

Профессор Г.В. Попов, доцент Н.Л. Клейменова,
доцент Т.И. Игуменова, аспирант Е.С. Акатов

(Воронеж. гос. ун-т. инж. технол.) кафедра управления качеством и машиностроительные технологии, тел. (473) 253-26-30

Управление качеством резинотехнической продукции с использованием нанотехнологий

Улучшение качества неразрывно связано с разработкой новых подходов к повышению стабильности эксплуатационных свойств эластомерных композитов. Одним из таких способов является использование углеродных наноматериалов в качестве модификатора свойств полимерной матрицы.

Improvement of quality is inseparably linked with development of new approaches to increase of stability of operational properties of elastomeric composites. One of such ways is use of carbon nanomaterials as the modifier of properties of a polymeric matrix.

Ключевые слова : наноматериалы, фуллерен, полимеры, композиты.

Резинотехнические изделия (РТИ) находят применение практически во всех сферах деятельности человека. В связи с быстро растущими требованиями к РТИ необходимо решать комплекс сложнейших научно-технических задач, включающий наряду с совершенствованием эксплуатационных характеристик создание мобильной системы управления качеством резинотехнической продукции с учетом того, что ряд РТИ является конструкционным полимерным (эластомерным) изделием.

Проблема качества продукции РТИ заключается в использовании сырья, не соответствующего возросшим требованиям потребителя, а также в отсутствии новых разработок рецептуры резиновых смесей, применения современных материалов и модификаторов.

Основным направлением решения проблемы улучшения качества эластомерных композитов является использование новых полимеров, высокомеханизированных и автоматизированных технологических процессов, совершенствование конструкций и методов продления срока службы изделий путем дополнительной обработки, а также использование статистических методов для контроля и управления качеством изделий. Большинство РТИ работает при воздействии агрессивных сред (нефть, жидкие углеводороды, кислоты, щелочи и др.), при перепадах температуры, поэтому совершенствование рецептуры специальных резин, стойких к условиям среды эксплуатации, является одной из актуальных задач технологии.

В настоящее время зарубежные страны обеспечивают 70 % мировой потребности в эластомерных композитах. В России не так много предприятий, выпускающих достаточно большой ассортимент РТИ. Распределение по объемам производства РТИ среди наиболее крупных предприятий в РФ выглядит следующим образом: Балаковорезинотехника – 23 %, Курскрезинотехника – 12 %, УЗЭМИК – 10 %, СЗРТ – 8 %, Уральский завод РТИ – 6 %, КВАРТ – 4 %, ЗАО «Ярославль-Резинотехника» – 3 % (рис. 1).

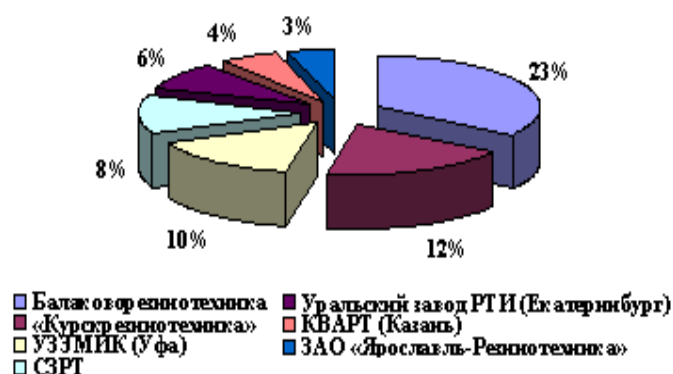


Рис. 1. Ведущие российские производители РТИ

Современное сокращение рынка производства РТИ связано как со снижением спроса на большинство изделий из-за реструктуризации экономики, так и по причине недостаточной конкурентоспособности изделий вследствие нестабильного качества.

Анализ по показателям нормативной документации качества эластомерных композитов представлен на рис. 2.

