

ЛИТЕРАТУРА

1. **Плазменно-вакуумные** покрытия / под общ. ред. Ж. А. Мрочка. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 369 с.
2. **Microstructural** evolution during film growth / I. Petrov [et al.] // *Vac. Sci. Technol. A.* – 2003. – А 21 (5). – S. 117–126.
3. **Султан, С. А. И.** Технологические основы нанесения защитных покрытий в вакууме / С. А. И. Султан, И. А. Иванов // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – С. 302–304.
4. **Мрочек, Ж. А.** Основы технологии формирования многокомпонентных покрытий в вакууме / Ж. А. Мрочек,

Б. А. Эйзнер, Г. В. Марков. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 96 с.

5. **Poitevin, J. M.** Influence of substrate bias on the composition, structure and electrical properties of reactively D.C.-sputtered TiN films / J. M. Poitevin, G. Lemperiere, J. Tardy // *Thin Solid Films.* – 1982. – Vol. 97. – P. 69–77.

6. **Кармажи, Х. Т. Е.** Формирование структуры вакуумных электродуговых покрытий / Х. Т. Е. Кармажи, И. А. Иванов // Машиностроение и техносфера XXI века. – Донецк: ДонНТУ. – 2004. – С. 50–54.

Поступила 24.04.2006

УДК 621.867.2

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛЕНТ

*Лауреат Государственной премии Республики Беларусь,  
докт. техн. наук, проф. ПРУШАК В. Я.,  
канд. техн. наук МИРАНОВИЧ О. Л.*

*ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством»,  
Международный гуманитарно-экономический институт*

Ленточные конвейерные машины в настоящее время – наиболее эффективный и высокопроизводительный вид конвейерного транспорта для комплексной механизации и автоматизации добычи руд, угля и нерудных ископаемых. Создание и внедрение названных машин позволяет использовать поточную и циклично-поточную технологии, обеспечивающие возможность повышения пропускной способности, производительности труда, комплексной механизации и полной автоматизации транспортных процессов, снижения себестоимости получаемой продукции, а также обеспечивающие улучшение условий и повышение безопасности труда в соответствии с техническими и экономическими параметрами горных машин. Эффективность использования ленточных конвейеров зависит от показателей надежности последних, т. е. от совершенствования барабана, ленты, роликовых опор, роликов и т. д.

Конструкции элементов ленточных конвейеров (роликовые опоры, ролики и лента) определяются условиями работы конвейерной машины и зависят от физических свойств и гранулометрического состава транспортируемого груза. При перемещении тяжелых сыпучих грузов, состоящих из крупных кусковых частиц, применяются ленты со значительным количеством прокладок и большей толщиной рабочей обкладки, используются ролики с большим наружным диаметром и диаметром оси и т. д. Однако проблему обеспечения долговечности этих элементов нельзя считать полностью решенной, так как на практике они часто преждевременно выходят из строя. Известны случаи, когда срок службы роликов конвейеров, транспортирующих крупнокусковую скальную породу, не превышал 40–50 ч [1]. Низкую долговечность роликов можно объяснить использованием роликовых опор, не приспособленных для этих случаев, а также недостаточным ана-

лизом и учетом факторов, действующих на опору, что приводит к выбору роликов со сроком службы, не соответствующим условиям работы конвейера.

В ЗАО «Солигорский институт проблем ресурсосбережения с опытным производством» проводит целенаправленное исследование динамических нагрузок, возникающих в опорных элементах ленточных конвейеров при транспортировке крупнокусковой сильвинитовой руды. В качестве объекта исследований выбрана наиболее распространенная рядовая жесткая трехроликовая опора. Установлено, что расчеты на долговечность всей опоры можно вести по наиболее нагруженному среднему горизонтальному ролику.

Изучены методики расчета динамических нагрузок на элементы магистральных роликовых опор при транспортировании насыпных грузов, содержащих единичные крупные куски. Дальнейшее развитие проведенных в ЗАО исследований – рассмотрение динамических явлений в барабанно-ленточных конвейерных машинах как в системе со случайными распределенными параметрами, изучение законов движения рабочей и холостой ветвей ленты – с учетом возможного влияния эксцентриситетов роликов опор и барабанов будет способствовать решению важной задачи определения действующих нагрузок на роликовую опору, тем самым поможет обеспечить правильный выбор ролика, что, в свою очередь, позволит увеличить долговечность ленты и роликов ленточного конвейера.

