению приложения нагрузки (рис. 2.8). У искусственных кож на тканевой основе иногда в этих направлениях наблюдается ступенчатый прямой отрыв, когда разрушение начинается у одного края образца, но не развивается дальше, а возникает на некотором расстоянии с другой стороны и идет навстречу первому отрыву. Образование ступенчатого отрыва обусловлено большой неравномерностью свойств нитей ткани, которая является основой искусственных кож.



При растяжении синтетических кож под углом к продольному направлению разрушение происходит как срез по плоскости, перпендикулярной направлению минимального удлинения. По отношению к направлению растяжения линия разрушения проходит под углом, соответствующим направлению выкраивания образцов. У синтетических кож на смешанной основе иногда в этих направлениях наблюдается ступенчатый срез, что, очевидно, как и в случае ИК на тканевой основе, обусловлено неравномерностью нитей ткани, находящейся в их структуре.

Рис. 2.8. Характер разрушения образцов при одноосном растяжении искусственных и синтетических кож

Особенностью обувных мате-

риалов в том числе искусственных и синтетических кож, является способность сокращаться на значительную величину в направлении, перпендикулярном рас-

ижению. На рис. 2.9 показаны характерные кривые зависимости поперечного сокращения ϵ_y ИК и СК, а также натуральных кож от относительного продольного удлинения ϵ_x .

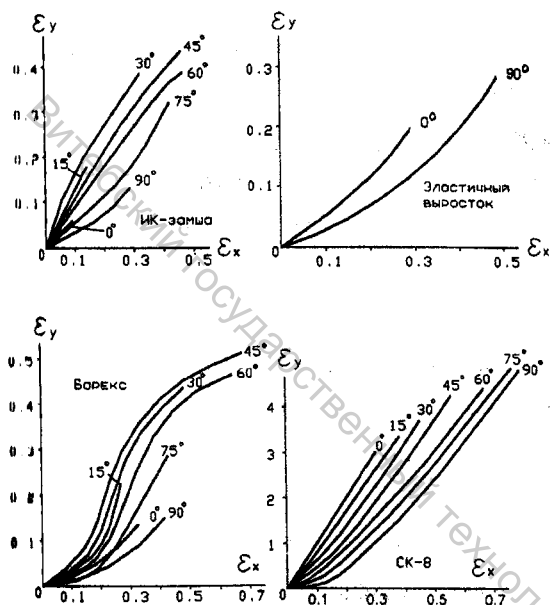


Рис. 2.9. Поперечное сокращение ϵ_y ИК, СК и натуральных кож при одноосном растяжении

Как видно из рис. 2.9 у всех ИК и СК, а также у натуральных кож с ростом продольной деформации ϵ_x поперечная деформация ϵ_y увеличивается. Однако, форма и взаиморасположение кривых $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$, а также величина поперечной деформации зависят как от структуры материала, так и от направления выкраивания образцов.

У синтетических кож на нетканой основе

при всех направлениях выкраивания образцов кривые $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$ выпуклостью обращены к оси продольного удлинения ϵ_x , то есть скорость нарастания поперечных деформаций по мере растяжения увеличивается. Аналогичный характер имеют кривые $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$ в большинстве случаев и у натуральных кож.

Это свидетельствует о том, что у СК на нетканой волокнистой основе и натуральной кожи в процессе одноосного растяжения происходит постепенное изменение ориентации структурных элементов, конфигурационные и конформационные превращения в структуре материала, что приводит к постепенному уплотнению. У синтетических кож кривые $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$ постепенно смещаются от оси поперечного сокращения ϵ_y к оси продольного удлинения ϵ_x , что свиде-

тельствует об уменьшении их поперечной деформации при переходе от продольного направления к поперечному.

Характер кривых $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$ ИК на тканевой и СК на смешанной основах не имеет такой четкой картины. В одних направлениях они имеют выпуклость к оси продольного удлинения ϵ_x , в других - к оси поперечного сокращения ϵ_y . Зачастую кривые имеют S-образную форму, что свидетельствует о различной работе структуры материала на разных стадиях растяжения. При малых деформациях у этих материалов происходит значительное уплотнение структуры в основном за счет ориентации тканевого слоя. При дальнейшем растяжении образцов возможность дальнейшего уплотнения структуры снижается, что приводит к замедлению роста поперечных деформаций. Кривые $\epsilon_y = f(\epsilon_x)$ ИК на тканевой и СК на смешанной основах смещаются от оси продольного удлинения ϵ_x к оси поперечного сокращения ϵ_y при переходе от продольного направления к диагональному (или прилегающих к нему) и наоборот при переходе от диагонального направления к поперечному.

У синтетических кож на нетканой основе (СК-8) к моменту разрыва поперечные деформации ϵ_y достигают значений 30-55%, у ИК на тканевой основе - 5-10% при растяжении образцов в продольном и поперечном направлениях и 30-45% - в диагональном. У СК на смешанной основе (барекс) величина ϵ_y колеблется от 14-15% при растяжении образцов в продольном и поперечном направлениях до 48-50% - в диагональном. У натуральных кож величина ϵ_y находится в пределах 14-35%.

Способность обувных материалов сокращаться в поперечном направлении, т.е. по ширине образца, как известно, характеризуется коэффициентом поперечного сокращения μ_{yx} , который является одним из важных показателей, определяющих формовочные свойства обувных материалов.

На рис.2.10 в качестве примера показано изменение коэффициента поперечного сокращения искусственных и синтетических кож в зависимости от относительного продольного удлинения ϵ_x . Для сравнения показана зависи-

мость μ_{yx} от ϵ_x для натуральных кож.

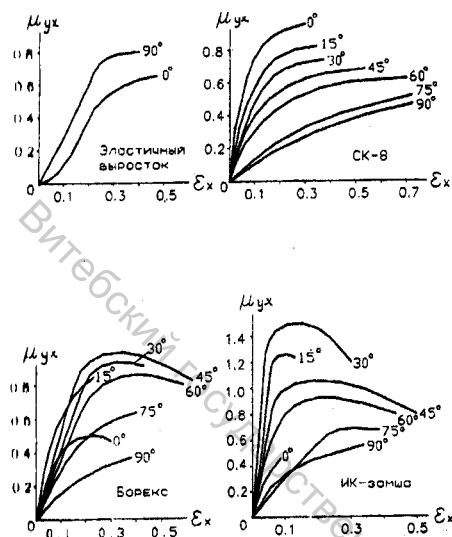


Рис. 2.10. Изменение коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} в зависимости от продольного удлинения ϵ_x образцов

Так, то у ИК на тканевой и СК на смешанной основах, т.е. там где в структуре материала имеется ткань, в начальный период деформации образца наблюдается резкое увеличение μ_{yx} и коэффициент поперечной деформации достигает максимального значения, после чего его величина уменьшается или остается на том же уровне.

У бесосновного порвайра коэффициент поперечной деформации плавно уменьшается от 0,26 до 0,11 с увеличением продольной деформации ϵ_x , аналогично резинам и металлам.

Учитывая, что величина коэффициента поперечного сокращения зависит от относительного удлинения образца, был определен вид функциональной зависимости $\mu_{yx} = f(\epsilon_x)$. Для этого использовали критерий существования квадратичной зависимости, условием которой является постоянство вторых раздельных разностей. Было установлено, что зависимость коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} от относительного удлинения ϵ_x с достаточной точностью опи-

Как видно из рис. 2.10 коэффициент поперечного сокращения искусственных и синтетических кож зависит, во-первых, от структуры материалов, во-вторых, от величины растяжения и, в-третьих, от направления выкраивания образцов [33].

Так, если у СК на нетканой волокнистой основе, также как и у натуральных кож, с увеличением продольной деформации ϵ_x коэффициент поперечной деформации μ_{yx} плавно возрастает,

сывается полиномом второй степени

$$\mu_{yx} = a + b\varepsilon_x + c\varepsilon_x^2. \quad (2.2)$$

В табл. 2.4 представлены значения μ_{yx} характерных представителей различных групп ИК и СК, а также натуральных кож при удлинении $\varepsilon_x = 10\%$ и при разрушении.

Как следует из табл. 2.4 при малых удлинениях более высокие значения коэффициента поперечного сокращения имеют ИК на тканевой основе ($\mu_{yx} = 0,46-0,75$ в зависимости от направления выкраивания), наименьшие у СК на нетканой основе при растяжении в поперечном направлении ($\mu_{yx} = 0,14$). Однако, к моменту разрушения коэффициенты поперечного сокращения СК на нетканой основе имеют более высокие значения по сравнению с другими материалами. Наименьшее значение у безосновного порвайра ($\mu_{yx} = 0,11$).

Таблица 2.4 - Значение коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} при относительном удлинении образца $\varepsilon_x = 10\%$ и при разрыве

Вид основы	Наименование материала	Направление выкраивания образцов α , град	Величина коэффициента μ_{yx} при удлинении	
			$\varepsilon_x = 10\%$	$\varepsilon_x = \varepsilon_p$
Тканевая	Винилискожа-Т	0	0,59	0,45
		45	0,75	0,75
		90	0,46	0,38
Смешанная	Барекс	0	0,30	0,45
		45	0,55	0,75
		90	0,23	0,35
Нетканая	СК-8	0	0,65	0,80
		45	0,35	0,65
		90	0,14	0,52
Без основы	Порвайр	0	0,26	0,11
		45	0,26	0,11
		90	0,26	0,11
Натуральная кожа	Эластичный выросток	0	0,35	0,53
		90	0,15	0,60

Что касается изменения толщины искусственных и синтетических кож при растяжении, то здесь влияние структуры и направления выкраивания образцов сказывается еще в большей степени. На рис. 2.11 показано изменение

относительной деформации ИК, СК и натуральных кож по толщине в процессе одноосного растяжения.

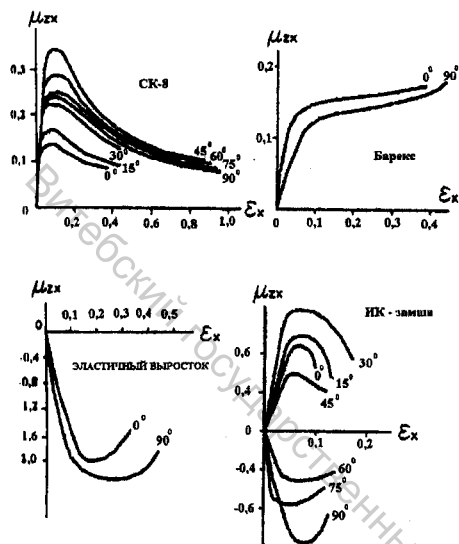


Рис. 2.11. Относительная деформация по толщине ϵ_z ИК, СК и натуральных кож при одноосном растяжении

Как видно из рис. 2.11 у СК на нетканой основе кривые $\epsilon_z = f(\epsilon_x)$ выпуклостью обращены к оси ϵ_z , что свидетельствует о постепенном уменьшении толщины образца на начальном этапе растяжения, примерно до $\epsilon_x = 30-40\%$, после чего толщина практически не изменяется и кривые почти параллельны оси ϵ_x . Кривые $\epsilon_z = f(\epsilon_x)$ синтетических кож на нетканой основе смещаются от оси продольного удлинения ϵ_x к оси поперечного сокращения ϵ_z при переходе от продольного направления к диагональному и наоборот

при переходе от диагонального к поперечному. При этом наименьшее поперечное сокращение у образцов, выкроенных под углом 0° (вдоль рулона), а максимальное - у образцов, выкроенных в диагональном направлении.

У ИК на тканевой основе при растяжении образцов, выкроенных под углами от 0 до 45° , происходит резкое уменьшение толщины на начальном этапе растяжения до $\epsilon_x = 10\%$, после чего толщина уменьшается незначительно. При этом кривые $\epsilon_z = f(\epsilon_x)$ смещаются от оси ϵ_x к оси ϵ_z при переходе от 0° до 30° и наоборот от 30° до 45° , т.е. максимальное поперечное сокращение наблюдается у образцов, выкроенных под углом 30° , а минимальное - под углом 45° . При растяжении же образцов, выкроенных под углами от 60 до 90° , происходит не уменьшение, а увеличение толщины, т.е. поперечная деформация ϵ_z меняет знак на противоположный. Это объясняется тем, что при растяжении образцов

ИК на тканевой основе, выкроенных в поперечном и близких к нему направлениях, происходит натяжение и распрямление уточных нитей ткани и соответственно выдавливание нитей основы, что увеличивает толщину ИК.

Что касается синтетических кож на смешанной основе, то при их растяжении влияние тканевого слоя оказывается в меньшей степени по сравнению с ИК на тканевой основе. С увеличением относительного удлинения ϵ_x происходит постепенное уменьшение толщины у образцов, выкроенных как в продольном, так и в поперечном направлениях.

При растяжении натуральных кож как вдоль хребтовой линии (0°), так и поперек (90°) происходит утолщение материала. При этом кривые $\epsilon_z = f(\epsilon_x)$ имеют S-образную форму. На начальном этапе растяжения (до $\epsilon_x \approx 15-20\%$) кривые располагаются выпуклостью к оси продольного удлинения ϵ_x , а затем выпуклостью к оси поперечной деформации ϵ_z , т.е. на начальном этапе растяжения увеличение толщины идет более интенсивно, а затем ее рост постепенно замедляется.

Изменение толщины образцов обувных материалов при растяжении характеризуется коэффициентом поперечной деформации $\mu_{zx} = \epsilon_z / \epsilon_x$. На рис. 2.12 показано изменение μ_{zx} в зависимости от продольного удлинения ϵ_x . Характер кривых $\mu_{zx} = f(\epsilon_x)$ как у СК на нетканой, ИК на тканевой основах, так и у натуральных кож идентичен. В начальный момент растяжения имеет место резкое увеличение коэффициента поперечной деформации и кривая $\mu_{zx} = f(\epsilon_x)$ достигает максимума, после чего наблюдается достаточно резкое, а в последствии плавное уменьшение величины μ_{zx} . Разница заключается в том, что у ИК на тканевой основе коэффициент поперечной деформации μ_{zx} достигает максимальных значений при относительном удлинении $\epsilon_x \approx 7\%$, у СК на нетканой основе - при $\epsilon_x \approx 10\%$, а у натуральных кож - при $\epsilon_x \approx 20-40\%$.

Несколько иной характер зависимости $\mu_{zx} = f(\epsilon_x)$ наблюдается у СК на смешанной основе (барекс), у которой вначале идет резкое, а впоследствии плавное увеличение μ_{zx} .

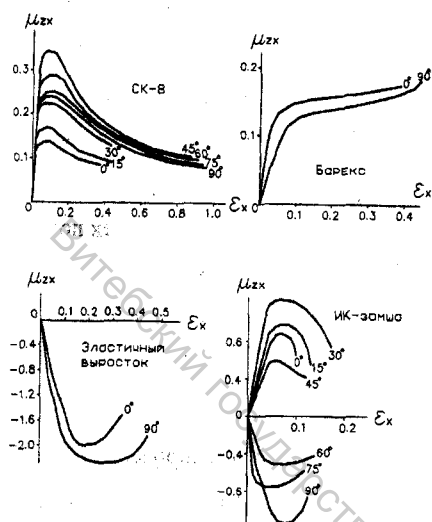


Рис. 2.12. Изменение коэффициента поперечной деформации μ_{zx} в зависимости от продольного удлинения ϵ_x образцов

поперечной деформации колеблется в пределах от 0,10 до 0,35.

Таблица 2.5 - Значение коэффициента поперечной деформации μ_{zx} при относительном удлинении образца $\epsilon_x = 10\%$ и при разрыве

Вид основы	Наименование материала	Направление выкраивания образцов α , град	Величина коэффициента μ_{zx} при удлинении	
			$\epsilon_x = 10\%$	$\epsilon_x = \epsilon_p$
Тканевая	Винилискожа-Т	0	0,64	0,61
		45	0,50	0,26
		90	- 0,75	- 0,45
Смешанная	Барекс	0	0,15	0,19
		90	0,13	0,18
Нетканая	СК-8	0	0,13	0,08
		45	0,35	0,10
		90	0,25	0,05
Натуральная кожа	Эластичный Выросток	0	-1,80	-1,58
		90	-1,95	-1,78
	Яловка	0	-0,52	-0,50
		90	-0,47	-0,85

Как отмечается в работе [34] коэффициенты поперечных деформаций являются источником важной информации об упругих и неупругих явлениях внутри деформируемого твердого тела. Именно то, что величины μ_{yx} и μ_{zx} определяются деформациями материала, происходящими во взаимно ортогональных направлениях, объясняет своеобразную зависимость значений μ от интенсивности развития процессов неупругости в деформируемом теле. Как показали исследования, величина коэффициентов поперечных деформаций μ_{yx} и μ_{zx} искусственных и синтетических кож зачастую выходит за пределы $0 < \mu < 0,5$, что свидетельствует об интенсивном развитии неупругих явлений при их одноосном растяжении.

Таким образом, исследование особенностей деформирования искусственных и синтетических кож при растяжении под углом к осям структурной симметрии показало, что поведение их подчиняется общим закономерностям, установленным для анизотропных конструкционных материалов, которые рассматриваются как сплошные квазигомогенные среды, имеющие симметрию строения и свойств. Это является одним из доказательств обоснованности сделанного в разделе 1.1 предположения о возможности применения гипотезы сплошной квазигомогенной среды для изучения анизотропии свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви.

2.3. Анизотропия показателей механических свойств искусственных и синтетических кож при одноосном растяжении

2.3.1. Анизотропия разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений

В таблицах 2.6 и 2.7, а также на рис. 2.13 представлены значения коэффициентов удлинений A и разрушающих удлинений ϵ_r искусственных и синтетических кож для верха обуви при различных направлениях выкраивания образцов.

Таблица 2.6 - Изменение коэффициентов удлинений A искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов α

Вид основы	Наименование материала	А в %/ Н при значениях угла α , град							Коэффициент анизотропии K_A
		0	15	30	45	60	75	90	
Тканевая	Винилискожа-Т	5,0	8,5	16,0	22,0	20,0	12,0	10,0	4,4
	Винибан	4,0	8,0	18,0	22,0	18,0	10,0	7,0	5,5
Смешанная	СК-2	7,0	12,0	24,0	30,0	28,0	16,0	13,0	4,2
	Корфам 216	3,0	5,0	9,0	12,0	10,0	7,0	6,0	4,0
	Барекс	3,0	4,0	6,0	8,0	7,0	6,5	5,0	2,6
Нетканая	Кларино 1000	5,0	6,0	7,0	10,0	14,0	18,0	20,0	4,0
	СК-8	8,0	10,5	16,5	28,0	44,0	61,0	66,0	8,2
	Ксиле	6,0	6,5	8,0	12,0	20,0	26,0	30,0	5,0
Без основы	Порвайр	29,0	31,0	31,0	31,0	33,0	36,0	38,0	1,3

Таблица 2.7 - Изменение разрушающих удлинений ϵ_p искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов α

Вид основы	Наименование материала	ϵ_p в % при значениях угла α , град							Коэффициент анизотропии K_{ϵ_p}
		0	15	30	45	60	75	90	
Тканевая	Винилискожа-Т	16,0	21,0	32,0	45,0	39,0	24,0	20,0	2,8
	Винибан	27,0	32,0	42,0	51,0	50,0	41,0	38,0	1,9
Смешанная	СК-2	26,0	30,0	45,0	60,0	50,0	35,0	30,0	2,3
	Корфам 216	20,0	24,0	35,0	45,0	37,0	27,0	23,0	2,3
	Барекс	28,0	35,0	57,0	70,0	64,0	47,0	40,0	2,5
Нетканая	Кларино 1000	30,0	35,0	45,0	67,0	93,0	97,0	99,0	3,3
	СК-8	30,0	35,0	47,0	70,0	98,0	120,0	120,0	4,0
	Ксиле	43,0	48,0	55,0	73,0	93,0	106,0	107,0	2,5
Без основы	Порвайр	291,0	292,0	302,0	315,0	343,0	351,0	363,0	1,2

Анализ полученных данных показывает, что все ИК и СК независимо от основы обладают значительной анизотропией деформационных свойств. Исключением является порвайр, у которого деформационные свойства в зависимости от направления выкраивания изменяются незначительно [35-37]. Характер анизотропии разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений ИК и СК определяется их структурой.

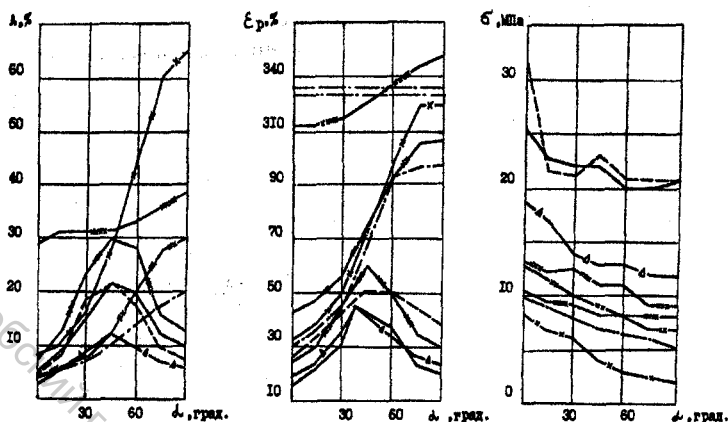


Рис. 2.13. Изменение коэффициентов удлинений A , разрушающих удлинений ϵ_p , прочности σ искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов.
Условные обозначения: — свинол; --- винибан; -·- кларино; -х - СК-8; -хх - ксиле; -xxx - СК-2; -xxxx - порвайр; -Δ - корфам;

Искусственные кожи на тканевой и синтетические на смешанной основах имеют максимальные значения разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений под углом 45° , минимальные - в продольном направлении (0°). Наблюдается постепенное увеличение этих характеристик от продольного направления к диагональному и постепенное уменьшение от диагонального к поперечному.

Характер анизотропии ϵ_p и A синтетических кож на нетканой основе и безосновных иной. Эти материалы имеют максимальные значения ϵ_p и A в поперечном направлении (90°), минимальные в продольном (0°). При изменении направления выкраивания от продольного к поперечному происходит постепенное их увеличение.

Характер же анизотропии A и ϵ_p различных синтетических кож, принадлежащих к одной группе, одинаков. Это дает возможность, зная основу синтетических кож, заранее предсказать характер анизотропии их деформационных свойств.

Из таблиц также видно, что абсолютные значения деформационных ха-

рактических и величина их анизотропии для различных материалов разные. Наиболее анизотропны в отношении деформационных свойств синтетические кожи на нетканой основе (коэффициенты анизотропии $K_{\epsilon_p} = \epsilon_p^{max} / \epsilon_p^{min}$ и $K_A = A_{max} / A_{min}$ в среднем равны 3,3 и 6,0 соответственно). Среди этих материалов большей анизотропией деформационных свойств обладает СК-8 ($K_{\epsilon_p} = 4,0$, $K_A = 8,3$). Наименее анизотропны безосновные материалы. У порвайра $K_{\epsilon_p} = 1,2$ и $K_A = 1,3$. Анизотропия деформационных свойств искусственных кож на тканевой и синтетических на смешанной основах примерно одинакова ($K_{\epsilon_p} = 2,3$, $K_A = 4,0$). Большой деформационной способностью по всем направлениям обладают синтетические кожи на нетканой основе и безосновный порвайр, меньшей - искусственные кожи на тканевой основе.

Следует отметить также, что несмотря на одинаковый характер анизотропии ϵ_p и A , анизотропия коэффициентов удлинений всех исследованных ИК и СК более выражена. Так, K_{ϵ_p} искусственных кож на тканевой основе равен $2,0 \pm 2,5$, $K_A = 4,0 \pm 5,0$; у синтетических кож на нетканой основе - $K_{\epsilon_p} = 2,5 \pm 3,0$, $K_A = 4,0 \pm 8,0$; у синтетических на смешанной основе - $K_{\epsilon_p} = 2,0 \pm 3,0$, $K_A = 3,0 \pm 4,0$.

Это можно объяснить тем, что коэффициент удлинения A определяется при сравнительно небольших нагрузках ($P = 100$ Н) и деформация синтетических кож в этом случае происходит в основном за счет ориентации структурных элементов. При этом элементы структуры еще достаточно свободны и более чувствительны к направлению приложения растягивающих сил, что выражается в более резком проявлении эффекта ориентации структуры с изменением направления растяжения. Как следствие имеет место существенная разница в деформационных свойствах по различным направлениям.

По мере увеличения растягивающей нагрузки элементы структуры становятся более сориентированными по направлению приложенных сил и деформация синтетических кож происходит в основном за счет растяжения волокон и их скольжения относительно друг друга. Эти составляющие деформации уже

мало зависят от направления растяжения, что приводит к сближению значений разрушающих удлинений по различным направлениям.

Коэффициент удлинения является более информативным показателем в отношении анизотропии деформационных свойств, так как он приближенно равен тем деформациям, которые испытывает заготовка верха обуви при формировании.

Следует также отметить, что не наблюдается полного соответствия между показателями удлинения при разрыве и коэффициентом удлинения. Например, значения ϵ_r у барекса и винибана больше, чем у СК-2 и винилискожи-Т, а коэффициенты удлинения у них соответственно ниже. Следовательно, только по показателю относительного удлинения при разрыве нельзя судить о том, как будет вести себя материал в процессе формирования и при носке обуви.

Исследование анизотропии деформационных свойств искусственных и синтетических кож подтвердило ранее высказанное положение о том, что их анизотропия определяется анизотропией отдельных слоев и их взаимным расположением. Анизотропия деформационных свойств тех видов ИК и СК, в структуре которых имеется тканевый слой, по своему характеру аналогична анизотропии тканей, что говорит о большой роли этой составляющей структуры в механических свойствах данных материалов. Анизотропия синтетических кож на нетканой основе подтвердила правильность того, что волокна структуры, полимерная связующая и лицевая пленка ориентированы в продольном направлении.

2.3.2. Анизотропия прочности

В таблице 2.8 и на рис. 2.13 представлены результаты исследования прочности искусственных и синтетических кож по различным направлениям выкраивания образцов.

