

УДК 685.3

БОРЩЕВСЬКА Н. М., ПЕРВАЯ Н. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЛАЗЕРНОГО ГРАВІРУВАННЯ НА ГІГІЄНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАТУРАЛЬНИХ ШКІР ДЛЯ ВЕРХУ ВЗУТТЯ ТА ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ

Мета. Дослідження впливу лазерного гравірування на гігієнічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів, а саме шкіри Крест, «Флотар» та «Наппа».

Методика. Для реалізації поставленої мети використано метод скануючої електронної мікроскопії (СЕМ). Дослідження гігієнічних властивостей шкір Крест, «Флотар» та «Наппа» проводились згідно з ISO 14268:2008 шляхом визначення паропроникності

Результат. За результатами дослідження впливу лазерного випромінювання на гігієнічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів встановлено характер зміни мікро- та макроструктури дерми під дією лазерного гравірування та допустимі граничні значення глибини та площі лазерної абляції, які не погіршують гігієнічні властивості шкір та виробів в цілому. Зі збільшенням глибини абляції до 0,7 мм (50% від загальної товщини зразка), відносна паропроникність збільшується у всіх зразках досліджуваних шкір, при цьому відносна паропроникність для шкіри Крест збільшилась на 5%, «Флотару» на 13,5% та на 9,5% для «Наппи». Оптимальним значенням глибини лазерної абляції, що не погіршує експлуатаційні та гігієнічні характеристики виробів є 25–30% від товщини шкіри. На лицьовій поверхні виявлені особливості структури, які характерні лише для ділянки прямої дії лазерного променя, а саме зразки шкір «Флотару» та «Наппи» мають явні ознаки зварювання колагенових волокон. В зоні лазерної абляції також було виявлено збільшення міжструктурних відстаней між пучками волокон колагену, що стало результатом теплофізичних процесів дії лазерного випромінювання.

Наукова новизна. Визначено ефект впливу глибини та площі лазерної абляції на морфологічну структуру дерми та гігієнічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів.

Практична значимість. Визначено паропроникність натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів під дією лазерного випромінювання. Встановлено значення глибини та площі лазерної абляції для оздоблення виробів з натуральної шкіри з урахуванням впливу на гігієнічні властивості виробів в цілому.

Ключові слова: лазерне гравірування; вироби зі шкіри; глибина та площа абляції; паропроникність; електронна скануюча мікроскопія; гігієнічні властивості шкіри.

Вступ. Лазерні технології останнім часом знаходять більш широке застосування в промисловості, тому що розвиток сучасного виробництва зумовлює впровадження наукоємких технологій та інноваційних підходів до вирішення різних робочих задач. Використання лазерної обробки матеріалів дозволяє забезпечити високу якість виробів, задану продуктивність процесів, їх екологічність, а також економію людських та матеріальних ресурсів. В результаті використання лазерного променя для обробки матеріалів з'являється можливість удосконалення типових технологій виготовлення виробів та поліпшення якості виконання технологічних операцій [1, 2].

Одним з перспективних напрямів застосування випромінювання безперервних лазерів слід вважати різання та обробку матеріалів, при чому найбільш ефективним є використання СО₂-лазерів, які мають найвищий ККД (15–20%) [3]. Лазерне випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм поглинається різними органічними матеріалами, в тому числі матеріалами біогенного походження (натуральна шкіра) та хімічного (штучна шкіра, тканини зі штучних та синтетичних волокон тощо). Енергія лазера може бути направлена безпосередньо в окремі

ділянки виробу з метою вирішення конкретних технологічних задач (різання/оздоблення). Доцільним виявляється використання лазерів в таких процесах, де залучення лазерного устаткування дозволяє виконувати цілий ряд операцій одночасно або в одному технологічному циклі. Постійне удосконалення методів обробки натуральної шкіри обумовлено необхідністю підвищення ергономічних та естетичних властивостей виробів (взуття, одяг, шкіргалантерейні вироби); збільшенням техніко-економічних показників; впровадженням ресурсоощадних, швидко адаптивних технологій на різних етапах виробництва.

Оздоблення виробів зі шкіри із застосуванням лазерного обладнання виконується з дотриманням встановлених раціональних параметрів обробки [4] та індивідуальних особливостей шкіри, а саме її сировинного походження, методу дублення, ступеню обробки лицьової поверхні та інше [5]. Дозуючи теплові навантаження шляхом регулювання потужності та швидкості лазерного випромінювання, можна реалізувати різні види обробки, забезпечуючи необхідний температурний режим. Лазерний промінь здатен нагріти опромінювану ділянку виробу до високих температур за дуже короткий час, протягом якого тепло не встигає розсіюватися, а оброблювана ділянка може бути при цьому розм'якшеною, рекристалізованою, розплавленою або взагалі часткового випаритися [6]. Деструктивний характер процесу безпосередньо впливає на лицьову поверхню шкіри та її структуру, створюючи унікальний об'ємний візерунок, значення якого засновано на візуальному ефекті та естетичних особливостях виробу.

