

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБНОСТИ
К РЕЛАКСАЦИОННОМУ ВОССТАНОВЛЕНИЮ
ПОЛИУРЕТАНОВОГО ПОКРЫТИЯ ТКАНЕЙ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ИМПОРТНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ***

**COMPARATIVE ANALYSIS OF RELAXATION RESTORATION
CAPACITY OF POLYURETHANE FABRIC COATINGS
OF DOMESTIC AND IMPORTED MANUFACTURERS**

Ю.И. МАРУЩАК, Н.Н. ЯСИНСКАЯ

YU.I. MARUSHCHAK, N.N. YASINSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Belarus)

E-mail: tonk.00@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru

В условиях циркулярной экономики особый интерес представляют материалы, способные к восстановлению после технологических повреждений, к которым относятся проколы швейными иглами (прорубаемость). Однако для текстильных материалов с полимерным покрытием отсутствуют стандартизированные методы оценки данного свойства, что затрудняет их сравнительный анализ и прогнозирование свойств. В работе проведена оценка способности таких материалов к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой. Для исследования использовалась методика, предложенная авторами, включающая два этапа: моделирование повреждения путем формирования машинных строчек без нитки иглами разной геометрии (Schmetz, типы SPI, LL, R, № 80, 90) и мониторинг релаксационных процессов в стандартизированных климатических условиях с количественной оценкой уменьшения площади прокола с помощью оптической микроскопии. Установлено, что ключевым фактором, определяющим способность к релаксационному восстановлению, является толщина эластичного полимерного слоя. Образцы с толщиной покрытия более 500 мкм проявили свойства восстановления (99,9% за 0,25...5 мин), в то время как образцы с толщиной слоя менее 450 мкм показали замедленную и неполную релаксацию, зависящую от геометрии иглы. Исследованные импортные образцы не

* Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)", которая состоялась 18-19 ноября 2025 года в учреждении образования "Витебский государственный технологический университет" (Республика Беларусь).

проявили способности к релаксационному восстановлению в течение 72 часов, что связано с их структурными особенностями (жесткость полимера, структура). Установлено, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками материала.

In the context of a circular economy, materials capable of recovery from technological damage, including punctures by sewing needles (cutability), are of particular interest. However, for textile materials with a polymer coating, there are no standardized methods for assessing this property, which complicates their comparative analysis and property prediction. This study assessed the ability of such materials to relax after puncture by a sewing needle. The study utilized a methodology proposed by the authors, which includes two stages: simulating damage by forming machine stitches without thread using needles of different geometries (Schmetz, types SPI, LL, R, No. 80, 90) and monitoring relaxation processes under standardized climatic conditions with a quantitative assessment of the reduction in puncture area using optical microscopy. It was established that the key factor determining the ability to relax recovery is the thickness of the elastic polymer layer. Samples with a coating thickness greater than 500 μm exhibited recovery properties (99.9% in 0.25-5 min), while samples with a layer thickness of less than 450 μm showed delayed and incomplete relaxation, depending on the needle geometry. The studied imported samples did not exhibit the ability to relax recovery within 72 hours, which is due to their structural properties (polymer rigidity, structure). It was established that the initial puncture area and the ability to relax recovery are independent material characteristics.

Ключевые слова: релаксационное восстановление, прорубаемость, полиуретановое покрытие, искусственная кожа, сравнительный анализ.

Keywords: relaxation recovery, cutability, polyurethane coating, artificial leather, comparative analysis.

Введение

Современный текстильный рынок характеризуется растущим спросом на материалы, которые не только могут выполнять базовые функции, но и обладают специфическими свойствами, например, способностью к восстановлению [1], что обусловлено возрастающими требованиями к долговечности и функциональности материалов со стороны потребителей. Текстиль, используемый в производстве одежды, галантерейных изделий, спецодежды, должен сохранять целостность и надежность в условиях эксплуатации и воздействия внешних факторов. Одним из наиболее уязвимых мест любого текстильного изделия являются швы и места проколов, образующиеся в процессе его изготовления швейными иглами.