Анализ полученных данных показывает, что все искусственные и синтетические кожи имеют одинаковый характер анизотропии прочности: наибольшую прочность они имеют в продольном направлении (0°), наименьшую - в

поперечном (90°). При этом анизотропия прочности менее выражена, чем анизотропия деформационных свойств.

Таблица 2.8 - Изменение прочности σ искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов α

Вид основы	Наименование материала	σ в МПа при значениях угла α , град							Коэффициент анизотропии K_σ
		0	15	30	45	60	75	90	
Тканевая	Винилискожа-Т	26,0	23,0	22,0	22,0	20,0	20,0	19,5	1,3
	Винибан	31,0	24,0	23,5	23,5	23,0	21,0	21,0	1,5
Смешанная	СК-2	14,0	13,0	13,0	11,0	11,0	9,0	9,0	1,6
	Корфам 216	19,0	17,0	14,0	13,0	13,0	12,0	12,0	1,6
	Барекс	20,0	18,0	16,0	15,0	14,0	13,0	12,0	1,7
Нетканая	Кларино 1000	10,0	9,0	8,0	7,0	6,5	6,5	5,5	1,8
	СК-8	8,5	7,0	6,0	4,0	3,0	2,5	2,5	3,4
	Ксиле	13,0	12,0	10,0	9,0	8,0	7,0	7,0	1,9
Без основы	Порвайр	11,0	9,5	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	1,4

Коэффициент анизотропии по прочности $K_\sigma = \sigma_{\max}/\sigma_{\min}$ у синтетических кож на смешанной основе равен 1,6, на нетканой - 1,9÷3,4, на тканевой - 1,3÷1,5, у бесосновного порвайра - 1,4 [38].

Сравнение прочности синтетических кож различных структур показывает, что наибольшую прочность по всем направлениям выкраивания образцов имеют СК на смешанной и ИК на тканевой основах, меньшую - на нетканой основе и порвайр. Это обусловлено тем, что прочность СК на смешанной и ИК на тканевой основах определяется в основном прочностью ткани, имеющейся в их структуре, а на нетканой основе и у порвайра - прочностью полимерной составляющей структуры.

Следует, однако, отметить различие в характере зависимости прочности ткани и синтетических кож, имеющих тканевый слой, от направления выкраивания образцов. Так, в тканях наблюдается снижение пределов прочности при отклонении от продольного и поперечного направлений и повышение прочности при приближении к диагональному. Это объясняется тем, что при растяжении ткани под углом на нити основы и утка начинают действовать силы среза

от воздействия одной системы нитей на другую. При приближении к диагональному направлению распределение усилий на основные и уточные нити выравнивается, срезающие усилия становятся меньше, что приводит к повышению прочности ткани в этих направлениях.

У синтетических кож на смешанной и искусственных на тканевой основе полимер заполняет неплотности сетчатой структуры ткани, спрессован с ней и это не позволяет тканевой структуре свободно поворачиваться при растяжении под углом к продольному направлению. Поэтому даже при растяжении под углом 45° усилия, действующие на уточные и основные нити тканевого слоя, не выравниваются. На нити действуют силы среза от полимера и воздействия одной системы нитей на другую, что приводит к снижению разрушающих усилий и прочности при растяжении под углом к продольному направлению. Это также подтверждает правильность высказанного ранее положения о значительной силе связи между отдельными слоями структуры искусственных и синтетических кож.

2.3.3. Анизотропия коэффициентов поперечных деформаций

В таблице 2.9 и на рис. 2.14 показано изменение коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов при значениях относительного удлинения $\epsilon_x = 10\%$ и при разрыве. Анализ полученных данных показывает, что независимо от величины удлинения ϵ_x коэффициент поперечного сокращения μ_{yx} изменяется в зависимости от направления выкраивания образцов α . Исключение составляет бесосновный порвайр, у которого μ_{yx} практически не изменяется с изменением угла α . При этом на характер анизотропии коэффициента поперечного сокращения оказывает влияние структура ИК и СК.

Так у ИК на тканевой основе как при $\epsilon_x = 10\%$, так и при разрыве коэффициент поперечного сокращения возрастает от 0 до 30° , а затем снижается при увеличении угла до 90° . Аналогичная картина наблюдается и у СК на смешанной основе.

Таблица 2.9 - Изменение коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов α при значении относительного удлинения $\epsilon_x = 10\%$ (числитель) и при разрыве $\epsilon_x = \epsilon_p$ (знаменатель)

Вид основ- вы	Наимено- вание материала	μ_{yx} при значениях угла α , град							Коэффици- ент анизотро- пии
		0	15	30	45	60	75	90	
Тка- невая	Винили- скожа-Т	0,59	0,85	0,88	0,75	0,68	0,56	0,46	1,9
		0,48	0,78	0,85	0,70	0,68	0,51	0,30	2,8
	Винибан	0,53	1,00	1,25	0,85	0,78	0,55	0,42	2,9
		0,44	0,8	1,18	0,78	0,63	0,50	0,38	3,1
Не- тканая	СК-8	0,65	0,54	0,43	0,35	0,27	0,23	0,14	4,6
		0,88	0,78	0,69	0,69	0,58	0,54	0,52	1,7
	Кларино 1000	0,50	0,43	0,40	0,29	0,24	0,22	0,20	2,5
		0,75	0,70	0,65	0,55	0,37	0,35	0,32	2,3
Сме- шан- ная	Барекс	0,40	0,50	0,60	0,59	0,40	0,30	0,26	2,3
		0,50	0,89	0,90	0,80	0,79	0,65	0,38	2,4
	Корфам 216	0,50	0,84	1,18	0,88	0,75	0,68	0,40	2,0
		0,54	1,10	1,12	0,90	0,80	0,75	0,52	2,1
Без основ- вы	Порвайр	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,23	0,25	1,1
		0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,1

У синтетических кож на нетканой волокнистой основе коэффициент поперечного сокращения имеет максимальное значение при выкраивании образцов в продольном направлении (0°) и постепенно снижается при изменении направления выкраивания образцов от продольного к поперечному.

Анизотропия коэффициентов поперечного сокращения ИК и СК различных основ примерно одинакова. Коэффициент анизотропии $K_{\mu_{yx}} = \mu_{yx}^{\max} / \mu_{yx}^{\min}$ колеблется в пределах 1,7÷4,6. Исключение, как уже отмечалось, составляет безосновный порвайр, у которого $K_{\mu_{yx}} = 1,1$. При этом у всех групп материалов, кроме ИК на тканевой основе, анизотропия коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} слабее выражена при разрыве по сравнению с $\epsilon_x = 10\%$. Следует также отметить значительное колебание коэффициента анизотропии у разных материа-

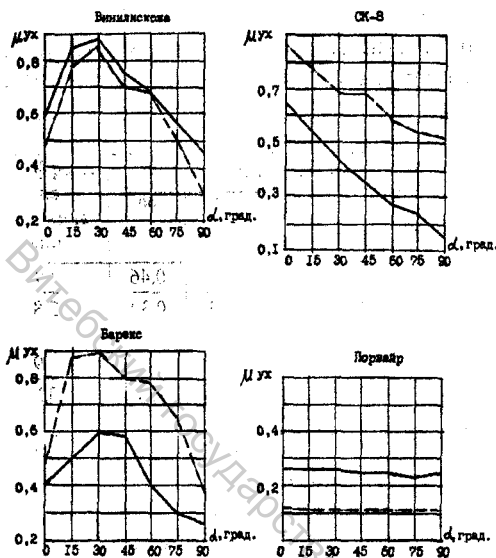


Рис. 2.14. Анизотропия коэффициентов поперечного сокращения μ_{yx} .

Условные обозначения: — при $\epsilon_x = 10\%$;
--- при $\epsilon_x = \epsilon_p$.

нее выражена, чем в начале растяжения ($K_{\mu_{xx}} = 2,2$ и $2,7$ соответственно).

Таблица 2.10 - Изменение коэффициента поперечной деформации μ_{xx} искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов α при значениях относительного удлинения $\epsilon_x = 10\%$ (числитель) и при разрыве $\epsilon_x = \epsilon_p$ (знаменатель)

Вид основы	Наимено- вание материала	μ_{xx} при значениях угла α , град						
		0	15	30	45	60	75	90
Тканевая	Винили- скожа-Т	0,64/	0,75/	0,96/	0,50/0,3	-0,42/-	-0,59/-	-0,79/-
		0,61	0,55	0,40	0	0,27	-0,32	0,55
Нетканая	СК-8	0,13/	0,19/	1,24/	0,35/	0,30/	0,26/	0,25/
		0,08	0,10	0,11	0,10	0,08	0,07	0,05
Смешан- ная	Барекс	0,15/	-	-	-	-	-	0,13/
		0,19						0,18

У искусственных кож на тканевой основе при $\varepsilon_x = 10\%$ коэффициент μ_{zx} увеличивается при переходе от продольного направления к $\alpha = 30^\circ$, затем резко уменьшается при 45° и в дальнейшем при переходе от диагонального направления к поперечному меняет знак на противоположный и по абсолютной величине возрастает. Иной характер анизотропии μ_{zx} наблюдается при разрывных удлинениях образцов: коэффициент поперечной деформации имеет максимальное значение при $\alpha = 0^\circ$ и постепенно уменьшается при переходе от продольного направления к диагональному, после чего меняет знак на противоположный и по абсолютным значениям увеличивается при переходе от диагонального направления к поперечному. При этом коэффициент анизотропии у ИК на тканевой основе несколько ниже, чем у СК на нетканой основе ($K_{\mu_{xx}} = 2,3$).

2.3.4. Анизотропия угла сдвига γ и угла ϕ

В таблице 2.11 и на рис. 2.15 показано изменение величины угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ в зависимости от направления α выкраивания образцов при относительном удлинении синтетических кож на 15%. При других относительных удлинениях изменение углов γ и ϕ в зависимости от α имеет аналогичный характер [39].

Таблица 2.11 - Изменение угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ в зависимости от направления выкраивания образцов α при $\varepsilon_x = 15\%$

Вид основы	Наименование материала	Величины углов γ и ϕ в град при значениях угла α , град													
		0		15		30		45		60		75		90	
		γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ
Тканевая	Винилискожа-Т	0	0	17	13	11	10	0	0	7	12	15	16	0	0
Смешанная	Корфам 216	0	0	14	20	8	17	0	0	5	13	9	17	0	0
Нетканая	Кларино 1000	0	0	5	10	6	15	17	17	6	13	4	11	0	0
Без основы	Порвайр	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

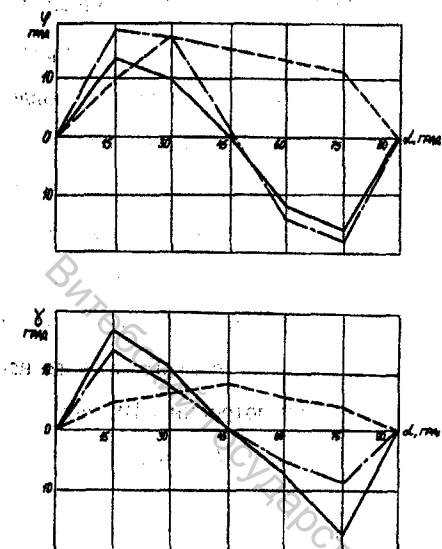


Рис. 2.15. Изменение угла отклонения направления максимальной деформации ϕ и угла сдвига γ искусственных и синтетических кож в зависимости от направления выкраивания образцов.

Условные обозначения: — совинол,
- - - корфам; --- кларино

Как видно из таблицы и рисунка, углы γ и ϕ значительно изменяются при изменении угла α . У искусственных кож на тканевой и синтетических на смешанной основах наблюдается отсутствие углов γ и ϕ при испытании образцов, выкроенных в продольном направлении. При отклонении от продольного направления величины углов γ и ϕ резко возрастают, а затем уменьшаются при приближении к диагональному направлению, достигая нуля при $\alpha = 45^\circ$. При переходе от диагонального направления к поперечному картина повторяется: углы γ и ϕ вначале увеличиваются меняя знак на противоположный, а в поперечном направлении они снова равны нулю.

Такой характер изменения углов γ и ϕ у ИК на тканевой и СК на смешанной основах свидетельствуют о том, что продольное, поперечное и диагональное направления этих материалов являются осями их структурной симметрии. Это обусловлено наличием в структуре этих материалов тканевой сетки, нити основы и утка которой совпадают соответственно с продольным и поперечным направлениями ИК и СК. Отсутствие же углов γ и ϕ при растяжении образцов под углом 45° обусловлено совпадением диагонали тканевой сетки с направлением растяжения. В отличие от ИК на тканевой и СК на смешанной основах у синтетических кож на нетканой основе наблюдается постепенное увеличение значений углов γ и ϕ при изменении направления выкраивания от продольного к диагональному и постепенное уменьшение от диагонального к

поперечному. СК на нетканой основе имеют наибольшие углы γ и ϕ при растяжении образцов в диагональном направлении. Это свидетельствует о том, что СК на нетканой основе имеют только две оси структурной симметрии в продольном и поперечном направлениях. Следует отметить, что углы γ и ϕ у СК на нетканой основе меньше, чем у ИК на тканевой основе.

2.3.5. Анизотропия остаточных деформаций

Относительное остаточное удлинение является одной из важнейших характеристик механических свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви, от которой в значительной степени зависит формоустойчивость обуви.

В таблице 2.12 приведены средние значения остаточных удлинений $\epsilon_{\text{ост}}$ в направлениях от 0 до 90°, а на рис. 2.16 представлены полярные диаграммы характерных представителей исследованных групп материалов, отличающихся основой.

Таблица 2.12 - Изменение остаточных удлинений $\epsilon_{\text{ост}}$ ИК и СК в зависимости от направления выкраивания образцов α при значениях относительного удлинения $\epsilon_x = 13\%$

Вид основы	Наименование материала	$\epsilon_{\text{ост}}$ в % при значениях угла α , град							Коэффициент анизотропии $K_{\epsilon_{\text{ост}}}$
		0	15	30	45	60	75	90	
Тканевая	Винилискожа-Т	1,9	1,6	1,0	0,8	0,9	1,8	2,6	3,3
	Винибан	2,2	1,4	1,0	1,0	1,0	1,8	2,4	2,4
Смешанная	СК-2	2,0	1,5	1,4	1,3	1,3	1,4	2,5	1,9
	Корфам 216	3,0	2,0	1,7	1,4	1,6	2,2	2,5	2,1
	Барекс	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	1,1	1,2	1,5
Нетканая	Кларино 1000	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	1,7
	СК-8	1,7	1,6	1,3	0,8	0,7	0,8	0,6	2,8
	Ксиле	1,6	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0	1,0	1,6
Без основы	Порвайр	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1

Как видно из данных табл. 2.12 и диаграмм анизотропия относительных

остаточных удлинений более выражена у ИК на тканевой и СК на смешанной основах, в отличие от разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений. Так, коэффициенты анизотропии у ИК на тканевой основе находятся в пределах 2,4+3,3, на смешанной - в пределах 1,9+2,1, на нетканой - 1,6+1,7, у безосновного порвайра - 1,1 [40].

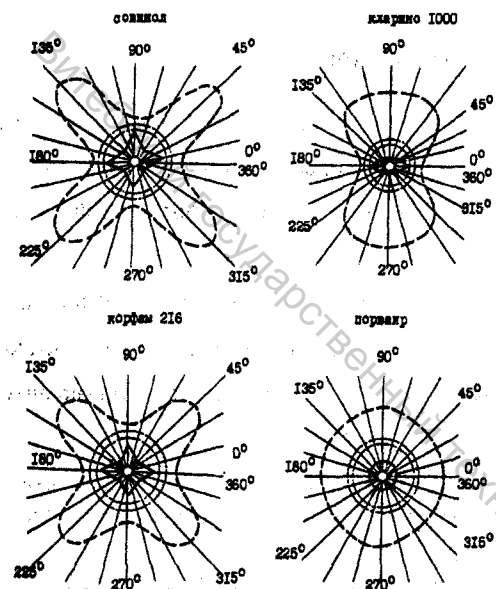


Рис. 2.16. Полярные диаграммы относительных остаточных (сплошная) и разрушающих (штриховая) удлинений различных видов синтетических кож.

Масштаб $\epsilon_{\text{ост.}}$ - 1 мм - 0,2%.

Масштаб ϵ_p - при направлении 0° : свинок - 20%, кларино 1000 - 30%, корфам 216 - 20%, порвайр - 291%

речном. При изменении направления выкраивания образцов от продольного к поперечному происходит постепенное их уменьшение. У безосновного порвайра $\epsilon_{\text{ост}}$ во всех направлениях практически не отличается.

Сравнение характера диаграмм изменения остаточных $\epsilon_{\text{ост}}$ и разрушающих ϵ_p деформаций в зависимости от направления растяжения (см. рис. 2.16)

Характер анизотропии относительных остаточных удлинений ИК и СК определяется их структурой. Так, ИК на тканевой и СК на смешанной основах имеют максимальные значения остаточных удлинений в продольном и поперечном направлениях, минимальные - под углом 45° . При этом наблюдается резкое уменьшение $\epsilon_{\text{ост}}$ при отклонении от продольного и поперечного направлений к диагональному. Синтетические кожи на нетканой основе имеют максимальные значения остаточных удлинений в продольном направлении, минимальные - в попе-

показывает, что они имеют противоположный вид: в направлении минимальных разрушающих удлинений величина остаточных удлинений наибольшая и, наоборот, в направлении максимальных разрушающих удлинений - наименьшая. Это связано с различием в протекании процесса восстановления в структуре искусственных и синтетических кож. Так, 13% первоначальной относительной деформации для направлений минимальных разрушающих удлинений ИК и СК на тканевой и смешанной основах, составляют 60-80%, а для СК на нетканой основе - 30-40% разрушающих деформаций, в то время как для направлений максимальных разрушающих удлинений они составляют соответственно 20-30% и 12-13%. Для порвайра эта величина составляет всего 5-6%.

Это обуславливает различие в механизме деформирования ИК и СК при различных направлениях выкраивания образцов, а соответственно и различную способность усадки [36].

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ АНИЗОТРОПИИ РАЗРУШАЮЩИХ УДЛИНЕНИЙ, КОЭФФИЦИЕНТОВ УДЛИНЕНИЙ И ПРОЧНОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ

В разделе 1.1 отмечалось, что основанием для применения гипотезы сплошной ортотропной среды для исследования анизотропии деформационных и прочностных свойств синтетических кож и на ее основе тензориальных формул для описания анизотропии этих свойств является монолитность структуры и наличие симметрии этих свойств в плоскости листа. Там же обоснована относительная монолитность и квазигомогенность структуры искусственных и синтетических кож для верха обуви. Ниже приводятся результаты исследования симметрии деформационных свойств ИК и СК в плоскости листа.

3.1. Проверка симметрии деформационных свойств искусственных и синтетических кож

Симметрия механического или физического свойства устанавливается на основании экспериментального изучения показателей этого свойства в различных направлениях [10]. Для исследования симметрии деформационных свойств в плоскости листа были определены разрушающие удлинения ϵ_r ИК и СК различных структур при изменении направления выкраивания от 0° до 360° через каждые 15° [35]. При этом по каждому направлению испытывалось не менее 10 образцов. В табл. 3.1 представлены в качестве примера результаты статистической обработки экспериментальных данных ИК на тканевой основе (винибан) и СК на нетканой основе (кларино). Как видно из табл. 3.1 ошибка средней арифметической величины разрушающих удлинений по каждому направлению не превышает 5%.

В разделе 1.1 было выдвинуто предположение, что искусственные и синтетические кожи имеют две взаимно-перпендикулярные плоскости симметрии механических свойств в плоскости листа: вдоль и поперек рулона. Исходя из этого, симметричными направлениями, для которых величины разрушающих удлинений должны иметь одинаковые значения, являются: 15-165-195-

345°; 30-150-210-330°; 45-135-225-315°; 60-120-240-300°; 75-105-255-285°.

Таблица 3.1 - Результаты статистической обработки значений разрушающих удлинений ϵ_p ИК винибана и СК кларино при различных направлениях выкраивания образцов α .

Направление выкраивания образцов α , град	Статистические показатели					
	M, %	S, %	P, %	M, %	S, %	P, %
	винибан			кларино 1000		
0	27	0,7	0,8	30	1,9	1,5
15	32	1,6	1,2	35	2,2	1,9
30	42	1,7	1,0	45	3,5	2,7
45	51	1,9	1,1	67	4,4	2,5
60	50	2,6	1,8	93	2,7	0,9
75	44	1,2	0,8	97	2,0	0,7
90	38	1,9	1,8	99	1,7	0,5
105	46	1,1	0,8	96	1,5	0,4
120	51	2,1	1,7	91	1,8	0,6
135	52	1,5	0,9	68	3,6	2,3
150	44	2,8	2,0	46	2,9	1,9
165	32	1,6	1,4	35	2,3	2,0
180	27	0,7	0,8	30	1,9	1,5
195	33	1,4	1,2	36	1,8	1,3
210	45	1,5	0,9	46	3,1	2,6
225	52	1,7	1,0	68	4,1	2,4
240	51	2,5	1,8	94	2,4	0,8
255	46	1,7	0,9	97	2,0	0,7
270	38	1,9	1,8	99	1,7	0,5
285	46	1,3	0,9	96	2,3	0,8
300	52	1,6	1,0	90	1,8	0,6
315	51	1,2	0,7	69	3,8	2,2
330	43	3,0	2,5	46	2,4	1,8
345	32	2,5	2,1	36	2,1	1,8
360	27	0,7	0,8	30	1,9	1,5

Примечание: M - среднее арифметическое относительных разрушающих удлинений ϵ_p ;

S - среднее квадратическое отклонение;

P - точность опыта.

Анализ полученных данных показывает, что средние арифметические величины разрушающих удлинений по указанным направлениям достаточно близки. Некоторые различия их можно объяснить случайными ошибками, возникающими при проведении эксперимента (некоторые неточности в ориентации образцов).

ровке образцов при выкраивании, в замерах удлинений и т.д.).

С целью оценки существенности различий значений разрушающих удлинений по симметричным направлениям проверялась принадлежность полученных экспериментальных данных по каждому из симметричных направлений (выборок) к одной генеральной совокупности. Статистическая оценка существенности различий проверялась путем сопоставления отношения $\hat{S}^2 / \bar{S}^2$ с величиной 100 α -процентного F-распределения $V_{0,05}^2$:

$$\frac{\hat{S}^2}{\bar{S}^2} \leq V_{0,05}^2, \quad (3.1)$$

где $\hat{S}^2$ - рассеивание между экспериментальными значениями ε_p четырех выборок, которые по нашей гипотезе образуют одну генеральную совокупность;

$\bar{S}^2$ - рассеивание признака внутри генеральной совокупности.

Значения $\hat{S}^2$ и $\bar{S}^2$ находили по формулам:

$$\hat{S}^2 = \frac{n_1(\bar{\varepsilon}^{(1)} - \bar{\varepsilon})^2 + n_2(\bar{\varepsilon}^{(2)} - \bar{\varepsilon})^2 + \dots + n_k(\bar{\varepsilon}^{(k)} - \bar{\varepsilon})^2}{k-1}; \quad (3.2)$$

$$\bar{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^k [(\varepsilon_1^{(i)} - \bar{\varepsilon}^{(i)})^2 + \dots + (\varepsilon_n^{(i)} - \bar{\varepsilon}^{(i)})^2]}{n_1 + n_2 + \dots + n_k - k}, \quad (3.3)$$

$$\text{где } \bar{\varepsilon}^{(i)} = \frac{1}{n_i} (\varepsilon_1^{(i)} + \varepsilon_2^{(i)} + \dots + \varepsilon_{n_i}^{(i)}); i = 1, 2, \dots, k \quad (3.4)$$

$$\bar{\varepsilon} = \frac{n_1 \bar{\varepsilon}^{(1)} + n_2 \bar{\varepsilon}^{(2)} + \dots + n_k \bar{\varepsilon}^{(k)}}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}, \quad (3.5)$$

$\bar{\varepsilon}^{(i)}$ - среднее значение разрушающих удлинений по каждой выборке;

k - число выборок, относящихся к одному симметричному направлению;

n_i - число образцов, испытанных в каждой выборке.

При выполнении условия (3.1) принимается гипотеза об однородности

рассматриваемых выборок. В табл. 3.2 представлены значения $\hat{S}^2$, $\bar{S}^2$ и их от-

ношение для всех выборок, относящихся к симметричным направлениям и приведены значения 100 α -процентного F-распределения $V_{0,05}^2$.

Таблица 3.2 - Расчетные и табличные значения F- критерия

Наименование материала	Углы симметричных направлений, град	Характеристики			
		$\hat{S}^2$	$\bar{S}^2$	$\hat{S}^2/\bar{S}^2$	$V_{0,05}^2$
Винилискожа-Т	15-165-195-345	3,3	619,7	0,0053	2,23
	30-150-210-330	23,3	282,6	0,0820	2,23
	45-135-225-315	9,2	212,6	0,0433	2,23
	60-129-240-300	23,3	185,4	0,1256	2,23
	75-105-225-285	3,3	112,1	0,0294	2,23
Винибан	15-165-195-345	3,3	236,8	0,0139	2,23
	30-150-210-330	10,0	636,0	0,0157	2,23
	45-135-225-315	3,3	162,7	0,0202	2,23
	60-120-240-300	6,6	53,8	0,1233	2,23
	75-105-255-285	10,0	127,3	0,0785	2,23
Кларино 1000	15-165-195-345	3,3	231,3	0,0143	2,23
	30-150-210-330	2,5	1055,4	0,0023	2,23
	45-135-225-315	3,3	2933,0	0,0011	2,23
	60-120-240-300	33,3	298,0	0,1111	2,23
	75-105-295-285	3,3	143,7	0,0229	2,23
Корфам 216	15-165-195-345	9,2	9,1	1,0100	2,23
	30-150-210-330	6,7	35,5	0,1880	2,23
	45-135-225-315	3,3	82,2	0,0405	2,23
	60-120-240-300	6,6	38,7	0,1720	2,23
	75-105-295-285	3,3	57,5	0,0579	2,23

Анализ данных табл. 3.2 показывает, что условие (3.1) выполняется для всех симметричных направлений. Следовательно, изменение разрушающих удлинений в зависимости от направления выкраивания носит симметричный характер, а продольные и поперечные направления в плоскости листа совпадают с направлениями осей симметрии деформационных свойств исследованных материалов. На этом основании можно сделать вывод, что при исследовании анизотропии ИК и СК достаточно проводить испытания в направлениях выкраивания от 0° до 90°.

