

Author's version (postprint). Published in: Sergeev A.S., Gorshkov E.A. Composite Housing of a Belt Conveyor Roller Made of PA6 GF30: Design Features, Manufacturability, and Operational Reliability // *Nauka i biznes: puti razvitiya* (Science and Business: Development Ways). 2025. No. 9 (171). P. 47–52 (In Russ.).

Авторская версия. Опубликовано: Сергеев А. С., Горшков Е. А. Композитный корпус ролика ленточного конвейера на основе ПА6 GF30: конструктивные особенности, технологичность и эксплуатационная надежность // *Наука и бизнес: пути развития*. — 2025. — № 9 (171). — С. 47–52.

Note / Примечание: in this author's version the reference list has been verified and corrected relative to the journal version (refs. 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10). / В авторской версии список литературы уточнён по сравнению с журнальной (источники 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10).

УДК 621.867

Композитный корпус ролика ленточного конвейера на основе ПА6 GF30: конструктивные особенности, технологичность и эксплуатационная надежность

Composite Housing of a Belt Conveyor Roller Made of PA6 GF30: Design Features, Manufacturability, and Operational Reliability

Сергеев Александр Сергеевич¹, Горшков Е. А.² / Aleksandr S. Sergeev¹, E. A. Gorshkov²

¹ ООО «Мегасервис», г. Санкт-Петербург / MegaService LLC, Saint Petersburg

² Балаковский филиал ФГБОУ ВО «Саратовская государственная юридическая академия», г. Балаково / Balakovo Branch of the Saratov State Law Academy, Balakovo

Аннотация. В статье представлена конструкция композитного корпуса ленточного конвейерного ролика, изготовленного из полиамида ПА6, армированного 30 % стекловолокна (ПА6 GF30). Описаны ключевые технологические и конструктивные особенности: система ребер жесткости, вальцовка вместо сварки, элементы противопылевой защиты и направляющие для центровки подшипников. Проведены лабораторные и промышленные испытания, подтвердившие геометрическую стабильность, ударопрочность, стойкость к истиранию и отказоустойчивость конструкции. Представленная разработка ориентирована на применение в условиях абразивной и влажной среды, обеспечивая надежную и безопасную эксплуатацию транспортного оборудования.

Ключевые слова: вальцовка; композитный корпус; конвейерный ролик; отказоустойчивость; полиамид; пылеабразивная среда; ребра жесткости; технологическая эффективность; ПА6 GF30.

Abstract. The article presents the design of a composite housing for a belt conveyor roller made of polyamide 6 reinforced with 30 % glass fibre (PA6 GF30). The key manufacturing and design features are described: a system of stiffening ribs, roller-flanging (rolling) of the tube edge instead of welding, dust-protection elements and guides for bearing centring. Laboratory and industrial tests confirmed the geometric stability, impact resistance, abrasion resistance and fault tolerance of the design. The development is intended for use in abrasive and humid environments, ensuring reliable and safe operation of conveying equipment. (*English abstract translated by the author's representative for this version.*)

Keywords: roller flanging; composite housing; conveyor roller; fault tolerance; polyamide; dust-abrasive environment; stiffening ribs; manufacturing efficiency; PA6 GF30.

Введение

Надежность и долговечность ленточных конвейерных роликов напрямую влияет на непрерывность производственного цикла, снижение простоев оборудования и общую эффективность предприятия. Одним из наиболее уязвимых компонентов ролика является его корпус, воспринимающий как статические, так и динамические нагрузки, а также подверженный абразивному и коррозионному износу [5].

Традиционно корпуса роликов изготавливаются из стальных заготовок и соединяются с обечайкой методом сварки. Несмотря на относительную простоту такой конструкции, она имеет существенные недостатки: значительную массу, подверженность коррозии, риск повреждения транспортной ленты при заклинивании подшипников [2].

В условиях необходимости повышения эксплуатационной надежности и сокращения совокупных затрат все более актуальным становится внедрение инновационных материалов и конструктивных решений. В настоящей работе представлен анализ конструкции нового композитного корпуса ролика, изготовленного из армированного полиамида (PA6 GF30) с применением усиления в виде ребер жесткости и защитных элементов. Предлагаемая конструкция ориентирована на снижение массы, повышение безопасности и ремонтопригодности, а также на усиление технологичности производства.