Постановка завдання. Визначення ефекту впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості шкір обумовило вибір раціональних технологічних режимів виконання процесу гравірування та визначення допустимих значень глибини та площі лазерної абляції. Проте ефект впливу лазерного випромінювання на гігієнічні властивості шкіри для верху взуття та шкіргалантерейні вироби досі не визначено. Більшість лазерних технологій заснована на тепловій дії, тобто передбачається необхідність нагрівання матеріалу до заданої температури. Поглинання теплової енергії для натуральної шкіри носить об'ємний характер, при цьому глибина проникнення лазерного променя визначається фізичними властивостями шкіри, яка є анізотропним неоднорідним матеріалом, що передбачає відмінність властивостей на різних його ділянках. Тому для визначення послідовності тавпелу теплофізичних процесів, що відбуваються під дією лазерного випромінювання, проведено мікроскопічний аналіз топологічних та морфологічних змін структури дерми натуральної шкіри (Краст, «Флотар» та «Наппа») з метою встановлення залежності впливу лазерного гравірування на гігієнічні властивості шкір.

Метою роботи є визначення закономірності впливу глибини та площі лазерної абляції на гігієнічні властивості різних шкір та дослідження впливу лазерного випромінювання на тонку структуру та макроструктуру дерми.

Результати дослідження. Натуральну шкіру розглядають як систему переплетення колагенових волокон, у якій поверхня структурних елементів поєднана молекулами дубителя, а внутрішня структура елементів залишається без зміни [10]. Волокниста структура дерми має надзвичайно складну будову. Існує умовний розподіл структури колагену на мікро- та макроструктуру. Показниками макроструктури є сплетення пучків волокон, кут сплетення, компактність, звивистість пучків та ступінь розгалуження волокон. Між елементами структури волокон, а також між самими волокнами в дермі виникає додаткова взаємодія, яка зберігається навіть після зневоднення шкіряного покриву шляхом повітряного сушіння [7]. При утворенні первинних та вторинних волокон колагену дерми проявляється ефект взаємної орієнтації та взаємодії фібрил, діаметр яких досягає сотень нанометрів. Важливою особливістю вторинних волокон дерми великої рогатої худоби є те, що їх закінчення, які мають діаметр 5...10 мкм, розташовані у поверхневих шарах дерми. У середньому шарі вони

збільшуються до 20 мкм [8] і кожне з них поєднує 20...1000 первинних волокон діаметром близько 5 мкм, у перерізі яких по 200...800 фібрил.

Дослідження властивостей різних видів шкір методом розволокнення виявило велику різницю між середніми значеннями довжин волокон, які в 5-17 разів перевищують товщину відповідної ділянки [9]. Колагенові волокна порівняно з іншими волокнистими матеріалами містять більше міжструктурних проміжків пр. чому поєднують високу міцність із значною гнучкістю. Відмінності структури та властивостей різних ділянок сітчастого шару дерми можна спостерігати, аналізуючи мікрофотографії поперечного перерізу шкір (рис. 1).

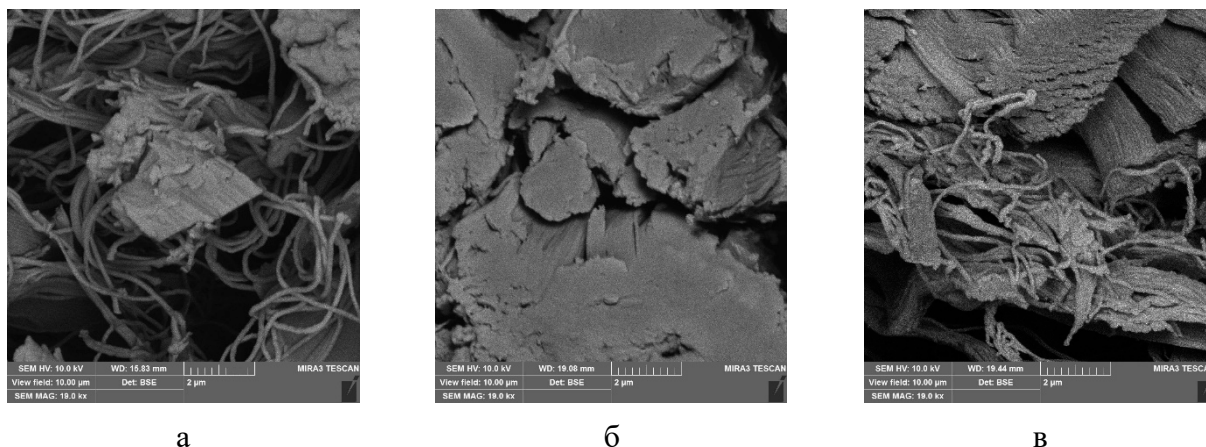


Рис. 1. Мікрофотографії поперечних зрізів зразків шкір:
а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

Гістологічні дослідження дерми шкур великої рогатої худоби (ВРХ) дозволили визначити зміни властивостей шкіри, які зумовлені різними процесами виробництва – механічними та хімічними ефектами, що поєднуються із впливом вологи та тепла, і головним чином, дубленням. Основною зміною, що відбувається в шкірі при дубленні, є втрата здатності зморщуватися при висиханні, в результаті чого відбувається зв'язування часток колагену частками дубителя [11]. Це значно зміцнює систему та підвищує температуру зварювання шкір, хоча загальна структура в основному зберігається. Процес дублення призводить до порушення упорядкованості структури колагенових пучків та волокон, але основні міжструктурні відстані майже не змінюються [7].

