

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СПОСОБНОСТИ К САМОВОССТАНОВЛЕНИЮ ЦЕЛОСТНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ ТКАНИ ПОСЛЕ ПРОКОЛА ИГЛОЙ

METHOD FOR ASSESSING THE ABILITY OF SELF-RESTORATION OF THE INTEGRITY OF THE POLYMER LAYER OF TISSUE AFTER NEEDLE PINCING

Ю.И. Марущак, Н.Н. Ясинская
Yu.I. Marushchak, N.N. Yasinskaya

Витебский государственный технологический университет (Республика Беларусь)
Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus)
E-mail: tonk.00@mail.ru, yasinskayaNN@rambler.ru

Повреждения, возникающие в процессе пошива изделий, снижают прочность и долговечность, а также эстетические свойства материала. На сегодняшний день разработаны текстильные материалы с покрытием и искусственные кожи, способные к самовосстановлению целостности структуры полимерного слоя после прокола швейной иглой. Однако, до сих пор отсутствовала методика, позволяющая провести объективный анализ прорубаемости для материалов с полимерным покрытием или оценить их способность к самовосстановлению после прокола иглой. Автор представляет результаты оценки самовосстановления и разработки методики оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой для целей проектирования и изготовления одежды.

Ключевые слова: полиуретановое покрытие, прокол, самовосстановление, прорубаемость, швейная игла, кинетика восстановления, методика.

Damage occurring during the sewing process reduces the strength and durability, as well as the aesthetic properties of the material. Coated textile materials and artificial leathers have been developed to date that are capable of self-healing the integrity of the polymer layer structure after being punctured by a sewing needle. Despite the importance of this topic, there has been no methodology to date that would allow an objective analysis of the puncture resistance of polymer-coated materials or to assess their self-healing ability after being punctured by a needle. This paper presents the results of the self-healing assessment and the development of a methodology for assessing the self-healing ability of the polymer layer of a textile material after being punctured by a sewing needle for the purposes of designing and manufacturing clothing.

Keywords: polyurethane coating, puncture, self-healing, cut-through, sewing needle, kinetics of recovery, methodology.

Как известно [1], технологические свойства текстильных материалов проявляются на различных этапах швейного производства – в процессе моделирования, конструирования, раскroя, стачивания и влажно-тепловой обработки изделий. К таким свойствам относится и прорубаемость, которая возникает при производстве швейных изделий, когда материал подвергается проколу иглой. Она характеризуется появлением нежелательных перфораций в области машинной или ручной строчки, которые ухудшают внешний вид материала [1]. Анализ литературных источников позволил выделить существующие методики оценки прорубаемости. В трикотажной промышленности используется стандартный метод определения прорубки на приборе СП-1 в соответствии с ГОСТ 26006-83 «Полотна и изделия трикотажные. Методы определения явной и скрытой прорубки». Методика оценки прорубаемости ткани при шитье [2] включает выполнение параллельных машинных строчек без нитки на сложенных вдвое образцах ткани длиной 150 мм каждая и частотой 7 стежков на 1 см с последующим визуальным подсчетом числа поврежденных нитей с помощью увеличительной лупы. В соответствии с патентом РФ 2516894 «Устройство для оценки повреждаемости нитей текстильных материалов при шитье» устройство содержит смонтированные в рабочей области нитеподатчика швейной машины оптоэлектронные элементы, обеспечивающие синхронизацию информации о формировании стежка и поступающего с веб-камеры изображения. Наряду с экспериментальными методами

существует методика расчета, основанная на положениях теории вероятности [3]. По методике ЦНИИШП прорубка характеризуется числом поврежденных нитей, приходящихся на 100 проколов иглы, и рассчитывается по формуле [3]. Однако прорубаемостью обладают не только ткани и трикотаж. Искусственная и натуральная кожа, материалы с покрытием, различные плёнки также склонны к появлению нежелательной перфорации. Стачивать детали из таких материалов рекомендуется, не допуская дефектов, так как на покрытии остаются следы прокола, что ухудшает эстетические и потребительские свойства материала [4]. Прорубаемость в контексте материалов с покрытием отличается от классических знаний для ткани и трикотажа, что требует детального исследования и понимания механизмов, лежащих в основе этого процесса.