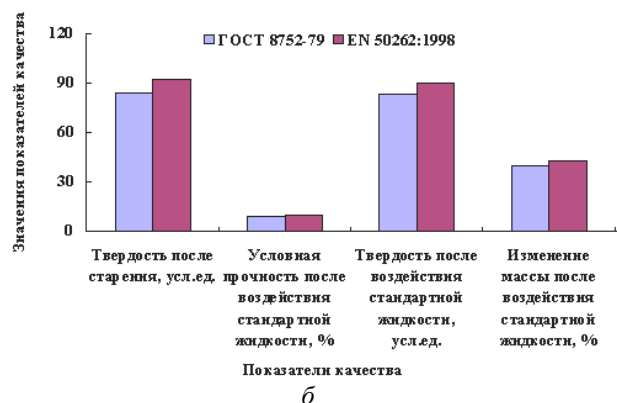
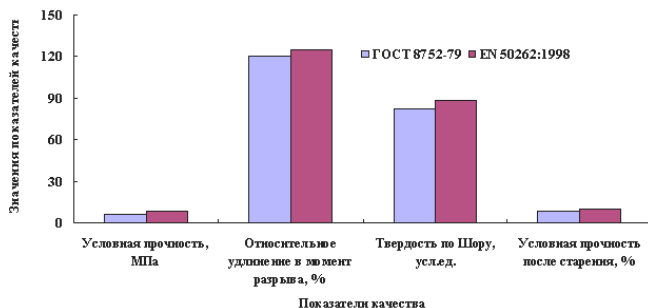


Рис. 2. Сравнительный анализ показателей качества эластомерных композитов

Таким образом, требования европейского стандарта к качеству эластомерных композитов заметно отличаются от российских нормативных документов. Для повышения требований к показателям качества отечественных эластомерных композитов необходимо внести коррективы в процесс производства, чтобы готовые изделия обладали улучшенными техническими характеристиками.

Улучшение качества неразрывно связано с разработкой новых подходов к повышению стабильности эксплуатационных свойств эластомерных композитов. Одним из таких способов является использование углеродных наноматериалов в качестве модификатора свойств полимерной матрицы [1-4].

Анализ методом опережающей стандартизации показал (рис. 3), что к 2015 году требования к показателю стойкости к действию агрессивных сред приблизятся к 72 % сохранения исходных показателей, способствуя повышению уровня конкурентоспособности этой продукции.

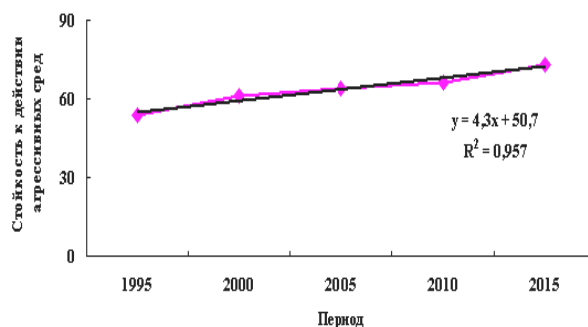


Рис. 3. Прогнозирование изменения стойкости к действию агрессивных сред эластомерных композитов методом опережающей стандартизации

На основании вышеизложенного представляет интерес провести анализ устойчивости маслобензостойких изделий российского производства к воздействию органических растворителей и продуктам переработки нефти.

С помощью статистических методов контроля и управления качеством, анализа полученных карт Шухарта выявлено, что процесс находится в статистически неуправляемом состоянии по показателю «отклонение массы после воздействия стандартной жидкости», что связано с наличием внешних причин, которые влияют на процесс (рис. 4, 5).

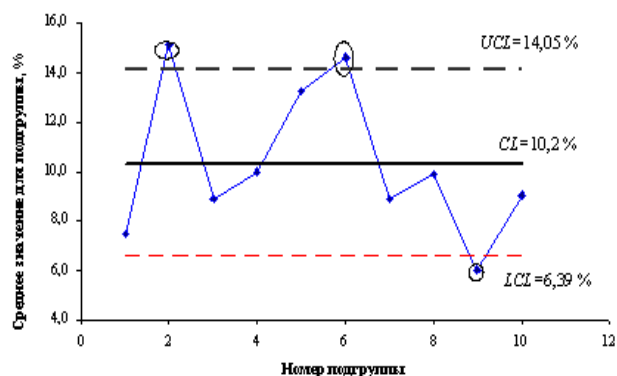


Рис. 4. $\bar{X}$ -карта для показателя «отклонение массы после воздействия стандартной жидкости» для эластомерных композитов

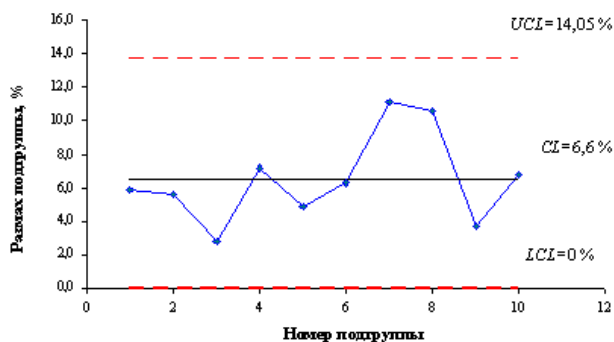


Рис. 5. R- карта для показателя «отклонение массы после воздействия стандартной жидкости» для эластомерных композитов

