

# Анализ причин усадки шумо- и теплоизоляционных нетканых полотен и разработка мероприятий по её предупреждению

Лукьянова Е.Л.,  
кандидат технических наук

Витебский государственный  
технологический университет,  
г. Витебск, Беларусь

УДК 677.026.4





Обосновано использование нетканых материалов при строительстве общепланетарного транспортного средства (ОТС). Проведены исследования двух типов волокон, описаны технологические особенности производства нетканых полотен. Так как для получения таких материалов применяется физико-химический способ формирования склеек из полимеров, экспериментальным путём установлена оптимальная температура сушки полотен для предотвращения их повышенной усадки.

*Ключевые слова:* волокно, вторичное сырьё, нетканые материалы, образец, текстильная промышленность, температура, эксперимент.



## Введение

На строительство общепланетарного транспортного средства (ОТС) потребуется большое количество различных материалов, которые в основном будут доставлены с Земли. Использование экоматериалов [1], а также вторичного сырья (отходов) при возведении ОТС – один из аспектов снижения экологической нагрузки на планету. Отходы текстильной промышленности также могут быть задействованы в данном процессе (например, при обустройстве ЭкоКосмоДомов (ЭКД) или для звуко- и теплоизоляции транспортных модулей ОТС).

Перспективное направление применения текстильных отходов как вторичного сырья – изготовление нетканых композиционных материалов способом термоскрепления, который имеет три модификации: горячее прессование, сварка и аутогезионное взаимодействие. Полученные таким образом полотна могут использоваться:

- в строительстве в качестве тепло- и шумоизоляции, подложки под ламинат и линолеум;
- в машиностроении в качестве шумоизоляции для автомобилей [1, 2].

Применение нетканых композитов из текстильных отходов позволяет значительно снизить трудоёмкость изготовления материалов для строительства транспорта и жилья; в дальнейшем окажет положительное влияние на себестоимость работ по возведению ОТС.

Одним из этапов технологического процесса производства названных материалов является сушка (стабилизация) волокнистого холста посредством воздействия на него температуры. Термофиксация происходит в печи за счёт расплава равномерно распределённых связующих волокон.

В УО «Витебский государственный технологический университет» (УО «ВГТУ») разработаны разные составы волокнистых смесей [3], однако во всех из них содержатся компоненты, которые под влиянием температуры дают усадку, из-за чего сокращаются размеры готового полотна. Для использования в машиностроении нетканые материалы ламинируют и формируют по размеру и конфигурации деталей, для которых они предназначены. При термофиксации волокнистый холст должен подвергнуться (с целью предотвращения усадки во время ламинации) воздействию такой температуры, которая позволит скрепить волокна между собой, т. е. образовать склейки, и при этом провести принудительную усадку с соблюдением требуемых линейных размеров ширины полотна. В настоящей работе уделено внимание данному процессу.

## Описание исследования

В качестве термосвязующего (скрепляющего) волокна в смесках используется бикомпонентное полиэфирное волокно марки 4DE51Слон (рисунок 1) и полиэфирное волокно марки 6DE64 (рисунок 2) – полое высокоизвитое несиликонизированное волокно.



Рисунок 1 – Волокно марки 4DE51Слон (производство Корея)

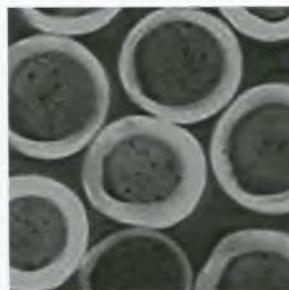


Рисунок 2 – Волокно марки 6DE64 (производство Корея)

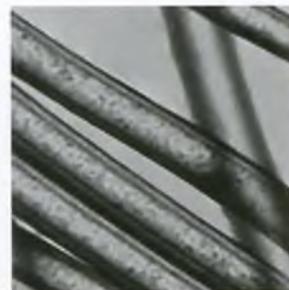
Производителем заявлена температура плавления волокон:

- марки 4DE51Слон – 160–180 °С;
- марки 6DE64 – 140–160 °С.

Волокно марки 4DE51Слон содержит в своей структуре две составляющие – ядро и оболочку. За счёт низкой температуры плавления оболочки бикомпонентное полиэфирное волокно (БИК), именуемое также «легкоплав», применяется как связующий элемент. Внешний вид такого волокна под микроскопом представлен на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Вид БИК под микроскопом:  
а – поперечное сечение волокна;  
б – волокно по длине

Оболочка БИК состоит из полиэтилена, обладает свойством повышенной мягкости, а также характеризуется низкой температурой соединения; значит, может быть использована в качестве связующего компонента в смеси волокон или с другими материалами. Вещество ядра (полиэфир) необходимо для обеспечения целостности продукта. Ядро не расплавляется во время соединения и формирует трёхмерную сеть, придавая нетканому изделию прочность.

