

*Дерек Иренеуш, асп.
В.Ф. Лабунец, канд. техн. наук проф.*

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В АВИАЦИИ

Национальный авиационный университет

В работе проведен анализ полимерных материалов, которые используются в узлах трения авиационной техники.

Введение. С каждым днем все больше растут требования к надежности и долговечности современной техники и, в частности, авиационной, что в свою очередь стимулирует разработку новых материалов и технологий, обладающих высокими физико-механическими и трибологическими свойствами. К числу наиболее перспективных конструкционных авиационных материалов относятся полимерные, что обусловлено их свойствами, а именно: 1) малый вес по сравнению с металлами; 2) хорошая прочность; 3) высокая износостойкость в паре с металлами; 4) электромагнитная прозрачность; 5) устойчивость к воздействию вибрации; 6) радиационная стойкость; 7) высокая коррозионная стойкость и др.

Применение полимерных материалов является в ряде случаев наиболее эффективным, а иногда и единственно возможным средством решения сложных технологических проблем.

Общая характеристика. Полимерные материалы или просто пластмассы могут быть простыми и сложными. Простые – это полимеры без добавок, сложные пластмассы – это смеси полимеров с различными добавками (наполнители, стабилизаторы, пластификаторы и др.) [1].

Наполнители добавляют в количестве 40–70 % (по массе) для повышения механических свойств, снижения стоимости, усадки при прессовании, придания материалу тех или иных специфических свойств (фрикционных, антифрикционных и т. д.) [2]. Наполнители – это органические и неорганические вещества в виде порошков (древесная мука, сажа, слюда, SiO₂, тальк, TiO₂, графит, карбиды, бориды, нитриды), волокон (хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые, полимерные), листов (бумага, ткани из различных волокон, древесный шпон).

В зависимости от вида наполнителя пластмассы подразделяются на порошковые (пресс-порошки) с наполнителями в виде древесной муки, сульфитной целлюлозы, графита, талька, измельченного стекла, мрамора, асбеста, слюды, пропитанных связующими (часто их называют карболитами); волокнистые с наполнителями в виде очесов хлопка и льна (волокниты), стеклянного волокна (стекловолокниты), асбеста (асбоволокниты); слоистые, содержащие листовые наполнители (листы бумаги в гетинаксе, хлопчатобумажные, стеклянные, асбестовые ткани в текстолите, стеклотекстолите и асботекстолите, древесный шпон в древеснослоистых пластиках); крошкообразные (наполнитель в виде кусочков ткани или древесного шпона, пропитанных связующим); газонаполненные (наполнитель — воздух или нейтральные газы). В зависимости от структуры последние подразделяют на пенопласты и поропласты.

Современные полимерные материалы содержат в качестве наполнителей угольные и графитовые волокна; волокна бора; волокна капрона, лавсана, нейлона; нанотрубки [3].

В качестве стабилизаторов применение находят различные органические вещества, которые вводят в количестве нескольких процентов для сохранения структуры молекул.

Пластификаторы добавляют в количестве 10–20 % для уменьшения хрупкости и улучшения формуемости.

Для отверждения к термореактивным пластмассам добавляют отвердитель в количестве нескольких процентов.

В качестве специальных добавок применение находят смазочные материалы, красители, материалы уменьшающие статические заряды и горючесть, ускорители и замедлители отверждения, другие — служащие для изменения или усиления какого-либо свойства.

По применению пластмассы подразделяются на силовые (конструкционные, фрикционные и антифрикционные, электроизоляционные) и несиловые (оптически прозрачные, химически стойкие, электроизоляционные, теплоизоляционные, декоративные, уплотнительные, вспомогательные). Однако это деление условно, так как одна и та же пластмасса может обладать разными свойствами: например, полиамиды применяют в качестве антифрикционных и электроизоляционных материалов и т. д.