Обзор существующих конструкций и решений

В промышленной практике корпуса конвейерных роликов выполняются преимущественно из стали, реже – из полимеров или композиционных материалов. Конструкция и применяемый материал корпуса определяют его массу, срок службы, устойчивость к абразивно-пылевой и коррозионной средам, а также безопасность при аварийных отказах [9]. Анализ распространённых конструкций показывает, что ни одно из применяемых решений не обеспечивает одновременно высокой надежности, малой массы, технологичности и предсказуемого поведения при заклинивании подшипникового узла.

Стальные сварные корпуса представляют собой торцевые элементы, соединённые с металлической обечайкой посредством сварки. Преимуществами являются высокая статическая прочность и отработанная технология производства. К числу недостатков относятся значительная масса, подверженность коррозии, повреждения от повторно-циклических нагрузок в зоне сварного шва, а также риск повреждения конвейерной ленты при аварийных отказах [6].

Точеные и штампованные корпуса имеют различную производственную специфику. Точёные конструкции обеспечивают высокую точность геометрии и посадок, но отличаются повышенной трудоемкостью изготовления и значительной массой. Штампованные варианты позволяют снизить себестоимость в массовом производстве, однако уступают в прочности в зонах вытяжки и требуют антикоррозионной защиты. В обоих случаях сохраняется риск опасного отказа с повреждением ленты [4].

Полимерные корпуса обеспечивают снижение массы и стойкость к коррозии, однако при использовании неармированных пластиков ограничены по прочности, жесткости и ударной стойкости [10]. Композиты на основе полиамидов с армированием стекловолокном позволяют повысить жесткостные характеристики и износостойкость, сохранив преимущества малой плотности и химической стойкости.

Сопряжение корпуса с обечайкой в действующих конструкциях реализуется сваркой, посадкой с натягом, клеевыми соединениями или механической вальцовкой. Сварка остаётся наиболее распространенным методом, но сопряжена с риском разрушения шва и повреждения ленты при отказах подшипникового узла. Посадка с натягом требует высоких точностных допусков и качества обработки поверхностей, клеевые соединения чувствительны к загрязнению и температурным колебаниям. Механическая вальцовка исключает термическое воздействие и обеспечивает контролируемый сценарий отказа, при котором не формируются острые кромки, способные повредить ленту [8].

Совокупная оценка показывает, что существующие конструкции не в полной мере соответствуют современным требованиям по сочетанию надежности, безопасности, технологичности и ремонтпригодности. Это обуславливает целесообразность разработки корпуса из композиционного материала с интегрированными защитными элементами и механическим соединением с обечайкой, что и реализовано в представленной работе.

Материалы и методы

В качестве конструкционного материала для корпуса ролика был выбран полиамид 6, армированный 30 % стекловолокна (PA6 GF30). Данный композит сочетает высокие прочностные характеристики, стойкость к истиранию и агрессивным средам, а также обладает низкой плотностью, что позволяет снизить массу изделия без ущерба для его надежности. Дополнительно материал демонстрирует стабильность линейных размеров, хорошую обрабатываемость и пригодность для литья под давлением, что делает его оптимальным для серийного производства [3; 7].

На этапе проектирования были рассмотрены два основных варианта конструкции: массивный цельнолитой корпус и облегченный корпус с развитой системой ребер жесткости. Вариант цельнолитой конструкции оказался неэффективен по результатам расчётов и опытного литья, так как продемонстрировал избыточную массу, сложность контроля геометрии при охлаждении и высокую стоимость. В связи с этим была принята схема с радиальными ребрами жесткости, обеспечивающая требуемую прочность при меньшей массе, а также дополнительную устойчивость к ударным нагрузкам за счёт демпфирующего эффекта.

Сопряжение корпуса с металлической обечайкой выполнено методом вальцовки: край трубы механически закатывается внутрь по наружному радиусу композитного корпуса. В отличие от традиционного стального исполнения, где используется сварка, такая схема сопряжения позволяет исключить риск повреждения транспортной ленты в случае заклинивания подшипника. При отказе узла происходит разрушение корпуса, а

не его проворот или срыв, что предотвращает образование острых кромок и сохраняет целостность ленты. Конструкция обеспечивает надежную фиксацию без применения термических соединений и повышает общую безопасность эксплуатации. Точная посадка достигается за счет наличия наплывов на корпусе, компенсирующих допуски толщины трубы (в пределах $\pm 10\%$ по ГОСТ) [1]. Сборка выполняется на гидравлическом прессе с контролем усилия и позиционированием по сварному шву трубы, что предотвращает проворот корпуса во время эксплуатации.



