

С.В. КАРПЕЕВ, руководитель Отраслевого центра внедрения прогрессивных технологий при РОСДОРНИИ, А.В. КОЧЕТКОВ, д-р.техн. наук, ФГУП «РОСДОРНИИ» (Москва); С.М. ЕВТЕЕВА, канд. техн. наук, доцент, Саратовский государственный технический университет

Вертикальная разметка на металлических барьерных ограждениях с использованием защитных пластиковых панелей

Защитные пластиковые панели предназначены для создания долговременной вертикальной разметки на металлических ограждениях опасных участков автомобильных дорог в соответствии с ГОСТ 52289–04 для конструкций и металлических барьерных ограждений [1, 2]. Панели черного и белого цветов монтируют на лицевую сторону барьерного ограждения.

Технические характеристики: длина панели, белая/черная 2666/1333 мм (соотношение 2:1); ширина 320 мм; толщина 2; 3; 4 мм. Физико-механические характеристики в табл. 1. Температура хрупкости не ниже 130°C. Ударная вязкость: не должна разрушаться при температуре ниже -50°C. Срок службы 7 лет.

Особые требования к физико-механическим свойствам, которыми должен обладать материал панелей, заставили специалистов ФГУП «РОСДОРНИИ» провести разработку модифицированного состава для изготовления панелей на основе полиэтилена и его оптимизации. Основной целью было снижение внутренних напряжений, повышение деформируемости панелей без потери прочности, повышение морозостойкости, а также улучшение реологических и релаксационных характеристик [2].

В качестве основного материала был выбран полиэтилен низкого давления (ПЭНД). Использовали различные методы модификации структуры и свойств поллолефинов соединениями различной природы. В качестве модификаторов испытывали различные сополимеры этилена с другими олефинами, лучшие результаты были получены при введении в полиэтилен сополимера этилена с пропиленом (СЭП-С). Так как защитные пластиковые панели из полиэтилена получают методом экструзии, важно исследование реологических свойств их материала. Исследования выполняли с различными сополимерами этилена в процессе экструзии на экструзиографе фирмы «Brabender» 25-D с четырьмя зонами нагрева-охлаждения.

При одних и тех же условиях испытания величина крутящего момента при переработке модифицированного полиэтилена оказалась ниже, чем при переработке исходного полимера. Это связано с влиянием вязкости са-

мых модификаторов и изменением межмолекулярного взаимодействия и степени ориентации молекул ПЭ в присутствии разветвленных полимеров. Большая эффективность действия наблюдается при введении СЭП-С. Для модифицированного сополимерами ПЭНД снижение крутящего момента (снижение вязкости расплава) при экструзии приводит к повышению производительности процесса. Определение релаксационных характеристик выполняли при заданном значении деформации – 50%. Установлено увеличение скорости релаксации в случае с ПЭНД, модифицированным СЭП-С (рис. 1).

Сравнительное исследование физико-механических характеристик чистого ПЭНД и модифицированного сополимерами показывает, что прочностные и деформационные характеристики модифицированного ПЭНД значительно возрастают по сравнению с исходными. Следует отметить повышение в 1,7 раза прочности материала при испытании на разрыв (табл. 1).

На рис. 1 приведены данные по изменению скорости релаксации напряжений a/a_0 для чистого ПЭНД и ПЭНД, модифицированного сополимером этилена с пропиленом.

Как видно из графика, скорость релаксации увеличивается на 16,6% при 20°C. Значительное улучшение деформационно-прочностных и релаксационных характеристик связано со структурными изменениями в полимере в присутствии сополимера. Аналогичные результаты были получены исследованием физико-механических и релаксационных свойств при отрицательной температуре.

Исследования релаксационных свойств при -50°C показали увеличение скорости релаксации на 14,5%. Увеличение скорости релаксации, как и относительного удлинения, приводит к уменьшению влияния разности коэффициентов термического расширения между металлом основы для полимерных ограждающих панелей и полиэтиленом. Это приводит к снижению вероятности растрескивания полиэтилена при низкой температуре, что позволяет более эффективно использовать его в зимних условиях.