Пластмассы по своим физико-механическим и технологическим свойствам являются наиболее прогрессивными и часто неза-

менимыми материалами для машиностроения.

Особенностями пластмасс являются малая величина плотности (для большинства пластмасс плотность колеблется от 1 до 2 г/см³, а для пенопластов — от 0,015 до 0,8 г/см³); низкая теплопроводность $\lambda = 0,1 \div 0,4$ ккал Дм/(м·ч·°С), температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-5} \div 12 \cdot 10^{-5}$ 1/°С; хорошие электроизоляционные свойства (диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 1,8 \div 8,9$, удельное объемное сопротивление $\rho_v = 10^8 \div 10^{18}$ Ом·см, диэлектрические потери $\text{tg}\delta = 0,0001 \div 0,1$; электрическая прочность $E_{\text{пр}} = 10 \div 30$ кВ/мм); хорошая оптическая прозрачность и радиопрозрачность некоторых видов пластмасс; высокая химическая стойкость; фрикционные и антифрикционные свойства; высокая механическая прочность силовых пластиков, сопоставимая с прочностью стали (например, $\sigma_b = 3 \div 100$ кгс/мм² и выше, несмотря на то что их масса меньше в 4 раза); хорошие технологические свойства.

Недостатками пластмасс являются невысокая теплостойкость, низкие модуль упругости и ударная вязкость по сравнению с металлами и сплавами, а для некоторых пластмасс – склонность к старению.

Армированные пластмассы представляют собой композиционные материалы, состоящие из арматуры в виде тонких высокопрочных волокон и полимерной матрицы. Армирующий компонент обеспечивает прочность и жесткость системы, а полимерное связующее – создание монолитного материала и формуемость. В качестве армирующего компонента используют различные материалы как природные (хлопок, лен, джут, древесину), так и синтетические (стекловолокно и др.). Короткие волокна из целлюлозы, асбеста и штапельные стекловолокна, можно непосредственно, без предварительной обработки, вводить в композиционный материал в процессе формирования. Кроме того, перед пропитыванием полимерными связующими короткие волокна подготавливают различными способами: штапельные волокна перерабатываются в мат, натуральные и целлюлозные – в бумагу, а короткие натуральные волокна – в нити для последующего изготовления ткани. В качестве полимерного связующего в армированных пластиках применяют различные термопластичные и термореактивные смолы [4].

Изготовление деталей узлов трения из пластмасс дает большой экономический эффект в связи с тем, что по сравнению с металлами переработка пластмасс менее трудоемкая, число операций в несколько

раз меньше и отходов получается немного. Пластмассовые детали, как правило, не нуждаются в отделочных операциях (рис. 1).

Преимущества полимеров в сочетании с удобством переработки обеспечило им широкое применение в машиностроении и, особенно, в авиастроении. Так, на сегодня в конструкции самолета Boeing 787 применение полимеров доходит до 40 % (рис. 2).



Рис. 1. Детали машин и механизмов

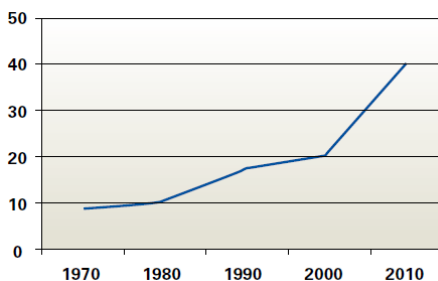


Рис. 2. Применение полимеров в конструкции самолета Boeing 787

К современным полимерным материалам, применяемым в узлах трения, относится широкая номенклатура пластмасс.

Материалы общего назначения и материалы специального исполнения. К этой группе полимеров относятся экструзионные ПА, литые ПА на основе полиамида (нейлона), и продукты ПОМ на основе ацеталя (полиоксиметилена).