Для дослідження впливу лазерного випромінювання на структуру натуральних шкір хромового методу дублення зі шкур ВРХ були обрані зразки шкіри для верху взуття та шкіргалантерейних виробів: Краст, «Флотар» та «Наппа» товщиною 1,4–1,45 мм, які мали глибину абляції від 0,1 мм до 0,7 мм з кроком 0,1 мм. Дослідження проводилося з метою визначення морфологічних змін мікро- та макроструктури дерми під дією лазерного випромінювання та встановлення граничних значень глибини та площі лазерної абляції, які не погіршують гігієнічні властивості шкір та виробів в цілому. Для експериментальних досліджень було застосовано метод скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) із залученням електронного мікроскопу Tescan Mira 3 LMU (рис. 2), який застосовується для дослідження топології та морфології поверхні органічних та неорганічних матеріалів (в тому числі непровідних), а також біологічних об'єктів з граничною роздільною здатністю 1 нм; ідентифікації елементного складу поверхні матеріалу, кількісного аналізу елементного складу поверхні (або обраної ділянки), зокрема побудова карт розподілу хімічних елементів; вимірювання мікроструктур та мікротекстур [12].

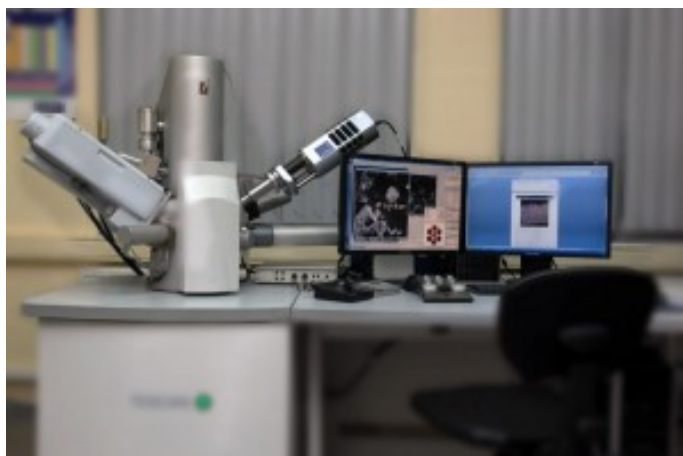


Рис. 2. Скануючий електронний мікроскоп Tescan Mira 3 LMU

У скануючому електронному мікроскопі Tescan Mira 3 LMU зручно вивчати зразки, які проводять електричний струм. Для вивчення зразків, що не проводять струм, розроблено кілька різних прийомів, покликаних подолати артефакти СЕМ-зображень, які викликані такими особливостями. Саме тому напилювальна установка є стандартним супутнім обладнанням до СЕМ. Для отримання якісних інформативних результатів на поверхню зразка та зрізи шкіри було напилено тонкий шар (1) провідного матеріалу - в даному випадку платини (рис. 3), який вкриває нативну поверхню зразка, поперечний зріз та зону прямої дії лазерного променя.

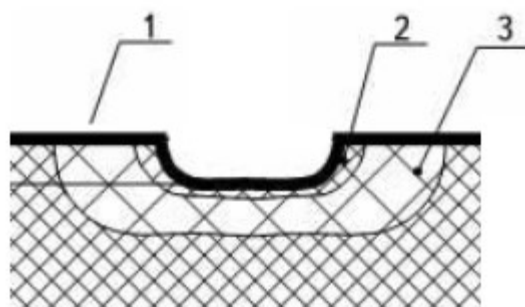


Рис. 3. Схема підготовки зразків шкір для електронно-мікроскопічного дослідження

Електронний скануючий мікроскоп Tescan Mira 3 LMU дозволяє отримати зображення з просторовою роздільною здатністю в режимі низького вакууму: 1.5 нм 30 кВ, 3 нм 3 кВ; збільшення: 3,5х – 1 000 000х. Додатково встановлені детектори ВЕ для роботи в низькому вакуумі та детектор для досліджень в просвічуючому режимі, енергодисперсійний та хвиледисперсійний спектрометри відбитих електронів.

При взаємодії сфокусованого електронного пучка з поверхнею шкіри генерується безліч відповідних сигналів. Кожен тип сигналу особливо чутливий до певного властивості зразка. Відповідно для реєстрації різних типів сигналу потрібна своя конструкція детектора. Детектор вторинних електронів SE (secondary electrons) чутливий до рельєфу поверхні зразка, тому SE-детектор дає найбільш точний результат при вивченні морфології поверхні. Детектор відбитих електронів BSE (backscattered electrons) використовувався для визначення якісного складу зразків. Сигнал відбитих електронів чутливий до композиційного контраста, тобто компоненти шкіри, які мають різний склад, матимуть різні відтінки в градаціях сірого на BSE-зображеннях (рис. 4). Це дозволяє візуалізувати усі елементи в будові шкіри.

Результати електронної мікроскопії показують, що структура дерми під дією лазерного випромінювання не зазнала суттєвих морфологічних змін. Всі зразки шкіри зберегли природну гістологічну будову: шари розташовані рівномірно без збільшення щільності структури, колагенові пучки не деформовані (рис. 4), що підтверджує правильність вибору технологічних параметрів виконання операції лазерного гравірування.

