

Оптимизация технологического процесса получения комбинированных фильтровально-сорбционных композиционных материалов

А.В. ГЕНИС, А.В. КУЗНЕЦОВ, Г.М. ИЛЬЮТКИНА, Л.В. ПОЛЯКОВ

Акционерное общество "Научно-исследовательский институт синтетического волокна с экспериментальным заводом" (АО "ВНИИСВ"), г. Тверь, Россия
pro@vniisv.ru

Изучены основные закономерности получения комбинированных фильтровально-сорбционных материалов дублированием с применением клеев-расплавов. Установлено, что реализация технологии одностадийного склеивания позволяет улучшить физические и физико-механические свойства многослойных нетканых холстов. Доказана возможность оптимизации процесса дублирования путем использования метода множественного нелинейного регрессионного анализа. Получены материалы с эксплуатационными свойствами, пригодными для применения в средствах индивидуальной защиты.

Ключевые слова: композиционные фильтровально-сорбционные материалы, клей-расплав, дублирование, технологические параметры, эксплуатационные свойства.

The main regularities of obtaining the combined filter-sorption materials redundancy using hot melt adhesives. It is found that implementation of the one-step bonding technology can improve the physical and mechanical properties of multi-layer nonwoven webs. The possibility of optimizing the duplication process by using the method of multiple nonlinear regression analysis. Obtain materials with performance properties, suitable for use in personal protection.

Keywords: composite filter-sorption materials, hot melt adhesive, duplication, processing parameters, performance characteristics.

В последнее время широкое практическое использование получили гибридные композиционные материалы (ГКМ). Расширение технологических и эксплуатационных свойств таких материалов происходит за счет совмещения в одном ГКМ волокнистых наполнителей различной природы, либо благодаря последовательной укладке материалов в общий холст в виде чередующихся различных слоев [1].

Разновидностью ГКМ являются комбинированные высокоэффективные волокнистые материалы, обладающие широким комплексом фильтрующих, сорбирующих, физико-механических свойств, созданные на основе реализации процессов аэродинамического расплавного и растворного формования, обеспечивающих получение инновационных волокнистых материалов из супертонких волокон диаметром 1–3 мкм и нетканых материалов из полиакрилонитрила (ПАНа) и полиуретана (ПУ), состоящих из тонких волокон, содержащих мелкодисперсный наполнитель [2, 3].

Отличительная особенность технологии формирования комбинированного фильтровально-сорбционного материала (КФСМ) состоит в том, что стадия совмещения составляющих его слоев одновременно сопровождается их склеиванием.

Эффективным способом решения данной проблемы является соединение отдельных слоев материала методом дублирования, либо триплирования.

Дублирование материалов с помощью клеевых систем – является многофакторным технологическим процессом. Он заключается в нанесении клея-адгезива на одну или несколько сторон скрепляемых поверхностей и дальнейшего соединения дублируемых материалов с применением термического воздействия и усилия сжатия, создаваемых на специализированном оборудовании. Склеивание происходит под действием сил адгезии (взаимодействие функциональных групп клея и материала склеивания), а также физического проникновения расплава клея в материал основы (пропитывание) [4].

Важно на практике последовательно осуществить основные стадии склеивания, включая заполнение клеем-адгезивом неровностей соединяемых поверхностей (субстратов), сопровождающееся смачиванием; возникновение адгезии между адгезивом и субстратом; затвердевание клея, вызывающее рост его когезионной прочности. На реализацию указанного

механизма и обеспечение необходимых свойств полученных КФСМ влияет химическая природа клея, характер его распределения на поверхности субстрата, способ и параметры склеивания.

Так при выборе клея-расплава необходимым условием является заметно меньшая его температура размягчения относительно температуры термостойкости волокон субстрата, наличие широкого диапазона плавления адгезива, а также использование клеев на основе сополимеров с высокими значениями показателя текучести расплава (ПТР) [5].

Для сохранения у формируемых многослойных материалов необходимого показателя воздухопроницаемости, определяющего гигиенические свойства и комфортность носки готовых изделий чаще всего применяют точечный принцип распределения адгезива на поверхности субстрата. При этом клеевой слой в виде точек наносится методами насыпания, печатания с использованием ракля, шаблона [4, 5].

Дополнительное улучшение количества клеевых соединений достигается при использовании нетрадиционных способов склеивания, к числу которых относятся прежде всего методы плазмохимической обработки соединяемых материалов, а также воздействие на адгезив и субстрат инфракрасного излучения (ИК). При последнем способе, размягчение клея достигается без разрушения структуры тканой подложки. По этой причине воздействие ИК-излучения на термострепняемые материалы чаще всего применяется в современном оборудовании, оснащенном скоростными инфракрасными нагревательными элементами. Указанный способ нагрева позволяет уменьшить время термообработки материалов, а также предотвратить, либо снизить сминание или деформацию соединяемых материалов. При таком методе нагрева прочность склеенных материалов увеличивается приблизительно на 20–25 %, кроме того значительно экономятся энергетические затраты.

