

УДК 621.86

А.Г. Татьянченко (д-р техн. наук, проф.),**А.Я. Грудачев** (канд. техн. наук, проф.),**С.В. Былина** (аспирант)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУНАХЛЕСТНОГО КОСОГО СТЫКА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗИНОТКАНЕВОЙ ЛЕНТЫ

Работа посвящена выявлению причин и определению путей устранения расхождения между результатами тестовых испытаний и реальных показателей несущей способности резиноканевых лент с полунахлестным косым стыком. Для этого исследовано влияние основных геометрических параметров тестовых образцов для определения несущей способности на напряженное состояние в зонах концентрации напряжений. На основе пакета МКЭ ANSYS разработана параметрическая конечно-элементная модель тестового образца, учитывающая все особенности его геометрии и позволяющая варьировать значениями основных геометрических параметров модели. Численные исследования напряженного состояния, проведенные на основе данной модели, позволили установить, что наибольшее влияние на величину дополнительных напряжений $\sigma_{дон}$ в зонах концентрации напряжений оказывает угол косины стыка α . Получена аналитическая зависимость для определения $\sigma_{дон}$, которая может быть использована для корректировки результатов тестовых замеров для коротких образцов. Показано, что использование для тестовых испытаний образцов с соотношением $L/B > 5$ является технически необоснованным и экономически нецелесообразным. Установлено, что для рассмотренных диапазонов параметров существует оптимальное значение угла косины α , обеспечивающее минимальные дополнительные напряжения в наиболее опасных зонах стыка и не зависящее от других рассмотренных параметров.

Ключевые слова: резиноканевая лента, полунахлестный косой стык, тестовый образец, тестовые испытания, напряженное состояние, концентраторы напряжений, угол косины, несущая способность.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Ленточные конвейеры являются важнейшим элементом горнорудных технологических процессов непрерывного цикла. Наиболее ответственным элементом конвейера, от которого в значительной степени зависит эффективность его работы, является конвейерная резиноканевая лента, несущую способность которой в значительной степени определяет зона соединения концов ленты. Однако все существующие

щие виды стыковых соединений концов ленты снижают ее несущую способность до 40% [1]. Поэтому развитие методов повышения несущей способности стыковых соединений резинотканевой ленты является важной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. Теория расчетов и усовершенствование конструктивных особенностей стыковых соединений стыков изложены в работах [1-3]. Анализ этих и других работ показал, что в настоящее время наиболее надежным способом соединения концов резинотканевой ленты, обеспечивающих прочность стыка до 97% от прочности ленты [2], является методом горячей вулканизации с использованием косого стыка. В соответствии с техническими требованиями [2], после изготовления стыка несущая способность конвейерной ленты определяется путем испытания на разрыв. Однако, результаты испытаний стыков, проведенные в базовой лаборатории МакНИИ (г. Макеевка) не в полной мере соответствуют показателям надежности ленты в реальных условиях дальнейшей эксплуатации ленты. Анализ особенностей проведения тестовых испытаний [2] позволил сделать предварительное предположение о том, что причиной расхождений тестовых и реальных показателей является несовершенство схем и методов проведения испытаний, которые требуют некоторой доработки и корректировки. Решение этой задачи может быть получено только на основе исследования напряженно-деформированного состояния в наиболее опасных зонах стыка. Однако, создание такой математической модели в настоящее время не представляется возможным, а экспериментальные исследования являются дорогостоящими. Поэтому наиболее перспективным направлением решения этой проблемы являются численные исследования на основе конечно-элементного моделирования. [4].

Постановка задачи. С учетом проведенного анализа в данной работе поставлена задача исследования особенностей развития напряженно-деформированного состояния в зонах концентрации напряжений косого вулканизированного полунахлестного стыка резинотканевой ленты и влияния на него различных объективных конструктивных параметров. С учетом сложности поставленной задачи, ее решение осуществлялось на основе численных методов математического моделирования с использованием стандартного пакета метода конечных элементов (МКЭ) ANSYS.