Эти микроповреждения нарушают структурную целостность материала, снижая эстетические и потребительские свойства готового изделия, что в конечном итоге приводит к сокращению его срока службы. В текстильном материаловедении данное явление известно как прорубаемость (рис. 1). Потребность в текстильных материалах, способных к восстановлению, диктуется не только техническими факторами.

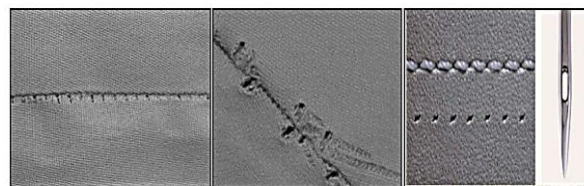


Рис. 1

С экономической точки зрения увеличение срока службы текстильных изделий напрямую снижает расходы и частоту их замены. С экологической стороны продление жизненного цикла продукции является ключевым принципом циркулярной экономики, позволяющим минимизировать объемы текстильных отходов, которые сегодня представляют одну из наиболее острых проблем для окружающей среды.

Важно отметить, что механизм и последствия проруба по-разному трактуются и проявляются для различных типов текстильных материалов. Для ткани выделяют явную прорубку – полное разрушение нитей полотна в процессе пошива, выявляемое при осмотре швов, и скрытую прорубку – частичное разрушение нитей полотна в процессе пошива, выявляемое после стирки. В соответствии с ГОСТ 26006 "Полотна и изделия трикотажные. Методы определения явной и скрытой прорубки" для трикотажа явная прорубка – полное разрушение петель полотна при пошиве, выявляемое при просмотре его вдоль шва, а скрытая прорубка – частичное разрушение петель полотна при пошиве после механического воздействия на полотно и шов. В соответствии с ГОСТ 20840-75 "Кожа искусственная мягкая. Пороки. Термины и определения" для искусственных кож применяется следующая трактовка термина: проруб мягкой искусственной кожи – производственный порок, характеризующийся повреждением полимерного покрытия и основы мягкой искусственной кожи.

Механизм повреждения трикотажных полотен при шитье рассмотрен в [2]. Опубликовано исследование, в котором проникновение швейной иглы в ткань записано с помощью высокоскоростной видеотехники. При пошиве одежды ткань подвержена повреждению под действием ряда факторов или их комбинации, а именно: увеличения коэффициента трения (пряжа о пряжу и пряжа об иглу), размера иглы и модуля натяжения пряжи. Подбором швейных игл в зависимости от плотности и механических свойств материала занимались авторы [3]. Они установили, что на возможность разрушения материала в процессе по-

шива оказывает влияние соответствие по толщине швейной нитки и иглы. Если толщина швейной нитки больше, чем возможно для данной иглы, нитка выступает из паза иглы, назначением которого является предохранение от соприкосновения с материалом в момент прокола. В результате соприкосновения швейной нитки с материалом возникает дополнительное натяжение, которое может привести к разрушению материала. На возможность разрушения нитей материала оказывает также влияние и количество одновременно сшиваемых слоев. Толщина иглы является важным параметром и должна соответствовать толщине швейного материала и швейной нити. Установлено, что на прорубание материала и величину отверстий проколов, обусловленные процессом пошива или стачивания, существенно влияет диаметр стержня (номер) машинной иглы и форма заточки ее острия. С изменением номера иглы от 90 до 100 прорубание может увеличиваться в 1,5...3 раза [4]. В работе [5] представлены исследования о влиянии нагрева на процесс шитья материалов с покрытием и качество сшитых изделий, который может приводить к их оплавлению и усугублению повреждения, а также методах снижения нагрева иглы. В работе [6] авторы напрямую измеряют силу прокола для технических текстильных материалов и устанавливают связь с качеством шва. В [7] исследовано, как проколы иглой разрушают целостность водонепроницаемого слоя текстильного материала.

