

**С.Л. ФУРАШОВА  
К.А. ЗАГАЙГОРА**

**ГИГРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ОБУВИ**



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**С.Л. Фурашова  
К.А. Загайгора**

**ГИГРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ОБУВИ**

**Курс лекций**

для студентов специальности 1-50 02 01  
«Конструирование и технология изделий из кожи»  
специализации 1-50 02 01 01 «Технология обуви»

**Витебск  
2012**

УДК 685.34.02

ББК 37. 255

Ф-95

Рецензенты:

к.т.н., доцент, заведующий кафедрой конструирования и технологии одежды Гарская Н.П.,

к.т.н., доцент кафедры конструирования и технологии изделий из кожи Линник А.И.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ», протокол № 8 от 30.11.2012.

**Фурашова, С. Л.**

Ф-95 Гигротермические процессы и оборудование в технологии обуви: курс лекций / С. Л. Фурашова, К. А. Загайгора. – Витебск : УО «ВГТУ», 2012. – 90 с.

ISBN 978-985-481-296-0

Курс лекций содержит материал по лекционному курсу, предусмотренному учебной программой по дисциплине «Гигротермические процессы и оборудование в технологии обуви» для студентов специальности 1-50 02 01 «Конструирование и технология изделий из кожи» специализации 1-50 02 01 01 «Технология обуви», содержит основные вопросы гигротермических процессов обувного производства.

**УДК 685.34.02**

**ББК 37. 255**

**ISBN 978-985-481-296-0**

© Фурашова С.Л., 2012

© Загайгора К.А., 2012

© УО «ВГТУ», 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ   | 4  |
| 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ,<br>ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБУВИ  | 5  |
| 1.1 Технологическое назначение гигротермических воздействий  | 5  |
| 1.2 Интенсивность теплового воздействия гигротермических процессов   | 9  |
| 1.3 Влияние влаги на свойства обувных материалов   | 10 |
| 2 ВЛАГО- И ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГИГРОТЕР-<br>МИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ОБУВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЗАГО-<br>ТОВКУ ВЕРХА ОБУВИ | 12 |
| 2.1 Виды связи влаги с материалом  | 12 |
| 2.2 Основные положения теории массообмена при увлажнении   | 18 |
| 2.3 Особенности влаго- и теплопереноса при гигротермических воз-<br>действиях на обувные материалы и заготовку верха обуви | 23 |
| 2.4 Кинетика процесса сушки  | 25 |
| 2.5 Кривые скорости сушки  | 27 |
| 3 МЕТОДЫ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В<br>ТЕХНОЛОГИИ ОБУВИ  | 31 |
| 3.1 Методы увлажнения заготовок верха обуви  | 31 |
| 3.1.1 Увлажнение в жидкой фазе   | 31 |
| 3.1.2 Сорбционный способ увлажнения  | 35 |
| 3.1.3 Термодиффузионный (контактный) метод увлажнения  | 41 |
| 3.2 Влажно-тепловая и тепловая обработка обуви   | 44 |
| 3.3 Основная сушка обуви   | 47 |
| 3.4 Охлаждение обуви   | 54 |
| 4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ<br>ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБУВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБУВЬ                                 | 55 |
| 4.1 Формоустойчивость обуви и критерии её оценки   | 55 |
| 4.2 Факторы, влияющие на формоустойчивость верха обуви   | 63 |
| 4.3 Релаксационные свойства материалов и систем материалов для<br>верха обуви при растяжении и методы их определения       | 69 |
| 4.4 Влияние режимов гигротермических воздействий на релакса-<br>ционные процессы систем материалов                         | 74 |
| 4.5 Разработка оптимальных режимов гигротермических воздействий  | 79 |
| 4.6 Оценка формовочных свойств искусственных и синтетических кож   | 84 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ  | 88 |

## ВВЕДЕНИЕ

Целью дисциплины «Гигротермические процессы и оборудование в технологии обуви» является изучение теоретических основ влаго- и теплопереноса при различных гигротермических воздействиях в производстве обуви с верхом из различных материалов, а также способов и средств подвода тепла и холода к материалам заготовки обуви.

Основными задачами дисциплины является приобретение теоретических знаний и практических навыков выполнения гигротермической обработки обуви при выполнении конкретных операций технологического процесса производства.

Курс лекций составлен в соответствии с учебной программой курса и предназначен для приобретения студентами комплекса знаний о теоретических основах тепло- и массообмена при различных гигротермических воздействиях, методах гигротермических воздействий, а также оценки их эффективности на обувные материалы, заготовку и обувь.

Полученные при изучении представленного в курсе лекций материала знания позволят студентам приобрести практические навыки по обоснованию режимов гигротермической обработки материалов различных структур и заготовок верха обуви с различными комплектующими, а также способствуют повышению уровня квалификации.

# 1 КЛАССИФИКАЦИЯ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБУВИ

Технология изготовления обуви включает ряд операций, выполнение которых связано с воздействием тепла и влаги (гигротермическое воздействие) на материалы обувных деталей и изделие в целом.

Гигротермические воздействия классифицируются по следующим признакам:

- технологическому назначению;
- характеру изменения свойств материала при воздействии тепла;
- характеру изменения свойств материала при воздействии влаги;
- особенностям протекания процессов тепло - и массообмена.

## 1.1 Технологическое назначение гигротермических воздействий

*По технологическому назначению* операции, в которых используются гигротермические воздействия, делятся на несколько групп.

- Операции, целью которых является придание материалам *формности*: увлажнение, влажно-тепловая и тепловая пластификация заготовки верха обуви. Операции выполняются перед формованием заготовки или в промежутках между отдельными его этапами.

- Операции, выполняемые для фиксации формы заготовки верха обуви после *формообразующих операций*: основная сушка, влажно-тепловая и тепловая фиксация формы обуви, стабилизация формы способом охлаждения, выстой обуви. В основном операции выполняются после завершения процесса формования верха обуви, но также могут выполняться между отдельными этапами формования, либо совмещаться с процессом формования.

- Операции, предназначенные для облегчения процесса механического соединения деталей и повышения прочности соединений.

Перед соединением деталей заготовки ниточными швами осуществляется операция увлажнения деталей. Чаще всего увлажняют края деталей, сострачиваемые тачными швами, это позволяет улучшить внешний вид шва и более качественно выполнить операцию разглаживания шва. Данная операция выполняется практически на всех обувных предприятиях. Используется увлажнитель: дистиллированная вода с добавлением смягчителей (поверхностно активные вещества). Увлажнитель наносится либо погружением краев деталей в увлажнитель, либо кистью на край сострачиваемых деталей с последующей пролеж-

кой в течение 30 – 60 мин.

Детали низа из натуральной кожи (подошвы, подложки, основные стельки, рант) перед механическим соединением также увлажняются. Увлажнение с одной стороны способствует меньшему разрушению структуры материала при соединении, а с другой стороны после удаления влаги кожа усаживается, что увеличивает прочность соединения (сцепления) крепителя (нитки, гвоздя) с материалом.

- Операции, связанные с дублированием материалов, такие, как дублирование материалов межподкладки и подкладки, клеивание задников и подносков. Тепловое воздействие в данном случае сочетается с повышенным давлением, обеспечивающим склеивание материалов. Тепловое воздействие при дублировании подкладочных и межподкладочных материалов необходимо для возвращения клеевым пленкам адгезионной способности. В зависимости от вида клея температура дублирования колеблется от 90 °С до 145 °С, продолжительность воздействия 5 – 7 с, давление – 0,3 – 0,4 МПа.

Перед вставкой в заготовку задников и подносков из термопластических материалов их пластифицируют при температуре более 100 °С. Под воздействием высоких температур покрытие из термопластичного адгезива размягчается. Термопластичные материалы легко формуются при помощи разогрева и прессования под давлением и хорошо сохраняют форму при последующем охлаждении. Термопластические подноски в зависимости от толщины и вида покрытия склеивают с верхом и подкладкой при температуре 120 – 170 °С и выдерживают в прессе до 12 секунд при давлении 0,5 МПа.

- Операции, выполняемые для улучшения внешнего вида обуви, такие, как разглаживание складок на верхе обуви направленной струей горячего воздуха с температурой 250 – 300 °С, разглаживание складок горячими утюжками, разглаживание голенищ сапожек, канта обуви и др.

- Операции по подготовке следа обуви к креплению подошвы и каблука: формование следа затянутой обуви, боковой поверхности обуви. Выполнение этой группы операций сопровождается тепловым воздействием в сочетании с повышенным давлением.

- Гигротермические воздействия в технологии **склеивания**. Тепловое воздействие выполняется непосредственно перед процессом склеиванием.

Современная технология склеивания в обувной промышленности предусматривает высушивание клеевых пленок с возможно полным удалением растворителя. Перед приклеиванием низа обуви на прессах производится термоак-

тивация клеевых пленок на обеих склеиваемых поверхностях (затяжной кромке и подошве). При этом клеевые пленки из высокоэластического состояния переходят в вязкотекучее состояние. При последующем наложении и прессовании подошв происходит взаимодиффузия макромолекул клея в зоне контакта клеевых пленок, находящихся на обеих склеиваемых поверхностях, что приводит к образованию прочных клеевых швов, при последующем охлаждении. Термоактивация клеевых пленок осуществляется в течение 3 – 6 с при температуре 200 – 250 °С или в течение 20 – 30 с при температуре 85 – 110 °С. Для термоактивации используются различных конструкций термоактиваторы с радиационным нагревом.

- Гигротермические воздействия для вырубания и обработки деталей обуви: обжиг краев деталей, тиснение деталей верха и низа обуви, сварка материалов, сварка, совмещенная с вырубкой материалов.

Детали из искусственных и синтетических кож могут соединяться при помощи сварки. Под воздействием тепловой энергии и давления полимер переходит в вязкотекучее состояние, что обеспечивает взаимодиффузию макромолекул в контактирующих слоях материалов. Свариваться могут не только термопластичные пленки и искусственные кожи с полимерным покрытием, но и некоторые текстильные материалы, содержащие термопластичные волокна (капрон, лавсан, нитрон). Наибольшее распространение в производстве изделий из кожи получила высокочастотная сварка.

Сварку можно совмещать с вырубкой деталей и с тиснением. Таким способом изготавливают вкладные стельки из нескольких слоев полимерных материалов, заготовки верха обуви, различные украшения для верха обуви. При сварке с вырубкой используются специальные резак-электроды, при помощи которых осуществляется преобразование энергии электрического высокочастотного поля в тепловую энергию внутри самого материала.

Обжиг или горячее формование края детали используется как способ обработки видимого края деталей. Применяется для деталей обуви из натуральных кож. Способ обработки основан на том, что при воздействии горячей скобой волокна кожи сокращаются, перетягивая лицевой слой кожи на бахтармянную сторону, что улучшает внешний вид детали. По сравнению с обработкой загибку экономия материала для верха обуви составляет 2 – 5 %.

Тиснение деталей обуви осуществляется узорными плитами, нагретыми до температуры 80 – 150 °С, под давлением 3 – 10 МПа в течение 5 – 30 с в зависимости от толщины и вида покрытия материала, метода дублирования кожи.

Этот способ обработки может использоваться для украшения обуви из натуральных, искусственных и синтетических кож.

## 1.2 Интенсивность теплового воздействия гигротермических процессов

Тепловые процессы оказывают различные воздействия на свойства материалов. По степени воздействия на изменение первоначальных свойств обувных материалов тепловые процессы можно разделить *на три группы*.

**Первая группа** характеризуется **сверхвысокими** потоками тепла, воздействие которых приводит к деструкции полимерного обувного материала и его термическому разрушению. Наблюдается при раскрое материала лазером, обжиге краев деталей.

**Вторая группа** характеризуется **высокими** тепловыми потоками, при которых происходит существенное изменение свойств материалов (термомеханических) в зоне обработки.

При этом не должно быть явно выраженных деструктивных явлений и разрушения материала, снижения его прочности. Для термопластичных материалов степень теплового воздействия определяется температурным интервалом перехода полимера из высокоэластичного в вязкотекучее состояние. Такие процессы происходят при безниточном соединении деталей заготовки с помощью клеесварных или сварных швов, тиснении.

**Третья группа** характеризуется **средними** и **малыми** тепловыми потоками, при которых изменяются механические свойства материалов. Такие тепловые воздействия применяются для придания обувным материалам свойства формуемости и фиксации формы верха обуви.

Повышение температуры приводит к усилению теплового движения молекул, способствует ускорению релаксационных процессов. Предельные значения температуры и продолжительность нагревания определяются термостойкостью обувного материала. Основным критерием выбора режима теплового воздействия является недопустимость деструкции материала.

С повышением температуры увеличивается колебательное движение связей, соединяющих отдельные цепи коллагена. В результате, когда колебательное движение достигает определенной величины, происходит разрыв этих связей. Цепи коллагена имеют связи двух типов: существующие в самом коллагене и возникающие в результате дубления. Поэтому термостойкость кожи зависит от метода дубления. Кожа хромового дубления выдерживает в течение 1 часа температуру  $170^{\circ}\text{C}$  без изменения своих свойств.

Увлажнение кожи уменьшает её термостойкость и приводит к понижению температуры сваривания. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе режимов гигротермической обработки. Известно, что интенсивное тепловое воздействие может привести к существенному ухудшению свойств материала, находящегося в увлажненном состоянии и, напротив, не вызвать никаких отрицательных изменений свойств материала с низким влагосодержанием.

В процессах теплопереноса большую роль играет влага. Являясь прекрасным теплоносителем, она перемещается по капиллярно-пористой структуре в жидком или парообразном виде, ускоряет передачу тепла в толщину материала. На характер поведения материала при воздействии на него влаги оказывает влияние не только её количество, но и фазовое состояние, формы связи, температура нагревания.

### 1.3 Влияние влаги на свойства обувных материалов

Поведение материала при увлажнении характеризуется его сложным структурным строением, наличием в коже различных наполнителей, синтетических дубителей и т. п.

**По степени влияния влаги** на изменение механических (особенно упругопластических) свойств обувные материалы можно разделить на *две группы*.

**К первой группе** относятся материалы, на изменение свойств которых влага оказывает **сильное влияние**, не приводя к ухудшению их прочностных свойств. К этой группе материалов относится большинство гидрофильных полимеров, преимущественно натурального происхождения: натуральные кожи, ткани из натуральных волокон, картоны для задников и стелек и т. п. При изготовлении обуви из таких материалов используются операции увлажнения, влажно-тепловой фиксации, основной сушки и влажно-тепловой фиксации.

Однако исследованиями установлено, что чрезмерное увлажнение материала приводит к снижению прочностных свойств материала, так как в результате увлажнения происходит раздвижение элементов структуры полимера молекулами воды. Кроме этого, избыточное увлажнение требует в дальнейшем дополнительных расходов на сушку изделия.

Введение влаги способствует усилению пластических свойств материала, облегчает формование обувной заготовки. Влага выполняет роль пластификатора, облегчает скольжение клубкообразных сплетений волокон или перемещения сегментов молекул полимера, способствует развитию релаксационных процессов.

Влага ослабляет межцепное взаимодействие в структуре коллагена путем разрушения водонестойких (водородных и электроводородных) связей. Вклиниваясь между структурными элементами, влага увеличивает расстояние между ними и, следовательно, размеры детали увеличиваются. При удалении влаги расстояние между структурными элементами уменьшаются, происходит восстановление разрушенных водной и образование новых межцепных связей, в результате этого повышается доля остаточной деформации.

Эффективность влияния влаги возрастает при подводе тепла. Уменьшая количество влаги, вводимой в кожу, и нагревая заготовку верха обуви, можно добиться улучшения формоустойчивости материала. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить продолжительность как увлажнения, так и последующей сушки и фиксации формы обуви.

**Ко второй группе** относятся материалы, на изменение свойств которых влага не оказывает влияние или влияет **незначительно**.

Примером такого материала могут служить искусственные и синтетические кожи. Для изменения их свойств используется только тепловое воздействие, которое осуществляет переход материала из застеклованного состояния в высокоэластическое. При этом нагревание способствует снижению усилий формования, а охлаждение – фиксации полученной формы.

Обувная заготовка состоит из системы различных материалов, по-разному реагирующих на воздействие влаги или тепла. Как правило, заготовка верха обуви изготавливается из кожи натуральной, содержит подносочный термопластичный материал, межподкладку и подкладку из текстильных материалов. Для улучшения формовочных свойств применяют комплексное воздействие влаги и тепла на многослойную конструкцию заготовки.

## 2 ВЛАГО- И ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ОБУВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКУ ВЕРХА ОБУВИ

Сложность изучения явлений влаго- и теплопереноса обусловливается многослойностью конструкции обуви и различием свойств её слоев. Интенсивность процессов, протекающих в заготовке, зависит от многих факторов, определяющих условия их протекания. Существенное влияние на передачу тепла и влаги заготовке и тепло- и влагообмен внутри её конструкции оказывают методы и режимы гигротермических воздействий, теплофизические характеристики материала, формы связи влаги с материалом и другие характеристики.

### 2.1 Виды связи влаги с материалом

Способность влаги менять свойства материалов широко используется в технологии производства обуви, где насчитывается около 30 операций, которым предшествует увлажнение деталей.

Увлажнение заготовок верха обуви перед формованием:

- уменьшает вероятность разрыва кожи и прежде всего ее лицевого слоя во время обтяжно-затяжных операций;
- позволяет больше деформировать материал, что является одним из основных условий хорошей формоустойчивости обуви;
- дает возможность уменьшать размеры заготовок и снизить расход материала.
- улучшает релаксационную способность материалов, что сокращает процесс изготовления обуви и повышает её формоустойчивость.

Изменение физико-механических свойств материалов при увлажнении обусловлено образованием различных связей влаги с материалом.

Академик Ребизов П.А. дал классификацию форм связи влаги с материалом. Все виды связи разбиты на *три основные группы* по интенсивности энергии связи: химическая связь, физико-химическая связь, физико-механическая связь.

**Химическая связь** – наиболее прочная, образуется при химических реакциях (ионные и молекулярные связи), при технологических методах воздействия не образуется. Такие связи очень прочные, вода при этом совсем исчезает и входит в состав нового вещества или в структуру кристалла. Связи могут быть нарушены путем химических реакций, а в отдельных случаях – сильным прокаливанием.

**Физико-химическая** включает адсорбционную, осмотическую и структурную. В гидрофильных материалах влага проникает внутрь, в гидрофобных – отлагается на их внешней поверхности. Разрушить физико-химические связи можно путем десорбции, высушивания, отжатия жидкой фазы.

**Адсорбционная** влага образуется в результате присоединения молекул воды функциональными группами коллагена или полимера. Активными центрами адсорбции являются полярные группы –  $\text{NH}_3^+$ ,  $\text{COOH}^-$ , а также группы пептидных связей главных цепей молекул  $-\text{NH}-$ ,  $-\text{CO}-$ , присоединяющие воду в результате образования водородных связей. Влага заполняет самые мелкие пространства между основными цепями белка и раздвигает их на относительно большие расстояния в одном направлении, выпрямляя изогнутые боковые цепи, то есть происходит упорядоченность структуры кожи.

Адсорбционная влага поглощается с выделением большого количества тепла, что свидетельствует о значительной энергии связи её с материалом. Адсорбционную влагу называют влагой *гидратации*. Энергия связи влаги гидратации с материалом очень значительна, настолько, что часть этой влаги обладает свойствами жидкой фазы: не участвует в растворении веществ, не замерзает, имеет иную плотность, обладает меньшей теплоемкостью и повышенным удельным сопротивлением. Точное количество влаги гидратации в коже определить трудно, так как нет четкой границы между нею и капиллярной влагой.

Адсорбционная влага увеличивает размеры материала и изменяет свойства: уменьшает усилия при формовании, увеличивает деформационную способность и коэффициент поперечного сокращения, улучшает формуемость. Часть гидратационной влаги наиболее прочно связана с материалом. Основная её часть может быть удалена при нагревании материала до температуры  $105^\circ\text{C}$ , а оставшаяся – только экстракцией в результате отгонки с парами углеводов при температуре  $140 - 160^\circ\text{C}$ . При удалении гидратационной влаги необратимо ухудшаются эксплуатационные свойства кожи.

**Осмотическая** влага – влага, проникающая через полупроницаемые перегородки внутрь клеток. Движение воды внутрь клеток вызвано разностью осмотических давлений внутри клетки и снаружи, концентрация фракции внутри клетки выше чем снаружи. Вода проникает в клетку через её стенки путём избирательной диффузии (то есть осмоса). Поглощение жидкости не сопровождается тепловым эффектом, а вызывает увеличение объема. Осмотическая влага попадает в кожу при увлажнении в жидкой фазе с увлажнителем и изменяет упруго-пластические свойства кожи.

**Структурная** влага – влага, находящаяся внутри клетки.

**Физико-механическая связь** – влага, находящаяся в капиллярах и обусловленная силами поверхностного натяжения и капиллярным давлением. Сила этих связей не велика, влага связывается ими с веществом в неопределенных соотношениях, удаляется высушиванием и отжатием.

Обувные материалы в основном представляют собой капиллярно-пористые тела. Капилляры, радиус которых меньше 0,1 мкм (микром) ( $10^{-5}$  см), называют *микрокапиллярами*, а влага, заполняющая эти капилляры, называется микрокапиллярной. Капилляры, радиус которых больше 0,1 и меньше 10 мкм ( $10^{-3}$  см), называют *макрокапиллярами* ( $0,1 \text{ мкм} < R < 10 \text{ мкм}$ ), а влагу, заполняющую их, – макрокапиллярной.

Если  $R > 10^{-3}$  см – это поры, углубления. Жидкость, заполняющая поры и углубления, называется влагой **намокания** (смачивания) – эта связь не прочная, она не изменяет размеры материала, и её влияние на свойства материала ограничено. Крупных пор в материале намного больше, чем мелких. Поэтому когда деталь опускают в воду, она сразу заполняет крупные поры. Для того чтобы влага переместилась в структуру более равномерно, дается пролежка, в течение которой под действием градиента влажности влага перемещается из более увлажненных мест в менее увлажненные.

Физико-механические связи образуются благодаря конденсации или вследствие капиллярного всасывания в результате смачивания стенки капилляра жидкостью и действием поверхностных сил.

Механизм капиллярного всасывания следующий: если капиллярную трубку погрузить в жидкость, то жидкость будет подниматься по трубке в силу гидростатического давления, образуя на поверхности вогнутый мениск. Подъем жидкости в трубке будет происходить до тех пор, пока гидростатическое и капиллярное давление не уравновесятся (рисунок 2.1).

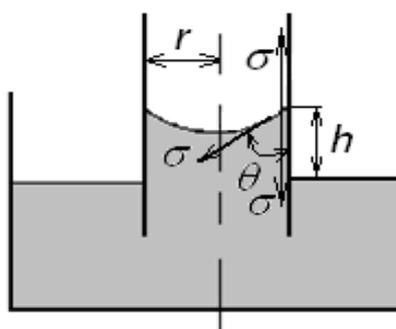


Рисунок 2.1 – Схема механизма капиллярного всасывания

Можно определить высоту поднятия жидкости в капилляре:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{rg\gamma_{жс}}, \quad (2.1)$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение;  
 $\theta$  – краевой угол смачивания;  
 $r$  – радиус капилляра;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $\gamma_{ж}$  – плотность жидкости.

Из формулы видно, что чем меньше радиус капилляра, тем больше будет высота подъема жидкости.

Иначе обводняются коллоидные капиллярно-пористые тела во влажном воздухе. Поглощать влагу из воздуха способны капилляры определенного размера, в которых может происходить капиллярная конденсация.

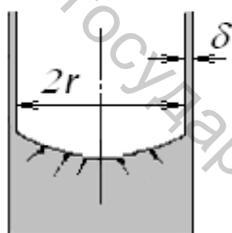


Рисунок 2.2 – Схема механизма капиллярной конденсации

При помещении капиллярно-пористого тела, стенки которого смачиваются водой, во влажном воздухе в капиллярах происходит капиллярная конденсация. Стенки капилляра адсорбируют пар и покрываются слоем влаги толщиной  $\delta$ . Толщина слоя влаги для гидрофильных поверхностей составляет  $10^{-5}$  см (рисунок 2.2).

Пар в окружающем пространстве будет перенасыщенным, произойдет его конденсация, и на дне капилляра образуется вогнутый мениск. Если капилляр сквозной, без дна, то конденсация пара (то есть слияние адсорбированных пленок жидкости) возможна, если радиус капилляра равен или меньше  $10^{-5}$  см. Если больше, то заполнение капилляра влагой возможно только при погружении его в жидкую среду.

Таким образом, проведение процессов увлажнения и сушки обувных материалов и обуви затрагивает следующие формы связи влаги с материалом – адсорбционную (гидратации), осмотическую, структурную и макро- и микрокапиллярную. Большинство гигротермических воздействий связано с изменением количества влаги капиллярной конденсации, так как этот вид влаги оказывает существенное воздействие на изменение технологических свойств материалов обуви.

