УДК 621.792

РАСЧЕТ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

А.А. Калинин, А.В. Сивуха

Прочность клеевого соединения элементов обуви и кожгалантерейных изделий существенно влияет на их качество. Оценка прочности склейки при сдвиге по усреднённому касательному напряжению в адгезионном слое приводит к значительным погрешностям ввиду неравномерного распределения касательного усилия по длине склейки. Нелинейная зависимость наибольшего касательного напряжения от площади контакта соединенных полос рассмотрена в работе [1]. В работе [2] предложена методика определения разрушающего касательного напряжения в адгезионном слое и его жесткости. Эксперимент проводился на соединение двух полос внахлест при разных длинах поверхности контакта.

Но на прочность клеевого соединения влияет также вид соединения. Для сравнения прочности соединения полос рассмотрим двухстороннюю склейку трех полос равной толщины и трех полос разной толщины.

Двухстороннее соединение полосы единичной ширины с двумя такими же полосами изображено на рисунке 1.

Для вывода формулы для касательных напряжений запишем уравнение равновесия отсеченной части склейки

$$\sigma_0 - \sigma - 2\sigma_1 = 0 \tag{1}$$

и уравнение равновесия элемента средней полосы (рис. 2)

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{2}{\sigma}\tau. \tag{2}$$

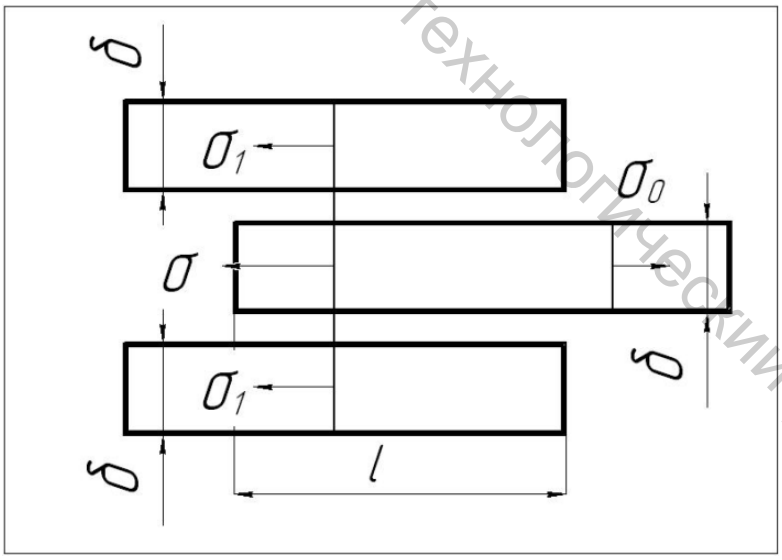


Рисунок 1

При линейной зависимости касательного напряжения в адгезионном слое от относительного смещения его границ [1]

$$\tau = \alpha\left(u - u_1\right).$$

Здесь u и u_1 – перемещения точек внутренней и внешней полос. В случае материала полос, подчиняющегося закону Гука,

Витебский государственный технологический университет

$$\frac{d\tau}{dx}=\alpha\left(\frac{du}{dx}-\frac{du_1}{dx}\right)=\frac{\alpha}{E}\left(\sigma-\sigma_1\right). \qquad (3)$$