Рассмотрим наиболее распространенные соединения конвейерных лент и проанализируем их использование.

Клеемеханические соединения конвейерных лент не получили практического применения, так как они лишены таких достоинств механических соединений, как быстрота и простота изготовления. Усиление же клеевых соединений дополнительными механическими элементами не оправдано из-за меньшей долговечности последних.

Вулканизированные соединения резиноканевых лент по режиму вулканизации подразделяются на клеевые (холодновулканизируемые и подогреваемые) и горячевулканизируемые, по конструкции – на ступенчатые, бесступенчатые

и профильные. Подогреваемые соединения применяют при необходимости быстрого включения конвейера в работу. Технология их изготовления предполагает нагрев и выдержку стыка при 70–80° в течение 20–25 мин, а затем охлаждение до 30–40°. После этого стык может работать при полном номинальном натяжении.

Ступенчатые соединения выполняют нахлестного и полунахлестного типов, а также с охватом одного конца разделенными половинками другого.

Прочность ступенчатых соединений достигает 60–90 % прочности ленты, а долговечность – 80 % срока службы ленты [2]. До 60 % времени изготовления ступенчатого соединения составляют разделка, подготовка концов лент и сборка соединения, выполняемые в настоящее время вручную с применением простейших инструментов.

К бесступенчатым соединениям относятся клиновые стыки, разработанные в Брянском институте транспортного машиностроения [3]. Клиновые соединения имеют прочность на 5–8 % выше, чем ступенчатые такой же длины. Прочность соединений при горячей вулканизации на 10 % выше, чем при холодной.

Другим типом бесступенчатого соединения является соединение без расслоения каркаса (рис. 1). В данной конструкции после снятия обкладок каркас разрезают на продольные полосы равной ширины, которые затем поочередно накладывают друг на друга, размещая между ними слой эластомера.

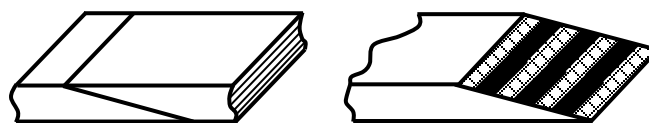


Рис. 1. Клиновое соединение

Для двухпрокладочных лент предложена конструкция соединения, в котором удален средний слой резины и между прокладками лент размещена дополнительная прокладка с таким же относительным удлинением, как и лента. В качестве дополнительной прокладки используют высокоэластичное металлокордное полотно, имеющее прочность, равную прочности ленты [4]. Однако удаление слоя резины вручную очень трудоемко. Из перечисленных

бесступенчатых соединений наиболее удобны для механизации клиновые соединения.

К профильным относятся соединения со сложным профилем соединяемых поверхностей [5]. Главной целью придания поверхностям лент специальной формы является увеличение площади поверхности соединения, обеспечение плотного контакта соединяемых поверхностей.

Для увеличения прочности соединения рекомендовано на концах лент в продольном направлении выполнять выступы и впадины прямоугольного, трапециевидного или волнообразного сечения (рис. 2) так, чтобы выступы одного конца заходили во впадины другого [5].

Для стыковки цельнотканых лент на основе поливинилхлорида применяют так называемый «пальцевый» стык, для изготовления которого на соединяемых концах с помощью шаблона вырезают равнобедренные треугольники с основанием 40–70 мм и длиной 400–3000 мм. Разработано соединение сложного профиля с применением специального профильного резака. Однако данные, подтверждающие обоснованность использования предлагаемого профиля, в работе отсутствуют. Профильные соединения требуют большей точности изготовления по сравнению с другими типами соединений. Даже небольшие неточности изготовления профилей приводят к невозможности сборки соединения либо к значительной потере прочности.

Ленточный контур представлен как контур, собранный из продольных полос с равномерно распределенными по длине соединениями. При общем усложнении конструкции контура его достоинством является то, что в зоне максимального натяжения находятся одновременно не все соединения полос.

Соединения резиновых лент целесообразно подразделить на механические и вулканизированные. Механические соединения основаны на использовании дополнительных металлических элементов, соединяемых с тросами обжатием (опрессовкой). Соединительные элементы могут располагаться как на концах тросов, так и по всей длине (рис. 3). Соединительные элементы скрепляют тросы противоположных концов лент непосредственно либо соединяются между собой, в том числе и с использованием сварки. Основной целью создания механических соединений резиновых лент является сокращение времени и трудоемкость стыковки. Однако практического применения механические соединения в настоящее время не нашли, так как жесткие соединительные элементы при взаимодействии соединения с роликами и барабанами разрушают резиновую обкладку. Влага, проникающая внутрь соединения, приводит к коррозии тросов, соединительных элементов и разрушению всего соединения. Кроме того, дополнительные сложности вызывают обеспечение равномерного нагружения тросов.