На размеры кожи существенное влияние оказывает присутствие в ней микрокапиллярной влаги и адсорбционной (влага гидратации) за счет увеличения расстояния между коллагеновыми цепями.

Влага намокания не изменяет размеров кожи. Так как влага намокания

обладает свойствами свободной жидкости, она может вымывать из кожи водорастворимые вещества, дубители, красители, а кроме того, замедляет процесс сушки, поэтому называется балластной. Введение влаги намокания в кожу нежелательно.

На упруго-пластические свойства оказывает большое влияние адсорбционная и микрокапиллярная влага.

На прочностные свойства оказывает влияние влага микро- и макрокапилляров. Прочность увлажненной кожи увеличивается. При сжатии, наоборот, прочность снижается. Это объясняется тем, что разрушение происходит в тонкой структуре кожи, а адсорбционная влага ослабляет связь между цепями, так как раздвигает их, тем самым уменьшая сопротивление материала сжатию. Из этого следует, что жесткие кожи необходимо увлажнять способами, при которых в меньшей степени образуется адсорбционная связь влаги с материалом.

Максимальное значение остаточных деформаций кож верха обуви происходит при увлажнении сорбцией влаги из воздуха при массовой конденсации влаги в капиллярах.

Влажность одного и того же материала может изменяться в значительных пределах. Однако после продолжительного пребывания материала с произвольной начальной влажностью в данных метеорологических условиях влажность его стремится к известному пределу, по достижении которого остается постоянной. Эту устойчивую влажность материала называют **равновесной**. При равновесной влажности давление водяного пара над материалом равно парциальному давлению водяного пара в окружающем воздухе.

Равновесная влажность зависит от характера материала, относительной влажности окружающего воздуха (чем она больше, тем выше равновесная влажность) и температуры воздуха (при одинаковой относительной влажности воздуха с повышением его температуры равновесная влажность снижается). Влияние температуры на равновесную влажность материала менее значительно, чем влияние относительной влажности, поэтому этим влиянием часто пренебрегают.

Кривая, изображающая зависимость влажности материала ( $W$ ) от относительной влажности воздуха ( $\phi$ ) при определенной температуре, называется **изотермой**, или кривой **равновесной влажности** (рисунок 2.3).

Из рисунка видно, что при изменении относительной влажности воздуха от 0 до 40 % влажность материала быстро возрастает, а от 40 до 70 % – почти не меняется. Это значит, что в данных условиях физико-механические свойства кожи постоянны.

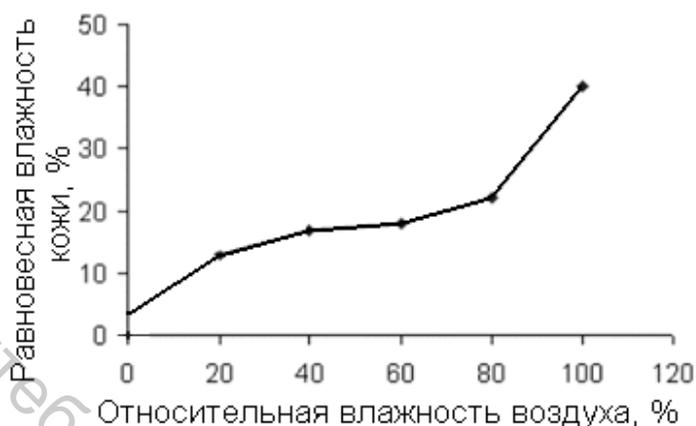


Рисунок 2.3 – Изотермы равновесной влажности кожи хромового метода дубления

С ростом относительной влажности воздуха от 70 до 100 % влажность материала резко увеличивается в связи с наступлением массовой капиллярной конденсации.

Если известна кривая равновесной влажности, можно установить заранее, как будет изменяться влажность материала в конкретных условиях и, следовательно, установить режимы увлажнения и хранения.

Равновесная влажность может быть достигнута путем поглощения влаги из воздуха, в этом случае кривую равновесной влажности называют изотермой сорбции. При установлении равновесия путем испарения некоторого количества влаги из материала – изотермой десорбции (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Изотермы сорбции и десорбции кожи

Равновесная влажность кожи при десорбции (сушке) больше, чем при сорбции влаги из воздуха. Изотермы сорбции и десорбции совпадают только в двух точках  $\varphi = 0$  и  $\varphi = 100$  %, то есть наблюдается сорбционный гистерезис.

В абсолютно сухом воздухе ( $\varphi = 0$ ) влажность кожи не равна нулю.

Равновесная влажность материала при полном насыщении воздуха влагой, то есть при относительной влажности воздуха 100 %, называется *гигроскопической* влажностью.

Скорость установления равновесного состояния зависит от различных факторов: материала, влажности воздуха. Равновесное состояние в коже, пере-

несенной из воздуха при  $\varphi = 50 - 60 \%$  в атмосферу с влажностью  $90 \%$ , устанавливается за 10 суток. Равновесная влажность полукожника хромового дубления при относительной влажности воздуха  $50 \%$  равна  $18 \%$  (в пересчете на вес абсолютно сухого материала), при влажности  $95 - 50 \%$ .

Влага поглощается материалом сверх максимального гигроскопического влагосодержания лишь при непосредственном соприкосновении его с жидкостью.

## 2.2 Основные положения теории массообмена при увлажнении

В коллоидных капиллярно-пористых телах влага может перемещаться в виде жидкости и в виде пара. Основными факторами перемещения влаги в материале является градиент влажности и температуры. Частицы влаги находятся в равновесном состоянии в материале при условии равенства температур в различных её точках и равномерном её распределении по всему объему материала.

При нарушении равномерного распределения влаги по объему материала, то есть при наличии градиента влажности влага перемещается из мест с большей концентрации влаги в места менее увлажненные.

При нарушении равенства температур, то есть при наличии *градиента* температуры влага перемещается от поверхности с высокой температурой к поверхности с более низкой температурой. При небольшом перепаде температур влага перемещается в виде жидкости, а при большом перепаде – в виде пара. Перемещение влаги по направлению потока тепла называется *термодиффузией*.

Рассмотрим капилляр с жидкостью, ограниченной двумя вогнутыми менисками (рисунок 2.5).

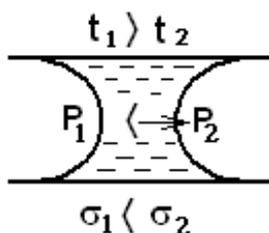


Рисунок 2.5 – Схема механизма термовлагопроводности капиллярно-пористого тела

При нагревании поверхностное натяжение изменяется. На нагретой поверхности поверхностное натяжение ( $\sigma$ ) и капиллярное давление ( $P$ ) уменьшаются, то есть если  $t_1 > t_2$ , то  $\sigma_1 < \sigma_2$  и  $P_1 < P_2$ .

Капиллярный потенциал нагретой поверхности уменьшается, и жидкость перемещается от мест более нагретых к местам менее нагретым.

Движение жидкости называется *термовлагопроводностью* капиллярно-

пористого тела. Термовлагопроводность может быть вызвана и другой причиной – наличием «защемленного» воздуха, не сообщающегося с наружным воздухом (рисунок 2.6).

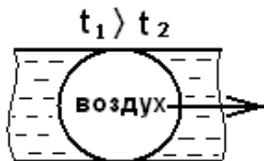


Рисунок 2.6 – Схема механизма относительной термодиффузии пара и воздуха

При повышении температуры жидкости  $t_1 > t_2$  давление защемленного воздуха увеличивается, пузырьки воздуха расширяются и перемещаются в сторону меньшего давления.

Жидкость в капилляре проталкивается воздухом в сторону слоев материала, имеющих меньшую температуру. Это явление называется относительной термодиффузией пара и воздуха.

В коллоидных капиллярно-пористых телах термовлагопроводность складывается из термодиффузии жидкости и пара, капиллярной термовлагопроводности, относительной термодиффузии пара и воздуха.

Скорость перемещения влаги прямо пропорциональна перепаду температур. Наличие и влажностного и температурного градиентов в материале повышает скорость увлажнения, если направление потоков совпадают. Если направление потоков не совпадают, то скорость увлажнения снижается.

Процесс увлажнения состоит из двух этапов. **Первый – внешний массообмен**, при котором создаются условия для того, чтобы влага из среды, в которой находится материал, попала в структуру материала. **Второй – внутренний массообмен**, при котором влага равномерно распределяется по объему материала.

**Внешний массообмен** может протекать в условиях неподвижной среды или подвижной, что оказывает существенное влияние на обменные процессы. Перенос массы в неподвижной среде осуществляется за счет молекулярной диффузии, состоящей в перемешивании вещества при постоянном давлении благодаря хаотическому движению молекул (самодиффузия).

Диффузионные процессы в движущейся среде имеют характер вынужденной конвекции. В этом случае действуют два механизма переноса массы: в результате разности концентрации вещества, вызывающей явление молекулярной диффузии, и переноса частиц вещества движущимся потоком. Совокупность переноса обоих видов составляет конвективную диффузию.

Протекание процессов *внутреннего массообмена* зависит от структуры материала и характера его связи с влагой. Перемещение влаги осуществляется внутри материала каждого слоя и между слоями заготовки.

Все твердые вещества содержат в своем составе влагу. Влага связана с веществом с различной прочностью, поэтому она обладает неодинаковыми свойствами. Виды связи влаги с материалом разбиты на три основные группы: химическая, физико-химическая, физико-механическая.

В готовой коже в основном сохраняется структура необработанного коллагена. Вода, содержащаяся в коже, связана с коллагеном химической и физико-химической связью. В готовой коже количество коллагена составляет 60 – 90 %. Кроме того кожа имеет капиллярно-пористую структуру с радиусом пор  $10^{-6} - 10^{-4}$  см, которые заполнены влагой. Наиболее прочная связь влаги с коллагеном – гидратационная и микрокапиллярная, более слабая – макрокапиллярная и влага намокания.

Для однородного материала формы связи влаги с материалом можно представить следующим образом (рисунок 2.7).

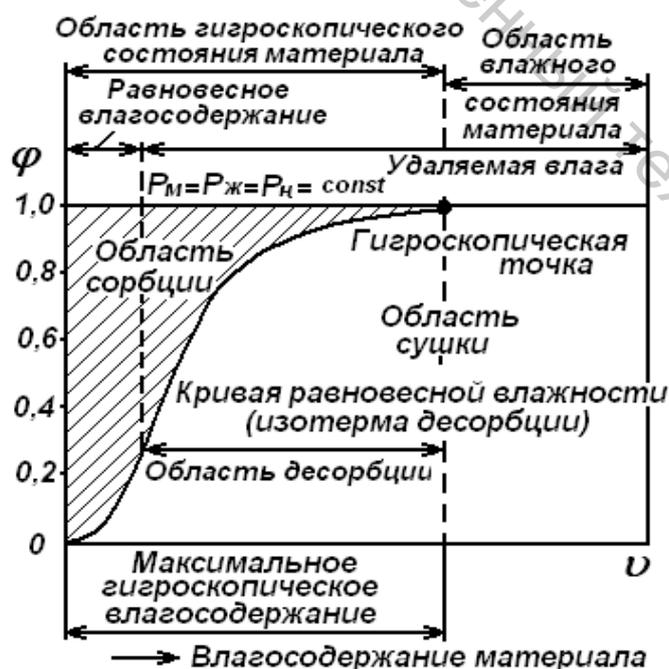


Рисунок 2.7 – Характеристика форм связи влаги с материалом

Но обувная заготовка представляет собой капиллярно-пористое и многослойное тело, и поэтому в такой конструкции могут иметь место локальные перепады влагосодержания.

Перепады влагосодержания вызваны содержанием в заготовке непроницаемых слоев (подносков из термопластических материалов), а также материалов различной структуры с различным влагопоглощением (натуральные, искусственные кожи, текстильные материалы).

Перенос влаги в заготовке зависит от таких характеристик материала, как коэффициент влагопроводности, удельная изотермическая влагоемкость, удельное влагосодержание, градиент потенциала влагопереноса, градиент температуры, градиент потенциала давления.

Удельное влагосодержание определяется отношением массы влаги, содержащейся в материале, к массе материала в абсолютно сухом состоянии.

Для заготовки верха обуви как многослойной системы при различной влагоемкости материалов возможен перенос влаги от слоя с меньшим удельным влагосодержанием к слою с более высоким влагосодержанием, поскольку на границах соприкосновения отдельных слоев имеет место скачок влагосодержания.

При интенсифицированных гигротермических воздействиях влага перемещается в виде пара, механизм перемещения которого в микро- и макрокапиллярах различен. Наряду с диффузионным перемещением парообразной влаги происходит диффузионное скольжение, перенос влаги при котором направлен против потока тепла.

Коэффициент влагопроводности и относительный коэффициент термо-влагопереноса зависят от формы связи влаги с материалами, от структуры материала, температуры и давления, и это затрудняет аналитическое рассмотрение явления переноса.

Влагосодержание материала оказывает большое влияние на **коэффициент теплопроводности**.

При изменении влажности кожи до 25 % коэффициент теплопроводности практически не меняется, что объясняется сильной энергетической связью влаги с материалом (рисунок 2.8).

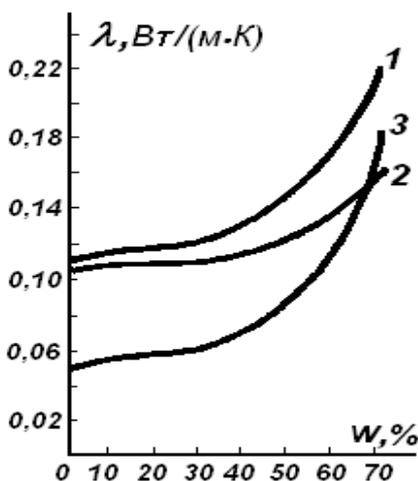


Рисунок 2.8 – Зависимость коэффициента теплопроводности  $\lambda$  от влажности кожи

Увеличение влажности свыше 25 % существенно увеличивает этот показатель, что вызвано началом конденсации влаги в микропорах кожи. Градиент температуры учитывают в тех случаях, когда в материале заготовки возникают значительные перепады температур (например, при термодиффузионном способе увлажнения).

В этом случае влага интенсивно перемещается в виде жидкого потока в направлении теплового потока и при своем перемещении транспортирует тепло к менее нагретым участкам материала. При несоответствии темпа подвода теп-

ла темпу отвода влаги при некоторых интенсифицированных воздействиях в капиллярной структуре материала образуется перегретый пар, под действием которого может произойти сваривание коллагена, что приведет к ухудшению механических свойств, а также вызовет усадку материала по площади.

На процесс переноса влаги в многослойных конструкциях в заготовке самое существенное значение имеет наличие сплошных полимерных пленок, в которых нет сквозных пор. Такие сплошные пленки в заготовке верха образуются при использовании в качестве материала верха кож с лаковым покрытием, клеевых слоев при соединении деталей заготовки (межподкладки, подкладки), вклеивании термопластичных промежуточных деталей. Прохождение влаги через сплошные пленки определяется диффузионными явлениями.

Тонкие пленочные материалы можно разбить на две группы:

- сложные пленки высокомолекулярных соединений (ВМС), в которых поры появляются как результат погрешности в процессах пленкообразования;
- пленочные пористые системы ВМС с преднамеренно пористой структурой.

В зависимости от структурных особенностей полимера наблюдается два вида диффузии: активизированная и неактивизированная. Активизированная диффузия наблюдается в сплошных пленках и покрытиях. Неактивизированная – при наличии в материалах капилляров, у которых поперечное сечение больше, чем диаметр диффундирующей молекулы ( $2,7 \cdot 10^{-10}$  м).

Диффузию паров воды в высокомолекулярных сплошных пленках объясняют наличием меж- и внутримолекулярных «дырок», которые попеременно образуются и исчезают в твердой структуре полимера вследствие теплового движения его молекул. Молекула водяного пара, попав в процессе диффузии в «дырку», вибрирует в ней до момента образования поблизости новой «дырки», в которую можно переместиться. Вероятность образования «дырок» невелика, что определяет низкую проницаемость полимеров для паров воды.

Кожу условно рассматривают как микрогетерогенную систему, состоящую из отдельных слоев волокнистой структуры, различающихся между собой диаметрами пор и капилляров. Удаление лицевого слоя кожи приводит к значительному уменьшению мелких пор диаметром  $10^{-5} - 10^{-7}$  м. Основное количество влаги проходит через поры и капилляры, в подошвенных кожах 97 % и в кожах для верха обуви не менее 99 %, и лишь совсем малое количество влаги проходит через плотную структуру материала.

Нанесение на лицевую сторону кожи полимерного покрытия резко снижает проницаемость материала для водяных паров особенно с увеличением

толщины покрытия. Паропроницаемость акрилоказеинового покрытия составляет 1,48 мг/(см<sup>2</sup>ч), акрилового – 0,94 мг/(см<sup>2</sup>ч), лакового – 0,05 мг/(см<sup>2</sup>ч).

### 2.3 Особенности влаго- и теплопереноса при гигротермических воздействиях на обувные материалы и заготовку верха обуви

Подвод тепла к материалам заготовки и его перенос внутри многослойной конструкции во многом определяется выбором метода и режима теплопередачи, а также теплофизическими свойствами обувных материалов. На процессы теплообмена оказывают влияние многие показатели, из которых наиболее существенными являются коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, коэффициент температуропроводности.

Явление теплообмена связано с затратами тепла для превращения влаги в пар и для преодоления энергии связи влаги с материалом.

Количество тепловой энергии, передаваемой материалу воздухом путем теплопередачи, можно найти по уравнению:

$$Q = F \cdot d \cdot (t_v - t_m), \quad (2.2)$$

где  $F$  – поверхность испарения, м<sup>2</sup>;

$d$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$t_v$  – температура воздуха, К;

$t_m$  – температура материала, К.

Количество тепловой энергии ( $Q$ ), отдаваемой воздухом, возрастает с повышением его температуры.

Коэффициент теплоотдачи увеличивается с ростом скорости движения воздуха, омывающего высушиваемое изделие или материал, а температура материала или поверхности высушиваемого изделия понижается с увеличением скорости движения воздуха и падения атмосферной влажности воздуха.

Сушка происходит до тех пор, пока существует разность температур воздуха и материала.

Процесс сушки представляет собой сложный комплекс явлений тепло- и влагообмена (перенос тепла и испарение влаги). Переход влаги из материала в окружающую среду характеризуется двумя процессами:

- испарение влаги с поверхности материала и перемещение её в виде пара в окружающую среду (внешний массообмен);

- перемещение влаги внутри материала из более глубоких слоев к поверхности (внутренний массообмен).

Для обеспечения процесса сушки необходимо нарушать равновесие, в котором находилась влага в материале. Равновесное состояние влаги в материале обусловлено двумя факторами:

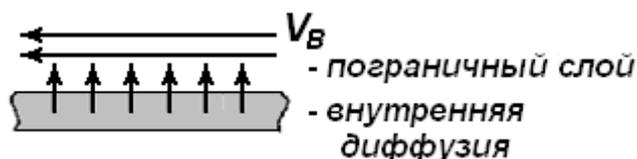
- равномерностью распределения влаги (градиентом влажности);
- равномерностью распределения температуры во всех точках по толщине и поверхности материала (градиентом температуры).

Для перемещения влаги в материале необходимо нарушать одно из этих условий или оба.

В процессе сушки происходит испарение влаги с поверхности материала, поэтому верхние слои материала имеют меньшую влажность, чем нижние, и влага в результате внутренней диффузии перемещается из мест с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией.

Источником внутренней диффузии является разность концентрации влаги между поверхностями и внутренними слоями, которая возникает в результате её испарения с поверхностных слоёв. Чем интенсивнее испарение с поверхностных слоёв, тем быстрее внутренняя диффузия и перемещение влаги к поверхностным слоям. Влага перемещается из слоёв с большей концентрацией влаги в слои с меньшей концентрацией. При испарении влаги с поверхностных слоёв влага с внутренних слоёв под действием градиента влажности будет перемещаться к поверхностным.

Интенсивность испарения во многом зависит от состояния воздуха, окружающего материал. Над поверхностью влажного материала образуется пограничный слой воздуха, влажность которого больше, чем влажность окружающего воздуха. Чтобы молекулы пара, находящегося на поверхности материала, могли пройти через этот пограничный слой воздуха, им надо сообщить дополнительную энергию.



Эта задача решается благодаря движению воздуха, окружающего поверхность высушиваемого материала.

Рисунок 2.9 – Схема процесса сушки

Для увеличения скорости испарения скорость движения воздуха  $V_B$  должна быть не менее 0,5 м/с.

Для протекания постоянного испарения влаги с поверхности при сушке создаются условия для возникновения температурного градиента, как наиболее эффективной движущей силы для внутреннего перемещения влаги.



тической точке ( $W'_k$ ), то температура материала почти весь период сушки будет приблизительно равна температуре мокрого термометра и высокая температура воздуха не приведет к порче материала.

Начальный период сушки, характеризуемый отрезком  $AB$  кривой, называется периодом прогрева материала. За период прогрева температура влажного материала  $t_v$  повышается до температуры мокрого термометра  $t_m$  при данном режиме сушки. При сушке тонких материалов (например, кожи), имеющих относительно большую поверхность испарения, начальная стадия прогрева материала настолько мала, что ее не всегда удается обнаружить.

В следующий период, характеризуемый прямолинейным участком  $BC$  кривой сушки, скорость испарения влаги достигает максимальной величины. В этот период скорость сушки, равная тангенсу угла наклона касательной к кривой сушки в любой точке, является величиной постоянной. Температура материала также остается постоянной и равной температуре мокрого термометра.

Поэтому период, соответствующий отрезку  $BC$  кривой сушки, называется периодом *постоянной скорости сушки*, или периодом *поверхностного испарения*, так как скорость испарения влаги равна скорости испарения ее со свободной поверхности при одних и тех же параметрах сушки.

Продолжительность периода постоянной скорости сушки зависит от начальной влажности  $W_n$  материала и режима процесса: чем выше начальная влажность  $W_n$  и мягче режим сушки, тем длительнее период постоянной скорости.

Период постоянной скорости продолжается до гигроскопического влагосодержания  $W'_k$ , которое на кривой сушки отмечается точкой  $C$  (первая критическая точка). Начиная с данного момента, скорость сушки уменьшается пропорционально уменьшению влажности материала до равновесного влагосодержания (точка  $D$ ). Температура материала постепенно повышается до температуры окружающего воздуха. Влага из внутренних слоев материала перемещается к поверхности под действием градиента влажности. Период, соответствующий участку  $CD$ , называется *периодом убывающей скорости сушки*.

Период убывающей скорости для ряда пористых материалов делится второй критической точкой  $K$  на зону внешней диффузии ( $CK$ ) и зону внутренней диффузии ( $KD$ ). Вторая критическая точка соответствует гидратационному влагосодержанию  $W''_k$ . С достижением равновесной влажности процесс испарения прекращается, температура материала остается равной температуре окружаю-

щего воздуха. На кривой сушки это установившееся состояние изображается прямой, параллельной оси абсцисс, с ординатой, соответствующей равновесной влажности  $W_p$  при данных условиях.

В период убывающей скорости существует градиент температуры, направленный внутрь материала, который уменьшается по мере приближения его влажности к равновесной и который при конвективной сушке препятствует перемещению влаги из внутренних слоев к внешним.

## 2.5 Кривые скорости сушки

Внешним признаком сушки является изменение массы материала во времени. Зная начальную влажность и массу материала, можно определить его влажность в процентах в любой момент сушки по формуле:

$$W_x = \frac{G_x}{G_y} (100 + W_1) - 100, \quad (2.3)$$

$W_x$  – влажность материала на абсолютно сухую массу в данный момент сушки, %;

$G_x$  – масса материала в данный момент времени, кг;

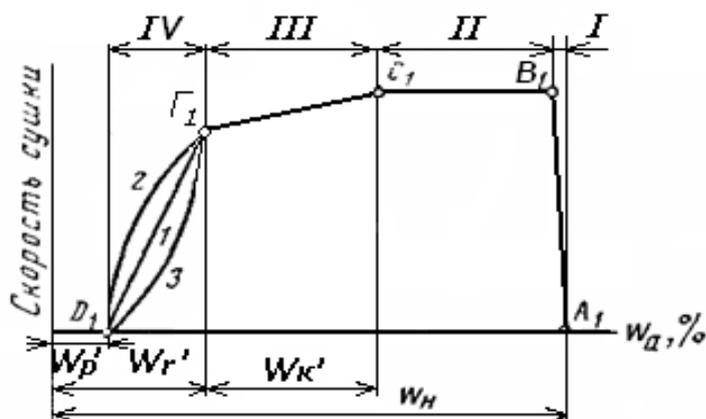
$G_y$  – масса материала до сушки, кг;

$W_1$  – влажность материала на абсолютно сухую массу до сушки, %.