Проведенный анализ исследований позволяет сделать вывод, что проблема прорубаемости текстильных материалов в процессе шитья является комплексной и изучается в контексте взаимного влияния факторов. Установлено, что ключевыми параметрами являются геометрия швейной иглы (диаметр стержня, форма заточки острия) и свойства материала (толщина, плотность). Для классических текстильных структур (тканей, трикотажа) механизм повреждения преимущественно заключается в раздвигании и разрыве нитей, что подробно исследовано и систематизировано. Вместе с тем выявлен пробел в изучении данного явле-

ния применительно к материалам со сплошным полимерным слоем, таким как искусственная кожа и материалы с покрытием. Существующие исследования, затрагивающие смежные области (нагрев иглы, приводящий к оплавлению полимерных покрытий, повреждение водонепроницаемых мембран), косвенно указывают на актуальность и специфичность данной темы. Таким образом, отсутствие систематизированных данных о механизме прорубания материалов с полимерными покрытиями обуславливает необходимость проведения исследований в данной области.

Современная тенденция к созданию "умных" и долговечных материалов требует проведения исследований в области восстанавливающихся полимеров. На сегодняшний день разработан ряд перспективных технологий создания таких полимеров, однако вопрос их адаптации для швейных изделий, подверженных специфическим повреждениям в виде проколов от игл, не получил должного освещения в научной литературе. Существующие исследования, в частности работы [8, 9], посвящены преимущественно самовосстанавливающимся полимерам, керамике, бетонам и металлам в "объемном" исполнении. Авторы [8] анализируют физико-химические механизмы восстановления дефектов и перспективы внедрения этих технологий, однако их объекты исследования имеют иную природу деформации, нежели текстильные структуры. Несмотря на активные исследования в области синтеза самовосстанавливающихся полимеров [10], вопрос объективной оценки способности к восстановлению текстильных материалов с покрытием остается актуальным. Существующие методики [7],

как правило, не учитывают специфику структуры "ткань-покрытие", а также характер повреждений, наиболее вероятных для швейных изделий. Отсутствие методики оценки затрудняет сравнение способности к релаксационному восстановлению полимерных покрытий отечественных и зарубежных материалов.

Целью данной работы является сравнительная оценка способности к релаксационному восстановлению полимерного покрытия отечественных и зарубежных текстильных материалов одежного назначения на основе визуального метода.

Объект и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны ткани с пористым полиуретановым покрытием различной толщины (Беларусь). Исследуемые образцы представляют собой композиты, образованные сочетанием двух слоев, где в качестве основы использована хлопчатобумажная ткань саржевого переплетения, а лицевой слой представляет собой пористое полиуретановое покрытие, формируемое шаберным способом. Для нанесения лицевого слоя использовали соединение стабильной пены для образования эффекта искусственной кожи на основе полиуретана (анионное, pH 8-9) [11...13].

В качестве импортных образцов выбраны искусственные кожи, позиционируемые производителями как "экокожа", применяемая для пошива одежды. В основе таких образцов используется тканое (полиэстер или хлопчатобумажное) или трикотажное полотно, а в качестве полимерного покрытия – полиуретан или поливинилхлорид. Характеристики исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Шифр	Состав материала	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина полимерного слоя, мкм	Толщина всего материала, мкм	Производитель
№2р	Х/б ткань саржевого переплетения, пористый полиуретан	310	450	800	Беларусь
№3с		350	350	650	
№4г		340	530	900	
№5ч		390	720	910	
№5си	Полиэстер, тканое полотно, поливинилхлорид	500	400	700	Китай

№6б	Полиэстер, трикотажная основа, полиуретан	280	170	450	Корея
№7чи	Х/б ткань полотняного переплетения, полиуретан	430	410	710	Китай

Релаксационное восстановление рассматриваемых материалов возможно благодаря использованию полиуретана, который содержит высокое количество физических связей (водородных и ван-дер-ваальсовых), составляющих 50...90% от общего числа поперечных связей. При механическом повреждении (проколе) эти связи способны разрушаться и перестраиваться [14].

В данной работе под релаксационным восстановлением понимается процесс уменьшения размеров прокола во времени за счет релаксации напряжений в полимерном слое. Однако эффективность восстановления зависит от нескольких факторов: размера повреждения, типа материала и его покрытия, условий окружающей среды и метода обработки [12].

