

И. К. Холодкова, В. К. Калентьев, Р. М. Гарипов,
Р. И. Крикуненко

СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ ПЛЕНКИ НА ПОЛИМЕРНОЙ ОСНОВЕ (ОБЗОР)

Ключевые слова: световозвращающая пленка, отражающий слой, коэффициент отражения, коэффициент световозвращения.

В данной статье рассмотрены основные виды световозвращающих пленок, их структура, ассортимент у фирм-производителей, а также перспективы развития производства световозвращающих пленок.

Keywords: reflective film, the reflective layer, the reflection coefficient, coefficient of retroreflection.

This article describes the main types of retroreflective sheeting, their structure, range from manufacturers, as well as the development prospects of retroreflective sheeting.

Введение

Самоклеющаяся светоотражающая пленка (ССП) используется для привлечения внимания участников дорожного движения к соблюдению дистанции на дороге, обозначить габариты грузовых автомобилей, и сделать их хорошо видимыми в любое время суток и при любых погодных условиях и, при всем этом, не отвлекать внимание водителей от управления транспортным средством.

Прямым предшественником ССП для контурной маркировки автомобилей были светоотражающие наклейки. ССП используются по всему миру с 1939 года [1], когда в США был изготовлен и установлен первый в мире дорожный знак.

Для решения поставленных задач в ряде стран были проведены эксперименты с использованием светоотражающей ленты-пленки и нанесением ее в качестве контурной маркировки кузовов на большегрузные автомобили, а также обозначение дорожной разметки нанесением акриловых композиций, допированных световозвращающими элементами [2,3]. В результате в США количество аварий в темное время суток среди автомобилей, маркированных светоотражающей лентой сократилось более чем на 20%. В Германии использование светоотражающей ленты привело к снижению аварий уже более чем на 40% среди тех же автомобилей. Но самыми впечатляющими оказались результаты Европейской ассоциации страховщиков. Среди 3500 грузовых автомобилей с нанесенной на них контурной маркировкой за 1,5 года эксперимента ассоциации не пришлось выплатить ни единой компенсации по страховым полисам [1].

После достижения таких результатов использования ССП для контурной маркировки большегрузного автотранспорта, это новшество стали вводить на законодательном уровне на территории Евросоюза [1].

В России ССП также получила широкое распространение. Она используется для изготовления дорожных знаков, маркировки одежды, различных рекламных щитов и т.д.

Структура световозвращающих пленок

ССП применяется во многих изделиях, таких как номерные знаки автомобилей, дорожные знаки, предупредительные знаки и другие световозвращающие объекты [4]. Для многих из таких объектов важно, чтобы пленка не только обладала световозвращающими свойствами, но и могла быть нанесена на основу, которая имеет неровный рельеф, получаемый штамповкой, прессованием, выдавливанием или иными способами. Например, номерной знак обычно имеет плоскую, в целом, основу (такую как алюминиевая пластина), которая подвергается штамповке, прессованию, выдавливанию рельефа или другой операции деформации в холодном состоянии, в результате которой образуются возвышающиеся над фоном области, соответствующие алфавитно-цифровым символам и/или другим знакам. Когда ССП применяется при изготовлении номерного знака, она с помощью ламинирования прикрепляется к основе, когда основа еще является плоской (то есть до штамповки, прессования или выдавливания рельефа), а это означает, что ССП должна быть приспособлена к операциям деформации в холодном состоянии [5].

Из полимеров легко формируются катафоты – пластины, на задней поверхности которых выдавлены призмы полного внутреннего отражения, и пластины из так называемых световозвращающих материалов. Световозвращающий материал получают равномерным распределением в слое полимера сферических линз (микроскопических стеклянных шариков), плотно прилегающих друг к другу [6]. Микростеклошарики с показателем преломления, который значительно больше, чем показатель преломления используемого полимера, играют роль оптических световозвращающих элементов. Полученная таким образом пленка представляет собой многослойный композит, толщиной до 180 мкм (рис.1) [3]. Принцип действия световозвращающей пленки состоит в том, что она отражает световой поток в направлении его источника, например, фары автомобиля. Световозвращение происходит за счет использования на поверхности пленки множества микрошариков или микропризм, находящихся в прозрачном полимере и выполняющих роль сферических или призматических линз [7].



