

КРАВЧУК М.Ф.¹, ГАЛАВСЬКА Л.Є.¹,
ХАРЧЕНКО Ю.М.², ТРЕТЯКОВА Л.Д.³

¹Київський національний університет технологій та дизайну

²АДВЛ «ТЕКСТИЛЬ-ТЕСТ», Київ

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СТІЙКІСТЬ ДО ПРОКОЛУ ТА ПРОДАВЛЮВАННЯ КУЛЬКОЮ ТРИКОТАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАХИСНИХ РУКАВИЧОК

Мета. Дослідити опір проколу стрижнем та продавлюванню кулькою трикотажних матеріалів з пряжі з мета-арамідних (МА) волокон, пара-арамідних (рА) та високомолекулярних поліетиленових (рЕ) ниток, вироблених на двофонтурному плосков'язальному обладнанні 8 класу типу рукавичковий автомат ПА-8.

Методи. У ході дослідження реалізовано методи аналізу й синтезу науково-технічної літератури, експериментальний метод випробування розроблених зразків трикотажних матеріалів щодо їх стійкості до проколу стрижнем у відповідності до EN 388-2019 та продавлювання кулькою згідно PN-EN ISO 3379:2015. Для випробувань використано розривну машину електронного типу моделі WDW-5ES.

Результати. Для проведення випробувань на плосков'язальному обладнанні 8 класу (рукавичковий автомат ПА-8) вироблено зразки трикотажних матеріалів з використанням пряжі на основі мета-арамідних волокон, високомолекулярних поліетиленових та пара-арамідних ниток, з яких підготовлено відповідно одношарові та двошарові проби. Визначено показники стійкості виготовлених трикотажних матеріалів до пробивання стрижнем та продавлювання кулькою.

Наукова новизна. Визначено фактори, що впливають на показники стійкості до проколу стрижнем та продавлювання кулькою розроблених зразків трикотажних матеріалів й сформованих з них пакетів. Встановлено відповідність одержаних трикотажних матеріалів нормативним вимогам до виробів для захисту рук від механічних ушкоджень.

Практичне значення. Для виготовлення суцільнов'язаних засобів індивідуального захисту рук від механічних ушкоджень та дії полум'я запропоновано використовувати двошаровий пакет трикотажних матеріалів, в якому один з шарів вироблено з вогнестійкої пряжі з мета-арамідних волокон, а інший з пара-арамідних або високомолекулярних поліетиленових ниток – для забезпечення стійкості до дії механічних ушкоджень.

Ключові слова: надміцний трикотаж, високомолекулярна поліетиленова (рЕ) нитка, пара-арамідна (рА) нитка, мета-арамідна (МА) пряжа, функціональні захисні рукавички.

STABILITY AGAINST STABBING AND BULGING OF KNITTED MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF PROTECTIVE GLOVES

KRAVCHUK M.¹, HALAVSKA L.¹, KHARCHENKO Yu.², TRETIKOVA L.³

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Testing Laboratory of Analytical Research "Textile-TEST", Kyiv, Ukraine

³National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Purpose. The study aims to investigate the resistance of knitted materials made from meta-aramid (MA) fibers, para-aramid (pA) fibers, and high-molecular-weight polyethylene (pE) yarns to penetration by a needle and deformation under a ball, produced on a two-bed flat knitting machine of 8th class, type glove automatic PA-8.

Methodology. The study involved methods of analysis and synthesis of scientific and technical literature, as well as an experimental method for testing the developed samples of knitted materials for their resistance to needle penetration according to EN 388:2019 and ball bulging following PN-EN ISO 3379:2015. The testing was carried out using a WDW-5ES model electronic testing machine.

Results. For the tests, knitted material samples were produced on a two-bed flat knitting machine of 8th class (glove automatic PA-8) using yarns based on meta-aramid fibers, high-molecular-weight polyethylene, and para-aramid fibers. One-layer and two-layer specimens were prepared from these materials. The resistance of the developed knitted materials to needle penetration and ball bulging was determined.

Scientific novelty. The factors influencing the resistance to needle penetration and ball bulging of the developed knitted material samples and their corresponding packages were identified. The compliance of the obtained knitted materials with the regulatory requirements for hand protection products against mechanical damage was established.

Practical significance. For the manufacture of seamless individual hand protection equipment against mechanical damage and flame exposure, it is proposed to use a two-layer package of knitted materials, where one layer is made from flame-resistant yarn based on meta-aramid fibers, and the other from para-aramid or high-molecular-weight polyethylene yarns to ensure resistance to mechanical damage.

Keywords: ultra-strong knitwear, high-molecular-weight polyethylene (pE) yarn, para-aramid (pA) yarn, meta-aramid (MA) yarn, functional protective gloves.

Всмысл. Безпека працівників у середовищі, сповненому виробничими ризиками, залежить від ефективності засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), здатних протистояти різноманітним реальним викликам, особливо в машинобудівельній, харчовій, скляній, будівельній, гірничодобувній та аерокосмічній промисловості. Серед різноманіття ЗІЗ значну роль відіграють саме засоби захисту рук, адже руки є одним з найважливіших інструментів людського тіла, найбільш вразливих до різних виробничих небезпек [1, 2]. Захист рук є пріоритетним для більшості підприємств, працівники яких можуть зіштовхнутися з різними видами небезпек, які включають механічні пошкодження, такі як порізи та проколи, хімічні впливи від агресивних речовин, термічні ризики від високих та низьких температур, електричні небезпеки та біологічні загрози від мікроорганізмів [3-5]. Працівники використовують різні типи рукавичок, щоб запобігти травмам своїх рук цими небезпеками [6, 7]. На ринку доступно багато типів захисних рукавичок, призначених для захисту рук і пальців різними способами. Слід завжди враховувати, що кожен тип захисних рукавичок розроблено та виготовлено для забезпечення захисту від певного набору небезпек, і вони не будуть ефективними для захисту рук від інших небезпек.