Существует классическая методика оценки прорубаемости тканых материалов [14]. Однако прямое применение рассматриваемой методики является невозможным, так как она ориентирована на подсчет количества проколов от иглы (прорубов), а не на оценку способности к релаксационному восстановлению полимерного слоя [14]. Поэтому актуальным являлась адаптация методики под изучаемые материалы. Данная методика включала несколько этапов оценки.

Первый этап – моделирование технологического повреждения. Для воспроизведения повреждения, возникающего в процессе пошива, на испытуемых образцах выполнялись машинные строчки без нитки. Это позволило изолировать и изучать исключительно деформацию материала, вызванную проколом иглы. Параметры строчки (частота – 3 стежка на 1 см) установлены в соответствии с типовыми промышленными режимами для данных категорий материалов [14]. Важным параметром на данном этапе являлся выбор швей-

ной иглы, поскольку геометрия ее острия напрямую определяет характер и степень повреждения. В исследовании использовались иглы марки Schmetz с различными типами заточки острия (SPI, LL, R), что позволило смоделировать различные воздействия геометрии иглы на материал. Номера игл (№80, 90) подбирались в зависимости от толщины исследуемого материала.

Второй этап – мониторинг релаксационных процессов. После проколов образцы помещались в стандартизированные климатические условия (температура 20 ± 2 °C, относительная влажность $65 \pm 4\%$). Уменьшение площади проколов регистрировалось с установленной периодичностью [14]. Для количественной оценки использовался оптический микроскоп Альтами МЕТ 5, оснащенный планахроматическим объективом PL L 5X/0.12 BD, что обеспечивало необходимое разрешение при увеличении 50х. На каждом временном интервале проводились замеры геометрических параметров прокола (площади и формы) с последующим расчетом процента восстановления.

Результаты и обсуждение

Для отечественных образцов (№2р, №3с, №4г, №5ч), показавших способность к релаксационному восстановлению в процессе исследования, проводилась регистрация изменения площади прокола во времени, кинетика процесса восстановления представлена на рис. 2 (а – образец №2р, б – образец №3с, в – образец №4г, г – образец №5ч).

Последующий расчет процента восстановления представлен в виде диаграмм на рис. 3.

Анализ кинетических кривых (рис. 2) выявил различия в релаксационном поведении, позволяя классифицировать материалы на отдельные группы по скорости восстановления и его эффективности.