Дополнительно следует отметить, что выбор ИК-нагрева влияет на химическую природу используемого клея, реализуя метод физической (тепловой) активации поверхности.

С учетом проведенного литературного анализа и результатов лабораторных исследований, выполненных в АО "ВНИИСВ", была выбрана схема одностадийного дубли-

рования с нанесением порошкообразного термокля, расплавляемого при воздействии ИК-излучения между склеиваемыми материалами. В результате была создана опытная установка для производства многослойных КФСМ с числом слоев от 2 до 5, позволяющая получать дублированные ткани без термопрогрева второго холста и этим уменьшать происходящее термопластичное уплотнение волокнистых полипропиленовых и угленаполненных составляющих слоев КФСМ, обеспечивая в целом требуемую его воздухопроницаемость. Схема установки показана на рисунке 1.

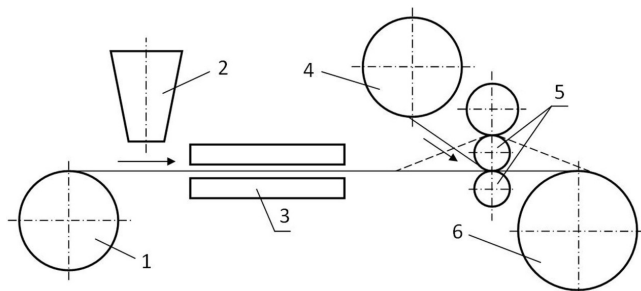


Рис. 1. Схема опытной установки для получения многослойных КФСМ. 1 – разматывающее устройство; 2 – узел для нанесения клеевого порошка; 3 – термокамера для расплавления клея; 4 – устройство для подачи второго покрывного слоя; 5 – уплотняющие валки; 6 – приемное устройство.

Формирование КФСМ происходит в результате первоначальной размотки подстилающего слоя с устройства (1), затем производится подача данного материала к узлу (2) для точечного нанесения клеевого порошка с помощью вращающегося вала-дозатора, имеющего специальное покрытие, со скоростью от 60 до 120 об/мин. Далее подстилающий слой материала с нанесенным точно клеем-адгезивом проходит термокамеру с ИК-излучением для расплавления клея (3). К выходу из термокамеры (3) подстилающего слоя (полипропиленового нетканого материала, либо дублирина) подается второй покрывной слой (угленаполненный нетканый материал) с устройства (4). Образованный двухслойный материал проходит уплотняющие валки (5) и поступает на приемное устройство (6).

В случае изготовления трехслойного материала, с верхнего разматывающего устройства (4) подается двухслойный материал и склеивается с однослойным материалом, подаваемым с разматывающего устройства (1), являющимся, например, дополнительным сорбционным слоем.

Дальнейшее использование созданного оборудования обеспечило достижение поставленной цели по установлению взаимосвязи между физико-механическими и эксплуатационными свойствами КФСМ, определяющими их применение в изделиях для защиты кожи и органов дыхания (СИЗК и СИЗОД), и основными технологическими параметрами склеивания.

Помимо наличия сорбционных и защитных свойств, исследованных в работах [2, 3], КФСМ должны обладать характеристиками востребованными в процессе эксплуатации и носки готовых изделий, к числу которых относится воздухопроницаемость, показатели прочности на расслаивание и при раздирании многослойных материалов.

Указанные физико-механические и эксплуатационные показатели КФСМ определялись по стандартным методикам [6]. Воздухопроницаемость (Q) находили по ГОСТ - 12088-77 на приборе FF-12 фирмы "Метримпекс" при перепаде давления $\Delta P = 50$ Па. Воздухопроницаемость характеризуется количеством воздуха, проходящего через 1 м^2 образца материала за 1 секунду при установленной разности давления по обе

стороны испытуемого образца и рассчитывается по формуле:

$$Q = (v/s) \cdot \tau \quad (1)$$

где v – объем воздуха проходящего через образец, дм^3 ; s – испытываемая площадь изделия, м^2 ; τ – продолжительность испытания, с.

В работе вычислялся показатель остаточного (сохраненного) коэффициента воздухопроницаемости (ΔQ), определяемого по формуле:

$$\Delta Q = Q_2/Q_1 \cdot 100\% \quad (2)$$

где Q_2 – воздухопроницаемость после прессования, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$; Q_1 – воздухопроницаемость исходных слоев, $\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$.

