



ІННОВАЦІЙНІ, ЕНЕРГО-ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

Методичні вказівки до вивчення дисципліни
для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії»
спеціальності «Галузеве машинобудування»



Хмельницький національний університет

ІННОВАЦІЙНІ, ЕНЕРГО-ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ГАЛУЗІ

*Методичні вказівки до вивчення дисципліни
для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*

*Затверджено на засіданні кафедри
машин і апаратів, електромеханічних
та енергетичних систем.
Протокол № 10 від 10.02.2021*

Хмельницький 2021

Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі : методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О. С. Поліщук, М. Є. Скиба, С. П. Лісевич, О. О. Коротич, В. О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

Укладачі: Поліщук О. С., д-р техн. наук, проф.;
Скиба М. Є., д-р техн. наук, проф.;
Лісевич С. П., ст. викл.;
Коротич О. О., канд. техн. наук, доц.;
Харжевський В. О., д-р техн. наук, проф.

Відповідальний за випуск: Поліщук О. С., д-р техн. наук, проф.

Редактор-коректор: Яремчук В.С.

Технічне редагування та верстка: Карпанасюк В.П.

Макетування здійснено редакційно-видавничим відділом Хмельницького національного університету (м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1). Підп. 27.05.2021. Зам. № 27с/21, електронне видання, 2021.

© ХНУ, 2021

ВСТУП

Дисципліна «Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі» є однією із фахових дисциплін і займає провідне місце у підготовці здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Мета: надати здобувачам відомості про основні шляхи та засоби енерго- та ресурсозбереження в легкій промисловості. Поглибити теоретичні знання та оволодіти необхідними навичками щодо практичної організації інноваційних, енерго- та ресурсозберігаючих технологій виробництва виробів легкої промисловості та переробки відходів, що утворюються при їх виготовленні.

Предмет: інноваційні технологічні підходи для забезпечення енерго- та ресурсозбереження при виробництві у легкої промисловості.

Завдання: формування системних підходів для забезпечення виробництв легкої промисловості інноваційними, енерго- та ресурсозберігаючими технологіями для створення конкурентоспроможних това-

рів швейно-трикотажної, текстильно-галантерейної і взуттєвої галузей, що забезпечують випуск широкого асортименту продукції текстильної, швейної та взуттєвої промисловості, а також з високоефективним, раціональним і комплексним використанням вторинних ресурсів.

Відповідно до освітньо-наукової програми дисципліна має забезпечити:

– **компетентності:** вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми; здатність приймати обґрунтовані рішення; здатність генерувати нові ідеї (креативність); здатність працювати в міжнародному контексті; здатність працювати автономно; здатність використовувати найбільш передові концептуальні та методологічні знання в галузі наукових досліджень і проєктування конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та на межі суміжних предметних галузей; здатність критичного аналізу, оцінки і синтезу нових та складних ідей в процесі розробки та реалізації механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів машинобудування на основі новітніх знань в галузі механіки та суміжних предметних галузей; здатність генерувати нові ідеї та уміння обґрунтування нових інноваційних проєктів та просування їх на ринку; здатність вирішувати питання розробки та удосконалення обладнання для виконання технологічних процесів легкої промисловості з використанням інноваційних підходів, результатів наукових досліджень і передового зарубіжного та вітчизняного досвіду; здатність розробляти нові і вдосконалювати наявні технічні і конструкторські рішення, виконувати технічні розрахунки, моделювати процеси виготовлення, використовувати методи і засоби експериментального випробування деталей та вузлів машин легкої промисловості;

– **програми результати навчання:** знати та розуміти загальнонаукові та філософські категорії, спрямовані на формування системного наукового світогляду, абстрактного мислення, аналізу та синтезу; вміти самостійно визначати та вирішувати задачі інноваційного характеру, в томі числі при виконанні кваліфікаційної роботи; застосовувати нормативні і довідникові дані, а також результати власних досліджень для прийняття обґрунтованих рішень; оцінювати доцільність і можливість застосування передових досягнень в галузевому машинобудуванні, розробляти та керувати проєктами; вміти спілкуватися на конференціях, симпозіумах, наукових семінарах з широкою науковою спільнотою та громадськістю з метою обговорення дискусійних питань, результатів досліджень, узгодження дій і спільної роботи; вміти поєднувати теорію і практику, а також приймати рішення та виробляти стратегію розв'язання науково-прикладних задач; знати та застосовувати існуючі технічні засоби і математичні методи, що використовуються в процесі

експериментальних досліджень, розробки та реалізації механічних конструкцій, машин, матеріалів і виробничих процесів галузевого машинобудування з метою створення нового та удосконалення існуючого обладнання; знати і розуміти закономірності виконання технологічних процесів на обладнанні легкої промисловості, а також вміти використовувати отримані під час наукових досліджень результати і закономірності при проектуванні, виготовленні, експлуатації, ремонті вузлів даних машин та механізмів; вміти обирати шляхи підвищення техніко-економічних показників, працездатності і надійності із врахуванням технологій виготовлення та умов експлуатації устаткування легкої промисловості; здатність наукового осмислення та практичного впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій в галузі.

Здобувач, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: вміти самостійно визначати та вирішувати задачі інноваційного характеру, в томі числі при виконанні кваліфікаційної роботи; застосувати результати власних досліджень для прийняття обґрунтованих рішень; знати та застосовувати новітні, високоефективні ресурсозберігаючі та енергоефективні технології виробництва легкої промисловості шляхом створення конкурентоспроможних товарів швейно-трикотажної, текстильно-галантерейної і взуттєвої галузей, що забезпечують випуск широкого асортименту продукції текстильної, швейної та взуттєвої промисловості з високоефективним, раціональним і комплексним використанням вторинних ресурсів; вміти використовувати отримані під час наукових досліджень технологічних процесів та обладнання результати і закономірності при розробці нових, ресурсощадних, енергоефективних технологій та обладнання текстильної, швейної та взуттєвої промисловості, їх проектування та виготовлення.

Методичні вказівки спрямовані на допомогу здобувачам в засвоєнні необхідних теоретичних знань з дисципліни, набутті навичок та використання їх на практиці, при роботі над дисертаційною роботою.

У методичних висвітлено наступні теми: енергоефективність, енергозбереження та інновації в легкій промисловості; підвищення ефективності виконання операцій легкої промисловості; високоефективні технології переробки полімерних матеріалів та відходів легкої промисловості. Матеріал викладений у вигляді лекційного матеріалу та лабораторних робіт. Роботи виконуються здобувачами вищої освіти на лабораторно-експериментальному обладнанні та науково-дослідних стендах і установках, що створені та розміщені в навчально-наукових лабораторіях кафедри. Лабораторна робота завершується оформленням звіту та її захистом.

1. ЛЕКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

Лекція 1

Енергоефективність та енергозбереження в легкій промисловості

- Енергоємність виробництв легкої промисловості
- Основи енергозбереження та раціонального використання енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості
- Роль науки в енергоефективності та енергозбереженні підприємства

1.1. Енергоємність виробництв легкої промисловості

Питання раціонального використання енергетичних ресурсів та підвищення енергетичної ефективності на даний час є актуальним завданням всього людства. Скорочення запасів не відновлюваних джерел енергії, викиди генеруючих і промислових підприємств, зміна клімату та інші фактори антропогенного впливу діяльності людини на навколишнє середовище змушують шукати способи зменшення нераціонального використання енергетичних ресурсів [28].

За прогнозами науковців, до 2030 р. попит на паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) збільшиться на 37–50 %, а через 50–60 років наявні запаси нафти та газу взагалі можуть бути вичерпаними. Саме тому сьогодні не існує країн, для яких питання ефективного використання енерго-ресурсів не було б актуальним.

У зв'язку з цим проблема підвищення конкурентоспроможності товарів на ринку та ефективності функціонування всієї економіки прямо залежить від підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. В енергозберігаючих програмах, що розробляються урядами, акцентується особлива увага на впровадженні енергозберігаючих технологій, використанні відновлювальних та альтернативних джерел енергії [28].

Одним з основних споживачів енергетичних ресурсів є промислові підприємства. Витрати паливно-енергетичних ресурсів становлять значну частку в собівартості продукції і в найближчій перспективі, з врахуванням зростаючої ролі автоматизації виробничих процесів, ця частка буде збільшуватися.

Будь-які заходи, незалежно від їх призначення і змісту (організаційні, інженерно-технічні та інші), при яких відбувається скорочення на підприємстві енергетичних ресурсів, але при цьому зберігається корисний ефект від їх використання (зберігається заданий об'єм випуску продукції, в виробничих і адміністративних приміщеннях під-

тримуються нормативні параметри мікроклімату) слід відносити до енергоефективних.

З початку 90-х років ХХ ст. вітчизняні підприємства легкої промисловості конкурують не тільки на внутрішньому, а й на світовому глобальному економічному ринку. Тому питання енергозбереження на промислових підприємствах є актуальними не тільки у зв'язку з їх негативним впливом на навколишнє середовище, але і в зв'язку з необхідністю зниження енергоємності та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції. Висока волатильність вартості енергетичних ресурсів, щорічне підвищення тарифів на теплову та електричну енергію, підвищення конкуренції змушують підприємства шукати нові способи зниження виробничих витрат.