Таким образом, наличие симметрии деформационных свойств искусственных и синтетических кож в плоскости листа и относительная гомогенность их структур позволяет сделать вывод и применимости гипотезы сплошной квазигомогенной ортотропной среды для изучения анизотропии механических

3.2. Аппроксимация экспериментальных данных тензорными формулами

В предыдущем разделе показана возможность применения гипотезы сплошной ортотропной среды для изучения анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви. Это, в свою очередь, дает основание считать, что изменение деформационных и прочностных свойств в зависимости от направления выкраивания образцов в плоскости материала можно аппроксимировать тензорными формулами, представленными в разделах 1.2 и 1.3.

Используя формулы (1.4), (1.5) и (1.20), по экспериментальным средним значениям прочности, разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений искусственных и синтетических кож в продольном, поперечном и диагональном направлениях были рассчитаны их значения при изменении угла α от 0° до 360° через 1° . Расчеты производились на ЭВМ по разработанному алгоритму.

Пригодность формул (1.4), (1.5) и (1.20) оценивалась по критерию Фишера (F-критерий) [41]:

$$F_{\text{рас}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{в}}^2}, \quad (3.6)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ - дисперсия адекватности;

$S_{\text{в}}^2$ - дисперсия воспроизводимости.

Дисперсия адекватности определялась по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum (y_i^p - y_i^e)^2}{f}, \quad (3.7)$$

где y_i^p - значение характеристики, определенное по формуле;

y_i^e - значение характеристики, определенное экспериментально;

f - число степени свободы, равное $n-k$;

n - число опытов;

k - число определяемых характеристик.

Дисперсия воспроизводимости определялась по формуле

$$S^2_{(y)} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i S_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i}, \quad (3.8)$$

где S_i^2 - дисперсия в i -ом опыте;

f_i - число степеней свободы в i -ом опыте.

При расчетах дисперсии воспроизводимости проверялась однородность дисперсий с использованием критерия Кохрена

$$G = \frac{S^2_{\max}}{\sum_{i=1}^n S_i^2} < G_{\text{табл}}. \quad (3.9)$$

Расчеты показали, что экспериментальные значения критерия Кохрена не превышают табличных, следовательно, дисперсии можно считать однородными и расчет средней дисперсии воспроизводимости производить по формуле (3.8).

В табл. 3.3 и 3.4 представлены дисперсии адекватности S^2_{ao} , дисперсии воспроизводимости $S^2_{(y)}$, расчетные значения F-критерия и его табличные значения для разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений.

Таблица 3.3 - Расчетные и табличные значения критерия Фишера для разрушающих удлинений ϵ_p

Наименование материала	Характеристики			
	S^2_{ao}	$S^2_{(y)}$	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{табл}}$
Винилискожа-Т	6,0	3,7	1,6	19,5
Винибан	6,5	7,6	0,9	19,5
Кларино 1000	10,0	7,1	1,4	19,5
Ксиле	5,0	24,9	0,2	19,5
СК-8	9,5	12,2	0,8	19,5
Корфам 216	3,0	1,6	1,9	19,5
СК-2	1,5	3,9	0,4	19,5
Порвайр	119,5	290,5	0,4	19,4

Таблица 3.4 - Расчетные и табличные значения критерия Фишера для коэффициентов удлинения А

Наименование материала	Характеристики			
	S_{σ}^2	S_{ϵ}^2	$F_{\text{расч}}$	$F_{\text{табл}}$
Винилискожа-Т	1,45	0,12	12,7	19,5
Винибан	1,04	0,36	2,9	19,5
Кларино 1000	0,35	0,18	1,9	19,5
Ксиле	0,63	0,24	2,6	19,5
СК-8	0,43	0,19	2,3	19,5
Корфам 216	0,74	0,26	2,8	19,5
СК-2	2,61	0,57	4,6	19,5
Порвайр	0,19	2,85	0,1	19,4

Данные таблиц показывают, что расчетные значения F-критерия не превышают табличных. Аналогичные результаты получены и для прочности. Это означает, что с доверительной вероятностью 0,95 формулы (1.4), (1.5) и (1.20) можно считать пригодными для расчета анизотропии прочности σ , разрушающих удлинений ϵ_p и коэффициентов удлинений А искусственных и синтетических кож различных структур.

Оценка точности аппроксимации экспериментальных значений σ , ϵ_p и А формулами (1.4), (1.5) и (1.20) проводилась по величине средней относительной ошибки аппроксимации:

$$\beta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i^{\text{э}} - y_i^{\text{р}})}{y_i^{\text{э}}} \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

где $y_i^{\text{э}}$ - экспериментальное значение показателя по i-тому направлению;

$y_i^{\text{р}}$ - расчетное его значение;

n - число направлений, по которым определялись показатели.

Расчеты показали, что средняя ошибка аппроксимации β для всех исследованных материалов не превышает 6%, что свидетельствует о хорошей сходимости экспериментальных и расчетных значений исследуемых показателей.

Однако, формула (1.20) для вычисления анизотропии коэффициентов удлинений ИК и СК выведена при сделанном нами допущении, что напряжение σ , при котором определяется А, не изменяется с изменением направления рас-

тяжения, т.е. в расчет заложены так называемые “условные напряжения”, которые получают при неучете изменения объема материала в процессе деформирования. При этом в условиях однородного растяжения образца площадь его поперечного сечения считается неизменной.

Экспериментальные же исследования поперечных деформаций образцов ИК и СК, выкроенных в различных направлениях (см. разделы 1.2.2 и 1.2.3) показали, что поперечные размеры их значительно изменяются в процессе растяжения. В таких случаях в расчетах используют истинные напряжения, которые определяют при изменении объема материала в процессе деформирования.

Истинные напряжения $\sigma_{\text{и}}$ в нашем случае будут являться функцией условных напряжений σ_0 , относительной деформации ϵ_x и переменной величины коэффициентов поперечной деформации $\mu_{yx}(\epsilon_x)$ и $\mu_{zx}(\epsilon_x)$:

$$\sigma_{\text{и}} = f[\sigma_0(\epsilon_x), \mu_{yx}(\epsilon_x), \mu_{zx}(\epsilon_x), \epsilon_x]. \quad (3.11)$$

При этом

$$\sigma_0 = P/F_0, \quad (3.12)$$

где P - осевое усилие;

F_0 - исходная (первоначальная) площадь поперечного сечения образца.

Выражение истинной площади образца $F_{\text{и}}$ в функции от относительной деформации ϵ_x при растяжении образцов будет иметь вид:

$$F_{\text{и}}(\epsilon_x) = F_0 [1 - \mu_{yx}(\epsilon_x) \cdot \epsilon_x] [1 \pm \mu_{zx}(\epsilon_x) \cdot \epsilon_x]. \quad (3.13)$$

Разделив осевое усилие P на выражение (3.17) и используя соотношение (3.12) получим общую формулу истинных напряжений в функции от относительных деформаций

$$\sigma_{\text{и}}(\epsilon_x) = \frac{\sigma_0}{[1 - \mu_{yx}(\epsilon_x) \cdot \epsilon_x] \cdot [1 \pm \mu_{zx}(\epsilon_x) \cdot \epsilon_x]}. \quad (3.14)$$

На рис. 3.1 в качестве примера показаны кривые зависимости $\sigma_0 = f(\epsilon_x)$ и $\sigma_{\text{и}} = f(\epsilon_x)$ при растяжении образцов СК-8 в различных направлениях. Как следует из рисунка кривые $\sigma_{\text{и}} = f(\epsilon_x)$ значительно отличаются от $\sigma_0 = f(\epsilon_x)$. Анало-

гичная картина наблюдается и для других материалов. При этом разница зависит от структуры исследуемых материалов, направления выкраивания образцов и величины деформации. Наименьшие отличия истинных диаграмм от условных наблюдаются у ИК и СК при выкраивании образцов вдоль рулона (0°), т.е. там, где деформации наименьшие, а максимальные отличия - в тех направлениях, где деформация образцов наибольшая: у СК на нетканой основе - 90° , у ИК на тканевой и СК на смешанной основах - 45° . С ростом деформации отклонения истинных напряжений от условных увеличиваются.

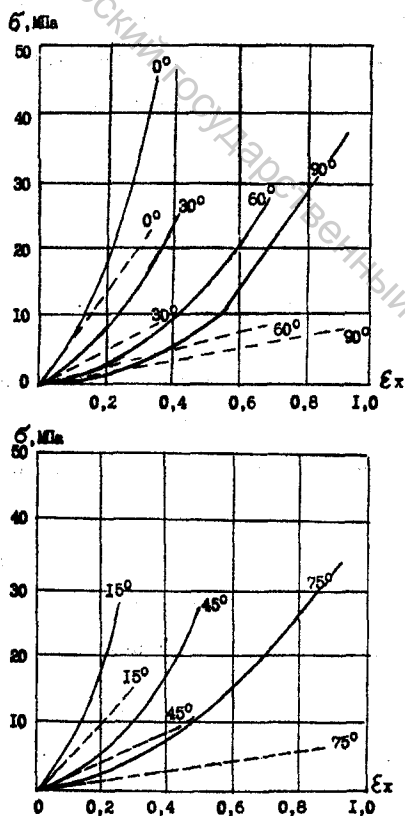


Рис.3.1. Кривые $\sigma_{\text{усл.}} = f(\epsilon_x)$ и $\sigma_{\text{ист.}} = f(\epsilon_x)$ при растяжении образцов СК-8 в различных направлениях.

Условные обозначения: — - истинные напряжения; --- - условные напряжения

Для выяснения ошибки, которая возникает при расчете коэффициента удлинения A при использовании условных напряжений, были определены коэффициенты удлинений при $P = 98 \text{ Н}$ при выкраивании образцов в различных направлениях в одном случае при неизменной площади поперечного сечения образца F_0 и в другом с учетом истинной площади F_n .

В табл. 3.5 в качестве примера представлены для сравнения значения A_n полученные с учетом изменения поперечного сечения F_n и без учета изменения - F_0 ИК на тканевой основе и СК на нетканой. Как видно из таблицы ошибка при этом не превышает 10%, что свидетельствует о правомерности сделанных нами допущений при выводе формулы (1.20).

Таблица 3.5 - Сравнение значений коэффициентов удлинений при растяжении образцов под различными углами α , с учетом изменения поперечного сечения образцов A'_α и без его учета A_α

Направление выкраивания образцов α , град.	Винилискожа-Т			СК-8		
	A_α , %	A'_α , %	δ , %	A_α , %	A'_α , %	δ , %
0	5,0	5,3	6,0	8,0	8,4	5,0
15	8,5	9,0	5,9	10,5	11,1	5,7
30	16,0	17,0	10,6	16,5	17,2	4,2
45	22,0	24,5	11,3	28,0	29,9	6,8
60	20,0	21,9	9,5	44,0	47,3	7,5
75	12,0	12,3	2,5	61,0	66,4	8,8
90	10,0	10,2	2,0	66,0	71,6	8,5

Примечание: $\delta = \frac{A'_\alpha - A_\alpha}{A_\alpha} 100 \%$

По расчетным значениям коэффициентов удлинений, разрушающих удлинений и прочности построены полярные диаграммы (рис. 3.2), которые показывают зависимость этих характеристик от направления растяжения.

Следовательно, используя тензоральные формулы (1.4), (1.5) и (1.20), полученные на основе гипотезы сплошной квазигомогенной среды, обладающей симметрией строения и свойств, можно с высокой степенью точности описывать анизотропию прочности, разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений искусственных и синтетических кож для верха обуви [35-37].

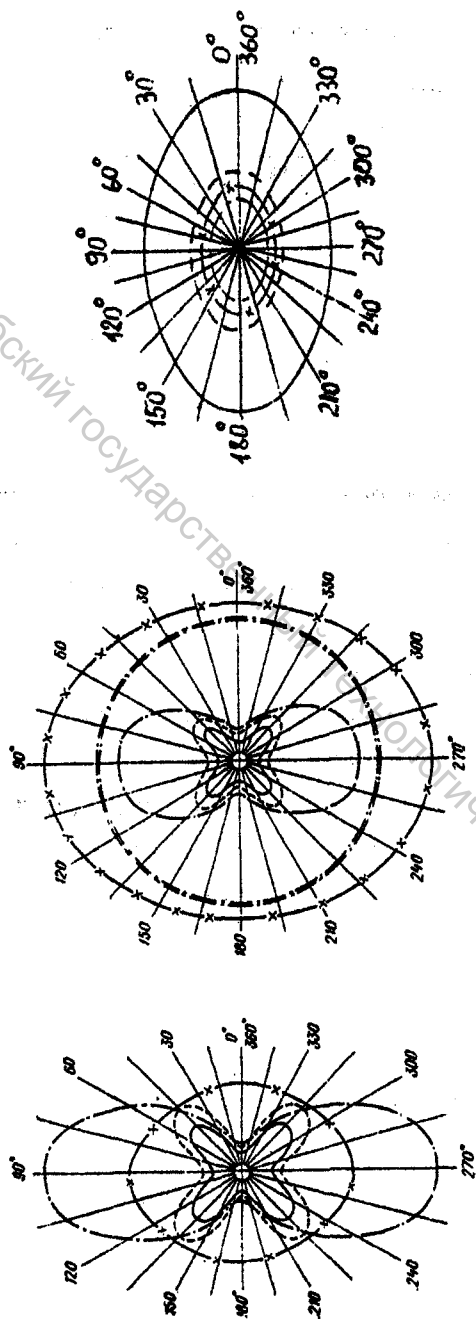


Рис. 3.2. Полярные диаграммы коэффициентов удлинений $A(\alpha)$, разрушающих удлинений и прочности $\sigma(\alpha)$ различных видов синтетических кож.

Масштаб: ϵ_p 1 мм — 3% (порвайр при 0° — 29%), A — 1 мм — 1%, σ — 1 мм — 1 МПа.

Условные обозначения: — винилискожа-Т, --- СК-2, - - - СК-8, -х-х-х порвайр

4. АНИЗОТРОПИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИСТЕМ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

Заготовка верха обуви в большинстве случаев представляет собой сложную композиционную систему, состоящую из материалов с различными физико-механическими свойствами. Поэтому, для технически грамотного проектирования заготовок и технологического процесса производства обуви необходимо наряду со свойствами материалов как компонентов системы исследовать свойства системы, образующей заготовку верха обуви.

Изучением зависимости механических свойств систем от свойств материалов, образующих систему, занимались Анохин Д.И., Гуменный Н.А., Скатерной В.А. и др. Однако, в литературе отсутствуют данные об анизотропии прочностных и деформационных свойств систем обувных материалов.

Для исследования анизотропии характеристик механических свойств систем материалов были выбраны системы, состоящие из синтетических кож, межподкладочных и подкладочных материалов, наиболее широко применяемых в промышленности. В качестве материалов верха исследовали синтетические кожи на нетканой волокнистой основе (СК-8), смешанной (барекс), безосновные пленочные (порвайр) и ИК на тканевой основе (винилискожа-Т). В качестве межподкладки применялась бязь суровая арт. 6804, а в качестве подкладки - спилкок по ГОСТ 1838-70.

На кусок синтетической кожи размером 1,5 x 0,8 м наклеивали ткань наиритовым клеем 16-18% концентрации, так как широко применяемый в промышленности для этих целей клей НК не обеспечивает необходимой прочности связи компонентов системы. Как показали предварительные исследования [42], при наклеивании бязи клеем ИК системы расслаиваются даже при небольших деформациях и фактически работают как несклеенные. Это объясняется различной тягучестью компонентов системы, особенностями деформирования ткани в косых направлениях и деформациями сдвига, которые проявляются при растяжении образцов ИК и СК под углом к осям структурной симметрии вследствие их анизотропии [32]. При этом наибольшее различие кривых растяжения

наблюдается в системах, в которых СК выкроены в направлениях, где они имеют максимальные величины сдвиговых деформаций. Расслаивание при этом наступает тем быстрее, чем ниже прочность клеевого шва, соединяющего ткань с синтетической кожей. Применение же наиритового клея обеспечивает прочное сращивание системы СК + ткань, которая не расслаивается до момента разрушения. Разница между разрывными нагрузками и удлинениями систем склеенных клеями НК и НТ при различных сочетаниях направлений раскроя достигает соответственно 200% и 20%. Поэтому, если ставится задача исследования совместной работы компонентов системы, то для склеивания необходимо подбирать клеи, которые обеспечивают прочное их соединение.

Исследование анизотропии механических свойств систем материалов проводилось в двух направлениях:

- исследование влияния межподкладки и направления ее наклеивания на анизотропию деформационных и прочностных свойств двойных систем (синтетическая кожа + бязь);
- исследование анизотропии деформационных и прочностных свойств тройных систем (синтетическая кожа + бязь + спиллок).

Для изучения влияния направления наклеивания ткани на анизотропию механических свойств систем ткань наклеивалась таким образом, что в одном случае продольное направление СК совпадало с нитями основы, в другом - с продольным направлением СК совмещалось диагональное направление ткани. Из полученных склеенных композиций выкраивались образцы от 0° (продольное направление) до 90° (поперечное) через каждые 15°. В тройных системах бязь основой совмещалась с продольным направлением СК и выкраивались образцы также, как и для двойных систем, а затем наклеивался спиллок. Образцы из спилка выкраивались по направлению наибольшей тягучести. Полученные таким образом образцы систем подвергались растяжению по методике, описанной в разделе 2.1.

4.1. Особенности деформирования систем материалов

На рис.4.1 представлены кривые «удлинение-нагрузка» двух- и трех-слойных систем материалов.

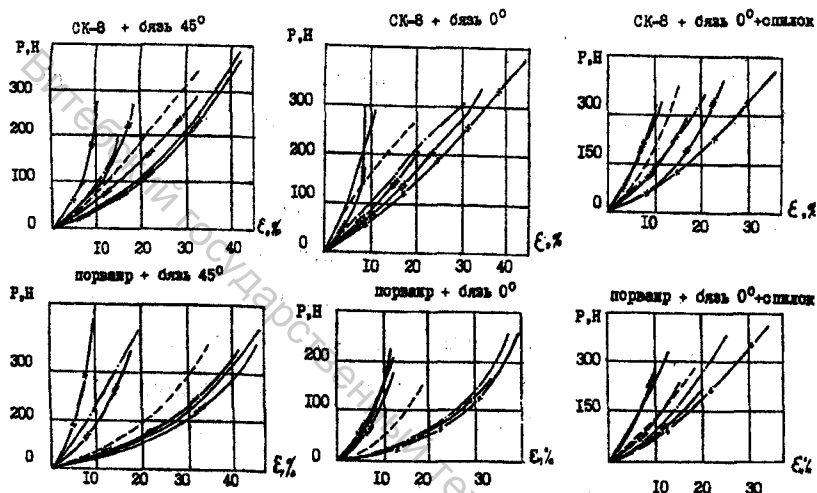


Рис. 4.1. Кривые «удлинение-нагрузка» систем при растяжении в различных направлениях:

— продольное; --- под углом 15°; -.- 30°; -х- 45°; -хх- 60°; -xxx- 75°; -xxxx- поперечное

Как видно из рисунков, наклеивание бязи резко изменяет характер кривых растяжения синтетических кож. Так, если кривые растяжения СК на нетканой волокнистой основе и безосновного порваквра выпуклостью обращены к оси нагрузок, то кривые растяжения систем - к оси удлинений, т.е. по форме напоминают кривые растяжения тканей. В отличие от одиночных материалов кривые растяжения систем смещаются от оси нагрузок к оси удлинений при переходе от продольного направления к диагональному и от диагонального к поперечному, т.е. точно также, как это имеет место у тканей или ИК на тканевой основе. При этом кривые растяжения систем в продольном и поперечном направлениях расположены близко друг к другу, что объясняется примерно оди-

наковыми свойствами бязи по основе и утку.

Изменение направления наклеивания бязи меняет характер и взаиморасположение кривых растяжения систем. Совмещение диагонального направления бязи с продольным СК приводит к тому, что большей деформационной способностью в этом случае обладают образцы систем, выкроенные в продольном и поперечном направлениях, т.е. там, где бязь расположена под углом 45° , а наименьшей - выкроенные в диагональном направлении, т.е. там, где бязь расположена по основе или утку. Следовательно, образцы систем материалов имеют повышенную деформационную способность в тех направлениях, в которых ткань в системе имеет максимальное удлинение.

По иному ведут себя системы из винилискожи-Г и барекса - материалов, имеющих в своей структуре тканевый слой. При дублировании их с бязью характер кривых "удлинение-нагрузка" не изменяется, а деформационные свойства систем зависят от соотношения тягучести ИК и СК и наклеенной бязи. Если системы растягиваются в направлениях, в которых бязь оказывается менее тягучей составляющей, то деформационные свойства систем ближе к бязи. Если же системы растягиваются в направлениях, в которых винилискожа-Г и барекс обладают меньшей тягучестью, то системы по деформационным свойствам ближе к этим материалам. Следовательно, деформационные свойства таких систем определяются менее тягучей составляющей системы в данном направлении.

В тройных системах (СК + бязь + спилок) характер и взаиморасположение кривых растяжения такой же, как и у двухслойных систем. Наблюдается только некоторое смещение кривых растяжения к оси нагрузок, что свидетельствует об увеличении жесткости тройных систем по сравнению с двойными.

При растяжении систем под углом к осям структурной симметрии, как и при растяжении ИК и СК, направление максимальных деформаций не совпадает с направлением растягивающих усилий и отклоняется от него на угол φ , появляются деформации сдвига, характеризующиеся углом γ . Углы γ и φ систем из СК на нетканой основе и безосновных значительно больше, чем у самих син-

тетических кож. Так, величины этих углов у образцов систем порвайр + бязь и порвайр + бязь + спилкок примерно такие же, как и у систем из СК-8, в то время как у самого порвайра они практически отсутствуют.

Величины углов γ и ϕ при растяжении образцов двойных и тройных систем изменяются так же, как и у синтетических кож: с увеличением относительного продольного удлинения ϵ_x угол γ увеличивается, а угол ϕ вначале достигает максимальной величины, а затем уменьшается. На рис. 4.2 в качестве примера показано изменение углов γ и ϕ при растяжении образцов систем порвайр + бязь и порвайр + бязь + спилкок под углом 30° к продольному направлению. Для других направлений и систем, в которых имеются углы γ и ϕ , эта зависимость имеет аналогичный характер.

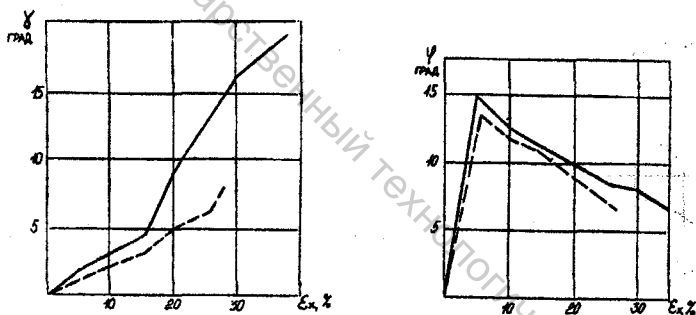


Рис. 4.2. Изменение угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ двухслойных и трехслойных систем в зависимости от относительного продольного удлинения ϵ_x .

Условные обозначения: — порвайр + бязь 0° ; --- порвайр + бязь 0° + спилкок

Таким образом, есть все основания считать, что наличие бязи в системах определяет особенности их деформирования при растяжении под углом к осям структурной симметрии [43].

Как показали наблюдения, разрушение двойных и тройных систем происходит в основном по бязи. Только в тех случаях, когда бязь имеет удлинение, близкое к материалам верха или выше, разрыв происходил по материалу верха. При этом характер разрушения образцов, выкроенных вдоль основы или утка (0 и 90°), как правило, мгновенный, а линия разрыва близка к прямой, что свиде-

тельствует о равномерном распределении растягивающих усилий между нитями ткани. Разрушение же образцов, выкроенных под углом к осям структурной симметрии, носит в основном ступенчатый характер: вначале появляется частичный (местный) надрыв нитей ткани, затем следует новое местное разрушение, как правило, вблизи первоначального.

Разрушение трехслойных систем иногда происходит по спилку в тех комбинациях, в которых бязь имела большую тягучесть.

Как и при растяжении ИК и СК при растяжении двух и трехслойных систем наблюдается поперечное сокращение образцов в направлении перпендикулярном растяжению.

На рис. 4.3, в качестве примера, показано изменение коэффициента поперечного сокращения μ_{yx} системы СК-8 + бязь в зависимости от относительно-го продольного удлинения ϵ_x при растяжении образцов, выкроенных в различных направлениях.

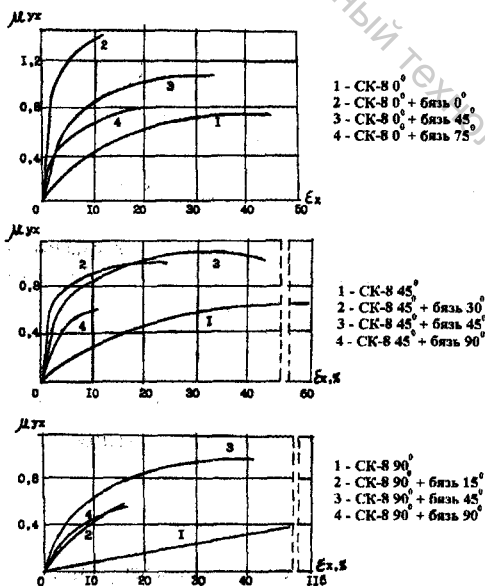


Рис. 4.3. Изменение μ_{yx} систем СК-8 + бязь при растяжении образцов в различных направлениях

Как видно из рисунков, с увеличением относительного удлинения систем коэффициент поперечного сокращения увеличивается почти до момента разрушения, а затем или остается постоянным, или же уменьшается. Аналогичный характер этой зависимости наблюдается у ИК на тканевой основе.

