

Научная статья

УДК 621.792.053

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-5-42-54

ТЕРМОПЛАВКИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ К ДАВЛЕНИЮ КЛЕИ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ СОПОЛИМЕРОВ: СВОЙСТВА И ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

И.М. Дубровин¹, Манжосова Е.Н.¹, А.Ю. Исаев¹, Н.Ф. Лукина¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Рассмотрены термоплавкие клеи, чувствительные к давлению (HMPSA), на основе термоэластопластов стирол-бутадиен-стирольного типа (SBS). Проанализировано влияние микрофазного разделения и состава блок-сополимеров на реологические параметры – модули упругости и вязкости, а также адгезионные свойства, включая липкость, прочность при сдвиге и отслаивании. Представлены современные методы нанесения HMPSA-клеев и их применение в авиационной, машиностроительной, электронной и смежных отраслях промышленности.

Ключевые слова: клеи чувствительные к давлению, клеи HMPSA, термоэластопласты, блок-сополимеры SBS, прочность при сдвиге, прочность при отслаивании

Для цитирования: Дубровин И.М., Манжосова Е.Н., Исаев А.Ю., Лукина Н.Ф. Термоплавкие чувствительные к давлению клеи на основе бутадиен-стирольных сополимеров: свойства и примеры использования // Труды ВИАМ. 2026. № 5 (159). С. 42–54. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-5-42-54.

Scientific article

HOT-MELT PRESSURE-SENSITIVE ADHESIVES BASED ON STYRENE-BUTADIENE COPOLYMERS: PROPERTIES AND APPLICATIONS

I.M. Dubrovin¹, E.N. Manzhosova¹, A.Yu. Isaev¹, N.F. Lukina¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The review examines hot-melt pressure-sensitive adhesives (HMPSA) based on styrene-butadiene-styrene (SBS) thermoplastic elastomers. The influence of microphase separation and block copolymer composition on the rheological parameters-elastic and viscous moduli as well as on the adhesive properties, including tack, shear, and peel strength, is analyzed. Modern HMPSA application methods and their use in aerospace, mechanical engineering, electronics, and related industrial fields are presented.

Keywords: pressure-sensitive adhesives, HMPSA adhesives, thermoplastics, SBS block copolymers, shear strength, peel strength

For citation: Dubrovin I.M., Manzhosova E.N., Isaev A.Yu., Lukina N.F. Hot-melt pressure-sensitive adhesives based on styrene-butadiene copolymers: properties and applications. *Trudy VIAM*, 2026, no. 5 (159), pp. 42–54. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-5-42-54.

Введение

Самоклеящиеся материалы – это класс функциональных клеящих материалов, которые представляют собой многослойные конструкции, включающие подложку, в качестве которой используются различные материалы – например, алюминиевая фольга, стеклоткань, полимерные пленки (полиимидная, полиэтилентерефталатная, поливинилхлоридная и другие), клей с постоянной липкостью и защитную пленку. Области применения самоклеящихся материалов постоянно расширяются. Самоклеящиеся материалы на основе бумаги, пленок и картона используются в производстве всевозможных наклеек и этикеток бытового и специального назначения. Теплоизоляционные материалы с липким слоем нашли широкое применение для защиты трубопроводов от воздействия климатических факторов [1, 2].

В области функциональных самоклеящихся материалов авиационного назначения в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработаны: алюминиевые фольги с липким слоем марок ФЛС, САФ и ВСМФ-1; самоклеящийся материал марки ВСМТ на тканевой основе, который в сравнении с алюминиевыми самоклеящимися фольгами обладает улучшенной выкладываемостью на криволинейных поверхностях; защитное пленочное покрытие марки ЗППК, а также липкая негорючая лента марки ЛНГМ [3]. С использованием этих материалов разработаны технологии оперативного ремонта, направленные на устранение повреждений лакокрасочного покрытия планера самолета, а также временного ремонта агрегатов из полимерных композиционных материалов, в том числе с использованием комбинаций самоклеящихся материалов и эпоксидных клеев холодного отверждения. Применение таких технических решений в условиях эксплуатации снижает энергоемкость и трудоемкость ремонтных операций в 8–10 раз и исключает необходимость использования сложного оборудования, что повышает надежность и эффективность ремонтных процессов [4–6].

В работах [7, 8] представлена информация в области клеев с постоянной липкостью на основе натурального и синтетических каучуков растворного типа, широко используемых в качестве липкого слоя для самоклеящихся материалов, которые применяются в различных областях техники: в авиационной отрасли (алюминиевые самоклеящиеся фольги для оперативного ремонта повреждений лакокрасочных покрытий), медицине (пластыри, повязки, компрессы и другие медицинские изделия) и в быту (различные этикетки).

В качестве полимерной основы клеев с постоянной липкостью наряду с наиболее часто применяемыми натуральным и синтетическими каучуками, в том числе акриловыми эластомерами, также используются композиции с постоянной липкостью на основе стирол-блок-сополимеров: стирол-бутадиен-стирола (SBS) и стирол-изопрен-стирола (SIS), которые обеспечивают высокие эластические характеристики клеевых соединений.

В патенте [9] приведены составы липких клеев растворного типа на основе изопрен-стирольного термоэластопласта с содержанием стирола 5–7 % (здесь и далее – % (по массе)), которые дополнительно содержат следующие компоненты: агент липкости (терпенфенольная или стирол-инденовая смолы), пластификатор (диоктилфталат, вазелиновое масло, низкомолекулярный полибутадиен или эпоксирированное растительное масло) и органический растворитель (этилацетат, бензин или их смеси с метилхлоридом). В состав клея может входить также хлорированный полиизопреновый каучук.