Практика українського державотворення засвідчила, що українська держава непослідовно вирішувала сукупність соціально-економічних завдань щодо послаблення енергетичної залежності та ефективного використання енергоресурсів в соціально-спрямованих галузях і виробництвах. Це призвело до того, що економіка нашої країни виявилась найбільш залежною від постачання енергоресурсів порівняно з іншими країнами із перехідною та ринковою економікою.

Останнім часом питання ефективного використання енергоресурсів набуло першочергового значення в державній політиці регулювалось і регулюється законами України «Про енергозбереження» (1994 р.), «Про електроенергетику» (1997 р.), «Про ринок електричної енергії» (2017 р.) постановами та розпорядженням Кабінету Міністрів України.

Для розв'язання проблем енерговикористання на державному рівні була розроблена енергетична стратегія розвитку України до 2030 року. Основними її цілями є створення умов для нормального функціонування енергетики та забезпечення безперебійного постачання енергетичних продуктів, зниження їх питомих витрат у виробництві за рахунок раціонального споживання, впровадження енергозберігаючих технологій та техніки, раціоналізації структури виробництва та зниження питомої ваги енергоємних технологій. Впровадження заходів, щодо підвищення енергоємності використання ПЕР на промислових підприємствах в цілому та на підприємствах легкої промисловості зокрема, пов'язано з цілим рядом проблем (рис. 1.1) [28]. Легка промисловість України охоплює текстильну, трикотажну, швейну, шкіряну, взуттєву, хутрову та інші галузі підприємства. Галузь складається з 17 підгалузей, має виробничий потенціал, здатний виробляти широкий спектр товарів широкого вживання і промислового призначення.

Водночас легка промисловість пов'язана з багатьма суміжними галузями і обслуговує весь господарський комплекс країни. Найбільший

внесок в сукупний об'єм виробництва товарів легкої промисловості вносить швейне та текстильне виробництва, виробництво виробів зі шкіри.

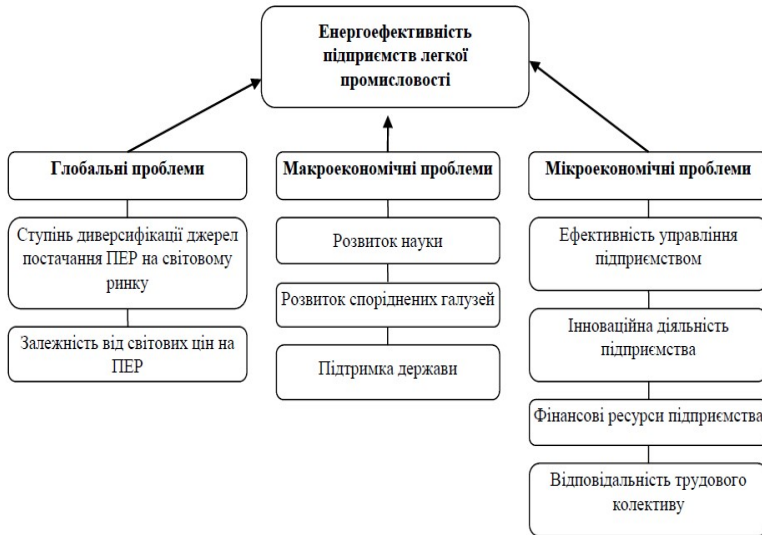


Рис. 1.1 – Проблеми підвищення енергоефективності на підприємствах легкої промисловості

Енергоємність виробництв легкої промисловості залежить від об'ємів продукції, що випускається.

Зазначимо, що глобальні проблеми, пов'язані із ступенем диверсифікації джерел постачання ПЕР та їх цінами на світовому ринку, не можуть вирішуватися на рівні окремих господарюючих суб'єктів, оскільки залежать від світових тенденцій розвитку енергоринку, міждержавного співробітництва, функціонування міждержавних інституцій.

1.2. Основи енергозбереження та раціонального використання енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості

Енергетична ефективність показує відношення корисного ефекту від використання енергетичних ресурсів до витрат енергетичних ресурсів, вироблених з метою отримання такого ефекту, стосовно до продукції, технологічного процесу. Таким чином, будь-які заходи, які дозволяють виробляти той самий об'єм продукції, що випускається, але за рахунок використання меншої кількості енергетичних ресурсів, слід відносити до енергозберігаючих.

Звідси випливає, що енергозберігаючі заходи можуть бути реалізовані вже на стадії виробництва товару або виробу, що випускається на промисловому підприємстві. Якщо для випуску одиниці продукції на новому обладнанні витрачається менша кількість енергетичних ресурсів, то таке обладнання слід віднести до енергоефективного, тому що на випуск одиниці продукції (досягнення корисного ефекту) потрібно витратити меншу кількість енергії. Енергозберігаючі заходи, спрямовані на модернізацію існуючого обладнання або придбання нового обладнання з метою підвищення його енергетичної ефективності, приведені на рис. 1.2 відносяться до категорії технологічних [15].

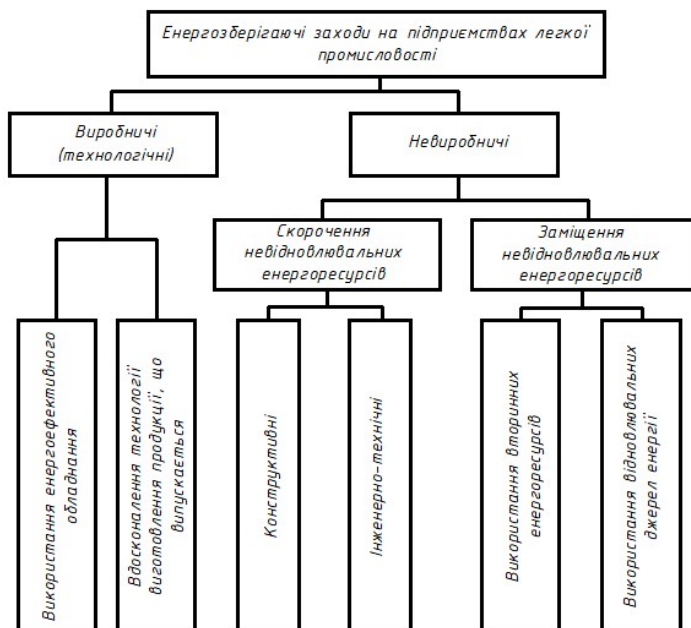


Рис. 1.2 – Структура енергозберігаючих заходів на підприємствах легкої промисловості

Технологічні енергозберігаючі заходи полягають в застосуванні обладнання (машин і механізмів) або вдосконалення виробничого процесу, які дозволяють випускати заданий об'єм продукції необхідної якості з використанням меншої кількості енергетичних ресурсів.

Зменшення енергоспоживання може бути досягнуто скороченням непродуктивних витрат енергії, наприклад, за рахунок зменшення втрат теплової енергії через зовнішню оболонку будівлі, пасив-

ного використання побутових і сонячних теплонадходжень. В кінцевому підсумку, повна сукупність витрат енергетичних ресурсів позначається на вартості товару (матеріалів, виробів, обладнання, машин і механізмів) виробленого на підприємстві.

Інженерні заходи дозволяють замінити невідновлювальні енергетичні ресурси (газ, вугілля, нафта та продукти її переробки) за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, – теплоти ґрунту, сонячної енергії, вітру тощо. Інженерні рішення, що спрямовані на використання відновлювальних джерел енергії, не скорочують споживання енергії в будівлях, але дозволяють істотно скоротити спалювання первинних невідновлюваних енергетичних ресурсів. Економічний ефект від їх використання може бути досягнутий за рахунок скорочення плати за технологічне приєднання об'єктів теплоспоживання до теплових мереж, зменшення розміру екологічного збору, який сплачується виробниками товарів, а також отримання податкових пільг.

Конструктивні енергозберігаючі заходи дозволяють істотно зменшити енергоспоживання будівель, розташованих на території промислового підприємства, і мають найбільший потенціал енергозбереження. Конструктивні енергозберігаючі заходи можуть бути реалізовані як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації будь-якого об'єкта теплоспоживання, розташованого на території промислового підприємства. Їх реалізація, як правило, не вимагає зупинки роботи підприємства. Для їх реалізації мають місце лише окремі обмеження за часом року, наприклад, покрівельні роботи та роботи з утеплення фасадів рекомендується проводити при позитивних температурах зовнішнього повітря (вище плюс 5 °С).

Інженерно-технічні енергозберігаючі заходи можуть бути реалізовані на етапах проектування, реконструкції, капітального ремонту та експлуатації об'єкта енергоспоживання. При експлуатації промислового підприємства окремі інженерно-технічні заходи, спрямовані на енергозбереження, можуть впливати на виробничий процес і приводити до необхідності тимчасової його зупинки. Однак, якщо зупинки виробничого процесу і можуть мати місце, вони є короткочасними.

Розглянемо перелік енергозберігаючих заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання підприємств легкої промисловості.