Одним з ефективних текстильних матеріалів для виготовлення виробів заданої форми для захисту рук є трикотаж. Завдяки своїм властивостям, таким як еластичність,

зручність та висока повітропроникність, трикотажні вироби забезпечують надійний захист і комфорт під час носіння. У багатьох виробничих середовищах працівники можуть стикатися з кількома типами небезпек одночасно. Наприклад, робота з гострими предметами в умовах високих температур вимагає захисту як від порізів, проколів так і від термічних впливів. Тому виникає потреба у створенні рукавичок, що одночасно володіють захисними властивостями від різних видів небезпек.

Аналіз попередніх досліджень. Високомолекулярні поліетиленові (UHMWPE або pE) та пара-арамідні (pA) нитки широко використовуються у текстильних виробках для захисту від порізів завдяки своїй винятковій міцності та довговічності. Для забезпечення стійкості текстильного матеріалу до термічних впливів зазвичай застосовують мета-арамідні (MA) нитки. Наразі вчені активно працюють над дослідженням властивостей ниток та пряжі при переробці їх на текстильному обладнанні, над розробкою структури переплетення та пошуком оптимальних параметрів в'язання трикотажного матеріалу, що може бути використаний у розробці виробів із захисними властивостями. У роботі [8] авторами наведено огляд останніх досягнень та перспективи майбутнього розвитку у сфері ЗІЗ. Виділено розробки волокон, серед яких високорозтяжні еластичні волокна на основі полієфіру та поліуретану з пам'яттю форми, високоміцні неорганічні матеріали, такі як базальтові та вуглецеві волокна. Також

описано спеціальні текстильні матеріали, що надають захист за рахунок тривимірних структур, нанопористості та зміни форми трикотажного матеріалу. Автори іншого дослідження [9] вивчали вплив щільності та умов в'язання трикотажного матеріалу з високомолекулярних поліетиленових ниток на характеристики його міцності. Доведено, що зусилля відтягування та лінійна густина ниток мають значущий вплив на величину опору розриву одержаного у процесі в'язання трикотажного матеріалу.

У роботах [10-12] висвітлено результати впливу тип обладнання та введення металевої мононитки в структуру полотен на втрату міцності трикотажного матеріалу, виробленого з високомолекулярної поліетиленової та пара-арамідної ниток. Встановлено, що використання металевого монофіламенту у структурі трикотажу з поліетиленової нитки відводить до зменшення показників міцності поліетиленових ниток.

У роботі [13] акцентується увага на доцільності використання вогнезахисної пряжі на основі мета-арамідних та віскозних волокон для створення трикотажного матеріалу, придатного для виготовлення натільної білизни військовослужбовців екіпажів бойових машин, що забезпечуватиме захист тіла від ушкоджень, спричинених вогнем.

Автори роботи [14] для ущільнення петельної структури трикотажного матеріалу з високоміцних ниток та покращення його стійкості до механічних впливів запропонували одночасну подачу та пров'язування в петлі високомолекулярної поліетиленової нитки та еластомерної мононитки спандекс.

Автори іншої роботи [15] для покращення стійкості до механічних впливів трикотажного матеріалу, виробленого з високомолекулярних поліетиленових ниток (UHMWPE), у структуру вводиться додаткова система ниток у вигляді поперечного утоку. У ході досліджень виявлено фактори, що впливають на стійкість трикотажного матеріалу розроблених структур до проколу, як важливого показника для оцінки стійкості текстильного матеріалу до різноспрямованих пошкоджень.

У роботі [16] наведено результати досліджень щодо впливу вмісту базальтових ниток в структурі трикотажного матеріалу, виробленого з високоміцних поліетиленових ниток, на показники стійкості до механічних ушкоджень, зокрема проколу стержнем. Встановлено, що збільшення вмісту базальтової сировини не впливає на стійкість

до проколу. Авторами іншої роботи [17] у ході досліджень виявлено, що наявність у структурі трикотажного матеріалу базового переплетення гладь, виробленого з рЕ нитки, додаткової футерної еластомерної нитки, впливає на характер деформації та стійкість до проколу.

Вивченню впливу швидкості руху стержня на показники стійкості до проколу аукзетик трикотажу з введеною у структуру еластомерною ниткою та аналогічного трикотажного матеріалу без еластомерної нитки присвячено роботу [18]. Виявлено, що при досягненні швидкості руху стержня 50мм/хв. Величина опору удару залишається незмінною. Авторами роботи [19] у ході досліджень встановлено, що на характер опору трикотажного матеріалу продавлюванню кулькою впливає наявність дефектів у петельній структурі трикотажного матеріалу.

Постановка завдання. Аналіз наукових публікацій дозволяє зробити висновок, що проблема впливу технологічних факторів та типу вихідних матеріалів на структурні характеристики функціонального трикотажного матеріалу та споживні властивості трикотажних виробів заданої форми, є відкритою та потребує додаткових досліджень. Тому робота, присвячена розробці трикотажних матеріалів для виготовлення функціональних захисних рукавичок та дослідженню їх стійкості до механічних впливів (прокол, продавлювання кулькою) в залежності від виду високоміцних ниток є актуальною задачею.