Следует отметить значительное увеличение относительного поперечного сокращения ϵ_y и коэффициента поперечного сокращения μ_{yx}

двойных и тройных систем по сравнению с синтетическими кожами при одинаковых удлинениях ϵ_x . Так, наклеивание бязи увеличивает ϵ_y и μ_{yx} в 2-3 раза. Изменение направления наклеивания бязи оказывает существенное влияние на величину ϵ_y и μ_{yx} .

Таким образом, исследование растяжения образцов систем СК + бязь и СК + бязь + спиллок под углом к осям структурной симметрии показало, что им присущи те же особенности деформирования, что и типичным анизотропным материалам. Причем, особенности деформирования систем в значительной мере определяются бязью.

4.2. Анизотропия характеристик механических свойств систем материалов

В табл. 4.1 представлены значения коэффициента удлинения A и разрывающих удлинений ϵ_p одиночных материалов, двойных и тройных систем в продольном (0°), диагональном (45°) и поперечном (90°) направлениях.

Таблица 4.1 - Анизотропия деформационных свойств систем материалов для верха обуви

Материал и система	Толщина, мм	ϵ_p , %			A , %		
		0°	45°	90°	0°	45°	90°
Бязь	0,30	10,3	38,0	11,3	10,0	37,0	8,0
СК-8	1,40	23,0	55,0	105,0	6,0	25,0	60,0
СК-8+ бязь 0°	1,80	14,0	40,0	12,0	4,0	10,0	7,0
СК-8+ бязь 45°	1,80	40,0	11,0	41,0	18,0	10,0	19,5
СК-8+ бязь 0° +спиллок	2,80	11,0	38,0	10,0	3,5	9,5	6,0
Порвайр	0,95	291,0	315,0	365,0	29,0	31,0	38,0
Порвайр+ бязь 0°	1,35	12,0	43,0	12,0	7,0	32,0	8,0
Порвайр+ бязь 45°	1,35	48,0	11,0	48,0	28,5	6,0	32,5
Порвайр+бязь 0° +спиллок	2,35	11,0	38,0	10,0	5,0	26,0	5,0
Барекс	1,10	31,0	67,0	45,0	4,0	10,0	6,0
Барекс+ бязь 0°	1,50	15,0	50,0	13,0	3,0	8,0	5,0
Барекс+ бязь 45°	1,50	40,0	12,0	38,0	9,0	3,0	8,0
Барекс+ бязь 0° + спиллок	2,50	14,0	46,0	11,0	3,0	8,0	3,5
Винилискожа-Т	0,80	14,0	50,0	19,0	3,5	24,0	8,0
Винилискожа-Т+ бязь 0°	1,20	16,0	49,0	13,0	3,0	16,0	3,5
Винилискожа-Т+ бязь 45°	1,20	16,0	15,0	22,0	5,0	12,0	6,0
Винилискожа-Т+ бязь 0° + спиллок	2,20	12,0	46,0	13,0	2,0	10,0	2,5

Анализ полученных данных [44] показывает, что у систем материалов наблюдается снижение общей деформационной способности. Так, значения разрушающих удлинений систем уменьшаются по сравнению с одиночными материалами у порвайра в 8-36 раз, СК-8 - в 2-10 раз, барекса - в 1,5-4 раза, винилискожи-Т - в 1,1-1,5 раза (в зависимости от направления выкраивания образцов) и по величине приближаются к бязи. Снижается и величина коэффициента удлинения у систем по сравнению с одиночными материалами, но в меньшей степени, чем ϵ_p (исключение составляет винилискожа-Т): у порвайра в 1,2-7,6 раза, СК-8 - в 1,7-10 раз, барекса - в 1,2-1,7 раза, винилискожи-Т - в 1,7-3,2 раза. Если у различных СК значения ϵ_p отличаются в 6-20 раз (в зависимости от направления выкраивания), то у систем - на 8-30%. Аналогичная картина наблюдается и по коэффициенту удлинения A : у материалов он отличается в 3-10 раз, у систем - в 2-4 раза.

Таким образом, деформационные свойства систем материалов в значительной степени определяются свойствами материала межподкладки, которая сглаживает различие свойств синтетических кож. Это в свою очередь не позволяет в полной мере использовать положительные свойства различных СК и ИК. Вместе с тем следует отметить, что значения ϵ_p систем в большинстве случаев выше, чем у одиночной бязи. Это, по-видимому, объясняется склеиванием нитей бязи в системах, что предотвращает быстрое развитие микротрещин по краям образцов и уменьшает срезающее воздействие одной системы нитей на другую.

На рис. 4.4 и 4.5 показаны кривые анизотропии разрушающих удлинений двойных и тройных систем в сравнении с кривыми анизотропии этих свойств у СК, бязи и спилка.

Как видно из рис. 4.4 и таблицы 4.1 зависимость значений коэффициентов удлинения и разрушающих удлинений систем от направления выкраивания образцов имеет аналогичный характер, в то время как одиночные ИК и СК имеют различный характер анизотропии. Так, если одиночные СК на нетканой основе и безосновные имеют максимальные значения ϵ_p и A в поперечном на-

правления, минимальные - в продольном, то системы СК + бязь 0° имеют максимальное значение этих характеристик в диагональном направлении, минимальные - в продольном и поперечном.

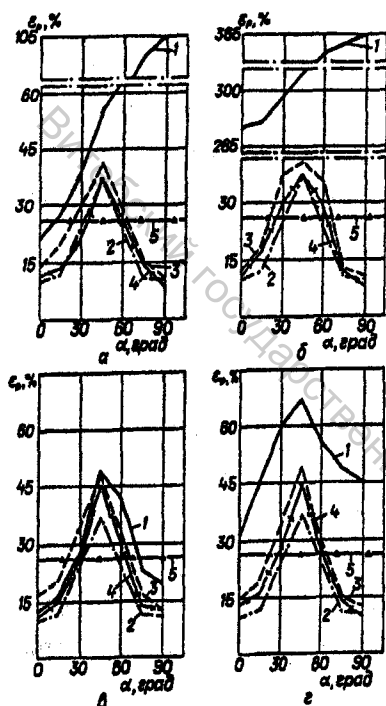


Рис. 4.4. Кривые анизотропии разрушающих удлинений одиночных материалов, двух и трехслойных систем: а – СК-8; б – порвайр; в – винилискожа-Т; г – барекс; 1 – СК, ИК; 2 – бязь 0° ; 3 – СК + бязь 0° ; 4 – СК + бязь 0° + спилок; 5 – спилок

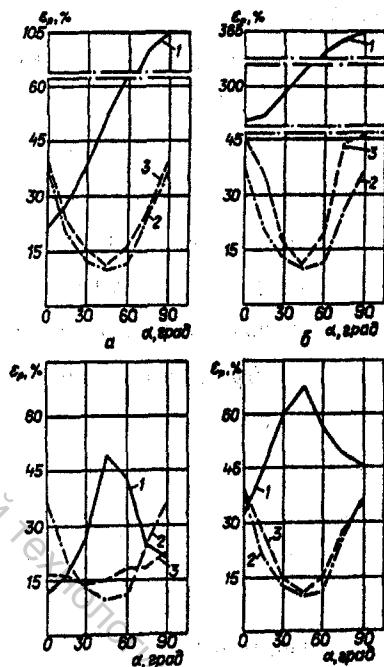


Рис. 4.5. Кривые анизотропии разрушающих удлинений при наклеивании бязи под углом 45° : а – СК-8; б – порвайр; в – винилискожа-Т; г – барекс; 1 – СК, ИК; 2 – бязь 45° ; 3 – СК + бязь 45°

Изменение направления наклеивания бязи изменяет характер анизотропии деформационных свойств систем. Системы СК + бязь 45° имеют максимальные значения ϵ_p и A в продольном и поперечном направлениях, минимальные - в диагональном (см. рис. 4.5), т.е. за исключением системы с верхом из ИК на тканевой основе, все системы имеют наибольшие и наименьшие зна-

чения ϵ_p и A в тех направлениях, в которых имеет их бязь. Характер анизотропии деформационных свойств системы винилискожа-Т + бязь 45° определяется соотношением тягучести винилискожи-Т и наклеенной в различных направлениях бязи.

Следовательно, если в деформационных свойствах компонентов системы существует большая разница, то система по характеру анизотропии деформационных свойств приближается к менее тягучей составляющей, если же разница небольшая, то характер анизотропии определяется соотношением тягучести компонентов системы по направлениям.

Наряду с изменением характера анизотропии ϵ_p и A систем изменяется также и величина коэффициента анизотропии. В то время как у различных СК значения коэффициента анизотропии сильно отличаются ($K_{\epsilon_p} = 1,3+4,6$; $K_A = 1,3+10,0$), у систем они примерно одинаковы ($K_{\epsilon_p} = 3,3+3,8$; $K_A = 2,5+5,3$). Это свидетельствует об определяющем влиянии бязи на характер и величину анизотропии деформационных свойств систем материалов.

Таким образом, проведенное исследование показало, что наклеивание межподкладки резко изменяет характер, величину анизотропии и общую деформационную способность ИК и СК. В системах различие свойств синтетических кож нивелируется межподкладкой. Зная характер анизотропии деформационных свойств компонентов системы и их взаимное расположение, можно прогнозировать анизотропию деформационных свойств систем материалов.

Анизотропия коэффициентов удлинений и разрушающих удлинений тройных систем синтетическая кожа + бязь + спилкок по характеру аналогична анизотропии двойных систем, однако величина анизотропии этих свойств у тройных систем меньше, чем у двойных. Спилкок уменьшает анизотропию разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений тройных систем.

Несмотря на определяющее влияние бязи на характер и величину анизотропии разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений двойных и тройных систем, их значения в системах во всех случаях выше, чем у самой бязи. Это свидетельствует о влиянии также и синтетических кож на анизотропию

свойств систем материалов.

Анализ анизотропии разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений двойных и тройных систем материалов показал, что наклеиванием бязи на синтетические кожи можно целенаправленно изменять характер анизотропии деформационных свойств и добиваться желаемого результата.

Зная характер анизотропии деформационных свойств синтетических кож и материала межподкладки с учетом их взаимного расположения в системе можно прогнозировать анизотропию деформационных свойств систем материалов.

Учитывая, что прочность тканей, синтетических кож и сложных армированных систем в большинстве случаев оценивается нагрузкой при разрушении, в качестве характеристики прочности систем выбран этот показатель. За разрушающую нагрузку системы принималось максимальное усилие, отмеченное при появлении первого местного надрыва.

На рис. 4.6 приведены кривые анизотропии разрывных нагрузок P_p двойных и тройных систем в сравнении с кривыми анизотропии разрывных нагрузок синтетических кож и бязи.

Анализ полученных данных [45] показал, что прочность систем материалов СК + бязь, как правило выше прочности материала верха по всем исследуемым направлениям выкраивания образцов, т.е. дублирование верха в той или иной степени упрочняет систему. Упрочнение системы зависит от вида СК. Если у системы из порвайра, СК-8 и винилискожи-Т при наклеивании бязи прочность увеличивается в 1,2-2,5 раза по сравнению с одиночными материалами в соответствующих направлениях, то прочность системы из барекса почти не изменяется. Однако такой четкой закономерности в изменении величин разрывных нагрузок систем, как это имело место при изучении разрывных удлинений, не наблюдается. Это можно объяснить тем, что разрушение композиционных материалов, к которым относятся исследуемые системы, происходит по законам многофакторного сложного распределения напряжений и удлинений в соответствии с типом композиционной структуры системы. К таким факторам,

как показало исследование разрушения систем СК + бязь, относятся прочность материалов отдельных слоев системы, ориентация структуры каждого слоя, адгезионная способность клея, используемого при дублировании компонентов, составляющих систему [46].

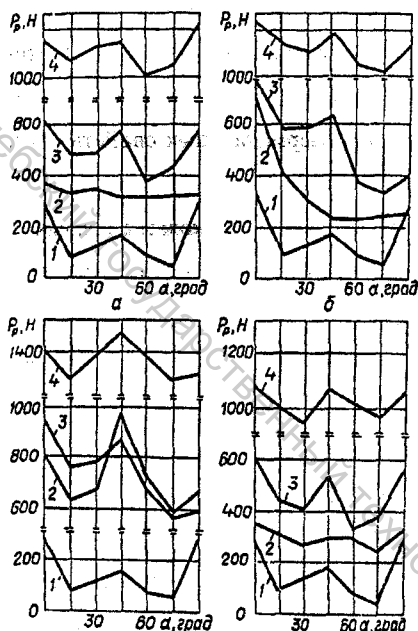


Рис. 4.6. Кривые анизотропии разрывных нагрузок СК, бязи, двух (СК + бязь) и трехслойных (СК+ бязь+спилок) систем материалов для верха обуви: 1 – бязь; 2 – СК; 3 – СК + бязь; 4 – СК+бязь+спилок; а – порвайр; б – СК-8; в – барекс; г – винилискожа-Т

системы больше, чем материала межподкладки. Разрывные нагрузки при $\alpha = 90^\circ$ примерно в 2 раза ниже, чем при $\alpha = 0^\circ$, т.е. так же, как и у СК-8.

В системах барекс + бязь и винилискожа-Т + бязь характер анизотропии P_p такой же, как и у материалов верха и бязи, т.е. максимальные значения P_p наблюдаются по осям структурной симметрии ($0,45,90^\circ$) в результате наличия тканевого слоя в структуре этих синтетических кож. У порвайра, представляющего собой гомогенный пленочный материал однородной структуры, наклеи-

Анализ кривых (рис. 4.6) показывает, что на анизотропию разрывных нагрузок систем СК + бязь влияют материалы верха и межподкладки. Так, кривая анизотропии прочности системы СК-8 + бязь по своему характеру аналогична кривой анизотропии синтетической кожи, т.е. при изменении угла α от 0° до 90° прочность снижается. Однако у системы наблюдаются скачки, т.е. повышение прочности там, где направление раскроя бязи совпадает с направлением осей структурной симметрии, т.е. $0,45, 90^\circ$. В то же время влияние СК-8 на анизотропию P_p

вание бязи приводит к армирующему эффекту и кривая анизотропии прочности системы становится аналогичной кривой анизотропии прочности бязи.

Изменение направления наклеивания бязи изменяет характер анизотропии прочности систем (рис. 4.7). Общая закономерность для всех систем - повышение прочности там, где бязь выкроена по осям структурной симметрии. При отклонении от осей структурной симметрии прочность систем снижается, что можно объяснить появлением касательных напряжений в области контакта слоев системы за счет работы структуры ткани, которые способствуют разрушению клеевого шва, частичному расслаиванию и повышению неоднородности работы компонентов системы.

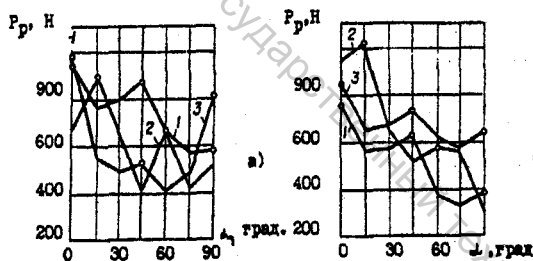


Рис. 4.7. Влияние направления наклеивания бязи на анизотропию прочности систем с верхом из барекса (а), СК-8 (б). 1 - СК-8+бязь 0° ; 2 - СК-8+бязь 30° ; 3 - СК-8+бязь 45° ; точками обозначены значения прочности систем, в которых бязь выкроена в направлениях структурной симметрии.

до 1,9. Для СК-8 $K_p = 3,1$, а в системе СК-8 + бязь K_p изменяется от 3,4 до 5,2 и т.д. В тройных системах (СК + бязь + спилки) появление спилка увеличивает прочность систем. Разрушающие нагрузки тройных систем в 2-4 раза больше по сравнению с прочностью материала верха (см. рис. 4.6). Появление в системах слоя из спилка уменьшает анизотропию прочности по сравнению с двухслойными системами. Значения коэффициента анизотропии систем колеблются от 1,5 до 2,0.

Таким образом, проведенное исследование показало, что прочностные свойства систем материалов зависят от прочности и взаимной ориентации ком-

Появление бязи в системе увеличивает коэффициент анизотропии

$$b) K_p = P_p^{max} / P_p^{min} \quad \text{по}$$

сравнению с материалом верха. Так, если порвайр

имеет коэффициент анизотропии прочности 1,3, то в системе порвайр + бязь он колеблется от 1,6

понентов системы. В том случае, когда ставится задача увеличения прочности системы при одноосном растяжении, бязь следует наклеивать строго по направлению осей структурной симметрии.

В таблице 4.2 представлены значения угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления растягивающих сил ϕ двойных и тройных систем материалов при различных направлениях выкраивания образцов α .

Таблица 4.2. – Изменение угла сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ в зависимости от направления выкраивания образцов α при $\epsilon_x = 15\%$

Наименование материалов и систем	Углы γ и ϕ в град. при следующих значениях угла α в град.													
	0		15		30		45		60		75		90	
	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ	γ	ϕ
Кларино	-	-	5,0	10,0	6,0	15,0	8,0	17,0	6,0	13,0	4,0	11,0	-	-
Кларино + бязь 0°	-	-	10,0	14,0	8,0	12,0	-	-	7,0	11,0	9,0	13,0	-	-
Кларино + бязь 0° + спилок	-	-	8,0	18,0	5,0	13,0	-	-	6,0	12,0	7,0	17,0	-	-
СК-8	-	-	7,0	12,0	8,0	16,0	10,0	18,0	7,0	14,0	5,0	10,0	-	-
СК-8+бязь 0°	-	-	11,0	15,0	8,0	13,0	-	-	7,0	12,0	12,0	14,0	-	-
СК-8+бязь 0° + спилок	-	-	7,0	18,0	4,0	14,0	-	-	6,0	14,0	8,0	19,0	-	-
Порвайр	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Порвайр + бязь 0°	-	-	9,0	14,0	5,0	11,0	-	-	6,0	10,0	9,0	13,0	-	-
Порвайр + бязь 0° + спилок	-	-	8,0	17,0	4,0	12,0	-	-	5,0	12,0	7,0	18,0	-	-

На рис. 4.8 в качестве примера, показаны графики зависимости углов γ и ϕ от направления выкраивания образцов α систем кларино + бязь 0° и кларино + бязь 0° + спилок. Для сравнения на этих же рисунках показан график зависимости углов γ и ϕ СК кларино.

Как видно из таблицы 4.2 и рисунка 4.8 величины углов γ и ϕ от α двойных и тройных систем значительно изменяются при изменении направления выкраивания образцов. При этом зависимость углов γ и ϕ от α двойных и

тройных систем имеет идентичный характер, существенно отличающийся от характера зависимости γ и ϕ от α синтетических кож.

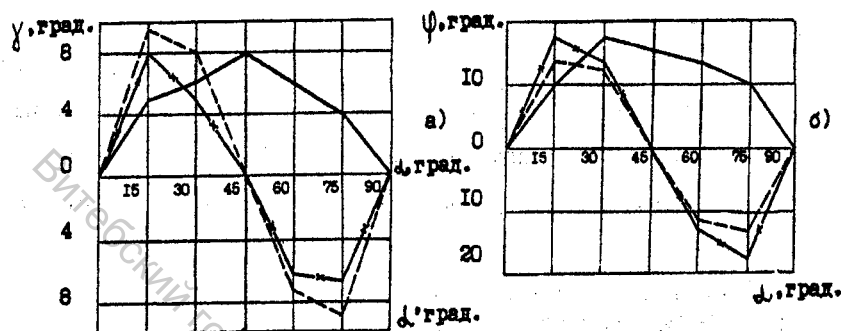


Рис. 4.8. Изменение угла сдвига γ (а) и угла отклонения направления максимальной деформации от направления действия растягивающих сил ϕ (б) двойных и тройных систем в зависимости от направления выкраивания образцов α .

Условные обозначения: — кларино; --- кларино+бязь;
-х- кларино + бязь+спилок

У двойных и тройных систем наблюдается резкое увеличение значений углов γ и ϕ при отклонении от продольного и от поперечного направлений. Достигнув максимального значения при угле $\alpha = 15^\circ$ величина углов γ и ϕ резко уменьшается при приближении к диагональному направлению, достигая нуля при $\alpha = 45^\circ$.

При переходе от диагонального направления выкраивания образцов к поперечному картина повторяется. При этом углы γ и ϕ меняют знак на противоположный, достигая максимальных значений при $\alpha = 75^\circ$. У синтетических кож кларино и СК-8 характер зависимости величины углов γ и ϕ от направлений выкраивания образцов совершенно иной, а у порвайра углы γ и ϕ вообще отсутствуют (см. табл.4.2).

Характер зависимости углов γ и ϕ от α двойных и тройных систем аналогичен характеру этой зависимости у искусственных кож на тканевой и синтетических на смешанной основах (см. рис.4.8). Следовательно, анизотропия уг-

лов сдвига γ и угла отклонения направления максимальной деформации от направления растягивающих сил ϕ двойных и тройных систем определяется наличием бязи в системе.

В табл. 4.3 представлены результаты исследования анизотропии коэффициентов поперечного сокращения μ_{yx} двойных и тройных систем при значениях относительного удлинения $\epsilon_x = 10\%$, а на рис. 4.9 в качестве примера показаны кривые анизотропии μ_{yx} СК-8, кларино и порвайра, а также двойных и тройных систем.

Таблица 4.3 - Анизотропия коэффициентов поперечного сокращения μ_{yx} СК, СК+бязь и СК+бязь+спилок при $\epsilon_x = 10\%$

Наименование материалов и систем	μ_{yx} при значениях α , град							$K_{\mu_{yx}}$
	0	15	30	45	60	75	90	
СК-8	0,65	0,54	0,43	0,35	0,27	0,23	0,14	4,6
СК-8 + бязь 0°	0,74	0,87	0,78	1,06	0,89	0,72	0,50	2,1
СК-8 + бязь 0° + спилок	0,66	0,79	0,75	0,91	0,94	0,64	0,51	1,8
Кларино	0,50	0,43	0,40	0,29	0,24	0,22	0,20	2,5
Кларино + бязь 0°	0,66	0,70	0,73	0,80	0,59	0,58	0,50	1,6
Кларино + бязь 0° + спилок	0,71	0,70	0,70	0,81	0,60	0,54	0,48	1,7
Порвайр	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,23	0,25	1,1
Порвайр + бязь 0°	0,32	0,49	0,48	0,52	0,44	0,42	0,42	1,6
Порвайр + бязь 0° + спилок	0,56	0,53	0,50	0,65	0,65	0,44	0,46	1,5

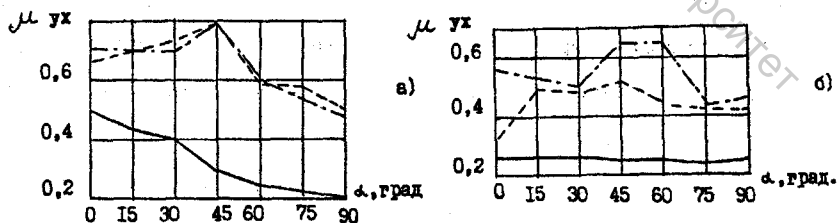


Рис. 4.9. Анизотропия μ_{yx} СК, двух- и трехслойных систем при $\epsilon_x = 10\%$ а) кларино; б) порвайр

Обозначения: — СК; --- СК+бязь; — · — СК+бязь+спилок.

Анализ полученных результатов [47] показывает, что двойные и тройные системы имеют более высокие значения коэффициентов μ_{yx} в диагональном направлении, в то время как синтетические кожи на нетканой основе - в продольном, а у порвайра они практически не изменяются. Значения коэффициентов поперечного сокращения двух и трехслойных систем близки между собой и значительно превышают эти значения у синтетических кож, т.е. наклеивание бязи на синтетические кожи изменяет характер анизотропии коэффициентов поперечного сокращения СК и увеличивает их способность к поперечному сокращению.

Изменение направления наклеивания бязи (СК + бязь 45°) изменяет как характер анизотропии, так и величину коэффициента поперечного сокращения. При этом максимальные значения μ_{yx} наблюдаются в образцах, выкроенных в продольном и поперечном направлениях, а минимальные - в диагональном.

Таким образом, в системах различные свойства синтетических кож нивелируется бязью. По существу системы СК + бязь и СК + бязь + спилкок представляют собой новые материалы со своей анизотропией деформационных и прочностных свойств. Системы также остаются анизотропными в отношении этих свойств, только изменяется характер и величина их анизотропии. Зная характер анизотропии механических свойств компонентов системы и их взаимное расположение, можно прогнозировать анизотропию механических свойств систем материалов, составляющих заготовку.

4.3. Исследование возможности описания анизотропии деформационных свойств систем материалов тензорными формулами

В работах [11, 14, 16] тензорные формулы использовались для расчета анизотропии прочности и упругих постоянных таких композитных материалов, как фанера, стеклопластики, текстолиты и др. По аналогии с этим, нами исследована возможность описания анизотропии деформационных свойств

систем СК + бязь и СК + бязь + спилок тензориальными формулами, полученными для описания этих же свойств у синтетических кож (см. раздел 3.2).

Как отмечалось в разделе 1.2, одним из условий возможности применения тензориальных формул для описания анизотропии свойств материалов, является наличие симметрии этих свойств при изменении направления выкраивания образцов. В связи с этим, прежде всего, была исследована симметрия деформационных свойств систем материалов по методике, изложенной в разделе 3.1. Установлено, что изменение деформационных свойств систем материалов в плоскости листа имеет симметричный характер. При этом оси симметрии проходят в продольном и поперечном направлении.

На этом основании для расчета анизотропии разрушающих удлинений ϵ_p и коэффициентов удлинений A систем материалов были применены тензориальные формулы (1.5) и (1.20). По экспериментальным значениям ϵ_p и A систем в продольном, диагональном и поперечном направлении используя формулы (1.5) и (1.20), были рассчитаны эти характеристики в произвольных направлениях через каждый градус от 0 до 360° по разработанному алгоритму.

В табл. 4.4 и 4.5 представлены расчетные и экспериментальные значения ϵ_p и A от 0 до 90°.