Изменение абсолютной влажности материала в единицу времени будет первой производной функции:

$$-\frac{dW}{d\tau} = f_1(\tau). \quad (2.4)$$

Знак минус указывает на то, что с течением времени влажность материала уменьшается. Кривую скорости сушки можно получить из кривой сушки методом графического дифференцирования.



I – период прогрева материала;

II – период постоянной скорости сушки;

III, IV – периоды убывающей скорости сушки

Рисунок 2.11 – Кривая скорости сушки

Так как во время сушки влажность материала уменьшается, то при анализе кривых скорости сушки их следует читать в обратном порядке – справа налево.

Период прогрева материала на кривой скорости сушки изображается отрезком  $A_1B_1$ . Происходит прогревание материала и в точке  $B_1$  достигается максимальная скорость испарения. Отрезок  $B_1C_1$  характеризует период постоянной скорости. В период от точки  $A_1$  до точки  $C_1$  с поверхности материала, а также из крупных пор и капилляров, заполненных водой, удаляется влага намокания, происходит снижение уровня влагосодержания на 70 – 80 %. На этом этапе процесс подчиняется законам испарения жидкости в воздух со свободной поверхности, поэтому при стабильных внешних условиях скорость сушки на отрезке  $B_1C_1$  постоянна. Когда количество влаги в поверхностном слое материала уменьшается и становится близким к сорбционной емкости, испарение влаги замедляется в связи с тем, что скорость подачи ее к поверхности меньше, чем скорость испарения. Наступает третий этап сушки (от точки  $C_1$  до точки  $\Gamma_1$ ) – испарение влаги с ненасыщенной поверхности. На этом этапе происходит испарение капиллярной влаги. После испарения всей влаги из макропор опять наступает переломный момент (точка  $\Gamma_1$ ), и скорость сушки еще больше падает.

На третьем этапе сушки (от точки  $\Gamma_1$  до  $D_1$ ) испаряется гидратационная (гигроскопическая) влага  $W_r$ , которая связана с материалом.

Кривые скорости сушки различных материалов на участке  $\Gamma_1D_1$ , имеют неодинаковый вид: 1 – тонкого картона; 2 – ткани, кожи верха обуви; 3 – керамических материалов. Различная форма кривых обусловлена формой соединения влаги с материалом и характером ее перемещения.

Наличие того или иного периода сушки обусловлено особенностями структуры и начальной влажностью материала.

Рассмотрим *изменение физико-механических свойств материала* на этих этапах сушки.

В первый период при испарении влаги намокания механические свойства материала не изменяются, уменьшается только его масса в связи с удалением воды.

На втором этапе испарения влаги с ненасыщенной поверхности, то есть с момента испарения капиллярной влаги  $W_k$  начинают изменяться площадь и объем кожи. Если неправильно подобраны параметры сушки, поверхностный слой материала пересушен, а внутренний, например задник, еще не отдал избыточную влагу, то после съема обуви с колодки влажность по слоям начинает выравниваться. Внутренние детали отдают избыточную влагу, сокращаются в размерах, наружные пересушенные слои ее забирают, их размеры увеличиваются, что приводит к короблению деталей, образованию морщин и складок на

заготовке верха обуви. Для устранения этих недостатков следует подбирать оптимальные параметры сушки.

А. В. Лыковым установлено, что между градиентом влажности и режимом сушки имеется зависимость:

$$\frac{dU}{dn} = A(\mathcal{D}_i - \mathcal{D}_a) / D, \quad (2.5)$$

где  $\frac{dU}{dn}$  – перепад влагосодержания на единицу толщины материала (градиент влажности материала);

$A$  – коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха над материалом;

$D$  – коэффициент диффузии;

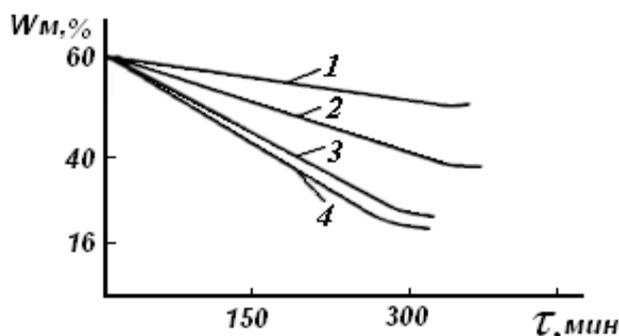
$P_m$  – давление пара у поверхности материала;

$P_a$  – давление пара в воздухе.

При оптимальной сушке, то есть для получения в конце процесса равномерно высушенного материала требуется, чтобы градиент влажности был небольшим. Формально это означает, что числитель уравнения должен быть меньше, а знаменатель дроби больше. В числителе разность  $(P_m - P_a)$  уменьшается при условии использования воздуха низкой температуры и сравнительно сильно насыщенного влагой.

Скорость движения воздуха (в точке  $A$ ) должна быть тоже невелика. Но указанные условия вступают в противоречие с требованием увеличения коэффициента диффузии, который зависит от температуры и влажности материала: чем они выше, тем больше коэффициент. Следовательно, это компромиссная задача с противоречивыми требованиями, и каждый раз требуется искать оптимум параметров процесса сушки, который будет изменяться в зависимости от свойств материала.

Большое влияние на длительность сушки кроме температуры оказывает скорость движения воздуха. Скорость движения воздуха в сушилках обычно составляет 2 – 3 м/с. Чем выше скорость движения воздуха, тем больше влаги удаляется за один и тот же период времени (рисунок 2.12).



Температура сушки  $T = 55^\circ\text{C}$ ,  
относительная влажность  $\varphi = 30\%$ .

1 – 0,5 м/с; 2 – 2 м/с;

3 – 3 м/с; 4 – 4 м/с.

Рисунок 2.12 – Зависимость влажности материала от скорости движения воздуха

Скорость движения воздуха оказывает большое влияние на продолжительность сушки (рисунок 2.13), однако увеличение скорости теплоносителя требует значительных расходов электроэнергии.

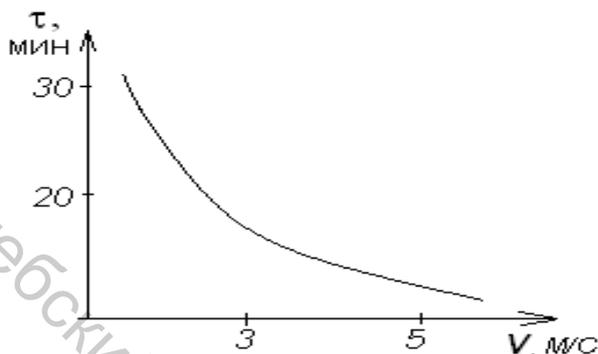


Рисунок 2.13 – Зависимость времени сушки от скорости движения воздуха

Кроме этого, увеличение скорости воздуха целесообразно только в первом периоде сушки, во втором периоде повышение скорости незначительно увеличивает интенсивность сушки.

В обуви наиболее влажными являются внутренние детали ( $W = 35 - 40 \%$ ). Наружные детали заготовки верха обычно содержат влаги значительно меньше. При отсутствии операции увлажнения влажность деталей заготовки верха обычно не превышает  $16 - 18 \%$ .

При удалении влаги из внутренних деталей обуви решающую роль наряду с режимом сушки играет паропроницаемость кож. Время сушки увеличивается соответственно уменьшению паропроницаемости кож, которая зависит в основном от типа покрытия. По мере снижения паропроницаемости покрытия располагаются в следующем порядке: казеиновое, акриловое, нитроцеллюлозное, масляное (лак), юфть, искусственные кожи с ПВХ покрытием.

Имеет значение также взаимное направление движения воздуха и обуви: **прямоточное** – обувь и воздух движутся в одном направлении, **противоточное** – обувь и воздух движутся навстречу друг другу. Чаще всего используются смешанные системы: обувь попадает в зону охлажденного воздуха, затем нагретого воздуха, опять в зону охлажденного воздуха. Первую половину пути в зоне нагретого воздуха обувь проходит по противоточной системе, а вторую половину – по прямоточной.

Для сушки обуви, имеющей увлажненные детали из кож низкой температуры сваривания, рекомендуется прямоточная система, для остальной обуви – противоточная.

Для сушки по прямоточной системе температура обуви должна быть  $40 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$ . При противоточной системе температура входящего воздуха равна  $65 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$ , выходящего –  $50 - 55 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3 МЕТОДЫ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ОБУВИ

В обувном производстве используются гигротермические воздействия для улучшения формовочных свойств материалов и для фиксации формы верха обуви. Для придания обувной заготовке формовочных свойств используются различные методы увлажнения, влажно-тепловой и тепловой пластификации. Для фиксации формы используются различные методы сушки, влажно-тепловой и тепловой фиксации, а также охлаждение полуфабриката обуви.

В данной главе рассматриваются различные методы гигротермических воздействий и их технологические особенности.

#### 3.1 Методы увлажнения заготовок верха обуви

В обувном производстве используется несколько методов увлажнения: *увлажнение в жидкой фазе, сорбционный, контактный (термодиффузионный)*.

##### 3.1.1 Увлажнение в жидкой фазе

Увлажнение *в жидкой фазе* происходит при непосредственном контакте детали с увлажнителем.

Используются следующие виды увлажнения в жидкой фазе:

- намокание в течение 15 – 30 мин с последующей пролежкой в течение 2 – 3 ч;
- нанесение увлажнителя на лицевую поверхность кожи или на лицевую и бахтармянную при помощи кисти или пульверизатора (на жесткие кожи) с последующей пролежкой в течение 20 – 60 мин;
- увлажнение кратковременным погружением деталей с последующей пролежкой в течение 1,5 – 2 ч.

В качестве увлажнителя используется дисциплированная или обычная вода с добавлением спирта этилового (3 %) и поверхностно активного вещества (1 %). Использование увлажнителя облегчает процесс смачивания и увеличивает скорость массообмена, особенно для кож с повышенным содержанием жира. Для эластичных кож дополнительно может добавляться глицерин. Повышение температуры увлажнителя уменьшает время пролежки, но при высоких температурах происходит вымывание дубящих веществ. Оптимальная температура увлажнителя – 30 – 35 °С. Применяются увлажнители: ОП – 7, ОП – 10, Brawopil.

Подогрев воды и введение поверхностно активных веществ улучшают смачиваемость, повышается скорость увлажнения, особенно юфти, но вымывание жиров и наличие остатков поверхностно активных веществ снижают ее водостойкость.

Детали верха увлажняются при *нормальном (атмосферном) давлении*, а детали низа – при *повышенном давлении или в вакууме*.

При увлажнении в жидкой фазе *внешний массоперенос* заключается в том, что влага, попадая на поверхность материала, в первую очередь заполняет более крупные поры (это влага намокания). После увлажнения осуществляется пролежка, увлажненные детали закрывают мешковиной, пленкой для предотвращения сушки. Во время пролежки осуществляются процессы внутреннего массопереноса. Вначале влага за счет капиллярного всасывания проникает в более крупные капилляры. Влага перемещается из более увлажненных мест в менее увлажненные. Перемещение влаги в толщу кожи осуществляется в виде жидкости, поэтому этот процесс длительный.

При увлажнении в жидкой фазе наряду с капиллярным всасыванием происходит движение влаги в материале под влиянием градиента влажности, направленного внутрь материала. Когда температура воды выше температуры увлажняемого материала, процесс перемещения влаги сопровождается термодиффузионными явлениями. При кратковременном погружении материала наружные слои содержат максимальное количество влаги. Для выравнивания количества влаги по слоям материала применяется пролежка (рисунок 3.1).



1 – распределение влаги по слоям кожи до пролежки;  
2 – после пролежки

Рисунок 3.1 – Распределение влаги по слоям кожи при увлажнении в жидкой фазе

Скорость капиллярного всасывания влаги пропорциональна радиусу капилляров, поэтому в первую очередь заполняются наиболее крупные капилляры. Затем из крупных капилляров влага перемещается в более мелкие (микрокапилляры). Объем крупных капилляров в 10 раз превышает объем мелких, в связи с чем, значительная часть воды остается в крупных капиллярах и оказывается балластом, так как она не изменяет механических свойств кожи. Различные топографические участки кожи при этом обводняются неодинаково вслед-

ствие неравномерного распределения крупных капилляров по площади кожи (полы и вороток поглощают влаги больше, чем чепрак и огузок).

Влага, поднимаясь по капиллярам, растворяет и заставляет мигрировать вместе с собой растворимые вещества в коже, вызывает их скопление в отдельных местах, потеки и неравномерную окраску. Концентрация водорастворимых веществ в лицевом слое после сушки заготовок приводит к его ломкости. При этом способе увлажнения ухудшается внешний вид заготовок верха обуви из кож хромового дубления. Из юфти вымывается жир.

При этом способе увлажнения можно достичь значительной влажности заготовок до 35 %. Метод не требует специального оборудования, но, тем не менее, не удовлетворяет требованиям современной обувной технологии, так как ухудшает свойства материалов, их внешний вид. Степень обводнения отдельных деталей бывает чрезмерной, большая часть влаги является балластной, то есть влага, находящаяся в крупных порах и не оказывающая влияние на свойства кожи, но для её удаления из материала требуется длительная сушка.

Этот способ увлажнения используется для жестких, толстых кож, например для юфти. Применение этого способа также целесообразно при отсутствии оборудования для других способов увлажнения, а также для заготовок с подкладкой из текстильных материалов, так как в этом случае текстиль отворачивается, и увлажняются только наружные детали верха. Нельзя применять его для светлых, ярких кож, так как возможно изменение цвета, образование пятен и подтеков.

При осуществлении увлажнения при повышенном давлении или в вакууме быстрее происходит процесс внешнего массообмена, то есть влага быстрее смачивает материал, быстрее заполняются крупные поры. При увлажнении с повышенным давлением материал получает меньшее количество избыточной влаги. Для реализации этого способа увлажнения используется установка УДН-О.

**Увлажнение в вакууме.** Используется для кожаных деталей перед их прикреплением. При таком способе увлажнения можно добиться влажности 30 – 40 %. Детали загружаются в герметичную камеру, из которой откачивают воздух до необходимого разрежения. В вакууме детали выдерживают в течение 1 – 2 минут. Затем камеру заполняют водой комнатной температуры, и в камере восстанавливается атмосферное давление. Вода быстро проникает в капилляры кожи, давление в которых ниже атмосферного. Общее время увлажнения, включая загрузку и выгрузку деталей, составляет 5 – 6 мин.

Недостатки: сложность реализации способа и эксплуатации вакуумных установок, материал получает значительное количество балластной влаги, которая остается в крупных порах и увеличивает время сушки.

**Увлажнение под давлением.** Детали загружают в решетчатую кассету, которую опускают в заполненный водой цилиндр. Заданное давление воды (300 МПа) создается при помощи масляного гидроцилиндра. Вода сжимает воздух в капиллярах, проникает на значительную глубину и адсорбируется капиллярами. Время воздействия при увлажнении подошв составляет 60 с. После снятия внешнего давления воздух, защемленный в капиллярах, расширяется и вытесняет воду. Детали под воздействием давления увлажняются более равномерно по толщине и по площади.

Режимы увлажнения в жидкой фазе представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Режимы увлажнения в жидкой фазе

| Режимы:                       | При атмосферном давлении  |                                       | Под давлением                         | В вакууме                             |
|-------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| - время                       | Кратковременное<br>5 – 10 с   | Длительное намоканием,<br>более 10 с  | 1 – 2 мин                             | 1 – 2 мин                             |
| - температура, °С             | 35 – 40   | 23 – 30                               | Вода комнатной температуры            | Вода комнатной температуры            |
| - пролежка, мин               | 20 – 30   | 1,5 – 2 ч                             | -                                     | -                                     |
| - давление, МПа               | -   | -                                     | 300                                   | -                                     |
| - привес влаги в заготовке, % | до 18   | 20 – 35                               | 30 – 40                               | 30 – 45                               |
| - область применения          | Обувь специального назначения, рабочая, с верхом из юфти, повышенных толщин | Детали низа обуви из натуральной кожи | Детали низа обуви из натуральной кожи | Детали низа обуви из натуральной кожи |

### 3.1.2 Сорбционный способ увлажнения

*Сорбционный способ* увлажнения основан на сорбировании (поглощении) влаги материалом из воздуха.

Сорбция – процесс поглощения влаги, происходит по двум механизмам:

- поглощение поверхностью материала – адсорбирование;
- проникание внутрь материала.

Сорбционный метод основан на способности материала поглощать влагу из окружающей среды, когда начальная влажность материала ниже равновесной влажности при заданных параметрах среды. Способность материалов поглощать влагу зависит от многих факторов: химической природы, надмолекулярной структуры, характера поверхности.

Сильнополярные гидроксильные группы, находящиеся в коже и целлюлозе, обеспечивают высокую гигроскопичность материала, то есть способность поглощать влагу по сравнению с синтетическими, искусственными материалами, у которых нет гидроксильных групп.

В первый момент сорбции наибольшее количество пара поглощается поверхностными слоями кожи. В процессе сорбции пара из воздуха выделяется тепло, поэтому температура поверхностных слоев материала повышается. Когда поверхностные слои обводнились, максимум поглощения влаги передвигается к центру, вызывая перемещение температурного максимума. С момента, когда толщина адсорбируемого слоя станет равна  $10^{-5}$  см, пар конденсируется в капиллярах поверхностных слоев кожи, создавая градиент влажности и диффузию жидкости в увлажняемом материале. Таким образом, при поглощении влаги из воздуха конденсация начинается в самых мелких капиллярах, диаметр которых не превышает  $10^{-5}$  см, то есть обводняются те капилляры, влага которых меняет способность кожи к деформации при растяжении.

Сорбционный способ обеспечивает равномерное увлажнение материала, так как мелкие и средние капилляры, в которых конденсируется капиллярная влага, распределены по коже равномерно, их расположение почти не зависит от топографического участка кожи. Материал верха увлажняется по всей площади, что улучшает процесс формования и повышает формоустойчивость обуви. При этом способе материал можно увлажнить в больших интервалах влажности и в материале отсутствует балластная влага.

При сорбции не происходит растворение и миграция водорастворимых веществ, кроме этого этот метод обеспечивает равномерное обводнение структуры кожи вне зависимости от топографических участков кожи.

Недостатки сорбционного способа:

- длительность процесса;

- увлажняются не только детали из кожи, но и текстильная подкладка;
- трудно определить истинное распределение влаги между слоями заготовки;

- при увлажнении заготовок пачками наблюдается неравномерность достигаемого привеса влаги между отдельными заготовками (крайние заготовки увлажняются в большей степени).

Для заготовок верха обуви, особенно цветных, наиболее рационально увлажнение сорбцией влаги из воздуха. Одним из основных требований является высокая (не ниже 97 %) насыщенность увлажняющего воздуха, так как в противном случае не будет массовой капиллярной конденсации. Чтобы обеспечить такое насыщение воздуха влагой, увлажнительная камера должна быть достаточно герметичной.

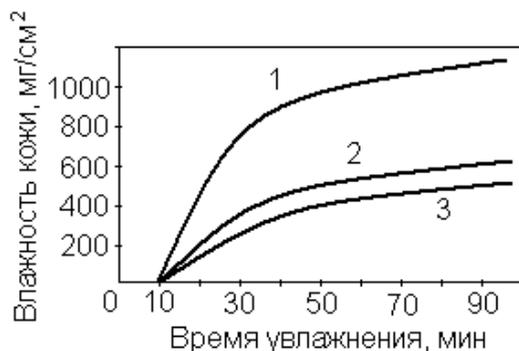
Добиться высокой герметичности увлажнительной камеры трудно, поскольку необходимы непрерывные загрузка и выгрузка увлажняемых деталей. Одним из рациональных решений может быть камера Г-образной конструкции, в которой загрузочное отверстие размещается в вертикальной части, а рабочая зона – в горизонтальной, расположенной под потолком. В этом случае подогретый влажный воздух, который легче атмосферного, не будет опускаться к загрузочному отверстию, благодаря чему рабочая зона будет достаточно герметична.

Для ускорения процесса увлажнения необходимо создать движение паровоздушной смеси в камере. Движение воздуха способствует диффузии молекул пара через слой воздуха, прилегающий к поверхности кожи. Интенсивность сорбции влаги особенно возрастает при увеличении скорости движения воздуха от 0 до 0,5 м/с, при дальнейшем повышении скорости действие ее ослабляется. Такое явление связано с повышением температуры кожи и увеличением теплоотдачи от кожи в воздух при большей скорости сорбции, причем коэффициент диффузии возрастает медленнее коэффициента теплоотдачи. При движении воздуха со скоростью больше 0,5 м/с температура кожи увеличивается медленнее, что замедляет и скорость сорбции. Учитывая большое сопротивление движению воздуха находящихся в камере деталей или заготовок обуви, скорость движения паровоздушной смеси в рабочей зоне камеры рекомендуется в пределах 1 – 2 м/с. Воздух должен насыщаться не примешиванием к влаге готового пара, а испарением распыленной влаги. При насыщении паром излишки его, конденсируясь на поверхности увлажняемых предметов, вызывают потеки и изменяют окраску. При увлажнении воздуха распыленной водой конденсации пара не происходит. Распылять воду можно форсунками любой системы. Для

испарения влаги необходимо тепло, подводить которое рациональнее с испаряемой водой, подогревая ее до высокой температуры (80 – 90 °С), не доводя до кипения.

Ускорить поглощение влаги из воздуха можно, подогревая готовую паровоздушную смесь. Однако значительное повышение температуры смеси затрудняет полное насыщение воздуха паром, так как с увеличением температуры относительная влажность воздуха снижается. Кроме того, подогревание влажного воздуха до температуры 60 – 65 °С приводит к тому, что в начале процесса температура поверхности кожи за счет теплоты сорбции будет на 15 – 17 °С выше температуры увлажняющего воздуха, то есть 80 – 82 °С, что может отрицательно повлиять на качество кожи. При такой температуре увлажняющего воздуха температура кожи к концу увлажнения будет близка к 60 °С. Когда детали или заготовки будут вынуты из увлажнительной камеры и помещены в атмосферу наружного воздуха (18 – 20 °С), из-за большого перепада температуры влага начнет перемещаться путем термодиффузии из внутренних слоев на поверхность материала, с которой будет быстро испаряться.

В увлажнительную камеру рекомендуется подавать паровоздушную смесь, подогретую до температуры 35 – 45 °С. На скорость поглощения влаги кожей при всех способах увлажнения значительно влияет направление потока влаги. Движение ее от лицевой поверхности к бахтармянной происходит медленнее, чем в противоположном направлении (рисунок 3.2).



- 1 – от бокового среза внутрь;
- 2 – от бахтармянной поверхности к лицевой;
- 3 – от лицевой поверхности к бахтармянной

Рисунок 3.2 – Кривые влияния направления движения влаги на скорость поглощения её кожей

Особенно резко повышается скорость поглощения влаги при движении ее от бокового среза внутрь кожи. Большая скорость перемещения влаги от бахтармянной поверхности кожи к лицевой объясняется двумя причинами:

- более тесным переплетением волокон лицевого слоя, сужающим капилляры, при хорошей смачиваемости стенок капилляров это вызывает дополнительное движение влаги к лицевой поверхности;

- бахтармянный слой больше набухает, чем лицевой, и в нем задерживается больше воды.

Различная скорость движения влаги сквозь толщу кожи и вдоль ее поверхности через боковой срез связана с тем, что степень переплетения волокон в горизонтальном направлении выше, чем степень переплетения их в направлении вертикальном. Поэтому движение влаги вдоль поверхности происходит главным образом по капиллярам примерно одинакового сечения. При движении влаги сквозь толщу кожи плотно переплетенные волокна оказывают значительное сопротивление прохождению жидкости.

Сорбционный способ увлажнения реализуется в следующих вариантах:

- при постоянных параметрах паровоздушной среды;
- при переменных параметрах паровоздушной среды (меняется температура);
- при переменных параметрах паровоздушной среды (меняется давление);
- сорбционный циклический.

При сорбционных способах увлажнения максимально сохраняются эксплуатационные свойства кожи, не происходит снижения температуры сваривания, не повышается жесткость кожи.

В таблице 3.2 представлены режимы сорбционного метода увлажнения с постоянными и переменными параметрами.

Таблица 3.2 – Режимы сорбционного метода увлажнения

| <i>Режимы:</i>                              | <i>С постоянными параметрами</i>                              | <i>С переменными параметрами</i>              |
|---|---|---|
| <i>-температура, °С;</i>                    | <i>35 – 38;<br/>для юфти 50 – 55</i>                          | <i>1 этап – 45 – 50;<br/>2 этап – 18 – 20</i> |
| <i>-относительная влажность воздуха, %;</i> | <i>98 ± 1</i>   | <i>1 этап – 97 – 98;<br/>2 этап – 97 – 98</i> |
| <i>- скорость движения воздуха, м/с;</i>    | <i>0,5</i>  | <i>0,5</i>                                    |
| <i>-время увлажнения</i>                    | <i>1–2,5 ч.</i>   | <i>1 этап – 40 мин;<br/>2 этап – 45 мин</i>   |
| <i>-привес влаги, %</i>                     | <i>- в заготовке верха 10 –12;<br/>- в деталях низа 6 – 8</i> | <i>- в заготовке верха 10 – 12;</i>           |

Температуру при постоянных параметрах можно менять от 30 °С до 60 °С в зависимости от влажности кожи. Оптимальной является температура – 35 –

40 °С. Оптимальной температурой паровоздушной смеси является температура 35 – 40 °С, если температура выше, то на заготовках верха влага конденсируется на поверхности заготовки, образуя тонкий слой воды, закрывающий доступ влажному воздуху к капиллярам кожи. Увлажнение в этом случае сводится к медленной диффузии влаги в структуру кожи.

