Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

О. В. Дементьева, Анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе обтяжки деталей верха обуви, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2007, выпуск 2(), 167–169

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu550>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.166.219.16

26 апреля 2023 г., 11:39:55

Математическое моделирование

УДК 685.34.024.4

О. В. Дементьева

АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗАГОТОВКИ В ПРОЦЕССЕ ОБТЯЖКИ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХА ОБУВИ

Предлагается новый подход к оценке остаточных деформаций и напряжений заготовки верха обуви при формовании. Построение геометрической модели колодки выполняется с применением новых технологий в области проектирования. В результате обработки экспериментальных данных определены деформационные характеристики материала заготовки. Решена имитационная контактная задача, позволяющая проводить экспресс-оценку свойств материалов деформирующейся детали.

Среди этапов технологического процесса изготовления обуви важную роль играет процесс формования заготовки верха обуви на колодке, который связан с приданием листовому материалу или системе материалов пространственной формы за счёт деформаций растяжения в условиях повышенной влажности и температур. Неправильное протекание этого процесса приводит к потере формы обуви в процессе носки, при этом чаще всего наблюдается интенсивное образование складок в области пучков [1].

Анализ механического поведения заготовки верха обуви с оценкой остаточных деформаций и напряжений, определением характеристик прочности затруднён из-за сложности геометрической формы, нелинейности механических свойств материалов и переменности нагрузок [2]. Поэтому для исследования процесса формования необходимо использование современных компьютерных методов анализа и проектирования сложных конструкций, основанных на методе конечного элемента. Преимущество такого подхода в данном случае заключается в том, что он позволяет получить детальную информацию о поведении заготовки на протяжении всего процесса формования.

Процесс формования верха обуви включает на два этапа. На первом этапе под действием деформирующих усилий материал растягивается по всей поверхности до достижения плотного облегания колодки и получения её формы. Второй этап — релаксация напряжений в заготовке, зафиксированной на колодке в деформированном состоянии, в процессе выдержки.

В данной работе рассматриваются особенно-сти имитационного моделирования первого этапа. Определённую трудность вызывает точное задание геометрической формы колодки. Поэтому здесь целесообразно использовать новые технологии в области проектирования и обработки данных. На поверхность пластмассовой колодки была нанесена сетка поперечных и продольных линий. Колодка фиксировалась на неподвижной опоре. С помощью измерительной руки — разновидности контрольно-измерительной машины (КИМ) — производилось непосредственное сканирование колодки в программный комплекс гибридного трёхмерного моделирования PowerSHAPE с приложением PS-Argm (модуль обратного инжиниринга). Накопник измерительной руки последовательно устанавливался в точках нанесённых линий со средним шагом 10 мм. Для повышения точности сканирование осуществлялось три раза. Полученные сечения и линии модели сохранялись в формате IGES и импортировались в пакет инженерного анализа CAE ANSYS® для дальнейшего построения геометрической конструкции колодки (рис. 1).

Полная конструкция модели включает в себя колодку и заготовку детали верха обуви — союзку, которую необходимо натянуть на колодку. В качестве материала колодки используется пластмасса с модулем упругости — $2 \cdot 10^3$ МПа и коэффициентом Пуассона — 0,3. Кожа хромо-

Рис. 1. Конечно-элементная модель колодки в CAE ANSYS®

вого метода дубления толщиной 1,65 мм используется для формованной детали. При задании свойств материала союзки была использована пятиэлементная модель Муни–Ривлина, которая наиболее полно описывает гиперупругие свойства обувных материалов. Удельная энергия деформирования представляется в виде

$$W = C_{10}(T_1 - 3) + C_{01}(T_2 - 3) + C_{20}(T_1 - 3)^2 + C_{11}(T_1 - 3)(T_2 - 3) + C_{02}(T_1 - 3)^2 + \frac{1}{d}(J - 1)^2,$$

где C_{10} , C_{01} , C_{20} , C_{11} , C_{02} — материальные константы; T_1 и T_2 — первый и второй инварианты девиатора деформации; d — коэффициент несжимаемости материала; J — детерминант матрицы градиента деформации.

Для определения параметров модели материала использовались экспериментальные диаграммы деформирования материала верха при двухосном растяжении. Характеристики напряжённо-деформированного состояния материалов были получены в результате обработки

известных опытных данных работы [3]. В этом исследовании изучалось влияние влаги на деформацию материалов верха обуви при двухмерном растяжении. Испытывались три типа образцов: однослойный — из кожи, двухслойный — из кожи и тик-саржи, трёхслойный — из кожи, тик-саржи и бязи. Образцы материала в виде плоского круга закреплялись по периметру и исследовались на гидравлическом динамометре. Схема испытаний образца показана на рис. 2.