На сегодняшний день разработаны искусственные кожи и ткани с полиуретановым покрытием, способные к самовосстановлению целостности структуры после прокола иглой. Это свойство обусловлено особенностями полиуретана. В отличие от других реактопластов физические связи в полиуретане составляют 50-90% от общего числа поперечных связей в объеме полимера, поэтому структура обладает способностью разрушаться и перестраиваться [5]. Процесс самовосстановления означает частичное сближение краев прокола за счет вязко-эластичных свойств материала. Однако, необходимо отметить, что эффективность восстановления ограничена. Установлено, что для текстильных материалов с полимерным покрытием и кожи отсутствует общепризнанная методика, позволяющая оценить способность полимерного покрытия к самовосстановлению после прокола швейной иглой, что является препятствием для прогнозирования свойств материала в процессе пошивы или эксплуатации, при конфекционировании, а также для их внедрения и коммерциализации. Проведенный анализ позволил выделить и систематизировать факторы, влияющие на прорубаемость тканей с полимерным покрытием [6]. Одним из ключевых аспектов подготовки к пошиву является выбор правильной швейной иглы, поскольку несоответствие характеристик иглы материалу повышает его прорубаемость [3,6]. Для определения оптимальных методов обработки тканей с полимерным покрытием необходимо проведение экспериментальных исследований по установлению влияния толщины полимерного покрытия, геометрии иглы на способность самовосстановления целостности структуры после прокола.

Целью данной работы является установление влияния характеристик иглы (диаметра стержня и формы заточки острия) на способность к самовосстановлению и разработка методики оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой. Данные исследования позволят обоснованно выбирать тип иглы и необходимость дополнительного воздействия влажно-тепловой обработки, что позволит швейным производствам снизить количество дефектов, вызываемых при пошиве изделий.

Актуальность работы подтверждается тем, что выполнялась в соответствии с заданием ГПНИ 8.4.2.1 «Создание армирующих текстильных структур с заданными свойствами и технологий формирования многофункциональных композиционных материалов с использованием отечественной сырьевой базы» государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021-2025 годы.

В качестве исследуемых образцов использовали ткани с пористым полиуретановым слоем одежного назначения различной толщины, сформированные шаберным способом, характеристики которых приведены в таблице 1. Данный материал является разработкой авторов статьи совместно со специалистами предприятий текстильной и легкой промышленности Беларуси.

Таблица 1

Характеристики образцов

Шифр образца	Толщина полиуретанового покрытия, мкм	Толщина всего материала, мкм	Поверхностная плотность, г/м ²
№1з	150	500	260
№2р	350	650	350
№3с	450	850	310
№4г	530	900	340
№5ч	720	910	385

Способность к самовосстановлению оценивали поэтапно. Первый этап – формирование повреждения – прокол швейной иглой определенного диаметра и формы заточки острия. Выполняются машинные строчки без нитки на испытуемых образцах, с частотой 3 стежка на 1 см. Частота стежка выбрана с учетом режимов, применяемых в производстве для подобных материалов. Выбор параметров иглы осуществляется с учетом специфики применения материала. Традиционные иглы могут повредить полимерное покрытие ткани, вызывая тем самым высокую прорубаемость материала. Известно, что для искусственной кожи и тканей с полиуретановым покрытием (типа «экокожа») рекомендуется применять специальные швейные иглы Microtex (заточка острия SPI) [7]. Отличительной особенностью этих игл является их тонкий и острый конец, который позволяет легко проникать в ткани, минимизируя повреждения материала. Аналогичный по структуре искусственной коже исследуемый материал допускает использование швейной иглы с заточкой острия иглы LL, которая оптимальна для всех видов кожи, применяемых при производстве кожаной одежды. Для работы с исследуемыми материалами также подойдет стандартная круглая игла «R», часто используемая при обработке тканей с защитным слоем, ламинированных материалов [6]. В рамках данного исследования использовали иглы фирмы «Schmetz» с заточкой острия SPI, LL, R (рис. 1) номер № 80, 90, 100.