В настоящее время повсеместно используются только горячевулканизированные соединения резиновых лент. Соединение холодной вулканизацией не применяется, так как при этом невозможно создать плотное прижатие с заданным давлением склеиваемых поверхностей тросов, компенсировать неровности и другие дефекты.

Соединения резиновых конвейерных лент способом горячей вулканизации представляют собой объемную конструкцию, содержащую металлические тросы, резину, тканевые прокладки и, возможно, другие элементы.

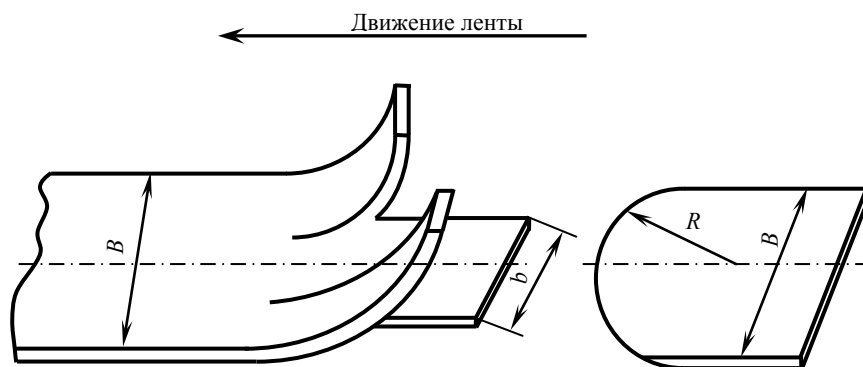


Рис. 2. Соединение без расслоения концов

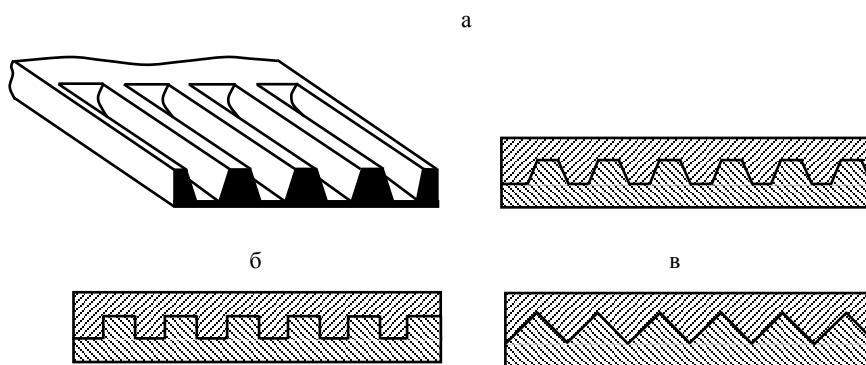


Рис. 3. Профильные соединения

Вулканизированные резинотросовые соединения можно классифицировать по схемам укладки тросов (одно-, двухступенчатые и т. д.); с расплетением или без расплетения концов тросов на пряди и проволоки; с использованием или без использования дополнительных элементов.

Использование многоступенчатых резинотросовых соединений (рис. 4) вызвано тем, что с увеличением прочности лент возрастает отношение диаметра троса к шагу тросов в ленте.