Экструзионные ПА: полиамид (нейлон). ZELLAMID 202 (нейлон 6) натуральный. Экструзионный ПА 6 является жестким материалом с высокой износостойкостью и ударопрочностью. ПА 6 часто используют для замены бронзы, алюминия и других цветных металлов в связи с его небольшим весом. Удельный вес ZELLAMIDA 202 составляет $1,15 \text{ г/см}^2$, а бронзы – $8,8 \text{ г/см}^2$.

Кроме аэрокосмической техники ZELLAMID 202 применяется в судостроении, общем машиностроении, горнодобывающей, текстильной, целлюлозно-бумажной и пищевой промышленности и др.

Из полимера ПА 6 изготавливают детали пар трения, корпуса подшипников скольжения, шкивы, ролики, колеса, шестерни, тормозные блоки, спиральные конвейеры.

ZELLAMID 202 MO (нейлон 6 модифицированный дисуль-

фидом молибдена). По сравнению с ненаполненным ПА 6 он обладает более высокой износостойкостью и меньшим коэффициентом трения. Из этого полимера изготавливают подшипники скольжения, втулки, кулачки, шестерни, седла клапанов, вкладыши.

Более высокотехнологичным материалом является ZELLAMID 202 XN (нейлон 6 армированный наночастицами), который имеет повышенный температурный диапазон использования до 140 °С и повышенную механическую прочность с модулем упругости 4200 МПа. По сравнению с нейлоном наполненным стекловолокном, он легко обрабатывается.

ZELLAMID 250 (нейлон 6.6) известен своей высокой температуростойкостью и высокой прочностью на растяжение. Это самый твердый и жесткий тип экструзионного нейлона. Основные характеристики - высокая стойкость к воздействию топлив, масел, жиров, большинства органических растворителей и щелочей.

Применяется ПА 6.6 для изготовления подшипников скольжения, зубчатых колес, шестерен, валов, кулачков, втулок, клапанов и изделий подвергаемых высоким нагрузкам и/или высокой температуре.

ZELLAMID 250 MO (нейлон 6.6 наполненный дисульфидом молибдена) имеет повышенную прочность, жесткость и низкий коэффициент трения. Применяется для изготовления валов, шестерен, звездочек.

ZELLAMID 1000 GF30 (нейлон 6.6 + 30% стекловолокна) имеет повышенную прочность на сжатие, твердость, жесткость, сопротивление ползучести и размерную стабильность при сохранении высокой износостойкости. Применяется для деталей высоконагруженных узлов трения.

Продукты литого полиамида. К ним относятся полимеры ZELLAMID 1100 (литый нейлон 6), ZELLAMID 1000 X и ZELLAMID 1200 G – все они без наполнителей. Полимеры с наполнителями ZELLAMID 1100 MO (наполненный дисульфидом молибдена), ZELLAMID 1100 OIL (модифицированный смазкой), ZELLAMID 1100 T и ZELLAMID 1000 TX (с наполнителем твердой смазки), ZELLAMID 1120 FE (с металлическим стержнем).

Хорошими антифрикционными свойствами и низким коэффициентом трения, который составляет всего 0,15 обладает полиамид ZELLAMID 1100 T.

Более высокие трибологические характеристики присущи полиамиду ZELLAMID 1000 TX, у которого практически отсутст-

вует stickslip (эффект появления прерывистого скрипа). Это идеальный материал для подшипников с небольшим коэффициентом трения и длительным сроком службы.

Полимеры на основе полиоксиметилена: ПОМ. К этой группе относятся полимеры без наполнителя ZELLAMID 900, ZELLAMID 900 AS, ZELLAMID 900H, ZELLAMID 900H SW и полимеры с наполнителями углеродными нанотрубками (ZELLAMID 900 XUELS), твердой смазкой (ZELLAMID 900 PE и ZELLAMID 900 XT), волокнами ПТФ (ZELLAMID 900 XAF).