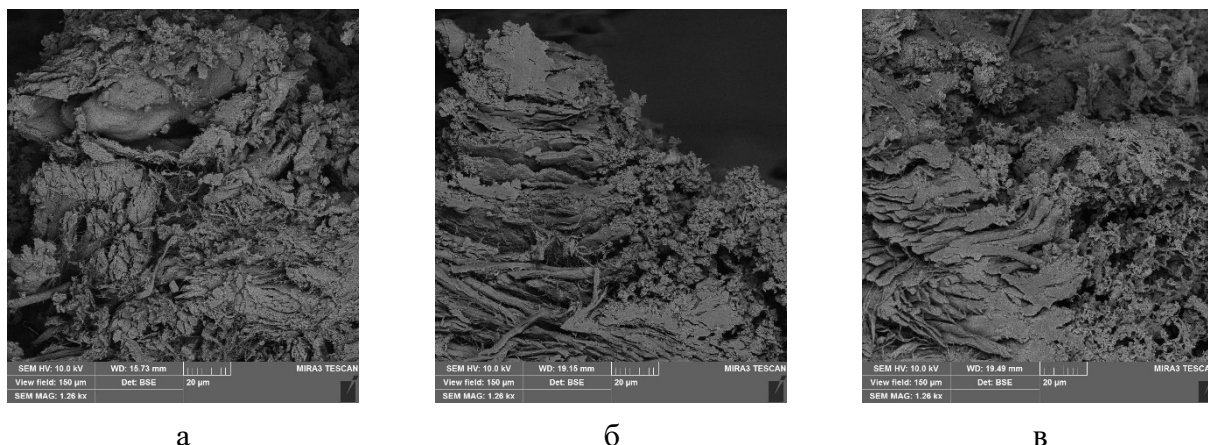


Рис. 4. Електронно-мікроскопічне зображення поперечних зрізів зразків шкір в зоні абляції: а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

На мікрофотографіях (вид зверху) зрізів виявлені особливості, які характерні лише для ділянки прямої дії лазерного променя, а саме зразки шкір «Флотару» та «Наппи» мають явні ознаки зварювання колагенових волокон, при цьому на поверхні зразка не має шару з залишків покривної плівки або інших хімічних компонентів/наповнювачів шкіри (рис. 5 б, в). Видалений лазерним променем шар шкіри перетворюється в аморфний вуглець та видаляється з зони дії лазера газовим потоком.

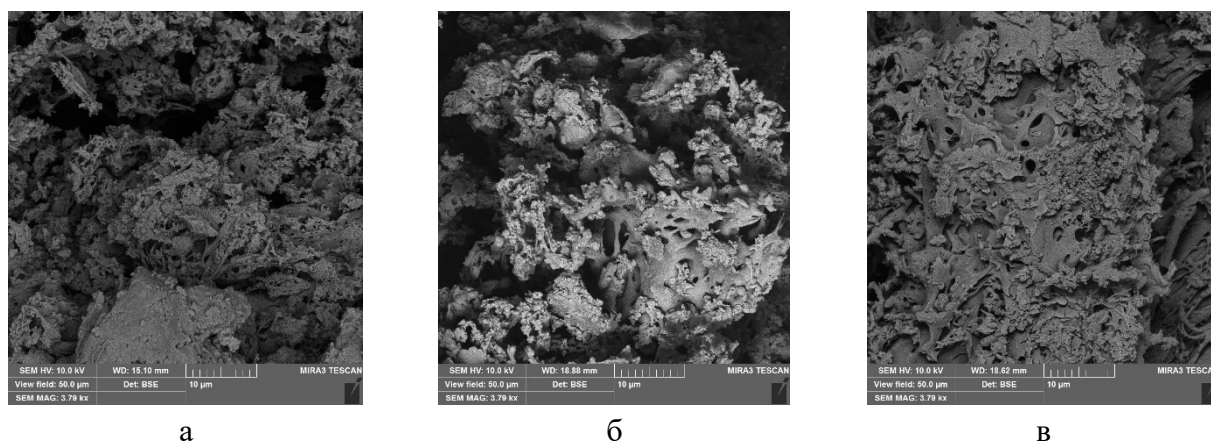


Рис. 5. Електронно-мікроскопічне зображення виду зверху поверхневого шару зразків шкір в зоні лазерної абляції: а) Краст; б) «Флотар»; в) «Наппа»

Подальший аналіз зони прямої дії лазера виявив збільшення міжструктурних відстаней між пучками волокон колагену в зоні абляції (на поверхні). Такі зміни стали результатом теплофізичних процесів, які схематично представлені на рис. 6. Зміна стану досліджуваних зразків залежить від коефіцієнта поглинання матеріалу на довжині хвилі лазера, його граничної потужності і тривалості впливу. Стійкість шкір до дії тепла характеризується

температурою зварювання, яка дорівнює 80-130°C (для хромового дублення) та витримує коротке нагрівання до 170°C. Тривалість дії лазерного випромінювання значно впливає на процес виконання обробки та визначає температуру та розміри прогрітих шарів в матеріалі.

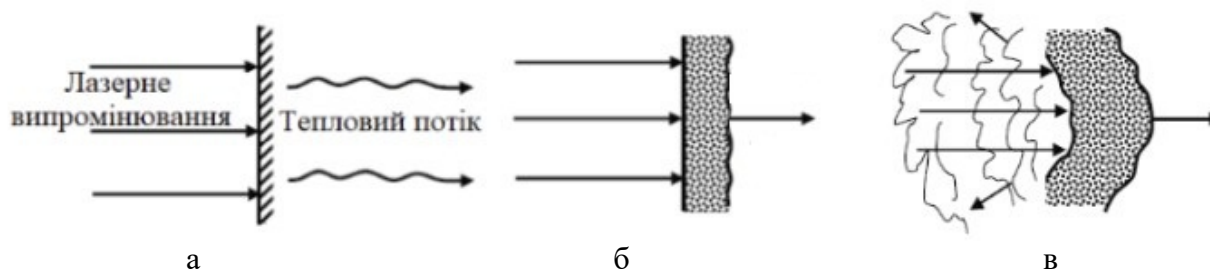


Рис. 6. Алгоритм дії лазерного випромінювання на натуральну шкіру:
а) поглинання і нагрівання; б) плавлення; в) випаровування