Процесс сушки (стабилизации) осуществляется следующим образом: полотно автоматически размещается на конвейере перед печью и продвигается по ходу линии между двумя перфорированными лентами транспортера. Печь состоит из горячих камер и секции охлаждения. В горячей камере воздух форсировано вдувается вентиляторами через диффузор. На горелке воздух нагревается до установленной температуры обработки волокон. В секции охлаждения вентилятор работает в режиме всасывания,

используя внешний воздух для охлаждения и стабилизации продукта. Затем воздух выдувается через вытяжную трубу.

При воздействии температуры все волокна претерпевают изменения. Рассмотрим поведение полотна, состоящего из экспериментальной смеси (таблица 1), в процессе стабилизации.

Высота полотна при выходе с холстоформирующей машины составляла 0,2 м, после прохождения печи при режимах и параметрах, указанных в таблице 2, – 0,16 м; ширина холста до сушки – 1 м, после сушки – 0,98 м.

Таким образом, усадка материала составила по высоте 20 %, по ширине – 2 %, что говорит о его анизотропии. Подобные показатели недопустимы, поскольку максимально возможная по ширине усадка, которая в последующем компенсируется прижимными валами в секции охлаждения, равна 1 %.

Таблица 1 – Волокнистый состав экспериментальной смеси

Компонент	Заданная по рецепту доля компонента в готовой смеси, %	Фактическая доля компонента в исследуемой пробе, %	Абсолютная разница, %	Неравномерность распределения волокон компонента в смеси, %
Полипропилен	15,6	15	0,6	3,8
Полиэфир	40	43	3	7,5
Аппретирующая смесь	2,8	0	2,8	100
Полиамид	13,6	13	0,6	4,4
Шерсть	12	13	1	8,3
Вискоза	8	8	0	0
Хлопок	8	8	0	0

Таблица 2 – Технические характеристики печи термоскрепления

Показатель	Значение
Длина печи, м	9
Температура воздействия, °С	180
Скорость прохождения полотна, м/мин	15

Проанализируем процентное содержание компонентов волокна на выходе из печи для образца, представленного в таблице 1. Исследования проводились в Центре испытаний и сертификации УО «ВГТУ». Результаты согласно протоколу испытаний даны в таблице 3.

Как показано в таблице 3, доля компонентов в исследуемой пробе нетканого материала уменьшилась по сравнению с показателями пробы сформированного холста. Такие изменения связаны с поведением волокон, входящих в смесь. Некоторые из их свойств представлены в таблице 4 [4].

Из таблицы 4 видно, что полипропилен и полиэтилен, входящие в БИК, расплавились – в готовом материале они не распознаны, а шерсть, вискоза и хлопок при температуре работы печи близки к разрушению, что объясняет снижение их доли.

Рассматриваемый способ получения нетканых материалов является физико-химическим, основанным на формировании склеек из полимеров, входящих в смесь и пребывающих под воздействием температуры. Активация клеящей способности волокон осуществляется при переходе их в вязко-текучее состояние. Полимеры (полипропилен, полиэфир, полиамид) в таком виде подобно жидкостям способны растекаться по поверхности волокон и смачивать её, что необходимо для формирования адгезионного контакта и получения прочной адгезионной связи.

Склейки создаются прослойкой связующего компонента между волокнами в местах их пересечений и поэтому считаются контактными. Они имеют минимальные размеры и прочность, а также оптимальную шарнирную подвижность (рисунок 4).

Таблица 3 – Процентное содержание компонентов экспериментальной смеси

Доля компонента в исследуемой пробе сформированного холста		Доля компонента в исследуемой пробе нетканого материала*	
Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Полиэфир	43	Полиэфир	40
Полипропилен	15	Шерсть	10
Полиамид	13	Другие виды волокон (полиамид, вискоза, хлопок)	50
Шерсть	13		
Вискоза	8		
Хлопок	8		

\* Доля компонента в исследуемой пробе нетканого материала находилась по двум видам волокон, так как в протоколе испытаний содержание компонента ниже 10 % не выявлялось.

Таблица 4 – Свойства компонентов экспериментальной смеси

Компонент	Температура, °C		Усадка при температуре плавления, %
	плавления	разрушения	
Полипропилен	130–170	325	12–15
Полиэфир	255–260	341	40–50
БИК:			
• ядро (полиэфир)	255–260	341	40–50
• оболочка (полиэтилен)	130–145	349	1–2
Полиамид	254–260	355	1–2
Шерсть	–	170	2–3
Вискоза	–	150–160	5–8
Хлопок	–	180–220	2–6

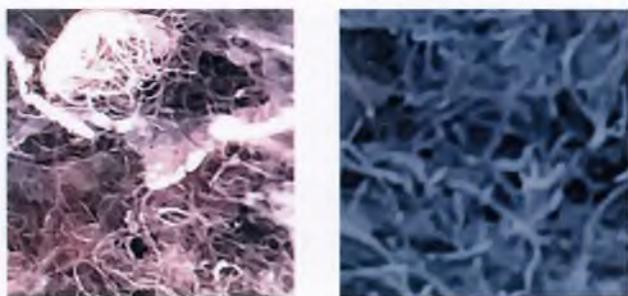


Рисунок 4 – Вид сформированного холста под микроскопом

Ширина готового полотна должна быть не менее 1 м. Усадка в 1 см по ширине нетканого материала, как уже отмечалось ранее, компенсируется при прохождении между уплотняющими валами после системы охлаждения. При этом неровности обрезаются продольным резак.

