

Author's version (postprint). Published in: Sergeev A.S. Application of glass-fiber-reinforced polyamide in the design of a conveyor roller bearing housing // Nauchnyi Aspekt. 2020. No. 4, Vol. 9. P. 1219–1228.

Авторская версия. Опубликовано: Сергеев А.С. Применение стеклонаполнённого полиамида в конструкции корпуса подшипникового узла конвейерного ролика // Научный аспект. — 2020. — № 4, т. 9. — С. 1219–1228. URL: <https://na-journal.ru/4-2020-tehnika/15045-primenenie-steklonapolnyonnogo-poliamida-v-konstrukcii-korpusa-podshipnikovo-go-uzla-konveiernogo-rolika>

УДК 621.867

Применение стеклонаполнённого полиамида в конструкции корпуса подшипникового узла конвейерного ролика

Application of Glass-Fiber-Reinforced Polyamide in the Design of a Conveyor Roller Bearing Housing

Сергеев Александр Сергеевич

генеральный директор ООО «МегаСервис»

Аннотация: В статье рассматривается применение стеклонаполнённого полиамида (PA6 GF30) в корпусе подшипникового узла конвейерного ролика. Проведены сравнительные испытания с металлическими и неармированными образцами. Установлено преимущество PA6 GF30 по прочности, износостойкости, стабильности размеров и технологичности.

Abstract: The study examines the use of glass fiber reinforced polyamide (PA6 GF30) in the bearing housing of a conveyor roller. Comparative tests with metal and unreinforced polyamide samples were conducted. PA6 GF30 demonstrated advantages in strength, wear resistance, dimensional stability, and manufacturing efficiency.

Ключевые слова: PA6 GF30, корпус подшипникового узла, конвейерный ролик, композитные материалы.

Keywords: PA6 GF30, conveyor roller, bearing housing, composite materials.

Введение

Повышение эффективности и надёжности транспортных систем в промышленности требует модернизации элементов ленточных конвейеров, включая конструкцию конвейерных роликов. Одним из уязвимых компонентов ролика остаётся корпус подшипникового узла, на который воздействуют значительные механические и климатические нагрузки. В промышленной практике корпус традиционно изготавливают из металлических материалов, обладающих высокой прочностью. Однако такие материалы отличаются большой массой, подверженностью коррозии и требуют регулярного технического обслуживания.

Развитие отрасли конструкционных полимеров открывает возможность замены металлов на композиты. Одним из перспективных решений является использование полиамида, армированного стекловолокном. Этот материал сочетает высокую прочность, стойкость к истиранию, химическую инертность и стабильность физико-механических характеристик в широком диапазоне температур и влажности. Кроме того, он обладает пониженной гигроскопичностью по сравнению с неармированным полиамидом.

Цель исследования — оценить эффективность применения стеклонаполненного полиамида в конструкции корпуса подшипникового узла конвейерного ролика. Задачи исследования включают анализ физико-механических свойств материала, сравнительное испытание опытного образца и определение перспектив промышленного применения новой конструкции.

Обоснование выбора материала

Выбор конструкционного материала для корпуса подшипникового узла конвейерного ролика является критически важным этапом проектирования, от которого напрямую зависит долговечность изделия, его устойчивость к внешним воздействиям и эффективность эксплуатации. Ключевые требования к материалу включают высокую прочность, достаточную жёсткость, устойчивость к истиранию и химическому воздействию, низкую массу, а также стабильность размеров в широком диапазоне температур и влажности.

В традиционной промышленной практике для изготовления корпусов применяются металлические материалы, прежде всего углеродистые конструкционные стали. Сталь обладает высокой прочностью (до 370 МПа) и жёсткостью (модуль упругости до 210 ГПа), что обеспечивает механическую надёжность при значительных нагрузках. Однако существенным недостатком металлов является высокая плотность (7,85 г/см³), а также низкая коррозионная стойкость без специальной обработки. Эти факторы увеличивают массу конструкции, затраты на обслуживание и ограничивают применимость стали в агрессивных или климатически нестабильных условиях.

