

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕТАЛЕЙ ОБУВИ

Я.М. КЛЕБАНОВ, С.П. АЛЕКСАНДРОВ, А.Н. ДАВЫДОВ, А.Н. ЛУКЬЯНОВА

(Самарский филиал Московского государственного университета сервиса,
Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности)

Основная цель настоящей статьи – создание методов компьютерного моделирования механического поведения деталей обуви и разработка теории и методов анализа процесса ее приформовываемости.

В начале исследования рассмотрено воздействие большого пальца стопы на систему низа, состоящую из основной стельки и подошвы.

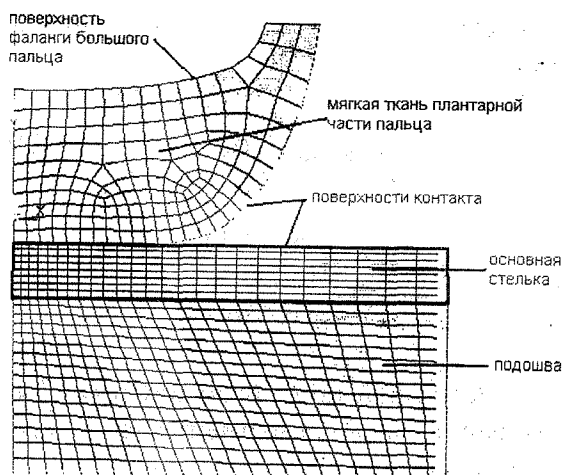


Рис. 1

Для отладки программы на первых этапах ее решения объемные трехмерные модели адекватно заменены двухмерными осесимметричными (рис.1). Характеристики конечно-элементных моделей представлены в табл.1. Более подробно рассматривается основная стелька, подверженная наибольшим напряжениям (при нагрузке сжатия 500Н интенсивность напряжений составляет 4,9МПа). Нагрузка сжатия действует со стороны поверхности фаланги большого пальца стопы на систему низа:

Таблица 1

Наименование модели	Материал модели	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Характеристика элемента
Большой палец ноги	Подобен микропористой резине	1,9	0,49	Гиперупругий элемент, использующий функцию упругого потенциала Муни-Ривлина
Основная стелька	Кожа для низа обуви	80	0,48	Изопараметрическое тело
Подошва	Микропористая резина	2	0,49	Гиперупругий элемент

При решении нелинейной задачи полная нагрузка 500Н реализуется в виде последовательных приращений с использованием итераций равновесия Ньютона-

Рафсона. Задается десять шагов нагружения, нагрузка на каждом шагу меняется по линейному закону. Между пальцем и стелькой происходит контакт поверхность-

в-поверхность. Условия контакта моделируются заданием специальных элементов.

В соответствии со статической теоремой приспособляемости Мелана [1] конструкция приспособится к повторным нагрузениям, то есть ее поведение после некоторого числа первых циклов станет чисто упругим, если можно найти такое, не зависящее от времени распределение остаточных напряжений σ_r , что их сумма с упругими напряжениями σ_e в каждой точке тела образует безопасное напряженное состояние σ_s :

$$|\sigma_r|_{\max} \leq \sigma_y; |\sigma_s|_{\max} = |\sigma_r + \sigma_e|_{\max} \leq \sigma_y, \quad (1)$$

где σ_y – предел упругости для материала.

Такое поле напряжений может быть получено с помощью итерационной процедуры, в которой на каждой итерации модули упругости высоконагруженных конечных элементов систематически уменьшаются, а слабонагруженных элементов – увеличиваются. Этот метод, названный методом упругих компенсаций, использовался в работах Д.Мариотта [2], а также Д.Бойля и Д.Маккензи [3]. В нашем исследовании этот метод модифицирован для определения предельной нагрузки приспособляемости в случае контактного взаимодействия тел.

Алгоритм вычислительной процедуры, основанный на вышеизложенном подходе, включает следующие основные этапы.

1. Решается упругая контактная задача с помощью шагов по нагрузке. На каждом шагу нагружения эквивалентное напряжение σ_e каждого конечного элемента записывается в массив параметров для дальнейшего использования при вычислении остаточных напряжений.

2. Для шага нагружения, на котором нагрузка составляет примерно 1,2 от нагрузки, соответствующей пределу упругости, выполняется пересчет модуля упругости каждого конечного элемента в соответствии со следующей зависимостью:

$$E = E_0 \frac{\sigma_n}{(\sigma)}, \quad (2)$$

где E_0 – модуль упругости материала, МПа; σ_n – номинальное напряжение, равное половине или двум третям от предела упругости, МПа; σ – максимальное (неосредненное) узловое эквивалентное напряжение в конечном элементе, МПа.