Таблица 4.4 - Сравнение экспериментальных ϵ_p^3 и расчетных ϵ_p^p значений разрушающих удлинений систем материалов

Наименование систем	Характеристики	Направление выкраивания образцов α , град.						
		0	15	30	45	60	75	90
СК-8 + бязь 0 ⁰ + спилок	ϵ_p^3 , %	10,0	13,5	23,0	37,5	26,0	15,0	10,5
	ϵ_p^p , %	10,0	12,0	22,0	37,5	23,5	13,5	10,5
	δ , %	0	10,7	4,3	0	9,0	10,0	0
Кларино + бязь 0 ⁰ + спилок	ϵ_p^3 , %	12,1	17,0	30,0	42,0	25,5	15,0	10,7
	ϵ_p^p , %	12,1	15,5	27,0	42,0	23,0	13,5	10,7
	δ , %	0	8,8	10,0	0	9,8	10,0	0
Порвайр + бязь 0 ⁰ + спилок	ϵ_p^3 , %	11,0	18,0	28,0	38,0	24,0	12,0	10,0
	ϵ_p^p , %	11,0	13,4	25,0	38,0	22,0	12,2	10,0
	δ , %	0	2,6	10,7	0	8,3	2,0	0

Таблица 4.5 - Сравнение экспериментальных A_z и расчетных A_p значений коэффициентов удлинений систем материалов

Наименование систем	Характеристики	Направление выкраивания образцов α , град.						
		0	15	30	45	60	75	90
СК-8 + бязь 0° + спиллок	A_z , %	3,8	5,0	8,0	12,5	12,0	8,0	6,4
	A_p , %	3,8	4,4	7,5	12,5	12,0	8,3	6,4
	δ , %	0	12,0	6,2	0	0	3,7	0
Кларино + бязь 0° + спиллок	A_z , %	4,1	5,8	7,7	9,9	8,6	6,0	5,2
	A_p , %	4,1	5,5	8,3	9,9	8,9	6,4	5,2
	δ , %	0	5,2	7,8	0	3,5	6,7	0
Порвайр + бязь 0° + спиллок	A_z , %	5,0	11,0	20,5	26,0	23,0	9,5	5,0
	A_p , %	5,0	10,6	21,7	26,0	21,7	10,6	5,0
	δ , %	0	3,6	5,9	0	5,7	11,6	0

Примечание: $\delta = \frac{A_z - A_p}{A_z} 100\%$; $\delta = \frac{\epsilon_p^3 - \epsilon_p^p}{\epsilon_p^3} 100\%$

На рис. 4.10 в качестве примера показаны полярные диаграммы системы СК-8 + бязь 0° + спиллок, показывающие их изменения по направлениям от 0 до 360° (сплошная кривая). Точками показаны экспериментальные значения ϵ_p и A . Сравнение экспериментальных значений ϵ_p и A с расчетными показало достаточно хорошую их сходимость. Относительная ошибка аппроксимации для исследованных систем не превышает 10-15%.

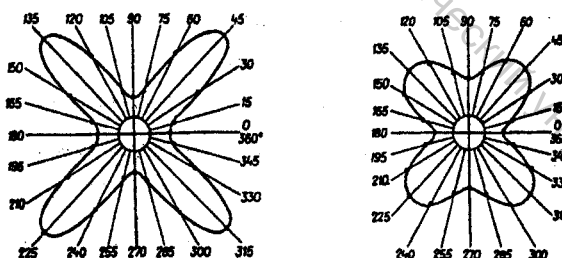


Рис. 4.30. Полярные диаграммы разрушающих удлинений ϵ_p (а) коэффициентов удлинений A (б) трехслойной системы СК-8+бязь+спиллок

Следовательно, используя тензорные формулы (1.5) и (1.20) можно с достаточной степенью точности описывать анизотропию разрушающих удлинений и коэффициентов удлинений двойных и тройных систем материалов, составляющих заготовку верха обуви.

5. АНИЗОТРОПИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОБУВНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ ПРИ ДВУХОСНОМ РАСТЯЖЕНИИ

Механические свойства обувных материалов в основном определяются при испытании образцов в условиях одноосного растяжения. Заготовки же верха обуви при формовании на современном оборудовании наряду с одноосным растяжением испытывают различные виды двухосного растяжения [23].

В связи с этим большой теоретический и практический интерес представляет исследование анизотропии деформационных свойств ИК, СК и систем материалов при двухосном растяжении, учитывая отсутствие данных по этому вопросу в литературе.

5.1. Разработка способа определения анизотропных характеристик плоских материалов

Для исследования анизотропии деформационных свойств обувных материалов при двухосном растяжении требуется создать равнонапряженное состояние по контуру образца. В этом случае, если материал обладает анизотропией деформационных свойств, образец будет деформироваться в различных направлениях на различную величину. В литературе описано два способа, позволяющих исследовать анизотропию обувных материалов [48, 49]. В одном из них [48] круговой образец материала защемляется по периметру и деформируется шарикоподшипниками, расположенными по кругу. При этом каждый из них снабжен гидроцилиндром. При одинаковом давлении рабочей жидкости в гидроцилиндрах высота подъема каждого из них будет зависеть от деформационной способности материала в данном направлении. Образец анизотропного материала при испытании принимает седловидную форму, по кривизне которой можно судить об анизотропии исследуемого материала.

В другом случае [49] образец в форме круга зажимается по краям в плоские зажимы, которые связаны с гидроцилиндрами. При одинаковом давлении в гидроцилиндрах зажимы расходятся на различную величину в зависимости от деформационных свойств материала в данном направлении. При этом окружность, нанесенная на образец, превращается в эллипс, по соотношению осей ко-

торого и судят об анизотропии материала.

Общим недостатком этих установок является сложность их конструкции и большая трудоемкость проведения испытания.

Был разработан новый способ определения анизотропных характеристик плоских материалов, основанный на регистрации деформаций образца, нагруженного центробежными силами [50]. Принципиальная схема установки изображена на рис. 5.1. На станине 1 крепится электродвигатель 2, на котором закреплен датчик скорости вращения 3. На оси вращения 4 закреплен диск 5, элемент датчика скорости вращения 6 и образец материала 7. Крепление образца осуществляется при помощи шайбы 8 и гайки 9.

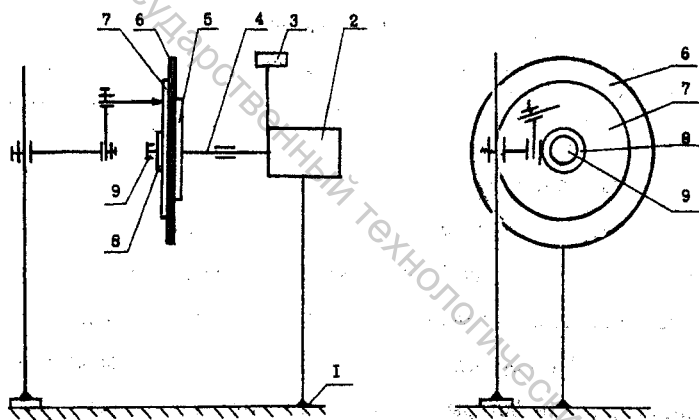


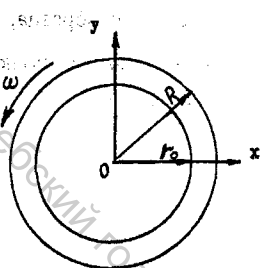
Рис. 5.1. Схема установки для определения анизотропии деформационных свойств обувных материалов и их систем в поле центробежных сил

Установка имеет приспособление для нанесения фигур вращения.

Образец, имеющий форму круга, приводится во вращение относительно оси, проходящей через центр круга перпендикулярно к его плоскости. При вращении возникают центробежные силы, которые растягивают образец в разные стороны. На поверхности вращающегося образца, деформированного центробежными силами, наносят concentрические относительно оси вращения окружности. После этого вращение образца прекращают, измеряют геометрические элементы фигур, в которые превращаются нанесенные окружности после

снятия центробежной силовой нагрузки, и на основе этих измерений вычисляют анизотропные характеристики материала [51].

На рис. 5.2 изображен вращающийся с угловой скоростью ω образец радиусом R , на который нанесена окружность радиусом r_0 .



Величина центробежной силы F , приложенной к сечению образца на расстоянии r_0 от оси вращения O , равна:

$$F = 2\pi\gamma\omega^2 \int_0^R x^2 dx, \quad (5.1)$$

где γ - поверхностная плотность материала образца.

Рис. 5.2. Вращающийся с угловой скоростью ω образец радиусом R , на который нанесена окружность радиусом r_0 .

Уравнение (5.1) показывает, что центробежная сила F зависит от r_0 . Это позволяет

на одном образце одновременно определять анизотропные характеристики материала при различных силовых нагрузках, нанося окружности на различные расстояния от оси вращения. Регулируя скорость вращения ω образца, можно в очень широких пределах изменять величину центробежных сил.

На рис. 5.3 изображены окружности радиусом r_0 , нанесенные на вращающийся образец, и фигуры типа эллипса, в которые превращаются окружности после снятия силовой нагрузки.

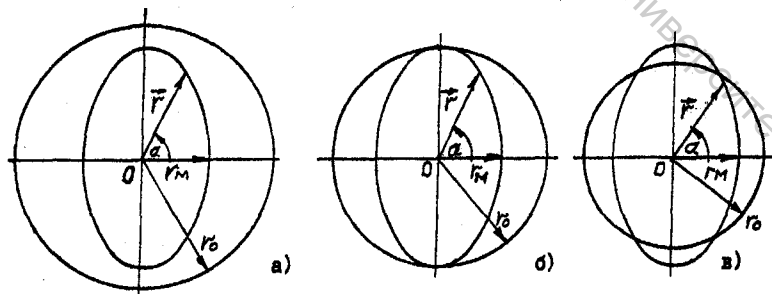


Рис. 5.3. Фигуры на образце после снятия силовой нагрузки

Эти фигуры описываются радиусом-вектором $\vec{r}_\alpha$, где α - угол между радиусом-вектором и выбранным опорным направлением. В качестве опорного удобно выбрать направление максимальной деформации образца, указанное радиусом-вектором $\vec{r}_m$. По сути рис. 5.3 изображает эпюры деформаций образцов по всем направлениям: $0 \leq \alpha \leq 2\pi$.

Относительная деформация в направлении максимальной деформации

$$\varepsilon_m = \frac{r_0 - r_m}{r_m}. \quad (5.2)$$

Относительная деформация в направлении радиуса-вектора $\vec{r}_\alpha$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{r_0 - r_\alpha}{r_\alpha}. \quad (5.3)$$

В качестве характеристики анизотропных свойств материала предложен коэффициент анизотропии

$$K_\alpha = \varepsilon_\alpha / \varepsilon_m, \quad (5.4)$$

или

$$K_\alpha = \frac{r_m(r_0 - r_\alpha)}{r_\alpha(r_0 - r_m)}. \quad (5.5)$$

Введение вновь предложенного коэффициента анизотропии вызвано тем, что при двухосном растяжении материала может оказаться, что минимальная деформация имеет очень небольшую величину или вообще равна нулю (см. рис. 5.3, б). В этом случае обычно употребляемый коэффициент анизотропии $K_\varepsilon = \varepsilon_{\max} / \varepsilon_{\min}$ будет иметь очень большую величину или же деление на ноль теряет смысл. Предлагаемый же коэффициент анизотропии находится в пределах

$$-1 \leq K_\alpha \leq 1, \quad (5.6)$$

что удобно для использования его в качестве количественной характеристики анизотропии. При этом, чем меньше величина коэффициента, тем больше анизотропия материала.

Отрицательное значение коэффициент анизотропии может принять в

случае, если при двухосном растяжении материал в одном направлении сильно растянется, а в другом сократится (см. рис. 5.3, в).

Скорость вращения образца определяется целями исследования. При малых скоростях упругие деформации материалов близки к линейным, при больших скоростях возможны нелинейные деформации. В области линейной упругости коэффициент анизотропии K_α в пределах точности измерений не зависит от размеров образца, скорости его вращения и радиусов нанесенных окружностей. Если же такая зависимость имеет место, то это указывает на то, что материал обладает нелинейной упругостью.

Предлагаемый способ характеризуется повышенной информативностью, сокращает время и упрощает процесс определения анизотропных характеристик плоских материалов. Кроме того, на поверхности образца сохраняются геометрические фигуры, которые наглядно демонстрируют анизотропность свойств исследуемого материала.

Однако, как указывалось выше при исследовании анизотропии деформационных свойств материалов при двухосном растяжении необходимо обеспечить равнонапряженное состояние по контуру образца.

Если же материалы анизотропны в плоскости образца, то при центробежной деформации круглый образец принимает форму, достаточно близкую к эллипсу. Это в свою очередь нарушает круговую симметрию центробежных сил и соответственно равнонапряженное состояние образца. При этом, чем больше анизотропия деформационных свойств материала, тем больше погрешность при ее оценке.

С целью определения границ применимости предложенного метода исследования анизотропии деформационных свойств обувных материалов произведем оценку распределения центробежных сил при вращении плоского образца, имеющего форму эллипса, изображенного на рис. 5.4.

Введем обозначения: $\vec{r}$ - радиус-вектор точки эллипса с координатами x и y ; a , b - соответственно большая и малая полуоси эллипса.

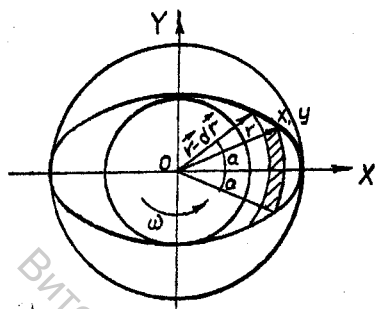


Рис. 5.4. Геометрические характеристики вращающегося образца

Запишем каноническое уравнение эллипса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (5.7)$$

где $a \geq b \geq 0$.

На расстоянии r от центра O в секторе 2α выделим элементарную дуговую полосу шириной dr и массой dm

$$dm = 2\alpha\gamma r dr, \quad (5.8)$$

где α - угол между радиусом-вектором $\vec{r}$ точки эллипса и его большой полуосью a ; γ - поверхностная плотность материала.

При вращении с угловой скоростью ω на массу dm действует центробежная сила

$$dF = \omega^2 r dm, \quad (5.9)$$

или, с учетом выражения (5.8)

$$dF = 2\alpha\gamma\omega^2 r^2 dr. \quad (5.10)$$

Из этого уравнения следует, что центробежная сила, действующая на замкнутую круговую полосу, для которой $\alpha = \pi$,

$$dF_0 = 2\pi\gamma\omega^2 r^2 dr. \quad (5.11)$$

Модуль радиуса-вектора $\vec{r}$ точки эллипса и ее координаты x и y связаны соотношением

$$r^2 = x^2 + y^2. \quad (5.12)$$

Решая совместно уравнения (1.43) и (1.48), определяем

$$x^2 = a^2 \frac{r^2 - b^2}{a^2 - b^2}; \quad (5.13)$$

$$y^2 = b^2 \frac{a^2 - r^2}{a^2 - b^2}; \quad (5.14)$$

Угол

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{y}{x}, \quad (5.15)$$

или с учетом выражений (5.13) и (5.14),

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[\frac{\vartheta}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - \vartheta^2} \right)^{1/2} \right]. \quad (5.16)$$

Подставив это значение α в формулу (5.10), получим

$$dF = 2\gamma \omega^2 r^2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\vartheta}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - \vartheta^2} \right)^{1/2} \right] dr. \quad (5.17)$$

Для того чтобы найти полную центробежную силу, приложенную к эллипсу, разобьем его на части окружностью радиусом ϑ .

Интегрируя уравнение (5.11) в пределах от 0 до ϑ , определяем центробежную силу, приложенную к кругу,

$$F_{os} = 2\pi\gamma\omega^2 \int_0^{\vartheta} r^2 dr; \quad (5.18)$$

$$F_{os} = \frac{2}{3} \pi\gamma\omega^2 \vartheta^3. \quad (5.19)$$

Умножив правую часть уравнения (5.17) на 2 и интегрируя в пределах от ϑ до a , определяем центробежную силу, приложенную к двум частям эллипса вне круга радиусом ϑ ,

$$F = 4\gamma\omega^2 \int_{\vartheta}^a r^2 \operatorname{arctg} \left[\frac{\vartheta}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - \vartheta^2} \right)^{1/2} \right] dr. \quad (5.20)$$

Назовем эту величину анизотропным приращением силы, поскольку ее возникновение связано с анизотропной деформацией материала.

Полная центробежная сила, приложенная к эллипсу,

$$F_s = F_{os} + F$$

или

$$F_s = 4\gamma\omega^2 \left[\frac{\pi\vartheta^3}{3} + \int_{\vartheta}^a r^2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\vartheta}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - \vartheta^2} \right)^{1/2} \right) dr \right]. \quad (5.21)$$

Обозначим отношение дополнительно возникающей силы F к центробежной силе F_{os} , приложенной к кругу, через z

$$z = F/F_{\text{ов}}. \quad (5.22)$$

С учетом формул (5.19) и (5.20) получаем

$$z = \frac{6}{\pi \epsilon^3} \int_{\epsilon}^a r^2 \arctg \left[\frac{\epsilon}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - \epsilon^2} \right)^{1/2} \right] dr. \quad (5.23)$$

Поскольку вычисления этого интеграла сопряжены с определенными трудностями численного интегрирования, предложим более простую оценку распределения центробежных сил.

Интегрируя уравнение (5.11) в пределах от ϵ до a , определяем центробежную силу $F_{\text{ва}}$, приложенную к кольцу с внутренним радиусом ϵ и внешним a ,

$$F_{\text{ва}} = \frac{2}{3} \pi \gamma \omega^2 (a^3 - \epsilon^3). \quad (5.24)$$

Площадь кольца

$$S_{\text{ва}} = \pi (a^2 - \epsilon^2). \quad (5.25)$$

Площадь эллипса

$$S_{\epsilon} = \pi a \epsilon. \quad (5.26)$$

Площадь двух частей эллипса, входящих в кольцо,

$$S = S_{\epsilon} - S_{\text{ва}},$$

где $S_{\epsilon} = \pi \epsilon^2$ - площадь круга радиусом ϵ .

Следовательно,

$$S = \pi \epsilon (a - \epsilon). \quad (5.27)$$

В первом приближении принимаем, что сила F_s , действующая на эти части эллипса, пропорциональна отношению их площади S к площади кольца $S_{\text{ва}}$. Тогда

$$F_s = F_{\text{ва}} \frac{S}{S_{\text{ва}}}, \quad (5.28)$$

а с учетом формул (5.24), (5.25) и (5.26)

$$F_s = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi \gamma \omega^2 \epsilon (a^3 - \epsilon^3)}{a + \epsilon}. \quad (5.29)$$

Обозначим отношение F_s к $F_{\text{ов}}$ через θ

$$\theta = F_s / F_{os}. \quad (5.30)$$

С учетом выражений (5.19) и (5.29) получим

$$\theta = \frac{a^3 - e^3}{e^2(a + e)}. \quad (5.31)$$

Обозначим отношение полуосей эллипса через c

$$c = a/e. \quad (5.32)$$

Тогда с учетом уравнений (5.31) и (5.32)

$$\theta = \frac{c^3 - 1}{c + 1}. \quad (5.33)$$

Для сопоставления точной и приближенной оценки распределения центробежных сил определим отношение z/θ . Интеграл в формуле (5.23) вычислялся методом Симпсона на ЭВМ. Зависимость z/θ от c приведена в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Зависимость z/θ от c

c	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
z/θ	0,994	0,988	0,975	0,963	0,952	0,941

Эти результаты показывают, что даже при значительной анизотропии деформации образца величина θ близка к z . Уменьшение отношения z/θ с увеличением значения c объясняется тем, что при вычислении центробежной силы F_s мы не учитывали во всех деталях распределение масс дуговых полосок эллипса как функцию их расстояния r от оси вращения.

Для более точного приближения z к θ примем, что уточненное значение отношения F_s/F_{os} равно

$$\theta_t = \frac{q}{c^n} = \frac{c^3 - 1}{(c + 1)c^n}. \quad (5.34)$$

Значение показателя степени n определим из условия

$$\theta_t = z. \quad (5.35)$$

Подставляя это значение θ_t в формулу (5.34) и логарифмируя, получаем

$$n = \frac{\ln \theta}{\ln c}. \quad (5.36)$$

На ЭВМ в широком интервале значений c были вычислены значения n . Результаты приведены в табл.5.2.

Таблица 5.2 - Значение показателей степени n при различном отношении полуосей эллипса c

c	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
n	0,130136	0,130718	0,131231	0,131666	0,132045	0,132773
c	1,7	1,8	1,9	2,0	4,0	10,0
n	0,132660	0,132910	0,133127	0,133140	0,134240	0,132425

Для практических расчетов примем $n = 0,13$. Тогда формула для вычисления уточненного значения отношения $F_s / F_{ос}$ примет вид

$$\theta_r = \frac{c^3 - 1}{(c+1)c^{0,13}}. \quad (5.37)$$

Используя формулы (5.23), (5.35) и (5.37) запишем следующее приближенное значение интеграла:

$$\int_0^a r^2 \arctg \left[\frac{c}{a} \left(\frac{a^2 - r^2}{r^2 - c^2} \right)^{1/2} \right] dr \approx \frac{\pi c^3}{6} \cdot \frac{c^3 - 1}{(c+1)c^{0,13}}. \quad (5.38)$$

Формулы (5.37) и (5.38) вполне обеспечивают необходимую точность технических расчетов. Следовательно, предложенный способ оценки распределения центробежных сил может с достаточной точностью применяться для практических целей. В табл. 5.3 приведены результаты теоретической оценки распределения центробежных сил материалов с различной степенью анизотропии деформационных свойств с использованием формулы (5.37).

Таблица 5.3 - Теоретическая оценка распределения центробежных сил

c	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
θ_r	0,076	0,156	0,239	0,323	0,411	0,503

Анализ данных табл. 5.3 показывает, что при отношении осей эллипса $c = \frac{a}{b} = 1,2$ величина анизотропного приращения силы составит около 30% от силы, приложенной к кругу.

Таким образом, в результате теоретической оценки распределения центробежных сил можно сделать вывод, что даже при значительной анизотропии

деформационных свойств обувных материалов в плоскости образца (отношение полуосей эллипса $c \approx 1,2$) с достаточной для практических целей точностью можно принять, что при их испытании в поле центробежных сил мы имеем равнонапряженное состояние образца [52].

5.2. Характеристика анизотропии деформационных свойств искусственных и синтетических кож при двухосном растяжении

Для исследования анизотропии деформационных свойств материалов при двухосном растяжении в поле центробежных сил были выбраны искусственные (ИК) и синтетические (СК) кожи различной структуры, отличающиеся основой и покрытием: на тканевой основе - винилискожа-Т толщиной 1,0 мм; на смешаной - барекс толщиной 1,3 мм; на нетканой - СК-8 толщиной 1,0 мм и МСК толщиной 0,9 мм; на трикотажной - винилуретанискожа-Тр толщиной 0,8 мм; без основы - порвайр толщиной 1,1 мм.

Из выбранных материалов вырезались образцы в виде круга диаметром 234 мм, на которых отмечались направления осей структурной симметрии. Затем образец раскручивался при частоте вращения $N = 5000$ об/мин и на вращающийся образец наносилась окружность диаметром 130 мм. После выключения установки вычислялась относительная деформация под углом 45° и 90° к направлению максимальной деформации ϵ_m ($\alpha = 0^\circ$) согласно методике, описанной в п.5.1.

В табл. 5.4 представлены значения относительной деформации в исследуемых направлениях и коэффициенты анизотропии, рассчитанные по формуле (5.5).

Анализ данных табл. 5.4 показывает, что у всех материалов, независимо от их структуры, максимальные деформации при двухосном растяжении в поле центробежных сил, т.е. при равнонапряженном состоянии по контуру образца, наблюдаются в направлении поперек рулона, а минимальные - вдоль рулона, в отличие от одноосного растяжения.

Таблица 5.4 - Анизотропия деформационных свойств ИС и СК при двухосном растяжении в поле центробежных сил

Вид основы	Наименование материала	Толщина, мм	Угол измерения α , град	Относительная деформация ϵ_α	Коэффициент анизотропии K_α
Тканевая	Винилискожа-Т	1,0	0	0,032	-
			45	0,016	0,52
			90	0	0
Нетканая	СК-8	1,0	0	0,134	-
			45	0,068	0,51
			90	0	0
	МСК	0,9	0	0,176	-
			45	0,088	0,50
			90	0	0
Смешанная	Барекс	1,3	0	0,057	-
			45	0,035	0,63
			90	0,018	0,32
Трикотажная	Винилуретанискожа - Тр	0,8	0	0,280	-
			45	0,110	0,39
			90	-0,033	-0,13
Без основы	Порвайр	1,1	0	0,044	-
			45	0,044	0,91
			90	0,033	0,75

Наибольшая величина относительной деформации наблюдается у синтетических кож на трикотажной и нетканой волокнистой основах (28,0 и 17,6% соответственно). У ИК на тканевой и СК на смешанной основах, а также у безосновного порвайра величина максимальной деформации колеблется в пределах 3,0-6,0% при заданной величине центробежных сил.

В зависимости от соотношения модулей упругости в продольном и поперечном направлениях у различных материалов встречаются все три характерных случая деформации окружности, изображенные на рис. 5.3:

- окружность растягивается как в поперечном, так и продольном направлениях (барекс, порвайр). При этом деформации в поперечном направлении больше, чем в продольном;

- окружность растягивается только в поперечном направлении, деформация же в продольном равна нулю (винилискожа-Т, СК-8, МСК);

- окружность растягивается в поперечном направлении, сокращаясь од-

новременно в продольном (винилуретанискожа-Тр).

Анализ фигур, получаемых на образцах различных материалов в процессе испытания, показал, что в анизотропных материалах окружность, нанесенная на образец, превращается в эллипс. Разница между экспериментальными и расчетными значениями по различным направлениям колеблется в пределах 1-3%.

Следовательно, деформацию материала в любом направлении можно определить, используя каноническое уравнение эллипса

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (5.39)$$

где x и y - координаты точки пересечения окружности с диаметральной линией;

a и b - большая и малая полуоси эллипса.

При этом необходимо иметь только данные о деформации материала в продольном и поперечном направлениях.