Лазерне випромінювання, попадаючи на поверхню зразка шкіри, поглинається відповідно до закону Бугера Ламберта:

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x), \quad (1)$$

де $I(x)$ – інтенсивність лазерного випромінювання, що проникає в шкіру на глибину x ;
 I_0 – інтенсивність падаючого на матеріал лазерного випромінювання;
 α – монохроматичний коефіцієнт поглинання.

Якщо інтенсивність випромінювання надто велика, то в результаті виконання операції може відбуватися повне прогорання отворів у товщині шкіри та пошкодження/опалення кромки зрізу. За короткий час в шкірі формується теплове джерело, дія якого призводить до руйнування матеріалу після досягнення певної температури. Нагрівання зразка описується диференціальним рівнянням теплопровідності, а температура, до якої нагрівається об'єкт впливу, визначається щільністю поглиненої потужності випромінювання q , яка залежить від потужності випромінювання P_0 , її розподілу за поверхнею і поглинальної здатності об'єкта A :

$$q = P_0 A / S, \quad (2)$$

де S – площа опроміненої зони на поверхні зразка.

Таким чином, з рішення рівняння теплопровідності для різних шкір, враховуючи коефіцієнт теплопровідності, щільність та товщину матеріалу, фокусну відстань, температуру зварювання та швидкість виконання лазерної обробки, можна визначити зв'язок температури нагрівання шкіри з щільністю потужності лазерного випромінювання q , що дозволяє визначити граничне значення потужності для виконання обробки шкір, при якому температура поверхні зразка до моменту закінчення дії операції гравірування буде досягати заданого значення. В табл. 1 наведені технологічні параметри лазерної обробки, при яких рекомендовано виконання операцій гравірування та розкрою шкір Краст, «Флотар» та «Наппа», підтверджені експериментальними дослідженнями. Глибина лазерної абляції, що дорівнює 25–30% від товщини шкіри, є оптимальною та немає негативного впливу на гістологічну будову шкір, не погіршує експлуатаційні характеристики виробів.

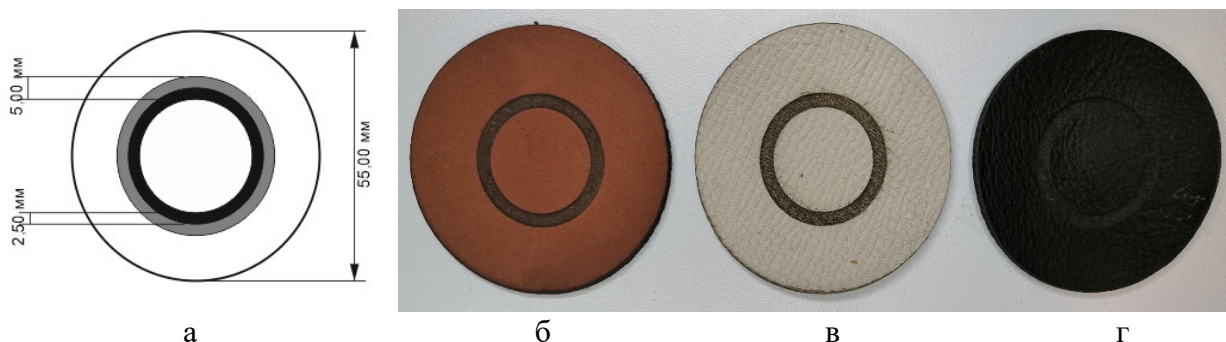
За результати електронної мікроскопії зразків шкіри (рис. 5) можна констатувати, що лазерна обробка не має негативного впливу на макроструктуру дерми та відкриваючи капілярно-пористу структуру шкіри, змінює значення показника паропроникності шкір. Дослідження гігієнічних властивостей шкір Краст, «Флотар» та «Наппа» проводились згідно

з ISO 14268:2008 шляхом визначення паропроникності, яка характеризує здатність шкіри пропускати водяну пару. Визначення паропроникності полягає у створенні різниці пружності водяної пари по обидва боки дослідного зразка та встановленні кількості водяної пари, що пройшла через одиницю площі за одиницю часу. Попередньо в робочих зонах зразків були нанесенні гравіровані елементи, що складали 1%, 25% та 50% від робочої площі випробуваного зразка, з різною глибиною лазерної абляції від 0,1 мм до 0,7 мм з кроком 0,1 мм (рис. 7).

Таблиця 1

Технологічні параметри лазерної обробки шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів

Вид шкіри	Гравірування		Розкрій	
	Потужність променю, Вт	Швидкість головки лазеру, мм/с	Потужність променю, Вт	Швидкість головки лазеру, мм/с
Краст	17	300	80	70 – 80
«Флотар»	17-19	270-300	70	60 – 65
«Наппа»	15-17	270-300	70	60 – 65



**Рис. 7. Зразки шкіри для випробувань
 а) графічний макет; б) Краст; в) «Флотар»; г) «Наппа»**

Показником відносної паропроникності є відношення маси водяної пари, що пройшла через досліджуваний зразок із простору з більшою щільністю водяної пари у простір до маси водяної пари, що випаровується з вільної поверхні за таких самих умов. Побудовані діаграми демонструють (рис. 8), що зі збільшенням глибини абляції до 0,7 мм (50% від загальної товщини зразка), відносна паропроникність збільшується у всіх зразках досліджуваних шкір. В порівнянні з контрольними зразками, де абляція відсутня, відносна паропроникність для шкіри Краст збільшилась на 5%, «Флотару» на 13,5% та на 9,5% для «Наппи».