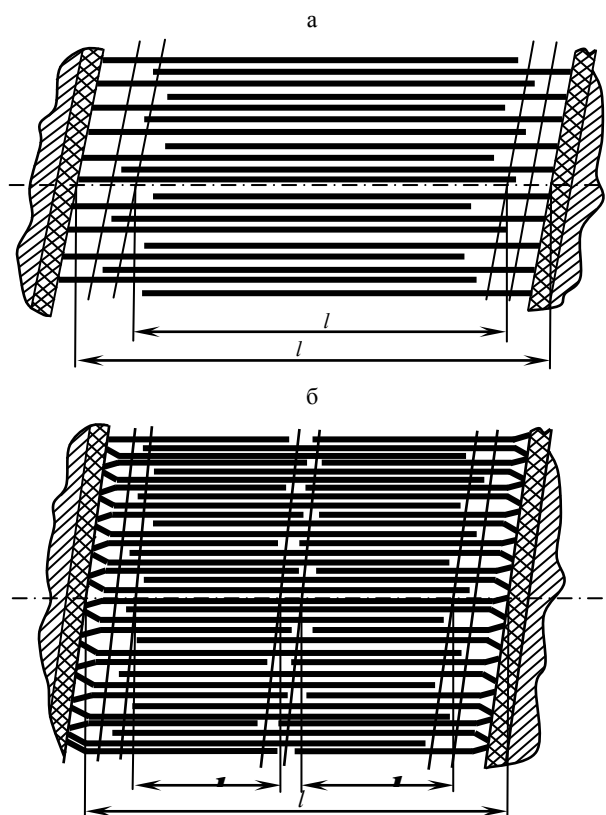


Рис. 4. Схемы укладки тросов:  
а – одноступенчатая; б – двухступенчатая

Расстояние между соседними тросами уменьшается настолько, что одноступенчатое расположение тросов в один слой становится невозможным. Многослойные резинотросовые соединения не нашли практического применения для ленточных конвейеров из-за сложности сборки и большой неравномерности нагрузки при изгибе соединения на барабанах. Поэтому для высокопрочных резинотросовых лент применяются многоступенчатые однослойные схемы соединений. Трудоемкость и время изготовления многоступенчатых соединений почти пропорциональны числу ступеней или длине соединения. Прочность резинотросовых соединений и ее практическая осуществимость являются факторами, ограничивающими прочность резинотросовых лент.

Для увеличения площади адгезии тросов и резины предлагается использовать расплетенные на пряди и отдельные проволоки концы тросов. Экспериментально установлено [6], что расплетение концов тросов увеличивает прочность соединения на 5–10 %. Однако на практике данный прием не получил признания из-за существенного увеличения трудоемкости и сложности заполнения пространства между прядями и проволоками невулканизированной резиной.

Технология горячей вулканизации стыков с использованием паст предложена Г. Ф. Голиковым. Пасты-герметики могут стать перспективным стыковым материалом, если удастся увеличить их прочность в 3–3,5 раза, т. е. до прочности прослойки резины.

Применяются стыковые соединения с накладками, армированными тросами малого диаметра, двухслойные соединения. По резуль-

татам расчетов предложена приближенная формула для определения интенсивности максимальных касательных напряжений по контуру троса

$$\tau_{i \max} = a \frac{T}{Rd} \sqrt{\frac{d}{t}}, \quad (1)$$

где  $T$  – натяжение троса;  $R$  – радиус изгиба;  $t$ ,  $d$  – шаг и диаметр тросов;  $a = 0,32$  и  $0,25$  соответственно для свободных и закрепленных границ рассматриваемой области.

Данные расчеты проводились с использованием метода конечных элементов. Однако плоская постановка задачи (без учета симметрии) снизила качество решения.

Свободная укладка тросов при сборке соединения приводит к их искривлениям, вызванным остаточными напряжениями и неровной вырезкой тросов из резины. При растяжении в процессе работы искривленный трос выпрямляется и его длина становится больше длины соединения, что приводит к неравномерному нагружению тросов в соединении.

Для устранения искривлений и смещений тросов, возникающих в процессе сборки, предложен способ, согласно которому перед вулканизацией соединения тросы растягивают в продольном направлении с усилием 8–10 % разрывной прочности.

Предложенный способ неэффективен, так как для устранения даже небольших искривлений требуются значительные растягивающие силы, сравнимые с рабочим натяжением. Эффективнее выпрямлять тросы путем их одновременного растяжения и поперечного сжатия.

Предварительное натяжение тросов средней части соединения при его пошаговой вулканизации позволило бы в некоторой мере устранить неравномерность распределения нагрузки по длине тросов, однако для многоступенчатых соединений данный способ требует сложной схемы вулканизации.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ изложенных выше способов соединения лент показывает, что в настоящее время практически используются три типа соединений: механические, клеевые (холодновул-

канизированные), горячевулканизированные. Для резинотканевых лент широко применяются все три типа, а для резинотросовых – только горячевулканизированные.

2. Механические соединения, несмотря на низкую прочность (50–70 % прочности ленты), малый срок службы (6–9 месяцев), широко используются в горнодобывающей промышленности, на предприятиях изготовления стройматериалов и в других отраслях (до 80 % всех стыков) благодаря малой трудоемкости и скорости изготовления. Наиболее распространены соединения заклепками, П-образными или крючкообразными скобами, шарнирные соединения.