Для улучшения характеристик предложены композиции растворного типа с постоянной липкостью, содержащие бутадиен-стирольный каучук, канифоль, эпоксидную смолу, масла и органические растворители, что обеспечивает повышенную адгезию, липкость и эластичность клея при сохранении пленкообразующих свойств [10].

Известны также клеящие материалы для наклеек и лент на основе твердых и жидких каучуков со смолами и пластифицирующими маслами, в том числе с использованием стирол-бутадиен-стирольного и стирол-бутадиенового сополимеров [11]. Такие материалы сохраняют работоспособность в диапазоне температур от -60 до $+80$ °С.

В настоящее время взамен липких клеев растворного типа все более широкое применение в различных областях промышленности находят термоплавкие клеи, чувствительные к давлению, такие как HMPSA (от английского Hot Melt Pressure Sensitive Adhesive), или клеи-расплавы с остаточной липкостью, которые после расплавления и остывания остаются постоянно липкими и способными обеспечить прочное клеевое соединение при сжатии соединяемых поверхностей под давлением.

Клеи HMPSA в сравнении с липкими клеями растворного типа имеют ряд существенных преимуществ: возможность перемещения соединяемых поверхностей относительно друг друга до их склеивания, что особенно важно при соединении криволинейных поверхностей; высокий уровень эластических характеристик; устойчивость к отслаивающим нагрузкам; высокие адгезионные свойства к различным поверхностям, в том числе к инертным материалам (полиэтилену, поливинилхлориду и многим другим); отсутствие в составе органических растворителей, что исключает открытую выдержку при склеивании, тем самым ускоряя процесс склеивания и обеспечивая экологическую безопасность применения этих материалов.

Весьма перспективным направлением исследований является возможность использования клеев HMPSA в качестве липкого слоя для создания защитных пленочных материалов, которые могут эффективно использоваться для защиты поверхности элементов конструкции самолетной техники от эрозионного износа, возникающего при длительном воздействии воды и песка в процессе эксплуатации.

Среди достаточно широкой линейки клеев HMPSA, в качестве полимерной основы в которых используются каучуки различной химической природы, внимание исследователей все больше привлекают клеи-расплавы на основе стирол-бутадиеновых сополимеров. Известно, что отличительной особенностью стирол-бутадиеновых сополимеров (SBS-сополимеров) является микрофазное разделение, при котором жесткие полистирольные блоки в составе блок-сополимера образуют физические сетки – сшивки, тогда как полибутадиеновые сегменты обеспечивают высокую эластичность и низкую температуру стеклования эластомера. Таким образом, происходит эффективное смачивание липким клеем поверхности субстрата с высоким уровнем когезионной прочности клеевого соединения при сдвиговых и отслаивающих нагрузках. Поэтому для наиболее эффективного применения SBS-сополимеров в составе расплавных клеев HMPSA разработчиками этих материалов особое внимание уделяется изучению влияния структуры, молекулярной массы и соотношения блоков в составе сополимеров на реологические характеристики и адгезионные свойства липкого клея. Важнейшими критериями оценки свойств клеев HMPSA, которые используются при разработке этих материалов, являются такие параметры, как липкость, прочность при сдвиге и отслаивании.

Существенное внимание разработчики уделяют также созданию чувствительных к давлению клеев на основе гибридных полимерных систем, таких как смеси на основе сополимера стирол-изобутилен-стирола (SIBS), в которых центральный блок полиизобутилена (PIB-блок) обеспечивает низкую проницаемость для кислорода и воды, превосходную гидрофобность и устойчивость к агрессивным средам, ультрафиолетовому облучению и температурным циклам [12], а концевые блоки полистирола (PSt-блоки) придают клею механическую жесткость и термическую стабильность в интервале температур от -60 до $+150$ °С [13].

Цель данного обзора – систематизация актуальной научной информации в области компонентного состава клеев HMPSA, выявление взаимосвязей между составом клея и физико-механическими характеристиками клеевых соединений в процессе эксплуатации.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 15.1. «Многофункциональные клеящие системы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Примеры составов клеевых композиций на основе стирол-бутадиеновых сополимеров

Имеется достаточно большой объем информации по рецептуре и основным свойствам полимерных композиций с постоянной липкостью, состав которых оптимизирован для достижения самого широкого спектра технологических и прочностных свойств, в том числе повышенной адгезии к различным подложкам. Например, в патенте [14] представлены составы чувствительных к давлению клеев на основе линейных триблочных стирол-бутадиеновых сополимеров и их смесей со стирол-изопреновыми сополимерами (в количестве 5–20 %), содержащих также значительную долю агентов липкости (40–65 %), изопарафиновых масел (10–30 %) и в некоторых случаях воска. Отмечается, что липкие клеи данного состава обладают высокими характеристиками статической прочности клеевых соединений при сдвиге (более 25 ч при температуре 65 °С) на полиэтиленовых и полипропиленовых подложках, что делает возможным их применение в различных сферах производства.

Как следует из патента [15], предлагается усовершенствованная композиция термоплавкого самоклеящегося материала (HMPSA), который содержит эластомерный компонент, например смесь стирол-изопреновых и стирол-бутадиеновых сополимеров, и загущающий компонент, включающий одну или несколько углеводородных смол на основе нефтяных фракций C5 и C9 с температурой размягчения 35–60 °С, которые в исходном виде представляют собой полутвердые вещества. Композиции, включающие данные смеси, характеризуются пониженной летучестью, стабильностью свойств при хранении, хорошими адгезионными свойствами к подложкам и субстратам и предназначены преимущественно для изготовления клеевых покрытий для этикеток.