При збільшенні площі абляції до 50% від робочої зони зразків, спостерігається різке зростання відносної паропроникності для шкіри «Флотар» на 25% в порівнянні з контрольним зразком. Відповідно для шкіри Краст збільшення показника в межах 8,5%, а для «Наппи» – 11,6%. Таким чином, доведено залежність паропроникності від глибини та площі лазерної абляції, встановлено вплив на гігієнічні властивості виробів зі шкіри, а особливо при виготовленні взуття, оздобленого лазерним гравіруванням.

Гігієнічні властивості взуття визначаються в основному властивостями матеріалів, з яких воно виготовлено, та його конструкцією. Для забезпечення комфортних умов експлуатації матеріали верху взуття, підкладки та устілок повинні володіти не тільки паропроникністю, але і здатністю поглинати пари води для забезпечення необхідного мікроклімату у внутрішньовзуттєвому просторі. Пари вологи через матеріал можуть проникати двома шляхами: через наскрізні пори, розташовані між волокнами шкіри, і шляхом

адсорбції парів з середовища з більшою вологістю повітря, їх дифузії і десорбції в середу з меншою вологістю. Якщо у взутті відвід пари ускладнено через малу паропроникність та вологовідведення, то в процесі носіння при терті стопи створюються мікроділянки підвищеної температури і, як наслідок, неприємні відчуття перегріву і печіння стопи. Покращення гігієнічних властивостей реалізовано за рахунок оздоблення зовнішніх та внутрішніх деталей перфорацією та лазерним гравіруванням.

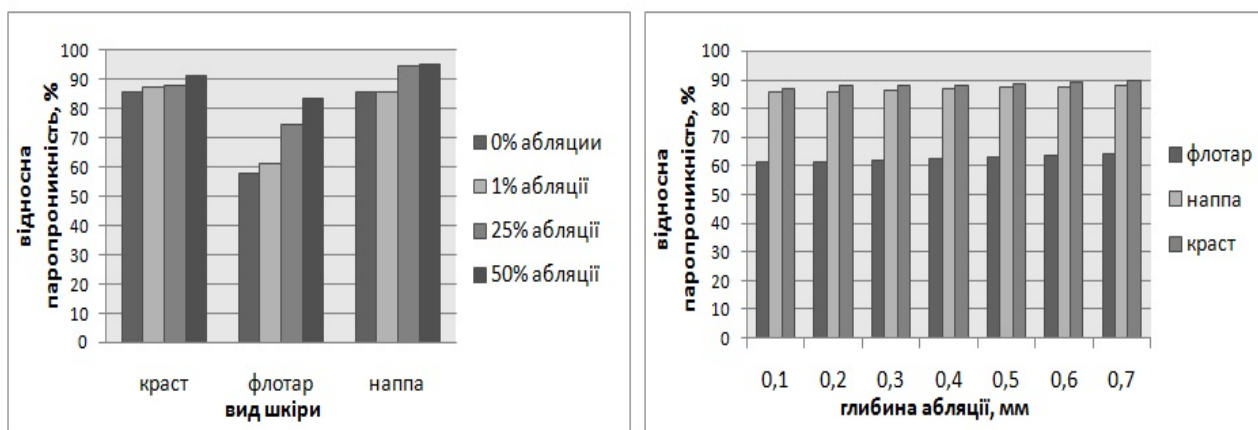


Рис. 8. Залежність паропроникності від площі та глибини абляції

Відповідно до вставлених параметрів лазерної обробки з урахуванням її впливу на гігієнічні властивості шкір було розроблено дизайн та конструкцію моделей взуття та вкладних устілок з оздобленням лазерним гравіруванням та перфорацією (рис. 9).



Рис. 9. Вироби зі шкіри, оздоблені лазерним гравіруванням

Висновки. Дослідження впливу глибини та площі лазерної абляції на гігієнічні властивості натуральних шкір дозволило оцінити ступінь впливу лазерного випромінювання на структуру дерми шкіри; визначити вплив теплофізичних процесів, що супроводжують процес лазерної обробки, на морфологічну будову шкір Краст, «Флотар» та «Наппа».

Встановлено, що стан структури дерми шкір під дією лазерного випромінювання не зазнає принципових морфологічних змін будови, а сам процес обробки не має негативного впливу на її макроструктуру. Зміни, що спостерігаються в зоні абляції, а саме на зразках шкір «Флотару» та «Наппи» вказують на явні ознаки зварювання колагенових волокон. Також спостерігається збільшення міжструктурних відстаней між пучками колагену, що стало результатом теплофізичних процесів лазерної обробки, при потужності променю від 15 до 19 Вт і швидкості головки лазера від 270 до 300 мм/с.