Изложение материала и результаты. Основной посылкой для проведения данного исследования являлось расхождений тестовых и

реальных показателей несущей способности резиноканевой ленты с полунахлестным косым стыком, а предполагаемой причиной этого расхождения считалась ограниченность размеров тестового образца и несоответствие схемы испытания реальным условиям нагружения. Анализ структуры полунахлестного косого стыка показывает, что за счет частичного перекрытия закрепляемых концов и увеличения толщины ленты образуется участок повышенной жесткости в форме параллелепипеда (рис. 1). Разрушение тестовых образцов и реальной ленты начинается в вершинах этого параллелепипеда в точках 1, 2, 3, 4. Из-за изменения толщины ленты и граничного положения эти точки являются концентраторами напряжений и определяют несущую способность ленты, которая характеризует максимальное продольное растягивающее усилие P , которое может быть приложено к концам тестового образца без его разрушения. Поэтому в данной работе исследовался характер изменения напряжений в этих точках.

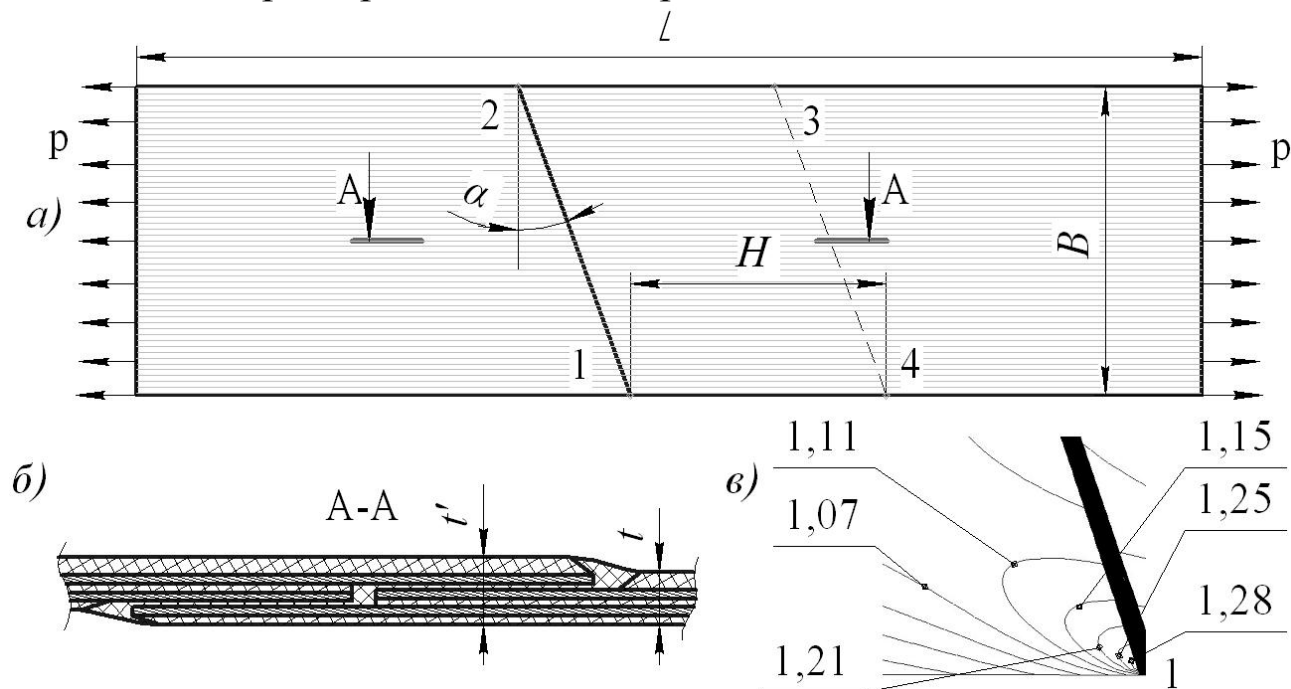


Рис. 1. Тестовый образец для испытаний полунахлестного косого стыка резиноканевой ленты: а) схема стыка в плане; б) продольное сечение в зоне стыка; в) характерная диаграмма распределения напряжений в точке 1