Методи дослідження. Експериментальний метод дослідження розроблених зразків трикотажних матеріалів реалізовано в акредитованій лабораторії КНУТД АДВЛ «Текстиль-ТЕСТ» [20]. Визначення показників реалізовувалось за допомогою сучасної установки Microcomputer controlled electronic universal testing machine model WDW-5ES 0,5 class відповідно до нормативного документу ДСТУ EN 388:2019 [21], який визначає вимоги до захисних рукавичок, що використовуються для захисту від механічних ушкоджень та стандарту ДСТУ EN 13567:2015, який визначає вимоги та методи випробування захисного одягу для фехтувальників. Цей стандарт стосується захисного спорядження для рук, ніг, грудей, живота, геніталій та обличчя, описує методи випробувань на прокол та продавлювання кулькою як засоби визначення механічних властивостей матеріалів, з яких виготовлений захисний одяг.

Для проведення випробувань попередньо підготовлено одно- та двошарові проби у формі кола з діаметром 7 сантиметрів. Проба закріплюється в елементах обладнання, на нерухомому штативі у горизонтальному положенні. Для випробування шляхом продавлювання кулькою, кульку діаметром 2,5 см розташовують у верхньому рухомому затискачі під кутом 90 градусів до поверхні текстильного матеріалу та переміщують із заданою швидкістю (50 мм/хв.) вниз для забезпечення різнонаправленого механічного впливу на досліджувану пробу. Отримане зусилля опору та час руйнації поверхні проби фіксуються. При виконанні випробувань на пробивання стрижнем верхній затискач з пуансоном (голкою у вигляді штифта певної форми) переміщується з постійною швидкістю (50 мм/хв.) до проколу проби. Дані, про час на момент проколу та величина навантаження, які витримує проба, виражені у вигляді числових значень.

Результати дослідження й обговорення.

Попередньо для проведення досліджень на плосков'язальному рукавичковому автоматі ПА-8 8 класу з високоміцних поліетиленових

(рЕ) й пара-араміних (рА) ниток лінійної густини 44 текс × 3 та негорючої пряжі з мета-арамідних (МА) волокон лінійної густини 40 текс × 3, переплетенням гладь виготовлені дослідні зразки трикотажних матеріалів максимально можливої щільності. Для випробувань підготовлено 4 види проб, серед них проби одношарові та двошарові. Шари двошарових проб розташовані таким чином, що трикотажний матеріал з пара-арамідних та високомолекулярних поліетиленових ниток знаходяться у верхньому шарі, а трикотажний матеріал з пряжі з мета-арамідних волокон знаходиться у нижньому шарі. Причому трикотажні матеріали у пакеті один відносно одного знаходяться виворотом до вивороту. Для запобігання зсуву шарів під час проведення експерименту та скручування країв у підготовлених пробах, що властиво для полотен переплетення гладь, одношарові проби з'єднані між собою по контуру за допомогою клейового з'єднання та краєобметувальної строчки. Характеристика дослідних зразків трикотажних матеріалів, використаних для проведення випробувань на стійкість до проколу та продавлювання кулькою наведена у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри структури дослідних зразків трикотажних матеріалів

№ п/п	Характеристика проби	Сировинний склад	Лінійна густина	Довжина нитки в петлі ℓ , мм	Кількість петельних стовпчиків у 100 мм	Кількість петельних рядів у 100 мм	Товщина, мм	Поверхнева густина, g/m^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	одношаровий пакет матеріалів	ПА	44 Текс×3	7,6	51	66	0,9	300,6
2	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – ПА нижній шар – МА	44 Текс×3 40 Текс×3	7,6 8,2	51 52	66 65	0,9 1,27	300,6 334
3	одношаровий пакет матеріалів	ПЕ	44 Текс×3	8,2	48	85	1,3	384,3
4	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – ПЕ нижній шар – МА	44 Текс×3 40 Текс×3	8,2 8,2	48 52	85 65	1,3 1,27	384,3 334

У таблиці 2 наведені результати дослідження стійкості розроблених зразків трикотажних матеріалів та їх двошарових пакетів до продавлювання кулькою.

Таблиця 2

Результати дослідження стійкості трикотажних матеріалів та їх пакетів до продавлювання кулькою

Номер зразка	Характеристика проби	Сировинний склад	Опір продавлюванню кулькою, Н	Величина деформації, мм
1	одношаровий пакет матеріалів	рА	3969	5,2
2	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – рА нижній шар –МА	4538	5,0
3	одношаровий пакет матеріалів	рЕ	4697	8,8
4	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – рЕ нижній шар –МА	5002	8,5

Для проби, сформованої з пакету трикотажних матеріалів з рА ниток та метараamidної пряжі (ПА+МА), встановлено навантаження, яке вона витримує у ході продавлювання кулькою, розмір якого досягає 4538Н. При цьому величина зусилля продавлювання кулькою у разі дослідження одношарової проби з рА ниток складає 3369 Н, що на 25,8% менше. Таким чином формування двошарового пакету матеріалів для виготовлення захисної

рукавички забезпечуватиме збільшення показників її міцності до продавлювання кулькою. Двошарові пакети з використанням трикотажного матеріалу з рЕ ниток у якості верхнього шару демонструють вищий рівень опору продавлюванню кулькою. Одержані у ході досліджень графіки, що описують взаємозв'язок між величиною зусилля продавлювання та стрілою продавлювання (видовження), наглядно ілюструють характер деформації проби.(рис. 1).