Определение прочности при расслаивании [6] проводили по ГОСТ 15902.3-79 на разрывной машине РМ-3 при зажимной длине 100 мм, скорости расслаивания 30 см/мин на образцах материалов размером 15×200 мм, с предварительным расслаиванием вручную участка испытуемого образца длиной 75 мм.

Прочность при раздирании определяли по ГОСТ 15902.3-79 на разрывной машине "Инстрон" при скорости движения зажимов 50 мм/мин на образцах размером 70×200 мм, с произведенным предварительным надрезом по длине размером 120 мм для обеспечения последующей заправки двух язычков шириной 35 мм в зажимах разрывной машины.

В соответствии с классической теорией адгезии [7] основными технологическими параметрами, влияющими на свойства клеевых соединений, являются температура, давление, длительность контакта адгезива и субстрата в процессе нагревания и сжатия, свойства адгезива, учитывающего рельеф поверхности субстрата.

Необходимо отметить, что изучению степени влияния технологических параметров склеивания на изменения указанных свойств КФСМ предшествовал выбор рецептуры клея-расплава, его гранулометрического состава, характера и количества нанесенного клея.

Практические испытания различных клеев-расплавов [5] показали, что для получения КФСМ на базе ультратонких полипропиленовых и угленаполненных нетканых материалов, разработанных в АО "ВНИИСВ", целесообразным является применение порошкообразных клеев-расплавов широко используемых в промышленности под торговыми марками "Ева", либо "Сэвилен", представляющими собой статистические сополимеры этилена и винилацетата, обладающие низкой температурой плавления от 75 до 90°C. ПТР таких полимеров изменяется от 0,6 до 500 г/10 мин.

В условиях воздействия ИК-излучения при использовании в качестве клея-расплава аморфного сополимера "Сэвилен", обладающего широким температурным интервалом плавления, повышенной адгезией к склеиваемым материалам, удастся размягчить порошкообразный адгезив, произведя склеивание без разрушения структуры составляющих нетканых холстов.

На опытной установке (рис. 1) нанесение порошкового адгезива "Сэвилен" на поверхность субстрата производилось неравномерным точечным методом при средней температуре дублирования 103°C. Влияние дисперсности и количества нанесенного клея оценивалось по снижению воздухопроницаемости образованного двухслойного субстрата. Установлено, что естественный фракционный состав клея марки "Сэвилен" должен содержать оптимальный размер гранул в диапазоне 250–500 мкм. Это обусловлено тем, что крупные частицы обладают меньшей удельной поверхностью при равном количестве нанесенного клея, гарантируя после каландрирования наибольшие значения показателя ΔQ материала, находящегося в пределах 75–85 %, за счет происходя-

щего минимального термического уплотнения.

Нанесение излишнего количества адгезива на поверхность субстрата, приводящего к росту воздушного сопротивления за счет увеличения площади воздухопроницаемых склеек и дополнительного термического уплотнения в процессе формирования готового продукта при дублировании, также сопровождается падением величины ΔQ .

Для оценки влияния поверхностного расхода клея на величину воздухопроницаемости волокнистого угленаполненного материала (ВУМ) были получены цифровые фотографии поверхности ВУМ с нанесенным клеевым порошком. Снимки обрабатывались в графическом редакторе Image J 1.48d, после чего рассчитывалось количество частиц, диаметр частиц, доля поверхности занимаемая клеем (рис. 2, таблица 1).

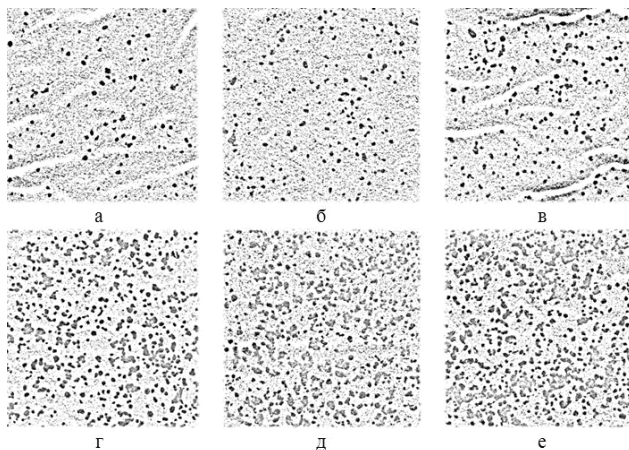


Рис. 2. Снимки поверхности образцов (50×50 мм) сорбционно-активного материала ВУМ с различным количеством клея: а – 2 г/м²; б – 3 г/м²; в – 5 г/м²; г – 15 г/м²; д – 20 г/м²; е – 25 г/м².

Из анализа полученных данных в таблице 1 установлена оптимальная величина поверхностного расхода клеевого порошка в диапазоне 4–8 г/м², обеспечивающая допустимую воздухопроницаемость Q для КФСМ при одновременном сохранении требуемых защитных свойств таких материалов [2] и достаточных физико-механических свойств.