Таблица 1

Показатель	ПЭНД	ПЭНД + СЭП-С
Модуль упругости, МПа	515,1	789,1
Модуль упругости при 10% деформации, МПа	222,1	274,2
Относительное удлинение при разрыве, %	473	660
Истинное напряжение в точке разрушения, МПа	102	173,4

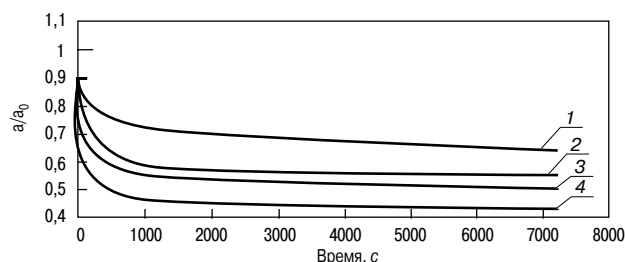


Рис. 1. Изменение скорости релаксации напряжений a/a_0 для чистого ПЭНД и ПЭНД, модифицированного сополимером этилена с пропиленом: 1 – ПЭНД, 20°C; 2 – ПЭНД+СЭП-С – 20°C; 3 – ПЭНД, 100°C; 4 – ПЭНД+СЭП-С 100°C

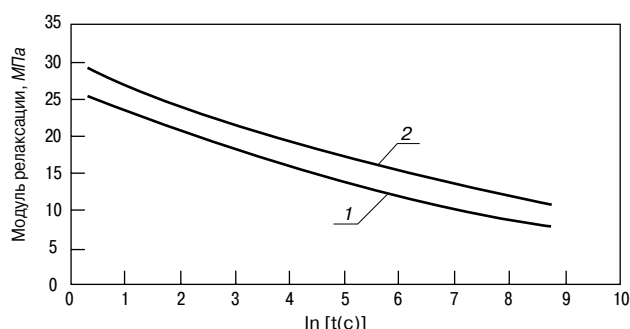


Рис. 2. Прогноз изменения модуля релаксации модифицированного и немодифицированного ПЭНД: 1 – ПЭНД; 2 – ПЭНД+СЭП-С

Значительное улучшение деформационно-прочностных и релаксационных характеристик связано со структурными изменениями в полимере в присутствии сополимера: происходит изменение взаимодействия молекул на межфазной границе и снижение степени кристалличности.

Уменьшение степени кристалличности и рост длины молекул способствуют снижению микрогетерогенности полимерной матрицы за счет выравнивания плотностей аморфной и кристаллической фаз. Наряду с повышением способности противостоять ударным нагрузкам это приводит к увеличению стойкости полимера к медленному распространению микротрещин, что имеет решающее значение для обеспечения длительной прочности панелей при эксплуатации.

Прогноз изменения модуля релаксации модифицированного и немодифицированного ПЭНД представлен на рис. 2. Видно, что модуль релаксации для модифицированного ПЭНД со временем остается выше, что свидетельствует об увеличении срока службы изделий из модифицированного материала.

Релаксационные характеристики рассчитывали по уравнению Кольрауша:

$$E_p = (E_0 - E_x) \exp [-(t/Q)^y] + E_x,$$

где t – текущее значение времени релаксации; E_p – условное значение модуля релаксации; $E_0 = 10^4$ МПа – мгновенный модуль; $E_x = 0$ – равновесный модуль, модуль бесконечности; Q, y – параметры уравнения Кольрауша.

Надежность и долговечность изделий наряду с механическими свойствами полимера, условиями и режимами действующих нагрузок в значительной степени определяются величиной остаточных напряжений, возникающих в изделиях в процессе их формирования и эксплуатации. Вследствие больших остаточных напряжений часто наблюдается их растрескивание в условиях воздействия температуры в процессе эксплуатации.

Были проведены исследования изменения внутренних напряжений в полиэтилене в зависимости от модификаторов. Внутренние напряжения измеряли тензометрическим методом с помощью измерителя статических деформаций типа ИСД-3. Тензодатчики приклеивали со стороны полиэтиленовой пластины, предварительно подвергнутой механической обработке на рабочем и контрольном тензодатчиках. Введение сополимеров, особенно сополимера этилена с пропиленом, снизило остаточные напряжения в полиэтилене в 1,5 раза.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о преимуществах модифицированного сополимерами (особенно СЭП-С) ПЭНД, что повысит надежность и долговечность полимерных ограждающих панелей на его основе на весь срок службы защитных пластиковых панелей.