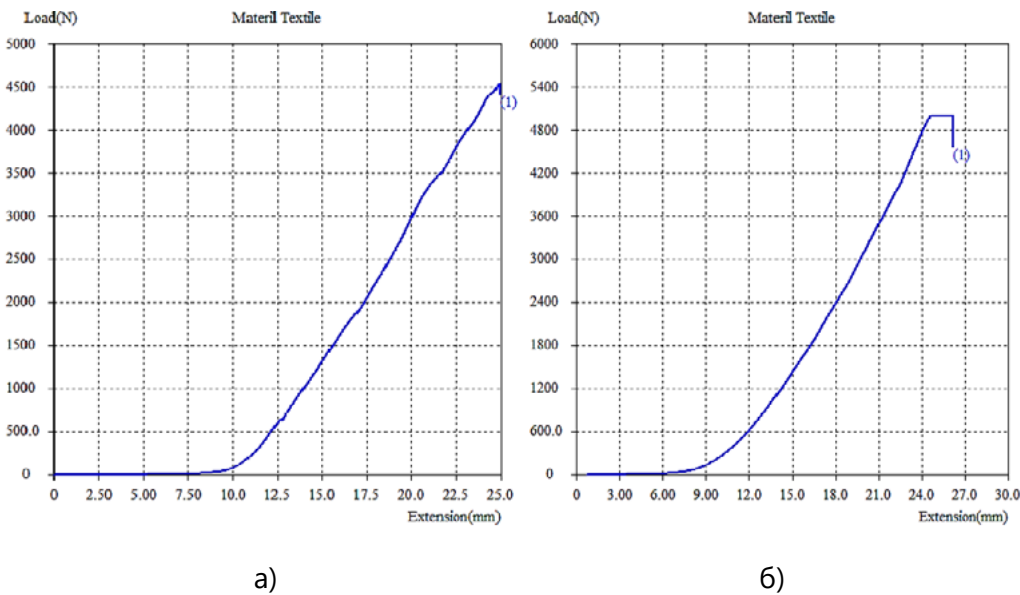


Рис. 1. Графіки залежності величини зусилля щодо продавлювання кулькою від величини видовження проби у вигляді двошарового пакету трикотажних матеріалів: а) з рА ниток та пряжі з МА волокон, б) з рЕ ниток та пряжі з МА волокон

Як видно з графіків (рис. 1), на початковому етапі відбувається двовісна деформація петельної структури трикотажного матеріалу під впливом кулі (стріла прогину у діапазоні $9 \div 10$ мм). І лише після цього трикотажний матеріал досягає критичної напруги і починає чинити опір продавлюванню: у випадку проби з рА ниток та пряжі з МА волокон 250Н на 1мм подовження, у випадку рЕ ниток та пряжі з МА волокон 300Н на 1 мм подовження.

Діаграми, наведені на рис. 2, демонструють вищий рівень розривального зусилля двошарових пакетів з використанням

трикотажного матеріалу з рЕ ниток у якості верхнього шару.

Як видно з діаграм, наведених на рис. 2, одношарова проба трикотажного матеріалу з рЕ ниток та двошарова проба з пакету матеріалів з рЕ та МА витримують під час продавлювання кулькою зусилля понад 5000 Н. Це на 9,44% вище ніж у разі використання двошарового пакету трикотажних матеріалів з рА ниток та пряжі з мета-арамідних волокон. Найменший рівень стійкості спостерігається у одношаровій пробі, виробленої з рА ниток. Це слід брати до уваги під час формування пакету матеріалів захисних рукавиць.

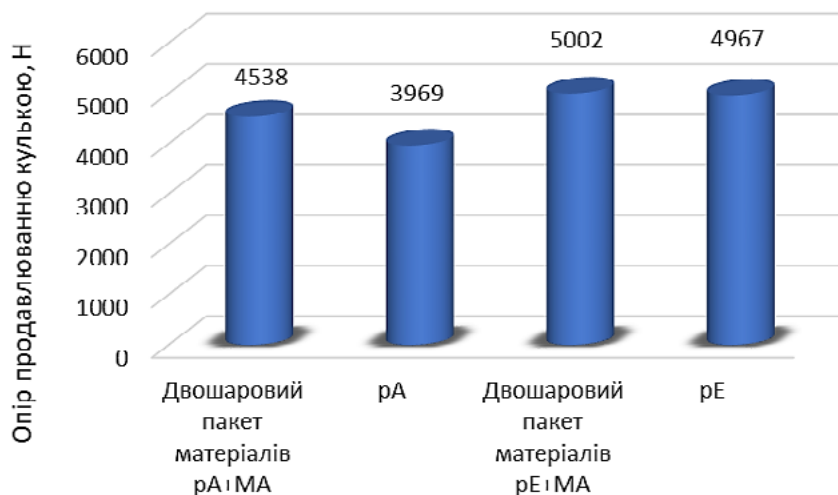


Рис. 2. **Стовпчикові діаграми стійкості досліджуваних проб трикотажних матеріалів до продавлювання кулькою**

Фото, наведені на рис. 3, ілюструють характер руйнування двошарових проб трикотажних матеріалів під впливом продавлюючого зусилля кульки діаметром 2,5 см. Слід зазначити, що під впливом сили тиску кульки у шарі, сформованому з пряжі з мета-арамідних волокон відбувається розрив окремої нитки. У подальшому у даному шарі спостерігався розпуск петель. У шарі, сформованому з високоміцних ниток (рА або рЕ), під дією продавлюючого зусилля кульки відбувається перерозподіл ниток в структурі трикотажного матеріалу. У подальшому сформовані у петельній структурі трикотажу прямолінійні відрізки ниток в області платинних дуг петель опираються розриваючому зусиллю.