До переліку конструктивних енергозберігаючих заходів можна віднести: утеплення зовнішніх стін будівель; заміна світлопрозорих огорожувальних конструкцій на більш ефективні; утеплення перекриття горища, неопалюваного підвалу або технологічного поверху; утеплення підлоги; нормалізація температурно-вологісного режиму в неопалюваних приміщеннях; комплексна тепла модернізація зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель тощо.

До переліку найбільш ефективних інженерно-технічних заходів, реалізація яких спрямована на економію енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості можна віднести: ізоляція трубопроводів системи опалення; ізоляція трубопроводів системи гарячого водопостачання; встановлення приладів обліку теплової енергії; встановлення: автоматизованого індивідуального теплового пункту, автоматизованого вузла управління системою опалення, терморегулювальних клапанів; заміна ламп розжарювання на енергозберігаючі освітлювальні прилади; встановлення датчиків присутності в місцях загального користування тощо.

До переліку найбільш ефективних варіантів використання відновлювальних джерел енергії і вторинних енергетичних ресурсів, реалізація яких спрямована на економію енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості можна віднести: використання припливно-витяжної системи вентиляції з утилізацією теплоти витяжного повітря; застосування припливно-витяжних стінових вентиляційних пристроїв з рекуперацією теплоти витяжного повітря; використання теплоти ґрунту та сонячної енергії для приготування гарячої води тощо.

1.3. Роль науки в енергоефективності та енергозбереженні підприємства

Однією з основних макроекономічних проблем забезпечення енергоефективності підприємств легкої промисловості є розвиток науки. Саме вона дає можливість підвищувати енергоефективність виробництва, створювати конкурентоздатну продукцію та забезпечувати довгострокове економічне зростання. До того ж, розвиток наукових досліджень забезпечує можливість створення високотехнологічних галузей та перехід від індустріального до постіндустріального суспільства. Усвідомлення цього факту стимулює значне державне фінансування розвитку науки в економічно розвинених країнах світу.

В Україні частка витрат на науку у структурі ВВП з кожним роком дещо зменшуються [28]. Результатом цього є низький рівень впровадження науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у промисловості, неконкурентоспроможність продукції вітчизняних виробників на зовнішньому та внутрішньому ринках через високу частку витрат на енергоресурси в собівартості виготовленої продукції та невідповідність продукції світовим стандартам якості. Розуміючи це, вітчизняні виробники самостійно шукають фінансові кошти та вдосконалюють своє виробництво. Для підтримки таких підприємств держава започаткувала розробку програми, за якою передбачається компенсація відсотків по кредитах на переоснащення підприємств.

В Україні проблеми забезпечення енергоефективності функціонування промислових підприємств та енергетичної безпеки досліджувалися в роботах таких науковців як О.М. Алимов, О.І. Амоша, В.В. Микитенко, В.Ф. Беседіна, М.В. Гнідий, В.М. Геєць, А.І. Шевцов, А.В. Пращовник, Ю. І. Бакаліна та інших. Проте з часом з'являються нові тенденції у сфері енергозбереження, які потребують вивчення та вдосконалення прийняття рішень щодо їх розв'язання.

Питання раціонального використання енергетичних ресурсів та енергозбереження є актуальними для легкої промисловості. Про це свідчить активність публікацій за даним напрямом досліджень, які можна умовно розділити на чотири основні групи дослідження які присвячені [15]: розробці методичних підходів щодо впровадження енергозберігаючих заходів на підприємствах легкої промисловості; впровадженню конкретних інженерно-технічних заходів на підприємствах легкої промисловості; вдосконаленню технологій виготовлення виробів легкої промисловості; перспективам використання відходів підприємств легкої промисловості та застосування текстильних матеріалів для створення ресурсозберігаючих технологій, застосовуваних у різних галузях народного господарства.

Контрольні питання

1. Якими законами України регулюється питання щодо ефективного використання енергоресурсів?
2. Які існують проблеми підвищення енергоефективності на підприємствах легкої промисловості?
3. Які галузі охоплює легка промисловість?
4. Які заходи впливають на енергетичну ефективність підприємств легкої промисловості?
5. Яку роль відіграє наука в енергоефективності підприємств?

Лекція 2

Використання відновлювальних джерел енергії та вторинних енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості

- Використання сонячної енергії для приготування гарячої води
- Використання припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти витяжного повітря
- Використання припливно-витяжних стінових вентиляційних пристроїв з рекуперацією теплоти витяжного повітря

2.1. Використання сонячної енергії для приготування гарячої води

Україна є державою з обмеженими паливно-енергетичними ресурсами та змушена транспортувати їх в розмірі до 65 %. Тому, як і багато країн світу, які мають низьку власну енергетичну складову, прагне впроваджувати альтернативні джерела отримання енергії. Одним з пріоритетних напрямів в енергозбереженні є використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, до яких відноситься сонячна енергія.

Сонячна енергія доступна в кожній точці земної кулі, яка розрізняється по щільності потоку сонячного випромінювання не більше ніж в два рази. Тому сонячна енергетика приваблива для всіх країн та відповідає їх інтересам у напрямі енергетичної незалежності.

Сонячна радіація – чисте, екологічне джерело енергії, що дозволяє використовувати його у все більш зростаючих масштабах без негативного впливу на навколишнє довкілля.

Сонячне випромінювання – практично є невичерпним джерелом енергії, яке буде доступне і через мільйони років.

Основними напрямками використання сонячної енергії є: отримання тепла шляхом прямої абсорбції сонячного випромінювання; перетворення сонячної радіації на електроенергію.

Отримання тепла шляхом прямої абсорбції сонячного випромінювання представляє собою, з боку технічної реалізації, найбільш простий, спосіб використання сонячної енергії. Тепло, що отримане в результаті прямої абсорбції сонячної радіації, може застосовуватись для нагрівання води, обігрівання та охолодження житлових і виробничих приміщень, сушіння матеріалів та виробів легкої промисловості.

Великий практичний інтерес до обігрівання приміщень та отримання гарячої води за рахунок сонячної радіації обумовлений тим, що в промислово розвинутих країнах близько 40 % виробленої енергії споживається на низькотемпературне нагрівання (менше 100 °С).

Отримати низькотемпературне тепло можна за допомогою вакуумних та пласких сонячних колекторів, які працюють за принципом тепличного ефекту. Фізична суть такого ефекту полягає в наступному. Сонячне випромінювання потрапляє на поверхню сонячних колекторів, проникає всередину та майже без втрат потрапляє на теплоприймач геліоколектора, де відбувається його нагрівання. Процес розсіювання теплової енергії теплового приймача в сонячному колекторі буде мінімальним. Як верхній шар застосовується звичайне скло. Оскільки основна інтенсивність сонячного випромінювання в навколосонячних шарах лежить в спектральному інтервалі 0,4–1,8 мкм, то скло має коефіцієнт пропускання в приведеному спектральному діапазоні до 95 %. Тепловий приймач геліоколектора, що розташований в нижній частині

сонячного колектора (плаский) чи всередині трубки (вакуумний) є абсорбуючим покриттям та має коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання до 82–95 %. Дане абсорбуюче покриття, в свою чергу, поглинаючи пряме сонячне випромінювання, нагрівається залежно від потужності падаючих сонячних променів до 50–90 °С. В свою чергу, нагріте до зазначених температур тіло буде випромінювати теплову енергію.

В середній смузі Європи у літній період продуктивність геліосистем складає: з пласкими колекторами – 50–60 літрів води з одного квадратного метра; з вакуумними колекторами – 70–90 літрів води одного квадратного метра при нагріванні до 60–70 °С.

Коефіцієнт корисної дії плаского сонячного колектора досягає 70 %. Він залежить від температури навколишнього середовища, щільності потоку сонячної енергії та температури, до якої потрібно нагрівати воду в геліоколекторі. Коефіцієнт корисної дії вакуумного сонячного колектора досягає 92 % і в основному залежить від щільності потоку сонячної енергії та температури, до якої потрібно нагрівати воду в сонячному колекторі.

Енергія сонячної радіації за один світловий середньорічний день на території нашої країни складає в середньому 4 кВт за годину на 1 м² (у літні дні може сягати до 6–6,5 кВт за годину). Це близько 1,5 тис. кВт·год за рік на кожний квадратний метр.

Вище зазначене дає підставу вважати, що на території України існують всі необхідні умови для широкомасштабного впровадження сонячних колекторів для виробництва теплової енергії в побуті та промисловості.

Призначення геліосистеми. Геліосистема – комплект устаткування, що призначений для максимально ефективного перетворення сонячної енергії в теплову.

Геліосистеми можуть застосовуватися в легкій промисловості для: нагрівання води (гарячого водопостачання (ГВП)); підтримання системи опалення; підігрівання теплоносія в ємностях для виконання певних технологічних операцій.

Будова геліосистеми. В стандартний комплект геліосистеми входять такі елементи (рис. 2.1): генератор теплоти (геліоколектор будь-якого типу); пристрій, що переносить теплоносій (насос чи тиск зовнішньої системи водопостачання); об'єкт, що нагрівається (вода системи гарячого водопостачання, система опалення, ємність).