Указанные основные параметры склеивания, включающие температуру склеивания ($t_{ск}$), давление (усилие сжатия) (P), время прессования ($\tau_{ск}$), по разному влияют на свойства клеевых соединений. Влияние температуры $t_{ск}$ обусловлено реологическим характером растекания клея по поверхности соединяемых материалов. Рост температуры $t_{ск}$ приводит к снижению вязкости (η) клея, ускорению перехода в вязкотекучее состояние. Следует ожидать, что при $t_{ск}$ ниже температуры плавления клея, дополнительное увеличение давления P и продолжительности контакта $\tau_{ск}$ не приводит к размягчению клея.

Основным следствием воздействия усилия сжатия (P) является увеличение площади контакта между адгезивом и соединяемыми субстратами, которое обеспечивает улучшение

физико-механических свойств. На практике эффективно результирующее действие параметров $t_{ск}$ и P . Однако чрезмерное повышение $t_{ск}$ и P в процессе дублирования вызывают расплывание клеевых точек, которые, возрастая в диаметре, становятся одновременно хрупкими за счет усиливающих процессов механо-химической деструкции клея расплава. При этом общее содержание адгезива на поверхности субстратов снижается, вследствие нежелательного его проникновения на лицевую сторону соединяемых материалов. В целом следует ожидать, что рост прочности склеивания должен сопровождаться ухудшением гигиенических свойств КФСМ.

Влияние продолжительности прессования обусловлено проявлением упомянутых реологических факторов. Воздействие параметром $\tau_{ск}$ адекватно влиянию $t_{ск}$. Оба параметра связаны со способностью клея-расплава растекаться на поверхности субстрата и заполнять микродефекты последнего.

С учетом сделанных предположений при фиксированном поверхностном расходе клеевого порошка "Сэвилен", составляющем 5 г/м², было осуществлено формирование холстов multifunctional КФСМ путем дублирования исходных составляющих материалов при изменяющихся $t_{ск}$ от 90 до 130 °С, P от 80 до 160 г/см², скорости подачи v_n КФСМ на дублирование от 0,85 до 6,0 м/мин, соответствующей времени $\tau_{ск}$ от 35 до 5 секунд.

У полученных КФСМ определялись величины ΔQ , прочность при расслаивании P_p , прочность при раздире $P_{разд}$. Первоначально установлена взаимосвязь величины $\tau_{ск}$ с температурой $t_{ск}$. При малых скоростях подачи $v_n = 0,85$ м/мин наблюдается длительное время воздействия температурой, приводящее к дополнительной усадке составляющего угленаполненного нетканого холста на базе ПАН и ПУ (ВУМ), которая внешне проявляется в виде коробления холста ВУМ. Зависимость имеет вид:

$$\tau_{ск} = 3,39 \cdot 10^4 \cdot e^{-0,07 \cdot t_{ск}} \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что повышение $t_{ск}$ с 90 до 130 °С адекватно снижению $\tau_{ск}$ с 35 до 5 секунд.

В заданном диапазоне уменьшения скорости v_n , при увеличении показателей $t_{ск}$ и P наблюдается ощутимое снижение ΔQ . Типичная зависимость $\Delta Q = f(t_{ск}, P)$ представлена на рисунке 3, из которого следует, что при $t_{ск} > 110$ °С и $P > 120$ г/см² снижение показателя ΔQ заметно замедляется. Для получения более высоких значений ΔQ требуется реализация процесса дублирования по возможности при низких $t_{ск}$ и умеренных P , обеспечивающих достаточные характеристики P_p и $P_{разд}$.

На рисунках 4 и 5 представлены зависимости $P_p = f(t_{ск}, P)$ при разных скоростях дублирования. В результате установлена оптимальная температурная область, находящаяся в диапазоне 115–120 °С, обеспечивающая наилучшие условия склеивания при уменьшении v_n с 3 до 0,85 м/мин. Падение прочности P_p свыше $t_{ск} = 120$ °С вызвано разрушением надмолеку-

Таблица 1. Зависимость воздухопроницаемости КФСМ от доли поверхности занимаемой клеем.

