

МАЗУР АНДРІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0006-8483-4273>e-mail: mazurav@khmnu.edu.ua**ГОРЯЩЕНКО СЕРГІЙ**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-6623-2523>e-mail: gsl7@ukr.net

АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАНЕСЕННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ДЕТАЛІ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА ВАЛКОВИХ МАШИНАХ

У статті розглядаються перспективи застосування валкових машин для нанесення полімерних захисних покриттів на шкіряні деталі у виробництві виробів легкої промисловості. Показано переваги валкового нанесення, зокрема точності регулювання товщини шару, стабільності процесу, економії матеріалів та високої повторюваності результатів. Проведено аналіз типових схем валкових механізмів, серед яких: одно- та двовалкові системи, комбінації з притискним або дозуючим валом. Висвітлено сучасні моделі обладнання, як як Synchrocoat та Multicoat від Bergi S.p.A., що демонструють високі технічні характеристики і придатність до нанесення широкого спектру покриттів, включаючи поліуретанові, акрилові та воскові композиції. Особлива увага приділена огляду технічних характеристик таких машин, порівнянню їх ефективності та рівню автоматизації. Розглянуто дослідження вітчизняних та зарубіжних авторів, які аналізують вплив режимів нанесення на адгезію, рівномірність шару, а також на експлуатаційні властивості готових виробів. У результаті зроблено висновок, що валкове нанесення полімерних покриттів є перспективним напрямом для промислової обробки шкіри, який забезпечує високу якість продукції та зменшення виробничих витрат, особливо в умовах автоматизованих ліній.

Ключові слова: полімер, валки, обладнання, деталі легкої промисловості, методи

MAZUR ANDRIY**HORIASHCHENKO SERHIY**

Khmelnyskyi National University

ANALYSIS OF METHODS OF APPLICATION OF POLYMER COATING ON LIGHT INDUSTRY PARTS ON ROLLING MACHINES

This article explores the prospects of using roller coating machines for the application of protective polymer films on leather components in the production of fashion and technical leather goods. Roller coating is recognized as an efficient and sustainable technology due to its high precision in layer thickness control, reduced material consumption, and process repeatability. The paper presents an overview of the operating principles of different types of roller mechanisms, including single-roller, double-roller, and multi-roller systems with controlled pressure and gap settings. Special attention is paid to the technical and functional advantages of modern roller coating equipment, such as the Synchrocoat and Multicoat models by Bergi S.p.A., which offer consistent coating quality and compatibility with a wide range of polymers, including polyurethane, acrylic, and wax-based compounds.

The study highlights the technological features of roller coating, such as adjustable speed, pressure, and coating viscosity, allowing fine-tuned application onto various types of leather with different surface properties. Furthermore, the integration of automatic control systems and sensor-based feedback loops ensures uniform film thickness and strong adhesion without damaging the flexible leather substrates. Comparative analysis of international equipment specifications is provided, revealing trends in automation, energy efficiency, and multi-layer application capabilities.

The article also includes a review of recent academic and industrial research focused on the mechanical, adhesive, and aesthetic properties of coated leather products. These studies underline the importance of optimal coating parameters and the influence of machine configuration on the final product performance. The conclusion emphasizes that roller coating technology offers significant potential for improving product durability and appearance while supporting sustainable production practices. The results of this work may inform the development of advanced coating lines for the leather industry and encourage further innovation in environmentally conscious surface treatment methods.

Keywords: polymer, rolls, equipment, light industry parts, methods

Стаття надійшла до редакції / Received 12.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 28.04.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Легка промисловість значною мірою залежить від полімерів та хімічної індустрії, зокрема, виробництва полімерних матеріалів, добавок, допоміжних речовин та інших хімічних компонентів. Вони необхідні для надання матеріалу необхідних властивостей відповідно до стандартів якості й вимог щодо міцності. Процеси виготовлення текстильного покриття та ламінування мають багато спільного з процесами, які застосовуються в плівковій і паперовій промисловостях, де полімери також використовуються для покриття і ламінування. Розмежування між папером та певними нетканими матеріалами іноді є досить умовним, оскільки тканина з нетканих матеріалів часто використовується як основа для багатьох полімерних композицій у ролі сполучних речовин. У текстильному покритті застосовуються такі полімери, як акрилові та поліуретанові, які також поширені у фарбувальній галузі. Ба більше, деякі аналітики розглядають фарбу як один із видів покриття. Принципи нанесення покриття

мають схожість із фарбуванням: найкращий результат забезпечується шляхом нанесення кількох тонких шарів замість одного товстого, що характерно і для текстильного покриття.