Формулы (1), (2) и (3) приводят к уравнению

$$\frac{d^2\sigma}{dx^2}-k^2\sigma=-\frac{k^2}{3}\sigma_0,$$

$$\text{где } k^2=\frac{3\alpha}{\delta E}. \qquad (4)$$

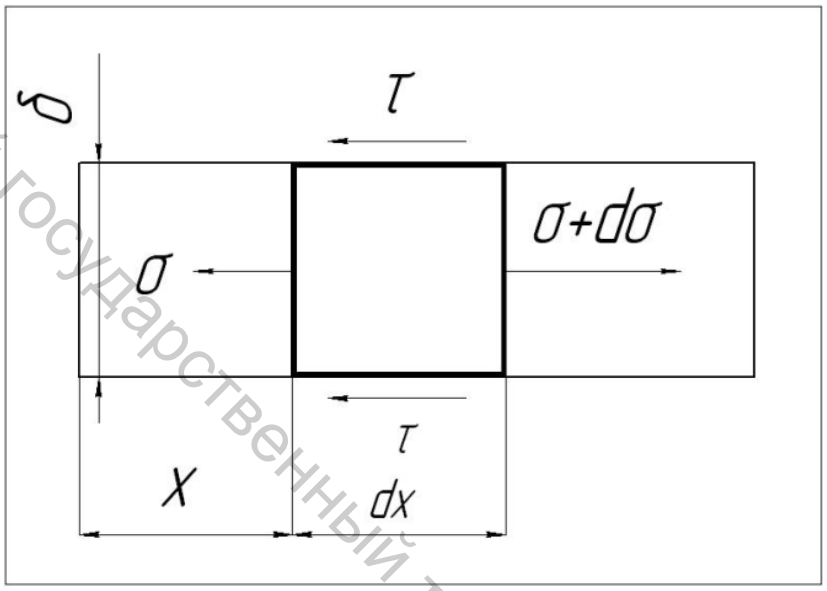


Рисунок 2

Общее решение уравнения (4) представляется в виде:

$$\sigma=C_1e^{kx}+C_2e^{-kx}+\frac{\sigma_0}{3}.$$

По граничным условиям $\sigma(0)=0,$ $\sigma(l)=\sigma_0$ и уравнению (2) получаем формулу для касательного напряжения:

$$\tau=\frac{\sigma_0\delta k}{6\left(e^{kl}-e^{-kl}\right)}\left[2\left(e^{kx}+e^{-kx}\right)+e^{k(l-x)}+e^{-k(l-x)}\right]. \qquad (5)$$

При изменении толщины полос, подходящих к склейке слева, равенства (2) и (3) остаются неизменными, а уравнение (1) при уменьшении толщины этих полос вдвое (рис. 3) принимает вид:

$$P_0-P-P_1=0.$$

В результате уравнение (4) представляется в виде:

$$\frac{d^2\sigma}{dx^2}-k^2\sigma=-\frac{k^2}{2}\sigma_0 \quad \text{при} \quad k^2=4\frac{\alpha}{\delta E}.$$

Формула для касательного напряжения в этом случае существенно меняется:

Витебский государственный технологический университет

$$\tau = \frac{\sigma_0 \delta k}{4\left(e^{kl} - 1\right)}\left[e^{kx} + e^{k(l-x)}\right]. \qquad (6)$$

По формуле (6) видно, что при суммарной толщине полос, подходящих к склейке слева, равной толщине средней полосы, касательное напряжение на границах склейки принимает равные (наибольшие) значения, то есть

$$\tau(0) = \tau(l) = \sigma_0 \cdot \frac{\delta k}{4} \cdot \frac{e^{kl} + 1}{e^{kl} - 1}.$$