Геліосистема складається із сонячного колектора і теплообмінника-акумулятора. Через сонячний колектор циркулює теплоносій (антифриз). Теплоносій нагрівається в сонячному колекторі енергією Сонця і потім віддає теплову енергію воді через тепловий обмінник, що вмонтований в бак-акумулятор. У баку-акумуляторі зберігається га-

ряча вода до моменту її застосування, тому він повинен мати добру теплову ізоляцію. В першому контурі, де розташований сонячний колектор застосовується природна чи примусова циркуляція теплового носія. У бак-акумулятор встановлюється електричний або інший автоматичний нагрівальний елемент-дублер. В разі зниження температури в баку-акумуляторі нижче встановленої (тривала похмура погода чи мала кількість годин сонячного інсоляції зимою) нагрівальний елемент-дублер автоматично вмикається і догріває воду до заданої температури.



Рис. 2.1 – Елементи геліосистеми

Переваги геліосистеми: можливість економії значної частини енергії, потрібної для нагрівання необхідного тіла. При правильному розрахунку система повинна компенсувати до 80 % витрат енергії в літній період часу; тривалий термін експлуатації – до 30 років і більше; короткий термін окупності – 6–7 років; до складу геліосистеми входять елементи виготовлені з матеріалів, що не піддаються швидкому зношенню (скло, алюміній тощо).

Недоліки геліосистеми: сезонність (зменшення ефективності через невелику інсоляцію взимку); висока вартість капіталовкладень; вплив перепаду напруги живлення на електричне устаткування системи (відмикання електрики може призвести до закипання геліосистеми та її виходу з ладу).

Ефективність застосування сонячних систем на території України. На всій території України можливе використання геліосистем.

Тобто, навіть північні регіони (наприклад, Сумська чи Чернігівська області) прекрасно підходять для застосування на їхніх територіях сонячних колекторів. Там достатньо сонячної інсоляції. Наприклад, максимальний показник інсоляції в Чернігівській області складає 950 кВт·год/м², а у Херсонській та Одеській областях може досягнути 1400 кВт·год/м². З цього випливає, що найефективніше використовувати геліосистеми в південних регіонах країни.

Типи систем сонячного теплового постачання. Розглянемо більш детально опис таких чотирьох різних систем сонячного теплового постачання:

- 1) одноконтурна система з пасивною циркуляцією теплоносія;
- 2) одноконтурна система з активною циркуляцією теплоносія;
- 3) двоконтурна система з пасивною циркуляцією теплоносія;
- 4) двоконтурна система з активною циркуляцією теплоносія.

Одноконтурна система з пасивною циркуляцією теплоносія.

Будова та принцип роботи одноконтурної термосифонної системи для прямого нагрівання води проілюстровані на рис. 2.2, 2.3 [29].

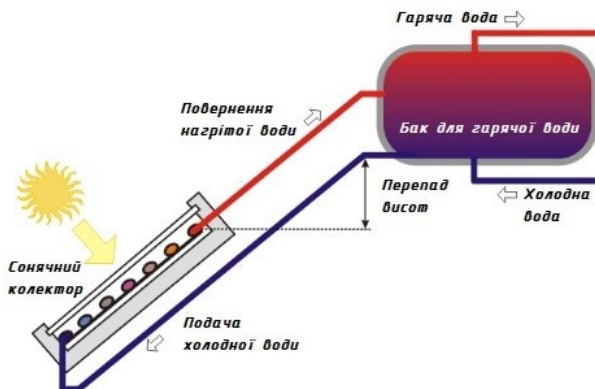


Рис. 2.2 – Принцип роботи сонячного нагрівача з природною циркуляцією теплоносія

Колектори, бак – акумулятор і з'єднувальні трубопроводи системи заповнені холодною водою. Сонячне випромінювання, проходячи через прозоре покриття (скління) колектора нагріває його поглинаючу панель та воду у її каналах. При нагріванні щільність води зменшується і, в подальшому, нагріта рідина починає перемішуватись у верхню точку колектора і далі трубопроводом – в бак-акумулятор. В баку нагріта вода переміщується у верхню точку, а холодніша вода розміщується в нижній частині баку, тобто спостерігається розшарування води за-

лежно від температури. Холодніша вода з нижньої частини бака трубопроводом подається в нижню частину колектора.

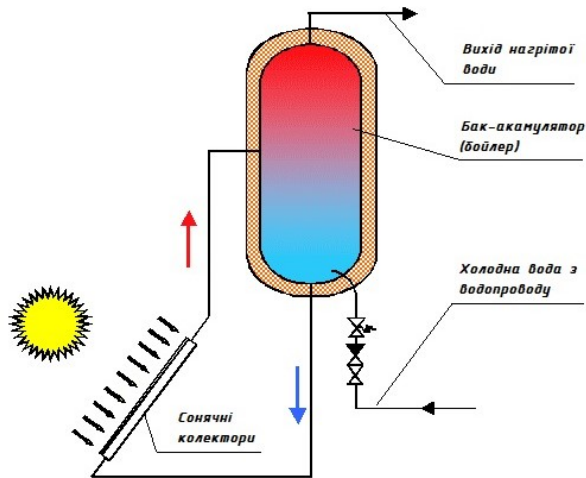


Рис. 2.3 – Принципова схема термосифонної одноконтурної системи сонячного гарячого водопостачання

Таким чином, за наявності достатньої сонячної радіації, в колекторному контурі буде встановлено постійну циркуляцію, швидкість та інтенсивність якої буде залежати від щільності потоку сонячного випромінювання. Поступово, на протязі світлового дня, здійснюється повне прогрівання всього бака, при цьому відбирання води для використання повинно здійснюватися з найбільш гарячих шарів води, що розташовані у верхній частині баку. Як правило, це здійснюється подачею холодної води в бак знизу під тиском, яка витісняє нагріту воду із бака.

Особливістю систем є те, що в разі термосифонної системи нижня точка бака-акумулятора повинна розміщуватися вище за верхню точку колектора і не далі 3–4 м від самих колекторів, а при насосній (активній) циркуляції теплового носія розташування бака-акумулятора може бути довільним.

Двоконтурна система з пасивною циркуляцією теплового носія. Принцип роботи двоконтурної термосифонної системи полягає в наступному (рис. 2.4). Робота системи аналогічна роботі одноконтурної системи, але в системі є окремий замкнений колекторний контур, який складається із колекторів, трубопроводів і теплового обмінника в баку-акумуляторі. Такий контур заправляється спеціальним (зазвичай, незамерзаючим) тепловим носієм. При нагріванні теплового носія в ко-

лекторі він поступає у верхню частину теплового обмінника, віддає тепло воді в баку і охолоджуючись починає рухатися вниз до входу в колектори, здійснюючи постійну циркуляцію за наявності сонячної радіації.

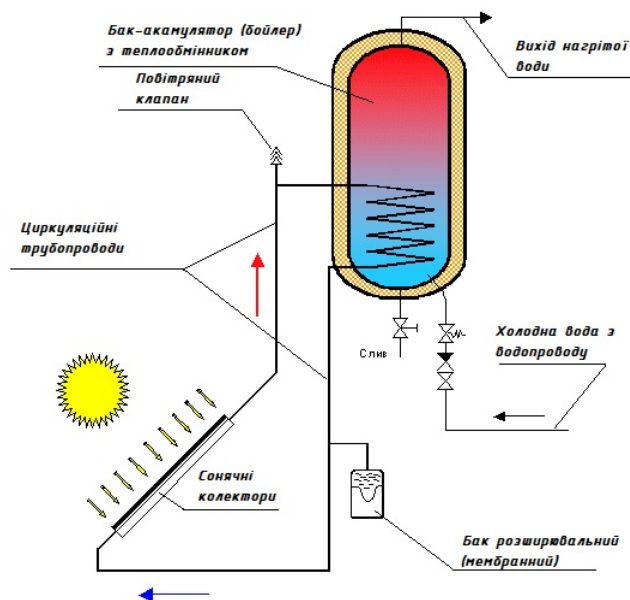


Рис. 2.4 – Принципова схема двоконтурної термосифонної системи сонячного гарячого водопостачання

Повне прогрівання бака проходить поступово, на протязі всього світлового дня, але поскільки відбирання води до споживача здійснюється з найбільш прогрітих верхніх шарів, використання гарячої води можливе до повного прогрівання.

Особливістю систем є те, що в разі термосифонної системи нижня точка бака-акумулятора повинна розташовуватися вище за верхню точку колектора і не далі 3–4 м від самих колекторів, а при насосній циркуляції теплового носія розташування бака-акумулятора може бути довільним.

Двоконтурна система з активною циркуляцією теплового носія. Принцип роботи двоконтурної термосифонної системи сонячного гарячого водопостачання полягає внаступному (рис. 2.5). В системах із примусовою циркуляцією в колекторний контур вмикається циркуляційний насос, який дає можливість встановлювати бак-акумулятор в будь-якій частині будинку. Напрямок руху теплового носія повинен збігатися з напрямом природної циркуляції в колекторах.

