

Промышленное применение разработанного устройства обеспечит повышение уровня защиты электроприемников и линий электропередачи, а также увеличит удобство и функциональность в эксплуатации систем электроснабжения.

Литература

1. ГОСТ IEC 60898-1–2020. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. – М. : Стандартинформ. – 2020. – 121 с.
2. Зализный, Д. И. Математическая модель тепловых процессов одножильного силового кабеля / Д. И. Зализный, С. Н. Прохоренко // Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ – Энергетика. – 2012. – № 5. – С. 25–34.

УДК 543.07

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА КОМПОНЕНТОВ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ

И. И. Злотников, П. А. Хило

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

На основе электромагнитной теории взаимодействия конденсированных тел проанализирован механизм молекулярного взаимодействия между компонентами полимерных смесей. Установлено, что если величины диэлектрических проницаемостей полимеров в смеси максимально отличаются друг от друга, то это обеспечивает получение композиционных материалов с максимальной механической прочностью. Проведено сравнение полученных теоретических результатов с экспериментальными данными.

Полимерные смеси используют для изготовления композиционных материалов с комплексом улучшенных свойств и расширения областей их применения. Благодаря смешению полимеров можно улучшать многие свойства получаемых композитов, в первую очередь механическую прочность. При этом смеси полимеров не только сохраняют свойства исходных компонентов, но могут приобретать и новые [1]. Особую актуальность изучение свойств полимерных смесей приобретает в связи с проблемой вторичной переработки полимерных отходов. Это связано, во-первых, с тем, что многие полимерные отходы представляют собой смеси, полное разделение которых невозможно, а во-вторых, такие смеси получают целенаправленно добавлением первичного полимера во вторичный для улучшения технологических и эксплуатационных свойств последнего.

Особенностью большинства полимерных смесей является их термодинамическая несовместимость и неспособность образовывать однофазные смеси. Термодинамическая совместимость определяется термодинамическим потенциалом G системы при смешении полимеров: $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, где ΔH и ΔS – изменение соответственно энтальпии и энтропии при смешении полимеров, T – абсолютная температура. Взаимная растворимость двух полимеров возникает только при $\Delta G < 0$. При $\Delta G > 0$ смесь полимеров представляет собой двухфазную коллоидную систему. Но с практической точки зрения добиваться термодинамической совместимости для полимерных смесей нет необходимости, так как повышение их механических свойств можно добиться усилением адгезионного взаимодействия между компонентами смеси. В частности, для этого в полимерную смесь иногда вводят различные

компатибилизаторы – вещества, имеющие химическое сродство с обоими компонентами смеси. Однако такой способ дорог и технологически сложен.

Цель работы – на основе электромагнитной теории молекулярных сил изучить зависимость силы межфазного взаимодействия в полимерной смеси от физических характеристик компонентов и использовать полученные результаты для прогнозирования свойств композиционных материалов на их основе.

Наиболее общим способом расчета молекулярных сил взаимодействия двух твердых поверхностей является электромагнитная теория [2], которая позволила получить выражение для силы F , действующей на единицу площади каждого из двух твердых тел, которые разделены зазором шириной l , заполненным третьей средой. Эти формулы сложны, поэтому для прогнозирования сил взаимодействия используются различные приближения, пригодные для практического использования. В частности, в монографии [3] предложена формула для расчета молекулярных сил, в которой принимается во внимание поглощение только в оптической области (видимая, ультрафиолетовая и инфракрасная области спектра):

$$F(l) = \frac{\hbar}{16\pi d^3 \sqrt{2}} \frac{\omega_0 (\varepsilon_{10} - \varepsilon_{30})(\varepsilon_{20} - \varepsilon_{30})}{(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30})^{1/2} (\varepsilon_{20} + \varepsilon_{30})^{1/2} \left[(\varepsilon_{10} + \varepsilon_{30})^{1/2} + (\varepsilon_{20} + \varepsilon_{30})^{1/2} \right]},$$

