

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 SSP для контурной маркировки автомобилей были светоотражающие наклейки. SSP 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 SSP для контурной маркировки большегрузного автотранспорта, это новшество стали вводить на законодательном уровне на территории Евросоюза [1]. В России SSP также получила широкое распространение. Она используется для изготовления дорожных знаков, маркировки одежды, различных рекламных щитов и т.д. Структура световозвращающих пленок SSP 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 SSP 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 SSP 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