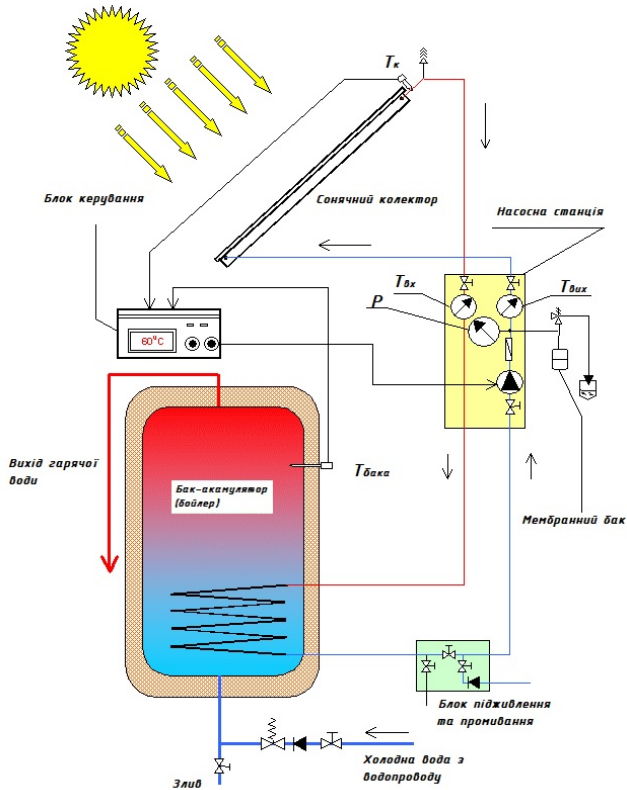


Рис. 2.5 – Принципова схема двоконтурної системи сонячного гарячого водопостачання з примусовою циркуляцією

Вмикання і вимикання насоса проводиться електронним блоком керування, який є диференціальним реле, що керує, порівнює показники датчиків температури, що встановлені на виході з колекторів і в баку. Насос вмикається, якщо температура в колекторах вища за температуру води в баку. Існують блоки, що дозволяють змінювати швидкість обертання і подачу самого насоса, підтримуючи таким чином постійну різницю температур між колекторами і баком.

2.2. Використання припливно-витяжної вентиляції з утилізацією теплоти витяжного повітря

В минулому, на підприємствах легкої промисловості в першу чергу стояла швидкість виробництва продукції. Тоді ніхто не задуму-

вався про економію енергоносіїв та ефективності енергоспоживання. На сьогодні, в умовах підвищення вартості енергоносіїв, актуальним питанням є застосування утилізаторів тепла газів, що виходять. Утилізатор встановлюється в теплоенергетичних агрегатах. Це дозволяє знизити температуру з 400 °С до 130 °С, а в деяких випадках і до 80 °С.

Деякі підприємства легкої промисловості, в гонитві за економією, впадають у крайнощі, переходячи на альтернативний вид палива – пелети (деревні відходи, відходи сільського господарства, торф). У цій ситуації необхідно переобладнати існуючий котел на новий вид палива. Оцінка ефективності, найчастіше, проводиться поверхово. При цьому не беруться до уваги суттєві витрати на логістику та зберігання пелет, не враховуються екологічні (попіл, смоли) і теплові забруднення. Поряд з цим набагато більш ефективним і дешевим рішенням є застосування утилізаторів тепла. Вони здійснюють повернення виробленого тепла в технологічний цикл роботи промислового підприємства для забезпечення користувача тепловою енергією.

Якщо розглядати питання енергоефективності в рамках одного підприємства, то видно, що в одних технологічних процесах основним є охолодження, а в інших технологічних процесах – нагрівання. Найчастіше схеми нагрівання та охолодження існують окремо одна від одної і не перетинаються. Тому тепло, що виділяється працюючим обладнанням, викидається в атмосферу через градирні, а не використовується для нагрівання гарячої води для душових або для інших технологічних процесів. Звідси випливає, що застосування теплообмінників (ТО) для утилізації тепла є найголовнішим завданням для забезпечення енергоефективності роботи підприємства легкої промисловості.

Схемні рішення утилізації теплоти вентиляційного повітря, що видаляється з утилізаторами теплоти різних типів представлені на рис. 2.6 [15]. На більшості промислових підприємств легкої промисловості передбачена механічна система припливно-витяжної вентиляції. У зв'язку з цим утилізація теплоти витяжного повітря на них може бути реалізована за рахунок модернізації існуючої механічної системи вентиляції. Незважаючи на те, що в більшості випадків старі, зношені повітроводи вимагають заміни, в будівлях передбачені місця для їх встановлення, що значно скорочує витрати на реконструкцію системи вентиляції і встановлення припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією теплоти витяжного повітря [15].

При наявності в будинку агрегату механічної витяжної вентиляції теплообмінник, аналогічний за конструкцією типовому повітронагрівачу (калориферу) системи вентиляції, встановлюється у витяжний тракт.

У разі застосування в будівлі природної вентиляції теплообмінник-утилізатор, як правило, вбудовується в окремий агрегат з ви-

тяжним вентилятором, що встановлюються на теплому горіщі або на даху будівлі в безпосередній близькості від витяжних шахт.

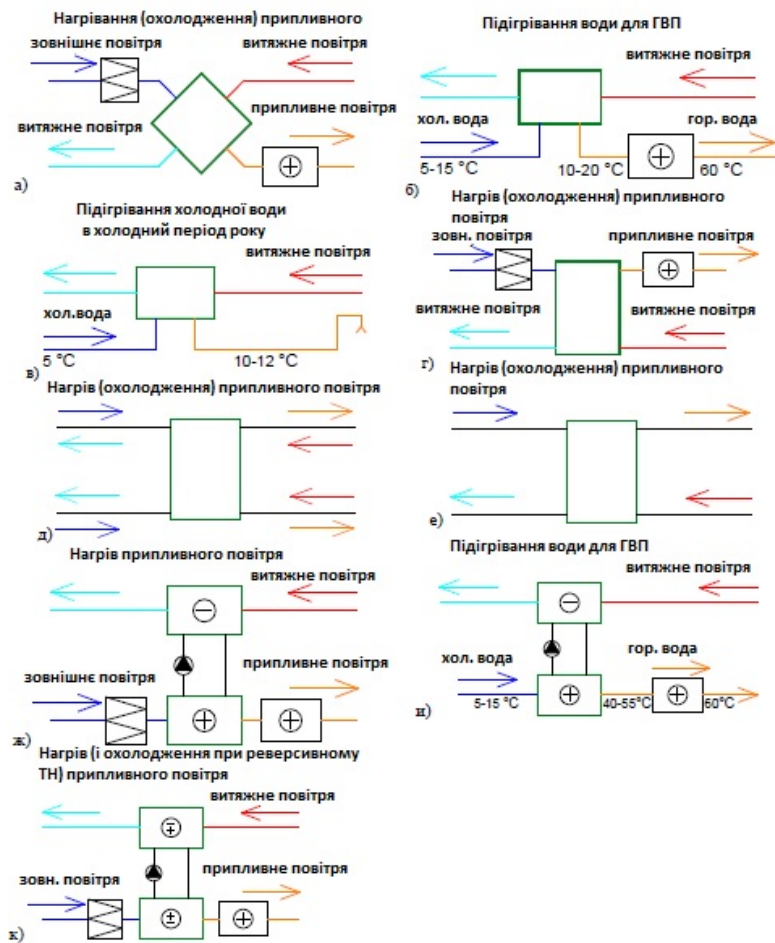


Рис. 2.6 – Схемні рішення утилізації теплоти вентиляційного повітря: *а* – рекуперативні ТО; *б, в* – калорифери; *г* – регенератори, що обертаються; *д* – стаціонарні регенератори, що переключаються; *е* – ТО з тепловими трубками; *ж* – ТО з проміжним теплоносієм; *и, к* – теплові насоси

Система утилізації теплоти вентиляційних викидів будівлі включає: теплообмінник (утилізатор) теплоти вентиляційних викидів,

циркуляційні трубопроводи проміжного теплоносія, що з'єднують теплообмінник-утилізатор з випарником теплового насоса, циркуляційний насос, запірну і регулюючу трубопровідну арматуру, додаткове теплообмінне і допоміжне обладнання.

Утилізація теплоти вентиляційного повітря, що видаляється дозволяє до 60 % знижувати річне споживання теплової енергії на вентиляцію приміщень. Більш глибока утилізація теплоти витяжного повітря утруднена в зв'язку із замерзанням вологи, яка випадає з вентиляційного повітря, що видаляється, і подальшим утворенням інею на поверхнях теплообміну.

2.3. Використання припливно-витяжних стінових вентиляційних пристроїв з рекуперацією теплоти витяжного повітря

Застосування вентиляційних пристроїв, описаних в пункті 2.2, складно реалізувати в адміністративно-побутових будівлях, особливо тих в них, де не передбачена механічна система вентиляції. Однак в останні роки набули поширення припливно-витяжні стінові вентиляційні пристрої з рекуперацією теплоти витяжного повітря, які можуть розміщуватись в будь-якому опалювальному приміщенні та забезпечувати приплив повітря з вулиці з утилізацією теплоти витяжного повітря [15].