Системи покриття валками застосовують для нанесення шарів на плоскі деталі (підкладки), використовуючи комбінацію кількох типів валиків, що дозволяє створювати поверхні з бажаними властивостями. Завдяки поєднанню і спеціалізації різноманітних технологій такі системи здатні працювати з рідинами різної в'язкості та регулювати товщину нанесеного покриття. У результаті такої технології знайшли застосування в багатьох сферах, зокрема у виробництві електронних компонентів, оптичних та РК-продуктів, у харчовій та медичній галузях. Здебільшого такі системи використовуються для роботи з тонкими плоскими матеріалами, які як тканини чи листові матеріали. Проте їх можна застосовувати для нанесення покриттів і на широкі, довгі підкладки в безперервному та швидкому режимі. Основна область використання — це мокре покриття. У певних випадках процес здійснюється у чистих приміщеннях, щоб уникнути потрапляння сторонніх частинок на вологу поверхню до її затвердіння.

Аналіз досліджень та публікацій

Огляд у роботі [1] присвячений полімерним покриттям із антибактеріальними властивостями. Розглядаються різноманітні синтетичні стратегії створення таких покриттів та їх ефективність. Акцентується на важливості вибору полімерних композицій і їх синтезу для досягнення широкого спектра антимікробної дії. У роботі [2] досліджується нанесення провідного шару поліуролу (polyurethole) на шкіру. Використовуючи валкові системи, створюється тонкий шар (~мікрметри), який надає шкірі антибактеріальні та електропровідні властивості, при цьому помітно впливає на еластичність і міцність матеріалу

Автори роботи [3] описують дослідження гнучких («поролонічних») валкових машин. Аналізується взаємодія в'язкості покриття, швидкості подачі та діаметра валиків. Зокрема, вивчаються режими нанесення на м'які пористі основи та вплив параметрів на якість покриття

Огляд, що представлений у [4] спрямований на застосування водних поліуретанів у ретанінгу й фінішній обробці шкіри. Показано, що валкові технології при нанесенні PU дозволяють зберегти механічні властивості шкіри та значно підвищити вологостійкість і функціональність покриттів. В роботі [5] розглядається застосування водних PU-наносполук як ретанінг-агентів та фінішних покриттів. Зокрема, увага приділяється екологічним PU-композиціям із наночастками, які забезпечують вогнезахисні, антимікробні або флуоресцентні властивості. Результати дослідження силіконових (PDMS) покриттів для штучної та натуральної шкіри. Силіконові покриття відзначаються надзвичайною низькотемпературною гнучкістю (-131°C), високою зносостійкістю та відштовхувальними властивостями.

Валкові системи нанесення розглянуті у [6, 7, 8, 9]. Показано основні принципи формування покриття. На ринку присутні валкові машини таких виробників, як Renzacci, Fratelli Alberti, Comelz (Італія), Fujita (Японія) та Sunkist (Корея), які спеціалізуються на виробництві обладнання для обробки шкіри. Вони пропонують моделі з автоматичним контролем тиску, електронним управлінням подачею полімеру та налаштуванням зони нанесення, що особливо важливо для дрібних або складної форми шкіряних деталей [9].

Таки параметри як регульована швидкість, тиск та в'язкість покриття дозволяють точно налаштувати нанесення на різні типи матеріалу (тканина, шкіра) полімеру з різними властивостями, для утворення відповідної захисної поверхні [10]. Використання сучасних систем автоматичного керування та датчиків забезпечує рівномірну товщину плівки та міцну адгезію без пошкодження гнучких підкладок. Узагальнена характеристика обладнання зведена до таблиці 1.

Таблиця 1

Моделі валкових машин для нанесення полімерних покриттів

№	Модель (Виробник)	Призначення	Технічні параметри
1	Synchrocoat (Bergi S.p.A.)	Двовалкова машина для нанесення ефектів та кольорових покриттів по всій ширині матеріалів	<ul style="list-style-type: none"> Робоча ширина: 3400 мм Потужність: 7 кВт (машина) + 7 кВт (POD) + 18 кВт (нагрів) Швидкість: 5–15 м/хв Вага: 8250 кг
2	Multicoat (Bergi S.p.A.)	Традиційна машина для нанесення пігментів з незалежним регулюванням товщини	<ul style="list-style-type: none"> Ширина: 1000/1800/2200/2400/2600 мм Потужність: 4.5–6.5 кВт (без нагріву), + 6 кВт (нагрів) Вага: 1650–2650 кг (з 3 валками) Регулювання товщини — ліво/право електронно
3	PU Synthetic Leather Roller Coating (Jiangsu Liangang)	Півавтоматичне обладнання з підігрівом — для ПУ шкіри	<ul style="list-style-type: none"> Ширина: 1800 / 2200 / 3400 мм Потужність: 7.5 кВт Швидкість: 0–18 м/хв PLC, нагрівання роликів, розподільна система