Параллельно была проведена работа по модификации композиции термо- и светостабилизаторами. Модификаторы вводили в композицию в виде суперконцентрата на основе ПЭНД, содержащего 50% стабилизаторов.

В качестве светостабилизаторов использовали синергическую смесь олигомерных пространственно затрудненных аминных светостабилизаторов.

Первый тип стабилизаторов – многоцелевой УФ-стабилизатор, устойчивый к экстракции, не обесцвечивающийся под действием газов, слабо взаимодействующий с пигментами.

Стабилизатор особенно эффективен для лент и толстых слоев ПЭНДП, линейного ПЭНДП, ПЭВДП, а также ПП. Он также является хорошим стабилизатором для толстостенных изделий пищевого и технического назначения. Область его применения включает в себя также олефиновые сополимеры, также смеси полиолефинов с эластомерами.

Авторами установлено, что при эксплуатации в самых жестких условиях будет потеряно 50% вязкости через 3–4 года.

В качестве стабилизаторов термоокислительной деструкции применяли смесь из пространственно затрудненного фенольного антиоксиданта, стабилизирующего полиэтилен в процессе эксплуатации и органофосфита, стабилизирующего полимер в процессе переработки. Пространственно затрудненный фенольный антиоксидант является высокоэффективным неокрашивающим стабилизатором для органических веществ, таких как пластмассы, синтетические волокна, эластомеры, клеи, воски, масла и жиры.

Второй тип стабилизаторов – слаболетучий устойчивый к гидролизу органофосфит. Применяется для защиты органических полимеров, склонных к окислению, особенно в стадии переработки. Оптимум его использования достигается в комбинации с антиоксидантами ряда стабилизаторов (тип-I), которые долговременно защищают полимеры после переработки от термоокислительной деструкции. Добавление применяли для стабилизации полиолефинов, сополимеров этилена, пропилена, бутилена, винилацетата, поликарбонатов, полиамидов.

Результаты стабилизации определяли по изменению индекса расплава полиэтилена после нескольких переработок экструзией. Индекс расплава измеряли при $t=190^\circ\text{C}$, массе 10 кг, расходе 10 г/мин. Результаты представлены в табл. 2.

Уже после первой экструзии индекс расплава нестабилизированного полимера падает в два раза по сравнению со стабилизированным, что показывает эффективность стабилизации.

Проведенные исследования позволяют сделать заключение: модифицированный сополимерами (СЭП-С) и стабилизированный ПЭНД обеспечивает требуемые его физико-механические характеристики по надежности и долговечности для изготовления защитных пластиковых панелей.

ГУП «Доринвест» совместно с ФГУП «РОСДОРНИИ» проведен эксперимент по использованию защитных пластиковых панелей для повышения эффективности использования металлических барьерных ограждений и увеличения срока их службы. Первый такой участок был оборудован на Рязанском проспекте Москвы. В процессе эксплуатации защитных пластиковых панелей установлено, что как элемент вертикальной разметки они увеличивают возможность зрительного восприятия барьерного ограждения водителями, эстетичны, не снижают внешний вид при различных погодных условиях; на участке зарегистрировано уменьшение числа дорожно-транспортных происшествий.

Во время эксплуатации опытного участка барьерное ограждение подвергали нормативному содержанию, которое включало ежедневную очистку всего барьерного

ограждения. Для очистки применяли механизированную щетку с полипропиленовым ворсом, смонтированную на дорожной машине.

При детальном осмотре лицевой стороны пластиковых панелей царапин или затертостей от использования щетки не выявлено. Незначительные загрязнения легко удалялись влажной губкой. Представителем изготовителя было рекомендовано использовать для мытья пластиковых панелей механизированную щетку с капроновым ворсом как наиболее эффективную для мытья пластика. Установлено, что контрастность барьерного ограждения с вертикальной разметкой гораздо выше по сравнению с оцинкованным барьерным ограждением.

Опытно-экспериментальные участки были выполнены на автомобильных дорогах, относящихся к различным органам управления: ГУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Северо-Запад» им. Н.В. Смирнова» «СЕВЗАПУПРАВТОДОР»; Управление автомобильной магистрали Москва—Минск; ФГУ «Федеральное управление автомобильных дорог «Урал»; ФГУ «Управление автомобильной магистрали Москва—Санкт-Петербург».