Рис. 1. Внешний вид композитного корпуса конвейерного ролика

Технологический процесс изготовления корпуса включает литье под давлением с одновременным формированием всех конструктивных элементов: ребер жесткости, противопылевых каналов, фиксатора от проворота и маркировки партии. Перед заливкой расплава подшипник устанавливается внутрь пресс-формы, после чего корпус формируется непосредственно вокруг него. Такой способ обеспечивает точную центровку и надежную фиксацию подшипника в конструкции. После литья проводится контроль геометрии и качества посадки. Завершающим этапом является запрессовка корпуса в металлическую обечайку с последующей вальцовкой краев.

Оценка эксплуатационных характеристик проводилась в два этапа: лабораторные испытания и опытная эксплуатация. В лабораторных условиях проверялись параметры вибрации, биения и устойчивость к пылеабразивной среде при вибро- и ударных нагрузках. В условиях действующего производства исследовались поведение конструкции при заклинивании подшипника и ее общее влияние на надежность работы конвейерной линии. Полученные данные позволили подтвердить заявленные технические характеристики и практическую применимость конструкции.

Конструктивные особенности композитного корпуса

Разработанная конструкция корпуса ролика направлена на повышение эксплуатационной надежности и безопасности транспортировочного оборудования. Основные конструктивные решения направлены на исключение разрушения ленты, снижение вибрации, повышение точности сборки и защиту подшипникового узла от загрязнений. Рассмотрим основные аспекты.

Куполообразная внешняя часть корпуса (рис. 1, элемент А) соединяется с металлической обечайкой не методом сварки, а посредством вальцовки. Один край

ролика фиксируется в патроне и приводится во вращение, после чего противоположный край равномерно обрабатывается тремя вальцовочными головками. Такая технология обеспечивает симметричное закатывание края обечайки по наружному радиусу корпуса и его точное центрирование. Механическая фиксация без термического воздействия исключает образование сварного шва и, как следствие, риск его разрушения. В случае заклинивания подшипника разрушается сам корпус, а не соединение с трубой, что предотвращает повреждение конвейерной ленты – одного из наиболее дорогостоящих элементов системы.

Компенсация отклонений стенки трубы (рис. 1, элемент В). На наружной поверхности корпуса предусмотрены специальные кольцевые наплывы, предназначенные для компенсации отклонений толщины стенки трубы в пределах допусков, регламентированных ГОСТ (до $\pm 10\%$). В процессе запрессовки данные элементы частично срезаются или деформируются, что обеспечивает равномерное распределение усилия, устранение зазоров и стабильную посадку корпуса внутри металлической обечайки.

Маркировка (рис. 2, элементы С и D). В конструкцию корпуса интегрированы элементы для заводской маркировки: указывается дата изготовления и производитель. Эти данные соответствуют требованиям нормативной документации и позволяют осуществлять производственный контроль, идентификацию смены и отслеживание качества по серийным номерам. Для заказчика это обеспечивает прозрачность поставок и гарантийное обслуживание, а для производителя – возможность оперативного анализа причин отказов.

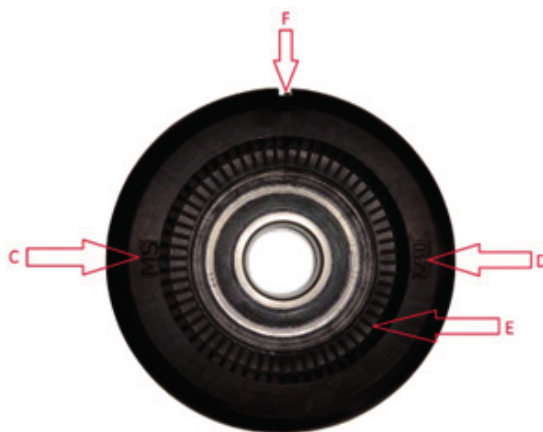


Рис. 2. Фронтальный вид композитного корпуса конвейерного ролика

Ребра противопылевой защиты (рис. 2, элемент E). На поверхности корпуса предусмотрены ребра противопылевой защиты, формирующие при вращении ролика воздушный поток, направленный от центра наружу. Этот эффект препятствует попаданию загрязненного воздуха и пылевых частиц внутрь подшипникового узла. Данный элемент не является герметичной защитой, однако существенно снижает риски ускоренного износа подшипников в агрессивной среде.