Альтернативным решением являются конструкционные термопласты, в частности полиамид 6 (PA6). Он обладает низкой плотностью (1,13 г/см³), высокой ударной вязкостью (до 70 кДж/м²) и хорошими антифрикционными характеристиками. Однако полиамид характеризуется высокой гигроскопичностью (до 8,5%), что приводит к изменению размеров и снижению прочности при эксплуатации во влажной среде. Эти ограничения не позволяют использовать неармированные полиамиды в узлах с жёсткими допусками и высокой нагрузкой без дополнительных мер компенсации.

Для устранения указанных недостатков используется полиамид, армированный стекловолокном в объёме не менее 30% (PA6 GF30). Введение наполнителя позволяет увеличить прочность при растяжении до 180 МПа, модуль упругости — до 6,5 ГПа, а гигроскопичность снизить более чем в шесть раз — до уровня 1,2%. При этом материал сохраняет сравнительно низкую плотность (1,35 г/см³), что обеспечивает выигрыш по массе более чем в 5 раз по сравнению со сталью. Кроме того, стеклонаполненный полиамид обладает высокой коррозионной стойкостью, не требует защитных покрытий и устойчив к истиранию.

Рассмотрим сравнительные характеристики материалов (таблица 1) [1], [2].

Таблица 1. Сравнительный анализ свойств стали, полиамида и стеклонаполненного полиамида для изготовления корпуса подшипникового узла

Показатель	Металл (сталь)	Полиамид (РА6)	Стеклонаполненный РА6 (30%)
Плотность, г/см ³	7,85	1,13	1,35
Предел прочности при растяжении, МПа	370	80	180
Модуль упругости, ГПа	210	2,5	6,5
Ударная вязкость, кДж/м ²	15	70	35
Износостойкость (отн. единицы)	1,0	0,4	0,7
Гигроскопичность, % по массе	0,0	8,5	1,2
Рабочий температурный диапазон, °С	–60...+300	–40...+100	–40...+120
Коррозионная стойкость	Низкая (без покрытия)	Высокая	Высокая

Конструкция, испытания и обсуждение результатов

В рамках модернизации конструкции корпуса подшипникового узла конвейерного ролика была разработана усовершенствованная геометрическая модель, ориентированная на литьевое формование из стеклонаполнённого полиамида (РА6 GF30) с последующей стабилизацией изделия. Конструкция адаптирована под технологические особенности термопластавтоматов и двухместных пресс-форм, применяемых в серийном производстве. При проектировании корпуса были реализованы решения по равномерному распределению нагрузок, устранению локальных концентраторов напряжений и обеспечению геометрической стабильности в зонах сопряжения с обечайкой. Также была предусмотрена система центрирования подшипникового кольца для предотвращения перекосов при динамической эксплуатации.

Для оценки технических и технологических преимуществ новой конструкции проведено сравнительное исследование трёх типов корпусов:

1. штампованных из стальной полосы,
2. точёных из толстостенной трубы на токарных станках с ЧПУ,
3. литых из РА6 GF30 методом термопластичного литья.

Все образцы имели идентичную геометрию и были изготовлены по унифицированным допускам, что позволило обеспечить корректность сопоставления. Рассмотрим анализ результатов испытаний по следующим ключевым направлениям: статическая прочность, износостойкость, температурная стабильность, влагостойкость, размерная стабильность, визуальный контроль, производственные технологии и эксплуатационная эффективность.

1. Статическая прочность

Образцы подвергались осевому и радиальному нагружению до момента разрушения либо достижения остаточной пластической деформации. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 11262–2017 [3], с использованием сертифицированных гидравлических прессов. Как и ожидалось, стальные корпуса продемонстрировали наивысшие значения прочности, однако образцы из стеклонаполненного полиамида обеспечили приемлемый уровень механической устойчивости — до 180 МПа при растяжении и более 120 МПа при радиальной нагрузке. Это почти в 2,3 раза выше, чем у неармированного РА6. При этом на корпусах из РА6 GF30 не зафиксировано остаточной деформации до достижения проектных нагрузок, что свидетельствует о достаточной жёсткости и надёжности конструкции.