Паровоздушную смесь получают несколькими способами:

- испарение разогретой воды со свободной поверхности;
- распыление воды форсунками, при этом образуется туман. Используется принудительное движение воздуха, ускоряющее движение пара в рабочую зону.

Для ускорения процесса используется **сорбционный метод с переменными параметрами среды**. Увлажнение заготовки происходит в два этапа. На первом этапе заготовки увлажняют в течение 40 мин при  $T = 45 - 50$  °С и  $\varphi = 97 - 98$  %. На втором этапе заготовки увлажняют в течение 45 мин при температуре окружающей среды и  $\varphi = 97 - 98$  %. (Оборудование: камера УУЗ).

На первом этапе увлажнения происходит конденсация паров влаги в объеме крупных капилляров, без конденсации пара на поверхности заготовки, так как температура в первой зоне значительно превышает точку росы.

На втором этапе происходит постепенное охлаждение заготовки до температуры окружающей среды при высокой влажности, что снижает потери влаги при охлаждении заготовки.

Этот метод увлажнения позволяет получить привес влаги 10 – 12 %. По сравнению с увлажнением с постоянными параметрами среды продолжительность повышается в два раза.

При увлажнении **вакуумно-сорбционным методом** переменным параметром является давление. Метод разработан для увлажнения заготовок из кожи верха повышенных толщин (юфть). Метод позволяет значительно интенсифицировать процесс увлажнения заготовок повышенных толщин за счет градиента давления. Привес влаги для юфти при этом методе увлажнения составляет 8 – 10 %, для кож хромового метода дубления – 12 – 18 %. При этом методе увлажнения меняется сам механизм переноса влаги внутри материала с диффузионного, реализуемого при других методах увлажнения, на эффузионный (молекулярный), скорость которого намного превышает диффузионный.

С помощью вакуумного насоса в камере с заготовками создается вакуум, после чего в камеру подается насыщенный пар от парогенератора ( $T = 70 - 75$  °С,  $\tau = 3$  мин, давление начальное  $(1 \div 2) \cdot 10^4$  Па, давление конечное  $(3,5 \div 4,5) \cdot 10^4$  Па). По мере подачи пара давление в камере повышается. (Оборудование:

установка Lotehs ф. SATRA).

Институт SATRA (Англия) разработал *сорбционный циклический метод увлажнения*, который по существу можно назвать термодиффузионным бесконтактным методом. Заготовка сначала помещается в горячую влажную среду ( $T = 70 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $W = 97 - 99 \%$ ), при этом происходит конденсация воды на поверхности заготовки. Затем заготовка перемещается во влажную холодную среду ( $T = 20 - 22 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $W = 97 - 98$ ,  $V = 8 - 10 \text{ м/с}$ ), создаваемую быстрым потоком холодного воздуха, увлажняемого впрыскиванием воды. В этой среде заготовка охлаждается, оставаясь влажной. Когда заготовка остывает до температуры цеха, она снова перемещается во влажную горячую среду и затем влажную холодную.

При таком увлажнении заготовка имеет избыток влаги во внешнем слое, создаваемый градиент температуры ускоряет термодиффузию влаги в структуру кожи.

Продолжительность воздействия циклов составляет 2 – 4 минуты, полный цикл увлажнения – 5 – 10 мин. Преимуществом метода является высокая производительность – 6 000 пар в смену. (Оборудование: установка К 4-0 ф. SATRA).

Схема циклического увлажнения представлена на рисунке 3.3.

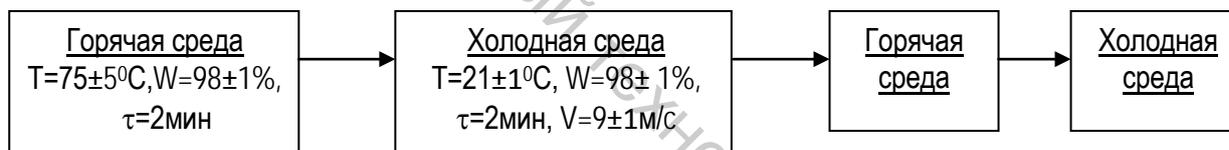


Рисунок 3.3 – Схема циклического увлажнения

Все установки для сорбционного метода увлажнения делятся на пять типов:

- установки, в которых воздух увлажняется испарением подогретой воды со свободной поверхности;
- распыленная форсунками вода испаряется струей движущегося воздуха;
- подача пара, пропущенного через воду в рабочее пространство;
- распыление воды форсунками и образование тумана в рабочей камере;
- предварительное вакуумирование заготовок верха обуви.

Все увлажнительные установки работают при различных режимах:

- при высокой температуре влажного воздуха или при температуре влажного воздуха, равной температуре окружающей среды;
- с принудительным движением воздуха (0,5 – 1,5 м/с) или с чрезвычайно малой скоростью движения воздуха, обусловленной разной плотностью воздуха в различных частях установки;

- с транспортирующим устройством для увлажняемых деталей, то есть установки непрерывного действия; и без транспортирующего устройства, то есть установки периодического действия.

В настоящее время для увлажнения заготовок верха обуви находят широкое применение установки проходного типа, в камере которых заготовка надетая на колодку, увлажняется при температуре 125 – 175 °С в течение 3,0 – 3,5 мин.

Предварительно на носочную часть заготовки может наноситься увлажнительная жидкость при помощи пульверизатора или кисти. (Оборудование: камера проходного типа 267 ф. Electrotechnica).

Увлажнение паром используется как для увлажнения заготовок клеевого метода крепления, так и для увлажнения отдельных деталей (союзов, перед предварительным формованием).

Заготовки укладывают на сетку специального приспособления над паром горячей воды (вода дистиллированная). Температура пара  $85 \pm 5$  °С, время увлажнения 15 – 30 с.

Для обуви строчечно-литьевого метода крепления объемную заготовку надевают на трубчатую форсунку приспособления для точечного воздействия паровоздушной смеси. Пар подается внутрь заготовки в течение 20 – 40 секунд при температуре  $80 \pm 5$  °С.

### **3.1.3 Термодиффузионный (контактный) метод увлажнения**

В рассмотренных методах увлажнения движение влаги осуществляется в основном под действием градиента влажности и только при увлажнении сорбцией из воздуха небольшое значение имеет перепад температуры, вызывающий термодиффузию влаги.

При контактном методе градиент температуры имеет решающее значение, так как обычно он бывает значительным. Перемещение жидкости в направлении теплового потока обусловлено всеми видами термовлагопроводности (термодиффузией, капиллярной термовлагопроводностью и относительной термодиффузией пара и воздуха), при этом скорость увлажнения повышается. Градиент влажности в этом случае также играет положительную роль. Ускорению увлажнения способствует и совпадение направлений градиентов влажности и температуры.

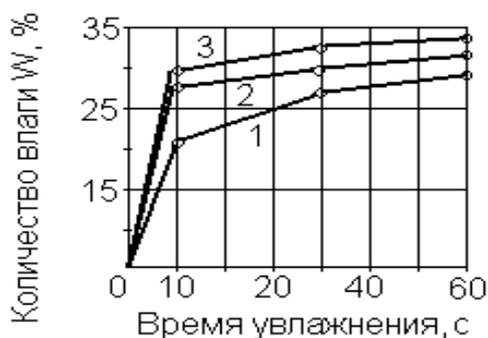
При этом методе увлажнения заготовка получает небольшой привес влаги от +1 до + 5 %, но уменьшая количество влаги, вводимой в материал, и нагревая заготовку, можно добиться значительного улучшения формуемости заготовки, как и

при увлажнении с большим привесом влаги. Влага облегчает перемещение волокон кожи при растяжении, а воздействие тепла усиливает этот процесс.

Сущность контактного метода увлажнения заключается в том, что материал кладут лицевой поверхностью на холодную плиту. Сверху на материал укладывают влагоемкую ткань-влагоноситель. Верхняя плита нагревается до температуры 75 – 125 °С. Влагу можно подавать в виде пара через отверстия нижней плиты непосредственно на бахтармяную сторону деталей.

Большой перепад температуры по слоям кожи вызывает диффузию влаги от горячей поверхности к холодной, что приводит к равномерному и быстрому увлажнению кожи. Кроме того, скорость увлажнения повышается в результате того, что часть воды, находящаяся в поверхностных слоях кожи, переходит в парообразное состояние. Пар, стремясь выйти наружу, ускоряет диффузию влаги и, проходя по капиллярам внутрь кожи, конденсируется в микрокапиллярах более холодных ее слоев. Это ускоряет процесс увлажнения и способствует равномерному распределению влаги по толщине. Увлажнение по площади также равномерно.

Имеется явная зависимость между количеством поглощенной влаги, температурой нагревателя (верхней плиты) и временем увлажнения  $\tau$ : чем выше температура верхней плиты и больше время увлажнения, тем большее количество влаги переходит из ткани-влагоносителя в кожу (рисунок 3.4). Однако режим увлажнения при контактном методе надо выбирать осторожно, так как известно, что тепловое воздействие на кожу при высокой температуре и влажности понижает ее качество.



Кривые зависимости количества поглощаемой кожей влаги от времени увлажнения и температуры верхней плиты, °С:

1 – 75; 2 – 100; 3 – 125

Рисунок 3.4 – Зависимость количества влаги от времени увлажнения при различной температуре верхней плиты

Кривые зависимости количества поглощаемой заготовкой верха обуви с текстильной межподкладкой и подкладкой влаги от времени увлажнения и температуры верхней плиты представлено на рисунке 3.5.

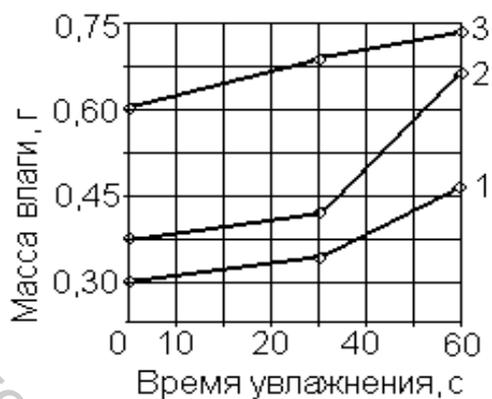


Рисунок 3.5 – Зависимость количества влаги от времени увлажнения при различной температуре верхней плиты, °C: 1 – 75; 2 – 100; 3 – 125

При температуре верхней плиты 75 и 100 °C с увеличением времени выдержки количество влаги, перешедшее в систему из ткани влагоносителя, возрастает. При температуре верхней плиты 125 °C скорость потока настолько велика, что уже через 20 с почти вся влага переходит в увлажняемую систему и дальнейшая выдержка образца в устройстве почти не увеличивает суммарную влажность, происходит лишь некоторое перераспределение ее по слоям.

При температуре верхней плиты 125 °C нагревание даже в течение 10 с снижает температуру сваривания кожи на 22 °C, в течение 60 с – на 37 °C, что свидетельствует об ухудшении показателей физико-механических свойств кожи.

При увлажнении контактным методом термостойкой юфти оптимальной является температура верхней плиты 70 – 90 °C. Температура верхней плиты ниже 70 °C замедляет процесс поглощения влаги кожей, а температура выше 90 °C приводит к интенсивной потере влаги деталями заготовки после увлажнения. Эти потери тем больше, чем выше температура верхней плиты. При повышении температуры нижней плиты снижается абсолютная влажность лицевого слоя. Следовательно, нижняя плита должна охлаждаться, температура ее должна быть стабильна. В противном случае возможно пересушивание и садка лицевого слоя при формовании.

Степень увлажнения заготовки зависит от плотности структуры материала, его покрытия, разности температур, создаваемой в материале в период увлажнения, и от времени увлажнения. Количество влаги при увлажнении возрастает с увеличением паропроницаемости покрытия кожи, разности температуры и времени увлажнения, а также с уменьшением плотности структуры материала.

Известны промышленные установки для этого метода увлажнения 2-х видов (рисунок 3.6).

В установках первого типа (рисунок 3.6 а) в качестве влагоносителя используется ткань. Холодная плита охлаждается или имеет температуру цеха. Заготовку носочно-пучковой частью кладут на влажную ткань. Холодная плита прижимает заготовку к ткани и горячей плите. Количество влаги можно дозировать. Недостатки установок первого типа, заключается в том, что влагоноси-

тель – капиллярно-пористый материал, необходимо увлажнять перед каждым воздействием на материал. Материал разрушается и требует частой замены.

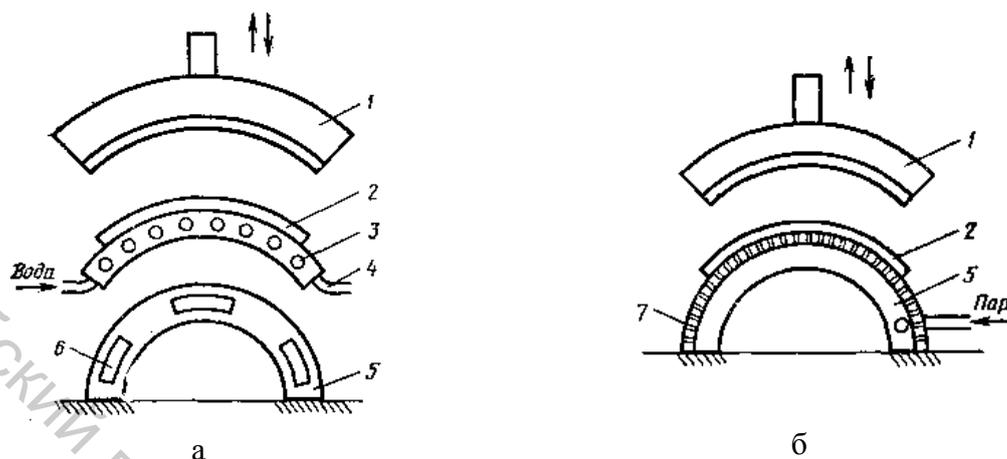


Рисунок 3.6 – Схемы установок для термодиффузионного увлажнения: 1 – холодная плита; 2 – заготовка; 3 – подушка из капиллярно-пористого материала; 4 – перфорированные трубки; 5 – горячая плита; 6 – нагреватели; 7 – пористое покрытие распределителя пара

Без влагоносителя (влагопередающей подушки) на заготовку подается пар (рисунок 3.6 б). Пар подается через перфорированную горячую плиту непосредственно на бахтармянную сторону кожи. Пар образуется при подогреве воды до кипения или подается извне. Холодная плита выполнена в виде жесткого прижима или резиновой диафрагмы, обжимающей заготовку по форме горячей плиты.

Промышленные установки УДВ-О, ТУВ-О, 331 ф. Шен осуществляют увлажнение носочной части обуви паром.

Установки для увлажнения термодиффузионным методом увлажнения ставят в непосредственной близости от затяжных машин, так как увлажненные заготовки быстро охлаждаются и теряют влагу (10 с).

Недостатки метода: нельзя увлажнить всю заготовку, а только плоские части, а также вероятно повреждение структуры кожи, так как воздействие на материал очень интенсивное – горячий пар и горячая плита.

**Пластифицирование заготовок инфракрасным облучением** – применяется при производстве обуви с верхом из искусственных и синтетических кож. Этот метод разработан УКРНИИКПом, его суть состоит в том, что носочная часть заготовки перед затяжкой облучается инфракрасными лампами мощностью 250 Ватт на расстоянии 5 – 7 см. Устройство состоит из короба, в нижней части которого вмонтированы две лампы, а в верхней устанавливается пара обуви носком вниз. Благодаря такому воздействию размягчается покрывная пленка материала заготовки и не образуется трещин при затяжке.

### 3.2 Влажно-тепловая и тепловая обработка обуви

Важным условием хорошей формоустойчивости обуви является продолжительная выдержка изделия в деформированном состоянии, что технологически и экономически невыгодно. Продолжительность выдержки в деформированном состоянии можно сократить путем воздействий, интенсифицирующих релаксационные процессы в материале.

В настоящее время в обуви широко применяют эластичные и термопластичные подноски и задники, формованные задники, быстросохнущие клеи. Для верха обуви используются эластичные кожи, не требующие значительного увлажнения. В результате изменяется роль основной сушки, так как нет больших количеств влаги и растворителей во внутренних слоях обуви. Появились предпосылки широкого применения влажно-тепловой и тепловой обработки обуви. Цель операций заключается в фиксации формы обуви и снижении уровня внутренних напряжений в деформированных при затяжке деталях.

При влажно-тепловой обработке во влажной зоне установки сначала вводится в поверхностный слой материала заготовки верха незначительное количество влаги (около 2 %). Затем в тепловой зоне заготовки верха нагреваются, при этом из неё удаляется 2 % влаги. Завершается процесс обработки воздействием холодного воздуха.

Нагревание заготовки обычно осуществляется конвективным методом для обеспечения равномерности подведения тепла к материалу, однако можно использовать и инфракрасную теплопередачу с помощью излучателей, позволяющих создать равномерную облучаемость всех участков заготовки.

Интенсивное тепловое воздействие в присутствии влаги пластифицирует материал, наблюдаются и некоторые структурные изменения. Так, снижается температура сваривания кожи и ухудшаются показатели механических свойств при появлении трещин лицевой поверхности кожи и при ее разрыве.

Установки для влажно-тепловой фиксации обычно обеспечивают следующие режимы гигротермического воздействия: во влажной зоне температура воздуха 60 – 70 °С и относительная влажность паровоздушной смеси 60 – 100 %, в тепловой зоне температура 80 – 160 °С. Режим фиксации формы обуви зависит от многих факторов, в том числе от структуры и физико-механических свойств материалов, вида и термостойкости лицевого покрытия, степени деформации, характера периодов обработки, вида источников тепловой энергии и др. Поэтому на практике целесообразно устанавливать оптимальные режимы

влажно-тепловой фиксации эмпирически в каждом конкретном случае и уточнять с учетом имеющихся рекомендаций.

Для обуви из натуральной кожи с естественной лицевой поверхностью рекомендуются следующие режимы влажно-тепловой фиксации формы обуви: температура влажной паровоздушной смеси 60 – 70 °С, продолжительность воздействия – 1,5 мин; температура нагретого воздуха – 120 – 130 °С, продолжительность – 3,5 мин; охлаждение в нормальных условиях в течение 1 мин.

Используются следующие виды установок для влажно-тепловой обработки: LF2-4(LF2-2) ф. Leibrock; 333E ф. Shön; мод. 291 ф. Electrotecnica; US 7600 ф. Iron Fox; 715 ф. Anwer.

Нагревание заготовок в установках чаще всего осуществляется конвективным методом, возможно нагревание при помощи инфракрасных излучателей.

В отдельных случаях влажно-тепловая фиксация используется и для обуви с верхом из искусственных и синтетических кож или комбинированной обуви. Однако в этих случаях решающее значение при фиксации формы обуви имеет тепловое воздействие, особенно для материалов с малой гидрофильностью.

Основная область применения *тепловой обработки* – фиксация формы обуви с верхом из искусственных и синтетических кож. При тепловой обработке заготовку верха обуви обрабатывают горячим сухим воздухом при температуре 100 – 150 °С в течение 5 – 20 мин, а на последнем этапе на неё воздействуют холодным воздухом ( $T = 20$  °С,  $\tau = 1 - 4$  мин). Режимы тепловой фиксации необходимо выбирать с учетом термомеханических кривых, а также допустимых изменений свойств искусственных и синтетических кож.

На рисунке 3.7 показано изменение внутренних напряжений растянутого материала во времени при влажно-тепловой и тепловой обработке.

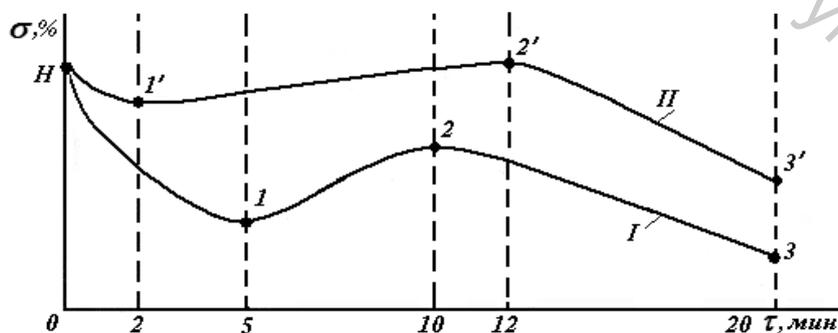


Рисунок 3.7 – Изменение внутренних напряжений растянутого материала во времени при влажно-тепловой (I) и тепловой (II) обработке

При влажно-тепловой обработке (кривая I) от начальной точки *H* до точки 1 заготовки верха обрабатывают теплым влажным воздухом, напряжение в материале снижается в результате совместного действия тепла и влаги, что влечет за собой повышение темпа перегруппировки макромолекул коллагена и их раскручивания. Затем от точки 1 до точки 2 на заготовку подают горячий сухой воздух, который высушивает материал, при этом напряжения несколько возрастают, так как происходит усадка поверхностных слоев кожи. Охлаждают изделие на участке кривой от 2 до 3 холодным сухим воздухом, напряжение падает, так как происходит некоторое увлажнение материала посредством сорбции влаги из воздуха.

При тепловой обработке (кривая II) заготовку верха обуви обрабатывают горячим сухим воздухом (участок H-2'). При этом на начальном этапе воздействия высокой температуры внутренние напряжения падают (участок H-1'), а затем повышаются вследствие возрастания усадочных процессов (участок 1'-2'). На последнем этапе на заготовку воздействует холодный воздух, внутренние напряжения снижаются вследствие сорбции влаги из воздуха (участок 2'-3').

### 3.3 Основная сушка обуви

Назначение сушки – удаление избыточной влаги и растворителей, снижение внутренних напряжений в заготовке. Способы: *конвективная, радиационная, контактная, сушка токами высокой частоты, комбинированная.*

Процесс сушки представляет собой сложный комплекс явлений тепло- и влагообмена. Переход влаги из материала в окружающую среду характеризуется двумя процессами:

- испарение влаги с поверхности материала и перемещение её в виде пара в окружающую среду (внешний массообмен);
- перемещение влаги внутри материала из более глубоких слоев к поверхности (внутренний массообмен).

Если парциальное давление пара над поверхностью материала будет больше парциального давления пара в окружающем воздухе, то влага из материала в виде водяных паров будет перемещаться в окружающий воздух. Интенсивность испарения во многом зависит от состояния воздуха, окружающего материал. На поверхности влажного материала образуется пограничный слой воздуха с влажностью большей, чем в окружающем воздухе. В этих условиях молекулам пара, находящимся на поверхности материала, необходимо сообщить дополнительную энергию, чтобы они могли прорвать пограничный слой возду-

ха и выйти в окружающую среду, это достигается движением воздуха со скоростью 2 – 3 м/с.

В процессе сушки происходит испарение влаги с поверхности материала, поэтому верхние слои материала имеют меньшую влажность, чем нижние, и влага в результате внутренней диффузии перемещается из мест с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией.

Для протекания постоянного испарения влаги с поверхности при сушке создаются условия для возникновения температурного градиента, как наиболее эффективной движущей силы для внутреннего перемещения влаги.

**Конвективный способ сушки.** Осуществляется в специальных камерах (сушилах) нагретым теплоносителем (воздухом, дымовым газом). Подогрев теплоносителя осуществляется в паровых или электрических калориферах. Этот способ используется для сушки обуви, клеевых пленок, красок, аппретур.

Сущность способа заключается в том, что под влиянием тепла влага, находящаяся в материале, испаряется и в виде водяного пара переходит в окружающий воздух. Испарение влаги происходит до тех пор, пока влажность материала не придет в равновесие с влажностью окружающей среды. Минимальное время сушки 3 ч. Сокращает время сушки повышение скорости теплоносителя, особенно в первом периоде сушки, увеличение температуры и понижение влажности сушильного агента. Имеет значение направление движения воздуха и обуви в сушилке. Чаще всего в зоне нагретого воздуха обувь и воздух движутся навстречу друг другу, а в зоне охлаждения движение воздуха и обуви совпадает.

После затяжки обуви и выполнения операции формование следа обуви полуфабрикат загружается в люлечное устройство (по три пары). Сушильные камеры разных конструкций в виде буквы «Г», буквы «П» могут служить перекидчиком полуфабриката с участка формования на подошвенно крепительный участок.

Влажность заготовки больше влажности окружающей среды, следовательно, градиент влажности направлен от заготовки в окружающую среду (рисунок 3.8).

