

## ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НИТОК В СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ШВАХ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХА ОБУВИ

Е.А. Шеремет, Л.Г. Козловская, А.А. Науменко

УДК 685.34.24.4:658.34.042.22

### РЕФЕРАТ

*ОБУВНЫЕ НИТКИ, ОСТАТОЧНАЯ ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ*

*Объект исследования – обувные нитки, применяемые при сборке заготовки обуви.*

*Цель работы – изучение характера деформации обувных ниток для установления возможности применения экспресс-методов при оценке их качества и прогнозировании по показателям механических свойств.*

*В работе использованы измерительные методы оценки качества ниток и методы математического моделирования.*

*Установлены результаты влияния на остаточную циклическую деформацию обувных ниток таких технологических и эксплуатационных факторов, как усилие затяжки швов обуви, скорость нагружения, время эксплуатации. Получена математическая зависимость остаточной циклической деформации от указанных факторов.*

*Результаты работы могут быть использованы для прогнозирования качества обувных ниток и разработки экспрессных методов испытаний.*

### ABSTRACT

*The research results of residual cycling deformation of thread used by assembling of upper footwear parts are given in this article.*

*The influence of 3 factors on the residual deformation was estimated: the effort of foot-wear lasting, loading speed, exploitation period.*

*The given factors are simulated on the pulser according to static load, frequency of rotation of sine mechanisms of pulser, the number of deformation cycles.*

*The characteristic of dependence of these factors is given and their effect on residual cyclic deformation is revealed.*

*The adequate polynomial model of dependence is constructed which completely corresponds to logic of physical interrelation of quantities and can be used for necessary analysis in prediction problems of deformation properties of threads.*

*The results of the research allow to make the conclusion about capabilities of reduction of testing period and the using of proximate methods for evaluation and prediction of foot-wear thread quality at preceding realization.*

Качество соединительных швов деталей верха обуви во многом зависит от того как, соотносятся напряжения и деформации, возникающие в нитках при затяжке швов и последующей эксплуатации изделий, с физико-механическими свойствами этих ниток. Подобным вопросам уделено определенное внимание в некоторых работах, в частности в [1, 2]. Однако многие аспекты данной проблемы ввиду ее сложности остаются лишь обозначенными. Тем не менее, они имеют существенное практическое значение в отношении как производства изделий, так и прогнозирования их эксплуатационных характеристик.

В проведенном исследовании ставилась задача моделирования напряженно-деформированного состояния (в дальнейшем НД-состояния)

ниток, применяемых в соединительных швах деталей верха обуви на пульсаторе ПН-5, который предназначен для определения многоцикловых характеристик текстильных ниток. Возможности этого прибора позволяют моделировать взаимосвязи между характеристиками напряженно-деформированного состояния ниток, существующие в реальных условиях эксплуатации обувных изделий

Показателем интенсивности НД-состояния ниток выбрана остаточная циклическая деформация  $\Delta l_{ou}$ , отражающая режимы как изготовления, так и эксплуатации изделий. Величина этой деформации закладывается в процессе производства через величину усилия затяжки шва  $P$  [3]. На стадии же эксплуатации она зависит от скорости нагружения  $V$ , определяемой скоро-

стью ходьбы, и периода эксплуатации изделия  $t$ . Таким образом, в проведенном исследовании НДС-состояние нитки описывалось функцией:

$$\Delta l_{oc} = f(P, V, \tau). \quad (1)$$

На пульсаторе ПН-5 введенные величины промоделированы следующим образом. Остаточная циклическая деформация  $\Delta l_{oc}$  (мм) регистрировалась непосредственно по линейной шкале прибора как нарастающее во времени необратимое абсолютное удлинение испытываемой пробы ниток. Величина  $P$  (Н) моделировалась статической нагрузкой, прикладываемой к пробе перед началом испытаний. Для этой цели использовался входящий в комплект прибора набор специальных гирь. Масса гири выбиралась по приложенной к прибору таблице в зависимости от линейной плотности ниток и с учетом средних усилий шва при затяжке обуви на колодку. Выбранная гиря укладывалась на верхнюю кромку нижнего зажима и в ходе испытания создавала постоянное по величине статическое натяжение нитки. Скорость циклического нагружения  $V$  моделировалась частотой вращения эксцентрика  $\omega$  ( $c^{-1}$ ), перемещающего верхний зажим прибора, и задавалась с помощью имеющегося на ПН-5 регулятора скорости вращения эксцентрика со шкалой, отградуированной в  $мин^{-1}$ . Были выбраны условия эксперимента, приближенные к условиям опытной носки. Период эксплуатации  $t$  моделировался числом циклов испытаний пробы  $n$ . При этом единичный цикл нагрузки-разгрузки испытываемой нитки на приборе соответствовал одному шагу при ходьбе.