3. Вулканизированные соединения резинотканевых конвейерных лент обладают значительно большей прочностью и долговечностью по сравнению с механическими и используются для ответственных магистральных конвейерных линий. Прочность соединений при горячей вулканизации на 15–20 % выше, чем при холодной. Средний срок службы соединений, изготовленных с помощью холодной вулканизации, составляет 1,5–2,5 года, горячей – 2–4 года. Однако трудоемкость, время и сложность изготовления вулканизированных соединений значительно выше, чем у механических. Параметры вулканизированных соединений, рекомендуемые отраслевыми организациями, значительно расходятся. Прочность и долговечность вулканизированных соединений зависят от качества выполнения работ и материалов.

4. Совершенствование существующих конструкций и способов соединения конвейерных лент направлено на повышение их прочности и долговечности за счет уменьшения неравномерности распределения нагрузки, на использование новых, более эффективных материалов, разработку конструкций, удобных для механизированного изготовления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Билан, И. Е.** Расчет параметров вулканизированных стыков резинотканевых лент / И. Е. Билан, П. М. Деркач; НИИинформтяжмаш // Угольное и горнорудное машиностроение. – 1965. – Вып. 6. – С. 58–62.
2. **Скворцов, А. М.** Совершенствование стыковки конвейерных лент / А. М. Скворцов, Б. А. Кроль, В. В. Шкон-

да // Шахтный и карьерный транспорт. – М.: Недра, 1983. – Вып. 8. – С. 26–30.

3. **Подопригора, Ю. А.** Сравнительная оценка напряжений в стыковых соединениях резинотканевых лент / Ю. А. Подопригора, М. А. Рубин, А. Н. Алхименков // Разработка рыхлых пород комплексами непрерывного действия. – 1979. – Вып. 8. – С. 28–32.

4. **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.

5. **Патент 2001332 РФ, F 16 G 3/09.** Способ разделки концов резинотканевых конвейерных лент и устройство для его осуществления / В. П. Дунаев, Н. Г. Заворотнов, Ю. А. Подопригора [и др.] // Бюл. изобр. – 1993. – № 37–39.

6. **Колосов, Л. В.** Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников: дис. ... докт. техн. наук / Л. В. Колосов. – Днепропетровск: ДГИ, 1987. – 570 с.

Поступила 15.11.2005

УДК 621.1.0.18

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА НАГРЕВА МЕТАЛЛА ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ РАДИАЦИЕЙ

*Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВСКИЙ В. Б., инженеры САИД А. Г., ПРОНЬ В. А.*

*Белорусский национальный технический университет*

Сложность процессов теплопередачи и недостаточность априорной информации о процессах нагрева металла в печах приводят к необходимости создания математических моделей, в которых неизвестными являются некоторые параметры. Эти параметры существенно зависят от конструктивных особенностей печи. Если имеются экспериментальные данные о динамике нагрева материалов, то их можно использовать для идентификации модели, что позволяет построить адекватный реальному процессу режим. Таким образом, возникает задача параметрической идентификации модели по результатам промышленных экспериментов.

Из уравнения теплового баланса модель процесса нагрева термически тонких тел представим в виде:

$$\frac{dT}{dt} = \alpha(T_{\text{пч}} - T) + \sigma(T_{\text{пч}}^4 - T^4); \quad (1)$$

$$T(0) = T_0, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – коэффициент теплообмена излучением;  $\alpha$  – то же конвекцией;  $T_{\text{пч}}$  и  $T$  – температура сре-

ды и металла в момент времени  $t$  соответственно;  $T_0$  – начальная температура заготовки.

Предположим, что известны в любой момент времени температура печи и металла. Например, в [1] они сведены в табл. 1 и 2 соответственно. Задача параметрической идентификации заключается в подборе таких параметров  $\alpha$  и  $\sigma$ , при которых значения температур металла, найденные из уравнения (1), с начальным условием (2) в каждый момент времени наименее отличаются от тех же величин, но полученных экспериментальным путем. За меру отклонения данных примем величину

$$G(\alpha, \sigma) = \int_0^{t_k} (T(t) - \hat{T}(t))^2 dt, \quad (3)$$

где  $t$  – время, за которое проводились измерения экспериментальных значений;  $\hat{T}(t)$  – экспериментальные величины температуры металла.

Из соотношения (3) следует, что мера отклонения температур зависит от параметров  $\alpha$  и  $\sigma$ . Примем из физических соображений, что