Для получения как можно более точных статистических данных опытно-экспериментальные участки выполняли различной протяженностью. Протяженность участков варьировали от 25 до 200 п. м. Небольшие по протяженности участки были созданы на барьерных ограждениях на мостах и развязках. Более протяженные создавали на барьерных ограждениях, установленных на откосах, прямых участках и участках дороги, изменяющих направление движения. Суммарная протяженность опытно-экспериментальных участков составила 2 тыс. п. м.

Увеличение контрастности элементов обустройства автомобильной дороги, к которым относится и металлическое барьерное ограждение, способствует более раннему его обнаружению участниками дорожного движения. Это оставляет водителю больший интервал времени для принятия и совершения действий при выборе безопасного режима движения автомобиля.

Для выполнения работ по нанесению вертикальной разметки на некоторых участках привлекали дорожных рабочих из эксплуатирующих организаций. Обучение и вводный инструктаж в среднем занимали 20–30 мин. Специальных навыков, квалификации, машин или механизмов для выполнения работ не требовалось. Простота нанесения вертикальной разметки по новой технологии позволит применить ее в различных регионах страны без необходимости создания специальных монтажных организаций и проведения обучающих тренингов. Выполненные опытные работы показали отсутствие необходимости в приобретении дополнительного монтажного оборудования.

В ходе выполнения работ подтвердилось предположение, что все монтажные действия по нанесению вертикальной разметки можно выполнять без частичной или полной разборки барьерного ограждения. Времени, затрачиваемого на монтаж панелей, требуется значительно меньше, чем для нанесения лакокрасочного покрытия на ту же площадь поверхности.

Перед началом монтажных работ по нанесению защитных пластиковых панелей, одновременно являющихся вертикальной разметкой барьерного ограждения, в обязательном порядке демонтировали светоотражающие элементы. По завершении монтажных работ все какафоты устанавливали в штатные места с использованием стандартных болтовых соединений. Новый метод нанесения вертикальной разметки за счет применения панелей не препятствует эксплуатации светоотражающих элементов и позволяет продолжить использовать их до применения новой технологии.

При выполнении опытно-экспериментальных работ по нанесению вертикальной разметки были зафиксиро-

Таблица 2

Полиэтилен	Индекс расплава после		
	1-й экструзии	2-й экструзии	5-й экструзии
Без стабилизатора	2,7	1,5	0,7
С фенольным антиоксидантом	4,7	4,1	3,4
Со смесью термостабилизаторов	5,2	4,8	4,1

ваны на фотоноситель опытные участки до начала проведения работ и после их окончания. Основным выводом первичных наблюдений является значительное улучшение контрастности опытных участков.

Проведением систематических наблюдений за экспериментальными участками отрицательных явлений не обнаружено.

Отдельные элементы пластиковых панелей, подвергшихся ударному воздействию в результате демонстрационного дорожно-транспортного происшествия, сохранили первоначальную прочность крепления. Произошедшее на экспериментальном участке ДТП на практике подтвердило правильность заложенных физико-механических свойств разработанного материала для панелей и их соответствие техническим нормам.

За время, прошедшее с момента изготовления и установки панелей на барьерное ограждение, в материале прошли все возможные реологические процессы, в ходе которых структура пластмассы не изменилась, а геометрические, физические и прочностные параметры сохранились. Данные свойства пластмассы были заложены в процессе разработки материала для изготовления панелей.

При детальном осмотре отдельных пластиковых панелей, установленных на различных участках автомобильных дорог, сколов или трещин обнаружено не было. Это свидетельствует о том, что температурные перепады в дневное и ночное время суток и связанные с этим линейные расширения металла не отразились как на целостности панелей, так и на отдельных участках.

Общий вид панелей в сравнении с первоначальным состоянием не изменился. Степень белизны соответствует уровню белизны эталонного образца и требованию ГОСТ 13508. Эффект разметки, заключающийся в чередующихся линиях черного и белого цветов, сохранился.

От применения новой технологии в экспериментальных условиях достигнута значительная экономия финансовых средств. Когда стоит выбор между заменой ограждения по причине коррозии или использованием старого барьерного ограждения, но с применением новой технологии нанесения вертикальной разметки, более экономически целесообразным оказывается последний вариант. При сравнительном анализе финансовой составляющей с учетом затрат на монтажные и демонтажные работы по замене металлического ограждения экономия может составлять 1–1,5 млн р. на 1 км ограждения.