Доведено, що збільшення глибини абляції до 50–52% від товщини зразків та площі абляції до 50% від загальної площі значно підвищують показник її паропроникності у всіх

зразках шкір, що відбувається внаслідок відкриття капілярно-пористої структури шкіри. В порівнянні з контрольними зразками, де абляція відсутня, відносна паропроникність для шкіри Крафт збільшилась на 8,5%, «Флотару» на 25% та на 11,6% для «Наппи».

Покращення гігієнічних властивостей виробів зі шкіри досягається за рахунок розробки дизайну та конструкцій взуття та його окремих деталей з застосуванням лазерного гравірування та перфорації. Глибина лазерної абляції, що дорівнює 25-30% від товщини шкіри, та площа гравірованих елементів менша 50% від загальної площі деталі є раціональними технологічними параметрами для лазерного оброблення шкіри, що забезпечать гарні гігієнічні властивості та не погіршать експлуатаційних характеристик виробів.

References

1. Grigoriants, A. G. (1989). *Osnovy lazernoї obrabotki materialov* [Basics of laser material processing]. Moscow: Mashinostroenie. 304 p. [in Russian].
2. Rykalin, N. N., Uglov, A. A., Kokora, A. N. (1975). *Lazernaya obrabotka materialov* [Laser processing of materials]. Moscow: Mashinostroenie. 205 p. [in Russian].
3. Yashina, M. A., Trunova, I. G., Pachurin, G. V., Shevchenko, S. M. (2016). *K voprosu ispolzovaniya lazernogo oborudovaniya v tsekhakh gibkikh avtomatizirovanykh proizvodstv* [On the use of laser equipment in the workshops of flexible automated production]. Moscow: Tekhnosfera. p.42. [in Russian].
4. Borshchevska, N. M. (2020). *Doslidzhennia vplyvu lazernoho hraviruvannia na fizyko-mekhanichni vlastyvoli naturalnykh shkir dlia verkhу vzuttia ta shkirhalantereynykh vyrobiv* [Investigation of the influence of laser engraving on the physical and mechanical properties of genuine leather for shoe uppers and leather goods]. *Visnyk KNUТD. Tekhnichni nauky*, 5 (150): 46–55. [in Ukrainian].
5. Danylkovych, A. (2006). *Praktykum z khimii ta tekhnologii shkiry ta khurta*. [Workshop on chemistry and technology of leather and fur]. Kyiv: Feniks. 340 p. [in Ukrainian].
6. Parfenov, V. A. (2011). *Lazernaya mikroobrabotka materialov: uchebnoye posobiye* [Laser micromachining of materials: a tutorial]. St. Petersburg: LETI. 59 p. [in Russian].
7. Strakhov, I. et al. (1970). *Khimiya i tekhnologiya kozhi i mekha* [Chemistry and technology of leather and fur]. Moscow: Legkaya industriya. 632 p. [in Russian].
8. Rybalchenko, V. V., Konoval, V. P., Druhulias, E. P. (2010). *Materialoznavstvo vyrobiv lehkoi promyslovosti. Metody vyprobuvan: navchalnyi posibnyk* [Materials science of light industry products. Test methods: textbook]. Kyiv: KNUТD. 395 p. [in Ukrainian].
9. Zakharenko, V. O., Sorokina, S. V., Akmen, V. O. (2019). *Vyvchennia mikrostruktury naturalnoi shkiry ta yii vplyv na fizychni vlastyvoli: monohrafiia* [Study of the microstructure of genuine leather and its effect on physical properties: a monograph]. Kharkiv: KhDUKhT. 138 p. [in Ukrainian].

Література

1. Григорьянц А. Г. *Основы лазерной обработки материалов*. Москва: Машиностроение, 1989. 304 с.
2. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Кокора А. Н. *Лазерная обработка материалов*. Москва: Машиностроение, 1975. 205 с.
3. Яшина М. А., Трунова И. Г., Пачурин Г. В., Шевченко С. М. *К вопросу использования лазерного оборудования в цехах гибких автоматизированных производств*. Москва: Техносфера, 2016. 42 с.
4. Борщевська Н. М. *Дослідження впливу лазерного гравірування на фізико-механічні властивості натуральних шкір для верху взуття та шкіргалантерейних виробів*. *Вісник КНУТД. Технічні науки*. 2020. № 5 (150). С. 46–55.
5. Данилкович А. Г. *Практикум з хімії та технології шкіри та хутра: навчальний посібник*. Київ: Фенікс, 2006. 340 с.
6. Парфенов В. А. *Лазерная микрообработка материалов: учебное пособие*. Санкт-Петербург: Издательство СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. 59 с.
7. Страхов И. П. и др. *Химия и технология кожи и меха*. Москва: Легкая индустрия, 1970. 632 с.
8. Рыбальченко В. В., Коновал В. П., Дрегуляс Е. П. *Матеріалознавство виробів легкої промисловості. Методи випробувань: навч. посібник*. Київ: КНУТД, 2010. 395 с.
9. Захаренко В. О., Сорокіна С. В., Акмен В. О. *Вивчення мікроструктури натуральної шкіри та її вплив на фізичні властивості: монографія*. Харків: ХДУХТ, 2019. 138 с.

10. Miglyachenko, A. F. (1972). Opredeleniye parametrov poristoy struktury kozhi [Determination of the parameters of the porous structure of the skin]. *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost*, 2: 31. [in Russian].

11. Pavlin, A. V. (1979). Mikrostruktura i sootnosheniye makro- i mikropor v kozhe [Microstructure and ratio of macro- and micropores in the skin]. *Izvestiya vuzov: Tekhnologiya legkoy promishlennosti*, 5: 49–54 [in Russian].