Продовження таблиці 1

№	Модель (Виробник)	Призначення	Технічні параметри
4	Leather Chemical Roller Coating Machine (Liangang)	Для нанесення хім. / воскових / масляних покриттів	<ul style="list-style-type: none"> • Потужність: 7.5 кВт • Швидкість: 0–18 м/хв • Опція «спредер», PLC, нагрів роликів
5	Tannery Roller Coater (Greenprint)	Для обробки шкіри та інших матеріалів у листовому вигляді, таких як шкіра, картоні та синтетика	<ul style="list-style-type: none"> • Робоча ширина: 1800–2400 мм • Потужність: до 35 кВт • Розміри: 3000 × 2500 × 2000 мм • Напруга: 380 В / 3 фази

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: дослідження існуючих методів нанесення полімерних композицій валками.

Виклад основного матеріалу

До популярних полімерних покриттів, які оптимально поєднують ефективність, довговічність, трудомісткість та вартість нанесення, належать такі варіанти: Поліестер – найбільш економічне покриття. Воно добре зберігає колірну гамму, стійке до температурних коливань, має рівномірний колір та доступне у матовому чи глясовому виконанні. Мінусами є його чутливість до механічних пошкоджень: покриття легко дряпається і може відшаруватися. Пластизол – відзначається товстим шаром (до 200 мкм) і високим рівнем захисту. Стійке до механічних ушкоджень і впливу хімічних речовин, але має низьку стійкість до ультрафіолету, через що виготовляється переважно у світлих тонах. Пурал – термостійке і довговічне покриття з високою стійкістю до пошкоджень та збереженням кольору. Основний недолік – висока вартість. ПВДФ (полівінілденфторид) – найміцніше і найбільш довговічне покриття, яке дає змогу досягти цікавих колірних ефектів [10, 11]. Процес нанесення полімерного покриття включає кілька послідовних етапів:

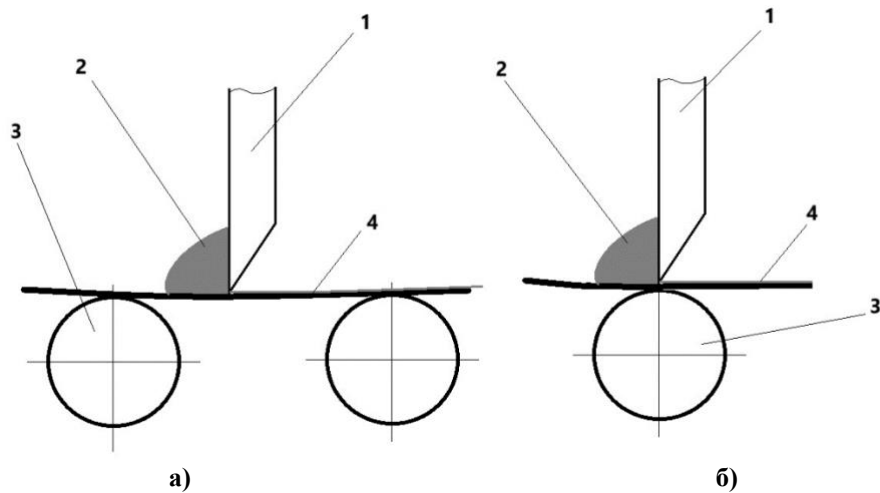
1. Підготовка виробу.
2. Нанесення захисного покриття: валковий метод передбачає нанесення рідкого полімеру валиком.
3. Полімеризація та сушка.
4. Фінішна обробка за необхідністю.

Покриття передбачає нанесення полімеру у вигляді загущеної водної дисперсії або розчину (на водній чи розчинниковій основі) на матеріал з метою формування безперервного шару. Для цього важливо загустити рідину таким чином, щоб вона не проникала в тканину або крізь неї. Перед нанесенням попередньо підготовлені сполуки завжди необхідно ретельно перемішати, після чого перевірити й зафіксувати в'язкість. Найпростішим методом нанесення покриттів є прямий спосіб, відомий також як "плаваючий ніж" або технологія нанесення ножем з повітряною підтримкою [12]. У цьому методі тканина натягується у горизонтальну площину для створення рівної поверхні та транспортується валками під нерухомим вертикальним ножем. У процесі руху тканини полімерна композиція рівномірно розподіляється її поверхнею за допомогою ножа, що забезпечує якісне покриття (див. Рис. 1). На Рис. 1 продемонстровано використання ножа або леза в роликівому методі прямого нанесення. Кількість нанесеного полімеру, тобто так званий "заповнення", залежить від концентрації дисперсії чи розчину, що визначається вмістом твердих речовин. Крім того, існують інші параметри, які також впливають на рівень додавання полімеру [12, 13].