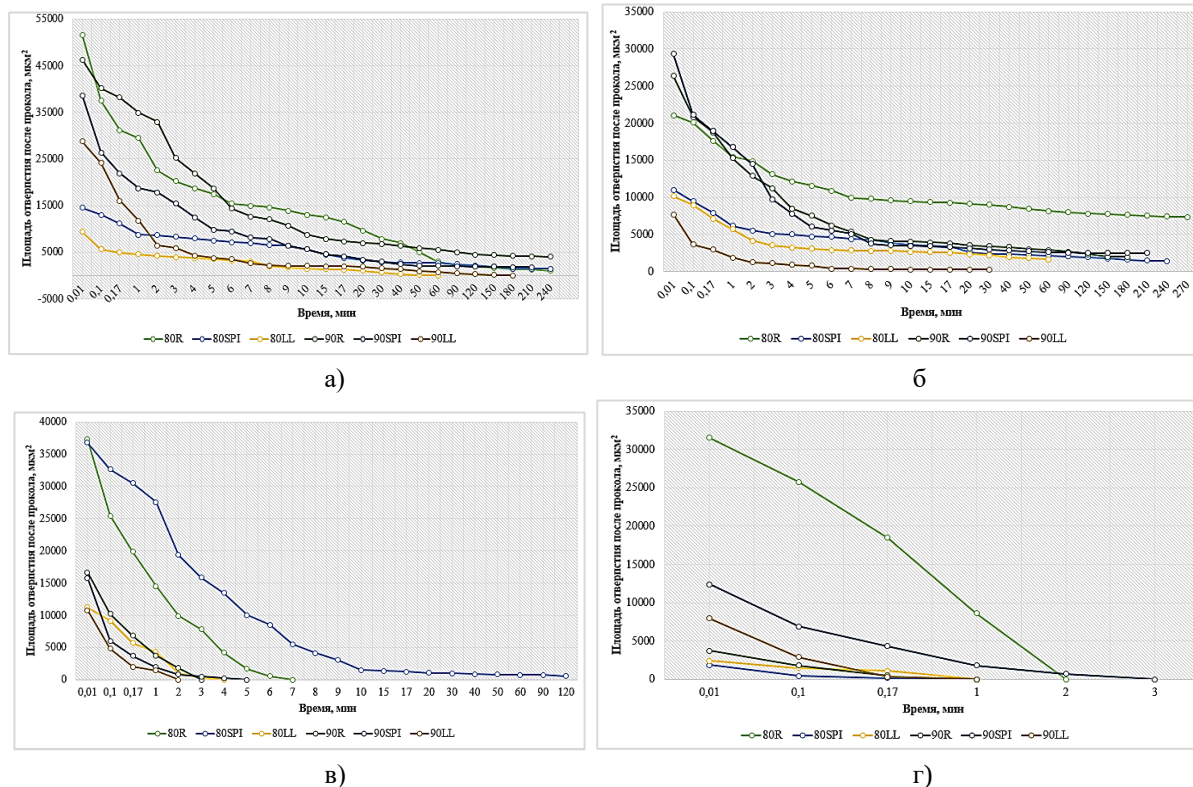


Рис. 2

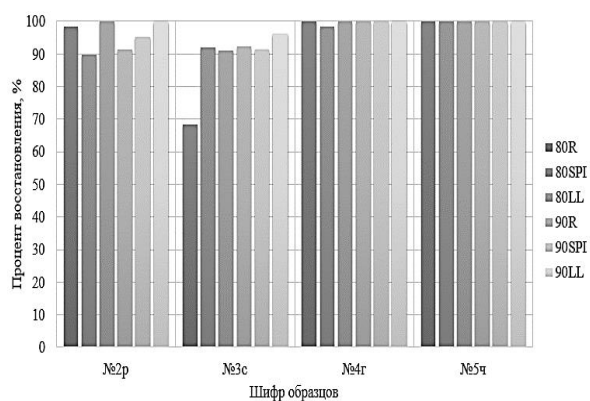


Рис. 3

Образцы с быстрым восстановлением (№4г, №5ч) – к данной группе относятся материалы с наибольшей толщиной полимерного слоя (530 и 720 мкм соответственно). Образец №5ч демонстрирует лучшую скорость релаксационного восстановления (0,25...3 мин). Это позволяет сделать вывод о том, что слой полимера обладает значительным запасом упругой деформации, способным компенсировать повреждение от прокола иглой. Образец №4г, несмотря на меньшую толщину слоя по сравнению с №5ч, также показывает удовлетворительную кинетику релаксационного вос-

становления. Время достижения восстановления не превышает 2...5 минут для большинства проколов, а для иглы 90LL составляет менее 1 минуты.

Образцы с замедленным и неполным восстановлением (№2р, №3с) – материалы этой группы характеризуются наименьшей толщиной полимерного слоя (450 и 350 мкм). Для них запаса эластичности и упругости оказывается недостаточно для полного релаксационного восстановления повреждения, особенно при использовании игл с геометрией типа R. Прокол в образце №3с от иглы 80R создает наибольшую зону деформации, которая не затягивается полностью за 24 часа (68,5%). Для образца характерна общая замедленная кинетика восстановления по сравнению с другими материалами. Наибольшая степень и скорость релаксации достигается при использовании игл LL и SPI. Образец №2р занимает промежуточное положение. Более толстое, чем у №3с, покрытие (450 мкм) позволяет ему эффективно восстанавливаться после проколов от острых игл (LL, SPI), но оказывается недостаточным для полного затягивания повреждений от иглы R. Наиболее эффективное

и быстрое затягивание прокола наблюдается при использовании игл с заточкой LL, оптимальное восстановление достигается в течение 60...180 минут.