Анализ геометрии тестовых образцов, используемых при испытании в МакНИИ, и методов их проведения показал, что основными геометрическими параметрами тестовых образцов для испытания косых стыков являются длина L_0 и ширина B образца, длина H и угол косины стыка α (рис.1). При этом часть образца (до 2 метров) исполь-

зуються для закрєплення його кінцєв и поєтому реальна довжина образця значительно уменьшається и равна L . Именно особенности закрєплення кінцєв обуславлює основне принципиальное различие нагрукження тестових образцєв и реальной лєнты: жесткое для тестових образцєв и свободное для реальной лєнты.

С учетом приведенных особенностей геометрии и методов нагрукження тестових образцєв в данной работе были поставлены задачи исследования влияния на величину напряжений в точках 1, 2, 3, 4 (рис. 1) стыкового соединения резиноканєвой лєнты следующих факторов:

- эффективной длины тестового образця L ;
- угла косины полунахлєстного соединения α ;
- жесткого защебления кінцєв тестового образця.

Для решения поставленных задач в работе использовался стандартный сертифицированный пакет МКЭ ANSYS. При создании параметрической (позволяющей изменять различные параметры модели без изменения ее структуры) твердотельной и численной конечно-элементной модели тестового образця:

- учитывалась анизотропия за различия физических свойств материала лєнты вдоль и поперек лєнты;
- учитывались особенности геометрии стыкового участка;
- создавались зоны повышенной густоты конечно-элементной сетки в окрєстностях точек концентрации напряжений;
- моделировалось жесткое защебление кінцєв тестового образця;
- внешняя нагрукзка прикладывалась посредством равномерно распределенного продольного усилия вдоль линии защебления.

Основными варьируемыми параметрами математической модели являлись эффективная длина тестових образцєв L и угол косины стыка α для различных типоразмеров резиноканєвых лєнт. Основным выходным параметром модели являлись дополнительные напряжения в точках концентрации напряжений, превышающие средние напряжения в лєнте

$$\sigma = \frac{P}{t \cdot B}, \quad (1)$$

где t – толщина лєнты, и условный коэффициент концентрации напряжений

$$k^* = (1 - k) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $k = \sigma_{\text{факт}} / \sigma$ - коэффициент концентрации напряжений.

В таблице 1 приведены значения k^* в точке 1 (рис. 1) стыкового соединения для одного из вариантов расчета (ширина ленты $B=500$ мм; длины стыка $H=360$ мм; толщины ленты $t=10$ мм; условной толщины стыка $t'=15$ мм; модуль упругости вдоль ленты $E_X=70$ МПа, модуль упругости в остальных направлениях $E_Y=E_Z=7$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu=0,4$), а на рис.1 в приведена характерная диаграмма распределения напряжений в этой же точке.

Табл. 1. Значения параметра k^* в точке 1 (рис. 1а) при $B=500$ мм; $H=360$ мм; $t=10$ мм; $t'=15$ мм; $E_X=70$ МПа; $E_Y=E_Z=7$ МПа; $\mu=0,4$

α , град	l , м									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	3,564	2,641	2,592	2,560	2,531	2,520	2,500	2,493	2,490	2,480
35	0,891	0,708	0,494	0,489	0,694	0,486	0,485	0,484	0,480	0,480
30	0,421	0,401	0,399	0,398	0,398	0,398	0,398	0,398	0,397	0,397
25	1,047	0,979	0,978	0,978	0,977	0,976	0,976	0,977	0,978	0,976
20	1,417	1,284	1,280	1,278	1,277	1,276	1,275	1,275	1,275	1,274
15	1,597	1,394	1,357	1,355	1,383	1,382	1,380	1,380	1,379	1,379
10	1,626	1,356	1,347	1,346	1,340	1,340	1,338	1,338	1,337	1,336
5	1,539	1,205	1,202	1,201	1,201	1,201	1,201	1,201	1,201	1,200
0	1,332	1,016	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014