Нетрудно убедиться, что растягивающее напряжение в образце определяется по формуле

$$\sigma = \frac{pr}{2\delta \sin \beta},$$

где p — давление, r — радиус образца, δ — толщина образца. Деформация образца находится из равенства

$$\epsilon = \frac{l - 2r}{2r},$$

Рис. 2. Схема испытания образца

где соответствующие размеры показаны на рис. 2.

В результате обработки диаграмм деформирования коэффициенты C_{10} , C_{01} , C_{20} , C_{11} и C_{02} модели Муни–Ривлина были получены для каждого из типов образцов при пяти значениях влажности.

Рис. 3. Диаграммы растяжения кожи и систем материалов:

■ — кожа; ▲ — система 1; ◆ — система 2

Увлажнение при формовании кожи уменьшает усилия, необходимые для её растяжения, уменьшает упругие и пластические свойства в сторону увеличения остаточной деформации и ускоряет процесс релаксации [1]. Для моделирования процесса формования были приняты характеристики кожи с влажностью 30 %. На рис. 3 изображены диаграммы деформирования кожи, двухслойной системы 1: кожа + тик-саржа и трёхслойной системы 2: кожа + тик-саржа + бязь при влажности 30 %.

Для построения конечно-элементной модели колодки используется оболочечный элемент SHELL41, который обладает мембранной жёсткостью; имеет три степени свободы в каждом узле: перемещение в направлении осей X , Y и Z узловых системы координат. Оболочечный элемент SHELL181 используется для детали, так как хорошо подходит для расчёта моделей оболочек с умеренной толщиной; имеет шесть степеней свободы в каждом узле и может применяться в нелинейных задачах, учитывающих пластичность, ползучесть, в условиях больших деформаций и больших перемещений [4, 5].

В качестве первого приближения отработана тестовая контактная задача жёсткого и деформируемого тел, представляющая интерес для экспресс-оценки свойств материалов. Конструктивная модель задачи состоит из полусферы, по форме, приближенной к носочной части колодки, и круглой деформируемой детали. Эта деталь натягивается на полусферу.

При обтяжке заготовка растягивается неравномерно: в союзке деформация достигает 5–12 %, в носочной части — 10–30 %, в областях, близких к стелечной грани — 25–40 % [2]. Различная степень деформации объясняется небольшим участком приложения деформирующих сил, трением заготовки о колодку, формой носочной части колодки.

В тестовой задаче свойства материалов и типы элементов приняты такими же, как в основной задаче. На рис. 4 изображена конечно-элементная модель пробной модели.

Процесс нагружения происходит в два этапа. Первый этап заключается в сближении жёсткого и деформируемого тел для образования зоны контакта. На втором этапе задаётся перемещение кромки деформируемой детали к грани жёсткой полусферы.

В результате численного моделирования деталь растянулась, получив деформацию 43,5 % (рис. 5). Полученное значение деформации позволяет охватить весь возможный диапазон деформирования при формовании деталей верха обуви. Полученные значения напряжений и деформаций могут быть использованы для оценки технологических свойств материала.

Рис. 4. Конечно-элементная модель пробной конструкции

Рис. 5. Распределение интенсивности деформации в заготовке после обтяжки

Таким образом, разрабатываемая методика позволяет выбрать оптимальные параметры процесса формования заготовки верха обуви: обеспечить равномерное напряжённо-деформированное состояние формируемой детали и выбрать адекватные свойствам материала скорости растяжения на разных стадиях обтяжки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (номер проекта 04-01-96506)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зыбина, Ю. П. Конструирование изделий из кожи [Текст]: учебник для вузов / Ю. П. Зыбина, В. М. Ключниковой и др. — М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1982. — 416 с.
2. Куприянов, М. П. Деформационные свойства кожи для верха обуви [Текст] / М. П. Куприянов. — М.: Лёгкая индустрия, 1969. — 284 с.
3. Кравченко, А. Д. Исследование влияния влаги на деформацию материалов верха обуви при двухмерном растяжении [Текст] / А. Д. Кравченко // Извест. вузов. Технология лёгкой пром-сти. — 1961. — № 6. — С. 84–91.
4. Басов, К. А. ANSYS. Справочник пользователя [Текст] / К. А. Басов. — Мн.: ДМК Пресс, 2005. — 640 с. — ISBN 5-94074-108-8.
5. Басов, К. А. Графический интерфейс комплекса ANSYS [Текст] / К. А. Басов. — Мн.: ДМК Пресс, 2006. — 248 с. — ISBN 5-94074-074-X.
6. Иванов, Н. И. Технология обуви [Текст]: учебник для вузов / Н. И. Иванов, Х. Х. Лиюкумович, М. М. Петрунина, Т. П. Швецова. — М.: Лёгкая индустрия, 1970. — 112 с.