В патенте [16] приведены составы термоплавких чувствительных к давлению клеев HMPSA на основе смесей стирол-изопреновых и стирол-бутадиеновых сополимеров в сочетании с углеводородными смолами в качестве агента липкости и пластификаторами (в основном гидрокарбонными маслами). Стирол-изопреновые сополимеры имеют структуру с содержанием стирола 10–30 % и молекулярной массой 50000–500000, а стирол-бутадиеновый сополимер – с содержанием стирола 10–40 % и аналогичной молекулярной массой. Агенты липкости представляют собой смесь двух типов углеводородных смол: одна совместима со стирол-изопреновым сополимером и содержится в количестве 20–80 %, другая – со стирол-бутадиеновым сополимером и вводится в состав клея в количестве 30–80 %, при этом используются углеводородные смолы с температурами размягчения 50–140 и 50–100 °С соответственно. Пластификаторы (ароматические, нефтяные или парафиновые масла) добавляются в состав липкого клея в количестве 0,5–25 % (предпочтительно 5–15 %) от эластомерного компонента, а антиоксиданты (например, стерически затрудненные фенолы, которые вводятся в состав клея в количестве 0,05–2 %) – для повышения стабильности материала в процессе эксплуатации. Данные композиции предназначены преимущественно для производства

упаковочных лент на основе биаксиально ориентированного полипропилена (BOPP), где клей наносится в виде сухого покрытия с поверхностной плотностью 10–40 г/см² (предпочтительно 10–30 г/см²) на пленки толщиной 25–112 мкм. Это обеспечивает совместимость с ориентированными полипропиленовыми пленками, минимизируя их деформацию и сохраняя адгезионные свойства. В патенте [16] подчеркивается, что такие адгезивы демонстрируют высокую устойчивость к сдвигу – не менее 10 ч при температуре 40 °С, и обладают удовлетворительными характеристиками, в том числе прочностью при отслаивании, петлевой липкостью (loop tack) и температурой разрушения при сдвиге, а также вязкостью при температуре 175 °С, которая варьируется от 59000 до 95000 мПа·с.

В примерах патента [16] приведены конкретные составы композиций, иллюстрирующие достигаемый баланс между реологическими и когезионными свойствами: например, при увеличении доли агентов липкости (до 50 %) клеи показывают улучшенную реологическую стабильность, но требуется оптимизация состава с целью избежать снижения когезионных свойств. Применение таких материалов позволяет не только снизить стоимость производства по сравнению с немодифицированными стирол-изопрен-сополимерными системами, но и расширить возможность использования этих материалов при производстве упаковки, этикеток и скотчей, где важны низкая вязкость состава для его переработки и высокая адгезия к полипропиленовым подложкам.

Чувствительные к давлению клеи на основе высокостирольных стирол-бутадиеновых сополимеров под торговыми марками Taipol и Vector предназначены для применения в широком спектре строительных работ в связи с эластичностью клеевых систем [17]. Благодаря высокому содержанию стирольного компонента данные материалы обеспечивают повышенные когезионную прочность, упругость и долговременную стабильность сцепления липкой ленты с субстратом.

В патенте [18] предложена клеевая композиция на основе сополимера стирол-бутадиен-стирола (SBS-сополимера) компании Kraton (Южная Корея), использование которого в сочетании с ароматической (Nikotack P-90) и алифатической (UCRP 100) смолами позволяет достичь улучшенных эксплуатационных характеристик. Ключевым фактором является использование в качестве основы клея SBS-сополимера, обеспечивающего необходимый уровень когезионной прочности и термостойкости клеевого шва. Показано, что определенное содержание этого сополимера (11–18 %) в составе клея также необходимо для обеспечения оптимального сочетания вязкости клея и прочностных характеристик клеевого соединения: недостаток SBS-сополимера в составе липкого клея снижает прочность клеевого шва, а его избыток затрудняет нанесение расплава клея на подложку. Таким образом, в патентном источнике подчеркивается решающее значение сополимеров стирол-бутадиен-стирола в формировании свойств клеев HMPSA.

В патенте [19] рассмотрены технологические подходы к созданию самоклеящихся материалов с оптимальными свойствами на основе термопластичных эластомеров – прежде всего, блок-сополимеров типа стирол-бутадиен-стирола. Указано, что решающим фактором при формировании требуемого уровня эксплуатационных свойств клеевых соединений является оптимизация состава полимерной матрицы с постоянной липкостью: варьирование содержания стирольных доменов в SBS-сополимерах позволяет управлять когезионной прочностью и деформационными характеристиками клея. Дополнительное введение в состав клея модифицирующих смол и пластификаторов обеспечивает достижение требуемого баланса между реологическими (вязкостными) характеристиками расплава клея и адгезионными характеристиками клеевого соединения, что критически

важно при расплавленном методе нанесения липкого клея на подложку. Авторами патента [19] подчеркивается также влияние параметров технологического процесса нанесения расплава клея (температурного режима, скорости охлаждения, метода нанесения) на достижение оптимальной морфологии SBS-сополимера, следствием чего является повышение устойчивости к ползучести и долговечности получаемых липких лент. В патенте акцентируется внимание на выявленной авторами взаимосвязи между технологическими параметрами переработки расплава клея, формируемой при этом молекулярной структурой SBS-сополимеров и конечными адгезионными свойствами клеевого соединения («клей–подложка» и «клей–субстрат»), что подтверждает ключевое значение именно блок-сополимерной основы липкого клея в формировании эксплуатационных характеристик термопластичных клеевых соединений.