Рис. 1 – Структура световозвращающей пленки

Свет в пленках на основе стеклянных шариков в процессе отражения претерпевает несколько изменений своего направления и включает как отражение, так и преломление. Ниже представлена (рис.2) схема движения светового луча и его путь через световозвращающий элемент.

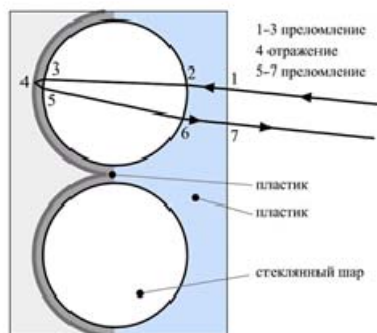


Рис. 2 - Механизм световозвращения в пленке на основе стеклянных шариков

В светоотражающем элементе наблюдаются как минимум шесть преломлений. Их может быть и больше при дополнительном покрытии пленки, например, слоем, позволяющим наносить сольвентные краски. Чем больше количество преломлений, тем больше будет происходить смещение отраженного светового пучка и, как следствие, снижение отражающей способности [8].

Конструкция наиболее распространенных пленок представляет собой слой микростеклошариков, помещенных в слой светопрозрачного полимера. Нижняя поверхность микростеклошариков (примерно 1/3) металлизирована для создания эффекта зеркала. Верхняя поверхность композиции закрыта защитным полимером: полиэстером или акрилом. На нижнюю металлизированную поверхность нанесен клей, закрытый антиадгезионной бумагой. Пленки, защищенные полиэстером, обладают большей механической прочностью, но из-за старения полиэстера (помутнение под действием света) обладают меньшим сроком службы [9]. Пленки, защищенные акрилом, имеют больший срок службы и предпочтительны для изготовления знаков методом шелкографической печати, но они обладают меньшей механической прочностью в процессе изготовления знаков и в эксплуатации. Срок службы пленки определяется как период, в течение которого фотометрические характеристики пленки ухудшаются не более, чем в 2 раза [10].

С оптической точки зрения, стеклянный световозвращающий элемент в виде шара («стеклошарик») представляет собой сочетание выпуклой линзы с вогнутым зеркалом. Луч света входит в шар через выпуклую входную поверхность, преломляясь

на границе "воздух-стекло" в направлении к центру шара, далее попадает на противоположную падению сторону шара, поверхность которой представляет собой аналог вогнутого зеркала, имеющего коэффициент отражения, зависящий от величины показателя преломления стекла n (согласно закону Френеля); отражается от нее, и через границу "стекло-воздух", преломляясь на ней, возвращается в направлении, обратном направлению падения. Такая конструкция световозвращающего элемента действует при любом угле освещения, обеспечивая световозвращение падающего на него излучения. Однако, коэффициент световозвращения R «стеклошариков» невысок, он зависит от размеров шара и показателя преломления стекла. Параллельный пучок лучей, посланный на шарик, отразится в строго обратном направлении при условии, если излучение будет фокусироваться первой поверхностью на противоположную поверхность шара, т.е. при условии, если $d=f_1$, где $f_1=nR/(n-1)$ - фокусное расстояние первой поверхности шара, для шара $d=2R$. Это условие может быть выполнено только при $n=2$. Для конкретной заданной длины волны освещающего излучения невозможно выбрать прозрачный материал с такой величиной показателя преломления. Для большинства стекол показатели преломления равны 1,5...1,7, т.е. фокусное расстояние $f_1=(2,4...3)R$. Таким образом, пучок излучения, преломленный на первой (входной) поверхности шара, на вторую (отражающую) его поверхность не фокусируется, т.к. $d < f_1$ (и чем меньше показатель преломления стекла, тем дальше плоскость фокусировки первой поверхности отстоит от отражающей поверхности шара) [11].