Технологический паз позиционирования (рис. 2, элемент F). Для исключения проворачивания корпуса внутри трубы предусмотрен дополнительный конструктивный

элемент – технологический паз на наружной стороне корпуса. При сборке корпус позиционируется по сварному шву трубы, который фиксируется в этом пазу. Основную фиксацию обеспечивает обжатие в процессе вальцовки, однако наличие паза служит дополнительной гарантией позиционной стабильности.

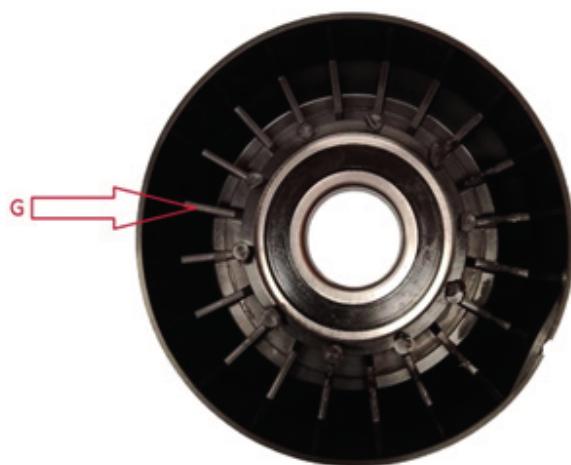


Рис. 3. Внутренний вид композитного корпуса конвейерного ролика

Ребра жесткости (рис. 3, элемент G). В качестве основной силовой конструкции корпуса используются радиальные ребра жесткости. Они обеспечивают общую структурную устойчивость при постоянных нагрузках и выполняют демпфирующую функцию при кратковременных ударных воздействиях. За счет распределения механических напряжений по телу корпуса ребра предотвращают локальные разрушения и продлевают срок службы изделия.

Представленная конструкция совмещает элементы адаптивности, защиты и технологичности, обеспечивая высокие эксплуатационные показатели без увеличения массы и сложности сборки.

Оценка технологической и функциональной эффективности конструкции

Проведенные исследования подтвердили высокую геометрическую стабильность и технологичность корпуса из полиамида PA6 GF30. Литые элементы продемонстрировали соответствие проектным параметрам по всем основным размерам. Радиальное биение в сборке находилось в пределах 0,3 мм, что удовлетворяет требованиям к промышленным конвейерным роликам. При вальцовке корпуса внутрь металлической трубы отклонения по осевому совмещению не превышали допустимых значений, благодаря использованию ориентира по сварному шву и применению регулируемого гидравлического пресса. Фиксация корпуса была стабильной, проворот в обечайке исключался, так как в отличие от традиционного метода сварки, сопряжение корпуса с металлической обечайкой осуществляется методом вальцовки. Один край ролика зажимается в патрон и вращается, второй равномерно обжимается тремя вальцовочными головками, что обеспечивает точное центрирование и надёжную механическую фиксацию корпуса по наружному радиусу. Отсутствие сварного шва устраняет риск его разрушения при заклинивании подшипника, предотвращая отрыв корпуса и возможное повреждение ленты, что особенно важно с точки зрения затрат на ее замену.

В условиях вибрационных и ударных нагрузок, моделирующих эксплуатацию на действующих предприятиях, композитный корпус сохранил целостность конструкции. Радиальные ребра жесткости, равномерно распределенные по окружности, обеспечили эффективное гашение динамических воздействий и отсутствие локальных перегрузок. В ходе лабораторных испытаний, включавших цикл ударных и абразивных воздействий, не было зафиксировано возникновения трещин, сколов или разрушения корпуса. Отливка продемонстрировала равномерный износ в пределах 0,5 % массы за 100 часов работы, что подтверждает высокую стойкость PA6 GF30 к истиранию. При этом стальной аналог уже после 72 часов имел признаки коррозии и частичного повреждения сварного соединения.