где ω_0 – главная частота поглощения в спектрах всех трех диэлектриков; ε_{10} , ε_{20} – статические диэлектрические проницаемости двух тел; ε_{30} – диэлектрическая проницаемость вещества прослойки между ними. Если применить эту формулу к смеси двух полимеров, то диэлектрическую проницаемость ε_{30} следует принять за единицу, так как между обоими поверхностями находится вакуум, а ширину зазора можно принять равной среднему межатомному расстоянию. В этом случае последняя формула принимает вид:

$$F(l) = \frac{\hbar}{16\pi d^3 \sqrt{2}} \frac{\omega_0 (\varepsilon_{10} - 1)(\varepsilon_{20} - 1)}{(\varepsilon_{10} + 1)^{1/2} (\varepsilon_{20} + 1)^{1/2} \left[(\varepsilon_{10} + 1)^{1/2} + (\varepsilon_{20} + 1)^{1/2} \right]},$$

а если у рассматриваемых полимеров поглощение происходит не на одной главной частоте ω_0 , а на нескольких общих частотах ω_1 , ω_2 , ... ω_n , то их вклад в силу взаимодействия будет суммироваться: $F(l)_{\text{общ}} = F(l)_{\omega_1} + F(l)_{\omega_2} + \dots + F(l)_{\omega_n}$. Очевидно, что интенсивность этих полос поглощения должна быть как можно больше. В том случае если максимумы соответствующих полос поглощения в спектрах обоих полимеров не совпадают, то эти полосы должны перекрываться как можно сильнее. Поэтому для усиления силы взаимодействия полосы поглощения должны быть как можно шире.

Проанализировав поведение функции $F(l)$ в двух крайних случаях, когда диэлектрические проницаемости обоих полимеров смеси очень близки по величине $\varepsilon_{10} \approx \varepsilon_{20}$ и когда отличаются очень сильно $\varepsilon_{10} \gg \varepsilon_{20}$, можно сделать заключение, что для того, чтобы сила притяжения между поверхностями полимеров в их смеси $F(l)$ была как можно больше, диэлектрические проницаемости этих полимеров должны максимально отличаться друг от друга по величине.

Полученный вывод подтверждается некоторыми экспериментальными фактами. Так, например, смеси поливинилхлорида (ПВХ) ($\varepsilon = 3,1-3,3$) с бутадиен-нитриль-

ными каучуками (БНК) ($\varepsilon = 10\text{--}12,1$) обладают высокими механическими свойствами и характеризуются однородной структурой при любом соотношении компонентов. Наоборот, смеси полиэтилена (ПЭ) ($\varepsilon = 2,2\text{--}2,3$) с политетрафторэтиленом (ПТФЭ) ($\varepsilon = 2,1\text{--}2,2$) имеют выраженную гетерогенную структуру, склонны к расслаиванию и обладают низкой механической прочностью. Величина силы притяжения между поверхностями полимеров $F(l)$, рассчитанная по рассматриваемой формуле для смеси ПВХ-БНК, примерно в 4 раза больше, чем для смеси ПЭ-ПТФЭ.

Что касается смесей с близкими, но не одинаковыми диэлектрическими проницаемостями, то в этом случае наблюдается неоднозначность в зависимости механической прочности смеси от диэлектрических свойств отдельных компонентов. Например, смеси полистирола ($\varepsilon = 2,6\text{--}2,8$) с ПЭ ($\varepsilon = 2,2\text{--}2,3$) характеризуются крайне низкими физико-механическими показателями, а смеси ПВХ ($\varepsilon = 3,1\text{--}3,3$) с АБС-пластиком ($\varepsilon = 2,9\text{--}3,0$) нашли широкое применение ввиду своих высоких эксплуатационных свойств. Это свидетельствует о том, что в данных случаях на величину механической прочности смеси существенное влияние оказывают и другие факторы, кроме диэлектрических проницаемостей полимеров, например, возможность химического взаимодействия между компонентами.