Процесс отражения света в пленках, изготовленных по технологии использования микропризм, кардинально отличается от процесса отражения в пленках на основе стеклянных шариков полного отражения в уголкового отражателе. В таких пленках гораздо меньше преломлений, а геометрия светоотражающего элемента позволяет направить падающий свет с гораздо большей точностью обратно к источнику, чем в пленках на основе стеклянных шариков.

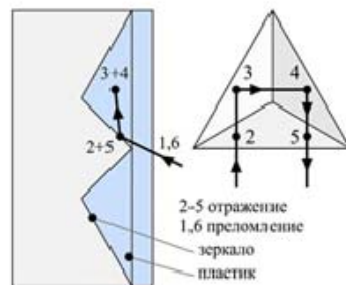


Рис. 3 – Механизм световозвращения в пленке на основе микропризм

Под каким бы углом ни падал свет на такой элемент, он возвращается обратно к источнику света. Даже при не совсем точной ориентации микропризмы в пленке свет возвращается с той же точностью. При этом законы отражения света не наруша-

ются, и это видно (рис.3) на схеме: угол падения света равен углу отражения относительно перпендикуляра к освещаемой плоскости.

Некоторые производители таких материалов изготавливают микропризматические пленки с особой конструкцией микропризм и их ориентацией, что позволяет обеспечить различные углы обзора в вертикальном и горизонтальном направлениях. На таких пленках нанесена специальная линейная маркировка для ее ориентации перед нанесением на поверхность.

Взаимно соприкасающиеся пирамидальные призмы могут быть образованы на одной стороне прозрачного листового материала (обычно пластика) методом формования или штамповки (тиснения). У призм имеются три поверхности, которые взаимно пересекаются под углами 90° . Подобные призмы в форме пирамиды известны из уровня техники как уголкового отражатели [12]. Уголкового отражатели, не имеющие покрытия в виде отражающего слоя металла, обладают способностью световозвращения за счет полного внутреннего отражения (ПВО) для лучей света, падающих на поверхности уголкового отражателя в пределах некоторого критического интервала углов. Как следствие, значительная часть светового пучка, направленного на массив подобных отражателей, будет возвращена в направлении источника света при условии падения этого пучка на данный массив в пределах критического интервала углов. В альтернативном варианте поверхности уголкового отражателя (микропризмы) могут быть покрыты отражающим слоем металла, чтобы сделать отражатель эффективным для более широкого набора падающих лучей.

ССП с лицевой стороны имеют специальный слой полимера, предотвращающий повреждение световозвращающих элементов. Чаще всего в качестве защитного слоя применяют полиэфир (ПЭТФ — полиэтилентерефталат) [13]. Он защищает материал и от солнечного ультрафиолетового излучения. Такой слой способен удерживать на своей поверхности специальные краски, наносимые шелкотрафаретным способом. Поэтому с помощью такой технологии окрашивания можно создавать различные наклейки, например, для ограждающих и предупреждающих элементов опасных зон на производстве или строительной площадке.

Некоторые серии пленок помимо ПЭТФ-покрытия имеют еще дополнительный верхний слой, восприимчивый к воздействию красок на основе растворителей. С помощью таких пленок можно создавать полноцветные световозвращающие изображения фотографического качества [6].

В настоящее время в России используются пленки как отечественных так и зарубежных производителей, таких как «ЗМ» (США), «Регарт» (Россия), «AVERY DENNISON» (Германия), «ТМ» (Китай) [8]. Наиболее распространенной и известной фирмой является американская компания «ЗМ», именно ей в 1939 году была изобретена световозвращающая пленка [8]. На данный момент компания производит ССП под названием «ЗМ с» [13]. Российская компания Регарт (Москва) также занимает