Анализ результатов численных исследований напряженного состояния тестовых образцов для различных значений варьируемых параметров и типоразмеров резинотканевых лент позволил получить аналитическую зависимость коэффициента k^* от длины концентрации механических напряжений в зависимости от длины испытуемого образца для образцов с углом $\alpha = 20^\circ$.

$$k^* = 1,271 + \frac{L}{26,69 \cdot L^2 + 66,56 \cdot L - 86,41}, \quad (3)$$

Графическая зависимость концентрации механических напряжений от угла косины представлена на рисунке 2 а. Графическая зависимость концентрации механических напряжений от длины образца представлена на рисунке 2 б.

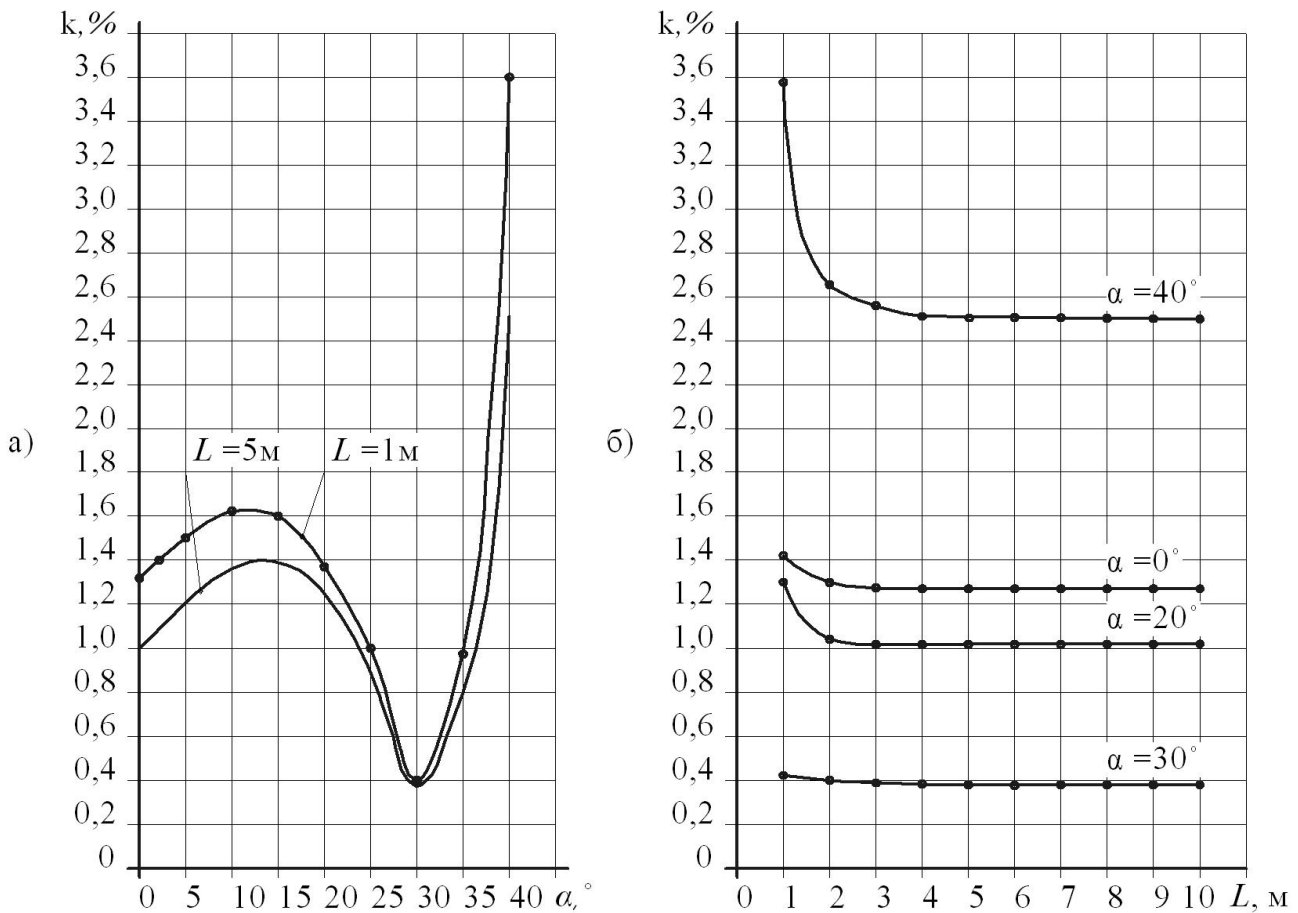


Рис. 2. График зависимости концентрации максимальных механических напряжений а) от угла косины испытываемого образца; б) от длины испытываемого образца

Как видно по рисунку 2, при длинах образцов до 3-х метров концентрация механических напряжений незначительно превышает свое минимальное значение. Так для условий, применяемых на практике при испытании образца длиной 3 м и со скосом 20 градусов концентрация равна 1,417% тогда как для такого же образца но длиной 10 м концентрация снижается до 1,274%.

Также по полученным данным была аппроксимировано выражение зависимости концентрации напряжений от угла α :

$$k^* = 1,006444 + 0,034565 \cdot \alpha - 1,531837 \cdot 10^{-8} \cdot \alpha^6 + 4,678103 \cdot 10^{-10} \cdot \alpha^7 - 1,300266 \cdot 10^{-15} \alpha^{10}. \quad (4)$$

В ходе проведенных численных исследований было установлено, что для всех вариантов варьируемых параметров и всех типоразмеров рассмотренных резинотканевых лент существует оптимальное значение угла косины α , при котором коэффициент концентрации напряжений k^* имеет минимальное значение, причем его величина по-