№ образца	Расход клея, г/м ²	Количество частиц клея, шт/1000 мм ²	Диаметр частиц клея, мм	Доля поверхности занимаемая клеем, %	Расстояние между частицами клея, мм	Воздухопроницаемость, дм ³ /(м ² ·сек)
1	2	47	0,8	2,6	7,2	128
2	3	86	0,8	4,8	6,0	122
3	5	97	1,0	7,1	3,5	116
4	8	120	1,0	10,0	2,8	114
5	15	137	1,1	13,9	2,2	110
6	20	148	1,2	16,9	1,8	90
7	25	176	1,3	23,0	1,1	75

лярной структуры клея-расплава. Отличительная особенность поведения показателя прочности $P_{\text{разд}}$ наблюдается при изменении скорости дублирования в диапазоне от 0,85 до 6,0 м/мин (рис. 6а, 6б, 6в). Отмечено, что при росте v_n с 4 до 6 м/мин показатель $P_{\text{разд}}$ монотонно возрастает, а при уменьшении v_n с 3 до 0,85 м/мин происходит заметное падение прочности $P_{\text{разд}}$.

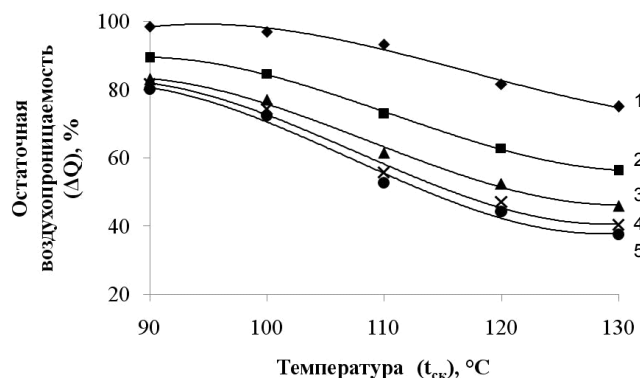


Рис. 3. Зависимость остаточной воздухопроницаемости ΔQ определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 6,0$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

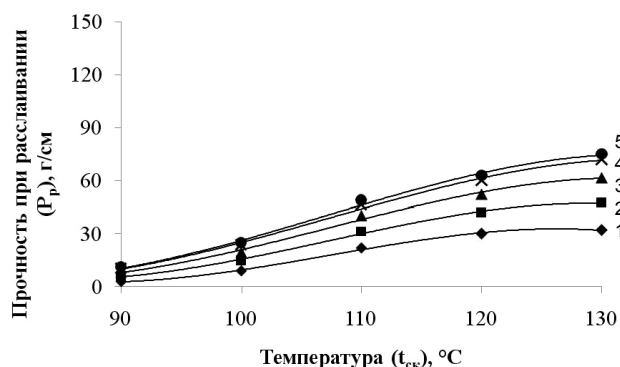


Рис. 4. Зависимость прочности при расслаивании P_p определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 6,0$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

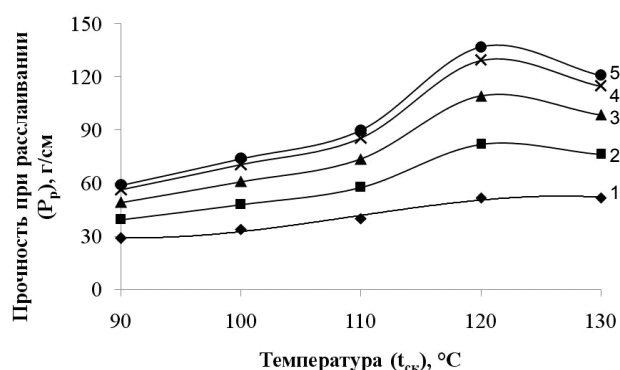


Рис. 5. Зависимость прочности при расслаивании P_p определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 0,85$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

Это объясняется в первую очередь тем, что при увеличении времени воздействия температурой происходит не только деструкция адгезива, но и частичное разрушения, вследствие происходящей усадки, структуры холстов-субстратов, сформированной в процессе аэродинамического формования.

Это, прежде всего, касается склеек между волокнами в нетканых материалах образующих составные слои КФСМ.

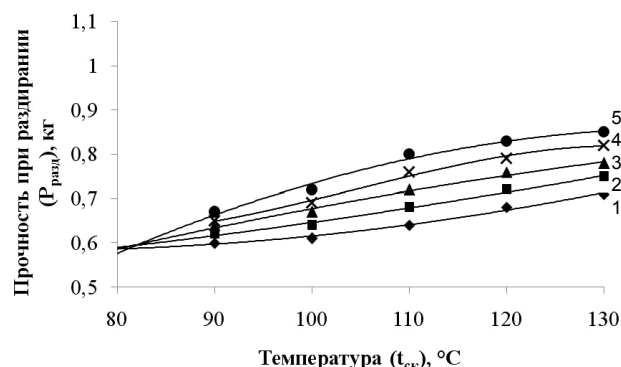


Рис. 6а. Зависимость прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 6,0$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