Рис. 1. Формы заточки острия швейной иглы

Второй этап – наблюдение за процессом самовосстановления. После нанесения повреждений, образцы помещаются в контролируемые условия (температура, влажность), и проводится регистрация динамики регенерации. Для замера площади отверстия после проколов использовали микроскоп Альтами MET5 увеличение 50Х. С установленной периодичностью проводили замеры изменения площади прокола. Визуально процесс самовосстановления полимерного слоя после прокола швейной иглой представлен на микрофотографиях (рис. 2).

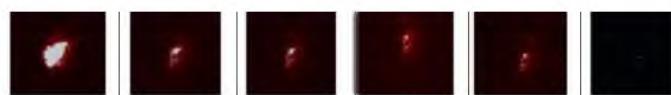


Рис. 2. Микрофотографии процесса самовосстановления

В качестве оценочных критериев выбраны начальная и конечная площадь прокола, время, прошедшее до достижения конечной площади. Под конечной площадью подразумевается полное восстановление прокола, либо достижение равновесного состояния, при котором площадь прокола меняется незначительно или остается неизменной.

В результате исследований установлено, что время затягивания прокола сокращается при использовании иглы с LL заточкой более чем на 50% по сравнению с игрой с заточкой R, что подтверждает предположение о ее большей пригодности для исследуемых материалов. Меньшая начальная площадь прокола, также характерная для LL заточки, что свидетельствует

о минимальном повреждении структуры материала. Это достигается за счет особой геометрии иглы (более плавная), которая имеет форму, обеспечивающую скольжение по поверхности материала. Важно отметить, что на микроскопическом уровне происходят локальные деформации полимерных цепей, но их масштаб и характер значительно меньше, чем при универсальной заточке (R). Игла с SPI заточкой, напротив, оставляет более крупный и неровный прокол, что и приводит к увеличению времени самовосстановления. Наибольшая площадь прокола, образованная игрой с универсальной R заточкой, указывает на ее недостаточную остроту или специфическую геометрию заточки, не оптимизированную для работы с материалом с покрытием. Анализ данных указывает на превосходство заточки LL над SPI и R в контексте минимизации повреждений пористого полиуретанового покрытия.

Для исследования кинетики самовосстановления отобраны образцы с разной толщиной. Образец №1з (150 мкм) – низкая способность к восстановлению, №2р (350 мкм) – промежуточные показатели, №5ч (720 мкм) – максимальная скорость и степень восстановления. На рис. 3 представлены графики, отражающие кинетику самовосстановления полиуретанового слоя после прокола швейными иглами с формой заточки острия SPI, LL, R, номер №90.

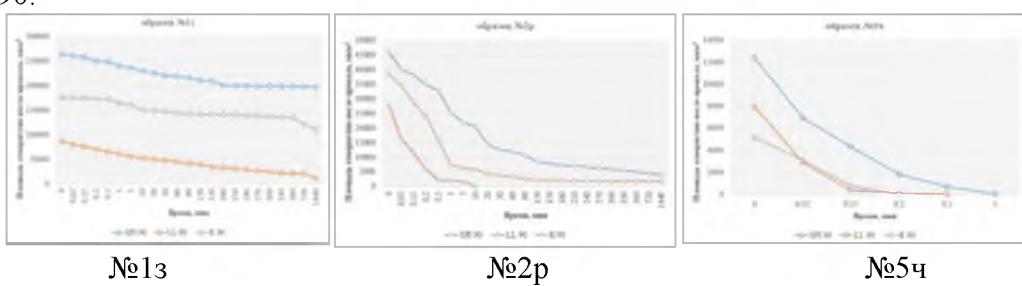


Рис. 3. Кинетика самовосстановления полиуретанового слоя после прокола швейными иглами с формой заточки острия SPI, LL, R