стоянна, и практически не зависит от ширины и длины тестового образца. Для рассмотренных вариантов величина α равнялась $\alpha=32,5^\circ$.

Также было установлено, что выражение (4) имеет экстремум в точке $\alpha=32,5^\circ$. Таким образом, для ленты шириной 50 см, наименьшие напряжения будут возникать в опасном сечении при косине стыка равной 31 см. Так для условий, применяемых на практике при испытании образца длиной 3 м и со скосом 17,5 градусов концентрация равна 1,347% тогда как для такого же образца но длиной 20 м концентрация снижается до 0,807%. Данный показатель свидетельствует о превышении фактической прочности образца над полученной при испытании на разрывной машине на 0,54%.

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. В работе на основе параметрической конечно-элементной модели тестового образца для испытания несущей способности резиноканевой ленты с полунахлестным косым стыком исследовано влияние различных геометрических параметров на напряженное состояние в зонах концентрации напряжений.

2. Получена функциональная зависимость дополнительных напряжений $\sigma_{дон}$ в наиболее опасных зонах стыка от основных конструктивных параметров соединения косого стыка, которая может быть использована для корректировки результатов тестовых замеров для коротких образцов.

3. Анализ результатов численных исследований показал, что наиболее важным геометрическим параметром косого стыка, оказывающим наибольшее влияние на величину $\sigma_{дон}$, является угол косины стыка α . Длина испытываемых образцов при $L / B > 5$ не оказывает влияния на характер напряженного состояния в опасных зонах, что хорошо согласуется с принципом Сен-Венана. Поэтому использование для тестовых испытаний образцов с соотношением $L / B > 5$ является технически необоснованным и экономически нецелесообразным.