Лезо контактує з поверхнею тканини, яка повинна бути гладкою та рівномірною завдяки попередньому натягуванню (рис.1, а). Цей метод використовується для нанесення початкового шару покриття, що слугує для закріплення поверхні тканини. Другий шар накладається за допомогою товстішого ножа або ножа з роликівим методом, щоб заповнити полімером.

У методі, що на рис.1,б, між ножем і поверхнею матеріалу створюється зазор для нанесення контрольованої кількості полімеру. Цей підхід також використовується, якщо маса полімеру занадто важка для підтримки матеріалом, наприклад, як у випадку з ПВХ-пластизолами. Положення леза відносно центру ролика має критичне значення. Якщо лезо не розташоване безпосередньо над роликівом, ситуація нагадує принцип ножового нанесення з використанням повітряного зазору. Позиція леза трохи зміщена від центру ролика є доцільною для покриття щільних тканин, що мають високий рельєф або ворсисту поверхню, наприклад як замша.

Пряме нанесення зазвичай застосовується для тканин із гладких прямих волокон, таких як нейлон чи поліестер. У таких тканин кінчики волокон можуть виступати на поверхню, утворюючи шорсткість. Лезо здатне збільшити цей ефект, витягуючи волокна ще більше і додаючи їм ворсистості при покритті полімерами [12].



а) при повітряній роликів підтримці, б) безпосередньо над роликком
 1 – Ніж; 2 – Полімер; 3 – ролик; 4 – матеріал з нанесеним покриттям

Однак для виробів, які потребують товстого шару полімеру, таких як ремені, це не є проблемою, оскільки декілька шарів матеріалу повністю приховують кінці волокон. У виробництві промислових покриттів, зокрема для цих виробів, іноді використовується й бавовна. На результат також впливають профіль леза, його кут нахилу та натяг тканини, які визначають щільність контакту між нею і лезом (див. рис. 2). Товсте профільоване лезо створює більший шар покриття порівняно із тонким і гострим. Нахилене вперед лезо сприяє збільшенню шару матеріалу порівняно із перпендикулярним положенням. Далі, напрямне лезо формує клин між ним і тканиною, що стимулює проникнення полімеру крізь тканину. Такий процес може призводити до затвердіння волокон і послаблення міцності матеріалу, що здатне негативно вплинути на його зовнішній вигляд і характеристики [12].

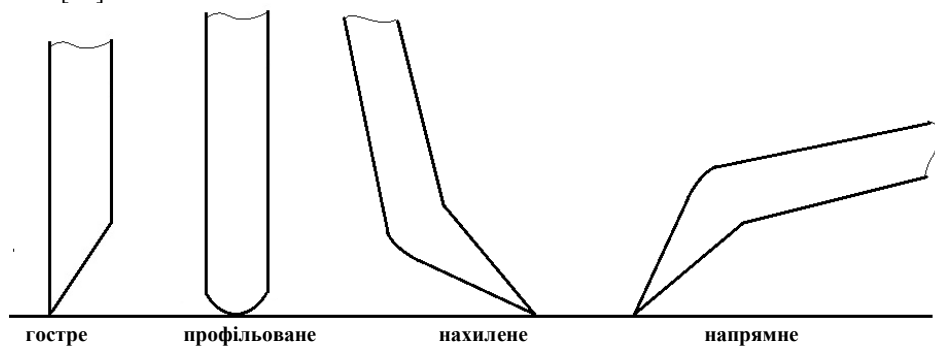


Рис.2. Профілі ножів

Переносне покриття (трансферне) було розроблено, коли поліуретанові полімери почали використовувати як захисні покриття для текстилю. Цей метод "перенесення" застосовують для трикотажних тканин, які, порівняно з тканими матеріалами, мають відкриту й еластичну структуру. Через це їх не можна обробляти прямим способом, оскільки вони деформуються під натягом, потрібним для створення рівної поверхні. До того ж полімер може проникнути крізь трикотажну тканину і потрапити на лицьову сторону, що призведе до її затвердіння та значного зниження міцності на розрив. Окрім цього, тканини із пряжі, наприклад, бавовняної, зазвичай створюють шорстке й нерівномірне відчуття при прямому покритті, але можуть бути легко оброблені за допомогою методу переносу. Суть методу полягає в тому, що полімер спочатку рівномірно розподіляють на папері для створення плівки, яку згодом поєднують із тканиною. [12, 14] Таким чином, полімер контактує з тканиною лише після того, як сформує твердий шар. Процес здійснюється кількома етапами. Спершу верхній шар наносять на папір за допомогою леза, після чого цей шар висушують у духовці без перехресного зшивання. Далі основний шар наносять поверх верхнього та одразу накладають тканину, прикріплюючи її за допомогою пресувальних валиків. Потім папір із нанесеними шарами й тканиною переходить у другу піч, де відбувається висушування і зшивання обох шарів. Основний шар міцно скріплюється з тканиною, тоді як верхній завдяки властивостям паперу легко відділяється від нього. Після виходу з другої печі готовий текстильний виріб звільняють від паперу та надсилають на подальше оброблення. Якщо потрібні покращені технічні характеристики, можна підвищити рівень поліуретанового наповнення шляхом нанесення додаткового шару між верхнім і основним. Для створення декоративних текстур чи рельєфних візерунків використовують тиснення на папері або спеціальну обробку після завершення процесу [15].