2. Износостойкость

Испытания на трение скольжением проводились на плоской установке с применением стандартного контртела при нагрузке 250 Н и скорости 0,3 м/с. Продолжительность теста составила 100 000 циклов. Стеклонаполнённый полиамид продемонстрировал снижение массы за счёт износа в пределах 0,37%, в то время как неармированный полиамид потерял до 0,54% массы, а также проявил признаки локального оплавления в зоне контакта. Износ стальных образцов оказался незначительным, однако в зоне трения отмечены участки окисления, что может свидетельствовать о начальных проявлениях коррозионных процессов.

3. Температурная стабильность

Материалы подвергались тепловому воздействию с выдержкой при –40 °С и +120 °С в климатической камере, после чего образцы испытывались на изгиб и сжатие. Образцы из РА6 GF30 сохранили геометрию и механические характеристики во всём температурном диапазоне. У неармированных полиамидов отмечено снижение жёсткости и появление микротрещин после 5 циклов нагрев–охлаждение, особенно в зонах переменного сечения. Это подтверждает важность стабилизации полиамидной матрицы за счёт стекловолоконного армирования.

4. Влагостойкость и размерная стабильность

В течение 168 часов образцы выдерживались при относительной влажности 95% и температуре 40 °С. Измерения показали, что неармированный полиамид увеличил линейные размеры в среднем на 1,2%, что является критическим для обеспечения посадочных допусков в подшипниковом узле. В то же время стеклонаполнённый материал увеличил размеры лишь на 0,28%, без нарушения геометрической стабильности. Поверхностное старение и размягчение материала у неармированного РА6 визуально зафиксированы в торцевых участках.

5. Визуальный контроль и микродефектоскопия

После завершения нагрузочных и климатических испытаний проводился осмотр всех образцов с применением оптической и электронной микроскопии. На образцах из РА6 выявлены микротрещины в зоне сопряжения стенки и основания, а также признаки

усталостных разрушений в зоне контакта с подшипником. Образцы из PA6 GF30 не демонстрировали признаков разрушения или структурных дефектов, что указывает на надёжность армированной матрицы при повторных нагрузках. Стальные образцы также не продемонстрировали структурных разрушений, однако в зонах сварных швов и механических соединений визуально наблюдались мелкие участки точечной коррозии и начального окисления, особенно после воздействия влаги и температурных циклов. Это указывает на необходимость защиты металлических элементов в условиях эксплуатации, сопряжённых с повышенной влажностью или перепадами температуры.

6. Масса изделия и эксплуатационная энергоэффективность

Вычисленная масса стандартного металлического корпуса составляет примерно 3,2 кг, тогда как корпус из PA6 GF30 — около 0,55 кг (снижение массы более чем на 80%). Это существенно уменьшает инерционные нагрузки на приводные механизмы конвейера и снижает требования к техническому обслуживанию опор и редукторов. В расчётной модели эксплуатационных параметров снижение массы на роторных элементах позволяет экономить до 3–5% электроэнергии, что при продолжительной непрерывной работе оборудования в течение года превращается в значимую экономию ресурсов. Также облегчённая конструкция упрощает сборку, замену и обслуживание компонентов, снижая трудозатраты и повышая безопасность ремонтных работ.

7. Анализ производственных технологий

Штампованный корпус изготавливается из стальной полосы методом последовательного формования с применением многопозиционных штампов. Стоимость одного комплекта оснастки составляет 500 000–800 000 . При производительности 2000–2500 операций за смену выпуск готовых изделий составляет порядка 600–700 штук. Несмотря на приемлемую себестоимость при массовом выпуске, технология требует квалифицированного персонала, точной настройки оборудования и регулярного обслуживания. Дополнительным фактором затрат является необходимость антикоррозионной обработки готовых изделий.

Точёный корпус выполняется из толстостенной трубы на токарных станках с ЧПУ. Производительность двух станков составляет порядка 200–250 изделий за 12-часовую смену. Данный способ отличается высокой металлоёмкостью, низкой скоростью изготовления и значительной себестоимостью. При этом зачастую требуется дополнительная финишная обработка — фрезерование, шлифовка, термообработка, — что удлиняет цикл и повышает затраты. В условиях серийного выпуска точёные корпуса являются наименее экономически оправданным решением.