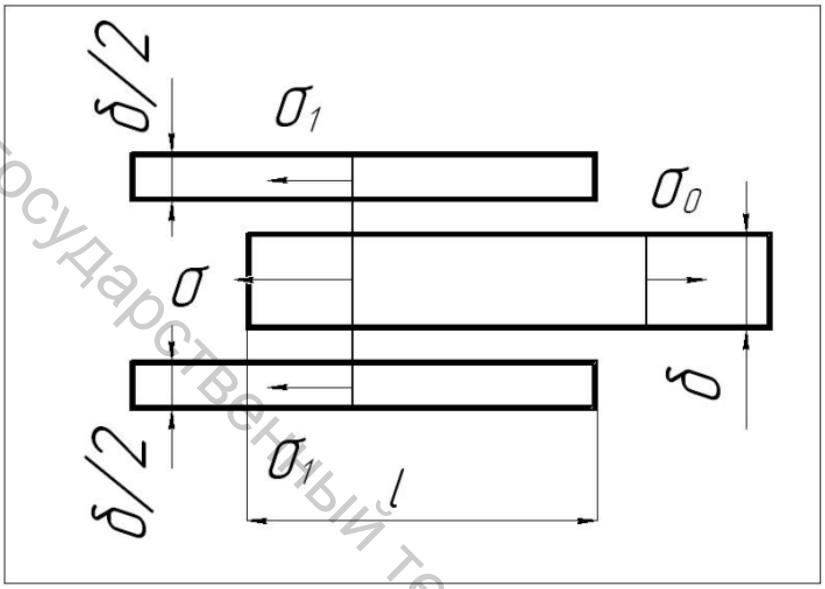


Рисунок 3

Такой симметрии нет в формуле (5).

В соединении, изображенном на рисунке 1, касательное напряжение принимает наибольшее значение при $x = l$, то есть на конце более жесткого пакета полос

$$\tau_{max} = \sigma_0 \frac{\delta k \cdot 2}{3\left(e^{kl} - e^{-kl}\right)}\left[e^{kl} + e^{-kl} + 1\right].$$

На рисунке (4) приведены графики касательных напряжений, вычисленных по формуле (5) при значениях параметра $\frac{\alpha}{\delta E} l = \eta l$, равных 1, 2, 3.

Графики касательных напряжений, вычисленных по формуле (6) при тех же значениях ηl, изображены на рисунке 5.

Заметим, что соединение двух тонких полос с одной более толстой полосой (рис. 3) является более прочным по сравнению с соединением полос, изображенных на рисунке 1. Расхождение в максимальных напряжениях в этих склейках возрастает с увеличением длины склейки.