Анализ кинетических кривых (рис. 3), наглядно демонстрирует различие в механизмах самовосстановления полиуретанового покрытия в зависимости от его толщины. Для образцов с толщиной покрытия 350-720 мкм наблюдается двухпериодное течение процесса. Первый период, характеризующийся линейной зависимостью степени восстановления от времени, свидетельствует о постоянной скорости процесса. Скорость, судя по наклону кривых на начальном этапе, зависит от ряда факторов, включая размер и форму самого прокола в зависимости от типа иглы, а также от толщины полиуретанового слоя ткани. Второй период характеризуется падающей скоростью восстановления. Замедление процесса указывает на исчерпание «легкодоступного» материала в близлежащих областях. Дальнейшее восстановление требует более медленной релаксации полимерных цепей. В некоторых образцах (№2р и №5ч на рис. 3), это приводит к затягиванию повреждения, о чём свидетельствует достижение плато на графике, где площадь прокола практически не меняется со временем. По достижении этого равновесного состояния можно считать, что процесс самовосстановления завершен. Для образцов с меньшей толщиной (№1з), наблюдается монотонное снижение скорости самовосстановления на протяжении всего процесса. Отсутствие отчетливо выраженного периода постоянной скорости может объясняться меньшей толщиной образца, что приводит к значительно более быстрому истощению запаса «легкоподвижных» компонентов, и период постоянной скорости оказывается слишком коротким, чтобы быть достоверно зафиксированным в рамках исследований. Образцы, показывающие неполное восстановление №1з, требуют дополнительного воздействия, применение влажно-тепловой обработки, что позволит увеличить молекулярную подвижность полимера, и обеспечить более эффективную диффузию полимерных цепей в зону прокола. Следует также учесть, что различия в кинетике самовосстановления разных образцов связаны с толщиной пористого полиуретанового слоя. Образец №1з демонстрирует наименьшую скорость самовосстановления во всех случаях, а образец 5ч, отличающийся наибольшей толщиной (720 мкм) полиуретанового слоя, демонстрирует наибольшую способность к

самовосстановлению (1 минута). Установлено, что форма заточки иглы не оказывает существенного влияния на кинетику процесса, однако варьируется начальная площадь прокола. Образец №2р достиг равновесного состояния спустя 5-10 минут, однако для него полное восстановление произошло только при заточке острия LL.

На основании проведенных исследований разработана методика оценки способности к самовосстановлению целостности полимерного слоя текстильного материала после прокола швейной иглой. Первый этап методики включает прокол швейной иглой определенного диаметра и формы заточки острия. Второй этап – наблюдение за процессом самовосстановления. Для вынесения результатов испытания используется визуальная оценка с применением источника искусственного света с верхней и нижней подсветкой. Периодичность измерений определяется скоростью предполагаемого самовосстановления и варьируется от нескольких минут до 3 часов. Верхняя подсветка обеспечивает общее освещение образца, позволяя оценить целостность поверхности и характер повреждения. Нижняя подсветка, проходящая сквозь материал, играет ключевую роль в определении степени восстановления. Она позволяет визуализировать прокол (проруб) и оценить его размер и форму. Отсутствие вмятин и перфорация свидетельствует о полном самовосстановлении полимерного слоя. Для оценки прокола разработана шкала оценки. Третий этап – количественная оценка. Для каждой элементарной пробы суммируют выставленные баллы в соответствии с разработанной шкалой. Для объективизации результатов разработаны количественные критерии оценки: 2 балла – образец способен к самовосстановлению – I степень, 3-4 баллов – частично способен – II степень; 5-6 баллов – не способен – III степень. В соответствии с ними делают заключение о способности к самовосстановлению каждой элементарной пробы. За конечный результат материала принимается худшее значение результатов точечных проб в баллах.

Для визуализации логической последовательности операций построена технологическая карта оценки способности к самовосстановлению, представленная на рис. 4.