В «идеальной» полимерной смеси межмолекулярное взаимодействие протекает на границе раздела двух химически чистых компонентов, причем, как отмечалось выше, можно считать, что между обоими поверхностями находится вакуум, с диэлектрической проницаемостью равной единице, а ширина зазора равна среднему межатомному расстоянию. В реальной полимерной смеси на поверхностях компонентов может присутствовать прослойка третьего вещества – либо специально введенного модификатора, компатибилизатора и др., либо образующаяся за счет низкомолекулярных и олигомерных продуктов, выделяющихся из полимера, а также продуктов термоокисления. Толщина такой прослойки может изменяться в значительных пределах – от мономолекулярных слоев до десятков микрометров. Определение диэлектрических и оптических свойств этой прослойки представляет собой самую трудную задачу при прогнозировании свойств полимерных смесей, даже если эта прослойка сформирована из известного реагента, поскольку вещества, переведенные в состояние тонких пленок («состояние граничных слоев»), могут обладать свойствами, существенно отличающимися от свойств вещества в объеме. Еще сложнее решить этот вопрос, если прослойка сформировалась в процессе изготовления композита и включает в свой состав различные вещества.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что для того чтобы сила молекулярного взаимодействия между компонентами в полимерной смеси была максимальной, необходимо, чтобы:

- величины статических диэлектрических проницаемостей полимеров в их смеси максимально отличались;
- в спектрах обоих полимеров было как можно больше общих полос поглощения;
- эти полосы поглощения должны иметь как можно более высокую интенсивность;
- если максимумы полос поглощения обоих полимеров не совпадают, необходимо, чтобы близкие полосы перекрывались как можно сильнее.

Выполнить все эти требования при изготовлении конкретного композиционного материала на основе полимерной смеси сложно, однако можно сформулировать один доступный технологический прием повышения механической прочности поли-

мерных смесей – вводить в смесь небольшие количества третьего полимера со значительно более высокой диэлектрической проницаемостью.

Таким образом, привлечение общей электромагнитной теории молекулярных сил для расчета силы взаимодействия двух конденсированных тел позволяет прогнозировать прочность полимерных смесей.

Л и т е р а т у р а

1. Кулезнев, В. Н. Смесии и сплавы полимеров / В. Н. Кулезнев. – СПб. : Науч. основы и технологии, 2013. – 216 с.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 9. Статистическая физика. – Ч. 2. Теория конденсированного состояния. – 496 с.
3. Израелашвили, Дж. Межмолекулярные и поверхностные силы / Дж. Израелашвили. – М. : Науч. мир, 2011. – 457 с.

УДК 311.4

ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ, ПОСТУПАЮЩИХ НА ОАО «ГОМЕЛЬСКИЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

А. В. Лисицкий

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Дана оценка качества подшипников качения, поступающих на ОАО «Гомельский химический завод» для снижения риска появления аварийных ситуаций и, как следствие, улучшения технологического процесса.

Подшипники качения являются основным видом подшипников, используемых во вращающемся оборудовании. Они имеют преимущества по сравнению с подшипниками скольжения в низкооборотных машинах из-за более низких сил трения, а также в машинах небольшой мощности и стоимости (минимальные габариты и затраты на обслуживание).

Дефекты подшипников качения составляют около 60 % всех дефектов асинхронных двигателей. Поэтому техническое состояние подшипников является важнейшей составляющей, определяющей работоспособность механизма в целом. Различают заводские и эксплуатационные дефекты подшипников качения. К эксплуатационным дефектам относятся: бринелирование (наклеп); электротехническая эрозия; некруглость тел качения; овальность внутреннего кольца; трехвыпуклость внутреннего кольца; неравномерность зазоров между телами качения и кольцами (разные диаметры тел качения); повышенная волнистость колец и т. д.

К заводским дефектам, которые наиболее часто встречаются, можно отнести повышенную микроволнистость, что вызывает вибрацию в диапазоне больше 1000 Гц (50–60 % подшипников) и разноразмерность тел качения (4–5 %).

Вибрация – это один из наиболее информативных параметров, который может быть применен для оценки текущего технического состояния (ТС) оборудования. Обследование производится на работающем оборудовании, без нарушения производственного цикла, так как останов, визуальный осмотр и ревизия оборудования не всегда возможны и целесообразны. При этом значительно снижается вероятность возникновения аварийной ситуации, а ремонт проводится только тогда и там, где это действительно необходимо. При интенсивной вибрации увеличиваются динамические