лидирующее место по производству ССП в стране, компания РЕГАРТ создана в 2002 году. В настоящее время РЕГАРТ является крупнейшим поставщиком ССП на рынках России и СНГ. РЕГАРТ производит световозвращающую пленку на собственном заводе световозвращающих материалов REGART, что дает огромное конкурентное преимущество и позволяет создавать продукцию высокого качества по минимальной цене. "Завод световозвращающих материалов REGART" (RGT) занимается разработкой новейших технологий в области обеспечения безопасности дорожного движения. В лабораториях завода REGART были созданы такие ССП, как REGART RT 7950 и REGART RT 1870, являющаяся на сегодняшний день, пожалуй лучшими пленками в своих классах [15]. Помимо ССП российских и американских производителей в России широко используется пленка немецкой компании «AVERY DENNISON» AlgaLite, выпускаются инженерная и коммерческая серии, пленка инженерной серии имеет больший световозврат и применяется для изготовления дорожных знаков постоянного типа. Также в нашей стране используются ССП производства Китая, например, китайская пленка «ТМ» обладает хорошими фотометрическими характеристиками, но при этом гораздо ниже в цене.

Наиболее широкий ассортимент ССП на мировом и российском рынке представлен фирмой Oralite (Германия). Отражение света от поверхности этих пленок происходит в направлении источника. Светоотражающий слой состоит из светопроницаемого полимера с включением стеклянных микросфер. Способность к направленному отражению объясняется как интенсивной аккумуляцией света микросферами, так и зеркально-линзовым (катадиоптрическим) эффектом, получающимся за счет особой обработки поверхности микросфер. Чтобы избежать нежелательной светопроницаемости и усилить интенсивность отражения света, под слой микросфер добавляется "серебряный" светоотражающий слой [16]. Такая добавка делает ССП несколько тяжелее, чем обычные виниловые пленки [17,18]. В таблице 1 представлены сравнительные характеристики и ассортимент пленок Oralite.

По технологии изготовления пленки ORALITE делятся на 2 типа:

- тип I: внутри прозрачного полимерного слоя, составляющего основу пленки, интегрированы стеклянные микросферы. На "обратную" сторону нанесены по порядку: слой светоотражающей амальгамы, затем клеевой слой и подложка;

- тип II: производство пленок второго типа - это сложный многостадийный высокотехнологичный процесс, заключающийся в том, что в прозрачный полимерный слой, составляющий основу пленки, интегрированы стеклянные микросферы, отдельные группы которых объединены внутри воздушных "сумок" - капсул. Капсулы герметичны - промежутки между ними прочно завариваются. С "обратной" стороны на микросферы нанесен слой светоотражающей амальгамы. "Обратную" сторону пленки покрывает специальное белое вещество, затем клей и подложка (рис.4) [19]. Применение дан-

ной технологии позволяет существенно улучшить пленки. отражающие и эксплуатационные характеристики

Таблица 1 – Характеристики и ассортимент пленок Oralite

пленки	Тип	Лицевой материал без подложки и клея	Клей	Цвета	Температура применения	Срок эксплуатации (в годах)	Особенности
Инженерные пленки							
ORALITE 5500 серия ENGINEER	I	Пленка на основе алкидных полимеров с включением отражающих микросфер 0.110 мм	Полиакрилатный клей на основе растворителя, обеспечивающий постоянное приклеивание	8 глянце-вых	от -56°С до +82°С	7 лет	Универсальная, для дорожных знаков
ORALITE 5710 серия ENGINEER	I	Пленка на основе алкидных полимеров с включением отражающих микросфер 0.130 мм	Полиакрилатный клей на основе растворителя, обеспечивающий постоянное приклеивание	7 глянце-вых	от -56°С до +82°С	7 лет	PREMIUM, для дорожных знаков
Высокоинтенсивные пленки							
ORALITE 5800 серия HIGH INTENSITY	II	ПММА-пленка (акриловая) 0.210 мм	Полиакрилатный клей на основе растворителя, обеспечивающий постоянное приклеивание	7 глянце-вых, рисунок поверхности - "сотый"	от -56°С до +82°С	10 лет	Для высококачественных дорожных знаков
ORALITE 5840 серия HIGH INTENSITY CONSTRUCTION	II	ПЭТ-пленка (полиэфирная) 0.260 мм	Полиакрилатный клей на основе растворителя, обеспечивающий постоянное приклеивание	3 глянце-вых, рисунок поверхности - "сотый"	от -56°С до +82°С	4 года	Недорогая, для высококачественных дорожных знаков