В ходе наблюдений и сопоставления данных по участкам с вертикальной разметкой, созданной с применением лакокрасочных покрытий, и в сравнении с новой технологией, участвующими в эксперименте, представителями управлений автомобильных дорог отмечалось, что лакокрасочные покрытия недолговечны и уже через 1–2 мес требуют обновления из-за повторного появления коррозии. Также лакокрасочные покрытия плохо подходят и под условия механизированного содержания барьерного ограждения. Это связано с особыми условиями эксплуатации на автомобильных дорогах, вызванных постоянным ударным воздействием на покрытие ограждения мелких каменных частиц, выле-



Рис. 3. Вид барьерного ограждения до (а) и после (б) применения вертикальной разметки

тающих с большей скоростью из-под колес проходящего вблизи ограждений автотранспорта.

Ситуация ухудшается в зимние месяцы, когда используют пескораспределители для борьбы с зимней скользкостью и патрульной уборкой снега. Быстро вращающийся диск распределителя песчано-соляной смеси придает значительное угловое ускорение ее частицам. Мелкие и более крупные камни, всегда присутствующие в песчаной смеси, так же как и камни из-под колес автотранспорта, постоянно бомбардируют металлическое ограждение. При попадании твердых частиц в лакокрасочное покрытие ограждения происходит образование микротрещин, в которые попадает влага, и начинается необратимый в условиях эксплуатации процесс коррозии на плохо защищенной поверхности металла, который в дорожных условиях протекает чрезвычайно быстро.

Плохая адгезия лакокрасочного покрытия к оцинкованному или грунтованному металлу не позволяет использовать механизированную уборку для содержания металлических ограждений и удаления загрязнений с их лицевой стороны. При использовании дорожных машин с боковыми щетками происходит отшелушивание лакокрасочного покрытия от металла уже через 5–6 случаев применения. При регулярном применении дорожных машин наблюдается эффект удаления поверхностного слоя цинка с оцинкованных ограждений или образование темных затертых пятен. Особенно показателен в этом плане опыт содержания металлического барьерного ограждения на Московской кольцевой дороге.

Возможность эффективного использования механизированной уборки ограждений с вертикальной разметки, нанесенной с применением пластиковых панелей, была успешно апробирована специалистами ФГУП «РОСДОРНИИ» в ходе испытаний, прошедших в Москве, когда барьерное ограждение с вертикальной разметкой из защитных пластиковых панелей подвергали ежедневной механизированной очистке с применением боковой полипропиленовой щетки. В процессе наблюдений негативного воздействия на пластиковые панели не выявлено.

По результатам испытаний сделаны выводы:

- защитные пластиковые панели, установленные на металлическом ограждении, значительно улучшают контрастность ограждения по сравнению с оцинкованным, что повышает уровень зрительного восприятия участниками дорожного движения;
- в процессе воздействия автотранспорта на металлическое ограждение с вертикальной разметкой, выполненной с применением защитных пластиковых панелей, не происходит их разрушения с образованием осколков, а также сохраняется общая целостность;
- по характеру повреждений пластиковых панелей можно предположить, что при ударе часть кинетической энергии испытаний на автобусе поглощается пластиковыми панелями, что может служить фактором увеличения удерживающей способности дорожного ограждения;

Стоимость 1 км пластиковых панелей для применения на металлических барьерных ограждениях 480 тыс. р. (стоимость панелей 450 тыс. р., монтажа — 30 тыс. р.). Ожидаемый эффект за счет применения пластиковых панелей для вертикальной разметки — 204 тыс. 845 р./год. Окупаемость — 1,5 года.

Ключевые слова: барьерное ограждение, вертикальная разметка, полиэтилен низкого давления, контрастность дорожной разметки.

Список литературы

1. Карпеев С.В., Сапсаенко Д.Б., Чванов А.В., Кочетков А.В. Относительные методы определения параметров качества дорожных материалов // Строит. материалы. 2009. № 5. С. 6–9.
2. Карпеев С.В., Сухов А.А., Аржанухина С.П., Кокодева Н.Е. Методика оценки экономической эффективности деятельности органов управлений дорожным хозяйством по освоению новых технологий, техники и материалов // Строит. материалы. 2010. № 5. С. 4–7.