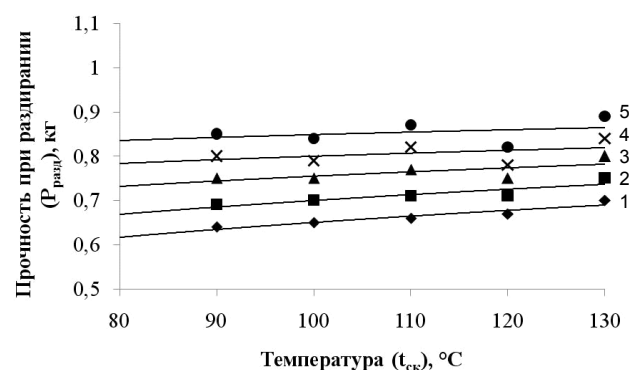


Рис. 6б. Зависимость прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 3,0$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

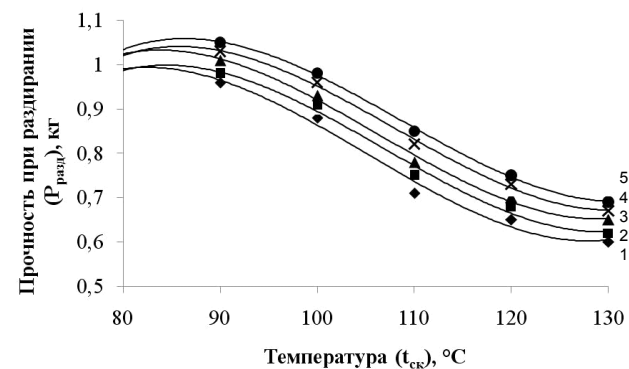


Рис. 6в. Зависимость прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ определенной экспериментально от температуры $t_{\text{ск}}$ при скорости дублирования $v_n = 0,85$ м/мин и давлениях: 1 – 80 г/см²; 2 – 100 г/см²; 3 – 120 г/см²; 4 – 140 г/см²; 5 – 160 г/см².

Хотя на первом этапе исследований была показана зависимость эксплуатационных свойств КФСМ от отдельных параметров склеивания ($t_{\text{ск}}$, P , v_n), при этом, не учитывалось, в полной мере, влияние последних друг на друга. Поэтому для анализа взаимосвязи между параметрами дублирования ($t_{\text{ск}}$, P , v_n) и механическими, физическими свойствами (P_p , $P_{\text{разд}}$, ΔQ) КФСМ, а также с целью выявления технологических параметров, наиболее заметно влияющих на конечные характеристики указанного материала, был применен метод множественной регрессии. Общее его назначение состояло в определении количественных соотношений между несколькими

независимыми переменными и зависимой переменной. Массив исходных данных состоял из 125 значений по каждому параметру склеивания.

При проведении анализа линейной модели множественной регрессии были получены данные о недостаточной ее адекватности. Поэтому для уточнения модели в уравнения были добавлены дополнительные нелинейные члены. Методом множественного нелинейного регрессионного анализа определены уравнения (4–6), связывающие указанные параметры дублирования с перечисленными характеристиками КФСМ:

$$\Delta Q = 5,72 \cdot \ln v_n - 2,31 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{ск}}^3 - 9,46 \cdot 10^{-6} \cdot P^3 + 108,33 \quad (4)$$

$$P_p = -18,95 \cdot \ln v_n + 3,40 \cdot 10^{-5} \cdot t_{\text{ск}}^3 + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot P^2 - 4,19 \quad (5)$$

$$P_{\text{разд}} = -6,92 \cdot 10^{-2} \cdot \ln v_n + 6,55 \cdot 10^{-8} \cdot t_{\text{ск}}^3 + 8,09 \cdot 10^{-6} \cdot P^2 + 0,62 \quad (6)$$

Совокупное влияние всех независимых переменных (v_n , $t_{\text{ск}}$, P) на зависимые переменные (P_p , $P_{\text{разд}}$, ΔQ) в модели множественной нелинейной регрессии оценивалось с помощью коэффициента детерминации R^2 и множественного коэффициента корреляции R , анализ которых показывает, что модель объясняет большую часть изменчивости соответствующих переменных [8]. Связи между переменными по шкале Чеддока могут быть оценены как весьма высокие ($0,9 < R < 1,0$). Для регрессионных уравнений (4–6) коэффициенты детерминации и корреляции приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты множественного нелинейного регрессионного анализа исходных данных.

Зависимые переменные	β_{v_n}	$\beta_{t_{\text{ск}}}$	β_P	R	R^2
ΔQ	0,22	-0,63	-0,62	0,93	0,87
P_p	-0,46	0,65	0,51	0,98	0,96
$P_{\text{разд}}$	-0,32	0,46	0,44	0,93	0,86

На основании экспериментальных и расчетных данных, полученных с помощью регрессионных уравнений (4–6), были построены графики изменения эксплуатационных характеристик КФСМ от параметров дублирования (рис. 7–9). Эти графики демонстрируют хорошую корреляцию между расчетными и экспериментальными данными, а значит возможность применения регрессионных уравнений для оценочного расчета эксплуатационных характеристик КФСМ в зависимости от параметров дублирования, а также для выбора режима дублирования с целью получения КФСМ с требуемыми свойствами.