Витебский государственный технологический университет

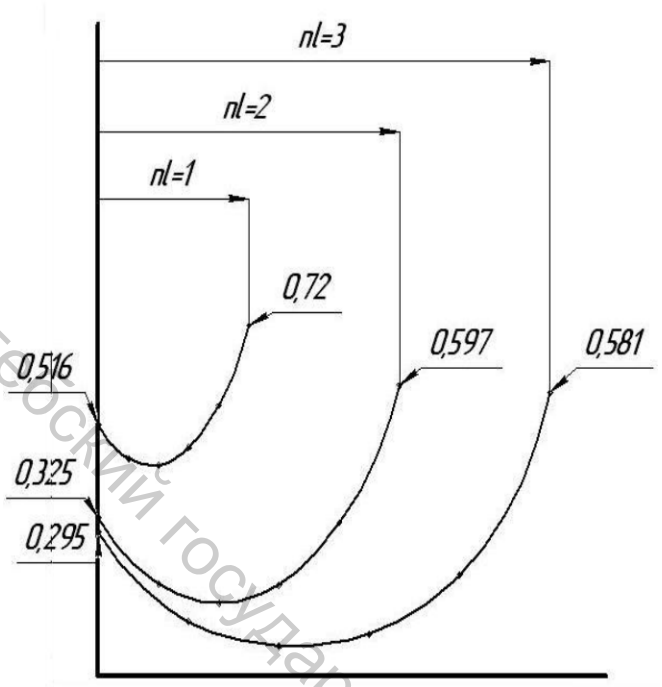


Рисунок 4

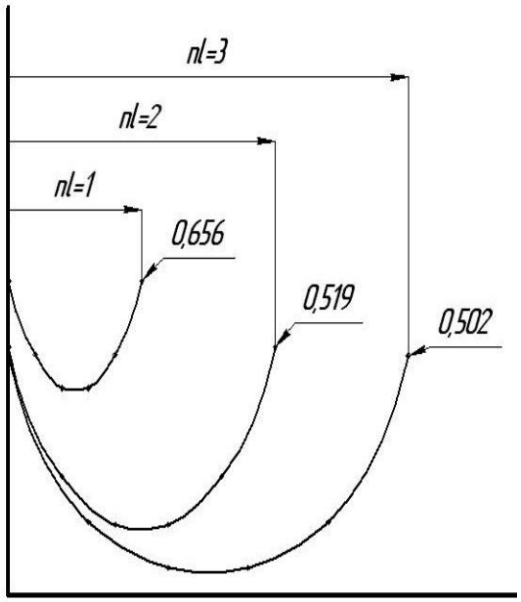


Рисунок 5

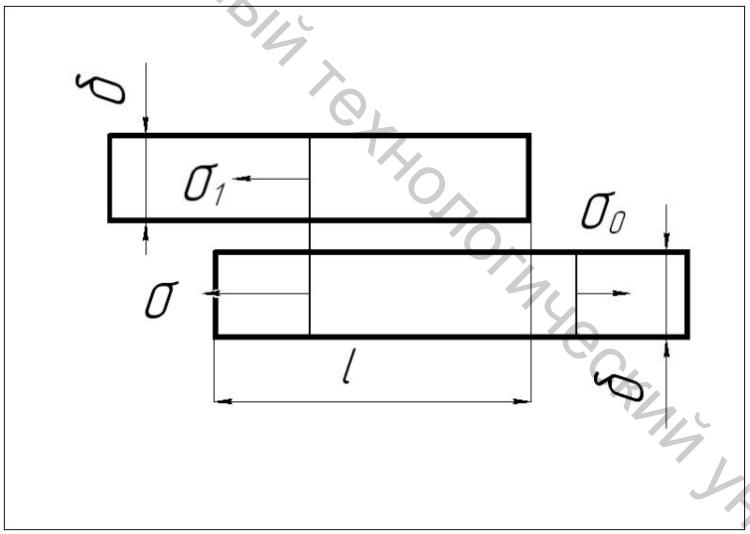


Рисунок 6

Ниже приводятся соотношения максимальных напряжений, вычисленных по формулам (5) и (6) при рассмотренных ранее значениях параметра $\frac{\alpha l}{\delta E}$:

$$\frac{0,720}{0,656} = 1,097; \quad \frac{0,597}{0,519} = 1,150; \quad \frac{0,584}{0,502} = 1,157.$$

Подобное различие в графиках касательных напряжений получается при соединении трех полос с различным модулем продольной упругости. Так, при

Витебский государственный технологический университет

равной толщине полос и модуле упругости внешних полос в 2 раза меньшем, чем модуль упругости внутренней полосы $(E_1 = E/2)$, касательные напряжения совпадают с напряжениями формулы (6).

Соединение двух полос равной толщины внахлест (рис. 6) рассмотрено в работе [2]. Полученная формула для касательных напряжений

$$\tau = \frac{\sigma_0 \delta k}{2\left(e^{kl} - 1\right)}\left[e^{kx} + e^{k(l-x)}\right] \qquad (7)$$

отличается от формулы (6) знаменателем и параметром k. В формуле (6) $k^2 = \frac{4\alpha}{\delta E}$, а в формуле (7) $k^2 = \frac{2\alpha}{\delta E}$.

Методика определения разрушающего касательного напряжения в адгезиве по результатам испытания соединений при различной длине области контакта основана на формуле (7). Полученные значения τmax отличались от среднего значения τmax не более чем на 1,5 %.

В соединении, изображенном на рисунке 3, суммарная жесткость двух тонких полос равна жесткости одной верхней полосы односторонней склейки (рисунок 6) при площади контакта в два раза большей. Однако такое увеличение площади контакта при неизменной длине не приводит к двойному снижению максимального касательного напряжения.

На рисунке (7) приведен график напряжения (7) при $\eta l = 2$.

Для сравнения здесь же изображен график касательного напряжения в двухсторонней склейке полос неравной толщины (вторая задача). Уменьшенные в два раза напряжения (7) (они показаны штриховой линией) не равны напряжениям (6).