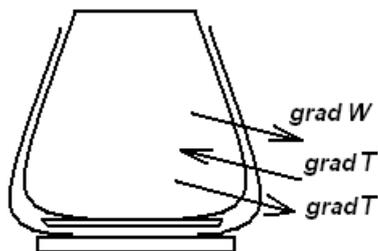


Рисунок 3.8 – Тепломассообмен при конвективном методе сушки

Температура полуфабриката обуви в нормальных условиях составляет около 20 °С, он загружается в камеру с высокой температурой ( $T = 45 - 55$  °С).

Температура полуфабриката меньше температуры воздуха, следовательно, создается градиент температуры, под воздействием которого влага перемещается внутрь обуви на подкладку. Для предотвращения этого предусмотрен обдув полуфабриката, при котором охлаждается лицевая поверхность заготовки. Под воздействием обдува происходит изменение направления градиента температуры, так как температура нижележащих слоев выше температуры поверхностных слоев заготовки. Направления градиентов температуры и влажности будут совпадать. Испарение влаги будет происходить в зоне охлаждения, а не в зоне нагрева.

Преимущества метода:

- равномерный нагрев материала заготовки;
- простота и невысокая стоимость оборудования.

Недостатки: высокий удельный расход тепла и длительность процесса.

В настоящее время практически не используется.

#### **Контактный способ сушки (кондуктивный).**

Сушка происходит при непосредственном контакте заготовки с нагретой поверхностью (пуансон, колодка). Контактный способ сушки широко используется при производстве обуви внутреннего способа формования из формованных узлов при предварительном формовании деталей на горячих пуансонах. При этом способе сушки градиенты температуры и влажности совпадают (рисунок 3.9).

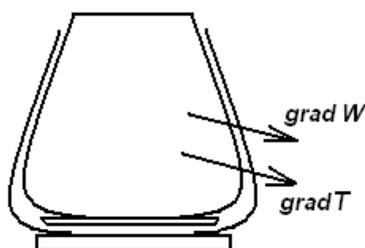


Рисунок 3.9 – Тепломассообмен при контактном методе сушки

Сильнее прогреваются слои материала, расположенные ближе к нагреваемой поверхности, кроме этого, при испарении влаги с поверхности материала его температура понижается. В результате возникает значительный градиент температуры.

Влага испаряется с поверхности заготовки, меняется концентрация влаги по слоям заготовки, в результате возникает градиент влажности и происходит диффузия влаги в виде жидкости в направлении поверхности заготовки. На время сушки оказывают влияние температура, толщина материалов, степень прижатия к греющей поверхности.

При контактной сушке на колодке при температуре пуансона – 100 – 110 °С, продолжительность обработки составляет 1 – 2,5 мин, а при температу-

ре колодки 80 – 90 °С – 20 мин.

Контактная сушка обуви выполняется при предварительном формовании носочной и пяточной частей обуви одновременно с формованием заготовок на металлических пуансонах. Температура поверхности носочно-пучкового пуансона 80 – 130 °С, температура пяточного пуансона 80 – 90 °С, время 2 – 3 минуты. Оборудование: Установки 2S14 ф. «Оттогали», ЛМ «Ринальди», машина WA-SCH3, WA-SCH5-2 ф. Leibrock.

Недостатки: необходимы металлические нагреваемые колодки; свойства материалов в результате непосредственного контакта с нагреваемой поверхностью могут ухудшиться.

Достоинства: высокая скорость процесса, высокая степень фиксации формы верха обуви.

### **Радиационный способ сушки (сушка инфракрасными лучами).**

Способ основан на подводе энергии к материалу посредством электромагнитных колебаний инфракрасного диапазона спектра. Для нагревания используется участок спектра с длиной волны от 0,77 до 12 мкм (микрон). Лучистая энергия, передаваемая материалу за счет поляризации, не только переходит в теплоту, но и разрушает связи молекул влаги с облучаемой поверхностью. Большая часть обувных материалов относится к диэлектрикам, следовательно, для них характерны в основном атомная ориентационная поляризация, которая может быть вызвана действием низких частот электромагнитного поля, начиная с инфракрасной области спектра.

По сравнению с конвективным способом сушки протекает более интенсивно, так как инфракрасные лучи проникают в толщу материала и прогревают его изнутри. Способ используется для сушки заготовок верха обуви, аппретур, красок, активации клеевых пленок. Для этой цели могут служить лампы накаливания, зеркальные лампы, ТЭНы – трубчатые нагреватели.

Излучатели делят на темные и светлые, они отличаются длиной волны. Темные ТЭНы имеют более длинную волну и меньшую проникающую способность, их используют для сушки заготовки. Светлые излучатели – это зеркальные лампы, они имеют короткую волну и высокую проникающую способность, применяют для сушки клеев, аппретур.

Недостатки: наилучший прогрев, когда лучи падают перпендикулярно, а колодка имеет сложную форму и лучи направлены под разными углами, исходя из этого происходит неравномерность прогрева материала; не подходит для сушки толстых материалов; большой расход электроэнергии; поглощение зависит от цвета поверхности, более темные поглощают лучистую энергию более ин-

тенсивно; изделие необходимо располагать вблизи ламп.

Достоинства: минимальное время сушки тонких материалов; компактность установок, простота регулирования температуры; незначительные потери тепла в окружающую среду.

Необходимо правильно подбирать излучатели. Излучатели с более длинной волной используются для сушки красок и клеевых пленок, так как дают поверхностный нагрев, а с короткой волной – для заготовок, так как они лучше проникают внутрь материала.

При радиационном способе поверхность материала нагревается больше, чем внутренние слои материала, поэтому прониканию влаги из внутренних слоев к поверхности мешает градиент температуры, направленный в противоположную сторону градиенту влажности. Кварцевые излучатели дают более короткие волны и позволяют быстрее поднять температуру внутри материала. Для устранения этого недостатка этот метод используется в комбинации с конвективной сушкой. Агрегаты: АРКС-О (на УПП), ПРКС-О (радиационно-конвективные). Скорость сушки сокращается до 40 мин по сравнению с конвективной.

#### **Сушка токами высокой частоты (ТВЧ), диэлектрическая.**

Основана на нагревании материала токами высокой частоты. Электрическая энергия преобразуется в тепловую. При этом происходит равномерное и быстрое образование тепловой энергии во всем объеме влажного материала. Материал нагревается очень быстро, внутри материала образуется пар, скорость парообразования превышает скорость переноса массы пара, поэтому возникает градиент давления, что ускоряет переноса пара к поверхности материала. Кожа состоит из полярных молекул. Такую молекулу можно представить как отрезок прямой, на концах которой находятся одинаковые по величине, но разные по знаку заряды. Под действием переменного поля молекулы стремятся стать по направлению переменного поля, это сопровождается молекулярным трением с выделением тепла. При небольших частотах поля число поворотов молекул небольшое, поэтому тепла выделяется мало. При слишком больших частотах молекулы вследствие инерции не успевают поворачиваться вслед за направлением поля, поэтому необходима определенная частота поля. Скорость нагревания зависит от частоты волны, её длины, мощности электрического поля, а также от свойств материала. Действие поля токов высокой частоты избирательно, подбирая длину волны можно избирательно воздействовать на различные материалы, быстро нагревать одни части обуви и не нагревать другие части обуви. При этом способе градиенты температуры и влажности сонаправлены, так как испарение влаги происходит на поверхности материала, это со-

провождается затратами тепла и температура поверхности материала, а также температура окружающего воздуха ниже, чем температура внутренних слоев материала.

Установка представляет собой камеру, в которой по ленте конвейера перемещается обувь. В камере создается электрическое поле высокой частоты, вследствие которого материал нагревается. Изменяя напряженность электрического тока, можно регулировать температуру. Достоинства: равномерное нагревание однородного материала; высокая скорость сушки; путем подбора длины волны можно отдельные участки заготовки нагревать больше, а другие, малоувлажненные, меньше; не ухудшает свойств кожи.

Недостатки: большой расход энергии; сложность установки; трудность подбора одного режима сушки обуви, состоящей из разнородных материалов; может возникнуть повреждение материала; нельзя использовать при наличии металлических деталей (замки, фурнитура). Не находит применения при производстве обуви.

#### **Сублимационная сушка.**

Осуществляется при низкой температуре в вакууме. Влага испаряется из льда, минуя жидкое состояние. Сушка осуществляется в три этапа:

1 – замораживание при пониженном давлении и температуре, процесс происходит быстро с образованием мелких кристаллов льда, чтобы не происходило повреждение структуры материала. При замораживании выделяется тепло, которое идет на удаление влаги, (удаляется до 20 % влаги).

2 – стадия сублимации. В вакууме к замороженному материалу подводится тепло (контактным, радиационным способом или ТВЧ). Удаляется до 60 % влаги. Тепло идет на испарение льда, материал не нагревается.

3 – удаление остаточной влаги (удаляется 20 % влаги). Материал нагревается до температуры окружающей среды.

Недостатки: большой расход энергии; сложность оборудования.

Достоинства: сохраняется пористая структура материала, возможность использования для материалов, не выдерживающих обычной тепловой обработки без разрушения свойств.

#### **Комбинированные способы сушки.**

Радиационно-конвективный; контактно-конвективный; вакуумно-радиационный; вакуумно-контактный.

Радиационно-конвективный способ реализуется в агрегатах АРКС-О, ПРКС-О.

В установке ПРКС-О совмещены основная сушка и сушка клеевой плен-

ки, нанесенной на затяжную кромку заготовки. Сушило АРКС-О имеет цилиндрическую форму. Источники тепла, керамические излучатели находятся на боковых поверхностях каркаса сушилки. Обувь располагают внутри сушилки на полках вращающейся этажерки (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Схема сушилки АРКС-О

Температура в устройстве  $50 \pm 5$  °С, 3 минуты прогрева обуви и 3 минуты холодного обдува в течение 20 – 30 мин. Время сушки не превышает 40 мин. Время выдержки в зоне нагрева и зоне охлаждения регулируется автоматически при помощи реле времени.

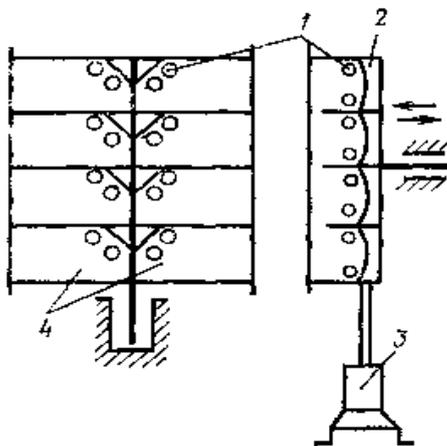
Емкость установки – 60 пар. Скорость движения воздушных масс 0,5 – 1,0 м/с. Установки данного типа находили широкое использование при производстве обуви.

#### Контактно-конвективный способ сушки.

Используются нагреваемые металлические колодки или пластмассовые колодки с металлическим напылением. Выдержка на нагреваемой колодке сопровождается конвективным обдувом. Температура поверхности колодки – 80 – 90 °С, время сушки 5 – 10 мин. Метод использовался при изготовлении обуви на полуавтоматических линиях ПЛК-О.

#### Вакуумно-радиационный способ сушки.

Для реализации этого метода существует специальное оборудование. Установка ф. «Черим» Италия состоит из двух камер. При работе установки одна из камер находится в зоне загрузки, а вторая – в зоне вакуумирования и радиационной сушки.  $P = 2,2 \cdot 10^4$  Па,  $T = 160$  °С,  $\tau = 4 - 6$  мин. При повороте на 180 градусов камеры меняются и цикл повторяется.



- 1 – инфракрасные излучатели;
- 2 – крышка вакуумирования;
- 3 – камера загрузки полуфабриката;
- 4 – полуфабрикат

Рисунок 3.11 – Схема установки для вакуумно-конвективной сушки

Величина давления влияет на формоустойчивость обуви. Величина давления не должна превышать  $2,6 \cdot 10^4$  Па, так как высокое давление снижает формоустойчивость обуви.

Вакуумно-контактный способ сушки близок к вакуумно-радиационному, заготовка обуви, находящаяся на обогреваемых колодках, помещается в вакуум.

### 3.4 Охлаждение обуви

Операция охлаждения обуви клеевого метода крепления выполняется после приклеивания подошвы, а при литевом методе крепления после прилива подошвы. Назначение операции – в течение короткого промежутка времени охладить подошву и обувь, так как при снятии обуви с колодки может произойти отклей подошвы. Происходит охлаждение обуви, кристаллизация клеевого шва и релаксация напряжений, в результате чего повышается формоустойчивость изделия. Поэтому для повышения формоустойчивости изделия можно рекомендовать производить охлаждение полуфабриката не только после приклеивания подошвы, но и после влажно-тепловой обработки. Отформованную и надевшую на колодку обувь снимают с ленты транспортера влажно-тепловой обработки и устанавливают на транспортер холодильной установки. Обувь должна быть охлаждена до нормальных условий. Продолжительность охлаждения обуви составляет 2,5 – 3,0 минуты при температуре – 5 – 15 °С.

Используемое оборудование: установка T-185 Sideko, T-187 Sideko, 387 Electrotecnica, K IG ф. Liebrock, FR 3200 ф. Iron Fox, FR 6000 ф. Iron Fox.

## 4 МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИГРОТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБУВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБУВЬ

### 4.1 Формоустойчивость обуви и критерии её оценки

**Формоустойчивость** – свойство изделия сохранять приданную ему форму в процессе хранения и эксплуатации. В комплексе свойств, определяющих качество обуви, все большее значение приобретает её способность сохранять форму в процессе хранения, транспортирования и эксплуатации.

В настоящее время оценка качества обувных материалов и обуви производится на основе нормативных документов, включающих в основном физико-механические показатели свойств материалов, прочность крепления деталей и ниточных швов, общую или остаточную деформацию подноски и задника, некоторые эргономические показатели, такие, например, как масса и гибкость обуви, требования по отнесению обуви к стандартной или нестандартной.

Показатели, характеризующие формоустойчивость обуви, не относятся к числу показателей, нормируемых требованиями НТД, носят рекомендательный характер и используются в основном только при выполнении работ научно-исследовательского характера. Между тем показатель формоустойчивости имеет большое значение при оценке качества обуви, так как этот показатель непосредственно и косвенно влияет на многие другие показатели качества обуви: эстетические, эргономические, физиологические и др., а также определяют удобство обуви, износоустойчивость и срок эксплуатации.

Показатель формоустойчивости обуви в структуре показателей качества в большей степени находит своё отражение в групповом показателе *долговечности*. Для оценки формоустойчивости предлагаются следующие единичные показатели:

- изменение размеров верха обуви (линейных, площади, объёма);
- суммарная высота складкообразования;
- величина смещения верха обуви;
- относительное отклонение площадей профилограмм;
- относительная и остаточная деформация подноски и задника;
- устойчивость каблучно-геленочной части обуви;
- формоустойчивость системы материалов, имитирующих верх обуви.

Групповой показатель *сохраняемости* предусматривает два показателя, отражающих сохранение формы обуви в период хранения и транспортирования:

- усадка верха обуви в процессе хранения;

- потеря формы в процессе хранения и транспортирования.

Формоустойчивость готовой обуви определяют на разных стадиях изготовления: сразу после снятия с колодки и в период ее хранения и эксплуатации. Формоустойчивость обуви принято подразделять на **статическую** и **динамическую**. Под статической формоустойчивостью понимают способность обуви сохранять форму после снятия ее с колодки и в последующий период до начала ее эксплуатации, а под динамической – в период эксплуатации.

По показателю формоустойчивости оценивают качество использованных материалов, рациональность технологии изготовления обуви и эффективность выполненного комплекса гигротермических воздействий.

Одним из первых методов оценки формы обуви является предложенный Ю.П. Зыбиным метод, основанный на определении стабильности размеров линий, сеток, кругов, нанесенных на заготовку, периметров сечений обуви. Эти методы используются до настоящего времени, так как они обладают достаточной точностью и могут быть получены без сложного оборудования.

Для оценки формоустойчивости использовались и другие методы, такие, как фотосъемка обуви и получение гипсовых слепков внутренней полости обуви. Основными недостатками этих методов является трудоемкость и невысокая точность результатов. Формоустойчивость обуви из синтетической кожи оценивалась высотой приподнятости носочной части, что лишь в некоторой степени может характеризовать показатель формоустойчивости.

Оценка формоустойчивости по линейным размерам хорошо учитывает степень усадки обуви, в связи с этим дает достаточно объективную информацию о формоустойчивости обуви в процессе ее хранения и транспортирования. Но данный способ не обеспечивает точность информации при оценке формоустойчивости в процессе эксплуатации, так как в достаточной степени не учитывает такие дефекты, как искажение формы, растаптывание, сваливание верха обуви, коробление и складкообразование. Достаточно часто используется не трудоемкий способ, основанный на измерениях длин контрольных линий, нанесенных на союзку в пучковой части обуви.

$$\hat{O} = \frac{l - l_0}{l_1 - l_0} 100, \quad (4.1)$$

где  $l$  – длина контрольной линии после снятия обуви с колодки;

$l_0$  – первоначальная длина контрольной линии (до формования);

$l_1$  – длина контрольной линии после формования на колодке.

Данный способ может быть использован в производственных условиях,

когда применение сложной аппаратуры является затруднительным. При его использовании необходимо учитывать сложный характер распределения деформаций по сечениям обуви. Наиболее полно учитывает анизотропию деформационных свойств материалов обмер линий, нанесенных на продольные и поперечные сечения союзки.

Более объективную оценку формоустойчивости дает способ, учитывающий изменения площадей сечений обуви. В Каунасском политехническом институте разработаны профилографический и контурографный методы определения формоустойчивости обуви, основанные на получении и сравнении продольных и поперечных профилей носочно-пучковой части обуви (рисунок 4.1).

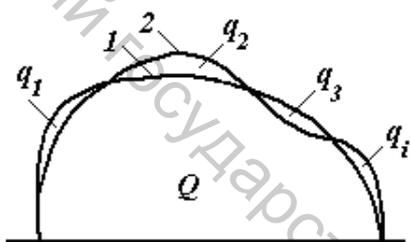


Рисунок 4.1 – Сравнение контуров поперечного сечения обуви: 1 – на колодке, 2 – после снятия с колодки

Данный способ дает высокую точность при оценке формоустойчивости обуви при эксплуатации, так как учитывает практически все сложные изменения, происходящие в обуви, однако его точность в большой степени зависит от количества полученных профилей обуви. Профилограммы получают контактным способом.

Показатель формоустойчивости определяют по формуле

$$\Phi = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta q_i}{Q} \cdot 100, \quad (4.2)$$

где  $\sum_{i=1}^n \Delta q_i$  – сумма площадей, образующихся вследствие отклонения контура соответствующего сечения от первоначального, мм<sup>2</sup>;

$Q$  – первоначальная площадь сечения, мм<sup>2</sup>;

$Q$  – первоначальная площадь сечения, мм<sup>2</sup>.

Недостатком контактного метода является зависимость его точности от жесткости материала отформованной обуви, для мягких материалов этот способ может давать большие погрешности в измерениях.

Формоустойчивость обуви оценивают как единичными показателями, так и комплексными, которые с одной стороны дают более полную информацию о формоустойчивости обуви, но с другой стороны не отражают величину отдельных единичных показателей. Разработанные методы комплексной оценки формоустойчивости обуви отличаются количеством учитываемых единичных показателей, чаще всего используется три показателя: линейный размер, площадь и

объем. Дополнительно определяется суммарная высота складкообразования, величина смещения верха обуви, периметр и подъем пучковой части. Комплексная оценка отличается значительными затратами времени на проведение измерений и расчетов.

Оценить формоустойчивость обуви можно и по одному базовому показателю – внутреннему объему обуви. Для измерения объема используют тонкостенную резиновую оболочку, которую вставляют в обувь и соединяют по принципу сообщающихся сосудов с резервуаром, наполненным жидкостью. Давление жидкости в оболочке должно соответствовать средней величине давления стопы на обувь. Сравнивая полученный в ходе испытания объем с объемом носочно-пучковой части затяжной колодки, определяют изменение внутреннего объема обуви, которое и характеризует ее формоустойчивость. Метод позволяет быстро и с высокой степенью точности определять формоустойчивость обуви, но он не дает представления о многих изменениях, происходящих в обуви при эксплуатации, таких, как искажение формы, складкообразование и сваливание верха.

Формоустойчивость в процессе эксплуатации оценивается по испытаниям в моделирующих условиях и в опытной носке. Оценка формоустойчивости в опытной носке отличается точностью, но имеет недостатки – длительность и дороговизну. При испытаниях в моделирующих условиях создаются комплексные воздействия стопы и окружающей среды: многократный изгиб, растяжение, действие пота и другие факторы.

В методах оценки формоустойчивости обуви в динамических условиях имитируется изгиб и растяжение. Изгиб осуществляется при помощи машины для циклических испытаний, а распорное устройство, находящееся внутри обуви, осуществляет растяжение обуви в области плюснефалангового сочленения. Данный способ лишь в некоторой степени имитирует реальный процесс эксплуатации обуви, так как распорное устройство не в полной мере отражает механическое взаимодействие стопы с верхом обуви.

Рядом исследователей предложено оценивать формоустойчивость по двум откликам, определяемым в статических и в динамических условиях. Для определения формоустойчивости в статических условиях используется величина относительной остаточной деформации, а для определения формоустойчивости в динамических условиях – величина относительного приращения периметра сечения обуви в пучковой части после многоцикловых нагружений. Оценка формоустойчивости производится с учетом шкалы желательности.

Разработан системный подход к проблеме формоустойчивости обуви, ос-

нованный на выделении и классификации производственных и эксплуатационных факторов, влияющих на формоустойчивость обуви. Метод позволяет при помощи математических зависимостей, отражающих взаимосвязь показателей физико-механических свойств материалов верха обуви и периметра поперечного сечения обуви в пучках, прогнозировать формоустойчивость обуви. Но в основном он имеет теоретическое значение и не нашел широкого применения.

Международный стандарт ISO 17695:2004 определяет методы испытаний верха обуви на деформируемость. Степень пригодности материалов верха оценивается величиной силы, необходимой для деформирования материалов верха обуви. Данный показатель в бóльшей степени будет определять жесткость материалов или систем материалов, составляющих заготовку, а формоустойчивость может характеризовать лишь косвенно, учитывая, что жесткая система материалов, как правило, более формоустойчива.

В описанных методах формоустойчивость определяется в готовой обуви, но недостаточно фиксировать качество готовой обуви, необходимо прогнозировать и управлять им. Поэтому всестороннее исследование свойств материалов до изготовления из них заготовки обуви является важным этапом в научно обоснованном выборе материалов для изделия, позволяющем изготовить высококачественную обувь с заданными свойствами.

Как следует из обзора научно-исследовательских работ, формоустойчивость готовой обуви чаще всего оценивается по исследованиям формоустойчивости материалов и систем материалов. Такие исследования отличаются меньшей трудоемкостью, могут быть выполнены в условиях лабораторий и позволяют прогнозировать формоустойчивость готовой обуви на стадии подготовки производства. Исследованиями показано, что оценка формоустойчивости готовой обуви по результатам исследований систем материалов является обоснованной, так как между формоустойчивостью систем материалов при двухосном растяжении и формоустойчивостью готовой обуви установлена тесная взаимосвязь.

В процессе формования и эксплуатации обуви материалы заготовки подвергаются сложному комплексу воздействий, таких, как растяжение, сжатие и изгиб, при этом растяжение является основной деформацией материала. Исходя из этого испытания на растяжение являются наиболее распространенными при оценке качества материалов и их технологической пригодности.

При формовании и эксплуатации обуви реализуются нагрузки, значительно меньшие разрывных, поэтому упруго-пластические свойства материалов определяются при одноцикловых испытаниях «нагрузка без разрыва – разгрузка – отдых». Формоустойчивость материалов и систем материалов определяется

при одноосном и двухосном растяжении. Одноосное растяжение используют в связи с тем, что механические свойства обувных материалов чаще всего определяются при этом виде нагружения, а двухосное растяжение находит широкое применение, так как оно в большей степени имитирует процесс формования заготовки верха обуви.

Обзор работ показал, что при исследовании формоустойчивости одноосное растяжение материалов осуществляется на динамометрах различных конструкций: РТ-250, «Instron-1122», Поляни, РР-10, МИП-100 и др. Разрывные машины, оснащенные криотермокамерами, позволяют выполнять исследования в интервале температур от 183К до 573К. Испытание материалов различных видов производится с использованием образцов, размеры которых рекомендуются ГОСТами для методов испытаний на растяжение.

Формоустойчивость материала при одноосном растяжении оценивается величиной остаточной деформации образца, выдержанного в деформированном состоянии.

$$\varepsilon_{in\delta} = \frac{l_{in\delta} - l_D}{l_\delta} \cdot 100, \quad (4.3)$$

где  $l_{ocm}$  – длина рабочей части образца после снятия нагрузки через определенный период отдыха, мм;

$l_p$  – длина рабочей части образца, мм.