Анализ $\bar{X}$ -карты показывает, что существуют точки вне контрольных границ. Это указывает на возможность действия некоторых особых причин вариаций. Показатели возможности в этом случае следует рассчитывать на основе как собственной изменчивости процесса σ_I (зависит от влияния только обычных (общих) причин вариаций), так и полной изменчивости σ_T (зависит от влияния как случайных (обычных), так и неслучайных (особых) причин вариаций).

Таким образом, проведен расчет следующих индексов:

- 1) воспроизводимости процесса - C_p ;
- 2) пригодности процесса P_p и P_{pk} .

Найдем индекс воспроизводимости процесса, оценивающего возможности удовлетворять технический допуск без учёта положения среднего значения, применяемый для стабильных по разбросу процессов

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_I}, \quad C_p = \frac{14,05 - 6,39}{6 \cdot 2,144} = 0,6.$$

Индекс пригодности процесса удовлетворять технический допуск без учёта положения среднего значения, применяемый для процессов, стабильность которых по разбросу не подтверждена:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\hat{\sigma}_T}, \quad P_p = \frac{14,05 - 6,39}{6 \cdot 3,9} = 0,33.$$

Рассчитаем индекс пригодности процесса удовлетворять технический допуск с учётом положения среднего значения, применяемый для процессов, стабильность которых по разбросу не подтверждена:

$$P_{pk} = \min \left(\frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3 \cdot \hat{\sigma}_T}, \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3 \cdot \hat{\sigma}_T} \right),$$

$$P_{pk} = \min \left(\frac{14,05 - 10,2}{3 \cdot 3,9}; \frac{10,2 - 6,39}{3 \cdot 3,9} \right) = \min(0,329; 0,326) = 0,326.$$

Таким образом, процесс стабилен по разбросу и $C_p = 0,6$. Однако процесс не стабилен по настройке, и общее среднее значение смещено относительно центра поля допуска. Необходимо принять меры, направленные на обеспечение коррекции и стабильности настройки. Потенциально при стабильной настройке на центр поля допуска процесс с индексом $C_p = 0,6$ мог бы обеспечить минимальный уровень несоответствий около 6,3. Если процесс оставить без улучшения, то уровень несоответствий будет непрогнозируемым, а значения P_p и P_{pk} при этом не позволяют признать процесс пригодным для установленных требований.

Качество эластомерных композитов контролируется с целью предупреждения брака. Существенно важные дефекты определены при помощи диаграммы Парето (рис. 6).

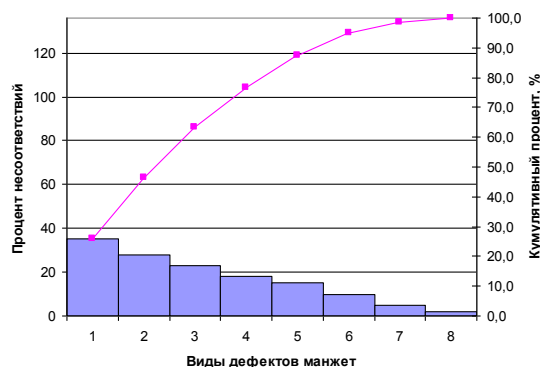


Рис. 6. Диаграмма Парето по дефектам эластомерных композитов: 1 - отклонение массы после воздействия стандартной жидкости; 2 - отклонение условной прочности после воздействия стандартной жидкости; 3 - отклонение твердости после воздействия стандартной жидкости; 4 - отклонение относительного удлинения в момент разрыва; 5 - отклонение условной прочности; 6 - отклонение твердости; 7 - отклонение твердости после старения; 8 - отклонение условной прочности после старения

Анализ диаграммы (рис. 6) показал, что наиболее значимыми видами дефектов эластомерных композитов являются отклонение массы, условной прочности и твердости после воздействия стандартной жидкости, а также отклонение относительного удлинения в момент разрыва, которые вызывают

наибольшее количество несоответствующей продукции.

Взаимосвязь между количеством мягчителя в составе рецептуры и равновесным набуханием по массе при изготовлении эластомерных композитов оценивалась при помощи диаграммы рассеяния и корреляционного анализа.