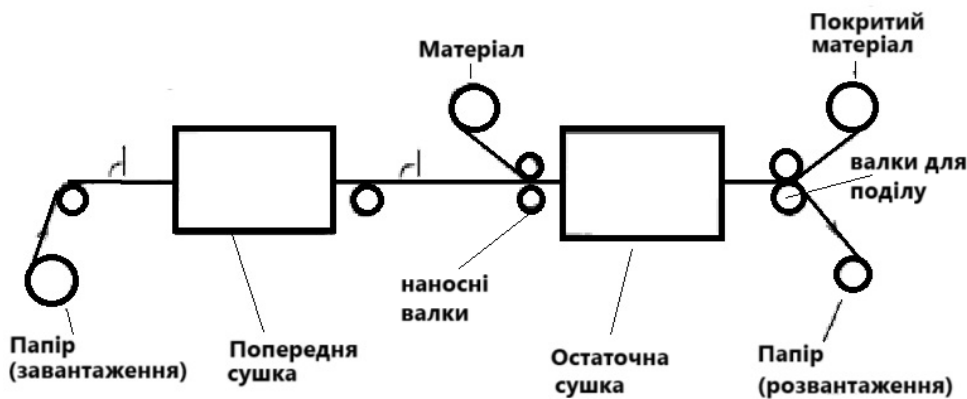
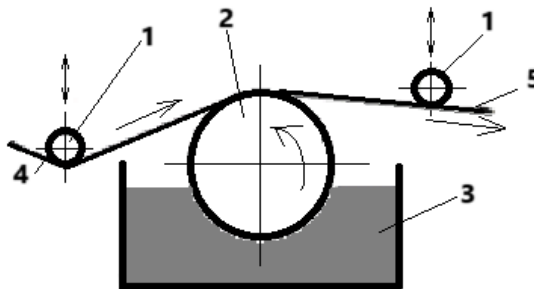


Рис.3. Метод "перенесення", трансферний

Трансферне покриття є дорожчим за пряме покриття, частково через додаткові витрати на відносно дорогий випускний папір та більш затратне подвійне нанесення шару. Окрім цього, для досягнення високих технічних характеристик іноді необхідно використовувати полімери на основі розчинників, особливо у верхньому шарі, який стає зовнішньою поверхнею в готовому одязі [12]. У деяких випадках випускний папір може бути згорнутий і повторно використаний, але його властивості знижуються з кожним наступним використанням. Для продукції вищої якості його зазвичай використовують лише одноразово.

Зворотний метод обливання роликів може бути використаний для нанесення покриттів або покриттів з дуже низькою в'язкістю на одній стороні тканини, див. Рис. 4. [12]



1 – ведучий валок; 2 – наносний валок; 3 – полімерна суміш; 4 – матеріал; 5 – матеріал з покриттям
Рис. 4 Нанесення методів нанесення покриттів на лицьову сторону

Зворотний метод обливання роликів використовується для нанесення покриттів або матеріалів з дуже низькою в'язкістю на одну сторону тканини. Як видно на Рис. 4, цей метод дозволяє також управляти нанесенням на лицьову сторону тканини.

Цей підхід є альтернативою традиційному просоченню, яке іноді може пошкодити структуру тканини через тиск на манжети підкладки, або де існує ризик пошкодження текстильної структури через дефекти у процесі обробки. Контроль шару покриття здійснюється декількома способами, зокрема [12]:

- Регулюванням швидкості обертання робочого ролика відносно швидкості руху тканини (за потреби швидкість ролика може бути навіть зворотною для зменшення товщини шару).
- Зміною концентрації твердих частинок у складі полімеру.
- Налаштуванням положення направляючих роликів, щоб збільшити або зменшити площу контакту між тканиною та робочим роликом.

У випадку з густими полімерами для точнішого контролю можуть використовуватися додаткові елементи, такі як ножі, які впливають на ролик або безпосередньо на тканину. Іноді додатковий резервний ролик застосовується для проникнення полімеру у волокна тканини [14].