Моделирование отказа подшипникового узла показало, что при заклинивании не происходит передачи критической нагрузки на ленту. Разрушение корпуса носило локальный характер и не привело к деформации металлической трубы и сохранило целостность транспортного полотна. Это объясняется отсутствием сварки и возможностью пластической деформации полиамидного элемента в зоне сопряжения. Конструкция показала отказоустойчивость и минимальный риск вторичного повреждения оборудования. В условиях эксплуатации это позволит избежать критических простоев и экстренного ремонта.

Следует отметить, что опытные образцы продемонстрировали высокую ремонтпригодность. Замена ролика в условиях производственной линии осуществлялась без применения специального инструмента и занимала менее трех минут. Для сравнения, демонтаж традиционного цельнометаллического ролика занимал от 12 до 20 минут и требовал отключения линии. Использование модульного подхода с механическим сопряжением и отсутствием термической обработки позволило существенно упростить техническое обслуживание и сократить простои оборудования.

Заключение

Разработанная конструкция композитного корпуса ролика на основе армированного полиамида PA6 GF30 продемонстрировала высокую эффективность как с технологической, так и с эксплуатационной точки зрения. Использование радиальных ребер жесткости, противопылевых элементов и механической вальцовки позволило повысить устойчивость корпуса к динамическим нагрузкам, обеспечить точную посадку и снизить риски повреждения конвейерной ленты при отказе подшипников. Проведенные испытания подтвердили геометрическую стабильность, износостойкость и отказоустойчивость изделия. Полученные результаты указывают на перспективность применения данной конструкции в составе транспортных систем с повышенными требованиями к надежности, безопасности и обслуживаемости оборудования.

Список литературы / References

1. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. — М.: Изд-во стандартов, 2007. / GOST 10704-91. Electrically welded steel line-weld tubes. Range.
2. Коган Б. И., Лукашенко Т. А. Модульная технология сборки роликов ленточных конвейеров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2003. — № 4 (35). — С. 78–79. / Kogan B. I., Lukashenko T. A. Modular technology of assembling belt conveyor rollers // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2003. No. 4 (35). P. 78–79 (In Russ.).
3. Когда наступит композитное будущее [Электронный ресурс] // Страна Росатом. — 2017. — 1 нояб. (выступление К. Б. Комарова на форуме «Композиты без границ»). — URL: <https://strana-rosatom.ru/2017/11/01/kogda-nastupit-kompozitnoe-budushhee/> / When the composite future will come // Strana Rosatom. 2017. 1 November (In Russ.).
4. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства: учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1976. / Okhrimenko Ya. M. Technology of forging and stamping production. Moscow: Mashinostroenie, 1976 (In Russ.).
5. Шаяхметов Э. Я. Конструктивное и технологическое обеспечение качества роlikоопор ленточных конвейеров, работающих в тяжелых условиях. — Алматы: Satbayev University, 2017. / Shayakhmetov E. Ya. Design and technological assurance of the quality of belt conveyor idlers operating in severe conditions. Almaty: Satbayev University, 2017 (In Russ.).
6. Chebat F., Peron M., Viespoli L. M., Welo T., Berto F. Fatigue strength assessment of steel rollers: on the reliability of the strain energy density approach on real components // Applied Sciences. 2018. Vol. 8, No. 7. Art. 1015. DOI: 10.3390/app8071015
7. Future Market Insights. Global Composite Rollers Market is projected to reach US\$ 297.4 Million rising at a CAGR of 7.6% from 2023 to 2033 [Press release]. GlobeNewswire, 2023. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-composite-rollers-market-projected-143000300.html>
8. Gupta K. (ed.) Advanced Manufacturing Technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. Cham: Springer, 2017. (Materials Forming, Machining and Tribology).
9. Nangare V. A., Sonawane P. R. Design, analysis and weight optimization of roller conveyor system by using glass fiber composite material // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). 2022. DOI: 10.22214/ijraset.2022.45569
10. Rosato D. V., Rosato D. V. Plastics Engineered Product Design. Amsterdam: Elsevier Science, 2003.