Для дослідження стійкості трикотажних матеріалів до проколу підготовлено

аналогійні одно- та двошарові проби, що і для продавлювання кулькою. У ході експерименту визначено зусилля, яке витримує проба внаслідок дії пуансона у ході її пробивання. У таблиці 3 наведено результати випробування зразків трикотажних матеріалів та їх пакетів щодо їх стійкості до проколу.

На основі отриманих даних побудовано відповідні діаграми (рис.4), які ілюструють рівні стійкості до проколу досліджуваних проб трикотажних матеріалів. Так двошаровий пакет з трикотажних матеріалів, виготовлених з рА ниток та МА пряжі демонструє стійкість до проколу 538Н, одношарова проба з рА ниток – 627Н, двошаровий пакет з трикотажних матеріалів, виготовлених з рЕ ниток та МА пряжі – 688Н, одношарова проба з рЕ ниток – 494Н.

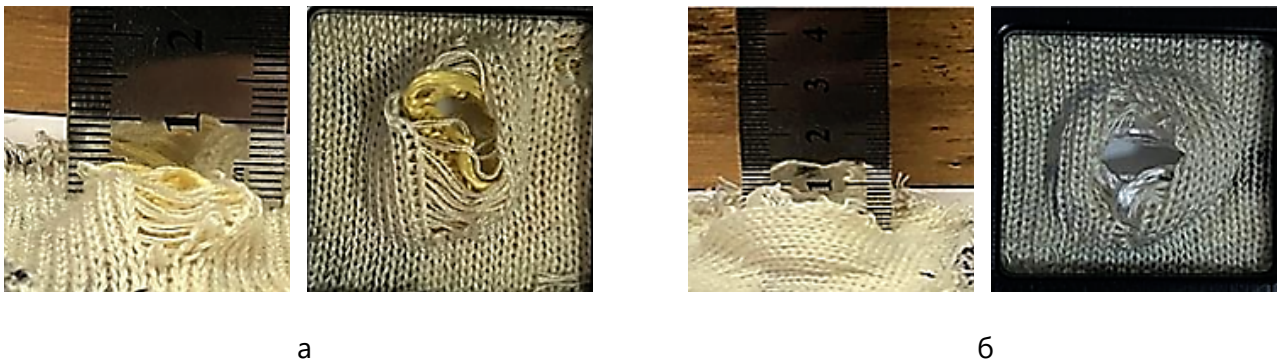


Рис. 3. Фото двошарових проб трикотажних матеріалів після проведення експерименту з визначення опору продавлюванню кулькою

a - з *pA* ниток та МА пряжі; б - з *pE* ниток та МА пряжі

Таблиця 3

Результати дослідження стійкості трикотажних матеріалів до проколу

Номер зразка	Характеристика проби	Сировинний склад	Навантаження, Н	Величина деформації, мм
1	2	3	4	5
1	одношаровий пакет матеріалів	<i>pA</i>	427	6,1
2	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – <i>pA</i> нижній шар – МА	738	5,9
3	одношаровий пакет матеріалів	<i>pE</i>	394	20,7
4	двошаровий пакет матеріалів	верхній шар – <i>pE</i> нижній шар – МА	688	16,1

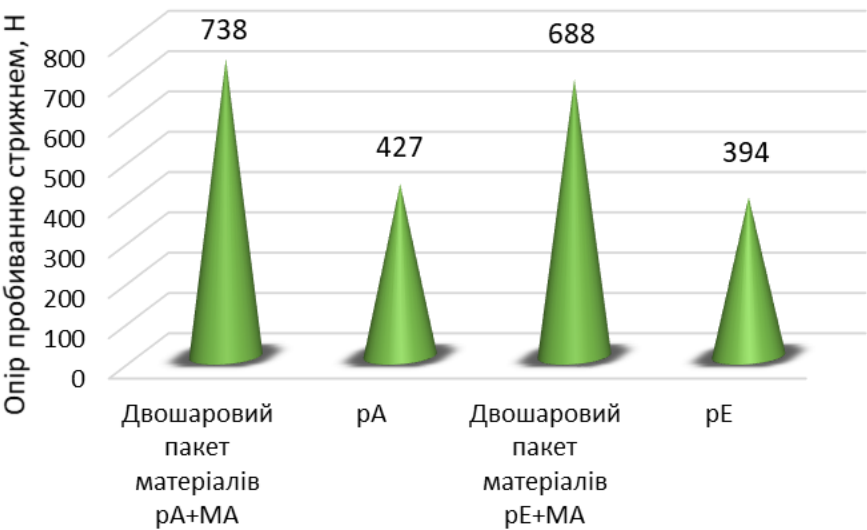


Рис. 4. Столпчикові діаграми стійкості досліджуваних проб трикотажних матеріалів до пробивання стрижнем

Наведені на рис. 5 фотозображення досліджуваних двошарових проб після проведення випробувань на опір пробиванню стрижнем демонструють характер руйнування петельної структури трикотажного матеріалу під впливом стержня. У разі використання високомолекулярних поліетиленових ниток (pE) під впливом стержня до моменту проколу внаслідок руйнування окремої нитки відбувається її витягування. При цьому нитка в петельній структурі шару з мета-арамідних ниток руйнується набагато раніше, що обумовлено її значно меншою міцністю на розрив.