3. Выполняется заданное число итераций, на которых решается контактная задача с новыми модулями упругости шагами по нагрузке. На каждом шагу вычисляются максимальное эквивалентное напряжение $|\sigma_s|_{\max}$ и остаточное напряжение:

$$|\sigma_r|_{\max} = |\sigma_{si} - \sigma_e|_{\max}, \quad (3)$$

где индекс i соответствует номеру итерации.

4. Определяется нагрузка P_{1i} , при которой

$$|\sigma_s|_{\max} \geq \sigma_y, \quad (4)$$

и нагрузка P_{2i} , при которой

$$|\sigma_r|_{\max} \geq \sigma_y. \quad (5)$$

5. Нагрузкой приспособляемости для i -й итерации является наименьшая из нагрузок P_{1i} и P_{2i} :

$$P_{si} = \min(P_{1i}, P_{2i}). \quad (6)$$

6. Если еще не выполнено заданное число итераций, то делается пересчет модуля упругости каждого конечного элемента в соответствии с зависимостью (2). В качестве E_0 и σ берутся модуль упругости и эквивалентное напряжение на текущей итерации. Затем происходит возврат на этап 3 для выполнения следующей итерации.

7. После завершения последней из итераций предельная нагрузка приспособляемости определяется как наибольшая из нагрузок P_{si} :

$$P_s = \max(P_{si}). \quad (7)$$

Задача решалась с использованием программного комплекса инженерного анализа ANSYS. Приведенный выше алгоритм

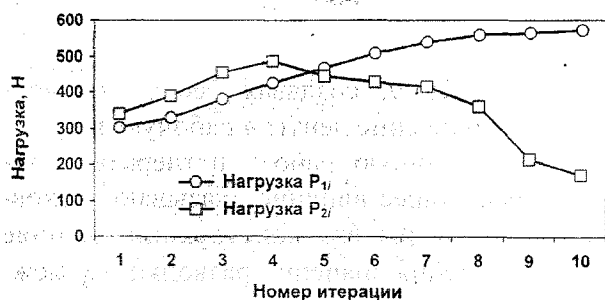


Рис. 2

Из рис.2, где изображена зависимость нагрузок P_{1i} и P_{2i} от числа итераций видно, что предельная нагрузка приспособляемости основной стельки соответствует 5-й итерации и равна $P_s = 445\text{Н}$. Отметим, что для данной модели стельки (толщина 2,5мм) с заданными свойствами материала нагрузка, при которой максимальное эквивалентное напряжение достигает предела упругости, составила $P_{\text{упр}} = 200\text{Н}$. Таким образом, предельная нагрузка приспособляемости выше нагрузки чисто упругого поведения системы низа в 2,2 раза. На рис.3 показаны области равного уровня эквивалентных упругих напряжений при нагрузке $P_{\text{упр}} = 200\text{Н}$.

Анализ полученных результатов позволил произвести отладку, реализацию, тестирование и верификацию процедур компьютерного моделирования НДС объекта исследования методом конечного элемента.

ВЫВОДЫ

1. Создана методика компьютерного расчета приформовываемости на основе

вычислительной процедуры реализован с использованием языка программирования ANSYS Parametric Design Language (APDL).

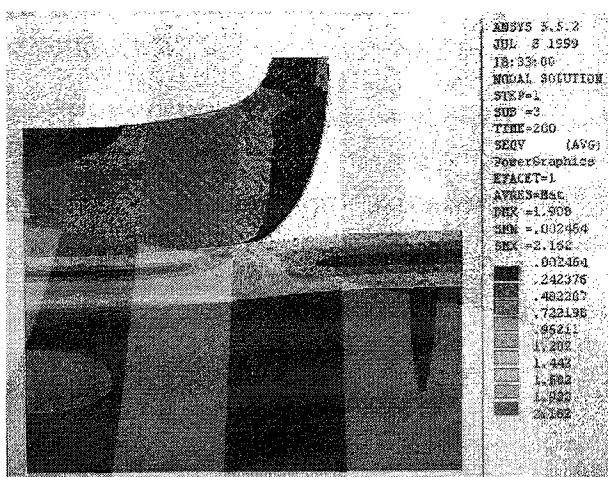


Рис. 3

рассмотренного напряженно-деформированного состояния основной стельки.

2. Разработана процедура компьютерного моделирования процесса приспособляемости деталей обуви, ориентированная на применение метода конечного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гохфельд Д. А., Чернявский О. Ф. Несущая способность конструкций при повторных нагрузках. – М.: Машиностроение, 1979.
2. Marriot D. L. Evaluation of Deformation or load control of stresses under inelastic condition using elastic finite element stress analysis // Proc. ASME PVP Conf. – Pittsburgh. Vol.136, 1988.
3. Mackenzie D., Boyle J. An iterative elastic analysis procedure for estimating lower bound limit loads // Proc/ ASME PVP. – New Orleans, 1992.

Рекомендована кафедрой материаловедения.
Поступила 07.06.00.