Стандарты некоторых зарубежных стран также предусматривают определение остаточной деформации образца при исследовании свойств материалов.

С целью создания реальных условий деформирования материалов при формовании обуви создавался целый ряд методов испытаний, основанных на сообщении образцам двухосного растяжения.

Методы испытания на двухосное растяжение отличаются по характеру деформации образца, конструкции применяемых приборов и параметрам испытания. Поскольку при формовании плоские детали верха обуви приобретают пространственную форму, широкое применение получили приборы и методы, позволяющие сообщать плоским образцам в форме диска продавливающие усилия разными способами (рисунок 4.2): вытягиванием металлическим шариком (а), полусферой (б), пуансоном в виде стакана с роликами (в) пневматическим или гидравлическим способом (г).

Формоустойчивость чаще всего исследуется при растяжении материалов сферой или пуансоном с роликами (рисунок 4.2 б, в). Достоинством приборов, осуществляющих растяжение сферой, является то, что она может быть изготов-

лена из любого материала, требуемого для имитации колодки, что хорошо отражает процесс формования.

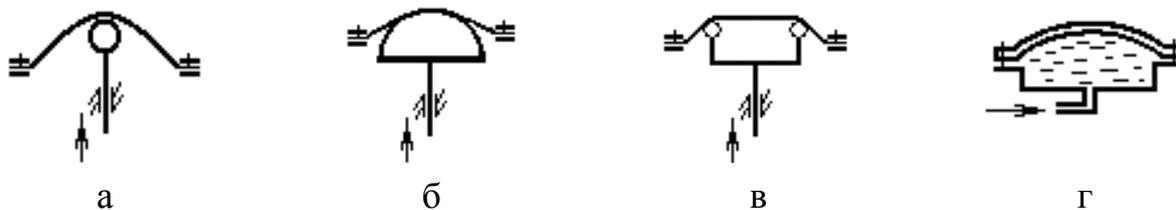


Рисунок 4.2 – Способы деформирования образцов при двухосном растяжении

Пуансон может быть выполнен в форме стакана с радиальными пазами с смонтированными в них шарикоподшипниками качения, которые образуют замкнутое кольцо, имитирующее поверхность тора. При растяжении материала прикладываемая нагрузка, с очень незначительными потерями на трение, переносится в горизонтальную плоскость и равномерно распределяется по краям окружности, образованной роликами (рисунок 4.2 в). Такая конструкция пуансона позволяет получить двухосное симметричное растяжение.

Метод испытания на продавливание шариком (рисунок 4.2 а) применяется при изучении свойств материалов, ГОСТ 29078 – 91 «Кожа. Метод испытания сферическим растяжением». УкрНИИКПом предлагался метод определения формоустойчивости без выкраивания образцов, основанный на использовании прибора ПОИК. Достоинством прибора являются его небольшие габариты, возможность установки на любом столе, простота в обслуживании, а также возможность исследовать свойства материала в любой точке без выкраивания образца. Следует отметить, что воздействие на материал шарика небольших размеров ( $r = 5; 10$  мм) не будет давать полного соответствия с реальным процессом формования, кроме этого, не возможно его использование для оценки влияния гигротермических воздействий на формоустойчивость материалов.

Исследования формоустойчивости материалов производят на приборах, где деформирование материала осуществляется мембраной посредством нагнетания в неё жидкости или газа (рисунок 4.2 г). В этом случае растяжение материала в некоторой степени имеет сходство с процессом формования заготовки обуви. К числу приборов, осуществляющих двухосное растяжение материала мембраной, относится тензомер фирмы «Балли» (Швейцария). Испытания позволяют определить относительное полное и остаточное увеличение площади пробы, по которым можно судить о формоустойчивости материала. Приборы этого типа использовали при исследовании натуральных кож и текстильных материалов.

Приборы, создающие двухосное растяжение, могут монтироваться в динамометры, служащие для создания нагрузки. Наибольшее распространение для исследований получил прибор В3030, разработанный Ю.П. Зыбиным. К достоинствам прибора можно отнести компактность и надежность конструкции, совершенство системы зажима материала, простоту закрепления прибора в зажимы любой разрывной машины. Рабочим органом в приборе может быть полусфера или пуансон с роликами.

Наибольшее распространение для определения формоустойчивости получил метод, основанный на двух принципах: имитация процесса формования осуществляется на приборе В3030 для двухосного симметричного растяжения, а оценка формоустойчивости осуществляется величиной относительного радиального остаточного удлинения. Метод может быть использован для оценки влияния на формоустойчивость различных технологических факторов.

Формоустойчивость материалов и систем материалов определяют не только в статических, но и в динамических условиях, что позволяет характеризовать формоустойчивость в условиях, приближенных к условиям эксплуатации обуви. Метод оценки формоустойчивости материалов и систем материалов в динамических условиях предусматривает сообщение образцу повторного двухосного растяжения на заданную величину деформации и измерении величины остаточного удлинения после определенного числа циклов воздействия.

Для исследования формоустойчивости в условиях производства используются приборы, конструкция которых позволяет помещать их в установки гидротермических воздействий.

Формоустойчивость образца чаще всего характеризуют коэффициентом, рассчитанным по замерам высоты отформованной полусферы.

$$\hat{O} = \frac{h_1}{h} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где  $h_1$  – высота образца через заданный промежуток времени после формования, мм;

$h$  – высота образца в момент формования, мм.

Кроме этого, формоустойчивость оценивают величиной относительного радиального остаточного удлинения и относительным остаточным увеличением площади образца материала. Для измерения площади сечений отформованных образцов используют оптический метод, а высоту образца измеряют с помощью механических индикаторов перемещений.

В стандартах зарубежных стран сохранение формы круглого образца при двухосном растяжении также оценивается изменением площади и высоты отформованного образца через определенные промежутки времени.

## 4.2 Факторы, влияющие на формоустойчивость верха обуви

Формоустойчивость обуви зависит от большого числа факторов, основные из них это: физико-механические свойства материалов верха, конструкция заготовки, рациональный подбор комплектующих с учетом свойств материалов, технология раскроя, способ увлажнения и формования заготовки, время нахождения обуви на колодке, режимы гигротермической обработки и многие другие.

Ранжирование факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, показало, что наиболее существенное влияние на формоустойчивость обуви оказывают физико-механические свойства материалов, качественное выполнение процессов формования верха обуви и конструкция заготовки.

Исследованиями установлено, что уменьшение размеров обуви после снятия ее с колодок зависит от свойств материалов и режимов гигротермических воздействий и происходит в среднем на 1 – 5 % в поперечном направлении и на 1 – 3 % в продольном направлении от первоначальных размеров.

Ухудшение формоустойчивости обуви в процессе эксплуатации связано с тем, что стопа, опираясь на пучки, увеличивает свой обхват в среднем на 5 – 10 % по отношению к размеру стопы в висячем положении.

При сгибании стопы на материале образуются складки, направленные перпендикулярно продольной линии стопы или под углом  $80 - 120^{\circ}$  к ней. Радиус кривизны складок различен и зависит от толщины материала: от 0,5 – 1 мм на мягких и тонких материалах и до 5 – 10 мм на жестких и толстых материалах, а также от плотности прилегания верха обуви к стопе, чем меньше прилегает верх к стопе, тем выше и длиннее складки. Многократный изгиб вызывает складкообразование с последующим разрушением материалов верха обуви.

Установлено, что в процессе эксплуатации наблюдается изменение размеров обуви, которое в большей степени определяется свойствами материалов, входящих в заготовку. Происходит увеличение размеров верха обуви в поперечном направлении в среднем до 6 % и сокращение в продольном до 3 %.

Результатами исследований устанавливаются требования к кожаным материалам для верха обуви, обеспечивающие высокую формоустойчивость. Регламентируются такие показатели, как удлинение при разрыве, удлинение полное и остаточное при напряжении 10 МПа и коэффициент равномерности. Установлено, что хорошую формоустойчивость обеспечивают кожи, имеющие верхний предел удлинения для бесподкладочной и детской обуви – 40 % и 50 % для обуви с подкладкой. Остаточные деформации, полученные при одноосном растяжении в пределах 4 – 10 % для повседневной обуви, 6 – 12 % для модельной обуви и 6 – 10 % для детской

обуви. Коэффициент равномерности удлинений должен быть в пределах 0,8 – 1,0, что позволяет раскраивать чепрачную часть без учета направления тягучести.

В процессе формования в обувных материалах протекают релаксационные процессы, оказывающие большое влияние на технологию изготовления и эксплуатационные свойства обуви, так как они определяют стабильность формы, а следовательно, формоустойчивость обуви. Изучение релаксационных процессов позволяет прогнозировать формоустойчивость готовой обуви, так как величина остаточной деформации в коже, выдержанной в деформированном состоянии связана линейной зависимостью с величиной остаточного напряжения.

Интенсификация процессов увлажнения и сушки обувных материалов приводит к тому, что в материалах заготовки возникают значительные градиенты температуры и влагосодержания, что приводит к возрастанию уровня внутренних напряжений. Исходя из этого, с целью установления оптимальных режимов формования, обеспечивающих минимальный уровень остаточных напряжений, необходимы исследования релаксационных свойств материалов и систем материалов при различных режимах гигротермических воздействий.

Многочисленные исследования указывают, что большое влияние на формоустойчивость обуви оказывает достигнутый перед формованием уровень влажности в заготовке верха обуви (рисунок 4.3).

Проводились попытки нормировать уровень влажности различных материалов, обеспечивающий высокий уровень фиксации формы. Установлен предельный уровень абсолютной влажности натуральной кожи, равный 30 – 33 %, дальнейшее повышение влажности тормозит процесс релаксации и может привести к уменьшению остаточных деформаций.

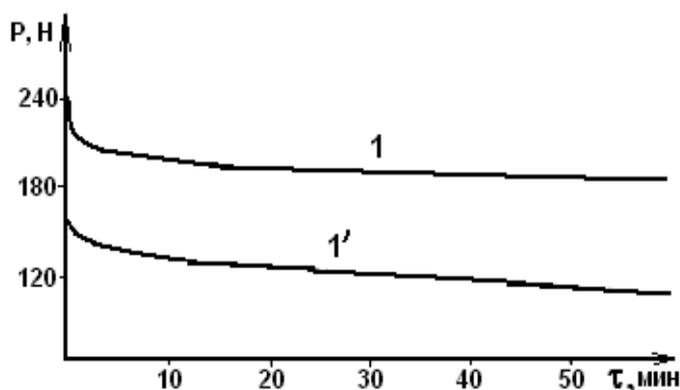


Рисунок 4.3 – Кривые релаксации усилий яловки в воздушно-сухом состоянии (1) и увлажненной термомодифицированным контактным способом (1')

С увеличением влажности снижается не только усилие, необходимое для растяжения, но и повышается скорость релаксации, уменьшается остаточное напряжение, а вместе с ним увеличивается остаточная деформация.

Оптимальная начальная влажность юфти с точки зрения ускорения процесса релаксации равна 35 – 45 %. Оптимальный уровень относительной влажности эластичных кож установлен в пределах 24 – 26 %.

Для установления оптимальных параметров гигротермического воздействия при формовании изделий из кожи предлагалось использовать показатель – время прохождения влаги через кожу, который зависит от свойств применяемых материалов и вида лицевого покрытия кожи. Установлено, что повышению формоустойчивости способствует увлажнение обувных заготовок перед формованием до влагосодержания, соответствующего гигроскопическому состоянию материала, при котором в первые 30 – 60 секунд после нагружения наиболее эффективно проявляется пластифицирующее действие влаги.

Модернизация производства приводит к интенсификации многих производственных процессов, в частности сокращается время увлажнения и сушки обуви. В связи с этим возникает вопрос, как новые технологические режимы отражаются на формоустойчивости обуви. Исследования, проведенные учеными А.В. Лыковым, Ю.Л. Кавказовым, Н.И. Егоркиным, Б.М. Поляком, П.В. Явшицем, М.А. Файбишенко, Л.И.-О. Адигезаловым, А.С. Шварцем и др., явились основополагающими для развития гигротермии обувного производства.

Установлено, что значительно ускоряет процесс увлажнения совместное действие тепла и влаги, что реализуется при помощи термодиффузионного увлажнения. Привес влаги, достигаемый в заготовке при таком способе увлажнения, незначительный (+1 ÷ +9 %), но он находит большое распространение в связи с широким применением эластичных кож и использовании для фиксации формы обуви влажно-тепловой и тепловой обработки. Достигаемый уровень влажности в материале в большой степени зависит от температуры контактных плит, продолжительности обработки, влагосодержания влагоносителя и толщины кожи. Установлено, что путем быстрого (в течение 45 – 60 секунд) нагревания кожи с абсолютной влажностью 16 % до температуры 85 – 100 °С можно получить такой же эффект в области ускорения релаксации, повышения пластичности и снижения нагрузок, как и при увлажнении до относительной влажности 35 %.

Многочисленными исследованиями подтверждается, что при правильном подборе режимов температуры, влажности, времени выдержки и степени деформации можно достичь высокой степени фиксации формы обуви. Наибольшее влияние на стабилизацию формы оказывает температура теплового воздействия. Причем установлено, что нужно стремиться к достижению максимально допустимой температуры, не ухудшающей свойств кожи в минимальное время, так как на

фиксацию формы в основном влияет температура, а не продолжительность нагрева. Для различных видов кожи установлена оптимальная температура обработки, обеспечивающая высокую формоустойчивость изделия.

Фиксация формы заготовки после выполнения формообразующих операций в настоящее время чаще всего осуществляется влажно-тепловым или тепловым способом. Исследования влияния температуры теплового воздействия на формоустойчивость моделируют существующие способы фиксации.

При производстве обуви с целью повышения ее формоустойчивости применяется охлаждение затянутой заготовки. Установлено, что охлаждение полуфабриката с верхом из натуральных и искусственных кож при низких температурах после сушки увеличивает формоустойчивость и сокращает время выдержки обуви на колодках. Значительное влияние на формоустойчивость синтетических кож и систем с верхом из синтетических кож оказывает температура охлаждения, но максимальный вклад в остаточную деформацию вносит температура нагрева, и в меньшей степени температура и продолжительность охлаждения.

Исследовалось влияние низких температур и влажности на механические свойства (предела прочности, удлинения, модуля упругости и жесткости) натуральной кожи при одноосном растяжении.

Проведены многочисленные исследования характера и величины деформации заготовки при формовании. По результатам ряда исследований величина растяжения при формовании колеблется в пределах 1 – 20 %, неодинакова в различных направлениях и участках верха и в значительной мере зависит от метода формования и применяемого оборудования. По данным Ю.П. Зыбина при формовании носочной части растяжение кожи по грани колодки может достигать 40 % и уменьшается к центральной части носка до 5 %. А деформация союзки в процессе формования в среднем не превышает 12 – 15 %.

На рисунке 4.4 представлена картограмма деформации союзки мужских полуботинок с верхом из натуральной кожи «Navago» с межподкладкой и подкладкой под союзку – трикотажные полотна с термоклеевым покрытием с поверхностной плотностью 140 г/м<sup>2</sup> и 210 г/м<sup>2</sup> соответственно, после выполнения операции формование заготовки верха обуви обтяжно-затяжным методом.

Величина и характер деформации заготовок верха обуви производились по изменению размеров и формы, предварительно нанесенных на верх обуви окружностей диаметром 20 мм. Вследствие растяжения верха обуви окружность превращается в эллипс или круг с изменением диаметра.

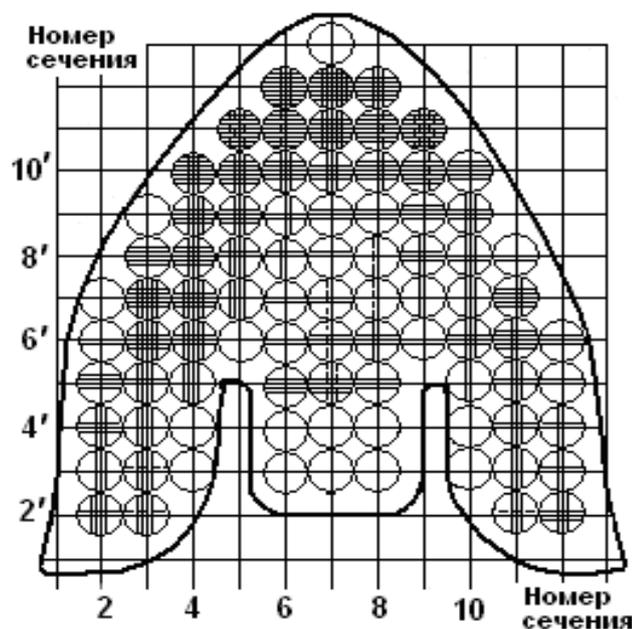


Рисунок 4.4 – Картограммы распределения деформации союзки после операции формования заготовки верха обуви на колодке

Сравнивая какой-либо диаметр эллипса или круга с первоначальным диаметром окружности, можно определить изменение линейных размеров материала в данном направлении, а также определить величины его относительного удлинения или усадки.

Расчет относительных деформаций в продольном и поперечном направлении рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{(d_1 - d)}{d} \times 100, \quad (4.5)$$

где  $d_1$  – размер диаметров окружностей или осей эллипсов после формования, снятия обуви с колодки и хранения в течение 24 часов, мм;

$d$  – исходный диаметр окружности, мм.

Сплошная линия картограмм соответствует + 2,5 % удлинения, пунктирная - 2,5 % сокращения.

По количеству линий в кругах видно, что деформация союзочной части заготовки в основном происходит в области носка и боковых крыльев союзки. Наблюдается сложный характер деформации, отмечается доминирование двухосного растяжения в центральной части носка и одноосного растяжения в боковых частях носка в зонах захвата клещей. Центральная область союзки деформируется не значительно. В боковых крыльях союзки преобладает двухосное симметричное растяжение, а в центральной части союзки наблюдаются примерно равные части одноосного и двухосного растяжения.

Наибольшая деформация растяжения наблюдается в поперечном направ-

лении (5 – 40 %), причем в области носка деформация максимальная. По бокам союзки в пучковой части (сечения 6'-9') деформация растяжения в поперечном направлении достигает 10 %, а в области крыльев союзки около 5 %. Деформация растяжения в продольном направлении меньше по величине и составляет в основном 2,5 – 10 %.

Деформация сокращения наблюдается в продольном направлении в пределах 2,5 – 15 % (краевые участки носка и при переходе на гребень колодки) и в поперечном направлении до 5 % в области крыльев союзки.

Картограмма деформации союзки, полученная по данным замеров после снятия обуви с колодки и хранения её в течение 24 часов, показывает, что в заготовке происходят усадочные явления. В основном зона наибольшей усадки приходится на пучковую часть союзки (сечения 8'-10') и крылья союзки. Деформация в продольном направлении снижается в среднем на 5 %, а в поперечном направлении от 2,5 % до 5 %.

На показатель формоустойчивости обуви оказывает влияние величина растяжения материала при формовании заготовки (рисунок 4.5).

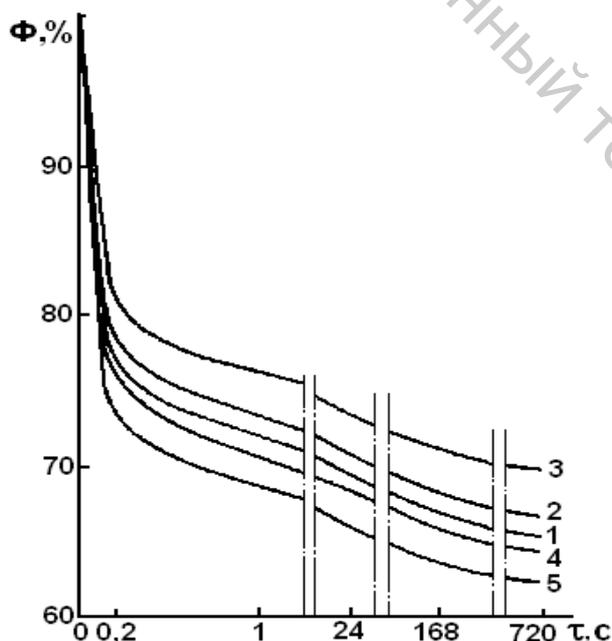


Рисунок 4.5 – Изменение показателя формоустойчивости во времени при различной величине начальной деформации:

1 – 10 %; 2 – 15 %; 3 – 20 %; 4 – 25 %; 5 – 30 %

Кроме этого, исследовалось влияние начального напряжения на релаксацию и на формоустойчивость материалов. Установлено, что с увеличением начального напряжения натуральной кожи увеличивается падение напряжения,

полная, упругая и остаточная деформация. Но большая величина нагрузки при растяжении характеризует высокую жесткость материала, в связи с этим этот показатель нельзя принимать в качестве критерия при оценке формоустойчивости материалов, так как это может привести к ухудшению эксплуатационных свойств обуви.

#### **4.3 Релаксационные свойства материалов и систем материалов для верха обуви при растяжении**

Материалы, применяемые при производстве обуви, имеют в основном волокнисто-сетчатую структуру и обладают вязкоупругими свойствами. Такое строение обуславливает релаксационный характер поведения материалов при растяжении. Релаксационные процессы оказывают большое влияние на формоустойчивость обуви, так как большие величины неотрелаксированных напряжений ведут к усадке кожи и потере заданной формы.

В общем случае релаксационными процессами называются протекающие во времени процессы перехода материала или системы материалов из неравновесного состояния в равновесное. Для качественной и количественной оценки изменений, происходящих в материале при механическом воздействии и после его прекращения, осуществляются одноцикловые испытания в цикле «нагрузка-разгрузка-отдых».

Одноцикловые испытания осуществляются различными методами, отличительными особенностями которых являются различия входных и выходных параметров в циклах при нагрузке и отдыхе.

В большей степени соответствует процессу формования метод, основанный на длительном поддержании постоянной деформации и определении происходящих при этом изменений усилий в образце. Образец подвергается быстрому растяжению до некоторой заданной длины, которая сохраняется постоянной во время наблюдения. После разгрузки, в период отдыха образца, регистрируемой величиной является деформация, характеризующая формоустойчивость материала. Продолжается и снижение усилия внутри образца, но его сложно замерить экспериментально (рисунок 4.6).

Данный способ испытания реализуется как при одноосном, так и при двухосном растяжении. Одноосное растяжение материалов осуществляется на динамометрах различных конструкций, маятниковых или с тензометрическим силоизмерителем.

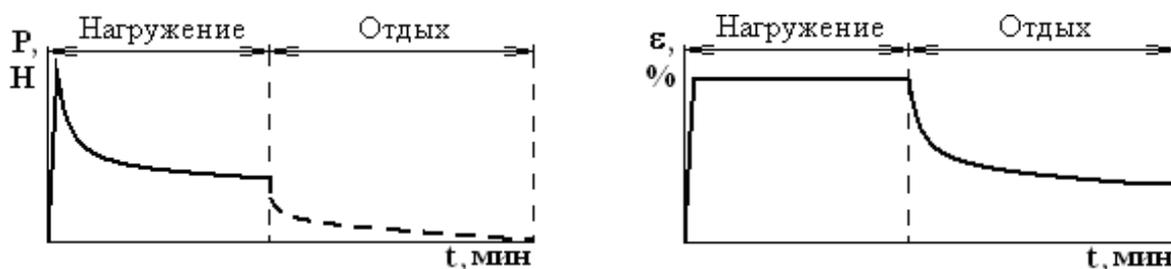


Рисунок 4.6 – Графики одноциклового испытания

Большое распространение в исследованиях получили специальные приборы – релаксометры, обеспечивающие растяжение образца и регистрацию напряжений в материале. Такие установки, как правило, состоят из трех блоков: силового, предназначенного для создания напряжения, преобразующего устройства и регистрирующего прибора.

Приборы, создающие двухосное растяжение, могут монтироваться в динамометры, служащие для создания нагрузки, в этом случае существует возможность наблюдать за релаксационными процессами, протекающими в материалах при растяжении. Наибольшее распространение для исследований получил прибор В3030, разработанный Ю.П. Зыбиным. Рабочим органом в приборе может быть полусфера или пуансон с роликами.

Большое значение при исследовании свойств обувных материалов имеет возможность использования приборов, конструкция которых позволяет помещать их в установки гигротермических воздействий.

Установки, содержащие термокамеру, формующий пуансон и регистрирующую аппаратуру позволяют имитировать различные виды сушек, а регулируемый привод дает возможность проводить исследование процесса формования в статических и динамических условиях.

Исследования релаксации напряжений производят и на приборах, где деформирование материала осуществляется мембраной посредством нагнетания в неё жидкости или газа. На таком же принципе основан тензомер фирмы «Балли».