Зображення пристрою приведено на рис. 2.7, принцип роботи – на рис. 2.8.

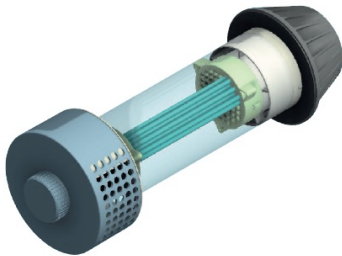


Рис. 2.7 – Припливно-витяжний стіновий вентиляційний пристрій з рекуперацією теплоти витяжного повітря

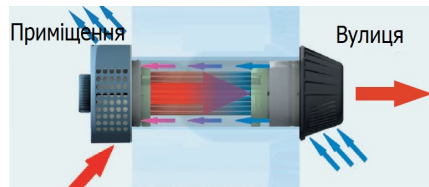


Рис. 2.8 – Принцип роботи стінового вентиляційного пристрою (клапана) з рекуперацією теплоти витяжного повітря

Принцип роботи клапана: потік витяжного повітря, що збуджується вентилятором, проходить по внутрішній частині трубка рекуператора, нагріваючи їх, і виходить назовні; одночасно з цим, потік припливного повітря, протікає зовні трубок рекуператора, нагрівається від них і подається в приміщення.

Пристрій експлуатується в двох режимах:

– енергозберігаючому: з примусовою циркуляцією потоку повітря при включеному вентиляторі, коли пристрій працює на приплив і витяжку одночасно;

– в режимі провітрювання: коли вентилятор вимкнений, а шторка відкрита; приплив повітря в приміщення здійснюється за рахунок різниці температур і тисків всередині та ззовні приміщення, приплив залежить від роботи загально будинкової витяжної вентиляційної системи.

Контрольні питання

1. Що таке сонячна радіація?
2. Що собою представляє геліосистема?
3. Які існують типи систем сонячного теплопостачання?
4. Принцип роботи одноконтурної системи з пасивною і активною циркуляцією теплоносія.
5. Принцип роботи двоконтурної системи з пасивною і активною циркуляцією теплоносія.
6. Що собою представляє припливно-витяжна вентиляція з утилізацією теплоти витяжного повітря?
7. Які існують схемні рішення утилізації теплоти вентиляційного повітря, що видаляється з утилізаторами теплоти різних типів?
8. Що собою представляє припливно-витяжний стіновий пристрій з рекуперацією теплоти витяжного повітря?
9. Як здійснюється розрахунок економічної ефективності установок з використанням сонячної енергії та вторинних енергетичних ресурсів?

Лекція 3

Інновації в легкій та текстильній промисловості

- **Загальні відомості**
- **Інновації та тенденції в швейній промисловості**
- **Інновації та тенденції у взуттєвій промисловості**
- **Інноваційні технології текстильної промисловості**

3.1. Загальні відомості

Інноваційна діяльність на сучасному етапі розвитку є одним з найважливіших системних факторів економічного зростання і підвищення конкурентоспроможності продукції, що є необхідним для забезпечення високої якості товару з більш низькою споживчою ціною та задовольняючим потреби споживача. Інноваційна діяльність спря-

мована на створення, втілення та реалізацію інновації, тобто на досягнення результату. Результатом є нові технології, види продукції, послуги, організаційно-технічні рішення виробничого, адміністративного, комерційного характеру, які сприяють їх просуванню на ринок і на сьогодні є ключовим фактором розвитку сучасних підприємств [3].

Інновація – запроваджене нововведення, що забезпечує зростання ефективності технологічних процесів та підвищення якості продукції. Є ключовим фактором організаційного розвитку та посилення конкурентоспроможності будь-якої компанії, а також результатом інноваційної діяльності, що полягає в створенні, освоєнні, розповсюдженні та використанні інновацій. Велике значення в інноваційній діяльності займають «підривні інновації», що полягають у розвитку новітніх технологій виробництва товарів і послуг з поліпшеними показниками якості, якими передбачено виведення на існуючий ринок більш простих, зручних і дешевих товарів. Тому повсюдне впровадження «підривних інновацій» в процес виробництва є найважливішим напрямом і підставою для сучасного використання технологій, наукових досягнень і розробок, що впроваджуються в процес виробництва.

Розвиток інноваційної сфери набуває особливої важливості, що сприяє перетворенню науково-технічних розробок, що базуються на результатах фундаментальних і прикладних досліджень, в ринковий товар з новими споживчими властивостями. В сучасному світі інновації набувають все більшого інтересу та вважаються життєво необхідними. Крім того, інноваційна діяльність у виробництві товарів і послуг є обов'язковою для успіху будь-якого підприємства, підвищення якості виробництва продукції, опалення і задоволення потреб споживачів [3].

3.2. Інновації та тенденції в швейній промисловості

Інновації при створенні виробів. Для розробки та випуску нових моделей на ринку з'являються удосконалені системи автоматичного проектування і виготовлення виробів. Розробники математичних програм демонструють нові та удосконалені рішення для комплексних процесів розробки продукції, що потребують багато часу і затрат [3].

Рационалізація технології розкroювання при розробці підігнаної форми і первинного зразка, з врахуванням зовнішнього вигляду і поведінки матеріалу, досягається з високою ступеню близькості до реальності, завдячуючи віртуальному представленню людського тіла чи інших технічних форм. При цьому двокоординатний комплект деталей перетворюється в трикоординатний ескіз, наприклад, у програмі «Direct firm Gerber Technology» (США) або програмі «PPG» компанії TPC (KN) Ltd. Або з двокоординатного комплекту деталей крою розробляється

об'ємне зображення тіла віртуального візуалізованого одягу, як в програмі «Vida» фірми Assist/bullmer Specialmaschinen GmbH & Co. «KG» (Німеччина), програмі «V-Stitcher» компанії Bronzwear International Ltd. (Ізраїль), Lectra (Франція) та Grafis-Software (Німеччина).

Компанія Grafis також представила власну трикоординатну розробку, яка включена у нову версію. Основними моментами розробки є представлення об'ємної фігури, отримання на основі розмірів тіла та подальшого моделювання крою на цю фігуру або реально скановану персону. Таким чином можливі візуалізація моделей та розкрійно-технологічний контроль підігнаної форми в трикоординатній системі. При цьому, зміни в двокоординатному крої напряму, стають видимими на трикоординатній моделі.

За допомогою цих рішень виробник може провести візуалізацію першого прототипу без його фізичного виготовлення. З використанням трикоординатних розробок аспект часу від початкового задуму нового продукту до його появи на ринку суттєво поліпшується: завдяки значному скороченню тривалості розробки; зменшення затрат на створення первинного зразка; покращення якості продукції на основі підігнаної форми крою і візуалізації всіх компонентів, що приймають участь в процесі створення продукції. Об'ємна візуалізація здійснюється на основі попередньо заданого специфічного для клієнта манекена (параметричний манекен) або за допомогою індивідуальної фігури клієнта, вимірної, наприклад, за допомогою трикоординатного сканера.

Масовий пошив за індивідуальним замовленням. Уже декілька років у всьому світі спостерігається тенденція виготовлення одягу за індивідуальним замовленням у промислових умовах. Виготовлення на замовлення, що забезпечує індивідуальну форму, базується на точному вивченні розмірів тіла і подальшому розкроюванні з використанням комп'ютера. Системи для безконтактного визначення розмірів тіла, що з'явилися на ринку, постійно удосконалюються, як і індивідуальне розкроювання. Передумовою для майбутніх систем є автоматична розробка розкрою, над створенням якої працюють деякі фірми. Вони повинні замінити сьогодні інтерактивні рішення, які ще використовуються та потребують багато часу, що в цілому дасть можливість зберегти терміни поставок.

Фірма «Human Solutions GmbH» (Німеччина) розробляє і продає нові технічні засоби для обчислень і математичні програми, за допомогою яких вимірюють фігуру людини і вводять отримані дані в процес виготовлення. Об'ємні сканувальні системи є собою базисною технологією, яка може застосовуватися в торгівлі та виробництві індивідуального виготовлення одягу, класифікації розмірів і розробки продукції. Фірма представила нову систему «Anthroscan» для швидкого і ефектив-

ного отримання даних про розміри фігур великої групи людей (серійні вимірювання). Вона складається з високоточного трикоординатного лазерного сканера і єдиної в своєму роді математичної програми. Ця система дозволяє охоплювати різні індивідуальні розміри і осанку. Також ця компанія пропонує створений спеціально для торгівлі недорогий трикоординатний сканер «Vitus LC», систему високого технічного рівня «Vitus XXL», що відповідає вимогам ISO 20685 та розрахована на промислове застосування. Іншою новітньою розробкою фірми є система Intailor, яка поєднує виробника одягу за індивідуальним замовленням з його власним магазином. Завдяки автоматизованому виготовленню за індивідуальним замовленням виключаються помилки, що виникають при передачі інформації, при зменшенні розміру та оформленні замовлення, і значно скорочується час обробки. У магазині знімаються всі розміри, що необхідні для виробництва. Каталог колекції виробника отримує в системі цифрове відображення і допомагає продавцям при консультації покупців з визначенням цін та оформленні замовлення. Система передає всі дані на бажану модель розкрою.