Результаты, представленные на рис. 3, демонстрируют, что исследованные образцы (№2р, №3с, №4г, №5ч) обладают способностью к релаксационному восстановлению после прокола швейной иглой. Процент восстановления прокола в боль-

шинстве случаев превышает 90%, а для образцов №4г и №5ч достигает почти 100% (99,9%) для всех типов игл, что подтверждает эффективность использованной технологии создания покрытия на основе пористого полиуретана. На рис. 4 представлены микрофотографии процесса релаксационного восстановления для образца №4г при проколе иглой 90R.

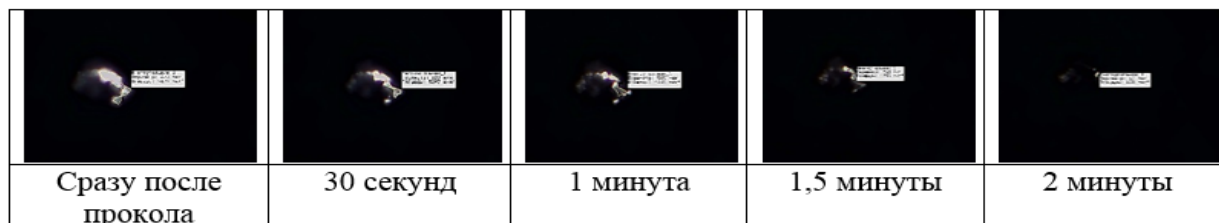


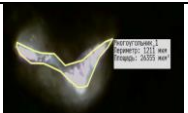
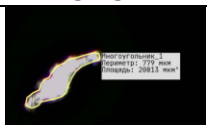
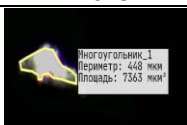
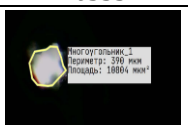
Рис. 4

Наибольшую начальную площадь повреждения и, как следствие, наибольшую сложность для релаксации формировали иглы с заточкой R (округлое острие). Иглы с заточкой LL (узкая клиновидная) показывали лучшие результаты: быстрое (до 1 минуты) и почти полное (99,9%) затягивание прокола, что связано с образованием ланцевидной формы прокола, способной к более быстрому восстановлению.

В результате проведенных исследований установлено отсутствие способности импортных образцов к релаксационному восстановлению полимерного покрытия. Для данной группы образцов (№5си, №6б, №7чи) измерялась начальная площадь повреждения (табл. 2).

Таблица 2

Шифр образца	Тип иглы		
	80 SPI	80 LL	80 R
№5си			
Площадь прокола, мкм ²	13436	43805	10799
№6б			
Площадь прокола, мкм ²	31680	8921	21029
№7чи			
Площадь прокола, мкм ²	5255	40871	37490
	90 SPI	90 LL	90 R
№5си			

Площадь прокола, мкм ²	17779	7231	6319
№6б			
Площадь прокола, мкм ²	52252	14618	26355
№7чи			
Площадь прокола, мкм ²	20013	736	10804

Как и в случае с отечественными образцами, геометрия иглы влияет на размер начального повреждения. Однако здесь нет единой закономерности, какой тип иглы вызывает максимальные или минимальные повреждения. Это говорит о том, что форма и размер прокола зависят от конкретной структуры материала. В момент извлечения иглы наблюдалось четко выраженное сквозное отверстие с приподнятыми деформированными краями полимерной пленки. Края отверстия не смыкались. После выдержки (24 часа) изменения в размере прокола минимальны и статистически незначимы. Наблюдалась лишь незначительная релаксация напряженного материала по краям прокола, но полного восстановления не произошло. Микрофотографии наглядно

демонстрируют отсутствие каких-либо признаков затягивания дефекта в течение контрольного периода. После 72 часов наблюдения дефект оставался явно видимым.

Жесткая структура ПВХ и отсутствие в его составе большого количества физических связей, способных к релаксационному восстановлению, являются основной причиной неспособности образца №5си к минимизации видимых проколов. Отсутствие релаксационного восстановления у полиуретановых образцов №6б и №7чи, вероятно, связано с их структурой, которая не обеспечивает необходимой молекулярной подвижности для затягивания прокола.