Рис. 4. Технологическая карта оценки способности к самовосстановлению

Проведены исследования по оцениванию рабочих характеристик, включая показатели точности измерений, методики измерения. В межлабораторных сличениях принимали участие три участника: ОАО «Красный Октябрь»; испытательный центр УО «ВГТУ»; кафедра экологии и химических технологий УО «ВГТУ». В связи с тем, что количество участников программы сличений результатов испытаний равно трем, принято решение рассматривать данные результаты как результаты малой группы и для обработки данных применять статистические методы, применимые для малой выборки. Для представленных результатов произведено определение среднего значения, дисперсии малой выборки (σ^2), средней (\bar{x}) и предельной ошибки (Δx), а в последующем – доверительный интервал. Доверительный интервал округлен до целого числа, поскольку результаты оценки представляют собой целые числа. Среднее значение – 5,3; дисперсия малой выборки, $\sigma^2 = 0,3$; средняя ошибка, $\mu\sigma = 0,3$; предельная ошибка $\Delta x = 0,6$; доверительный интервал – $5 \leq \bar{X} \leq 5,3 + 0,6$. Так как значения, полученные участниками, при испытании способности к самовосстановлению

целостности полимерного слоя после прокола иглой находятся в пределах доверительного интервала, следовательно, результаты всех участников можно рассматривать как удовлетворительные. Принимая во внимание, что фактически предельная ошибка малой выборки составляет стандартное отклонение для оценки квалификации, можно выполнить расчет критерия z согласно требованиям СТБ ISO 13528 р. 9, принимая в качестве приписанного значения среднее арифметическое участников. Участник №A – результат испытания 5 баллов, критерий $z=-0,5$, участник №B – результат испытания 5 баллов, критерий $z=-0,5$, участник №C – результат испытания 6 баллов, критерий $z=1,2$. Рассчитанные значения показателя z сравниваются с критическими значениями. По результатам обработки данных участников и их анализа можно сделать следующий вывод: характеристика функционирования z всех участников рассматривается как удовлетворительная.

Пористые полиуретановые покрытия тканей демонстрируют способность к частичному или полному восстановлению целостности в ненатянутом состоянии после прокола швейной иглой. Тем не менее, многократные или слишком крупные проколы могут нарушить целостность структуры, приводя к образованию дефектов. Эффективность самовосстановления зависит от: - от толщины полимерного слоя, образцы с большей толщиной (№5ч – 720 мкм) восстанавливались быстрее (0,5-1 минуту), тогда как тонкие покрытия (№1з – 150 мкм) требовали до 24 часов и не достигали полного восстановления; - от геометрии иглы: наименьшие повреждения и максимальная скорость восстановления наблюдались при использовании игл с заточкой LL; - от диаметра стержня иглы: увеличение номера (например, с №80 до №100) повышало начальную площадь прокола, снижая процент восстановления.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования Республики Беларусь (грант №20250503 «Оценка и прогнозирование самовосстановления целостности структуры полимерного покрытия текстильных материалов»). Методика оценки апробирована на предприятии ОАО «Красный Октябрь», что подтверждается актом об апробации. Разработанная методика утверждена ректором университета УО «Витебский государственный технологический университет» МИ ВГТУ 002-2025 от 09.06.2025 г. и внедрена в учебный процесс (акт о внедрении результатов НИОКР в учебный процесс).

ЛИТЕРАТУРА

- Лобацкая О.В., Лобацкая Е.М. Материаловедение: учебное пособие для студентов спец. «Конструирование и технология швейных изделий» // ВГТУ, Витебск, 2012. – 323 с.
- Бузов, Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство): учебник. М.: «Академия», 2010. – 448 с.
- Щербакова, Н.И. Развитие методов оценки технологических свойств современных материалов для целей проектирования и изготовления одежды: монография. – 2020. – 196 с.
- Гаврилова, О.В., Никитина Л.Л. Особенности проектирования и изготовления изделий легкой промышленности из современных материалов // Вестник КТУ № 16 (18). – 2013. – С.136-140.
- Каблов, В.Ф. Технология переработки полимеров: учеб. пособие / В.Ф. Каблов, О.М. Новопольцева, В.Г. Кочетков. – ВолгГТУ, 2018. – 244 с.
- Марущак, Ю.И. Исследование способности тканей с полиуретановым покрытием к самовосстановлению целостности структуры после прокола иглой microtex // материалы конференции Легкая промышленность: проблемы и перспективы. ОмГТУ, 2024. – С. 136-142.