4. Установлено, что для рассмотренных диапазонов параметров в предложенной параметрической модели стыкового соединения существует выраженное оптимальное значение угла косины α , равное примерно $32,5^\circ$, обеспечивающее минимальные дополнительные напряжения в наиболее опасных зонах стыка и не зависящее от других рассмотренных параметров. Показано, что возможной причиной существования экстремального значения угла косины является характерное для геометрии косого стыка наличие зоны повышенной жест-

кости в форме параллелепипеда. Однако более детальная оценка влияния этой зоны и обоснование физической природы существования экстремальных значений угла косины требует проведения дополнительных исследований с учетом влияния других факторов.

Список литературы

1. Высочин Е.М. Стыковка и ремонт конвейерных лент на предприятиях черной металлургии / Е.М. Высочин, Е.Х. Завгородний, В.И. Заренков. – М.: Металлургия, 1989. – 192 с.
2. Билан И.Е. О прочности связи между слоями резинотканевых конвейерных лент. – В кн. Вопросы рудничного транспорта, в.9. / И.Е. Билан. – М.: «Недра», 1965. – С. 54-62.
3. Билан И.Е. Макро- и микроисследования конвейерных лент. – В кн.: Вопросы рудничного транспорта, в.8/ И.Е. Билан. – М.: «Недра», 1965. – С. 23-37.
4. Левчик Д. В. Исследование влияния угла скоса стыка резинотканевой конвейерной ленты на его напряженно-деформированное состояние / Д.Е. Левчик, А.Я. Грудачев // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Гірничо-електромеханічна». – 2009. – Вип. 17 (157). – С. 195-201.
5. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов / С.П. Тимошенко. – М.: «Наука», 1965. – 248.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013

О.Г. Татьяначенко, А.Я. Грудачев, С.В. Биліна. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Вплив конструктивних параметрів напівнахлестного косоного стику на напружений стан гумовотканинної стрічки

Робота присвячена виявленню причин та визначенню шляхів усунення розбіжності між результатами тестових випробувань і реальних показників несучої здатності гумовотканинних стрічок з напівнахлестним косим стиком. Для цього досліджено вплив основних геометричних параметрів тестових зразків для визначення несучої здатності на напружений стан в зонах концентрації напружень. На основі пакету MCE ANSYS розроблена параметрична кінцева-елементна модель тестового зразка, що враховує всі особливості його геометрії і дозволяє варіювати значеннями основних геометричних параметрів моделі. Чисельні дослідження напруженого стану, проведені на основі даної моделі, дозволили встановити, що найбільший вплив на величину додаткових напружень у зонах концентрації напружень надає кут косини стику α . Отримано аналітичну залежність для визначення, яка може бути використана для коригування результатів тестових вимірів для коротких зразків. Показано, що використання для тестових випробувань зразків із співвідношенням $L / B > 5$ є технічно необґрунтованим і економічно недоцільним. Встановлено, що для розглянутих діапазонів параметрів існує оптимальне значення кута косини α , що забезпечує мінімальні додаткові напруження в найбільш небезпечних зонах стику і не залежить від інших розглянутих параметрів.

Ключові слова: гумовотканинна стрічка, напівнахлестний стик, напружений стан, кут нахилу стику в плані, концентрація напружень, несуча здатність.

A. Tatyanchenko, A. Grudachev., S. Bylina. Donetsk National Technical University

Influence of Geometry of the Joint on Stressed State of Rubberized-fabric Tape

The article considers the causes and the ways of eliminating divergences between tests results and real indicators of bearing ability of conveyer belts with slanting joint. We studied the influence of key geometrical parameters of samples to estimate bearing ability. A parametrical final and element model of a sample considering all features of its geometry is developed. The model allows varying the values of key geometrical parameters. Numerical researches of tension showed that in the zones of concentration of tension the joint angle α has the greatest impact on additional tension. The analytical dependence for definition of efforts is obtained. The dependence can be used for correction of measurements results for short samples. The use of samples with ratio L/B 6 is technically unreasonable and economically inexpedient. The optimum value of angle α , providing the minimum additional tension in the most dangerous zones of the joint is found. This optimum value does not depend on other considered parameters.

Keywords: conveyer belt, slanting joint, sample, tests, tension, concentration of tension, angle, bearing ability.