Влияние полимерной основы на адгезионные свойства клеевых композиций для самоклеящихся лент имеет приоритетное значение. В частности, в патенте [20] показано, что введение в состав липкого акрилатного клея сополимеров с оптимизированным содержанием полярных групп (например, карбоксильных) обеспечивает значительный рост контактной липкости клея и прочности клеевых соединений. Эти закономерности актуальны и для систем на основе стирол-бутадиеновых блок-сополимеров, где варьирование содержания стирольных доменов и молекулярной массы сополимерного блока позволяет регулировать баланс между когезионной прочностью клея и адгезионными свойствами клеевого соединения. Как и в случае акрилатных сополимеров, введение полярных модификаторов в состав стирол-бутадиеновой основы липкого клея способствует улучшению взаимодействия с субстратами, увеличивая исходную липкость клея и его устойчивость к отслаиванию.

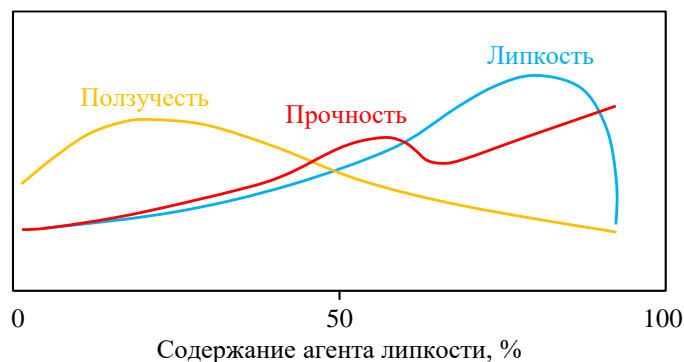
Универсальные клеевые системы на основе стирол-бутадиеновых сополимеров под торговой маркой D-серия южнокорейской компании Kraton, модифицированные различными каучуками и минеральными маслами, предназначены для бытового применения, включая этикетки, ленты и монтажные материалы. Эти составы отличаются хорошей перерабатываемостью, умеренной вязкостью и сбалансированным уровнем свойств клея – липкостью и когезионными свойствами клеевых соединений [21].

Аналогичные клеевые системы на основе стирол-этилен-бутилен-стирольного (SEBS) блок-сополимера с ароматическими C9 смолами и парафиновыми маслами демонстрируют высокие показатели адгезионной прочности (~700 Н/мм). Данные составы предназначены для атмосферостойких лент и покрытий, которые обеспечивают высокую эластичность и стойкость к атмосферным воздействиям [22].

Ряд сополимеров имеется также у южнокорейской компании Kraton под торговыми марками А-, G-, FG-серий, которые применяются в рецептурах, демонстрирующих широкую совместимость с различными типами агентов липкости. Эти составы обеспечивают баланс когезионных свойств и липкости, стабильность при хранении и переработке расплава клея, однако количественные показатели прочности при отслаивании и сдвиговой нагрузке в открытом доступе не представлены [23].

Одними из основных функциональных компонентов, применяемых в составах, чувствительных к давлению клеев HMPSA, являются агенты липкости – низкомолекулярные смолы, которые обеспечивают высокую липкость и способность быстро сцепляться с поверхностью субстрата при минимальном давлении [24].

В работе [25] представлена информация о выявленной авторами зависимости основных свойств липкого клея от количества вводимого в состав клея агента липкости (см. рисунок). Видно, что оптимальное содержание агента липкости варьируется от 50 до 70 % и обеспечивает минимальную ползучесть и максимальный уровень прочности и липкости.



Зависимость ползучести, прочности и липкости от количества агента липкости

Концентрация липких смол может существенно варьироваться в пределах 40–85 % от массы смеси, причем выбор более точного количества критически важен для обеспечения оптимальных свойств липкого клея. Наиболее распространенными агентами липкости являются гидрогенизированные и негидрогенизированные углеводородные смолы на основе нефтяных фракций C5 и C9, а также смолы на основе дидециклопентадиена [26]. Исследования показали, что совместимость таких смол с полимерной матрицей оказывает определяющее влияние на реологические характеристики, включая модуль потерь и эластичность. В частности, в работах [27, 28] отмечается, что использование гидрокарбонных смол позволяет повысить начальную адгезию клея и обеспечить баланс между высокой смачивающей способностью липкого клея и высокой когезионной прочностью клеевых соединений на его основе.

Пластификаторы также имеют ключевое значение в рецептурах термоплавких чувствительных к давлению клеев HMPSA, обеспечивая снижение вязкости композиции и повышение гибкости адгезионного слоя, улучшая его способность к смачиванию различных поверхностей. Основными типами пластификаторов, используемых в клеях HMPSA на основе стирол-бутадиен-стирольных сополимеров, являются минеральные масла парафинового и нафтенового типа. Их содержание в композиции обычно ограничивается диапазоном от 5 до 40 %, чтобы избежать нежелательного снижения когезионной прочности и термостабильности материала. Например, в патенте [29] приводится информация об использовании парафиновых масел в количестве до 30 % для достижения оптимальной вязкости при переработке клея, что позволяет наносить клей равномерным слоем на подложки, такие как полипропиленовые пленки, без потери прочностных характеристик.