Однако стоит отметить, что точность расчетов характеристик КФСМ, производимых с помощью регрессионных уравнений (4–6), значительно снижается при одновременно высоких значениях $t_{\text{ск}}$ и $t_{\text{ск}}$. Как было ранее отмечено, это объясняется тем, что при длительном воздействии высоких температур происходит деструкция адгезива и разрушение структуры холста-субстрата, что сопровождается значительным снижением P_p и $P_{\text{разд}}$ (рис. 5 и 6в). Эти процессы выходят за рамки регрессионной модели, поэтому при выборе параметров дублирования (v_n , $t_{\text{ск}}$, P) для получения КФСМ с требуемыми свойствами (P_p , $P_{\text{разд}}$, ΔQ) в расчетах необходимо применять уравнение (3), позволяющее подобрать оптимальные $t_{\text{ск}}$ и v_n адекватные $t_{\text{ск}}$.

Важную роль при оценке влияния независимых переменных играют коэффициент регрессионной модели в уравнениях (4–6). Однако, в нелинейных уравнениях с их помощью напрямую не удастся сопоставить независимые переменные по степени их влияния на зависимую переменную из-за различия единиц измерения и разной степени колеблемости. Для устранения таких различий при интерпретации модели применяют бета-коэффициенты (стандартизированные коэф-

фициенты регрессии) (таблица 2), которые рассчитываются по формуле [8]:

$$\beta_j = a_j \cdot \sigma_{x_j} / \sigma_y \quad (7)$$

где β_j – соответствует части величины среднееквadraticного отклонения (σ_y) зависимой переменной (y) при изменении независимой переменной (x_j) на величину своего среднееквadraticного отклонения (σ_{x_j}), при постоянстве значений остальных независимых переменных.

Количественные вклады независимых переменных $t_{\text{ск}}$, P , v_n в изменение эксплуатационных свойств КФСМ установлены с помощью β -коэффициентов, указанных в таблице 2.

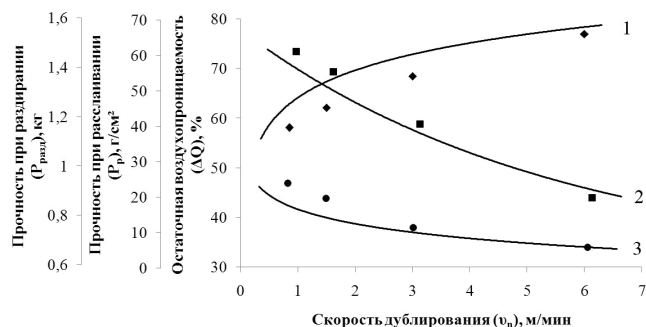


Рис. 7. Изменение остаточной воздухопроницаемости ΔQ (1), прочности при расслаивании P_p (2) и прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ (3) от скорости дублирования v_n , при $t_{\text{ск}} = 100^\circ\text{C}$, $P = 120 \text{ г/см}^2$ (точки – экспериментальные данные, линии – данные рассчитанные по уравнениям (4)–(6)).

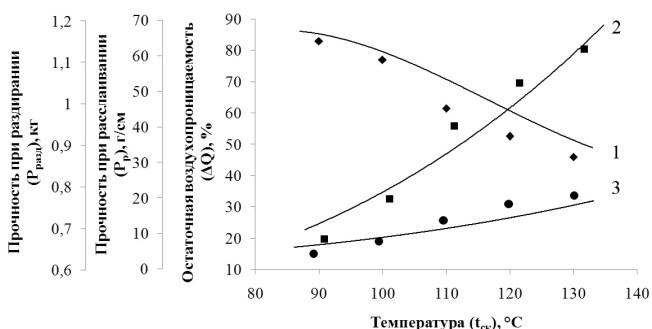


Рис. 8. Изменение остаточной воздухопроницаемости ΔQ (1), прочности при расслаивании P_p (2) и прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ (3) от температуры $t_{\text{ск}}$, при $v_n = 6 \text{ м/мин}$, $P = 120 \text{ г/см}^2$ (точки – экспериментальные данные, линии – данные рассчитанные по уравнениям (4)–(6)).