Поликристаллический термопластичный ZELLAMID 900 характеризуется низким коэффициентом трения, износостойкостью, устойчивостью к широкому кругу химических веществ, включая большое количество растворителей. Область применения: подшипники и втулки, работающие во влажной среде, шестерни, ролики, детали насосов и др.

Инновационная нанотехнология компании Zell – Metall обеспечивает сохранение важных свойств ПОМ – С (ацеталь сополимер), которые остаются неизменными, превосходя общедоступные модификации, которые используют до 40% углеродистых наполнителей, что снижает жесткость и предел текучести до 50%.

Серия ZELLAMID PE была создана для деталей триботехнического назначения, обладающих высокой антифрикционнойностью, износостойкостью и способностью выдерживать высокие нагрузки. Такими же характеристиками обладает сополимер ZELLAMID 900 XT, отличительной особенностью которого является возможность применения для работы при высоких скоростях относительного перемещения.

Термопластические полиэфирсы: ПЭТ, ПБТ и ТРЕ продукты. ZELLAMID 1400 (ПЭТ – сополимер) и ZELLAMID 1400 SW (ПЭТ - С). ПЭТ – это полукристаллический термопластический полиэстер, основанный на полиэтилентерефталате. Этот материал обладает превосходной размерной стабильностью, поскольку на него практически не оказывает влияния окружающая влажность. Он обладает низким коэффициентом трения, высокой износостойкостью и модулем упругости.

Самосмазывающийся ZELLAMID 1400 T (ПЭТ – сополимер с твердой смазкой) по сравнению с ненаполненным ПЭТ имеет значительно меньший коэффициент трения и более высокую изно-

состоять. Применяется для изготовления роликов, зубчатых шестерен, клапанов и подшипников скольжения, работающих при высоких давлениях и скоростях относительно перемещения.

ZELLAMID 1400 HI (ПЭТ гомополимер ударостойкий) обладает наивысшей ударопрочностью среди всех ПЭТ продуктов и высокими трибологическими свойствами. Он применяется для изготовления деталей, работающих в условиях контактного взаимодействия и требующих особо высокой точности исполнения. ZELLAMID 1400 HI идеально подходит для деталей с острыми краями.

Для деталей, требующих высокой ударопрочности и хорошей износостойкости и низкого коэффициента трения применение находит ZELLAMID 1400 HIT (ПЭТ гомополимер ударостойкий с твердой смазкой).

ZELLAMID 1400 PBT (полибутилен терефталат) – это термопластичный полиэфир основан на молекуле бутилена вместо молекулы этилена. Он имеет высокие механические свойства в сочетании с хорошей химической стойкостью и антифрикционностью.

ZELLAMID 6000 X (ТПЭ) – этот термопластический сополимер эластомер сочетает в себе преимущества инженерных термопластиков с гибкостью каучуков, может быть использован в широком диапазоне температур и имеет высокое сопротивление к усталости, сопротивление ползучести и устойчивость к воздействию масел, жиров и многих других химических веществ. Он может выполнять функции характерные для стандартных резин.

Высокотехнологичные экструзионные инженерные пластики. К высокотехнологичным экструзионным инженерным пластикам триботехнического назначения относятся высокотемпературостойкий термопластик ZELLAMID 1500 (ПЭЭК), который может длительно работать вплоть до 260 °С. Благодаря высоким трибологическим свойствам ПЭЭК является альтернативой фторополимерам.

Более высокую температурную стойкость и ударопрочность имеет специальный термопласт ZELLAMID 1500 X (ПЭЭК), который находит применения для изготовления пластиковых клапанов, колец компрессоров, подшипников, зубчатых передач, рабочих колес насосов и др.

Высокие трибологические свойства ZELLAMIDa 1500 T (ПЭЭК) обусловлены модифицированию 10% углеродным волокнам, 10 % графитом, 10 % ПТФЭ, который, применяется в подшипниках сколь-

жения, работающих при высоких давлениях и температурах.