Добавление пластификаторов в состав клеев HMPSA способствует снижению температуры стеклования бутадиеновой фазы стирол-бутадиеновых сополимеров, что критически важно для улучшения адгезионных свойств, особенно к поверхностям с низкой энергией, таких как полиэтилен или полипропилен. В патенте [17] подчеркивается, что нафтеновые масла (благодаря своей химической совместимости с полидиеновыми блок-сополимерами) эффективно снижают температуру стеклования до значений менее $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, обеспечивая высокую эластичность и липкость клея при комнатной температуре. Это позволяет клею проявлять повышенные адгезионные свойства к поверхности подложки с неровностями за счет улучшенного смачивания с увеличением прочности клеевых соединений при отслаивании, измеряемую по стандарту ASTM D3330 (прочность при отслаивании под углом 180 °). Однако избыточное содержание в составе липкого клея пластификаторов (более 35–40 %) может привести к миграции масла на поверхность, что снижает стабильность клеевого соединения в процессе длительной эксплуатации.

Кроме того, отмечается влияние пластификаторов на технологические параметры в процессе переработки клеев HMPSA, в том числе снижение температуры плавления и нанесения клея на подложку. В патенте [17] также отмечается, что использование в качестве пластификатора масел с низкой молекулярной массой (200–1000 г/моль) позволяет уменьшить температуру переработки расплава клея на 10–20 °С (по сравнению с композициями, не содержащими пластификаторы), что снижает риск термической деградации полимерной матрицы. Однако необходимо строго контролировать дозировку масла, так как его избыток может вызвать нежелательное снижение когезионной прочности и вязкости клея, что приводит к увеличению склонности клея к стеканию при нанесении на вертикальные поверхности и ограничивает его применение в некоторых промышленных процессах.

Для сохранения свойств клеевых композиций при термоокислительном старении и воздействии агрессивных факторов внешней среды в состав липких клеев HMPSA вводятся антиоксиданты (например, фенольные, амины) и УФ-стабилизаторы. Их содержание в рецептурах клеев обычно находится в диапазоне от 0,2 до 3 %. Основное требование к таким добавкам – предотвращение термической деструкции и окисления полимерной матрицы и липких смол в процессе переработки расплава клея и длительной эксплуатации липкого клея. Введение антиоксидантов позволяет сохранить высокие адгезионные характеристики клеевых соединений, предотвратить увеличение вязкости клея и сохранить стабильность упругих характеристик в процессе его старения [30].

Методы нанесения клея HMPSA

Технологические преимущества расплавных клеев проявляются в первую очередь в высокой производительности линий нанесения, поскольку процесс не включает стадию сушки для удаления растворителей, что существенно сокращает общий цикл производства. Это позволяет наносить клеевой слой из расплава с высокой скоростью, обеспечивая стабильное качество покрытия при больших объемах производства.

Метод нанесения расплава через плоскощелевой экструдер (называемый в иностранных научно-технических источниках slot-die) – это одна из ключевых технологий нанесения термопластичных чувствительных к давлению клеев HMPSA на основе стирол-бутадиен-стирольных сополимеров, которая обеспечивает высокую точность и равномерность нанесения покрытия. Этот метод позволяет контролировать толщину слоя с отклонением не более $\pm 0,5$ % и перерабатывать композиции с вязкостью до 500000 мПа·с при скоростях нанесения до 100 м/мин и ширине подложки до 3000 мм, обеспечивая при этом толщину слоя клея 5–50 мкм. Применение закрытой системы подачи расплава клея минимизирует его контакт с воздухом, что снижает риск окисления и загрязнения клеевой массы и обеспечивает высокое качество покрытия. В патенте [31] описывается применение метода нанесения расплава клея на подложку через плоскощелевой экструдер в процессе производства самоклеящихся этикеток, при этом стабильность процесса достигается за счет точной регулировки давления и температуры расплава (140–180 °С), что позволяет работать с композициями на основе SBS и SIS с высокой липкостью. Однако технология требует строгого контроля чистоты оборудования и настройки параметров (таких как зазор между головкой и подложкой) для предотвращения дефектов при смене состава или ширины покрытия.

Суть использования плоскощелевого экструдера заключается в подаче расплава клея через узкую щель в дозирующей головке, которая равномерно распределяет материал по движущейся подложке. Процесс включает три главных этапа: плавление клея в экструдере, транспортировку расплава через нагреваемые шланги к дозирующей

головке и его нанесение на подложку с контролем толщины путем регулировки зазора и давления. Приведены составы липких композиций на основе стирол-бутадиеновых сополимеров и парафиновых добавок, оптимизированные для высокоскоростного нанесения. Указано, что использование гидрогенизированных смол C5 и C9, а также низковязких масел (10–15 %) позволяет снизить вязкость расплава до 20000–50000 мПа·с и обеспечить равномерное покрытие с поверхностной плотностью 15–30 г/м². Преимущество метода заключается в том, что с его помощью возможно перерабатывать высоковязкие составы без вовлечения воздуха в клеевую массу и исключить дефекты, такие как пузыри, а также обеспечить стабильные адгезионные свойства, включая прочность клеевых соединений при отслаивании и устойчивость к сдвигу.

В качестве альтернативы плоскоцелевым экструдерам применяется технология нанесения клеев HMPSA на оборудовании, оснащённом системой валов. Принцип метода заключается в передаче расплава клея с поверхности вращающегося вала на подложку при прямом контакте. Толщину покрытия регулируют с помощью механических параметров: зазором между валом и подложкой, давлением прижима и скоростью вращения. Данный метод характеризуется высокой универсальностью и применим в серийном производстве благодаря легкой перенастройке оборудования под различные рецептуры клея и типы подложек. Наиболее эффективно он используется при работе с составами низкой вязкости (до 15000 мПа·с) и обеспечивает получение равномерных покрытий с поверхностной плотностью от 16 до 1500 г/м² и скоростью нанесения до 400 м/мин. Однако при данном способе нанесения клея точность регулировки толщины покрытия уступает точности, достигаемой при использовании плоскоцелевого экструдера. Технология ограничена в применении высоковязких систем и композиций, склонных к вспениванию. При высоких скоростях нанесения существует риск вовлечения воздуха в клеевую массу, что может привести к образованию дефектов в виде пузырей и снижению адгезионных характеристик клеевого слоя.