Компьютерные технологии находят широкое применение в различных отраслях промышленности и в научных исследованиях. Программное обеспечение компьютера позволяет выполнить эксперимент с высокой степенью автоматизации и точности, а специально разработанные программы обеспечивают выполнение трудоемких расчетов и наглядно представляют полученные результаты. В МГУДТ разработан новый метод оценки деформационных свойств кожи. Компьютерная установка «RELAX» состоит из компьютера, электромеханического прибора-датчика и электронного блока преобразования сигнала. Образец зажимается по кольцевому контуру и нагружается по центру полусфе-

рическим индентором. При этом воздействии материал подвергается симметричному двухосному растяжению. Программа компьютера позволяет получать шесть параметров упруго-пластических свойств материала и дает возможность получать спектр времен релаксации в графическом виде. Полученная информация позволяет объективно отражать структурные особенности материалов и оценить качество материалов.

Исследования релаксационных процессов материалов сопровождаются построением графиков зависимостей усилия или напряжения от времени, построенных в абсолютных или относительных координатах (по отношению к начальному напряжению) (рисунок 4.7).

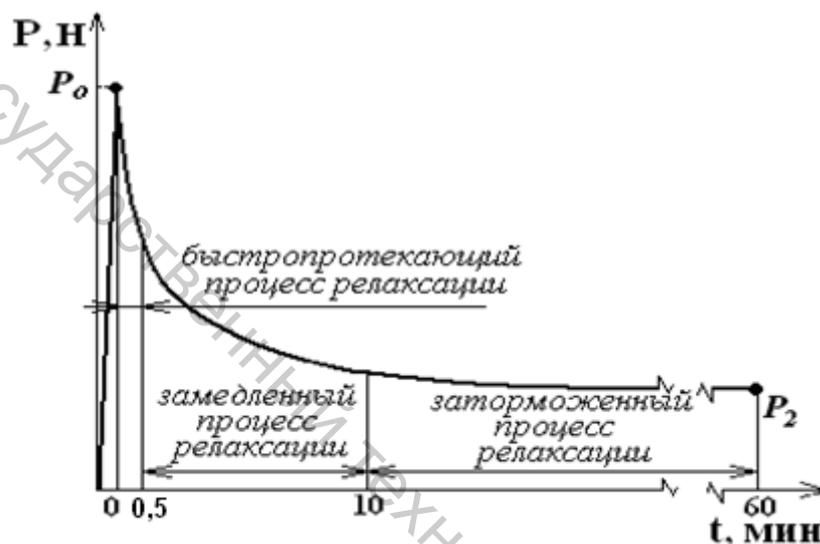


Рисунок 4.7 – Участки кривой релаксации, характеризующие периоды процесса релаксации

В качестве показателей, характеризующих процесс релаксации, наиболее часто используют следующие характеристики:

- релаксируемое усилие,  $H$ :

$$P_{\text{рел}} = P_0 - P_2, \quad (4.6)$$

где  $P_0$  – усилие в начале процесса релаксации,  $H$ ;

$P_2$  – усилие через один час после начала процесса релаксации,  $H$ ;

- доля быстропротекающих процессов релаксации усилия, %:

$$\delta D_a = \frac{D_i - D_1}{D_i} \cdot 100, \quad (4.7)$$

где  $P_1$  – усилие после протекания быстрых процессов перестройки структуры материала (5 секунд после момента начала процесса релаксации),  $H$ ;

- доля медленнопротекающих процессов релаксации усилия, %:

$$\delta D_i = \frac{D_1 - D_2}{D_i} \cdot 100, \quad (4.8)$$

- доля заторможенных процессов релаксации, %:

$$\delta D_\zeta = \frac{D_2}{D_i} \cdot 100, \quad (4.9)$$

- общая доля релаксации усилия, %:

$$\delta D_{i\text{áü}} = \frac{D_i - D_2}{D_i} \cdot 100, \quad (4.10)$$

- коэффициент падения усилия:

$$\hat{E}_i = \frac{D_i}{D_2}, \quad (4.12)$$

- время (период) релаксации  $\tau_p$ , с, определяется при  $0,63 P_{\text{рел.}}$ .

Для измерения, обработки и хранения данных об упруго-пластических свойствах материалов на кафедре «Конструирование и технология изделий из кожи» разработан автоматизированный комплекс, состоящий из разрывной машины «Frank» (Германия), персонального компьютера и электронного блока преобразования сигнала. Персональный компьютер оснащен специальным программным обеспечением, необходимым для получения оцифрованных данных эксперимента и отдачи команд по проведению эксперимента. Блок преобразования сигнала служит связующим звеном между разрывной машиной и компьютером, имеет канал двусторонней связи с ПЭВМ, а также четыре аналоговых канала для оцифровки данных эксперимента и две линии по управлению разрывной машиной. Структурная схема автоматизированного комплекса представлена на рисунке 4.8.

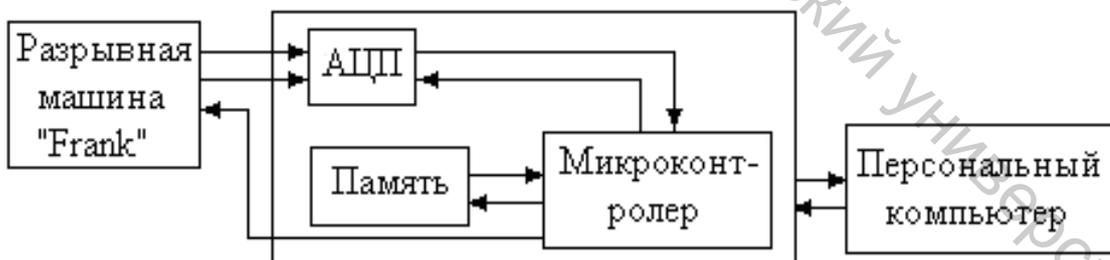


Рисунок 4.8 – Структурная схема автоматизированного комплекса

Электронная разрывная машина «Frank» позволяет осуществлять как одноосное, так и двухосное растяжение материалов при монтаже прибора В3030. Испытания можно проводить в широких диапазонах нагрузки, удлинения и скорости деформирования. Соединение электронной машины «Frank» с

персональным компьютером позволяет отображать на мониторе компьютера в реальном времени следующие зависимости: нагрузка от времени, удлинение от времени, нагрузка от удлинения, а использование соответствующего программного обеспечения позволяет в автоматическом режиме обрабатывать большой массив данных и хранить его в памяти компьютера.

В ходе испытаний материалов на растяжение усилия, возникающие при деформации образца, соответствующие им значения удлинений, а также релаксация усилий при фиксированном удлинении регистрируются датчиками разрывной машины и преобразуются посредством аналогового устройства в цифровые значения, которые передаются ПЭВМ. Полученный массив данных представляет собой значения усилий, зафиксированные каждые 250 микросекунд. Программа, написанная на языке программирования «DELPHI», осуществляет обработку и хранение информации.

Программа позволяет осуществить 5 режимов испытаний: до разрыва; до заданной нагрузки + выдержка; до заданного удлинения + выдержка; нагрузка + выдержка + разгрузка; удлинение + выдержка + разгрузка (рисунок 4.9).

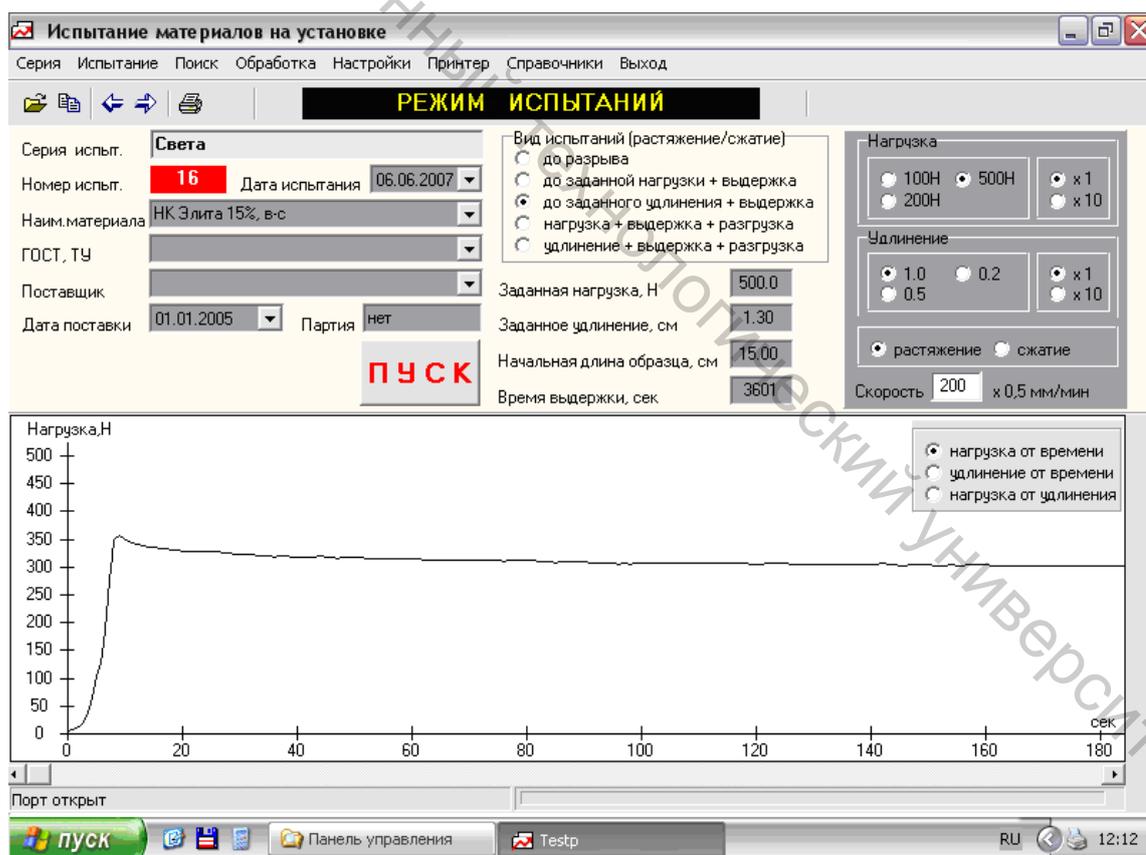


Рисунок 4.9 – Диалоговое окно «Режим испытаний»

Главное меню программы состоит из нескольких пунктов:

- серия, в которой предусмотрены операции по организации новой серии, поиску существующих серий и удалению серий;

- испытание – открывает новое испытание, удаляет ненужное испытание и выводит информацию эксперимента в цифровом виде;

- поиск – осуществляет переход к предыдущему или последующему испытанию;

- обработка – осуществляет обработку массива исходных данных;

- настройки – осуществляют операции по тарировке и настройке АЦП, по управлению разрывной машиной «Frank»;

- справочники, где пользователь формирует исходную базу данных материалов.

Управление машиной «Frank» осуществляется в автоматическом режиме, посредством соответствующих кнопок управления. Исследование релаксации усилий при постоянном заданном удлинении осуществляется в режиме: до заданного удлинения + выдержка.

После закрепления образца и ввода с клавиатуры параметров испытаний: удлинение, время выдержки и заданная нагрузка, показывающая в данном случае предельное значение допустимой нагрузки, нажатием кнопки «пуск» даётся команда на растяжение. При выполнении эксперимента в течение заданного времени на экране монитора отображается кривая релаксации усилий.

Обработка массива исходных данных предусматривает расчет релаксационных характеристик (формулы 4.6 – 4.12). Кроме этого, программа позволяет вывести на печать в цифровом виде значения релаксируемых усилий в любой заданный промежуток времени и графики зависимости нагрузки от времени. Графики зависимости усилия от времени могут быть представлены в линейном и в логарифмическом виде.

Использование автоматизированного комплекса для измерения и оценки релаксационных свойств материалов и систем материалов дает возможность полной автоматизации эксперимента и регистрации значений релаксируемых усилий с большой точностью, а также обеспечивает хранение большого объема информации.

#### **4.4 Влияние режимов гигротермических воздействий на релаксационные процессы систем материалов**

Формование изделий из кожи основано на их деформировании до определенной величины и выдержке установленного времени в деформированном состоянии с целью снижения внутренних напряжений до такого уровня, который обеспечивает достаточную формоустойчивость изделия. Снижение напря-

жений в материале в обычных условиях длится часами и сутками, а это технологически и экономически невыгодно. При изготовлении обуви ускорение релаксации достигается различными гигротермическими воздействиями (температура, влажность). Эти воздействия применяются как перед деформированием материала, так и во время выдержки в деформируемом состоянии.

Кинетика процесса релаксации систем материалов с эластичной кожей «Наппа» с различным уровнем влажности представлена на рисунке 4.10.

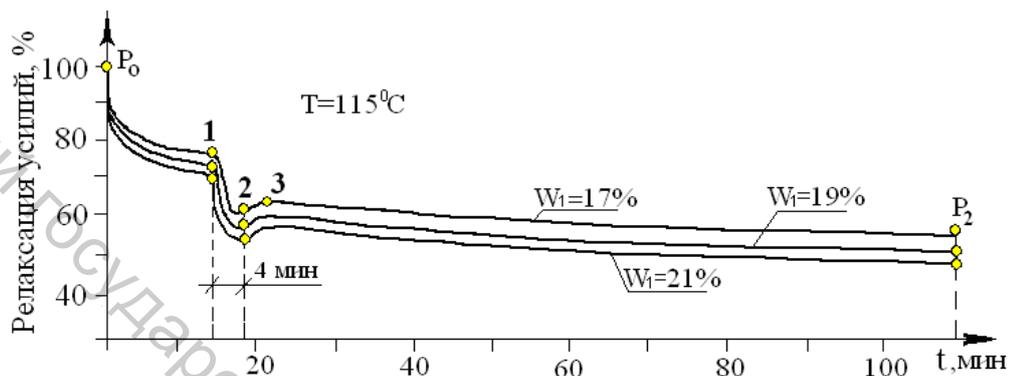


Рисунок 4.10 – График кинетики релаксации усилий системы материалов из кожи «Наппа»+термобязь+кожа подкладочная свиная

Исследования имитировали реальный технологический процесс изготовления обуви: образцы систем материалов увлажнялись термодиффузионно-контактным способом с различным уровнем влажности ( $W = 17\%$ ,  $19\%$  и  $21\%$ ), и затем подвергались двухосному растяжению на автоматизированном комплексе. Тепловое воздействие в течение 4 минут осуществлялось через 15 минут после начала процесса релаксации, время нахождения образца на пуансоне составляло 115 минут, что по временным параметрам соответствует технологическому процессу изготовления обуви.

На кривых можно выделить характерные точки и участки. Точка  $P_0$  – соответствует начальному усилию, принятому за  $100\%$ , возникающему при двухосном растяжении образца на  $15\%$ . Участок  $P_0-1$  – отражает релаксацию, происходящую в структуре материала в нормальных условиях в течение 15 мин, затем осуществляется тепловое воздействие (точка 1). Воздействие на материал температуры  $115^\circ\text{C}$  вызывает резкое падение усилий, причем чем выше уровень влажности, тем больше величина падения усилий.

Уменьшение внутренних усилий вызвано, по-видимому, совместным действием тепла и влаги, которое повышает темп перегруппировки и раскручивания макромолекул коллагена, а также термическим расширением кожи.

Точка 2 соответствует окончанию теплового воздействия, в этот момент усилия в системе материалов минимальны. После прекращения теплового воз-

действия на кривой наблюдается кратковременное возрастание внутренних усилий (участок 2-3), вызванное термическим эффектом – сжатием материала при охлаждении. Последующая выдержка системы материалов в деформированном состоянии в нормальных условиях в течение заданного времени приводит к снижению усилий до точки  $P_2$ .

Сравнение кривых релаксации усилий при различном уровне влажности систем материалов показывает, что их характер аналогичен, но чем выше влажность системы материалов, тем более интенсивно происходит спад внутренних усилий.

Характер кривых релаксации зависит от свойств систем материалов. Так, в системах материалов с кожей повышенной жесткости «Элита» воздействие высокой температуры вызывает либо падение внутренних усилий, либо их рост, в зависимости от величины влажности (рисунок 4.11).

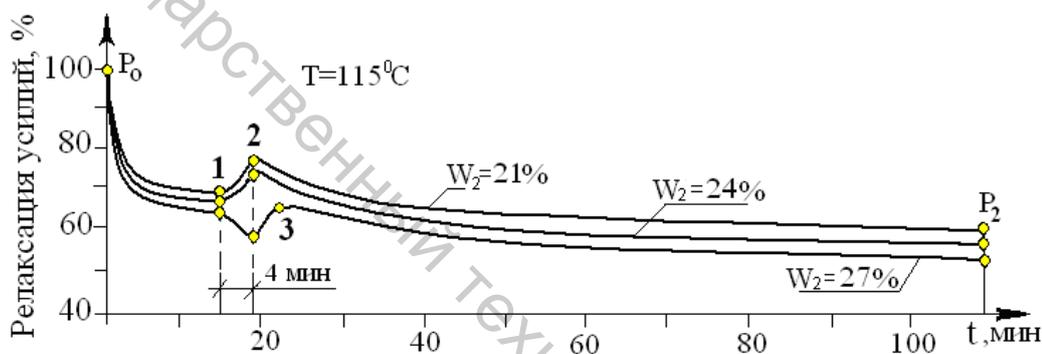


Рисунок 4.11 – График кинетики релаксации усилий системы материалов из кожи «Элита»+трикотаж+кожа подкладочная свиная

Увлажнение системы материалов до 21 % и 24 % при последующем тепловом воздействии 115 °C вызывает возрастание усилий (участок 1-2), примерно на 10 %, вызванное, очевидно, недостаточной увлажненностью систем материалов. В системах, увлажненных более значительно ( $W_2 = 27\%$ ), тепловое воздействие вызывает спад усилий. Но следует отметить, что в первые минуты после прекращения теплового воздействия в системах с влажностью 21 % и 24 % происходит интенсивное снижение внутренних усилий, а в системах с влажностью 27 % – возрастание усилий практически до величины, соответствующей усилию в момент воздействия температуры.

На рисунке 4.12 представлен график кинетики релаксации усилий системы материалов из эластичной кожи «Наппа» увлажненной термодиффузионно-контактным способом до уровня влажности  $W_1 = 19\%$  при разных режимах теплового воздействия.

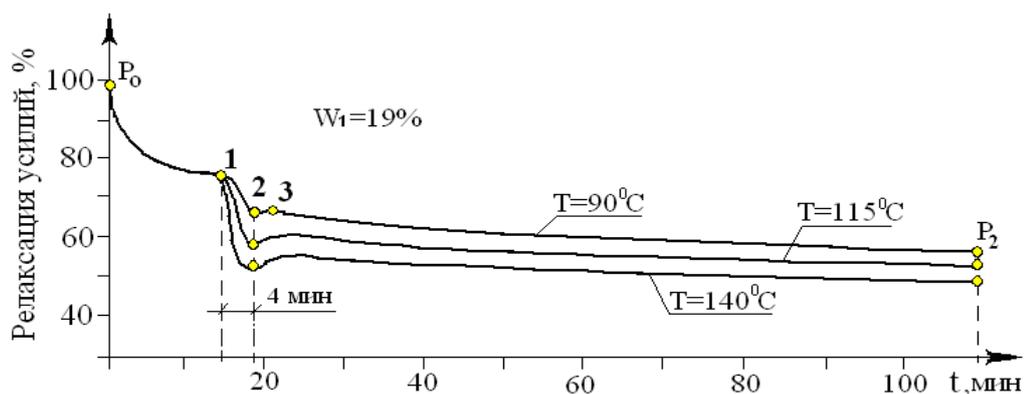


Рисунок 4.12 – График кинетики релаксации усилий системы материалов из кожи «Наппа»+термобязь+кожа подкладочная свиная

Воздействие на системы материалов температуры вызывает резкое падение усилий, причем чем выше температура теплового воздействия, тем больше величина падения усилий (участок 1-2). Так, воздействие на систему материалов температуры  $90^{\circ}\text{C}$  вызывает снижение усилий на 10 %, по сравнению с усилием в материале перед тепловым воздействием. Воздействие температуры  $115^{\circ}\text{C}$  и  $140^{\circ}\text{C}$  вызывает снижение усилий примерно на 18 % и 22 % соответственно.

После прекращения теплового воздействия на кривой наблюдается кратковременное возрастание внутренних усилий (участок 2-3). Чем выше температура воздействия, тем более значительно возрастают усилия в первые минуты охлаждения системы материалов. Последующая выдержка системы материалов в напряженном состоянии в нормальных условиях в течение заданного времени приводит к снижению усилий до точки  $P_2$ . Характер наклона кривых показывает, что интенсивность релаксационных процессов в этот период времени примерно одинакова.

Сравнение кривых релаксации усилий при различной температуре воздействия показывает, что их характер аналогичен, но величина снижения усилий (участок 1-2) и величина возрастания усилий (участок 2-3) различна. Чем выше температура теплового воздействия, тем более значителен перепад усилий в материале.

Кривые релаксации усилий систем с кожей повышенной жесткости «Элита» (рисунок 4.13) имеют несколько иной характер, тепловое воздействие снижает усилия менее интенсивно, а возрастание усилий после прекращения теплового воздействия более значительно. Воздействие температуры  $140^{\circ}\text{C}$  снижает усилие на 8 % (участок 1-2'), а рост усилий на участке 2'-3 в два раза больше. Характер кривых на участке 3- $P_2$  показывает, что чем выше температура обработки, тем значительно быстрее скорость падения усилий при выдержке образца на пуансоне.

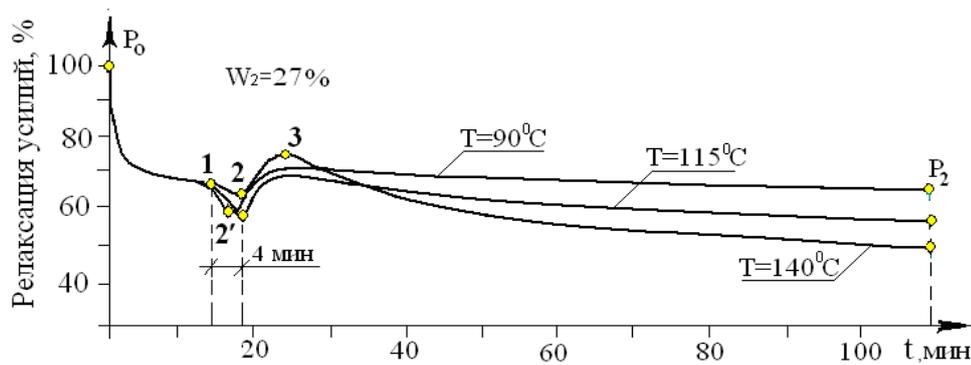


Рисунок 4.13 – График кинетики релаксации усилий системы материалов из кожи «Элита»+трикотаж+кожа подкладочная свиная

Таким образом, исследованиями установлено, что характер кривых релаксации усилий при воздействии различных режимов гигротермических воздействий значительно отличается. Большое влияние на кинетику релаксации усилий оказывают свойства материалов верха, межподкладки и подкладки, а также режимы формования и гигротермических воздействий.

В настоящее время на обувных предприятиях для фиксации формы заготовки после выполнения формообразующих операций применяется, чаще всего, влажно-тепловая обработка. Практически не находит применения ранее широко используемая основная сушка обуви. Режимы воздействия (температура и время) при этих способах фиксации значительно отличаются. При выполнении влажно-тепловой обработки достигается только понижение уровня внутренних напряжений в материалах без существенного изменения влагосодержания заготовки. Основная же сушка, наряду с этим, предусматривает удаление излишней влаги, введенной в заготовку при увлажнении.

На рисунке 4.14 представлен график кинетики релаксации усилий системы материалов при влажно-тепловой обработке и при основной сушке.

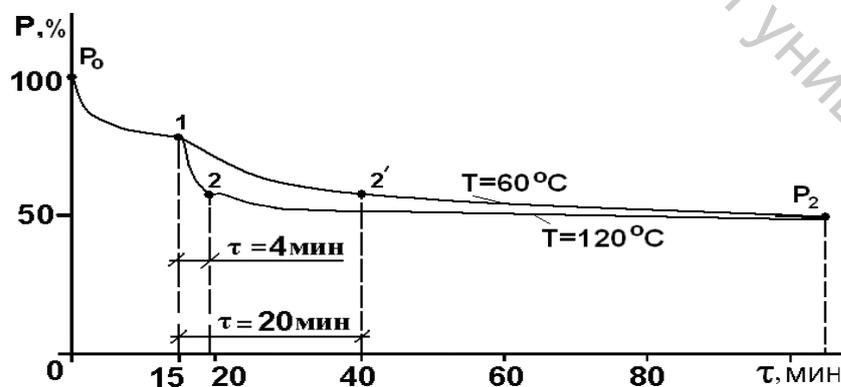


Рисунок 4.14 – График кинетики релаксации усилий системы материалов из кожи «Наппа»+термобязь+ткань подкладочная

Характер кривой релаксации усилий зависит от способа фиксации. При влажно-тепловой обработке спад усилий происходит более интенсивно, под воздействием основной сушки релаксация усилий протекает в более мягких условиях, без резких скачков падения усилий.