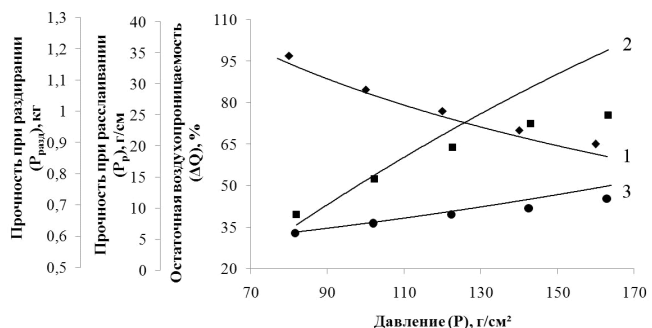


Рис. 9. Изменение остаточной воздухопроницаемости ΔQ (1), прочности при расслаивании P_p (2) и прочности при раздирании $P_{\text{разд}}$ (3) от давления P , при $v_n = 6 \text{ м/мин}$, $t_{\text{ск}} = 100^\circ\text{C}$ (точки – экспериментальные данные, линии – данные рассчитанные по уравнениям (4)–(6)).

Из результатов регрессионного анализа (таблица 2) следует, что наибольшее влияние на ΔQ , P_p и $P_{\text{разд}}$ оказывают

температура склеивания ($t_{ск}$) и прижимное давление (P) в процессе дублирования, причем зависимость $\Delta Q = f(t_{ск}, P)$ является обратнопропорциональной, а зависимости $P_p = f(t_{ск}, P)$ и $P_{разд} = f(t_{ск}, P)$ – прямопропорциональными.

Одновременно следует подчеркнуть, что для сохранения требуемых значений воздухопроницаемости при величинах ΔQ изменяющихся в пределах от 75 до 90 % процесс получения КФСМ необходимо осуществлять при скорости подачи материала на дублирование в пределах 2–3 м/мин, при сравнительно низких значениях $t_{ск}$ от 95 до 105°C, при умеренном давлении 100–120 г/см², обеспечивающих допустимые механические свойства КФСМ.

Таким образом, созданные математические модели для прогнозирования основных эксплуатационных характеристик КФСМ подтвердили обоснованность установленных закономерностей при реализации технологии дублирования, определив степень влияния каждого компонента в данном процессе.

Литература

1. Крыжановский В.К., Бурлов В.В. и др. Технические свойства полимерных материалов. - С.-Петербург: Профессия, 2005. - 235 с.
2. Генис А.В., Байдаков Б.В. и др. // Пластические массы. 2013. №5. С. 20 - 22.
3. Кузнецов А.В., Генис А.В. и др. // Химические волокна. 2015. №6. С. 68 - 74.
4. Шайдоров М.А. Клеевые материалы и клеевые соединения при производстве одежды: учебное пособие. - Витебск: ВГТУ, 2003. - 133 с.
5. Поциус А.В. Клеи, адгезия, технология склеивания. - С.-Петербург: Профессия, 2007. - 375 с.
6. Нетканые текстильные материалы. Методы испытаний нетканых полотен. Обзор. - М.: ЦНИИ и ТЭИМпро, 1984. - 61 с.
7. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия. - М.: Ростехиздат, 1960. - 243 с.
8. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика. - М.: Наука, 1985. - 320 с.

УДК 678

Естественная кратность вытяжки - базовая характеристика зоны пластического разрушения

В.Г. Колбая¹, В.В. Коврига²

¹ ООО "Климовский трубный завод", Климовск, Россия

² ООО "Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО", Москва, Россия
kovriga@polyplastic.ru

Разработана методика определения ЕКВ в зоне пластического разрушения полиэтиленовых труб при гидравлических испытаниях. Показано, что ЕКВ мало меняется при переходе от одноосного к двухосному нагружению. Проанализировано изменение соотношения поверхности к объёму для различных видов полиэтилена. Показано, что современный ассортимент трубных полиэтиленов позволяет получать материал со значениями ЕКВ, отличающимися друг от друга до двух раз.

Ключевые слова: полиэтиленовые трубы, пластическое разрушение, естественная кратность вытяжки

The method of determination of the natural extension ratio in plastic failure zone after hydraulic pressure test was develop. The volume of natural extension ratiometer in uniaxial and double axial loading conditions is the same. The ratio between surface and volume of the test pieces was analyzed for different kinds of polyethylene. It shows that for the different kinds of polyethylenethe natural extension ratiocan bevery different, up to two times.

Keywords: polyethylene pipe, plastic failure, the natural extension ratio

В практике оценки качества полимерных материалов и изделий широко используется оценка перехода от пластического разрушения к хрупкому. Однако подробная оценка параметров пластического разрушения обычно не производится.

В настоящей работе предпринята попытка использовать

для оценки пластического разрушения параметр естественной кратности вытяжки (ЕКВ).

ЕКВ формируется при одноосном растяжении в момент образования шейки, при двухосном растяжении в момент образования зоны пластического разрушения (килы). Параметр