12. Krishtal, M. M., Yasnikov, I. S., Polunin, V. I., Filatov, A. M., Ulianenkov, A. G. (2009). Skaniruyushchaya elektronnaya mikroskopiya i rentgenospektralnyy mikroanaliz [Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis]. Moscow: Tekhnosfera. 166 p. [in Russian].

10. Мигляченко А. Ф. Определение параметров пористой структуры кожи. *Кожевенно-обувная промышленность*. 1972. № 2. С. 31.

11. Павлин А. В. Микроструктура и соотношение макро- и микропор в коже. *Известия вузов. Технология легкой промышленности*. 1979. № 5. С. 49–54.

12. Криштал М. М., Ясников И. С., Полунин В. И., Филатов А. М., Ульяненок А. Г. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ. Москва: Техносфера, 2009. 166 с.

BORSHCHEVSKA NATALIA

Assistant, Department of Design and Technologies of Leather Products, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3242-0419>
E-mail: borshoes@gmail.com

PERVAIA NATALIJA

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design and Technologies of Leather Products, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5086-3926>
Scopus Author ID: 57208470971
E-mail: nataliapervaia@gmail.com

БОРЩЕВСКАЯ Н. Н., ПЕРВАЯ Н. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ
НА ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАТУРАЛЬНОЙ КОЖИ
ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ И КОЖГАЛАНТЕРЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Цель. Исследование влияния лазерной гравировки на гигиенические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий, а именно кожи Краст, «Флотар» и «Наппа».

Методика. Для реализации поставленной цели использован метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследование гигиенических свойств кож Краст, «Флотар» и «Наппа» проводилось согласно ISO 14268: 2008 путем определения их паропрооницаемости.

Результат. Исследования воздействия лазерной обработки на гигиенические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий определили характер изменений микро- и макроструктуры дермы под действием лазерного гравирования, а также допустимые предельные значения глубины и площади лазерной абляции. С увеличением глубины абляции до 0,7 мм (50% от общей толщины образца) относительная паропрооницаемость увеличивается во всех образцах исследуемых кож, при этом для кожи Краст увеличилась на 5%, «Флотара» на 13,5% и на 9,5% для «Наппы». Оптимальное значение глубины лазерной абляции, которое не ухудшает эксплуатационные и гигиенические характеристики изделий, составляет 25-30% от толщины кожи. На лицевой поверхности кож выявлены особенности, характерные только для участка прямого действия лазерного луча, а именно образцы кож «Флотар» и «Наппа» имеют явные признаки сваривания коллагеновых волокон. В зоне лазерной абляции также было выявлено увеличение межструктурных расстояний между пучками волокон коллагена, что стало следствием теплофизических процессов действия лазерного излучения.

Научная новизна. Определены эффект влияния глубины и площади лазерной абляции на морфологическую структуру дермы и гигиенические свойства натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий.

Практическая значимость. Определена паропроницаемость натуральных кож для верха обуви и кожгалантерейных изделий под действием лазерного излучения. Установлены значения глубины и площади лазерной абляции для отделки изделий из натуральной кожи с учетом влияния на гигиенические свойства изделий в целом.

Ключевые слова: лазерная гравировка; изделия из кожи; глубина и площадь абляции; паропроницаемость; электронная сканирующая микроскопия; гигиенические свойства кожи.

BORSHCHEVSKA N. M., PERVAIA N. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF LASER ENGRAVING ON THE HYGIENIC PROPERTIES OF NATURAL LEATHER FOR SHOE UPPERS AND LEATHER GOODS

Purpose. Investigation of the effect of laser engraving on the hygienic properties of nature leather for uppers and leather goods, namely leather Krast, Flotar and Nappa.

Methodology. To achieve this goal, the method of scanning electron microscopy (SEM) was used. Hygienic properties of Krast, Flotar and Nappa hides was studied in accordance with ISO 14268: 2008 by determining vapor permeability.

Findings. According to the results of the study of the effect of laser radiation on the hygienic properties of nature leather for uppers and leather goods, the nature of changes in the micro- and macrostructure of the dermis under laser engraving and allowable depth and area of laser ablation that do not impair the hygienic properties of these skins and products. With increasing ablation depth to 0,7 mm (50% of the total thickness of the sample), the relative vapor permeability increases in all samples of the studied skins, while the relative vapor permeability for the skin of Krast increased by 5%, Flotar by 13,5% and 9,5% for Nappa. The optimal value of the depth of laser ablation, which does not impair the operational and hygienic characteristics of the products is 25–30% of the skin thickness. On the front surface revealed features of the structure, which are characteristic only for the area of direct action of the laser beam, namely the skin samples Flotar and Nappa have obvious signs of welding collagen fibers. In the area of laser ablation, an increase in the interstructural distances between the bundles of collagen fibers was also detected, which was the result of thermophysical processes of laser radiation.

Originality. The determined effect affects the depths and flat laser ablations on the morphological structure of the dermis and the hygienic properties of natural leather for shoe uppers and leather goods.

Practical value. The vapor permeability of genuine leather for the uppers of shoes and leather goods under the action of laser radiation was determined. The value of the depth and area of laser ablation for finishing leather products, taking into account the impact on the hygienic properties of products in general.

Keywords: laser engraving; leather products; depth and area of ablation; vapor permeability; hygienic properties of leather; method of scanning electron microscopy.