Інновації при розкроюванні. У цьому сегменті пропозицій чітко видно, що виробники машин пристосували рішення, призначені для класичного швейного та взуттєвого обладнання, до переробки технічних текстильних матеріалів. Так, фірма «Assist/Bullmer» пропонує для швейної промисловості модульні настільні машини E100-E400. На основі прийому рулонів матеріалу, що направляється штангами у вигляді простої, недорогої конструкції пропонуються моделі з автоматичним встановленням повітряної подушки і підставкою, що обертається для розмотування для попарного настилу. За допомогою універсального швидкодіючого (120 м/с) настільного автомата «Comract E600», який оснащений жолобчастою стрічкою для розмотування рулонів матеріалу, можна зручно регулювати бічні напрямні рулонів матеріалів, що розраховані на вагу 100 кг і діаметр 500 мм з обслуговуючої сторони. Весь процес настилення, включаючи регулювання кромки і розкладку матеріалу, контролюється автоматично. Цей автомат можна використовувати для настилення технічних текстильних матеріалів в штабель. Може бути встановлене спеціальне оснащення для рулонів вагою до 500 кг і діаметром до 1200 мм. Для легкого підйому важких рулонів матеріалів використовуються підтримуючі штанги без конічної бобіни.

Для розкрою технічних текстильних матеріалів усіх видів фірмою розроблено пристрій «Premiumcut II», розрахований на окремі шари і невелику кількість шарів. Завдяки різноманітній і комбінаціям різних насадок інструментів він відповідає вимогам розкрою широкого спектра тканин і плоских матеріалів. Основний модуль різальної головки з пристосуванням для кріплення інструменту для його підйому, вібра-

ції з великою частотою і обертання можна додатково розширити круглим і стрічковим ножами і пробійником, а також свердлом. Пристрій поставляється з робочою шириною 160–320 см і довжиною до 12 м. Завдяки інтегрованому транспортеру можливі безперервні і перехресні потоки матеріалів (подача, розрізання, сортування). Для безперервного індивідуального розкрою розроблені спеціальні пристрої для подачі, наприклад автоматичний розмотувальний пристрій з лотком (в тому числі для важких рулонів) і автоматичний розмотувальний пристрій що направляється штангами, який подає матеріал на ніж-транспортер рівномірно і без напружень. Пристрій для розкрою «Turbo Cut 2» з колючим ножом, призначений для розкрою шарів матеріалів середньої товщини (25 мм), він є продуктивним і компактним автоматом з лінійною швидкістю розрізання до 90 м/хв і може використовуватись в швейній промисловості та для розкроювання шкір.

На основі конструкції мірильної машини фірма «Gerber Technology» створила автомати для розкрою невеликими партіями. Вони оснащені ножом GTxL та розраховані на розкрій шарів невеликої товщини і можуть застосовуватися для різних конфігурацій та для всіх видів текстильних матеріалів. Ніж, який працює зі швидкістю 46 м/хв, може бути оснащений автоматичною щітковою очисною системою, системою етикетування InfoMark і системою InVision для узгодження узорів.

Компанія «Kuris Specialmaschinen GmbH» (Німеччина) випустила свої вдосконалені настільні та розкрійні машини. Так настільна машина «Pionier Super Electronic» завдяки налаштуванню TFS здатна здійснювати настилення без натягу як важких, так і чутливих до розтягування матеріалів. Завдяки рулонам матеріалів, що постійно обертаються і площі контакту забезпечується рівномірна подача матеріалів. Відрізання відбувається за допомогою запатентованого агрегату протягом 0,4 с з отриманням задовільного розрізу навіть на чутливих матеріалах.

На основі вже наявної серії запропоновані удосконалення розкрійних автоматів «TexCut», розрахованих на різну висоту настилу. Наприклад, для виготовлення малих партій виробів в швейній промисловості та для розрізання технічних текстильних і спеціальних матеріалів (арамідні і скляні волокна, комбіновані матеріали, плівки) розроблено автомат «TexCut 3001», що слугує для розкрою шарів невеликої товщини завдяки новій концепції конструкції. Відповідно до цієї концепції, наприклад, заміна ножів здійснюється завдяки простому виведенню різальної головки в позицію обслуговування протягом декількох секунд.

Інновації в технології з'єднань. При виготовленні виробів з текстильних матеріалів у швейній промисловості зшивання відбувається в основному за допомогою швів. Для технічних текстильних матеріалів з переважно текстильними властивостями потрібні інші ха-

рактистику зшивання, а також альтернативні способи з'єднання, наприклад зварювання і склеювання. Такі способи застосовуються при створенні одягу з певними функціями, наприклад одягу для туризму та спорту. Машинобудівники, що спеціалізуються на швейному обладнанні, розробляють нові концепції машин для різних галузей застосування. Запропоновані численні рішення щодо високої якості шва, гнучкості використання і зручності обслуговування стандартних швейних машин, в тому числі швейних автоматів. Приділено увагу автоматизації для підвищення ефективності, надійності процесів, полегшення робочих операцій і економії часу, а також сприянню ергономії і управління [3].

Концерн «Dürkopp Adler AG» (Німеччина) на сьогодні демонструє інноваційні рішення як в ключовій складовій – одязі, а також у сегменті – технічних текстильних матеріалах та у швейному устаткуванні.

Швейне обладнання серії «580 Multiflex» демонструє досі невідому гнучкість при виготовленні петель з вічком. За допомогою нового методу, заснованого на застосуванні двох різних типів ножів, можна виготовляти численні варіанти петель без механічного переоснащення. Завдяки застосуванню «580 Multiflex» при виготовленні піджаків потрібно тільки автомат для петель з вічком для передньої кромки піджаків і лацканів. При цьому не потрібно часу на переоснащення, пов'язаного із заміною різального блока або ножів, а також транспортування виробу, що виготовляється від однієї машини до іншої. За рахунок наявного автоматичного визначення положення петлі не потрібні витрати на програмування. При заміні швейної нитки або її кольору потрібно тільки одноразове повторне просилення. Підвищення продуктивності та зниження виробничих витрат можливо за допомогою нового петельника XXL від «Dürkopp Adler». Він має великий об'єм для нижньої нитки, який при розробці вдалося збільшити на 70 %. Таким чином, петельник наполовину зменшує витрати, пов'язані із заміною шпулі. Перш за все, при застосуванні товстих ниток і великих розмірів матеріалів, що зшиваються, забезпечується більша тривалість циклу. Петельник XXL може використовуватися для всіх класів машин «Dürkopp Adler» середнього сегмента. Фірма «Pfaff Industriemaschinen AG» (Німеччина) знайшла унікальні рішення для з'єднання матеріалів за допомогою зшивання, зварювання та склеювання.

Компанія «Pfaff» представила нове покоління ультразвукових зварювальних машин «Pfaff 8310» для технічних текстильних матеріалів, що працюють безперервно. Тут створені нові можливості щодо надійності процесу і якості шва при з'єднанні інноваційних текстильних матеріалів. «Розумні» машини працюють з диференційованою подачею для отримання гладкого шва. Вони розпізнають поперечні шви і реагують на це зміною потужності зварювання. «Програмоване зварювання»

є новинкою на сьогоднішній день. Програмування відрізків швів вже давно буденна справа в швейній промисловості, але щодо зварювання це справжня інновація. Машинами нового покоління «Pfaff 8320» і «Pfaff 8322», що працюють з використанням гарячого повітря і нагрітого клина, користувач керує за допомогою сенсорного екрана. Хід роботи можна розробляти і запам'ятовувати у вигляді параметрів процесу. Вони охоплюють такі важливі для зварювання характеристики, як температура, тиск і швидкість.

Також численні інновації можна виявити при огляді устаткування компанії «Juki Corporation» (Японія) [3]. Викликає зацікавленість нова серія «LH-3500» з двоголковою високопродуктивною швидкісною швейною машиною човникового стібка з напівсухою верхньою частиною, стрижнем голководія, що відключається і подовженим проходом рукава. Це поліпшує роботу з машиною і підвищує якість шва. Зменшена тривалість циклу та підвищена продуктивність досягається завдяки високошвидкісному закріпковому автомату «LK-1900 A» з цифровим програмним керуванням (максимальна швидкістю 3000 стібків/хв). Завдяки активному регулюванню натягу нитки можна домогтися рівномірного натягу при різних шарах матеріалів і напрямках шиття. Великий сенсорний екран IP 400 з дисплеєм на рідких кристалах забезпечує просте обслуговування через піктограми. Іншою новою розробкою є однострижковий автомат ланцюгового стібка MB-1 377 для пришивання гудзиків, який завдяки механізму зав'язування вузла міцно прикріплює гудзики. При цьому за рахунок простого механічного регулювання виду стібка можна вибрати U-форму або X-форму.

Розробники машин японської фірми «Brother Industries Ltd» серед різних новинок пропонують автомат RH-9820 з індексатором для виготовлення петель з вічком, який приваблює поліпшеною якістю шва і збільшеним робочим простором, що забезпечує зручне обслуговування та нову швидкісну швейну машину S7220B ланцюгового стібка з прямим приводом.