ZELLAMID 1500 CA30 (ПЭЭК модифицированный 30 % углеродного волокна) обладает не только высокой износостойкостью, но и низким коэффициентом трения. Углеродные волокна значительно снижают тепловое расширение, а также более высокая теплопроводность значительно улучшает отвод тепла от поверхности подшипников, предотвращая нагрев.

Для деталей реактивных двигателей, а также некоторых компонентов нагруженных подшипников применение находит ZELLAMID 1000 GF30 (ПЭИ модифицированного 30 % стекловолокна). Стекловолокно придаст полимеру исключительное соотношение прочности / веса и увеличенный предел прочности на разрыв с еще большей жесткостью и размерной стабильностью, а также с низкой ползучестью.

ZELLAMID 1900 (Полифениленсульфид) является более дешевой альтернативой ПЭЭК и применяется при несколько более низких температурах. Полимер ПФС является частично кристаллическим термопластическим инженерным пластиком подходящим для деталей, требующих термической стабильности до 200°C, высокой степени стабильности размеров и имеет повышенную стойкость к химическим веществам, а также хорошее сопротивление ползучести при повышенных температурах.

Ненаполненный ПФС не является типичным выбором для подшипников или других износостойких деталей, но он показал высокую износостойкость в условиях агрессивных сред. ZELLAMID 1900 не растворяется известными растворителями при температурах ниже 200°C и является инертным по отношению к пару, сильным основаниям, топливу и кислотам.

Более высокую стабильность размеров и термостойкость по сравнению с ненаполненным ZELLAMID 1900 обеспечивает ZELLAMID 1900 GF40 модифицированный 40 % стекловолокна. Применяется для изготовления корпусов насосов, деталей компрессоров, колец центрифуг, клапанов и др. деталей.

ZELLAMID 1900 XGT содержит внутреннюю смазку, имеет низкий коэффициент теплового расширения, бескомпромиссную химическую и гидролизную стойкость. Даже при температурах до 220°C на воздухе он сохраняет хорошие механические свойства, такие как твердость, жесткость и стойкость к пластической деформации.

Качество перечисленных материалов обеспечено строгим контролем в соответствии с DIN ISO 9001:2008 в сочетании с системой отслеживания собственной разработки и внутренним тестированием.

Поскольку условия эксплуатации не всегда соответствуют методам испытаний, информацию, представленную в данной публикации, можно рассматривать лишь как индикаторную рекомендацию, а не основание для расчетов, поскольку допуски должны быть выполнены для конкретных условий эксплуатации. Мы готовы провести дополнительные исследования предложенных материалов для конкретных условий эксплуатации.

Список литературы

1. *Материаловедение* / Б.Н. Арзамасов, И.И. Сидорин, Г.Ф. Косолапов и др.: под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384с.
2. *Матеріалознавство: підруч.* / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, Т.С. Климова, І.Ч. Черниш. – К.: НАУ, 2012. – 492с.
3. *Лабунец В.Ф.* Авиационные конструкционные материалы с высокой удельной прочностью. –К.: КМУГА, 1993. – 116 с.
4. *Композиционные материалы волокнистого строения* / Ван Фо Фи Г.А., Грошева В.М., Денбновцкая Е.Н. и др. Под ред. И.Н. Францевича и Д.М. Карпиноса. – К.: Наук. думка, 1970. – 403 с.

Дерек Іренеуш, Лабунец В.Ф. **Використання полімерних трибологічних матеріалів в авіації** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. – С.119–127.

В роботі проведено аналіз полімерних матеріалів, що використовуються в вузлах тертя авіаційної техніки.

Рис. 2, список літ.: 4 найм.

Derek Ireneush, V.F. Labunets **Application of polymeric tribology materials in aviation**

The analysis of polymeric materials that is used in the knots of friction of aerotechics is in-process conducted.

Стаття надійшла до редакції 6.11.2012