Если материал одной из полос при односторонней склейке обладает жесткостью значительно превышающей жесткость другой полосы, то, положив $E = \infty$, получим однородное дифференциальное уравнение:

$$\frac{d^2\sigma}{dx^2} - k^2\sigma = 0, \text{ при } k^2 = \frac{\alpha}{\delta E}.$$

Решение этого уравнения при найденных постоянных по граничным условиям приводит к формуле для касательных напряжений:

$$\tau = \sigma_0 \delta k \frac{e^{kx} + e^{-kx}}{e^{kl} - e^{-kl}}. \qquad (8)$$

Наибольшее значение это напряжение принимает при $x = l$.

$$\tau_{max} = \sigma_0 \delta k \frac{e^{kl} + e^{-kl}}{e^{kl} - e^{-kl}}.$$

На рисунке 8 построены графики этого напряжения при ηl равном 1, 2 и 3.

Видно, что возрастание длины склейки l приводит к медленному снижению τ_{max}. Предельное значение его при $l = \infty$

$$\tau_{max} = \sigma_0 k \delta.$$

Витебский государственный технологический университет

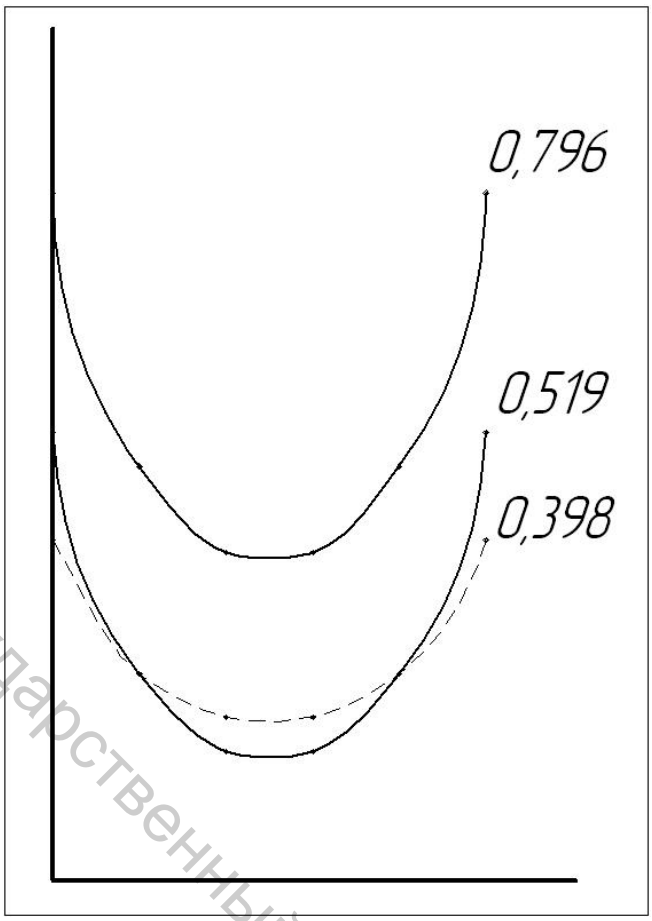


Рисунок 7

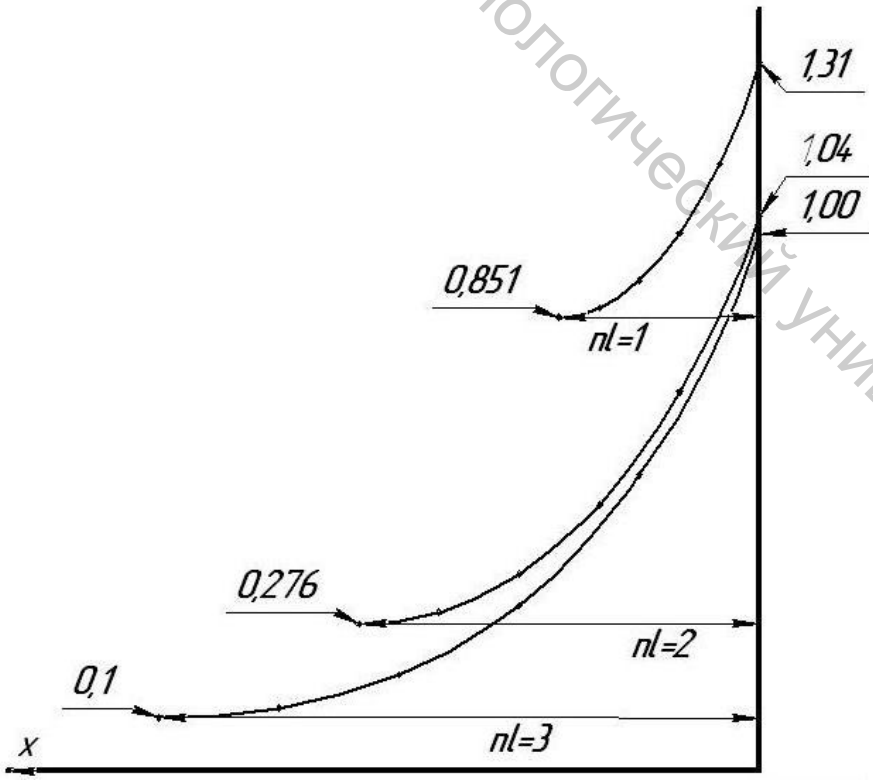


Рисунок 8

Витебский государственный технологический университет

Сравнение наибольших напряжений в адгезионном слое соединений, изображенных на рисунках 1 и 3 с односторонним соединением (рис. 6) показоло, что при равной площади контакта двухстороннее соединение является более прочным. Так, наибольшее напряжение при $\eta l = 1$ в двухстороннем соединении составляет:

$$\frac{0,720}{0,796} \cdot 100\% = 90,5\% \quad \text{(рис.1)}$$

и

$$\frac{0,656}{0,796} \cdot 100\% = 82,4\% \quad \text{(рис.3)}$$

от наибольшего напряжения в одностороннем соединении при $\eta l = 2$. Значит наиболее прочным является соединение, изображенное на рисунке 3.

Список использованных источников