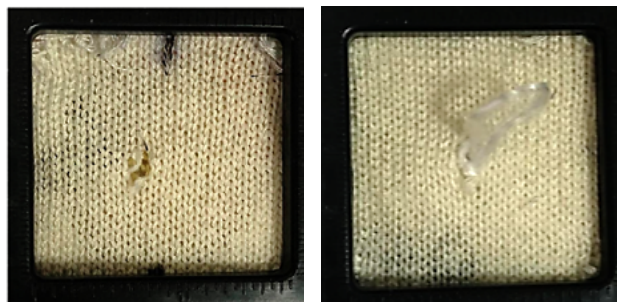


Рис. 5. Фото проби двошарового пакету трикотажних матеріалів пряжі після проведення випробувань на стійкість до проколу

а - з pA ниток та МА; б – з pE ниток та МА пряжі

Низький рівень стійкості до проколу дослідного зразка трикотажного матеріалу з pE ниток зумовлено низьким коефіцієнтом тертя поліетиленових ниток, які в структурі трикотажного матеріалу під дією тиску стрижня (пуансона) перерозподіляються в петельній структурі між суміжними петлями, внаслідок чого формується чарунка, в яку проникає пуансон. Таким чином нитки в структурі одношарової проби трикотажного матеріалу з pE ниток не працюють на

руйнацію (не чинять опір проколу) внаслідок перерозподілу нитки у процесі взаємодії з пуансоном. Натомість у двошаровому пакеті матеріалів під дією стрижня (пуансона) навантаження припадає на шар з пряжі з МА волокон, що призводить до незначного, але зростання стійкості до проколу (рис. 4). МА пряжа, з якої вироблено трикотажний матеріал внутрішнього шару досліджуваної проби, не відноситься до високоміцних видів сировини і є стійкою до термічних впливів. Стійкість до проколу двошарової проби порівняно з одношаровою у випадку використання високоміцних pA ниток зростає на 17,7%, у разі використання pE ниток – на 39,3%.

Висновки. У ході проведених експериментальних досліджень встановлено характер руйнування одношарових та двошарових проб, величину розривального навантаження та зміну величини навантаження на пробу в часі до моменту її руйнації. Найбільшу величину розривального зусилля у разі продавлювання кулькою демонструють зразки трикотажного матеріалу, виробленого з pE ниток – понад 5000 Н.

Вищий рівень стійкості до проколу одношарової проби трикотажного матеріалу спостерігається у випадку використання pA ниток. Двошаровий пакет трикотажних матеріалів з пара-арамідних ниток та мета-арамідної пряжі демонструє вищий рівень опору проколу на 7,3%.

Подяка. Дослідження виконано у рамках виконання завдань Перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» у Київському національному університеті технологій та дизайну на 2025 за підтримки Міністерства освіти і науки України (Додаткова угода №БФ/4-2025 від 01.03.2025р. до договору №БФ/19-2021 від 01.06.2021р.).

Список літературних джерел

1. Bicer, E. K., Kucuk, L., Kecici, B., Ozturk, A. M., Cetinkaya, S., Ozdemir, O., & Coskunol, E. (2011). Evaluation of the risk factors for acute occupational hand injuries. *Chirurgie de la Main*, 30(5), 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.main.2011.04.003>
2. DavasAksan, A., Durusoy, R., Bal, E., Kayalar, M., Ada, S., & Tanik, F. A. (2012). Risk factors for occupational hand injuries: relationship between agency and finger. *American journal of industrial medicine*, 55(5), 465-473. <https://doi.org/10.1002/ajim.22016>
3. Laszlo, H. E., & Griffin, M. J. (2011). The transmission of vibration through gloves: effects of

References

1. Bicer, E. K., Kucuk, L., Kecici, B., Ozturk, A. M., Cetinkaya, S., Ozdemir, O., & Coskunol, E. (2011). Evaluation of the risk factors for acute occupational hand injuries. *Chirurgie de la Main*, 30(5), 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.main.2011.04.003>
2. DavasAksan, A., Durusoy, R., Bal, E., Kayalar, M., Ada, S., & Tanik, F. A. (2012). Risk factors for occupational hand injuries: relationship between agency and finger. *American journal of industrial medicine*, 55(5), 465-473. <https://doi.org/10.1002/ajim.22016>
3. Laszlo, H. E., & Griffin, M. J. (2011). The transmission of vibration through gloves: effects of

push force, vibration magnitude and inter-subject variability. *Ergonomics*, 54(5), 488-496. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.562984>

4. Riley, M. W., Cochran, D. J., & Schanbacher, C. A. (1985). Force capability differences due to gloves. *Ergonomics*, 28(2), 441-447. <https://doi.org/10.1080/00140138508963153>

5. Sorock, G. S., Lombardi, D. A., Peng, D. K., Hauser, R., Eisen, E. A., Herrick, R. F., & Mittleman, M. A. (2004). Glove use and the relative risk of acute hand injury: a case-crossover study. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 1(3), 182-190. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459620490424500>

6. Batra, S., Bronkema, L. A., Wang, M. J., & Bishu, R. R. (1994). Glove attributes: Can they predict performance?. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(3), 201-209. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)90096-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90096-5)