Примером промышленной реализации вышеуказанной технологии является установка, описанная в патенте [32], в которой реализована система нанесения расплава клея с помощью дозирующего валика с контролем толщины слоя клея посредством точной регулировки давления и зазора между валиком и подложкой. Другой пример представлен в патенте [33], в котором рассматривается способ нанесения расплава клея с улучшенной стабильностью при высоких скоростях с применением терморегулируемого валика, обеспечивающего точное регулирование температуры расплава клея. Следует также отметить работу [34], в которой описан аппарат с системой предотвращения вспенивания и равномерного распределения расплава клея при нанесении на подложку на производственных линиях.

Экструзионная технология нанесения объединяет стадии плавления клея, его дозирования и нанесения в единую непрерывную линию. Расплавленный клей подается непосредственно из экструдера через дозирующую систему на подложку, что исключает промежуточные стадии переработки, снижает потери материала и увеличивает производительность. Такой подход обеспечивает стабильность технологического процесса изготовления самоклеящегося материала и возможность регулирования толщины слоев клеевого покрытия от микро- до миллиметров.

Однако отмечено, что внедрение экструзионных линий требует значительных капиталовложений в оборудование и введения строгого контроля технологических параметров – температуры расплава, вязкости клея, скорости подачи и др. Это предъявляет повышенные требования к квалификации операторов и наличию мощной технической поддержки, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации линий.

Заключения

Представленный обзор научно-технической информации свидетельствует о том, что чувствительные к давлению клеи HMPSA – это современные высокоэффективные адгезионные системы, сочетающие широкий спектр эксплуатационных характеристик, высокую производственную эффективность и соответствие современным экологическим требованиям.

В данном обзоре приведены сведения о термоплавких чувствительных к давлению клеях HMPSA на основе стирол-бутадиен-стирольных блок-сополимеров, применяемых в различных отраслях, включая авиационную промышленность. Рассмотрены ключевые аспекты влияния состава, структуры и технологии переработки на реологические, адгезионные и эксплуатационные характеристики таких систем. Показано, что разработчиками самоклеящихся материалов данного типа отмечаются уникальные свойства SBS-сополимеров, обусловленные их микрофазным разделением, которое обеспечивает баланс между липкостью и когезионной прочностью клея и устойчивостью клеевых соединений «клей–подложка», «клей–субстрат» к внешним воздействиям в процессе эксплуатации.

Дальнейшее развитие научного направления в области создания чувствительных к давлению клеев HMPSA связано с созданием экологически безопасных составов, улучшением их адгезионных и когезионных характеристик применительно к специфическим техническим требованиям высокотехнологичных отраслей, включая авиацию, медицину и строительство. Перспективы исследований в данной области заключаются в разработке новых функционализированных полимерных липких систем и совершенствовании методов их переработки из расплава для достижения оптимального баланса технологических и прочностных свойств и повышения долговечности клеевых соединений при эксплуатации.

Список источников

1. Зуев А.В., Заричняк Ю.П., Баринов Д.Я., Краснов Л.Л. Исследование теплофизических свойств гибкого теплоизоляционного материала // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). С. 119–126. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-119-126.
2. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4 (65). С. 70–80. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 05.09.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
3. *Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под общ. ред. Е.Н. Каблова*. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости, ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
4. Лукина Н.Ф., Стародубцева О.А., Шарова И.А. Свойства и назначение самоклеящихся материалов авиационного назначения // *Новости материаловедения. Наука и техника*. 2016. № 4 (22). С. 88–100. URL: www.materialsnews.ru (дата обращения: 05.09.2025).
5. Ахмадиева К.Р., Петрова А.П., Шошева А.Л., Боков В.В. Теплостойкий полиимидный клей конструкционного назначения // *Труды ВИАМ*. 2023. № 6 (124). С. 15–24. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-15-24.
6. Чайкун А.М., Боброва И.И., Герасимов Д.М., Сергеев А.В. Эластомеры для герметизирующих жгутовых материалов: свойства, методы получения и особенности изготовления // *Труды ВИАМ*. 2023. № 7 (125). С. 56–68. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.10.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-56-68.