Для всех исследованных образцов в табл. 3 сведены максимальные и минимальные значения начальной площади прокола.

Таблица 3

Параметр	Шифр образца	Тип иглы	Площадь прокола, мкм ²	Примечание
Максимальная площадь	№6б	90SPI	52252	Наибольшее повреждение среди всех образцов. Восстановление отсутствует.
	№2р	80R	51578	Наибольшее повреждение среди отечественных образцов. Успешно восстановилось на 98,5%.
Минимальная площадь	№7чи	90LL	736	Наименьшее повреждение среди всех образцов. Восстановление отсутствует.
	№5ч	80SPI	1838	Наименьшее повреждение среди отечественных образцов. Успешно восстановилось на 99,9%.

Минимальная площадь повреждения зафиксирована у импортного образца №7чи, который при этом не обладал способностью к восстановлению. В то же время отечественный образец №5ч, показавший большую площадь начального повреждения, продемонстрировал оптимальное и быстрое релаксационное восстановление (99,9% за

0,25...1 мин). Это доказывает, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками и высокие показатели по одному параметру не гарантируют высоких показателей по-другому.

ВЫВОДЫ

Экспериментально установлено, что ключевым фактором, определяющим способность к релаксационному восстановлению, является толщина эластичного полимерного слоя. Материалы с толщиной покрытия свыше 500 мкм (образцы №4г и №5ч) проявили свойства быстрого восстановления, достигая 99,9% затягивания прокола в течение 0,25...5 минут независимо от геометрии иглы. Материалы с толщиной слоя менее 450 мкм (№2р, №3с) показали замедленную и неполную релаксацию, зависящую от параметров иглы.

Выявлено, что геометрия острия швейной иглы влияет на начальную площадь повреждения и эффективность последующего восстановления. Иглы с заточкой R нанесли наибольшие повреждения, в то время как иглы с заточкой LL обеспечивали наилучшие условия для последующей релаксации прокола.

Проведенный сравнительный анализ показал, что исследованные импортные образцы (№5си, №6б, №7чи) не проявили способности к релаксационному восстановлению в контролируемых условиях в течение 72 часов, что связано с их структурными особенностями: использованием жесткого ПВХ (№5си) и структурой полиуретановых покрытий (№6б, №7чи), ограничивающей молекулярную подвижность полимера.

Установлено, что начальная площадь прокола и способность к релаксационному восстановлению являются независимыми характеристиками. Наименьшее начальное повреждение зафиксировано у импортного образца, не способного к восстановлению, в то время как отечественные образцы демонстрировали полное релаксационное восстановление даже после значительных по площади проколов.

Полученные результаты доказывают конкурентоспособность и перспективность отечественных материалов с покрытием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Турусбекова Н.К., Суйналиева Б.Б. Перспективные материалы в производстве изделий легкой

промышленности // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2018. № 1(45). С. 259...266.

2. Stylios G.K., Zhu R. The mechanism of sewing damage in knitted fabrics // Journal of Textile Institute, Part-1, 2009. Vol. 89 №2, pp. 411...421.

3. Аvezов М.Ф., Кулиева Д.Р. Подбор швейных игл в зависимости от плотности и механических свойств материала // Сб-к науч. тр. по итогам Междунар. науч. конф., посвященной 135-летию со дня рождения проф. В.Е. Зотикова. М., 2022. Ч. 1. С. 19...25.

4. Щербакова Н.И. Развитие методов оценки технологических свойств современных материалов для целей проектирования и изготовления одежды: монография. Красноярск, 2020. 196 с.

5. Aychilie D.B., Kyosev Y. Sewing needle heating: A review on the research regarding causes, effects and methods for its reduction // International conference on textile and apparel innovation. 2022. 10 pp.

6. Domjanic J., Kovacevic S. An investigation of fabric properties and needle penetration force during tailoring // Tekstil ve konfeksiyon, №26(1), 2016. pp. 100...108.

7. Yüksel Y.E., Korkmaz Y. Investigation of sewing and water repellent performance of outdoor clothing // International Journal of Clothing Science and Technology ahead-of-print. 2019.