7. Khanlari, P., Ghasemi, F., & Heidari Moghadam, R. (2023). Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13592>

8. Dolez, P.I.; Marsha, S.; McQueen, R.H. Fibers and Textiles for Personal Protective Equipment: Review of Recent Progress and Perspectives on Future Developments. *Textiles* 2022, 2(2), 349-381. <https://doi.org/10.3390/textiles2020020>

9. Впровадження інноваційних технологій виготовлення речового майна військовослужбовців / Л.Є. Галавська, А.С. Прохоровський, О.А. Швиданенко, О.М. Дмитрик // Перспективні напрямки наукових досліджень щодо технічного та тилового забезпечення національної гвардії України: збірник тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Харків, 30 квітня 2021 року. – Харків: НАНГУ, 2021. – С. 5-8. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19037>

10. NIU, Ben, et al. Toward high-performance FR viscose/meta-aramid blended yarns enabled by vortex spinning driven core-sheath assembly. *Cellulose*, 2023, 1-13. DOI: 10.1007/s10570-023-05466-4 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-023-05466-4>

11. AHMED, Usman, et al. Improvement in Comfort Properties of Gloves for Fighter Jet Pilots. In: International Conference of Applied Research on Textile and Materials. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 172-181. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-08842-1_28

12. Галавська Л.Є. Розробка асортименту трикотажних полотен, стійких до дії полум'я та дослідження їх вогнетривкості / Л.Є. Галавська, Л.А. Дмитренко // Ресурсозберігаючі технології легкої, текстильної і харчової промисловості: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів, м. Хмельницький, 10-11 жовтня 2019 року. – Хмельницький: ХНУ, 2019. – С. 65-67. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14554>

push force, vibration magnitude and inter-subject variability. *Ergonomics*, 54(5), 488-496. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.562984>

4. Riley, M. W., Cochran, D. J., & Schanbacher, C. A. (1985). Force capability differences due to gloves. *Ergonomics*, 28(2), 441-447. <https://doi.org/10.1080/00140138508963153>

5. Sorock, G. S., Lombardi, D. A., Peng, D. K., Hauser, R., Eisen, E. A., Herrick, R. F., & Mittleman, M. A. (2004). Glove use and the relative risk of acute hand injury: a case-crossover study. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 1(3), 182-190. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459620490424500>

6. Batra, S., Bronkema, L. A., Wang, M. J., & Bishu, R. R. (1994). Glove attributes: Can they predict performance?. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(3), 201-209. [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)90096-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90096-5)

7. Khanlari, P., Ghasemi, F., & Heidari Moghadam, R. (2023). Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. *Heliyon*, 9(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13592>

8. Dolez, P.I.; Marsha, S.; McQueen, R.H. Fibers and Textiles for Personal Protective Equipment: Review of Recent Progress and Perspectives on Future Developments. *Textiles* 2022, 2(2), 349-381. <https://doi.org/10.3390/textiles2020020>

9. Halavska L. Ye., Prokhorovskiy A. S., Shvydanenko O. A., Dmytryk O. M. Vprovdzhennya innovatsiynykh tekhnolohiy vyhotovlennya rechovoho mayna viys'kovosluzhbovtziv // Perspektyvni napryamky naukovykh doslidzhen' shchodo tekhnichnoho ta tylovoho zabezpechennya natsional'noyi hvardiyi Ukrainy: zbiryk tez dopovidey II Vseukrayins'koyi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Kharkiv, 30 kvitnya 2021 roku. – Kharkiv: NANGU, 2021. – S. 5-8. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/19037>

10. NIU, Ben, et al. Toward high-performance FR viscose/meta-aramid blended yarns enabled by vortex spinning driven core-sheath assembly. *Cellulose*, 2023, 1-13. DOI: 10.1007/s10570-023-05466-4 <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-023-05466-4>

11. AHMED, Usman, et al. Improvement in Comfort Properties of Gloves for Fighter Jet Pilots. In: International Conference of Applied Research on Textile and Materials. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 172-181. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-08842-1_28

12. Halavska L. Ye., Dmytrenko L. A. Rozrobka asortymentu trikotazhnykh poloten, stiikykh do diyi polum'ya ta doslidzhennya yikh vohnetryvkosti / L. Ye. Halavska, L. A. Dmytrenko // Resursozberihayuchi tekhnolohiyi lekhoyi, tekstyl'noyi i kharchovoyi promyslovosti: zbiryk tez dopovidey Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv, m. Khmel'nyts'kyy, 10-11 zhovtnya 2019 roku. – Khmel'nyts'kyy: KhNU, 2019. – S. 65-67. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14554>