7. Козлов И.А., Исаев А.Ю., Лукина Н.Ф., Алехин А.К., Стародубцева О.А. Клеи с постоянной липкостью, клеи чувствительные к давлению, самоклеящиеся материалы. Современное состояние вопроса. Часть 1 // Клеи. Герметики. Технологии. 2024. № 10. С. 19–28. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-10-19-28.
8. Козлов И.А., Исаев А.Ю., Лукина Н.Ф., Алехин А.К., Стародубцева О.А. Клеи с постоянной липкостью, клеи чувствительные к давлению, самоклеящиеся материалы. Современное состояние вопроса. Часть 2 // Клеи. Герметики. Технологии. 2024. № 11. С. 16–26. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-11-16-26.
9. Клеевая композиция и самоклеящийся материал на ее основе: пат. 2346970 Рос. Федерация; заявл. 08.11.07; опубл. 20.02.09.
10. Селина А.Ю., Люсова Л.Р. Натуральный каучук в клеях с «постоянной» липкостью // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. № 3. С. 13–16.
11. Клей для липких лент: пат. 2185411 Рос. Федерация; заявл. 13.12.00; опубл. 20.07.02.
12. Maltanova H. Polymer coatings of polystyrene (PSt), polyisobutylene (PIB) and tri block copolymer SIBS on MXene films // Coatings. 2022. Vol. 12. P. 1477.
13. Mnyango J.I., Nyoni B., Mama N. et al. Polybutene, polyisobutylene, and beyond: a comprehensive review of synthesis to sustainability // Materials Advances. 2025. Is. 16. P. 5339–5390.
14. Polymeric composition containing a hydrogenated block copolymer and tackifier resin: pat. US7442739B1; appl. 11.01.07; publ. 28.10.08.
15. Hot melt pressure sensitive adhesive composition with intermediate softening point: pat. DE69937111T2; appl. 15.07.99; publ. 12.06.08.
16. Hot melt pressure sensitive adhesive composition: pat. US6384138B1; appl. 02.09.99; publ. 07.05.02.
17. High styrene SBS hot melt adhesive: pat. US8163824B2; appl. 22.04.10; publ. 24.04.12.
18. Клеевая композиция: пат. 2593604 Рос. Федерация; заявл. 03.02.15; опубл. 10.08.16.
19. Чувствительные к давлению клеи: пат. 2208030 Рос. Федерация; заявл. 18.06.96; опубл. 10.07.03.
20. Клеевая композиция для изготовления самоклеящейся ленты: пат. 2466166 Рос. Федерация; заявл. 22.06.09; опубл. 10.11.12.
21. D-серия сополимеров для HMPSA // Kraton Polymers. URL: <https://kraton.com/products/kraton-d/> (дата обращения: 07.07.2025).
22. SEBS tape adhesives by Kraton // SpecialChem. URL: <https://www.specialchem.com/adhesives/product/kraton-kraton-d1118-et> (дата обращения: 04.07.2025).
23. Polymers guide 2024. Kraton A, G, FG series for adhesive applications // Kraton Polymers. URL: <https://kraton.com/products> (дата обращения: 02.07.2025).
24. Kennedy J.E., Higginbotham C.L. Synthesis and Characterisation of Styrene Butadiene Styrene Based Grafted Copolymers for Use in Potential Biomedical Applications // Bio-medical Engineering: Trends in Materials Science. Rijeka: InTech, 2011. P. 475–498. DOI: 10.5772/13051.
25. Ilyin S.O., Melekhina V.Y., Kostyuk A.V., Smirnova N.M. Hot-melt and pressure-sensitive adhesives based on styreneisoprene-styrene triblock copolymer, asphalt-tene/resin blend and naphthenic oil // Polymers. 2022. Vol. 14. P. 4296. DOI: 10.3390/polym14204296.
26. O'Connor A.E., Macosko C.W. Melt versus solvent coating: structure and properties of block-copolymer-based // Journal of Applied Polymer Science. 2002. Vol. 86 (13). P. 3355–3367.
27. Mazzeo F.A. Characterization of Pressure Sensitive Adhesives by Rheology // TA Instruments Report RH082. 2002. No. 1. P. 12.
28. Hot-melt pressure-sensitive adhesive composition: pat. EP 4368682 A1; appl. 10.11.22; publ. 15.05.2024.
29. Modified epoxy resin film for RFI molding process and preparation method thereof: pat. 101735573 CN; appl. 12.03.09; publ. 30.05.12.
30. A kind of hot-fusible pressure-sensitive adhesive and preparation method thereof: pat. CN 103694934 A; appl. 09.12.13; publ. 02.04.14.
31. Hot melt pressure sensitive adhesives for paper labels: pat. WO2008077509A1; appl. 12.04.07; publ. 03.07.08.

32. Methods for producing silicon nitride films and silicon oxynitride films by thermal chemical vapor deposition: pat. US7192626B2; appl. 24.09.03; publ. 20.03.07.
33. Process and apparatus for the conversion of sludges: pat. US5865956A; appl. 23.04.98; publ. 02.02.99.
34. Sherriff M.W. Peel adhesion and viscoelasticity of rubber–resin blends // *Journal of Applied Polymer Science*. 1980. Vol. 18. P. 2597–2608.