С учетом приведенных соответствий модель функции (1) в привязке к пульсатору ПН-5 имеет вид (2):

$$\Delta l_{oc} = f(P, \omega, n). \quad (2)$$

Изучение этой функции выполнялось в два этапа. На первом этапе рассматривалась однофакторная зависимость  $\Delta l_{oc} = f(n)$  при средних значениях двух других факторов –  $P$  и  $\omega$ . Интервалы возможных значений факторов  $P_{min} \leq P \leq P_{max}$  и  $\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}$  определены с учетом ли-

тературных и опытных данных. Они имеют такой вид:  $13 \leq P \leq 17$  Н и  $150 \leq \omega \leq 500$   $мин^{-1}$ . На основании этого средние их значения составляют соответственно 15 Н и 325  $мин^{-1}$ .

Целью этого этапа являлось установление характера влияния числа циклов  $n$  на величину остаточной циклической деформации нитки в шве. Интерес представлял вопрос о том, как изменяется скорость роста  $\Delta l_{oc}$  по мере возрастания  $n$ . Для испытаний были выбраны нитки, применяемые в настоящее время в производстве. Показатели их физических и механических свойств представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели свойств изучаемых ниток

| Условное обозначение ниток | Требования ГОСТ          |                                |                                   | Фактические данные       |                       |                          |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                            | Линейная плотность, текс | Разрывная нагрузка не менее, Н | Удлинение при разрыве не более, % | Линейная плотность, текс | Разрывная нагрузка, Н | Удлинение при разрыве, % |
| 70 Л                       | 65                       | 2,55                           | 23                                | 74,4                     | 4,01                  | 18,24                    |
| 86 Л                       | 87,8                     | 3,88                           | 21                                | 88,8                     | 5,43                  | 18,55                    |

Графическое изображение результатов испытаний приведено на рисунке 1.

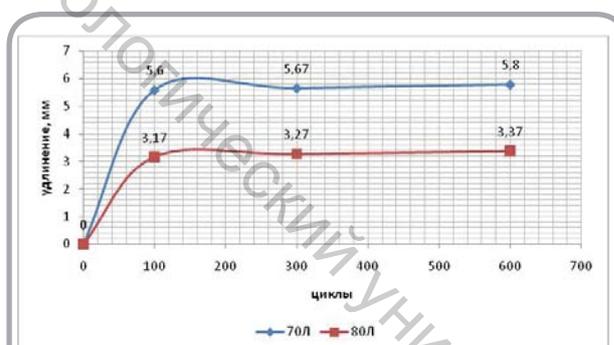


Рисунок 1 – График зависимости остаточной циклической деформации от числа циклов нагружения

Из рисунка следует, что скорость роста  $\Delta l_{oc}$  не остается постоянной. До значения  $n^*$ , равного 100 циклам, она быстро и почти линейно возрастает, достигая 90 % своего максимального значения  $\Delta l_{oc}^{max}$ . При этом  $n^* \ll n_{max}$ .

Это свидетельствует о том, что практически нет смысла продолжать испытания после значения  $n^*$ , так как основная информация об  $\Delta l_{ou}$  уже получена. Отсюда вытекает принципиальная возможность разработки экспрессных методов многоцикловых испытаний ниток для обувного производства.

На втором этапе исследования применитель-

но к нитке 70Л рассмотрено совместное влияние факторов, стоящих в правой части соотношения (2). Для уменьшения числа необходимых опытов использовалось факторное планирование эксперимента. С целью минимизации числа опытов выбран трехуровневый план типа ВЗ [4]. Матрица этого плана и результаты исследования содержатся в таблице 2.