Кількість нанесеного матеріалу відповідно контролюється такими чинниками:

- Вмістом твердих речовин у ванні.
- Кутом і площею контакту тканини з валка.
- Швидкістю та напрямком обертання робочого валка.
- Швидкістю руху тканини.

У деяких випадках можна застосовувати додаткове покриття на валку для забезпечення рівномірності нанесення полімерних композицій, а також для покращення процесу контролю.

На даний час існує широкий спектр пристроїв, які містять від одного до дванадцяти і більше робочих валів, що можуть по-різному взаємодіяти між собою. Ці взаємодії залежать від співвідношення діаметрів, швидкостей обертання, типів покриття або форми поверхонь валів. Через це детальна характеристика всіх можливих конструкцій стає практично неможливою. Водночас будь-яку конструкцію можна схематично описати як набір парних комбінацій валів (або валу з підкладкою), кожна з яких має унікальні властивості. Серед цих властивостей виділяють форму та твердість

поверхонь валів, співвідношення їхніх діаметрів і швидкостей обертання, а також напрямку цього обертання. Тверді вали можуть мати гладку або рифлену (растрову) поверхню. Вали з еластичним покриттям зазвичай гладкі, але інколи можуть мати переривчасті або фігурні поверхні. У випадку поєднання жорстких гладких валів вони можуть обертатися як із однаковими, так і з різними швидкостями, бути спрямованими в один (наприклад, як на рис. 5, а, в) чи протилежний (рис.5, б) бік, а також мати однакові чи відмінні діаметри.

Наприклад, комбінація двох гладких твердих валів, що рухаються в одному напрямку в точці контакту, найчастіше застосовується для нанесення високов'язких матеріалів. У таких випадках вимоги до точності товщини покриття мінімальні, а маса нанесеного шару складає, як правило, щонайменше 150 г/м². З іншого боку, використання твердих валів зі зустрічним обертанням дає змогу досягти значно тонших і точніших покриттів. Завдяки великим швидкостям зсуву вдається зменшити в'язкість матеріалу в зазорі й утворити шар товщиною 30–50 мкм [12].

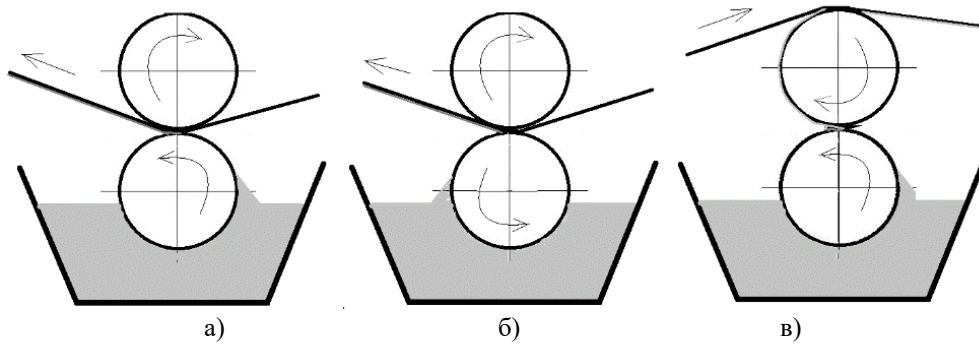


Рис. 5. Основні схеми валкових пристроїв

Технологічні переваги валкового нанесення полімерних покриттів на деталі легкої промисловості можна звести до таблиці 2.

Таблиця 2

Переваги валкового методу нанесення покриттів

№	Перевага	Опис
1	Висока точність нанесення	Забезпечується рівномірне та відтворюване нанесення шару по всій площі матеріалу, навіть при мінімальній товщині (до 2–5 мкм).
2	Контроль товщини покриття	Товщину шару легко регулювати зміною зазору між валками, швидкості подачі або використанням гравірованих валків.
3	Автоматизація процесу	Валкові машини легко інтегруються в автоматизовані виробничі лінії, що знижує трудові витрати та ризик помилок.
4	Висока повторюваність	Машини дозволяють досягати однакової якості нанесення від партії до партії, що важливо для стандартизації виробництва.
5	Мінімізація втрат матеріалу	Полімер використовується раціонально – надлишок не розбризкується, як у випадку з розпиленням.
6	Швидкість процесу	Висока продуктивність: можлива швидкість нанесення понад 30 м/хв без втрати якості.
7	Підходить для різних полімерів	Можна використовувати термопласти, водні дисперсії, ПУ-суміші, акрилати тощо, в тому числі з високою в'язкістю.
8	Легкість очищення та обслуговування	Проста конструкція валків дозволяє швидко очищати їх від залишків полімеру.
9	Застосовність до різних поверхонь	Ефективне нанесення як на гладкі, так і на рельєфні поверхні (використання м'яких або еластичних валків).
10	Безпечність і контроль екології	Мінімальний викид летких речовин, особливо при використанні водорозчинних полімерів.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Комбінація еластичних валів або твердих гладких валів з еластичними дає можливість наносити тонкі покриття та здійснювати одно- чи двостороннє просочення підкладки з масою 0,5–5 г/м². Еластичні вали, що працюють у парі, зазвичай обертаються в одному напрямку, тоді як при комбінації еластичного валу з твердим обертання може бути як в одному напрямку, так і зустрічне. У ряді випадків вали з еластичним покриттям застосовують виключно для покращення адгезії матеріалу, який наноситься, до поверхні валу. У таких випадках пари цих валів, подібно до пар з твердими валами, забезпечуються гарантованим зазором. З точки зору механіки процесу, подібні пристрої є аналогічними