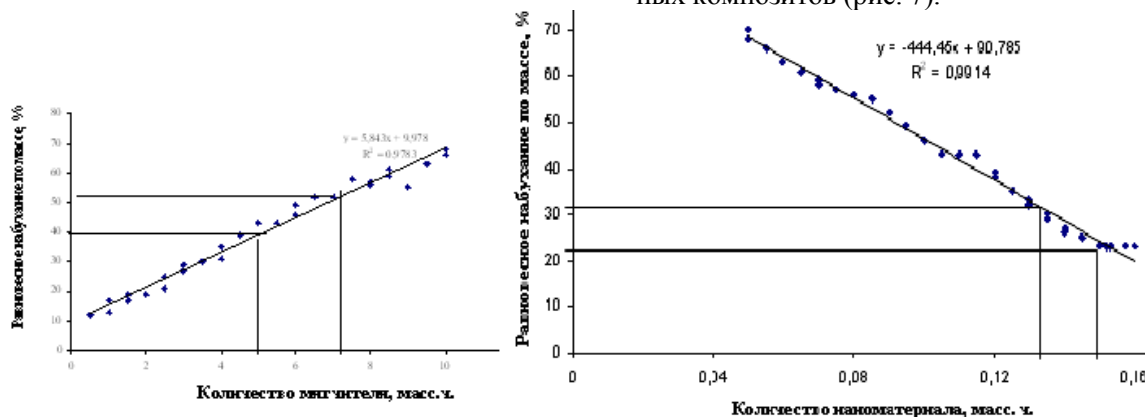


Рис. 7. Анализ взаимосвязи параметров при производстве эластомерных композитов

Количественная оценка тесноты связи между количеством мягчителя и равновесным набуханием по массе эластомерных композитов составляет $r_{xy} = 0,9891$, а коэффициент корреляции между количеством наноматериала и равновесным набуханием по массе эластомерных композитов – $r_{xy} = -0,9963$.

Чтобы определить соотношение «цена-качество» при использовании в технологии производства РТИ углеродных наноматериалов в условиях промышленного производства были проведены расширенные испытания влияния смеси углеродных фуллеренов группы C₅₂-C₉₀ на уровень стойкости специальных резин к нефти и продуктам нефтепереработки.

Применение наноматериала позволяет повысить ресурс ходимости эластомерного композита на 15-20 % без потери прочностных характеристик и достичь уровня прогноза 2015 года, полученного методом опережающей стандартизации. Промышленное применение смеси углеродных фуллеренов группы C₅₂-C₉₀ сдерживается как его достаточно высокой ценой, так и ограниченным объемом выпуска. Тем не менее проведенная экономическая оценка соотношения «цена-качество» позволяет сделать положительный прогноз о целесообразности внедрения разработанной технологии в производство.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что использование нового метода модификации резин угле-

На основе анализа диаграммы рассеяния установлено, что с повышением количества мягчителя наблюдается увеличение набухания эластомерных композитов по массе в стандартной жидкости. С увеличением концентрации введенного в состав рецепта углеродного наноматериала наблюдается снижение равновесного набухания по массе эластомерных композитов (рис. 7).

родными фуллеренами будет способствовать стабилизации качества изделий РТИ и позволит спрогнозировать снижение количества несоответствий готовой продукции нормативным показателям с 27,3 % до уровня не более 8 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Окатова, Г. П. Изменение кристаллической структуры и свойств полимерных материалов при микролегировании фуллереном C₆₀ [Текст] / Г. П. Окатова, Н. А. Свидунович, Р.А. Андриевский. // Рос. хим. журнал. - 2006. - № 1. - С.68 -71.
2. Терехов, А. И. Исследования и разработки в области фуллеренов в России: опыт наукометрического анализа [Текст] / А. И. Терехов, А. А. Терехов. // Рос. хим. журнал. - 2006. № 2. - С.114 -119.
3. Игуменова, Т.И. Особенности рецептуростроения пищевых резин для РТИ [Текст] / Т.И. Игуменова, // Инновационные технологии и оборудование для пищевой промышленности: матер. III Междунар. научно-технической конф. Воронеж, 2009, Т. 2. -С. 19.
4. Макарова, Е.Г. Изучение влияния углеродного нанонаполнителя на характер набухания полимеров [Текст] / Е.Г. Макарова, Т.И. Игуменова, Г.В. Попов. // Современные проблемы науки о полимерах: матер. 5-й Междунар. конф. молодых ученых. - СПб, 2009. - С.45.