Таблица 2 – Условия и результаты эксперимента

| Номер опыта | Матрица плана эксперимента |       |       |       | Значение выходного параметра $\Delta l_{ou}$ |
|-------------|----------------------------|-------|-------|-------|--|
|             | $x_0$                      | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ |  |
|             |                            |       |       |       | Y  |
| 1           | +                          | +     | +     | +     | 5,07   |
| 2           | +                          | -     | +     | +     | 4,15   |
| 3           | +                          | +     | -     | +     | 4,07   |
| 4           | +                          | -     | -     | +     | 3,69   |
| 5           | +                          | +     | +     | -     | 4,04   |
| 6           | +                          | -     | +     | -     | 4,57   |
| 7           | +                          | +     | -     | -     | 3,67   |
| 8           | +                          | -     | -     | -     | 4,12   |
| 9           | +                          | +     | 0     | 0     | 4,22   |
| 10          | +                          | -     | 0     | 0     | 4,84   |
| 11          | +                          | 0     | +     | 0     | 4,95   |
| 12          | +                          | 0     | -     | 0     | 4,65   |
| 13          | +                          | 0     | 0     | +     | 5,28   |
| 14          | +                          | 0     | 0     | -     | 5,40   |

Кодированные значения факторов  $x_1, x_2, x_3$  и интервалов варьирования факторов  $\lambda$  определя-

лись по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 x_1^+ &= (P^{max} - P_0) / \lambda_p; & x_1^- &= (P^{min} - P_0) / \lambda_p; & \lambda_p &= (P^{max} - P^{min}) / 2; \\
 x_2^+ &= (\omega^{max} - \omega_0) / \lambda_\omega; & x_2^- &= (\omega^{max} - \omega_0) / \lambda_\omega; & \lambda_\omega &= (\omega^{max} - \omega^{min}) / 2; \\
 x_3^+ &= (n^{max} - n_0) / \lambda_n; & x_3^- &= (n^{min} - n_0) / \lambda_n; & \lambda_n &= (n^{max} - n^{min}) / 2;
 \end{aligned}$$

где  $P_0, \omega_0, n_0$  – основные (средние) уровни соответствующих факторов;  $\lambda_p, \lambda_\omega, \lambda_n$  – значения шагов варьирования факторов.

По данным таблицы 2 и методике, описанной в [4], построена адекватная полиномиальная модель, имеющая вид (3):

$$y = 5,245 + 0,255 \cdot x_2 + 0,286 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,081 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,723 \cdot x_1^2 - 0,448 \cdot x_2^2 \quad (3)$$

Как свидетельствует построенная модель, все введенные факторы оказались нелинейно влияющими на выходной параметр – остаточную циклическую деформацию нитки. Отсюда следует, что ниточный шов является нелинейным объектом. Реакция его – величина остаточной циклической деформации – определяется не только значениями действующих факторов, но и сочетанием уровней факторов. Об этом свидетельствует наличие эффектов парного их

взаимодействия, что является косвенным признаком возможности скачкообразных изменений  $\Delta l_{ou}$  при изменении  $P, \omega, n$ . Для оценки этой возможности проводился канонический анализ полученной полиномиальной модели. При этом использовалась методика, описанная в [4]. Каноническая форма исследуемой модели имеет вид кубического уравнения (4):

$$B^3 - 1,171 \cdot B^2 + 0,306 \cdot B - 0,010 \cdot \gamma = 0. \quad (4)$$

Один из его корней оказывается близким к нулю, два других – комплексно сопряженные. Следовательно, поверхности равных значений выходного параметра представляют собой параллельные плоскости. А это, в свою очередь, свидетельствует о том, что в выбранных областях варьирования факторов  $P, \omega, n$  не существует экстремального значения  $\Delta l_{ou}$ . Не существует также и сочетаний их значений, при которых возникают скачкообразные изменения  $\Delta l_{ou}$ . Поэтому плавным и непрерывным изменениям факторов  $P, \omega, n$  в области эксперимента соответствуют плавные и непрерывные изменения  $\Delta l_{ou}$ .