тим, що використовують тверді вали. Тверді гладкі вали знаходять своє застосування як для попереднього нанесення з подальшим калібруванням шару покриття, так і для його остаточного формування. Растрові та еластичні вали найчастіше виконують саме функцію фінального формування. Ефективність вибору тієї чи іншої конструкції валкових пристроїв визначається особливостями процесу, що протікає в зоні контакту, а також специфікою їх конструкції.

В цілому, валкове нанесення є технологічно доцільним методом для шкіряної промисловості, особливо в умовах серійного виробництва, де потрібна стабільна якість покриття. Подальші дослідження у цьому напрямку спрямовані на розробку інтелектуальних систем контролю процесу, підвищення енергоефективності роботи обладнання.

Література

1. Wu, X., Wu, J., Mu, C., Wang, C., & Lin, W. (2021). Advances in antimicrobial polymer coatings in the leather industry: A comprehensive review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(42), 15004–15018. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02600>
2. Ngwabebhoh, F. A., Zandraa, O., Sáha, T., Stejskal, J., Kopecký, D., Trchová, M., & Pflieger, J. (2023). Coating of leather with dye-containing antibacterial and conducting polypyrrole. *Coatings*, 13(3), 608. <https://doi.org/10.3390/coatings13030608>
3. Zhu, Y., Huang, Y., Lv, S., Ni, H., Zhou, L., Wang, X., Lin, C., & Wu, X. (2023). Coating characteristics and dynamics of sponge roller coatings with different viscosities and linear speeds for different diameters of rollers. *Coatings*, 13(11), 1943. <https://doi.org/10.3390/coatings13111943>
4. Tian, S. (2020). Recent advances in functional polyurethane and its application in leather manufacture: A review. *Polymers*, 12(9), 1996. <https://doi.org/10.3390/polym12091996>
5. Liu, J., Recupido, F., Lama, G. C., & others. (2023). Recent advances concerning polyurethane in leather applications: An overview of conventional and greener solutions. *Collagen & Leather*, 5, 8. <https://doi.org/10.1186/s42825-023-00116-8>
- Zhang, J., Wu, Y., & Li, X. (2022). Organosilicon leather coating technology based on carbon peak strategy. *Collagen and Leather*, 2022(5), 33–40.
6. Texochem Industries. (n.d.). *Roller coating application techniques*. <https://texochem.com/blog/roller-coating-application-techniques/> (Accessed: 09.06.2025)
- Rasotto, X. (2012). Modern technology for coating systems. *World Pumps*, 2012(3), 30–32. [https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(12\)70065-2](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(12)70065-2)
7. BERGI S.p.A. (n.d.). *Roller coating machines - Bergi - Synchrocoat*. <https://www.machines2find.com/ads/722-roller-coating-machines-bergi-synchrocoat> (Accessed: 09.04.2025)
8. MKsports. (n.d.). *MKsports official website*. <http://www.lgpj.com.cn/> (Accessed: 09.04.2025)
9. HOWIE. (n.d.). *China Hot Melt Coating Machine Manufacturers Suppliers Factory*. <https://www.howiemachinery.com/hot-melt-coating-machine> (Accessed: 09.04.2025)
10. Голінка, С. О., & Горященко, С. Л. (2016). Перспективи використання політетрафлуоретену у валкових машинах нанесення захисного покриття на тканину. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*, (1), 134–137. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2016_1_26
11. Horiashchenko, S., Musiał, J., Horiashchenko, K., Polasik, R., & Kałaczyński, T. (2020). Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric. *Polymers*, 12(11), 2684. <https://doi.org/10.3390/polym12112684>
12. Sen, A. K. (2001). *Coated textiles: Principles and applications* (J. Damewood, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420031928>
13. Горященко, С. Л. (2018). Формування полімерного покриття ультразвуковим розпилювачем. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, (1), 34–39.
14. Березненко, Н. М. (2005). *Розробка технології одержання композиційних матеріалів з полімерних сумішей та відходів шерсті* (Автореф. дис. канд. техн. наук). К.
15. Лукач, Ю. Ю., Магазій, П. М., Мікульонок, І. О., & Рябцев, Г. Л. (1999). Виробництво листових і лінійних виробів з полімернаповнених композиційних матеріалів. *Хімічна промисловість України*, (5), 29–33.
16. Мікульонок, І. О., & Радченко, Л. Б. (2015). *Моделювання дискових екструдерів для перероблення полімерних матеріалів* (Монографія). НТУУ «КПІ».