Анализ коэффициентов анизотропии деформационных свойств исследуемых материалов показывает, что наиболее анизотропным из них является ИК на трикотажной основе ($K_{90} = -0,125$, $K_{45} = 0,39$). Меньшей анизотропией деформационных свойств обладают ИК на тканевой и СК на нетканой основах ($K_{90} = 0$, $K_{45} = 0,50-0,52$). Еще меньшая анизотропия наблюдается у СК на смешанной основе ($K_{90} = 0,32$, $K_{45} = 0,63$) и самая низкая анизотропия деформационных свойств наблюдается у безосновного порвайра ($K_{90} = 0,75$, $K_{45} = 0,91$).

Сравнение анизотропии деформационных свойств ИК и СК при двухосном растяжении и при одноосном показывает, что в целом картина не изменяется, т.е. те материалы, которые обладают наибольшей анизотропией деформационных свойств при одноосном растяжении показывают максимальную анизотропию и при двухосном [53].

Для оценки точности полученных результатов при растяжении образцов в поле центробежных сил было проведено исследование анизотропии деформационных свойств этих же материалов при нагружении круглых образцов по периметру грузами. Для этого была разработана и изготовлена специальная уста-

новка, позволяющая создать равнонапряженное состояние в центральной зоне круглого образца. Установка (рис. 5.5) представляет собой сварное основание 6, на верхней площадке которого крепится шестнадцать направляющих 4, каждая из которых имеет в верхней своей части свободно вращающийся на оси ролик 7, через который посредством тросика 3 и зажимов 2 усилие грузов 5 передается испытываемому образцу 1.

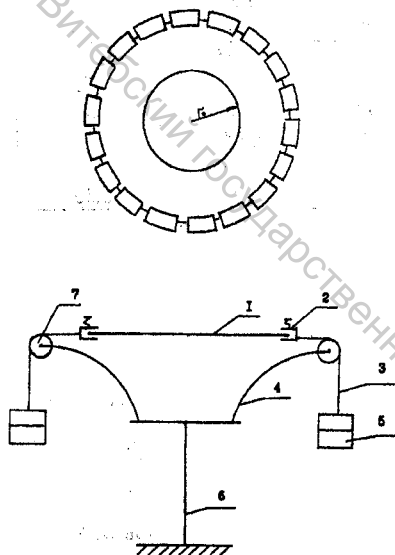


Рис. 5.5. Установка для двухосного растяжения обувных материалов

Образцы в форме круга диаметром 268 мм зажимаются равномерно по периметру 16 зажимами. Рабочая зона образца при этом составляет 234 мм, т.е. такую же величину, как и при испытании в поле центробежных сил. Перед закреплением образца на него наносилась окружность такого же диаметра g_0 , как и в поле центробежных сил. После нагружения массой грузов 148,8 кг по периметру образец фотографировался. Обработка полученных фотоснимков производилась по такой же методике как и при испытании в поле центробежных сил.

Результаты эксперимента представлены в табл. 5.5. Анализ данных табл. 5.5 и сравнение их с данными табл. 5.4 показывают, что при испытании образцов ИК и СК двумя методами характер деформации образцов и величина коэффициентов анизотропии в пределах исследуемых величин нагрузок практически не изменяются. Следовательно, испытание в поле центробежных сил можно рекомендовать в качестве экспресс-метода для определения анизотропии деформационных свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви. При этом значительно сокращается трудоемкость проведения испытаний.

Таблица 5.5 - Анизотропия деформационных свойств ИС и СК при нагружении образцов по периметру грузами

Вид основы	Наименование материала	Толщина, мм	Угол измерения α , град	Относительная деформация ϵ_α	Коэффициент анизотропии K_α
Тканевая	Винилискожа-Т	1,0	0	0,050	-
			45	0,026	0,51
			90	0	0
Нетканая	СК-8	1,0	0	0,25	-
			45	0,13	0,52
			90	0	0
Смешанная	Барекс	1,3	0	0,069	-
			45	0,045	0,65
			90	0,024	0,35
Трикотажная	Винилуретан-искожа-Тр	0,8	0	0,470	-
			45	0,200	0,42
			90	-0,053	-0,11

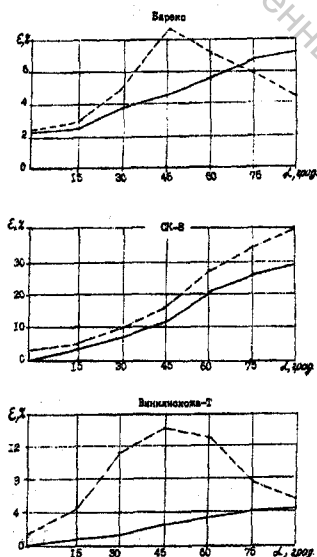


Рис. 5.6. Анизотропия деформационных свойств ИК и СК при одинаковой удельной нагрузке.

Условное обозначение: - - - одноосное растяжение; — двухосное растяжение

На рис. 5.6 показаны кривые анизотропии деформационных свойств искусственных и синтетических кож при двухосном и одноосном растяжении при одинаковой удельной нагрузке.

При этом удельная нагрузка при двухосном растяжении рассчитывалась по формуле

$$q_d = \frac{Q}{2\pi r}, \quad (5.40)$$

где Q - вес грузов по периметру круглого образца, Н;

r - рабочий радиус образца, м. Соответствующая нагрузка при одноосном растяжении образцов 150 x 40 мм рассчитывалась как

$$p = q_0 \cdot \epsilon, \quad (5.41)$$

где ϵ - ширина образца, м.

Для сравнения углы при двухосном растяжении наносились на образец также, как и при одноосном, т.е. 0° соответствует направлению вдоль рулона, а 90° - поперек.

Анализ кривых показывает, что как при одноосном, так и при двухосном растяжении минимальная величина деформации наблюдается при $\alpha = 0^\circ$, т.е. вдоль рулона. Характер анизотропии деформационных свойств у СК на нетканой основе практически одинаков как при одноосном, так и при двухосном растяжении: плавное нарастание деформационной способности при переходе от продольного направления к поперечному. При этом значения относительного удлинения при одинаковых удельных нагрузках при одноосном растяжении несколько выше, чем при двухосном по всем направлениям.

Совершенно иная картина наблюдается у ИК на тканевой и СК на смешанной основах. У этих материалов при одноосном растяжении деформации растут от продольного к диагональному направлению и снижаются к поперечному, т.е. максимальные деформации наблюдаются в диагональном направлении, в то время как при двухосном растяжении деформации плавно возрастают от продольного к поперечному направлению также, как и у СК на нетканой основе. При этом величина относительного удлинения в диагональных направлениях при одноосном растяжении в 3-7 раз выше по сравнению с двухосным. Это объясняется различной работой структуры ткани, имеющейся в основе этих материалов. Отличаются и значения коэффициентов анизотропии по этим направлениям.

5.3. Анизотропия деформационных свойств систем материалов при двухосном растяжении

Для исследования нами выбраны системы СК-8 + бязь и СК-8 + нетканый материал. Перед вырубанием образцов отмечали направления осей структурной симметрии: для СК-8 направления вдоль и поперек рулона, для бязи -

по основе и утку. Склеивались материалы следующим образом: с направлением вдоль рулона у СК-8 совмещалось направление по основе у бязи (СК-8 0° + бязь 0°); диагональное направление бязи (СК-8 0° + бязь 45°) и направление вдоль рулона нетканого материала (СК-8 0° + нетканый материал 0°).

Склеивание производилось клеем ПВА. Порядок и методика проведения эксперимента оставались такими же, как и при исследовании одиночных материалов (см. раздел 5.1).

Результаты эксперимента представлены в табл. 5.6 и на рис. 5.7.

Таблица 5.6 - Анизотропия деформационных свойств систем материалов при двухосном растяжении в поле центробежных сил

Наименование материала (системы)	Угол измерения α , град	Относительная деформация ϵ_α	Коэффициент анизотропии K_α
СК-8	0	0,116	-
	15	0,100	0,91
	30	0,088	0,76
	45	0,070	0,60
	60	0,040	0,34
	75	0,020	0,17
	90	0,013	0,11
СК-8 0° + бязь 0°	0	0,040	-
	15	0,037	0,93
	30	0,034	0,85
	45	0,028	0,70
	60	0,022	0,55
	75	0,016	0,40
	90	0,014	0,35
СК-8 0° + бязь 45°	0	0,070	-
	15	0,067	0,96
	30	0,059	0,84
	45	0,046	0,65
	60	0,032	0,46
	75	0,020	0,29
	90	0,016	0,23
СК-8 0° + нетканый материал 0°	0	0,048	-
	15	0,045	0,94
	30	0,038	0,80
	45	0,028	0,58
	60	0,016	0,34
	75	0,008	0,16
	90	0	0

Анализ полученных данных показывает, что во всех системах, также как и у СК-8 максимальные деформации при двухосном растяжении наблюдаются в направлении поперек рулона. При этом наклеивание межподкладки значительно снижает величину максимальной деформации. Так, если у СК-8 величина максимальной деформации составляет 11,6%, то в системе СК-8 $0^\circ +$ бязь $0^\circ - 4,0\%$, а в системе СК-8 $0^\circ +$ нетканый материал $0^\circ - 4,8\%$. В то же время величина минимальной деформации вдоль рулона практически не изменилась. Изменение направления наклеивания бязи изменяет величину деформации образца. Так, при наклеивании бязи в диагональном направлении максимальные деформации системы увеличиваются почти в два раза по сравнению с наклеиванием бязи по основе. Однако, характер анизотропии деформационных свойств при этом не изменяется. В системах с межподкладкой из ткани анизотропия де-

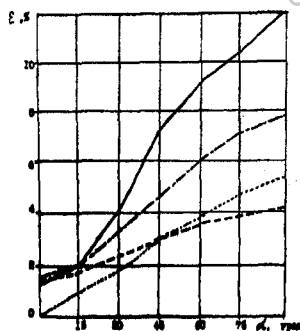


Рис. 5.7. Анизотропия деформационных свойств систем материалов при двухосном растяжении.

Условные обозначения:
— СК-8; --- СК-8 $0^\circ +$ бязь 0° ;
— · — СК-8 $0^\circ +$ бязь 45° ;
... СК-8 $0^\circ +$ нетканый материал

значения с СК-8. Таким образом, наклеивание межподкладки значительно снижает величину максимальных деформаций при двухосном растяжении системы и несколько уменьшает анизотропию ее деформационных свойств. Изменение направления наклеивания межподкладки изменяет величину деформации образца при двухосном растяжении, не изменяя самого характера анизотропии.

формационных свойств значительно меньше, чем у материала верха, т.е. наклеивание тканевой межподкладки сглаживает разницу в деформационных свойствах по различным направлениям при двухосном растяжении. Так, если у СК-8 коэффициент анизотропии деформационных свойств колеблется в пределах 0,11-0,91 в зависимости от направления измерения, то в системах СК-8 $0^\circ +$ бязь $0^\circ - 0,35-0,93$, а в системах СК-8 $0^\circ +$ бязь $45^\circ - 0,23-0,96$. В то же время в системах СК-8 + нетканый материал коэффициенты анизотропии сохраняют примерно одинаковые

6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСКУССТВЕННЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ ПРИ ДВУХОСНЫХ ВИДАХ РАСТЯЖЕНИЯ

В разделе 1.2 выдвинуто предположение, что для определения предельных значений деформаций искусственных и синтетических кож можно использовать зависимость (1.7), аналогичную для вычисления предельных значений прочности различных конструкционных материалов, полученную из тензорно-полиномиального критерия прочности [11].

С целью проверки пригодности предложенной формулы для расчета предельных деформаций проведены экспериментальные исследования механических свойств синтетической кожи барекс при растяжении с различной степенью двухосности.

6.1. Исследование механических свойств СК при растяжении с различной степенью двухосности

Испытания проводили на установке для двухосного растяжения, принцип действия которой аналогичен описанной в работе [54]. Принципиальная схема деформации образца показана на рис. 6.1. Усилие и деформация по двум взаимно перпендикулярным направлениям при растяжении образца передаются тензометрическими системами измерения на двухкоординатные самописцы ПДС-021 М, на которых осуществляется непрерывная запись диаграмм "нагрузка - удлинение" по двум осям. Деформацию регистрировали по величине хода каретки.

Квадратный образец барекса размером 250 x 250 мм (рабочая часть 225 x 225 мм) закреплялся в узких зажимах, равномерно расположенных по его периметру, и растягивался по осям X и Y на различную величину. Различную степень двухосности $K = \epsilon_y / \epsilon_x$ регулировали сменными шестернями, которые обеспечивали следующие соотношения деформаций по осям X и Y: 5:1, 3:1, 2:1, 1:1.

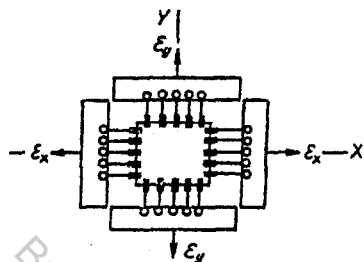


Рис.6.1. Принципиальная схема деформации образца при двухосном растяжении

рек (90°) рулона. Затем с использованием тарировочных графиков расшифровывали диаграммы "нагрузка-удлинение" и определяли следующие показатели механических свойств: относительные удлинения при разрушении ε_0^p и ε_{90}^p , разрушающие нагрузки P_p и Q_p , коэффициенты удлинения A_0 и A_{90} и удельные нагрузки при разрушении p_p и q_p , которые определяли делением разрушающей нагрузки в соответствующем направлении на размер стороны образца, к которому приложена эта нагрузка в момент разрушения, т.е. $l = l_0 + \Delta l$.

Статистическая обработка экспериментальных данных показала, что ошибка опыта по всем показателям не превышает 7%. В табл. 6.1 приведены средние значения показателей механических свойств барекса при различных видах растяжения, а на рис. 6.2 сводные диаграммы зависимости исследуемых показателей от степени двухосности испытаний и направления растяжения образцов. Система построения сводных диаграмм выбрана аналогично описанной в работе [48]: в середине стоит двухосное симметричное растяжение, налево и направо степень двухосности уменьшается до одноосного (налево - вдоль рулона (II), направо - поперек ($\perp$)). Для сравнительной оценки по вертикальным осям откладываются относительные величины показателей, рассчитанные по показателю двухосного симметричного растяжения, принятого за 100%.

Как показывает анализ данных табл. 6.1 и рис. 6.2 увеличение степени двухосности снижает относительное удлинение образцов при разрушении ε_p : при двухосном симметричном растяжении ε_p барекса почти в 1,5 раза меньше,

При этом скорость нагружения образцов по оси X для всех видов растяжения принята равной 100 мм/мин. Образцы барекса выкраивали вдоль и поперек рулона, что позволило вдвое расширить соотношение деформаций. При каждом фиксированном соотношении деформаций испытывали по 4 образца по каждому направлению: вдоль (0°) и попе-

чем при одноосном растяжении образцов, выкроенных вдоль рулона (II), и в 2 раза поперек (I).

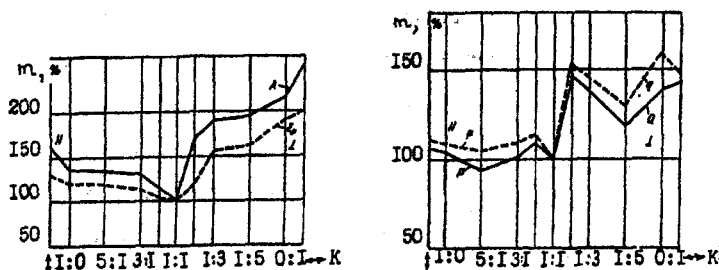
Таблица 6.1 - Средние значения показателей механических свойств синтетической кожи барекс при различных видах растяжения

Иссле- дуемая характер истика	одно- осное (0°)	Растяжение									одно- осное (90°)	
		двухосное (степень двухосности ϵ_y/ϵ_x)										
		стес- нен- ное	несимметричное				сим- мет- рич- ное	несимметричное				стес- нен- ное
			1:0	5:1	3:1	2:1		1:1	1:2	1:3		
$\epsilon_x^p, \%$	20,6	19,2	18,6	18,2	16,4	15,9	11,0	8,4	6,3	0	-	
$\epsilon_y^p, \%$	-	0	3,7	6,3	8,4	15,9	18,8	24,6	25,6	30,5	31,6	
$P_x^p, Н$	2951	2895	2604	2822	3033	2783	1933	1900	1530	607	-	
$Q_y^p, Н$	-	260	750	1080	1190	1840	2726	2506	2173	2547	2640	
$A_x, \%$ %/100Н	1,07	0,9	0,89	0,86	0,78	0,67	0,43	0,37	0,22	0	-	
$A_y, \%$ %/100Н	-	0	0,44	0,75	0,81	1,04	1,77	1,96	2,03	2,22	2,60	
$P_x, Н/см$	118	116	112	117	121	107	72	68	54	21	-	
$q_y, Н/см$	-	10	28	41	45	71	108	103	92	113	106	

Это хорошо согласуется с выводом работы [48]: чем больше тягучесть материала, тем сильнее падает относительное удлинение при увеличении степени двухосности.

Аналогичная картина, только более ярко выраженная, наблюдается и при изменении коэффициента удлинения A в зависимости от степени двухосности испытаний и направления растяжения образцов. При изменении степени двухосности коэффициент удлинения A барекса уменьшается в 1,6-2,5 раза по сравнению с одноосным растяжением образцов вдоль и поперек рулона соответственно.

В отличие от ϵ_p и A четко выраженных закономерностей зависимости общей и удельной нагрузок от степени двухосности не наблюдается и они меньше зависят от степени двухосности (в 1,1-1,5 раза).



а)

б)

Рис. 6.2. Сводные диаграммы зависимостей относительного удлинения при разрушении ε_p и коэффициента удлинения A (а), разрушающих нагрузок P – в продольном и Q – в поперечном направлениях и удельных нагрузок при разрушении p – в продольном и q – в поперечном направлениях (б) от степени двухосности испытаний K и направления растяжения образцов СК барекс:

сплошная ломаная линия - $m = \left(\frac{A_k}{A_d}; \frac{P_k}{P_d} \text{ или } \frac{Q_k}{Q_d} \right) \cdot 100\%$;

пунктирная ломаная линия - $m = \left(\frac{\varepsilon_{pk}}{\varepsilon_{pd}}; \frac{P_k}{P_d} \text{ или } \frac{q_k}{q_d} \right) \cdot 100\%$,

где ε_{pk} , A_k , P_k , Q_k , q_k – значения показателей при какой-то фиксированной степени двухосности K ;

ε_{pd} , A_d , P_d , Q_d , p_d , q_d – значения соответствующих показателей при двухосном симметричном растяжении

Таким образом, анализ полученных данных еще раз подтверждает выводы ранее выполненных работ [48], что различные виды растяжения в той или иной степени влияют на механические характеристики волокнисто-сетчатых материалов.

Используя полученные экспериментальные значения относительных удлинений при разрушении образцов при одноосном (ε_0 и ε_{90}) и двухосном симметричном (ε_0) растяжениях по формуле (1.7), построили предельную кривую деформаций для барекса, которая показана на рис. 6.3 пунктирной линией, точками на этом рисунке обозначены экспериментальные значения разрушающих удлинений, а в табл. 6.2 дано сравнение экспериментальных и расчетных (числитель) данных.

Как следует из табл. 6.2 отклонения расчетных и экспериментальных значений ε_p не превышают 16%, что свидетельствует о возможности использо-

вания предложенной нами формулы для расчета предельных значений деформаций синтетических материалов для верха обуви при различных сложных видах растяжения. Однако, как показано в работе [48], одноосное растяжение об-

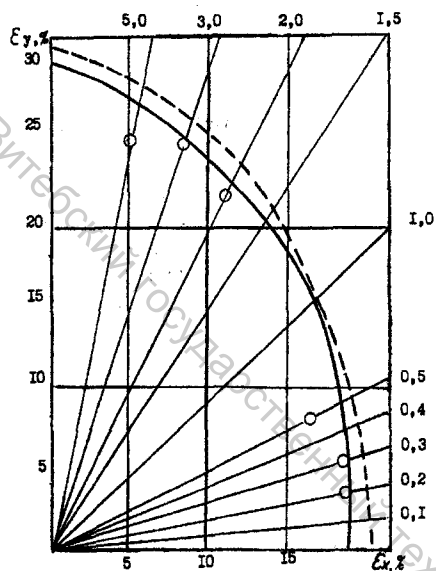


Рис. 6.3. Расчетные предельные кривые деформаций СК барекс при двухосных видах растяжения

Как видно из рис. 6.3 и данных табл. 6.2 (знаменатель), в этом случае расхождение между расчетными и экспериментальными значениями уменьшилось и не превышает 11,2%.

Таблица 6.2 — Сравнение расчетных и экспериментальных данных предельных значений деформаций при двухосных сложных видах растяжения

Предельные значения деформаций и относительная ошибка аппроксимации	Степень двухосности при двухосных сложных видах растяжения					
	5:1	3:1	2:1	1:2	1:3	1:5
Экспериментальные значения ϵ_x	18,6	18,2	16,4	11,0	8,4	6,3
Расчетные значения ϵ_x	20,2	19,8	18,9	12,7	8,7	5,7
	19,1	18,8	18,2	11,5	8,5	5,6
Относительная ошибка, %	8,6	8,7	15,2	16,0	3,5	9,5
	2,7	3,2	10,9	4,5	1,2	11,2

По формуле (1.7) составлен программно реализованный алгоритм построения предельных кривых деформаций искусственных и синтетических материалов. Эти кривые показывают, какими продольными и поперечными удлинениями можно деформировать материалы: при переходе за линию, ограничивающую внутреннюю зону предельной кривой, материал разрушается.

В связи с тем, что расчет предельных значений деформаций основывается на экспериментальных данных деформаций при одноосном и двухосном симметричном растяжении, возникла необходимость исследования свойств ИК и СК при двухосном симметричном растяжении.

6.2. Свойства искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном растяжении

Существует ряд приборов и соответствующих методик для испытания листовых материалов на двухосное симметричное растяжение, подробное описание которых дано в работе [48].

Наибольшую зону однородного симметричного растяжения, дает прибор В 3018, разработанный в ЦНИИКПе [55]. Однако методика испытания материалов с использованием этого прибора имеет ряд существенных недостатков, таких как прерывистый характер нагружения образца, визуальная регистрация значений нагрузок и удлинений, построение кривых “нагрузка-удлинение” по точкам и др.

Для устранения отмеченных недостатков была разработана установка, позволяющая осуществлять непрерывное нагружение материала при двухосном симметричном растяжении с автоматической регистрацией различных характеристик механических свойств исследуемых материалов. На рис. 6.4 показана принципиальная схема установки. Пуансон 13 в виде кольца с роликами, аналогичный пуансону прибора В 3018, закреплен на стакане 21, который входит в цилиндр 20, расположенный на ходовом винте 26. Вместе с пуансоном ходовой винт может совершать возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости, которое он получает от электродвигателя 29 через редуктор 27, кли-

Для измерения нагрузок, прикладываемых к пуансону, применяется прямоугольная балка 15 из высокоуглеродистой стали, лежащая на опорах 18. Сверху балки размещены опоры 14 стакана 21 с пуансоном 13. На балку наклеены тензодатчики 17 (сопротивление – 200 Ом, база – 20 мм).

Высота подъема пуансона 13 при растяжении материала фиксируется через прогиб стелькой консольной балки 24, которая через пружину 22 соединена с цилиндром 20 и индикатором часового типа 1 с рабочим ходом до 25 мм. Индикатор служит для градуирования балки. На балку 24 нанесены тензодатчики 23 (сопротивление – 200 Ом, база – 20 мм).

Для измерения толщины материала 2 в процессе растяжения используется балка 7 из бронзовой фольги толщиной 0,2 мм. Балка 7 соединена со щупом индикатора 6 и с откидывающимся кронштейном 10. Через специальный запор кронштейн соединен с опорой 19 и винтом 16. Головка этого винта в виде плоской опорной площадки диаметром в 20 мм перед началом испытаний касается щупа индикатора 6, стрелка которого должна находиться на нуле. На балку 7 также наклеены тензодатчики 8 (сопротивление – 100 Ом, база – 10 мм). Коэффициент тензочувствительности датчиков во всех случаях равен 2. Измеряемые удлинения колеблются от 0,1 до 20 мм, нагрузки – от 20 до 12000 Н, изменения толщины материала – от 0,01 до 3 мм, высоты подъема пуансона – от 0,1 до 150 мм.

Тензодатчики сопротивления на скобе 4 и балках 7, 15, 24 подключаются к измерительному стенду и соединяются таким образом, что образуют уравновешенные мосты. Сигналы разбаланса мостов при работе установки поступают на входы самопишущего двухкоординатного потенциометра ПДС-021 М, предназначенного для записи функциональной зависимости двух величин, образованных в электрическое напряжение постоянного тока.

Разработанная установка позволяет производить запись кривых следующих зависимостей: удлинения материала от нагрузки – $\epsilon = f(Q)$, толщины материала от высоты подъема пуансона – $t = f(H)$, удлинения материала от высоты подъема пуансона – $\epsilon = f(H)$, толщины материала от удлинения – $t = f(\epsilon)$, в

зависимости от задачи исследования. По кривой, выражающей зависимость удлинения материала от высоты подъема пуансона, можно построить кривую зависимости прироста площади материала от высоты подъема пуансона. При этом искомый прирост площади равен квадрату удлинения.

Перед началом испытания производилось градуирование устройства для замера удлинения материала, нагрузки, изменения толщины и высоты пуансона. Градуировку скобы 4 для замера удлинения материала производили микрометром типа МП со специальным приспособлением для закрепления скобы. Градуировку балки 15 производили с помощью калиброванных грузов, которые укладывались на пуансон 13. Градуировка балки 24 производилась индикатором 1, а балка 7 – индикатором 6. По полученным данным строились теривочные графики, необходимые для нахождения истинных значений измеряемых величин.

После этого дисковый образец материала диаметром 175 мм закреплялся на неподвижной опоре 9 накидной гайкой 12 и зажимными винтами 11. В центре образца материала с помощью откидывающегося кронштейна 10 устанавливался индикатор 6, который фиксировал исходную толщину материала. Рядом с индикатором устанавливалась скоба 4 и проверялся баланс мостовых схем потенциометров. При включении машины пуансон 13 перемещался вверх и деформировал образец испытываемого материала, подвергая его двухосному симметричному растяжению. Скорость растяжения составляла $1,6 \cdot 10^{-3}$ м/с (100 мм/мин). Сигналы разбаланса мостов записывались в виде требуемых кривых, выражающих определенные зависимости: нагрузки от удлинения, удлинения от высоты подъема пуансона, изменения толщины материала от удлинения.