Анализ особенностей влияния факторов на  $\Delta l_{ou}$  проведем путем дифференцирования уравнения (3) поочередно по каждой из кодированных переменных  $x_1, x_2$  и  $x_3$ . Использование уравнения модели изучаемой зависимости в кодированной форме позволяет оценивать интенсивность влияния факторов по величине коэффициентов  $b_i$  и  $b_{ij}$ , так как кодированные значения факторов заключены в одинаковый для них интервал:  $-1 \leq x_i \leq 1$ . Итак, получаем:

$$\begin{aligned} dy / dx_1 &= -1,446 \cdot x_1 + 0,286 \cdot x_3 \\ dy / dx_2 &= -0,896 \cdot x_2 + 0,081 \cdot x_3 \\ dy / dx_3 &= 0,286 \cdot x_1 + 0,081 \cdot x_2 \end{aligned}$$

Анализируя полученные соотношения, легко видеть, что при возрастании усилия затяжки шва  $x_1$  (фактор  $P$ ) снижается скорость роста остаточной циклической деформации по этой переменной, но возрастает по переменной  $x_3$  (фактор  $n$ ). Однако, судя по коэффициентам при  $x_1$  и  $x_3$ , влияние фактора  $P$  намного сильнее. Иными словами, правильно затянутый шов (когда напряжение в нитке шва существенно не выхо-

дит за пределы обратимых деформаций) препятствует нарастанию остаточной циклической деформации даже при увеличении числа циклов нагружения  $n$ . Обратная зависимость между скоростью нарастания остаточной циклической деформации ( $dy/dx_2$ ) по частоте циклического воздействия  $x_2$  (фактор  $\omega$ ) от этой частоты легко объясняется тем, что само по себе периодическое воздействие состоит в чередовании фаз нагрузки и отдыха. В фазе отдыха происходит релаксация деформации, то есть ее снижение. При возрастании  $\omega$  сокращается длительность фазы нагрузки, что влечет за собой снижения деформации, которая успевает развиться за это время. Автоматически снижается и остаточная циклическая деформация. Положительное влияние факторов  $x_2$  и  $x_3$  во втором и третьем уравнениях не требует особой физической аргументации.

Таким образом, построенная адекватная полиномиальная модель зависимости (1) полностью соответствует логике физической взаимосвязи входящих в нее величин и может с полным основанием использоваться для необходимых расчетов в задачах проектирования и прогнозирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прогнозирование сложных деформационных процессов обувных материалов / А. В. Демидов, А. Г. Макаров, А. М. Сталевич // Кожевенно-обувная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 48-49.
2. Жихарев, А. П., Смирнова Н. А. Свойства и ассортимент швейных ниток/ А. П. Жихарев, Н. А. Смирнова. – Москва : МГУДТ, 2007. – 143с.
3. Фукин, В. А. Технология изделий из кожи : учебник для вузов в 2 ч. Ч.1 / В. А. Фукин, А. Н. Калита. – Москва : Легпромбытиздат, 1988. – 272 с.
4. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов/ К. Хартман, В. Лецкий, В. Шеффер. – Москва : Мир, 1977. – 552 с.

## REFERENCES

1. Demidov, A.V., Makarov, A.G., Stalevich, A.M. Prediction of complex deformation processes of shoemaking materials [Prognozirovanie slozhnyh deformacionnyh processov obuvnyh materialov] // Kozhevenno-obuvnaja promyshlennost'. - Leather and footwear industry. – 2006. – № 3. – pp.48-49.
2. Zhiharev, A.P., Smirnova N.A. Features and range of sewing threads [Svoystva i assortment shvejnyh nitok]. - Moscow: MGUDT, 2007. – 143p.
3. Fukin, V.A., Kalita, A.N. Technology of leather: a textbook for high schools in 2 hours P.1 [Tehnologija izdelij iz kozhi: uchebnik dlja vuzov v 2 ch.Ch.1].-Moscow: Legprombytizdat, 1988. – 272 p.
4. Hartman, K., Leckij, L., Sheffer, V. Design of Experiments in the study of processes [Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov]. – Mir, 1977. – 552p.

*Статья поступила в редакцию 24.10.2013 г.*