13. Halavska L. Ye., Bobrova S. Yu., Dmytrenko L.

13. Трикотажний матеріал для виготовлення термостійкої білизни військовослужбовців екіпажів бойових машин / Л.Є. Галавська, С.Ю. Боброва, Л.А. Дмитренко, А.С. Прохоровський, Ю.М. Харченко // Індустрія моди. Fashion Industry. – 2022. – № 3-4. – С. 62-69. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/22923>
14. Zhou, Y., Xin, X., Li, Y., Zhou, Y., Zhang, R., & Xu, L. (2024). The superior ballistic performance of highly stretchable and flexible double-face knitted fabrics (DFKF): An experimental investigation. *Defence Technology* <https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.10.005>
15. Tan, J., Jiang, G., Gao, Z., Ma, P., & Zheng, P. (2022). Development and mechanical properties of three-dimensional flat-knitted fabrics with reinforcement yarns. *Journal of Industrial Textiles*, 51(2_suppl), 2071S-2088S <https://doi.org/10.1177/15280837211046061>
16. Krauledaitė, J., Ancutienė, K., Krauledas, S., Urbelis, V., Sacevičienė, V. (2022). Investigation of the influence of high molecular weight polyethylene and basalt content used in three-dimensional weft-knitted fabrics on the mechanical risks. *Textile Research Journal*, Vol. 92 (23–24), P. 4709–4721. <https://doi.org/10.1177/00405175221109633>
17. Боброва С. Ю., Дмитрик О. М., Галавська Л. Є. Стійкість трикотажу з високоміцних поліетиленових ниток до дії роздираючого зусилля та проколу. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2020. № 4 (75). С. 103–109 <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/16936>
18. Sun Y., Xu W., Wei W., Ma P., Xia F. Stab-resistance of auxetic weft-knitted fabric with Kevlar fibers at quasi-static loading. *Journal of Industrial Textiles*. 2021. No. 50 (9). P. 1384–1396. <https://doi.org/10.1177/1528083719865044>
19. Zelalem E., Gideon R. K. The Study of Mechanical Properties of Knitted Fabrics: Tear and Bursting Strength. *J Adv Res Poly Text Engi*. 2020. No. 1 (1). P. 34–40. <https://www.researchgate.net/publication/356287343>
20. Аналітично-дослідна випробувальна лабораторія «Текстиль-ТЕСТ» (АДВЛ «Текстиль-ТЕСТ») [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://knutd.edu.ua/researchwork/rd_departments/Textile_TEST/
21. ДСТУ EN 388:2017 Рукавички захисні для захисту від механічних ушкоджень (EN 388:2016, IDT). [Чинний від 2018-01-02]. – (Державний стандарт України).
22. Одяг захисний. Приладдя для захисту долонь, рук, грудей, живота, ніг, геніталій і обличчя фехтувальників. Вимоги і методи випробування ДСТУ EN 13567:2015 (EN 13567:2002+A1:2007, IDT)» [Чинний від 2016-01-01]. – (Державний стандарт України).
23. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).
- A, Prokhorovskiy A. S., Kharchenko Yu. M. Trykotazhnyi material dlia vyhotovlennia termostiikoi bilyzny viys'kovosluzhbovtziv ekipazhiv boiovykh myshyn / L. Ye. Halavska, S. Yu. Bobrova, L. A. Dmytrenko, A. S. Prokhorovskiy, Yu. M. Kharchenko // Industriya mody. Fashion Industry. – 2022. – No. 3-4. – P. 62-69. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/22923>.
14. Zhou, Y., Xin, X., Li, Y., Zhou, Y., Zhang, R., & Xu, L. (2024). The superior ballistic performance of highly stretchable and flexible double-face knitted fabrics (DFKF): An experimental investigation. *Defence Technology* <https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.10.005>
15. Tan, J., Jiang, G., Gao, Z., Ma, P., & Zheng, P. (2022). Development and mechanical properties of three-dimensional flat-knitted fabrics with reinforcement yarns. *Journal of Industrial Textiles*, 51(2_suppl), 2071S-2088S <https://doi.org/10.1177/15280837211046061>
16. Krauledaitė, J., Ancutienė, K., Krauledas, S., Urbelis, V., Sacevičienė, V. (2022). Investigation of the influence of high molecular weight polyethylene and basalt content used in three-dimensional weft-knitted fabrics on the mechanical risks. *Textile Research Journal*, Vol. 92 (23–24), P. 4709–4721. <https://doi.org/10.1177/00405175221109633>
17. Bobrova S. Yu., Dmytryk O. M., Halavska L. Ye. Styikist' trikotazhu z vysokomitsnykh polietylenovykh nytok do diyi rozyrayuchogo zusyllia ta prokolu / S. Yu. Bobrova, O. M. Dmytryk, L. Ye. Halavska // Visnyk Khersons'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. – 2020. – No. 4 (75). – P. 103–109. <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/16936>.
18. Sun Y., Xu W., Wei W., Ma P., Xia F. Stab-resistance of auxetic weft-knitted fabric with Kevlar fibers at quasi-static loading. *Journal of Industrial Textiles*. 2021. No. 50 (9). P. 1384–1396. <https://doi.org/10.1177/1528083719865044>
19. Zelalem E., Gideon R. K. The Study of Mechanical Properties of Knitted Fabrics: Tear and Bursting Strength. *J Adv Res Poly Text Engi*. 2020. No. 1 (1). P. 34–40. <https://www.researchgate.net/publication/356287343>
20. Analytically-Research Testing Laboratory "Текстиль-ТЕСТ" (ARTL "Textile-TEST") [Electronic resource]. – Access mode: https://knutd.edu.ua/researchwork/rd_departments/Textile_TEST/.
21. DSTU EN 388:2017 Protective Gloves for Protection Against Mechanical Hazards (EN 388:2016, IDT). [In force from 2018-01-02]. – (State Standard of Ukraine).
22. Protective Clothing. Equipment for Protection of Hands, Arms, Chest, Abdomen, Legs, Genitals, and Face of Fencers. Requirements and Test Methods DSTU EN 13567:2015 (EN 13567:2002+A1:2007, IDT) [In force from 2016-01-01]. – (State Standard of Ukraine).
23. PN-EN ISO 3379:2015. Leather – Determination of Distension and Strength of Surface (Ball Burst Method).