Литой корпус из PA6 GF30 формируется методом литья под давлением на термопластавтоматах с применением двухместных пресс-форм, стоимость которых составляет 1–1,5 млн . Производительность одного оператора, обслуживающего два станка, составляет 350–380 циклов за смену (12 часов). Изделие формируется в готовом виде, не требует механической доработки и стабилизируется в течение 24 часов. В условиях серийного производства такая технология оказывается наиболее эффективной

по затратам, обеспечивает стабильное качество, минимизирует участие персонала и исключает потребность в дополнительной обработке и защите от коррозии.

Таким образом, технология литья под давлением из стеклонаполненного полиамида (РА6 GF30) демонстрирует наибольшую производственную и экономическую целесообразность при массовом выпуске корпусов подшипниковых узлов.

Обобщение результатов испытаний показало, что применение стеклонаполнённого полиамида (РА6 GF30) обеспечивает комплекс эксплуатационных и производственных преимуществ. Материал демонстрирует высокие показатели механической прочности, стабильности геометрии при воздействии влаги и температуры, износостойкости и устойчивости к усталостным разрушениям. По сравнению с неармированным полиамидом стеклонаполненный композит обладает значительно лучшими характеристиками в условиях длительной и циклической нагрузки, а также сохраняет форму и прочность при критических климатических воздействиях.

Дополнительно установлено, что металлические корпуса уступают РА6 GF30 не только по массе и энергоэффективности, но и по экономической обоснованности. Уменьшение массы деталей снижает нагрузки на приводы и опоры, что способствует снижению эксплуатационных затрат и увеличению межсервисного ресурса. Литьё под давлением позволяет сократить производственный цикл, обеспечить воспроизводимость геометрии и снизить себестоимость изделия в условиях серийного производства [4]. В отличие от металлоконструкций, изделия из полиамида не требуют антикоррозионной обработки и менее трудоёмки в изготовлении.

На основании совокупности полученных данных стеклонаполнённый полиамид представляет собой рациональное и технико-экономически целесообразное решение для изготовления корпусов подшипниковых узлов конвейерных роликов в условиях промышленной эксплуатации и массового выпуска.

Заключение

Результаты проведённого исследования подтвердили техническую и экономическую обоснованность применения стеклонаполнённого полиамида (РА6 GF30) в конструкции корпуса подшипникового узла ленточного конвейерного ролика. Комплекс лабораторных испытаний, включая статическое нагружение, износостойкость, климатические воздействия и анализ размерной стабильности, выявил значительное превосходство армированного полиамида над неармированным аналогом, а также над традиционно используемыми металлическими конструкциями по ряду ключевых параметров.

Стеклонаполнённый полиамид продемонстрировал высокую прочность, устойчивость к агрессивной среде и климатической нестабильности, низкую гигроскопичность и износостойкость, сохраняя при этом низкую массу. Это позволило не только повысить эксплуатационную надёжность и ресурс конструкции, но и обеспечить снижение энергозатрат и нагрузки на компоненты конвейерной системы.

Существенным фактором также выступила производственная эффективность: возможность серийного литья под давлением, снижение трудоёмкости и затрат на механообработку обеспечивают снижение себестоимости при массовом выпуске. В совокупности это делает стеклонаполнённый полиамид предпочтительным материалом при проектировании и производстве современных роликовых систем, особенно в условиях, предъявляющих повышенные требования к массо-габаритным, климатическим и ресурсным характеристикам узлов.

Список литературы

1. Косилов А.Г., Мещеряков Р.П. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. — М.: Машиностроение, 2019.
2. BASF. Ultramid A3WG3 — Technical Data Sheet [Электронный ресурс]. — BASF Plastics Portal. — URL: <https://plastics-rubber.basf.com> (дата обращения: 30.01.2020).
3. ГОСТ 11262–2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. — М.: Стандартиформ, 2018.
4. Yiming Z. Development of Simulation Models for Optimizing Energy Efficiency of Roller Conveyor Systems: bachelor thesis / BIBA — Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. — Bremen, 2014.