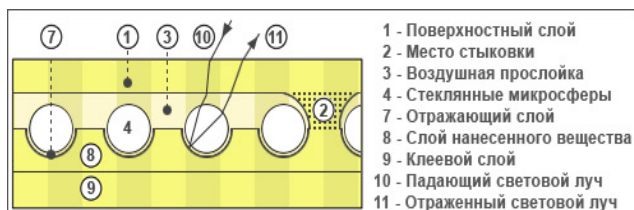


Рис. 4 - Структура светоотражающей пленки Oralite тип II

Закключение

Анализ литературных данных свидетельствует о том, что исследования по совершенствованию технологий изготовления новых световозвращающих материалов, пленок, тканей и дорожных покрытий продолжает развиваться как по увеличению ассортимента, областей применения, так и самих световозвращающих элементов. В условиях сокращения объемов выпуска пленочных фотоматериалов, вплоть до полного банкротства таких мировых монстров химико-фотографической промышленно-

сти, как фирма «Кодак», световозвращающие пленки можно рассматривать в качестве альтернативы для загрузки мощностей предприятий химико-фотографической промышленности России.

Литература

1. Пат. 2416125 RU, МПК G09F 13/16. Изготовление дорожных знаков
2. http://www.konturfur.ru/chitajte_takzhe/istoriya_svetootrazhajushhih_plenkah/
3. Шакуров М.И., Замалиева А.Р., Гарипов Р.М. Изучение влияния нефтеполимерных смол на свойства термопластичной дорожной разметки// Вестник КНИТУ – 2011. - №4. – с.145
4. Хасанов А.И., Ефремов Е.А., Хасанова М.И., Гарипов Р.М. Влияние состава мономеров на пленкообразующие свойства акриловых сополимеров// Вестник КНИТУ – 2011. - №11. – с.53
5. Пат. 2386987 RU, МПК G02B5/124. Световозвращающее изделие, способ его изготовления и номерной знак.
6. http://www.what.clan.su/news/svetovozvrazhajushhaja_plenka/
7. ГОСТ Р 52290-2004. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования. – Введ. 2006-01-01. – М: Стандартинформ, 2006 – 25 с.
8. http://kontinent.info/materialy_dlja_proizvodstva_reklamy_plenki_dlja_interera_i_ad/informacija/stati/chto_vazhno_znat_o_svetootrazhajushhih_plenkah/
9. Бартенев Г. М., Френкель С. Я. Физика полимеров. — Л.: Химия, 1990. — 433 с.
10. http://amt-team.ru/svetovozvraschayuschie_plenki
11. Пат. 2349940 RU, МПК G02B5/1. Световозвращающий элемент для моделирования отражательных характеристик светового, в том числе лазерного, излучения.
12. Пат. 2380730 RU, МПК G02B5/12. Металлизированный уголкового отражатель листового типа, имеющий высокий коэффициент яркости в дневное время и способ его изготовления.
13. Справочник химика. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Химия, 1966-67. – Т. 1-4
14. <http://ru.wikipedia.org/wiki/3M>
15. <http://www.regart.ru>
16. <http://www.helvetica-t.ru/catalog-12a.php>
17. Муртазина С.А. Области применения полимерных материалов в современном дизайне// Вестник КНИТУ – 2010. - №10 – с. 146
18. С. Л. Баженов, А. А. Берлин, А. А. Кульков, В. Г. Ошмян. Полимерные композиционные материалы, М.: Интеллект, 2010 – с.352
19. Русаков П.В. Производство полимеров.- М.: высшая школа, 1988.- с.218
20. Пат. 2477299, МПК C09J151/06. Клеевая полимерная композиция

© **И. К. Холодкова** – магистр каф. технологии полиграфических процессов и кинофотоматериалов КНИТУ; **В. К. Калентьев** – доцент той же кафедры, kalentiev@kstu.ru; **Р. М. Гарипов** – д-р хим. наук, проф., зав. каф. технологии полиграфических процессов и кинофотоматериалов КНИТУ, rugaripov@mail.ru; **Р. И. Крикуненко** – доцент той же кафедры.