#### 4.5 Разработка оптимальных режимов гигротермических воздействий

При выполнении формообразующих операций верха обуви на обувных предприятиях используется в основном одинаковая режимная технология, которая не учитывает свойств различных материалов, входящих в заготовку. В связи с этим, не всегда обеспечивается необходимое качество формования верха обуви, что приводит к низкой формоустойчивости изделия в процессе хранения и эксплуатации.

Оптимизация технологических режимов процесса формования и фиксации формы верха обуви имеет важное значение не только для повышения качества обуви, но и для рационального использования энергоресурсов. В связи с этим целью многих научно-исследовательских работ является разработка технологических режимов процесса формования для конкретной модели обуви с использованием математических методов планирования эксперимента.

При планировании эксперимента математическими методами исследователь должен точно сформулировать цель работы, правильно выбрать параметры оптимизации и независимые переменные, четко сформулировать возможные ограничения. Например, целью работы может быть установление оптимальных режимов гигротермических воздействий при производстве обуви.

На математическом языке задача оптимизации формулируется следующим образом: нужно получить некоторое представление о функции отклика

$$\eta = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_k), \quad (4.13)$$

где  $\eta$  – параметр оптимизации;

$X_1, X_2, \dots, X_k$  – независимые переменные (факторы).

Зависимость представляет собой некоторую геометрическую поверхность, которую называют поверхностью отклика.

В результате эксперимента получают уравнение регрессии

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (4.14)$$

где  $\hat{y}$  – расчетное значение параметра оптимизации;

$b_i, b_{ij}, b_{ii}, \dots$  – коэффициенты регрессии.

По величине коэффициентов регрессии можно судить о степени влияния независимых переменных. Значимость коэффициентов регрессии свидетельствует о значимости соответствующих факторов.

При изучении многофакторных зависимостей поверхность отклика в области оптимума исследуют с помощью двухмерных сечений, получение которых позволяет наглядно представить возможные изменения параметров оптимизации при варьировании независимых переменных.

Выбор критериев оптимизации является одним из главных этапов работы на стадии предварительного изучения объекта исследований. Требования к критериям оптимизации:

- количественность (возможность численного выражения параметра);
- однозначность (то есть заданному набору факторов соответствует лишь одно значение критерия оптимизации);
- значимость и эффективность (существенные характеристики исследуемого объекта);
- четкий физический смысл;
- доступность измерения.

На практике для достаточно полной оценки качества объекта исследования не всегда достаточно одного критерия оптимизации, поэтому для решения некоторых задач характерно применение нескольких критериев оптимизации.

При установлении оптимальных режимов формования, как правило, принимают один критерий оптимизации, в качестве которого можно использовать показатель, характеризующий формоустойчивость обуви.

После выбора критериев оптимизации приступают к следующей стадии работы, которая связана с выбором факторов, уровней их варьирования и нулевой точки.

Фактором называется управляемая независимая переменная, соответствующая одному из возможных способов воздействия на объект исследования. В выбранной области определения фактора он может иметь несколько значений, которые носят название уровней фактора.

Фактор считается заданным, если указаны его название и область определения. Целесообразнее если фактор определяется количественным показателем. Например: фактор – температура, область определения (80 – 160 °С).

При выборе факторов учитывают требования к ним:

- управляемость (то есть возможность стабилизации в течение опыта и

изменения при переходе к другому опыту);

- однозначность (то есть невозможность двойного толкования определения);
- совместимость (то есть осуществимость всех комбинаций факторов);
- независимость (то есть возможность установления каждого фактора на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов, это возможно при полном отсутствии корреляционной связи между факторами);
- возможность измерения значений факторов имеющимися средствами.

Независимые переменные (факторы) и область их определения устанавливается из анализа априорной информации – литературы, научного и практического опыта, разведывательного эксперимента и т. п.

При установлении оптимальных режимов гигротермических воздействий в качестве независимых переменных выбирают факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на формоустойчивость изделия такие, как влажность материала, достигаемая перед формованием; температура и продолжительность пластификации; величина растяжения; температура и продолжительность теплового воздействия и стабилизации формы методом охлаждения.

Устанавливается нулевой уровень фактора – точка в центре факторного пространства, прибавление или вычитание интервала варьирования дает соответственно верхний и нижний уровень варьирования фактора.

Таблица 4.1 – Уровни варьирования факторов

| Наименование фактора                     | Обозначение фактора | Уровни варьирования |     |     | Интервал варьирования |
|--|---------------------|---------------------|-----|-----|-----------------------|
|  |                     | -1                  | 0   | +1  |                       |
| Температура теплового воздействия, T, °C | X <sub>1</sub>      | 90                  | 115 | 140 | 25                    |
| Влажность системы материалов, W, %       | X <sub>2</sub>      | 17                  | 21  | 25  | 4                     |

Интервал варьирования фактора должен быть больше ошибки измерений и погрешности прибора.

Базовым направлением при планировании эксперимента является полный факторный эксперимент – эксперимент, в котором за минимальное число опытов принимаются все возможные сочетания факторов.

Число опытов в полном факторном эксперименте рассчитывается по формуле

$$N=P^k, \quad (4.15)$$

где  $P$  – число уровней варьирования;

$k$  – число факторов.

В нашем примере при:  $k = 2$ ,  $P = 3$ , число опытов  $N = 9$ . Матрица планирования имеет следующий вид.

Таблица 4.2 – Матрица эксперимента

| Номер опыта | Матрица планирования |       | Рабочая матрица                             |                                       |
|-------------|----------------------|-------|---|---------------------------------------|
|             | $X_1$                | $X_2$ | Температура теплового воздействия, $T$ , °C | Влажность системы материалов, $W$ , % |
| 1           | -                    | -     | 90  | 17                                    |
| 2           | -                    | 0     | 90  | 21                                    |
| 3           | -                    | +     | 90  | 25                                    |
| 4           | 0                    | -     | 115   | 17                                    |
| 5           | 0                    | 0     | 115   | 21                                    |
| 6           | 0                    | +     | 115   | 25                                    |
| 7           | +                    | -     | 140   | 17                                    |
| 8           | +                    | 0     | 140   | 21                                    |
| 9           | +                    | +     | 140   | 25                                    |

Рабочая матрица – преобразованная матрица планирования, в которой кодированные значения переменных соответствуют натуральным величинам.

После выполнения эксперимента матрица дополняется критерием оптимизации.

Таблица 4.3 – Матрица эксперимента, дополненная критерием оптимизации

| Номер опыта | Рабочая матрица                             |                                       | Коэффициент формоустойчивости |
|-------------|---|---------------------------------------|-------------------------------|
|             | Температура теплового воздействия, $T$ , °C | Влажность системы материалов, $W$ , % |                               |
| 1           | 90  | 17                                    | 72,9                          |
| 2           | 90  | 21                                    | 74,5                          |
| 3           | 90  | 25                                    | 76,0                          |
| 4           | 115   | 17                                    | 78,4                          |
| 5           | 115   | 21                                    | 80,5                          |
| 6           | 115   | 25                                    | 81,0                          |
| 7           | 140   | 17                                    | 79,4                          |
| 8           | 140   | 21                                    | 80,0                          |
| 9           | 140   | 25                                    | 80,3                          |

Задача планирования эксперимента – определение математических моделей, устанавливающих связь факторов и критериев оптимизации в виде уравнений регрессии различного порядка.

Линейное уравнение

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 X_1 + \epsilon_2 X_2 + \epsilon_{1,2} X_1 X_2, \quad (4.16)$$

уравнение второго порядка

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 X_1 + \epsilon_2 X_2 + \epsilon_{1,1} X_1^2 + \epsilon_{2,2} X_2^2 + \epsilon_{1,2} X_1 X_2 + \epsilon_{1,1,2} X_1^2 X_2 + \epsilon_{1,2,2} X_1 X_2^2. \quad (4.17)$$

После получения уравнений регрессии осуществляется оценка соответствия полученного уравнения изучаемому процессу:

- оценивается ошибка эксперимента по критерию Кохрена;
- проверяется значимость коэффициентов регрессии (коэффициенты, для которых уровень значимости  $< 0,05$  исключаются из уравнения);
- проверяется адекватность модели по критерию Фишера.

При значимом эффекте взаимодействия  $\epsilon_{1,2}$  линейной модели недостаточно для описания исследуемого процесса, и в этом случае выполняются опыты в нулевой точке с целью получения уравнения регрессии второго порядка.

Если модель исследуемого процесса неадекватна, то необходимо увеличить объем эксперимента с целью получения модели более высокой степени, для этого необходимо увеличить число уровней варьирования факторов.

После получения адекватной математической модели объекта исследования можно получить наглядное представление о геометрическом образе изучаемой функции построением соответствующей геометрической поверхности в двухмерном или трехмерном пространстве. Графический способ определения оптимума наиболее простой и часто употребляемый. Он состоит в сопоставлении графиков, которые характеризуют сечения поверхностей отклика критерия оптимизации и в визуальном определении оптимальных значений критерия.

Уравнение регрессии в кодированных значениях переменных имеет следующий вид:

$$K = 78,1 + 5,0 X_1 + 2,8 X_2 + 1,2 X_2^2 + 0,8 X_1 X_2. \quad (4.18)$$

Уравнение показывает, что температура теплового воздействия ( $X_1$ ) оказывает наибольшее влияние на формоустойчивость систем материалов, так как величина коэффициента значительна ( $\epsilon_1 = 5,0$ ). Знак плюс при коэффициенте указывает, что при возрастании фактора температуры увеличивается критерий

оптимизации. Повышению коэффициента формоустойчивости способствует также и увеличение влажности систем материалов.

Кроме этого для полученного уравнения регрессии характерна значимость коэффициентов парного взаимодействия, то есть действие одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор.

В соответствии с полученным уравнением получена поверхность коэффициента формоустойчивости системы материалов (рисунок 4.15).

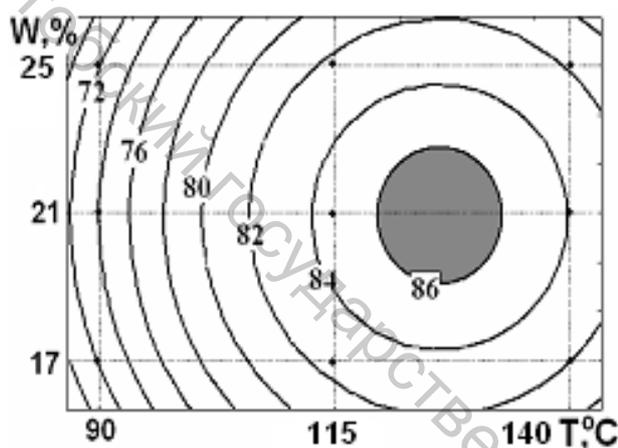


Рисунок 4.15 – Поверхность коэффициента формоустойчивости системы материалов

Экстремум коэффициента формоустойчивости находится примерно в центре эксперимента.

Наиболее высокая формоустойчивость ( $K = 86 \%$ ) достигается при температуре теплового воздействия  $120 - 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и влажности образцов материалов  $20 - 22 \%$ .

Проведение исследований с применением математических методов планирования и анализа эксперимента способствует существенному повышению эффективности научной работы. Результаты этих исследований обычно используются при технологической подготовке производства для установления рациональных режимов обработки с целью изготовления обуви высокого качества.

#### 4.6 Оценка формовочных свойств искусственных и синтетических кож

Формовочные свойства натуральных кож определяются исходя из следующих показателей: относительное удлинение при напряжении 10 МПа, коэффициент удлинения образца при фиксированном растягивающем усилии, коэффициент поперечного сокращения, пластичность материала, предел прочности.

Оценка формовочных свойств искусственных (ИК) и синтетических кож (СК) осуществляется иначе. Исследование их деформации под воздействием приложенных усилий при подводе тепла осуществляется с построением термомеханических кривых. Термомеханические кривые позволяют оценить поведе-

ние ИК и СК при тепловом воздействии.

Выбор режимов тепловой фиксации для ИК и СК должен производиться с учетом термомеханических кривых. Термомеханические кривые – это зависимость относительного удлинения от температуры при действии постоянной силы. Термомеханические кривые снимаются, как правило, при малых значениях напряжения.

Искусственные и синтетические кожи являются полимерными материалами и для них термомеханические кривые имеют следующий вид (рисунок 4.16):

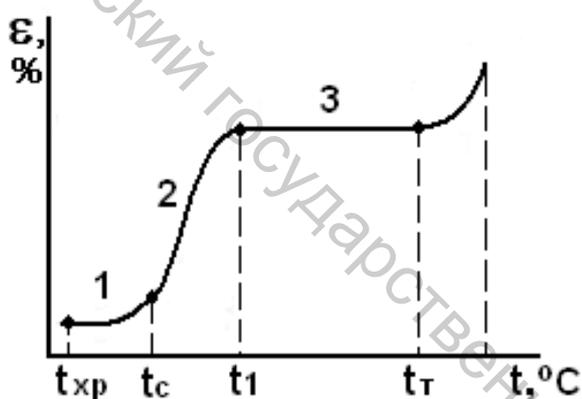


Рисунок 4.16 – Термомеханическая кривая монолитного аморфного полимера

На кривой выделяют три участка, соответствующих различным физическим состояниям полимера. Любой полимер может находиться во всех трёх физических состояниях, переходя из одного состояния в другое при нагревании и охлаждении. Первый участок соответствует стеклообразному состоянию. Для этого участка характерны малые деформации.

При небольших температурах полимер находится в стеклообразном состоянии, при повышении температуры переходит в высокоэластическое состояние (участок 2). При температуре  $t_c$  полимер переходит из стеклообразного состояния в высокоэластичное. Температуру  $t_c$  называют температурой стеклования.

В некотором интервале температур (участок  $t_c - t_1$ ) наблюдается рост деформации, которая носит обратимый характер. На этом участке деформация складывается из упругой и высокоэластической. Оба эти вида деформации являются обратимыми, поэтому форму изделия необходимо фиксировать. Режимы тепловой обработки полимера должны лежать в интервале этого участка.

Высокоэластическое состояние полимера характеризуется возможностью получения больших обратимых деформаций благодаря способности звеньев и сегментов макромолекул к изгибу и распрямлению. Если полимерный материал, деформированный в высокоэластическом состоянии, охладить до температуры ниже температуры стеклования  $t_c$ , то можно сохранить деформацию после снятия нагрузки. При охлаждении полимер вновь переходит в стеклообразное состояние, при этом происходит «замораживание» внутренних изменений в

структуре полимера, вызванных его переходом в высокоэластическое состояние при нагревании заготовки.

Третий участок  $t_1 - t_T$  – характеризует течение полимера, то есть необратимое перемещение цепей относительно друг друга. Полимер переходит в вязкотекучее состояние  $t_T$ . В точке  $t_T$  развивается истинное течение.

В связи с этим при превышении температуры обработки искусственных и синтетических кож возможно возникновение следующих дефектов: вылегания основы, эффект «лимонной корки», трещины лицевого слоя, нарушения лицевой поверхности и отклеивание затяжной кромки.

Полимеры в зависимости от молекулярной массы переходят при нагревании в высокоэластическое состояние или сразу же в вязкотекучее. Например, низкомолекулярные полиамиды при нагревании переходят в вязкотекучее состояние, минуя высокоэластическое.

Для снятия термомеханических кривых может быть использован прибор следующей конструкции (рисунок 4.17).

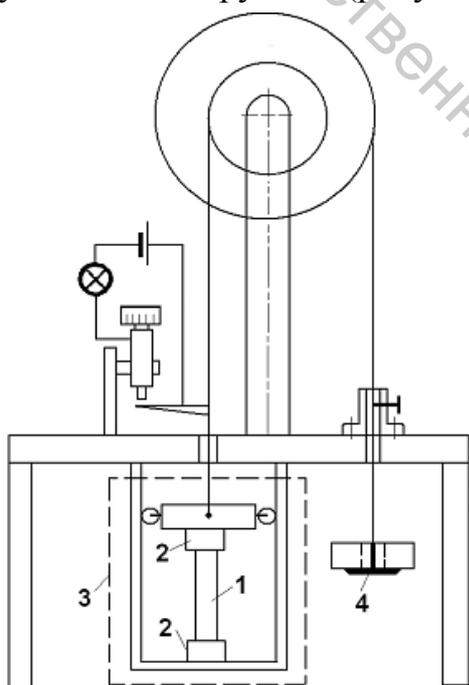


Рисунок 4.17 – Схема прибора для исследования термомеханических свойств материалов

Образец 1 закрепляется в зажимах 2, и включается термокамера 3. Температура внутри камеры регулируется в широких пределах. При достижении температуры поверхности образца установленного значения, которая измеряется электронным прибором, на площадку 4 кладется груз, вес которого составляет 0,1 от разрывной нагрузки образца. Температура внутри камеры регистрируется при помощи термопары. Нагревание происходит с постоянной скоростью  $2,2^{\circ}\text{C}$  в минуту. Удлинение образца измеряется электроконтактным способом.

Искусственные и синтетические кожи представляют собой сложные композиционные системы, армированные тканями и неткаными полотнами. Наличие нескольких слоев, различных по химическому составу и термомеханическим свойствам материалов, приводит к тому, что фактически получаемые термомеханические кривые для ИК и СК имеют более сложный характер (со мно-

жественными перегибами), чем кривая для аморфного полимера однородной структуры. Термомеханические кривые для синтетических кож СК-8 и СК-2 представлены на рисунке 4.18.

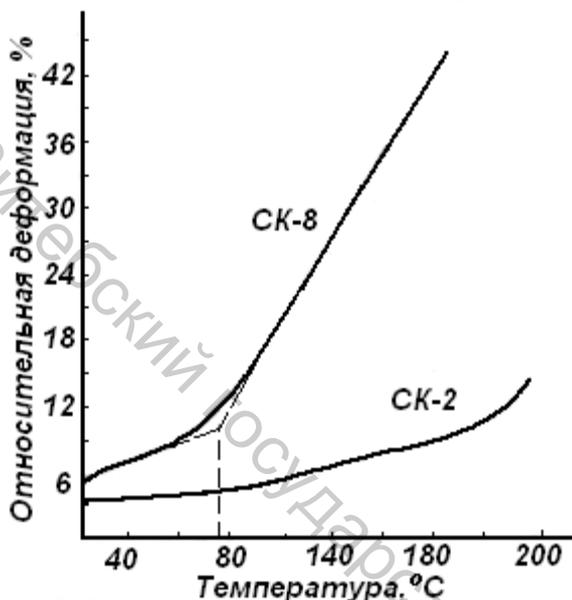


Рисунок 4.18 – Термомеханическая кривая синтетической кожи СК-8

У СК-8 наблюдается значительное возрастание деформации при увеличении температуры. Температура размягчения определяется как точка пересечения касательных к почти прямолинейным участкам термомеханической кривой в области размягчения. Для СК-8 она лежит в области температуры 78 °С. Положение этой точки указывает на возникновение интенсивных релаксационных процессов в полимерном материале.

В этой области температур деформация развивается при наименьших напряжениях и затратах энергии на нагрев. Поэтому установление температуры размягчения позволяет выбирать температурный режим формования заготовок (прогрев перед формованием). Предварительное растяжение и термопластификация приводит к существенному изменению вида термомеханической кривой и уменьшению относительных деформаций при одинаковых условиях испытания. При этом температура размягчения смещается в сторону более высокой температуры.

У СК-2 с возрастанием температуры удлинение повышается незначительно, и на кривой отсутствует точка перегиба, связанная с размягчением полимера.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адигезалов, Л. И.-О. Увлажнение, сушка и влажно-тепловая обработка в обувном производстве / Л. И.-О. Адигезалов. – Москва : Легкая и пищевая пром-ть, 1983. – 136 с.
2. Фукин, В. А. Технология изделий из кожи : учебник для вузов. В 2 ч. Ч. 1 / В. А. Фукин, А. Н. Калита ; под ред. В. А. Фукина. – Москва : Легпромбыт-издат, 1988. – 272 с.
3. Адигезалов, Л. И. Интенсифицированные методы сушки обуви / Л. И. Адигезалов, А. С. Шварц. – Москва : Легкая индустрия, 1974. – 136 с.
4. Горбачик, В. Е. Комплексная оценка уровня качества обуви / В. Е. Горбачик, А. И. Линник // Обувная промышленность. Обзорная информация. Выпуск 2. – Москва : ЦНИИТЭИлегпром, 1991. – 60 с.
5. Михеева, Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.
6. Зурабян, К. М. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности : уч. для вузов / К. М. Зурабян [и др.]. – Москва : ИИЦ МГУДТ, 2003. – 384 с.
7. Влияние влажно-тепловой обработки заготовок на формоустойчивость обуви из СК-2 / Н. Е. Хомяк [и др.] // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1981. – № 7. – С. 34 – 36.
8. Ратаутас, А. С. Профилографический метод определения формоустойчивости обуви / А. С. Ратаутас // Материаловедение и технология изделий из кожи : материалы конф. 1978 г. Развитие технических наук в республике и использование их результатов / Каунасский политехнический институт им. А. Снечкуса. – Вильнюс, 1978. – С. 28 – 30.
9. Щербаков, В. В. Комплексная оценка формоустойчивости обуви. Сообщение 1. Количественные показатели формоустойчивости обуви / В. В. Щербаков, А. Н. Калита, Г. В. Сипаров // Известия высш. учеб. завед. Технология легк. пром-ти. – 1980. – № 4. – С. 54 – 56.
10. Шевцова, М. В. Определение формоустойчивости носочной части обуви в динамических условиях и оценка свойств материалов для подносков : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.08; 08.01.01 / М. В. Шевцова; УО «БТЭУПК». – Гомель, 2004. – 21 с.
11. Совершенствование метода оценки формуемости и формоустойчиво-

сти материалов и систем материалов верха обуви : сб. науч. тр. / ЦНИИТЭИлегпром ; под ред. В. П. Рохлина. – Москва, 1984. – С. 35 – 42.

12. Усадка и релаксационные процессы в коже для обуви / В. Г. Тиранов [и др.] // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1996. – № 2. – С. 32 – 34.

13. Файбишенко, М. А. Влияние различных факторов на формоустойчивость обуви / М. А. Файбишенко // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1965. – № 9. – С. 27 – 33.

14. Буркин, А. Н. Оптимизация технологического процесса формования верха обуви : монография / А. Н. Буркин. – Витебск : УО «ВГТУ», 2007. – 220 с.

15. Кравченко, А. Д. Исследование влияния влаги на деформацию материалов верха обуви при двухмерном растяжении / А. Д. Кравченко // Известия высш. учеб. завед. Технология легк. пром-ти. – 1961. – № 6. – С. 84 – 91.

16. Кравченко, А. Д. Термофиксация кожи хромового дубления при двухмерном растяжении / А. Д. Кравченко // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1974. – № 9. – С. 45 – 47.

17. Растенис, И. К. Релаксация напряжений при пространственном растяжении текстильных материалов / И. К. Растенис, М. М. Гутаускас // Известия высш. учеб. завед. Технология легк. пром-ти. – 1972. – Т. 4. – С. 106 – 108.

18. Зыбин, А. Ю. Метод определения формоустойчивости материалов для верха обуви / А. Ю. Зыбин, Л. В. Белоброва, Т. С. Горнецкая // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1978. – № 7. – С. 43 – 44.

19. Луцык, Р. В. Влияние влаги на релаксационные свойства и остаточную деформацию дублированных тканей для верха обуви / Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1985. – № 1. – С. 53 – 55.

20. Луцык, Р. В. Влияние тепла и влаги на релаксационные свойства и формоустойчивость искусственных и синтетических кож / Р. В. Луцык, Н. Е. Хомяк // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1979. – № 10. – С. 45 – 48.

21. Термофиксация искусственных и синтетических материалов / А. Г. Хрипин [и др.] // Известия высш. учеб. завед. Технология легк. пром-ти. – 1976. – № 2. – С. 59 – 64.

22. Формоустойчивость систем материалов для верха обуви / В. В. Щербаков [и др.] // Кожевенно-обувная пром-ть. – 1980. – № 12. – С. 19 – 21.

23. Определение оптимальных параметров влажно-тепловой обработки заготовок обуви с верхом из искусственной и синтетической кож / Н. Е. Хомяк [и др.] // Известия высш. учеб. завед. Технология легк. пром-ти. – 1981. – № 4. – С. 37 – 40.

Учебное издание

Фурашова Светлана Леонидовна  
Загайгора Клавдия Андреевна

**ГИГРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И  
ОБОРУДОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ ОБУВИ**

Курс лекций

Редактор *Н.Н. Матвеева*

Технический редактор *А.И. Линник*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *А.А. Сайкин, Н.Н. Матвеева*

---

Подписано к печати \_\_\_\_\_ Формат \_\_\_\_\_. Бумага офсетная № 1.  
Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. \_\_\_\_\_. Уч.-изд. лист. \_\_\_\_\_. Тираж \_\_\_\_\_ экз.  
Заказ № \_\_\_\_\_

Учреждение образование «Витебский государственный технологический университет» 210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.