References

1. Zuev A.V., Zarichnyak Yu.P., Barinov D.Ya., Krasnov L.L. Measurement of thermophysical properties of flexible thermal insulation. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), pp. 119–126. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 07, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-119-126.
2. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), pp. 70–80. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 05, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
3. *Aviation Materials: a Handbook in 13 vols.* Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, Sealants, Rubbers, Hydraulic Fluids, part 1: Adhesives, Adhesive Prepregs, 276 p.
4. Lukina N.F., Starodubtseva O.A., Sharova I.A. Properties and Purpose of Self-Adhesive Materials for Aviation Purposes. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2016, no. 4 (22), pp. 88–100. URL: www.materialsnews.ru (accessed: September 05, 2025).
5. Akhmadieva K.R., Petrova A.P., Shosheva A.L., Bokov V.V. Heat-resistant polyimide adhesive of constructive purposes. *Trudy VIAM*, 2023, no. 6 (124), pp. 15–24. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 07, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-15-24.
6. Chaykun A.M., Bobrova I.I., Gerasimov D.M., Sergeev A.V. Elastomers for sealing harness materials: properties, methods of receiving and feature of manufacturing. *Trudy VIAM*, 2023, no. 7 (125), pp. 56–68. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 07, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-7-56-68.
7. Kozlov I.A., Isaev A.Yu., Lukina N.F., Alekhine A.K., Starodubtseva O.A. Adhesives with permanent tack, pressure-sensitive adhesives, self-adhesive materials. Current state of the art. Part 1. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2024, no. 10, pp. 19–28. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-10-19-28.
8. Kozlov I.A., Isaev A.Yu., Lukina N.F., Alekhine A.K., Starodubtseva O.A. Adhesives with permanent tack, pressure-sensitive adhesives, self-adhesive materials. Current state of the art. Part 2. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2024, no. 11, pp. 16–26. DOI: 10.31044/1813-7008-2024-0-11-16-26.
9. *Adhesive composition and self-adhesive material based on it*: pat. 2346970 Rus. Federation; appl. 08.11.07; publ. 20.02.09.
10. Selina A.Yu., Lyusova L.R. Natural rubber in adhesives with «permanent» tack. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2012, no. 3, pp. 13–16.
11. *Adhesive for adhesive tapes*: pat. 2185411 Rus. Federation; appl. 13.12.00; publ. 20.07.02.
12. Maltanova H. Polymer coatings of polystyrene (PSt), polyisobutylene (PIB) and tri block copolymer SIBS on MXene films. *Coatings*, 2022, vol. 12, p. 1477.
13. Mnyango J.I., Nyoni B., Mama N. et al. Polybutene, polyisobutylene, and beyond: a comprehensive review of synthesis to sustainability. *Materials Advances*, 2025, is. 16, pp. 5339–5390.
14. *Polymeric composition containing a hydrogenated block copolymer and tackifier resin*: pat. US7442739B1; appl. 11.01.07; publ. 28.10.08.
15. *Hot melt pressure sensitive adhesive composition with intermediate softening point*: pat. DE69937111T2; appl. 15.07.99; publ. 12.06.08.
16. *Hot melt pressure sensitive adhesive composition*: pat. US6384138B1; appl. 02.09.99; publ. 07.05.02.
17. *High styrene SBS hot melt adhesive*: pat. US8163824B2; appl. 22.04.10; publ. 24.04.12.

18. *Adhesive composition*: pat. 2593604 Rus. Federation; appl. 03.02.15; publ. 10.08.16.
19. *Pressure-sensitive adhesives*: pat. 2208030 Rus. Federation; appl. 18.06.96; publ. 10.07.03.
20. *Adhesive composition for the manufacture of self-adhesive tape*: pat. 2466166 Rus. Federation; appl. 22.06.09; publ. 10.11.12.
21. *D-series copolymers for HMP SA by Kraton*. Available at: <https://kraton.com/products/kraton-d/> (accessed: July 07, 2025).
22. *SEBS tape adhesives by Kraton*. Available at: <https://www.specialchem.com/adhesives/product/kraton-kraton-d1118-et> (accessed: July 04, 2025).
23. *Polymers guide 2024. Kraton A, G, FG series for adhesive applications*. Available at: <https://kraton.com/products> (accessed: July 02, 2025).
24. Kennedy J.E., Higginbotham C.L. Synthesis and Characterisation of Styrene Butadiene Styrene Based Grafted Copolymers for Use in Potential Biomedical Applications. *Bio-medical Engineering: Trends in Materials Science*. Rijeka: InTech, 2011, pp. 475–498. DOI: 10.5772/13051.
25. Ilyin S.O., Melekhina V.Y., Kostyuk A.V., Smirnova N.M. Hot-melt and pressure-sensitive adhesives based on styreneisoprene-styrene triblock copolymer, asphaltene/resin blend and naphthenic oil. *Polymers*, 2022, vol. 14, p. 4296. DOI: 10.3390/polym14204296.
26. O'Connor A.E., Macosko C.W. Melt versus solvent coating: structure and properties of block-copolymer-based. *Journal of Applied Polymer Science*, 2002, vol. 86 (13), pp. 3355–3367.
27. Mazzeo F.A. Characterization of Pressure Sensitive Adhesives by Rheology. *TA Instruments Report RH082*, 2002, no. 1, p. 12.
28. *Hot-melt pressure-sensitive adhesive composition*: pat. EP 4368682 A1; appl. 10.11.22; publ. 15.05.24.
29. *Modified epoxy resin film for RFI molding process and preparation method thereof*: pat. 101735573 CN; appl. 12.03.09; publ. 30.05.12.
30. *A kind of hot-fusible pressure-sensitive adhesive and preparation method thereof*: pat. CN 103694934 A; appl. 09.12.13; publ. 02.04.14.
31. *Hot melt pressure sensitive adhesives for paper labels*: pat. WO2008077509A1; appl. 12.04.07; publ. 03.07.08.
32. *Methods for producing silicon nitride films and silicon oxynitride films by thermal chemical vapor deposition*: pat. US7192626B2; appl. 24.09.03; publ. 20.03.07.
33. *Process and apparatus for the conversion of sludges*: pat. US5865956A; appl. 23.04.98; publ. 02.02.99.
34. Sherriff M.W. Peel adhesion and viscoelasticity of rubber–resin blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 1980, vol. 18, pp. 2597–2608.

Информация об авторах

Дубровин Илья Михайлович, техник 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Манжосова Елизавета Николаевна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Исаев Алексей Юрьевич, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Лукина Наталия Филипповна, главный научный сотрудник, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Ilya M. Dubrovin, Second Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Elizaveta N. Manzhosova, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Alexey Yu. Isayev, Deputy Head of Laboratory for Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Natalia F. Lukina, Chief Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 11.11.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 24.11.2025.
The article was submitted 11.11.2025; approved and accepted for publication after reviewing 24.11.2025.