References

1. Wu, X., Wu, J., Mu, C., Wang, C., & Lin, W. (2021). Advances in antimicrobial polymer coatings in the leather industry: A comprehensive review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(42), 15004–15018. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c02600>
2. Ngwabebhoh, F. A., Zandraa, O., Sáha, T., Stejskal, J., Kopecký, D., Trchová, M., & Pflieger, J. (2023). Coating of leather with dye-containing antibacterial and conducting polypyrrole. *Coatings*, 13(3), 608. <https://doi.org/10.3390/coatings13030608>
3. Zhu, Y., Huang, Y., Lv, S., Ni, H., Zhou, L., Wang, X., Lin, C., & Wu, X. (2023). Coating characteristics and dynamics of sponge roller coatings with different viscosities and linear speeds for different diameters of rollers. *Coatings*, 13(11), 1943. <https://doi.org/10.3390/coatings13111943>
4. Tian, S. (2020). Recent advances in functional polyurethane and its application in leather manufacture: A review. *Polymers*, 12(9), 1996. <https://doi.org/10.3390/polym12091996>

5. Liu, J., Recupido, F., Lama, G. C., & others. (2023). Recent advances concerning polyurethane in leather applications: An overview of conventional and greener solutions. *Collagen & Leather*, 5, 8. <https://doi.org/10.1186/s42825-023-00116-8>
- Zhang, J., Wu, Y., & Li, X. (2022). Organosilicon leather coating technology based on carbon peak strategy. *Collagen and Leather*, 2022(5), 33–40.
6. Texochem Industries. (n.d.). Roller coating application techniques. <https://texochem.com/blog/roller-coating-application-techniques/> (Accessed: 09.06.2025)
- Rasotto, X. (2012). Modern technology for coating systems. *World Pumps*, 2012(3), 30–32. [https://doi.org/10.1016/S0262-1762\(12\)70065-2](https://doi.org/10.1016/S0262-1762(12)70065-2)
7. BERGI S.p.A. (n.d.). Roller coating machines - Bergi - Synchrocoat. <https://www.machines2find.com/ads/722-roller-coating-machines-bergi-synchrocoat> (Accessed: 09.04.2025)
8. MKsports. (n.d.). MKsports official website. <http://www.lgpj.com.cn/> (Accessed: 09.04.2025)
9. HOWIE. (n.d.). China Hot Melt Coating Machine Manufacturers Suppliers Factory. <https://www.howiemachinery.com/hot-melt-coating-machine> (Accessed: 09.04.2025)
10. Holinka, Ye. O., & Horiashchenko, S. L. (2016). Perspektyvy vykorystannia politetrafluoretenu u valkovykh mashynakh nanesennia zakhysnoho pokryttia na tkanynu. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*, (1), 134–137. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2016_1_26
11. Horiashchenko, S., Musiał, J., Horiashchenko, K., Polasik, R., & Kałaczyński, T. (2020). Mechanical properties of polymer coatings applied to fabric. *Polymers*, 12(11), 2684. <https://doi.org/10.3390/polym12112684>
12. Sen, A. K. (2001). *Coated textiles: Principles and applications* (J. Damewood, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420031928>
13. Horiashchenko, S. L. (2018). Formuvannia polimernoho pokryttia ultrazvukovym rozpyliuvachem. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (1), 34–39.
14. Bereznenko, N. M. (2005). Rozrobka tekhnolohii oderzhannia kompozytsiinykh materialiv z polimernykh sumishei ta vidkhodiv shersti (Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk). K.
15. Lukach, Yu. Yu., Mahazii, P. M., Mikulonok, I. O., & Riabtsev, H. L. (1999). Vyrobnnytstvo lystovykh i liniinykh vyrobiv z polimernapovnyenykh kompozytsiinykh materialiv. *Khimichna promyslovist Ukrainy*, (5), 29–33.
16. Mikulonok, I. O., & Radchenko, L. B. (2015). Modeliuvannia dyskovykh ekstruderiv dlia pereroblennia polimernykh materialiv (Monohrafiia). NTUU «KPI».