8. Ситников Н.Н., Хабибуллина И.А., Маченко В.И., Ризаханов Р.Н. Оценка перспектив применения самовосстанавливающихся материалов и технологий на их основе // Перспективные материалы. 2018. №2. С. 5...16.

9. Alsaad Y.M., Kareem B.J., Sultanalieva N. etc. Advancing smart textiles with nanotechnology: legal and industrial perspectives // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 5(419). С. 257...265.

10. Hillewaere X.K.D., Du Prez F.E. Fifteen Chemistries for Autonomous External Self-Healing Polymers and Composites. Progress in Polymer Science, 2015, 104 p.

11. Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Петюль И.А. Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств экокож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №2 (404). С. 103...111.

12. Ясинская Н.Н., Марущак Ю.И., Скобова Н.В. Влияние кратности вспенивания полиуретановой композиции и толщины нанесенного слоя на потребительские свойства искусственных кож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. №2 (410). С. 225...232.

13. Коваленко Г.М., Бокова Е.С. Предварительное структурообразование растворов полиуретанов при производстве пористых лицевых покрытий синтетических кож // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2025. № 4(418). С. 105...115.

14. Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Петюль И.А. Разработка методики оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2025. № 2(52). С. 44...54.

REFERENCES

1. Turusbekova N.K., Suinalieva B.B. Advanced materials in the production of light industry products // Bulletin of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov. 2018. № 1 (45). P. 259...266.
2. Stylios G.K., Zhu R. The mechanism of sewing damage in knitted fabrics // Journal of Textile Institute, Part-1. Vol. 89, №2, pp. 411...421.
3. Avezov M.F., Kulieva D.R. Selection of sewing needles depending on the density and mechanical properties of the material // Collection of scientific papers following the results of the International Scientific Conference dedicated to the 135th anniversary of the birth of Professor V.E. Zotikov. Moscow, 2022. Part 1. Pp. 19...25.
4. Shcherbakova N.I. Development of methods for assessing the technological properties of modern materials for the design and manufacture of clothing: monograph. Krasnoyarsk, 2020. 196 p.
5. Aychilie D.B., Kyosev Y. Sewing needle heating: A review on the research regarding causes, effects and methods for its reduction // International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021). 10 pp.
6. Domjanic J., Kovacevic S. An investigation of fabric properties and needle penetration force during tailoring // Tekstil ve konfeksiyon. №26(1). 2016. pp. 100...108.
7. Yüksel Y.E., Korkmaz Y. Investigation of sewing and water repellent performance of outdoor clothing // International Journal of Clothing Science and Technology ahead-of-print. 2019.
8. Sitnikov N.N., Khabibullina I.A., Mashchenko V.I., Rizakhanov R.N. Assessment of the pro-

spects for the use of self-healing materials and technologies based on them // Advanced Materials. 2018. №2. pp. 5...16.

9. Alsaad Y.M., Kareem B.J., Sultanalieva N. etc. Advancing smart textiles with nanotechnology: legal and industrial perspectives // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 5(419). P. 257...265

10. Hillewaere X.K.D., Du Prez F.E. Fifteen Chemistries for Autonomous External Self-Healing Polymers and Composites. Progress in Polymer Science, 2015. 104 p.

11. Marushchak Yu.I., Yasinskaya N.N., Petyul I.A. Development of quality indicators nomenclature and evaluation of eco-leather properties // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. №2 (404). P. 103...111.

12. Yasinskaya N.N., Marushchak Yu.I., Skobova N.V. Influence of foaming rate of polyurethane composition and thickness of applied layer on consumer properties of artificial leather // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2024. №2 (410). P. 225...232.

13. Kovalenko G.M., Bokova E.S. Preliminary structuring of polyurethane solutions in the production of porous synthetic leather face coverings // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2025. № 4(418). P. 105...115.

14. Marushchak Yu.I., Yasinskaya N.N., Petyul I.A. Development of a methodology for assessing the self-healing ability of the integrity of the polymer layer of a textile material after puncture with a sewing needle // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2025. № 2 (52). P. 44...54.

Рекомендована организационным комитетом Международной научно-технической конференции "Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)". Поступила 11.02.26.