1. Раяцкас, В. Л. Механическая прочность клеевых соединений кожевенно – обувных материалов / В. Л. Раяцкас. – Москва : Легкая индустрия , 1976. – 124 с.
2. Калинин, А. А. Определение прочности клеевых соединений / А. А. Калинин, Б. Р. Фомченко // Пути совершенствования технологических процессов в машиностроении / ВТИЛП. – Минск, 1990. – С. 38-43.

Статья поступила в редакцию 13.10.2010

SUMMARY

The dependance of strength of glue connection of bands by displacement from the rigidity of bands materials and their thickness by two – and oneside connection is examined in the article. The drawings of the strain in the adhesion layer in adhesion lengh are given. But also from mechanical features of bands materials and the connection type.

УДК 677.017:621.3

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕРМОСТОЙКИХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ПРЯЖИ И НИТЕЙ ДЛЯ ТКАНЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

П.А. Костин, Е.Г. Замостоцкий, А.Г. Коган

Производство термостойких и электропроводящих нитей является одним из наиболее развивающихся современных производств текстильных материалов. На основе электропроводящих нитей можно получить экранирующие и антистатические текстильные материалы, защитную спецодежду, обладающую высокой удельной проводимостью, для людей, работающих в условиях повышенной опасности.

Высокая термостойкость нитей и пряжи позволяет эксплуатировать изделия при температуре 250 °С сроком до 3 лет, кратковременно изделия выдерживают температуру до 400 °С, при этом практически не усаживаются и не плавятся.

Высокая гигроскопичность арселоновых волокон, подобная хлопку способность окрашиваться, пониженная горючесть, сохранение эластических свойств при

Витебский государственный технологический университет