Совершенствование методики испытания материалов на двухосное симметричное растяжение позволило значительно сократить время испытания и повысить точность полученных результатов.

По вышеописанной методике были испытаны те же виды искусственных и синтетических кож, что и при одноосном растяжении [57]. Статистическая обработка полученных кривых показала достаточно высокую достоверность

определяемых характеристик. Ошибка эксперимента во всех случаях не превышала 5%.

В таблице 6.3 представлены нагрузки и относительные удлинения при разрыве искусственных и синтетических кож при одноосном и двухосном симметричном растяжении.

Таблица 6.3 - Удлинения и нагрузки ИК и СК при одноосном и двухосном симметричном растяжении

Наименование материала	Направление одноосного растяжения						Двухосное растяжение		
	продольное		диагональное		попереч- ное				
	$\epsilon_p, \%$	P_p, H	$\epsilon_p, \%$	P_p, H	$\epsilon_p, \%$	P_p, H	высота подъема пуансона $H, \text{ мм}$	$\epsilon_p, \%$	P, H
Винилискожа-Т	16	740	45	620	20	590	11	6,3	5070
Винибан	27	1100	51	810	38	760	22	19,4	7710
Кларино	30	520	67	380	99	290	26	24,0	4220
Ксиле	43	420	73	280	107	220	38	44,7	2570
СК-2	26	560	60	500	30	340	21	17,9	3600
Порвайр	291	380	315	340	363	300	78	123,0	1140

Данные таблицы 6.3 и характер кривых на рис. 6.5 показывают, что на механические свойства искусственных и синтетических кож для верха обуви значительное влияние оказывает вид растяжения.

Для получения сопоставимых результатов кривые «удлинение-нагрузка» при одноосном и двухосном симметричном растяжении перестраивались в координатах «относительное удлинение - удельная нагрузка».

Удельная нагрузка при одноосном растяжении определялась делением текущей нагрузки на первичную ширину образца, а при двухосном симметричном растяжении – делением нагрузки на условный периметр, который устанавливался в зависимости от толщины материала и высоты подъема пуансона по таблицам [48]. Относительные удлинения определялись по общепринятой методике.

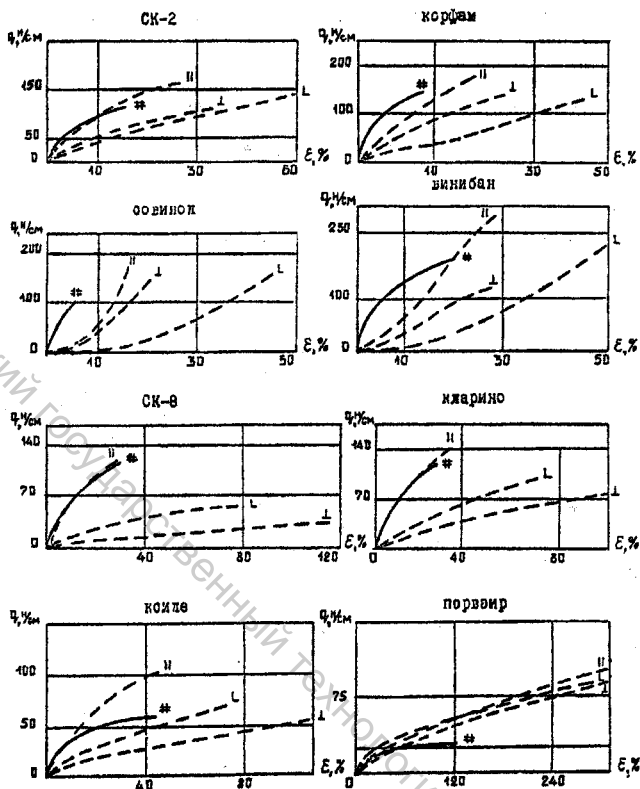


Рис. 6.5. Кривые «удлинение-нагрузка» искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном и одноосном растяжении в продольном //, диагональном L и поперечном $\perp$ направлениях.

Как видно на рис.6.5 кривые при двухосном симметричном растяжении у большинства материалов сдвинуты и оси нагрузок, по форме параболически выгнуты к ней и проходят близко к кривым при одноосном растяжении в направлении минимального удлинения. В отдельных случаях (СК-8, кларино) кривые при двухосном симметричном растяжении почти совпадают с этими кривыми.

Такой характер и взаимное расположение кривых свидетельствует об опережающем росте удельной нагрузки по сравнению с удлинениями и о не-

значительной деформационной способности большинству искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном растяжении.

Это согласуется с известным выводом работы [48] об ограниченной возможности к ориентации элементов структуры материалов при двухосном симметричном растяжении и в связи с этим значительным уменьшением удлинений при этом виде растяжения.

Относительные удлинения большинства исследованных материалов при двухосном симметричном растяжении уменьшаются в 1,5 - 2,5 раза по сравнению с минимальными удлинениями при одноосном растяжении.

Исключением являются синтетические кожи на нетканой основе, у которых относительные удлинения при двухосном симметричном растяжении практически не изменяются по сравнению с минимальными удлинениями при одноосном растяжении.

Характер кривых при одноосном и двухосном симметричном растяжении синтетических кож на нетканой и смешанной основах, а также безосновного порвайра меняется незначительно. Все кривые растяжения параболически вогнуты к оси удлинений. Характер же кривых растяжения ИК на тканевой основе резко отличается: кривые при одноосном растяжении выгнуты, а при двухосном симметричном - вогнуты к оси удлинений. Это можно объяснить, по-видимому, тем, что при одноосном растяжении удлинение образцов происходит в основном за счет ориентации тканевого слоя структуры, а при двухосном симметричном возможность к ориентации ограничивается.

Удельная нагрузка при двухосном симметричном растяжении по сравнению с одноосным изменяется незначительно и приближается к удельной нагрузке поперечного направления при одноосном растяжении. Это согласуется с характером разрушения ИК и СК при двухосном симметричном растяжении (рис. 6.6). Линия разрушения, как правило, проходит перпендикулярно направлению минимального удлинения при одноосном растяжении. При этом линия разрыва ИК на тканевой и СК на смешанной основах представляет собой прямую, как у тканей, когда разрушается одна система нитей (основы или утка).

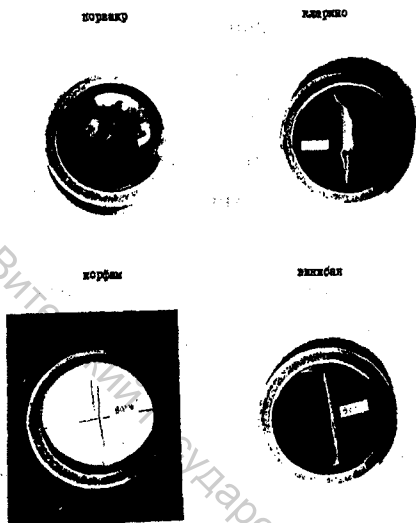


Рис. 6.6. Характер разрушения искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном растяжении

материалы, за исключением порвайра, являются существенно анизотропными: минимальные удлинения они имеют в продольном направлении, минимальную прочность - в поперечном. При двухосном симметричном растяжении происходит уменьшение толщины материалов [58]. На рис. 6.7 показано изменение толщины ИК и СК при двухосном симметричном растяжении в процентах от исходной, принятой за 100%. Из рис. 6.7 видно, что с увеличением относительного удлинения ИК и СК толщина уменьшается в результате уплотнения структуры в вертикальной плоскости. При этом наблюдается большая разница в величинах изменения толщины ИК и СК различных структур. Если у винилискожи-Т и корфама к моменту разрушения толщина уменьшается на 10-15%, то у порвайра - на 75%.

Идентичный характер изменения толщины от удлинения позволил представить его в виде функциональной зависимости $t = f(\epsilon)$. Для определения вида функции $t = f(\epsilon)$ использован критерий существования квадратичной зависимости - постоянство вторых разделенных разностей [59]. Установлен факт их

Линия же разрыва СК на нетканой основе представляет собой ломаную с местными взрывами линию. Это свидетельствует о неравномерном распределении волокон основы по площади и о влиянии свойств связующего полимера на их механические свойства. Разрушение безосновного порвайра происходит как раздир, взрывообразно, что свидетельствует о приближении структуры этого материала к изотропной. Характер разрушения синтетических кож указывает на то, что эти

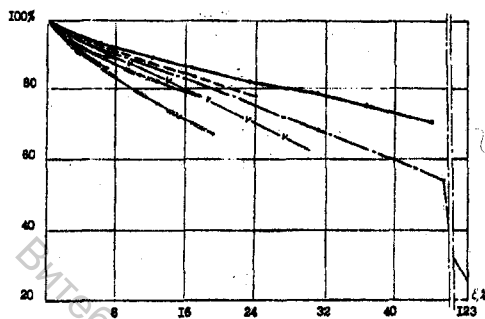


Рис.6.7. Зависимость толщины искусственных и синтетических кож от удлинения при двухосном симметричном растяжении

Условные обозначения: — ксиле; -v-СК-8;
 --- кларино; - · - порвайр; -x- корфам;
 -xx- совинол; -xxx- СК-2; -xxxx-винибан

постоянства, что позволило сделать вывод о существовании квадратичной зависимости вида

$$t = a\epsilon^2 + b\epsilon + c. \quad (6.1)$$

С использованием метода наименьших квадратов определены коэффициенты a , b , c уравнения для всех исследованных материалов, которые представлены в табл. 6.4.

Таблица 6.4 - Значения коэффициентов a , b , c , зависимости $t = f(\epsilon)$

Наименование материала	a	b	c
Винибан	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-2}$	0,900
Винилискожа-Т	$-8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	0,695
СК-8	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$-1,2 \cdot 10^{-2}$	1,086
Кларино	$7,0 \cdot 10^{-5}$	$-1,4 \cdot 10^{-2}$	1,299
Ксиле	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$-6,0 \cdot 10^{-3}$	0,776
СК-2	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$-2,2 \cdot 10^{-2}$	1,104
Корфам	$-1,0 \cdot 10^{-4}$	$-8,0 \cdot 10^{-3}$	0,770
Порвайр	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$-8,0 \cdot 10^{-3}$	0,904

Ошибка аппроксимации экспериментальных значений не превышает 8%.

6.3. Свойства систем материалов при двухосном симметричном растяжении

Заготовка верха обуви чаще всего представляет собой сложную композиционную систему, состоящую из материалов с различными физико-механическими свойствами (межподкладка, подкладка), поэтому представляет большой интерес изучение свойств не только материалов верха, но и систем, имитирующих заготовку. На рис. 6.8 представлены кривые растяжения систем СК + бязь + спилкок при одноосном и двухосном симметричном растяжении, которые строились также, как и для СК.

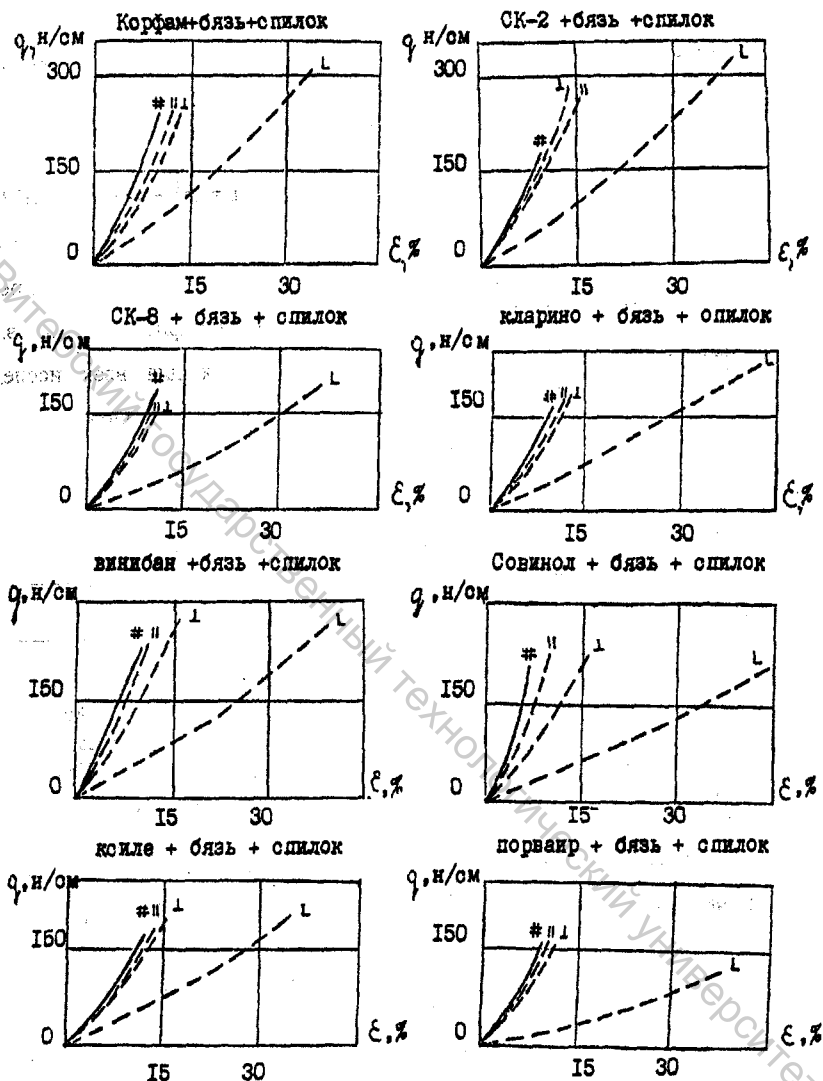


Рис. 6.8. Кривые «удлинение – нагрузка» систем синтетическая кожа+бязь+спиллок при двухосном симметричном # и одноосном растяжении в продольном ||, диагональном < и поперечном направлениях ⊥

Из рис. 6.8 видно, что кривые растяжения систем при двухосном симметричном растяжении по форме и взаимному расположению относительно осей координат близки к кривым системам при одноосном растяжении в продольном и поперечном направлениях, т.е. в тех направлениях, в которых система имеет минимальные удлинения при одноосном растяжении.

В табл. 6.5 приведены значения удлинений и нагрузок при разрыве систем СК + бязь + спилок при одноосном и двухосном симметричном растяжении.

Таблица 6.5 - Величины удлинений и нагрузок при разрыве систем СК + бязь + спилок при одноосном и двухосном симметричном растяжении

№ п/п	Системы материалов	Вид и направление растяжения							
		Одноосное растяжение						Двухосное	
		продольное		диагональное		поперечное		растяжение	
		$\epsilon_p, \%$	P_p, H	$\epsilon_p, \%$	P_p, H	$\epsilon_p, \%$	P_p, H	$\epsilon_p, \%$	Q_p, H
1	Винилискожа-Т + бязь + спилок	10,0	500	45,0	420	16,0	500	7,3	7600
2	Винибан + бязь + спилок	15,8	550	40,0	540	11,3	480	10,0	9010
3	Кларино + бязь + спилок	12,1	380	42,0	460	10,7	360	10,0	6610
4	Ксиле + бязь + спилок	14,0	360	35,0	400	15,5	360	10,4	6200
5	СК-8 + бязь + спилок	10,0	300	37,5	400	10,5	300	11,0	7450
6	Корфом + бязь + спилок	13,2	500	34,0	630	13,0	480	10,6	10170
7	СК-2 + бязь + спилок	16,4	520	40,5	650	12,3	500	10,0	7500
8	Порвайр + бязь + спилок	11,0	320	38,0	250	10,0	285	9,6	6130

Как видно из табл. 6.5 относительные удлинения при разрушении систем материалов при двухосном симметричном растяжении в среднем на 15-20% меньше по сравнению с минимальными удлинениями при одноосном растяжении. Удельные нагрузки систем при двухосном симметричном растяжении близки к их удельным нагрузкам при одноосном растяжении в продольном и поперечном направлениях.

Сравнение кривых растяжения систем СК + бязь + спилок и отдельных компонентов системы при двухосном симметричном растяжении (рис.6.9) показало, что кривые растяжения всех систем, исключая систему винилискожа-Т + бязь + спилок, по характеру близки к кривой растяжения бязи и сильно отличаются от кривых растяжения ИК и СК. Кривая растяжения винилискожи-Т + бязь + спилок по характеру ближе к винилискоже-Т, что связано с тем, что тканевая основа винилискожи-Т имеет тягучесть меньшую, чем бязь. Вместе с тем следует отметить, что в отличие от кривой растяжения бязи, кривые растяжения систем круто поднимаются вверх, что свидетельствует об увеличении жесткости систем, которую придает ей спилок.

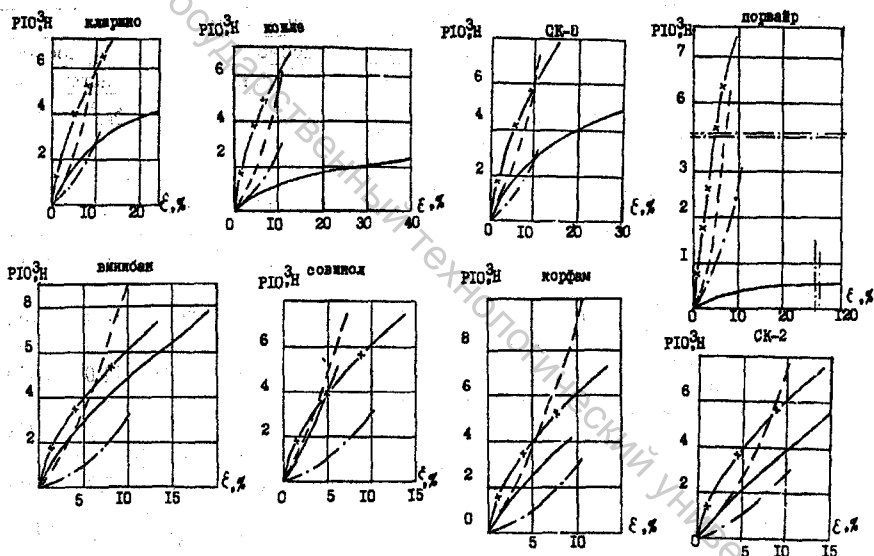


Рис.6.9. Зависимость нагрузок от удлинений систем СК+бязь+спилок и отдельных компонентов системы при двухосном симметричном растяжении. Условные обозначения: — СК; -х- спилок; --- бязь; ---- СК+бязь+спилок

При двухосном симметричном растяжении наблюдается незначительное колебание значений относительных удлинений систем (у всех систем $\epsilon_p \approx 10\%$), в то время как у одиночных ИК и СК они колеблются от 6 до 123%.

Разрывные нагрузки систем при двухосном симметричном растяжении

значительно больше по сравнению с одиночными ИК и СК, в то же время колебания их гораздо меньше по сравнению с одиночными материалами.

Разрушение тройных систем при двухосном симметричном растяжении происходило почти всегда по бязи перпендикулярно направлению минимального удлинения бязи. Исключением была система из винилискожи-Т, у которой первой разрушалась тканевая основа ИК.

Уменьшение толщины при двухосном симметричном растяжении у всех систем происходит примерно на одинаковую величину - 16-18% от первоначальной, в то время как у одиночных материалов оно существенно отличается.

Таким образом, сравнение механических свойств систем при двухосном симметричном растяжении показало, что они почти не отличаются между собой ни по характеру кривых "удлинение-нагрузка", ни по значениям деформаций. Это свидетельствует о том, что деформационные свойства систем в значительной степени определяются бязью точно так же, как и при одноосном растяжении.

6.4. Определение предельных деформаций ИК, СК и систем материалов при двухосных сложных видах растяжения

Используя полученные величины разрушающих удлинений ИК, СК и систем материалов при одноосном и двухосном симметричном растяжении и разработанную программу были рассчитаны предельные деформации при двухосных сложных видах растяжения с различным соотношением удлинений в продольном ϵ_x и поперечном ϵ_y направлениях. По полученным данным построены расчетные предельные кривые деформаций ИК и СК (рис. 6.10, а, б, в), которые ограничивают область допустимых деформаций при двухосных сложных видах растяжения. Чтобы определить значения предельно допустимых удлинений в двух взаимно перпендикулярных направлениях по предельной кривой, достаточно построить луч, соответствующий заданному соотношению К, до пересечения с предельной кривой и из полученной точки опустить перпендикуляры на оси X и Y. Перпендикуляры ограничивают на осях отрезки, соот-

ветствующие величинам предельных удлинений в двух направлениях.

Анализ полученных кривых различных ИК и СК показывает, что их можно разбить на три характерных типа.



Рис. 6.10. Расчетные предельные кривые деформации СК различных структур и систем СК+бязь+спилок при двухосных сложных видах растяжения

а) винилискожа-Т; б) скиле; в) СК-2; г) корфам+бязь+спилок

Предельных деформаций имеют большие значения при любых соотношениях удлинений в продольном и поперечном направлениях и, следовательно, его можно подвергать двухосным сложным видам растяжения в широком диапазоне соотношений.

Второй тип предельных кривых (см. рис. 6.10, в) характеризуется тем, что они выпуклостью обращены от осей X и Y и по форме близки к окружности. Такие предельные кривые характерны для материалов, у которых при

Первый тип, когда предельные кривые выпуклостью обращены к осям X и Y (см. рис. 6.10, а). Он характерен для материалов, у которых при двухосном симметричном растяжении величина разрушающей деформации в 2-2,5 раза меньше минимальных удлинений при одноосном растяжении (винилискожа-Т, корфам).

Аналогичный характер предельной кривой имеет и порвайр. Однако, в отличие от винилискожи-Т и корфама, у порвайра величины пре-

двухосном симметричном растяжении разрушающее удлинение имеет один порядок с предельными значениями удлинений в продольном и поперечном направлениях при одноосном растяжении (винибан, СК-2). У этих материалов значения предельных деформаций изменяются незначительно при изменениях K , что свидетельствует о широком интервале допустимых соотношений удлинений при двухосных сложных видах растяжения.

Третий тип предельных кривых (см. рис. 6.10, б) имеет вытянутую форму в сторону оси Y и выпуклостью обращен от осей X и Y . Такие предельные кривые имеют синтетические кожи на нетканой основе (ксиле, кларино, СК-8), у которых величины разрушающих удлинений в продольном и поперечном направлениях при одноосном растяжении значительно отличаются, а при двухосном симметричном растяжении имеют значения, близкие к одноосному в продольном направлении. Эти материалы имеют значительные величины предельных деформаций при больших значениях K , т.е. их можно без опасности разрушения подвергать сложным двухосным видам растяжения с преобладанием деформирования в поперечном направлении.

Анализ предельных кривых деформаций систем материалов из различных ИК и СК показал, что они незначительно отличаются между собой и по форме близки к окружности (см. рис. 6.10, г), что свидетельствует о близости значений относительных разрушающих удлинений систем материалов при одноосном и двухосном симметричном растяжениях. Вместе с тем предельные кривые деформаций систем материалов сильно отличаются от предельных кривых деформаций отдельных ИК и СК как по форме, так и по значениям: предельные деформации этих систем материалов в 2-7 раз меньше, чем у самих СК. Это подтверждает ранее сделанный вывод об определяющем влиянии бязи на физико-механические свойства систем материалов при растяжении.

Для проверки согласованности расчетных значений предельных деформаций ИК, СК и систем материалов при двухосных сложных видах растяжения со значениями деформаций, при которых происходит их разрушение, были пошиты заготовки бесподкладочной обуви и с подкладкой и отформованы на ма-

шине ЗНК-3-0. Предварительно на носочно-пучковую часть заготовки наносили сетку кругов диаметром 10 мм, по деформации которых определяли продольные и поперечные деформации союзов непосредственно перед разрушением. На рис. 6.10 точками показаны экспериментальные значения деформаций, при которых происходил разрыв заготовок. Как видно из рис. 6.10 точки выходят за область допустимых деформаций, т.е. заготовки разрушались при деформациях, превышающих расчетные допустимые. Сравнение расчетных и экспериментальных значений предельных деформаций при двухосных сложных видах растяжения ИК, СК и систем материалов показало, что относительная ошибка не превышала соответственно 15 и 20%. Это дает основание для вывода, что предложенная выше формула (1.7) пригодна для расчета предельных значений деформаций различных видов ИК, СК, а также систем материалов при двухосных сложных видах растяжения с различным соотношением удлинений в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

7. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ОБУВИ С ВЕРХОМ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ КОЖ С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПИИ ИХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Анализ механических свойств ИК, СК и натуральных кож показал существенные различия между ними, что требует дифференцированного подхода к проектированию заготовок и разработке технологического процесса производства обуви с верхом из различных видов СК и ИК.

7.1. Влияние анизотропии деформационных свойств синтетических кож на качество формования обуви

Анализ литературы [60, 61] и исследования, проведенные авторами, показывают, что производство обуви с верхом из синтетических кож сопровождается рядом характерных дефектов. Так в процессе формования зачастую наблюдается неплотное прилегание заготовки к колодке в области союзки, особенно в обуви с наполненной носочной частью. При хранении и эксплуатации происходит значительная и неравномерная усадка верха, что приводит к потере формы готовой обуви. Все это влияет на качество обуви с верхом из СК и снижает эффективность применения синтетических материалов. Одной из причин возникновения указанных дефектов может явиться значительная анизотропия деформационных свойств синтетических кож. Так, если материал заготовки деформируется в продольном направлении на значительно меньшую величину, чем в диагональном и поперечном, то можно ожидать, что в направлениях небольших удлинений затяжная кромка будет меньше, а в направлениях больших удлинений - излишней. Можно также предположить, что при формовании в условиях замкнутого контура в заготовке возникнут различные по величине напряжения (большие в направлении минимальных удлинений, меньшие - в направлении максимальных). После фиксации формы в материале остаются различные по величине остаточные напряжения, что является причиной неравномерной усадки верха обуви и искажения ее формы.

Для проверки высказанных положений было проведено исследование

характера и величины деформации заготовок верха обуви из СК с различной анизотропией деформационных свойств [62].