Таким образом, при формировании нетканых материалов существенной характеристикой является усадка (соответственно, и интервал температур, в котором она обнаруживается). Однако важно знать не только возможное изменение размеров полотна в результате указанного процесса, но и скорость усадки при различных температурах.

Как для любого термически активируемого релаксационного процесса, скорость и время усадки обусловлены энергией активации. Следовательно, представляет интерес определение релаксационных параметров процесса усадки полотна по данным линейной дилатометрии с целью установления механизма, кинетики процесса и оценки стабильности нетканых материалов с содержанием полимеров при различных температурах.

Для оптимизации технологического процесса термофиксации требуется подобрать такую температуру воздействия на материал, которая позволит создать склейки, достаточные для адгезии, при этом не изменит ширину

полотна в готовом виде. Для этого проведён эксперимент, где использовались смеси с разным процентным содержанием связующего волокна (в одних связующий элемент – БИК 4DE51Слон, в других – полиэфирное волокно 6DE64) (таблица 5).

В работе руководствовались следующими параметрами: планируемая толщина полотна – 27 мм, скорость движения ленты – 15 м/мин, продолжительность воздействия температуры на образцы – 36 с. Усадкой холста первоначальной толщиной 0,2 м пренебрегли, так как в последующем материал уплотняется до толщины 27 мм.

Результаты испытаний представлены на рисунке 5.

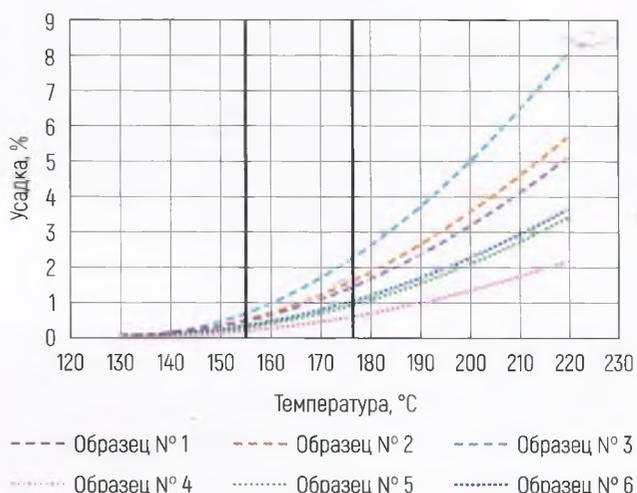


Рисунок 5 – График зависимости величины усадки образцов от температуры воздействия

Нижний предел температуры эксперимента выбран по температуре плавления полиэтилена, верхний – по максимально возможной температуре работы печи.

Таблица 5 – Состав экспериментальных смесей

Образец	Компоненты	Доля в смеси, %	Образец	Компоненты	Доля в смеси, %
№ 1	6DE64	15	№ 4	4DE51Слон	15
	Регенерированное волокно	85		Регенерированное волокно	85
№ 2	6DE64	25	№ 5	4DE51Слон	25
	Регенерированное волокно	75		Регенерированное волокно	75
№ 3	6DE64	35	№ 6	4DE51Слон	35
	Регенерированное волокно	65		Регенерированное волокно	65

## Выводы

График (рисунок 5) показывает, что смеси с содержанием БИК 4DE51Слон должны подвергаться сушке при температуре 130–178 °С, а с содержанием волокна марки 6DE64 – 130–160 °С (при максимально допустимой усадке материала не более 1%). Несоблюдение указанных температурных режимов способствует повышенной усадке полотен по ширине и, как следствие, производству бракованной продукции. Для того чтобы предупредить дефекты готовых изделий, данные параметры должны быть учтены при дальнейшей ламинации материала для использования его в ОТС.

## Литература

1. Гаранин, В.Н. Возможности использования древесных экоматериалов в конструктивных элементах общепланетарного транспортного средства / В.Н. Гаранин // Безракетная индустриализация ближнего космоса: проблемы, идеи, проекты: материалы IV междунар. науч.-техн. конф., Марьина Горка, 18 сент. 2021 г. / ООО «Астроинженерные технологии», ЗАО «Струнные технологии»; под общ. ред. А.Э. Юницкого. – Минск: СтройМедиаПроект, 2022. – С. 161–167.
2. Зими́на, Е.Л. Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов: монография / Е.Л. Зими́на, А.Г. Коган, В.И. Ольшанский. – Витебск: ВГТУ, 2019. – 230 с.
3. Технологии переработки отходов химического волокна коврового производства / Е.Л. Зими́на [и др.] // Химические волокна. – 2019. – № 1. – С. 23–25.
4. Зими́на, Е.Л. Разработка технологии производства шумоизоляционных материалов с использованием отходов / Е.Л. Зими́на, Н.В. Ульянова, О.Д. Ващенко // Химические волокна. – 2020. – № 5. – С. 43–45.