Исследование проводилось на мужских полуботинках с настрочными берцами из кларино-лак с незначительной анизотропией деформационных свойств (разрывное удлинение ϵ_r в продольном направлении 36%, в поперечном - 44%) и сильно анизотропной СК-8 (ϵ_r в продольном направлении 30%, в поперечном - 120%). Заготовки изготовлены по типовой технологии. Формование проводилось на двух фасонах колодок, отличающихся формой носочной части (колодки Ф 026 с широким и наполненным носком и Ф 912281 с менее широким и менее наполненным носком), на машинах ЗНК-1-0, 02038/P₂, ЗВ-1. Заготовка полуботинок из кларино-лака экспериментально отрабатывалась так, чтобы она качественно облегла колодку, а затяжная кромка имела постоянную величину по всему периметру. Затем по отработанным шаблонам собирались заготовки из СК-8.

Для исследования характера и величины деформации передней части заготовок производили разметку союзок по следующей схеме: от точки союзки проводили лучи через 15° от продольного направления к поперечному, на которых наносили круги диаметром $10 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 7.1). Это позволило изучить деформацию передней части заготовок как в различных направлениях, так и по всей площади.

После операций формования замерялась длина каждого луча, диаметры кругов в двух направлениях (в направлении максимальной деформации и перпендикулярном к нему), а также ширина затяжной кромки по периметру союзки. Затем рассчитывались относительные деформации по кругам и по направлениям лучей. Исследовалось по три пары заготовок из СК-8 и кларино-лака. Полученные данные обрабатывались с использованием методов математической статистики. Ошибка эксперимента не превышала 8%, что свидетельствует о достаточно высокой достоверности полученных данных.

На рисунке в качестве примера представлены картограммы распределения удлинений в союзке из кларино-лака (рис.7.1, а) и СК-8 (рис.7.1, б) при

формовании на колодке Ф026. Величины деформаций в направлении лучей показаны цифрами по контуру союзки. Деформация союзки по площади показана в кругах, где одна сплошная линия соответствует 10% удлинению, одна штриховая – 10% сокращения, а ориентация их соответствует направлению деформации данного круга.

Анализ картограмм показал, что заготовки как из кларино, так и из СК-8 в области союзки при формовании подвергаются в основном двухосному растяжению с различным соотношением удлинений. Только в области затяжной кромки доминирующим является одноосное растяжение. Наибольшая деформация союзок наблюдается в области носка (25-45%) наименьшая - в области точки союзки (5-10%). У союзок из СК-8, т.е. из сильно анизотропного материала, распределение деформаций по площади более неравномерно (от 10 до 45%) по сравнению с кларино-лаком (от 10 до 25%). Более значительная неравномерность деформации союзки из СК-8 наблюдается и по различным направлениям.

Значительная анизотропия деформационных свойств СК-8 вызывает также большие колебания величины затяжной кромки - от 13-14 мм в носке до 24-25 мм в пучках.

Аналогичная картина распределения деформаций наблюдается и при формовании заготовок на колодках Ф912281 с менее наполненной носочной частью. Однако влияние анизотропии свойств материалов здесь сказывается в меньшей степени.

Анализ качества выполнения операций формования показал, что заготовки из сильно анизотропной СК-8 хуже садятся на колодки: нет плотного прилегания заготовки к колодке в месте перехода от носка к гребню, появляются две натянутые продольные складки от крепок к середине носка, заготовка выглядит стянутой вдоль следа колодки. Особенно сильно проявляются эти дефекты при формовании на колодке Ф026 с наполненной носочной частью.

Таким образом, результаты проведенного исследования показывают, что анизотропия деформационных свойств материалов оказывает большое влияние

ния верха обуви. Чем больше анизотропия деформационных свойств материа-

лов, тем хуже качество формования заготовок. Это дает основание к выводу о необходимости учета анизотропии деформационных свойств ИК и СК, а также их систем при проектировании заготовок верха обуви.

Экспериментальная отработка контура союзки заготовок полуботинок последовательным увеличением припуска под затяжку в носке и уменьшением в пучковой части показала, что корректировкой контура союзки можно достичь перераспределения деформаций в союзке, что способствует улучшению качества формования заготовок из анизотропных материалов.

Кроме того, исследование усадки готовой обуви с корректированными и некорректированными союзками сразу после снятия обуви с колодок и через месяц хранения показало, что усадка обуви с корректированными союзками происходит более равномерно по площади по сравнению с некорректированными, что в итоге обеспечивает лучшее соответствие между объемной формой колодки и формой обуви.

7.2. Учет анизотропии и особенностей механических свойств синтетических кож при разработке конструкции и технологического процесса производства обуви

Проведенные исследования показали, что добиться существенного улучшения качества выполнения операций формования верха обуви можно корректировкой контура союзки заготовок с учетом анизотропии деформационных свойств материалов.

С целью разработки методики корректировки контуров союзок обуви с верхом из синтетических кож было проведено сравнение величины экспериментальных припусков по периметру союзки, полученных в предыдущем параграфе, с величинами коэффициентов удлинений СК и систем материалов, так как они приблизительно соответствуют тем деформациям, которые получает заготовка со стороны клещей машины ЗНК-1-0. В таблице 7.1 представлены величины припусков Π и коэффициентов удлинений A СК и систем материалов в направлениях α , а также отношения $n = \Pi_0/\Pi_\alpha$ и $m = A_\alpha/A_0$.

Таблица 7.1 – Соотношение величин экспериментальных припусков на затяжную кромку в союзке и величин деформации материалов по направлениям

Фасон колодки	Наименование материалов и систем	Характеристики	Величины экспериментальных припусков П и коэффициентов удлинений А в направлениях α , град						
			0	15	30	45	60	75	90
Ф 912281	СК-8	А, %	8,0	10,5	16,5	28,0	44,0	61,0	66,0
		m	1,0	1,3	2,0	3,5	5,5	7,6	8,3
		П, мм	18,0	15,0	12,0	10,0	10,0	10,0	10,0
		n	1,0	1,2	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
Ф 026	СК-8 + бязь + спилок	А, %	3,8	5,0	8,0	12,5	12,0	8,0	6,4
		m	1,0	1,4	2,3	3,3	3,2	2,1	1,6
		П, мм	25,0	22,0	13,0	12,0	14,0	19,0	21,0
		n	1,0	1,1	1,9	2,1	1,8	1,3	1,2
Ф 912281	СК-8 + бязь + спилок	П, мм	22,0	19,0	13,0	12,0	15,0	19,0	21,0
		n	1,0	1,2	1,7	1,8	1,6	1,2	1,1

Анализ данных табл. 7.1 показывает, в направлениях, в которых величина коэффициента удлинения небольшая, величина припуска увеличивается и наоборот.

С учетом установленной закономерности разработана методика проектирования контура союзки заготовок с учетом анизотропии деформационных свойств материалов [63]. Заготовку верха обуви проектируют по методу жесткой оболочки. В продольном направлении откладывают припуск, величина которого зависит от фасона колодки и физико-механических свойств материалов заготовки и колеблется в пределах 20-26 мм. После этого определяют величины припусков союзки по периметру с учетом анизотропии деформационных свойств из соотношений

$$P_{\alpha} = \frac{P_0}{m} \quad \text{при} \quad m = \frac{A_{\alpha}}{A_0}, \quad (7.1)$$

где P_{α} - припуск в союзке в направлении α ;

P_0 - припуск в союзке в продольном направлении;

A_0, A_{α} - коэффициенты удлинений в продольном направлении и в направлениях α соответственно.

Значения коэффициентов удлинений материалов и систем материалов, составляющих заготовку верха обуви, определяют по тензоральной формуле

(1.20). Шаг измерения угла α достаточно брать равным 10° , принимая продольное направление за нулевое. Полученные величины припусков откладывают в соответствующих сечениях и соединяют плавной кривой. Предложенная методика проектирования особенно эффективна при автоматизированном проектировании верха обуви, так как позволяет получать на графопостроителе искомый контур деталей с учетом анизотропии свойств материалов верха обуви.

Промышленная апробация разработанной методики при конструировании девичьих и женских сапог с верхом из винилискожа-Т показала, что в результате повысилось качество формования и формоустойчивость сапог, уменьшилась норма расхода винилискожа-Т по сравнению с действующей.

Как было показано ранее, изменение направления наклеивания бязи изменяет характер анизотропии и величину деформационных свойств синтетических кож. Учитывая это, можно целенаправленно изменять деформационные свойства заготовок путем подбора соответствующих материалов в качестве межподкладки и подкладки и их взаимного расположения с деталями верха обуви.

Вследствие существенного различия деформационных свойств бязи и некоторых синтетических кож при растяжении таких систем бязь оказывается наиболее напряженной составляющей, что противоречит требованиям равнонапряженности компонентов системы. Очевидно, использование бязи в качестве межподкладки для таких систем нецелесообразно. Для них необходима межподкладка более тягучая, чем бязь.

Низкие значения коэффициента поперечного сокращения большинства видов ИК и СК могут явиться причиной образования грубых складок на грани следа колодки и плохой посадки заготовок при их формовании. Поэтому в технологическом процессе целесообразно предусматривать операции предварительного формования носочно-пучковой части заготовок из этих материалов или проектировать их с максимальным приближением передней части к объемной форме колодки.

Возможность расчета предельных деформаций ИК, СК и систем мате-

риалов по формуле (1.7) с использованием ЭВМ позволяет более полно учитывать механические свойства материалов при проектировании обуви и при выборе способов и режимов формования заготовок из них.

Так, если предельная кривая ограничивает небольшую область, то при двухосных сложных видах растяжения при формовании заготовок создается большая опасность разрушения данного материала. При разработке конструкции заготовок верха обуви из таких материалов необходимо максимально приближать контуры и площадь деталей к боковой поверхности колодок и увеличивать припуски на затяжную кромку. Формовать заготовки целесообразно таким способом, при котором двухосная деформация не является доминирующей. Обтяжные машины необходимо настраивать, исходя из минимально допустимых деформаций. Если же предельная кривая ограничивает достаточно большую область, то заготовки из этих материалов не опасно подвергать двухосным сложным видам растяжения. При этом и к конструкции заготовки можно не предъявлять специальных требований.

С учетом особенностей деформирования синтетических кож, оптимальными направлениями раскроя ИК на тканевой и СК на смешанной основах являются продольное, поперечное и диагональное. Причем при раскрое требуется строго придерживаться этих направлений, так как отклонение от них может привести к значительным искажениям контуров деталей и линий строчек за проектированной модели ввиду резкого возрастания величины углов γ и φ .

Учитывая, что ИК на тканевой и СК на смешанной основах имеют максимальные удлинения в диагональном направлении, наиболее рациональным является выкраивание союзок из этих материалов под углом 45° к основе. При этом обеспечивается лучшая посадка заготовки на колодку, особенно при использовании колодок с наполненной носочной частью, меньшая распорная жесткость верха обуви в области пучков. Оптимальным направлением раскроя СК на нетканой основе является продольное или поперечное с допустимым отклонением от них на угол до 15° , так как значения углов γ и φ при растяжении под углом 15° и 75° незначительны, что не может вызвать существенного искаже-

ния контуров модели. Синтетическую кожу порвайр можно раскраивать в любом направлении.

На Витебской обувной фабрике "Красный Октябрь" при производстве женских туфель клеевого метода крепления была применена система раскроя СК кларино-1000 с отклонением от ее продольного направления на угол до 12° . В результате процент использования материала увеличился на 3,3% по сравнению с раскроем в продольном направлении. С использованием данной технологии раскроя было выпущено более 400 тыс. пар обуви. Дефектов, связанных с изменением направления раскроя СК, по данным фабрики не наблюдалось.

Повышенная упругость ИК и СК и их значительная анизотропия являются причиной большой и неравномерной усадки заготовок после снятия обуви с колодок. Для увеличения остаточных удлинений $\epsilon_{ост}$ при производстве обуви с верхом из СК и ИК материал верха подвергается различной тепловой обработке, такой как термопластификация перед формованием и термообработка после обтяжно-затяжных операций для фиксации формы обуви.

Проведенные исследования [64] по влиянию термопластификации и термофиксации на величину и характер анизотропии $\epsilon_{ост}$, показали, что предварительная термопластика способствует снижению анизотропии и увеличению $\epsilon_{ост}$ в 1,2-2,0 раза. Это объясняется, по-видимому, тем, что термопластификация увеличивает подвижность и гибкость макромолекул структуры СК, что в свою очередь приводит к уменьшению внутренних напряжений при деформировании образцов.

Еще более сильное влияние на СК оказывает термофиксация. По всем направлениям выкраивания образцов происходит существенное (в 2-10 раз) увеличение $\epsilon_{ост}$ и снижение анизотропии.

Совместное воздействие предварительной термопластификации СК и тепловой обработки после растяжения способствует еще большему увеличению значений $\epsilon_{ост}$ по всем направлениям выкраивания образцов. Так, у барекса $\epsilon_{ост}$ увеличивается в 10-16 раз, а у СК-8 - в 7-22 раза по сравнению с данными при нормальных условиях.

Таким образом, для достижения максимального эффекта следует рекомендовать комплексную обработку заготовок верха обуви из синтетических материалов, включающую термопластификацию и термофиксацию, что положительно сказывается на формоустойчивости обуви.

Витебский государственный технологический университет

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чернов, Н.В. Технология кожи / Н.В. Чернов. - М.: Гизлегпром, 1952. - 680 с.
2. Куприянов, М.П. Неоднородность кожи и ее целевое использование / М.П. Куприянов, Б.Л.Елен, Г.А. Мореходов. - М.: Легкая индустрия, 1975. - 165 с.
3. Типовые схемы рационального раскроя кожматериалов и кожзамени-телей на детали обуви. Ч.1. - М.: Гизлегпром, 1956. - 98 с.
4. Технология производства обуви. Ч.1. - М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1978.- 83 с.
5. Богданов, Н.А. Формовочные свойства обувных тканей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Спец.05.19.06 / Н.А. Богданов; МТИЛП. - 1950. - 25 с.
6. Скатерной, В.А. Свойства обувных тканей при растяжении / В.А. Ска-терной, Ю.П. Зыбин // Научные труды МТИЛП: Сб. 9. - М.: Гизлегпром, 1957. - С. 198-210.
7. Weissenberg K. Journal of the Textill Institute, v. 40, 1949, № 2, s. 89-110.
8. Модестова, Т.А. К вопросу об изменении геометрии тканей при ее растяжении / Т.А. Модестова, Б.А. Бузов // Известия вузов. Технология тек-стильной пром-сти. - 1963. - № 6. - С. 12-15.
9. Müller, L. Zur Anisotropie von Syntetik auf vliesbasic / L. Müller // Leder Schtühe Lederwaren. - 1976. - № 7. - S. 256-259.
10. Ашкенази, Е.К. Прочность анизотропных древесных и синтетических материалов / Е.К. Ашкенази. - М.: Лесная пром.-сть, 1966. - 165 с.
11. Ашкенази, Е.К. Анизотропия конструкционных материалов / Е.К. Ашкенази, Э.В. Ганов. - Л.: Машиностроение, 1972. - 213 с.
12. Микляев, П.Г. Анизотропия механических свойств материалов / П.Г. Микляев, Я.Б.Фридман. - М.: Metallургия, 1969. - 268 с.
13. Броун, В.И. Исследование анизотропии древесно-стружечных плит с ориентированными частицами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Спец./ В.И. Броун. - Воронеж, 1973. - 20 с.

14. Ашкенази, Е.К. Экспериментальное исследование прочности стеклопластиков при двухосном сжатии в 3-х плоскостях симметрии / Е.К. Ашкенази // Механика полимеров. - 1976. - № 1. - С. 63-72.

15. Рабинович, А.Л. Об упругих постоянных и прочности анизотропного материала / А.Л. Рабинович. - М., 1946. - 56 с.

16. Ашкенази, Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. - М.: Лесная пром-сть, 1978. - 219 с.

17. Ашкенази, Е.К. Экспериментальное исследование прочности анизотропных материалов при двух- и трехосном сжатии / Е.К. Ашкенази // Механика полимеров, - 1973. - № 6. - С. 991-996.

18. Гольденблат, И.И. Критерий прочности и пластичности конструкционных материалов / И.И. Гольденблат, В.А. Копнов. - М.: Машиностроение. - 1968. - 219 с.

19. Мадмейстер, А.К. Сопротивление жестких полимерных материалов / А.К. Мадмейстер, В.П. Тамук, Г.А. Тетерс. - Рига: Зинатне, 1967. - 241 с.

20. Fischer, L. How to predict Structural behavior of RP laminates / L. Fischer // Modern Plastics. - №6. - 1960. - S.209.

21. Ву, Э.М. Феноменологические критерии разрушения анизотропных сред / Э.М. Ву // Сборник «Механика композиционных материалов». Т.2. - М.: Мир, 1978. - С.401-491.

22. Уорд, Н. Механические свойства твердых полимеров / Н.М. Уорд. - М, 1975. - 356 с.

23. Клобуков, С.И. Определение деформации союски заготовки методом фотоупругости при формовании в условиях замкнутого контура / С.И. Клобуков, Ю.П. Зыбин, В.П. Нетребко // Обувная пром-сть: Реферативный сб. Вып.9 / ЦНИИТЭИлегпром. - М., 1970. - С. 21.

24. Ашкенази, Е.К. К вопросу о геометрии теории прочности / Е.К. Ашкенази // Механика полимеров. - 1967. - № 4. - С. 703-707.

25. Ильюшин, А.А. Основы математической теории термовязкоупругости / А.А.Ильюшин, Б.Е. Победра - М.: Наука, 1970. - 270 с.

26. Гольдман, А.Я. О напряженном состоянии и некоторых особенностях разрушения образцов стеклопластиков при растяжении под углом к направлению армирования / А.Я. Гольдман, Н.Ф. Савельева // Механика полимеров. – 1976. - № 6. - С. 1030-1034.

27. Кукин, Г.Н. Исследование различных методов испытания текстильных материалов на однократное растяжение до разрыва / Г.Н. Кукин, Л.П. Косарева // Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов. - Рига: Зинатне, 1967. – С.12-15.

28. Сутаускас, М.М. Разрывная машина РТ-250 с тензометрическим силоизмерителем / М.М. Сутаускас, И.И. Люкайтис, В.Л. Раяцкас // Кожевенно-обувная пром-сть. - 1967. - № 12. – С.27-28.

29. Горбачик, В.Е. Влияние конструкции силоизмерителя разрывной машины на механические характеристики материалов / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора // Кожевенно-обувная пром-сть. - 1975. - № 11. - С. 54-56.

30. Загайгора, К.А. Об анизотропии механических свойств искусственных и синтетических кож для верха обуви / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик, А.Ю. Зыбин, Е.К. Ашкенази // Кожевенно-обувная пром-сть. - 1980. - № 4. - С. 53-55.

31. Пат. № 2002243 РФ, МКИ 5 G01 № 19/00, Устройство для измерения поперечной деформации высокоэластичных материалов / В.Е. Горбачик, В.М. Белов; ВТИ/Ш. - № 5019279/28; Заявл.27.12.91; Опубл.30.10.93.

32. Загайгора, К.А. Особенности деформирования искусственных и синтетических кож при растяжении под углом к осям структурной симметрии / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1981. - № 3. - С. 49-52.

33. Горбачик, В.Е. Исследование поперечного сокращения материалов для верха обуви / В.Е. Горбачик // Великий русский обувщик и время / ЮРГУ-ЭС. - Шахты, 2000. – С.113-119.

34. Кузьменко, В.А. Новые схемы деформирования твердых тел / В.А. Кузьменко. – Киев: Навукова думка, 1973. - 200 с.

35. Загайгора, К.А. Исследование анизотропии разрушающих удлинений синтетических кож для верха обуви / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик, Е.К. Ашкенази // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1977. - № 6. - С. 48-54.

36. Загайгора, К.А. Исследование анизотропии коэффициентов удлинений искусственных и синтетических кож для верха обуви / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик, Е.К. Ашкенази // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1980. - № 2. - С. 40-43.

37. Загайгора, К.А. Анизотропия деформационных свойств различных видов синтетических кож / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1981. - № 2. - С. 40-43.

38. Загайгора, К.А. Анизотропия прочности синтетических кож для верха обуви / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик, Е.К. Ашкенази // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1980. - № 3. - С. 20-23.

39. Загайгора, К.А. Выбор оптимальных направлений раскроя искусственной кожи / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Кожевенно-обувная пром-сть. - 1982. - № 10. - С. 17-18.

40. Загайгора, К.А. Анизотропия остаточных деформаций различных видов синтетических кож / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Развитие и совершенствование технологии полимерно-пленочных и искусственных материалов: Сб. научных трудов / МТИЛП. - М., 1981. - С. 108-111.

41. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

42. Горбачик, В.Е. Методика испытания систем материалов при одноосном растяжении / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора, З.Г. Максина // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1982. - № 2. - С. 40-43.

43. Горбачик, В.Е. Особенности деформирования систем материалов (СК + ткань) / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора, З.Г. Максина // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1982. - № 6. - С. 43-45.

44. Горбачик, В.Е. Анизотропия деформационных свойств систем материалов для верха обуви / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора, З.Г. Максина // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1982. - № 6. - С. 43-45.

тия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1983. - № 6. - С. 48-52.

45. Горбачик, В.Е. Анизотропия прочности систем материалов для верха обуви / В.Е. Горбачик, З.Г. Максина, К.А. Загайгора // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1989. - № 6. - С. 36-39.

46. Гуль, В.Е. К вопросу о прочности полимерных композиционных материалов / В.Е. Гуль // Пластические массы. - 1983. - № 3. - С. 19-22.

47. Горбачик, В.Е. Исследование коэффициента поперечного сокращения систем материалов для верха обуви / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора, З.Г. Максина // Технология и качество товаров народного потребления: Респ. межвед. сб. Вып.11. – Мн.: Выш. школа, 1984. - С. 103-105.

48. Зыбин, А.Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / А.Ю.Зыбин. – М.: Легкая индустрия, 1974. - 120 с.

49. Жидлик, А. Анизотропия свойств по удлинению обувных материалов и оценка их / А. Жидлик, Л. Долник // K6zarstvi. - 1983. - № 8. - С. 231.

50. А.с. № 1391588 СССР, МКИ 43 В 10/00 Способ определения анизотропных характеристик искусственных и синтетических кож для обуви / З.И. Абарбанель, В.Е. Горбачик. - № 4038369/28/12; Заявл. 18.03.86; Оpubл. в Б.И. 1988, № 16.

51. Абарбанель, З.И. Новый способ определения анизотропных характеристик плоских материалов / З.И. Абарбанель, В.Е. Горбачик // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1989. - № 1. - С. 28-30.

52. Абарбанель, З.И. Распределение сил при центробежном растяжении плоских анизотропных материалов / З.И. Абарбанель, В.Е. Горбачик // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. - 1989. - № 2. - С. 29-33.

53. Абарбанель, З.И. Исследование деформационных характеристик плоских материалов при центробежном растяжении / З.И. Абарбанель, В.Е. Горбачик // Надежность, экономичность и качество текстильных материалов: Тез. докл. 12 Всесоюз. науч. конф. по текстильному материаловедению, Киев, 19-21 окт. 1988. Т.2 / КТИП. – Киев, 1988. – С.3-4.

54. Жаров, А.Н. О деформации хромового опойка при двухосном растя-

жении / А.Н. Жаров, А.И. Комиссаров // Известия вузов. Технология легкой пром-сти. – 1968. - № 6. - С. 33-40.

55. А.с № 167065 СССР МКИ Прибор для многоосного растяжения материалов / А.Ю. Зыбин. – Оpubл. в БИ. – 1964. - № 24. - С. 50.

56. Молебная, Л.И. Исследование опорной жесткости школьной обуви / Л.И. Молебная, О.В. Фарниева // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1978. - № 9. - С. 55-57.

57. Загайгора, К.А. Свойства синтетических кож при растяжении / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Кожевенно-обувная пром-сть. - 1979. - № 1. - С. 59-61.

58. Горбачик, В.Е. Исследование толщины искусственных и синтетических кож при двухосном симметричном растяжении / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Товароведение и легкая пром-сть: Респуб. межвед. сб. Вып. 9. - Мн.: Выш. школа, 1982. - С. 152-155.

59. Ямпольский, С.А. Построение эмпирических формул и подбор их параметров методом наименьших квадратов и методом средних / С.А. Ямпольский. - М.: Статистика, 1972. - 114 с.

60. Технологические требования к конструированию верха обуви из синтетических и искусственных кож / М.А. Файбышенко, С.В. Мардаков, Г.К. Рухадзе // Кожевенно-обувная пром-сть. – 1978. - № 2. - С. 22-27.

61. Liajka, T. Modelowanie wierchow obuwia z materialów syntetycznych na przykladzie polcorfamy z przekesdka tkana / T. Liajka // Przegląd Ścórzany. - 1977. - № 4. - S. 119-123.

62. Горбачик, В.Е. Влияние анизотропии деформационных свойств синтетических кож на качество формования обуви / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора // Товароведение и легкая пром-сть: Респ. межвед. сб. Вып. 10. - Мн.: Выш. школа, 1983. - С. 92-94.

63. Загайгора, К.А. Разработка конструкции обуви с учетом анизотропии деформационных свойств материалов / К.А. Загайгора, В.Е. Горбачик // Интенсификация производства и повышение качества продукции на основе всемерно-

го использования достижений научного прогресса: Тез. докл. респ. науч.-техн. конф., Брест, 11-12 нояб. 1981 / БелНИИНТИ. – Мн., 1981. – С. 29-31.

64. Горбачик, В.Е. Влияние тепловой обработки на анизотропию остаточной деформации синтетических кож для верха обуви / В.Е. Горбачик, К.А. Загайгора // Новое в применении полимерных материалов в легкой промышленности: Сб. науч. тр. / МТИЛП. – М., 1986. – С. 43-46.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Библиотека ВГТУ



Подписано к печати 02.07.2003 . Формат 60x16 . Уч-изд. лист 9.25

Печать ризографическая. Тираж 100 . Заказ № 450 .

Отпечатано на ризографе ВГТУ. Лицензия ЛП № 89 от 18 декабря 2002г.
210035, Витебск, Московский пр., 72.