Компанія «Cetex Chemnitzer Textilmaschinenentwicklung GmbH» (Німеччина) спільно з Технічним університетом Дрездена розробила програмований пристрій PSN3020 для діагонального шиття на важких технічних текстильних матеріалах. Завдяки цілеспрямованому впровадженню, в розташований по діагоналі ланцюговий шов композита, стали можливими стабілізація штабеля текстильних полотен і підвищення міцності із захистом від розшаровування. Пристрій дозволяє, шляхом програмованого введення типу стібка, цілеспрямовано підвищити жорсткість технічних текстильних матеріалів за очікуваним навантаженням.

Компанія «KMF International Textilmaschinen AG» (Німеччина) випустила агрегат KMF 3230 для раціонального підшивання кишень на

джинсах і робочому одязі. Застосування систем керування і привода забезпечує абсолютно синхронну подачу для транспортування в швейну машину ланцюгового стібка. Спеціально для постачальників автомобільної промисловості підприємство розробило виробничу установку «KMF 3145-4 Cut & Punch» для автоматичного виготовлення натягувальних смуг сидінь. Ці смуги дозволяють виготовляти індивідуальні сидіння для відповідної моделі в будь-якому місці.

Альтернативні технології з'єднання – зварювання і склеювання необхідні для функціонального одягу та багатьох технічних текстильних матеріалів. При цьому отримується плоский шов і окантовка та утворюються водонепроникні шви для багатьох виробів. За допомогою ультразвукової технології можна зварювати синтетичні матеріали або з'єднувати їх спеціальними клейовими стрічками. Поряд з представленими зварювальними машинами «Pfaff» компанія «Schips AG» (Швейцарія) пропонує для безперервного з'єднання двох деталей крою за допомогою клейової стрічки та ультразвуку робоче місце HS C 52BCO і для безперервного зварювання ультразвуком робоче місце HS C 51WFO. При цьому можна пристосувати структуру шва до будь-яких бажань клієнтів. Фірма «Nähtechnologie GmbH» (Швейцарія) також пропонує вдосконалену машину для ультразвукового зварювання, робочі місця NT-6800 з вільним рукавом, NT-6900 з цокольною конструкцією та NT-6950 з рукавом, що опускається [3].

Компанія «King Ultrasonic Co. Ltd.» (Тайвань) пропонує широкий спектр ультразвукових різальних і зварювальних машин. Особливо високотехнологічною є ультразвукова зварювальна машина KS 15 для безшовного підшивання матеріалів з вмістом понад 65 % синтетичних волокон.

Інновація для формування і оздоблення. Проміжне і остаточне прасування в швейній промисловості відносяться до обов'язкових операцій кінцевої обробки. У цьому сегменті є таке обладнання – установки для фіксування, машини для прасування, пристрої для надання форми і тунельні оздоблювальні установки. На ринку представлені численні удосконалення, особливостями яких є різноманітність моделей і можливість застосування для делікатних матеріалів. Це реалізується на основі модульних систем, з одного боку, завдяки легкій заміні форм і спеціальним формам, а з іншого – за рахунок високотехнологічних автоматизованих професійних рішень на індивідуальних установках клієнтів. Інший важливий аспект інновацій полягає в забезпеченні якості продукції шляхом створення більш «чутливих» установок за рахунок електронного керування для досягнення оптимального результату формування і обробки.

Компанія «Veit GmbH» (Німеччина) представила нове покоління установок VEIT 8741 для обробки брюк, які представляють со-

бою як прості варіанти, так і рішення пов'язані з функцією контролю розтягання (VEIT-0-STRECH). Ці установки дозволяють здійснювати обробку навіть чутливих еластичних трикотажних виробів. В оздоблювальній мультиформовочній установці VEIT 8381, що дозволяє вибирати манекени, також є функція контролю розтягання кромки при чутливих рухах. Підприємство «Brisay Maschinen GmbH» (Німеччина), що також належить групі «Veit», пропонує ряд нових і оптимізованих рішень в області прасування. Машина для попереднього прасування передньої частини зі спеціальним пристосуванням для підкреслення плечей BRI-600 має в своєму розпорядженні нову систему формування, що дозволяє поряд з формувальним прасуванням всієї передньої частини здійснювати додатково попереднє формування в області плечей. В оздоблювально-прасувальній машині BRI-1200, призначеної для передньої частини деталей одягу, нова система камер для формування забезпечує оптимальні результати прасування всіх моделей комірців і лацканів. При цьому область прасування регулюється в залежності від моделі та розміру одягу. Новий пристрій для припрасування рукавів з повітряною подушкою в машині BRI-810, розрахованою на посадку оката рукава і обробкою прасуванням, дає можливість «розгортати» верхню частину рукава для обробки і уникнути небажаного ефекту зсуву. Хід різних рухів для катка вільно програмується назад і вперед, в тому числі для високо посаджених рукавів.

Компанія «MACPI Palazzolo» (Італія) продемонструвала новий автоматичний пристрій для обробки джинсів і штанів – автоматичний блок з чотирьох обертових станцій для подачі пари з автоматичною системою вивантаження. Його продуктивність складає 2500-3500 штанів за зміну при обслуговуванні однією людиною. Робота пристрою може бути пристосована до всіх матеріалів, в тому числі і таких, що розтягуються. Елементи, що сприяють формуванню забезпечують комплексну обробку без будь-якої додаткової обробки.

Фірма «Indupress GmbH & Co. KG» (Німеччина) випустила вдосконалену тунельну установку для остаточної обробки різних текстильних матеріалів. Її суттєвими новинками є парові камери, в яких є регулюванням кількості пари незалежно від попереднього тиску та інтегрований блок для попереднього розплення. Між пристроями для циркуляційного повітря і пари знаходиться бункер, проходячи через який вироби обробляються сумішшю повітря і пари. Повторне використання надлишку пари, що відсмоктується в парову камеру, гарантує ефективне та економне використання енергії. Потужна подача повітря створює підвищену температуру для досягнення оптимального результату обробки. Керування, що здійснюється на промисловому персональ-

ному комп'ютері і сенсорному екрані, гарантує просте і наочне обслуговування та сприяє надійності програм та їх заміні.

3.3. Інновації та тенденції у взуттєвій промисловості

Цифрова фабрика взуття. Історія взуття налічує багато століть, протягом яких вона залишається одним з найбільш необхідних і важливих предметів гардеробу. Проте тільки в ХІХ ст. взуттєва промисловість стає механізованою, з'являються перші фабрики взуття, де ручну працю частково замінюють верстати і починається масове виготовлення взуття з урахуванням зміни стопи, асиметрії та поділу пари на ліву та праву.

Фабрики взуття на сьогодні працюють з значними потужностями. Вони щомісяця виробляють тисячі пар модного взуття, використовуючи натуральні та синтетичні матеріали. Взуття постійно вдосконалюється – розробляються та виготовляються нові колодки, фасони, устілки. Сучасне різноманіття фасонів і моделей відображає потребу людей в зручному, красивому взутті, що захищає стопу від пошкоджень та відповідає останнім тенденціям моди.

При всьому різноманітті та динаміці ринку частка ручної праці у виробництві взуття залишається досить високою. Тим часом в повній мірі ручна праця обґрунтована лише у вузькому сегменті взуття, що виготовляється за індивідуальними розмірами. Для більшості виробників важлива швидкість розробки нових привабливих моделей і прискорене виведення їх на ринок.

Розробка абсолютно нової моделі взуття включає виготовлення колодки, пошук дизайнерських рішень, градування деталей за розмірами. Ручна праця робить ці етапи надзвичайно трудомісткими і накладає обмеження на ступінь новизни. Через використання ручної праці при розробці нового взуття перевага часто віддається моделям під існуюче оснащення, а отже, успадковується фасон старих моделей. В результаті нова «стара» модель виходить на ринок із запізненням і втрачає свого покупця. При цьому вивіреним стилем на основі розміру взуття може спотворюватися від розміру до розміру. Відсутність оснащення часто компенсується ручною обробкою деталей – і в новій моделі можна розглядити минулорічний фасон, жорстку, склеєну і оброблену ручним способом підошву з пластика.

Сьогодні промисловість стоїть на порозі четвертої промислової революції, характерними рисами якої є «цифровізація» виробу і процесів, застосування інноваційних матеріалів і технологій. Передові технології Siemens PLM Software дозволяють підприємствам перетворити існуюче виробництво в цифрову фабрику майбутнього. Першоджерелом

виробництва майбутнього є цифровий двійник виробу на основі параметричної електронної моделі. Результат цифрового проектування відкриває можливості для автоматизації процесів виготовлення самого взуття та необхідної технологічної оснастки, зокрема стають доступні інноваційні адитивні технології.

Для прикладу реалізації параметричної моделі взуття була виконана робота, що включає побудову колодки, деталей взуття в зборі і розгортку для подальшого розкрою. Важливо реалізувати ефективний і гнучкий процес для його багаторазового застосування в наступних проєктах. Найбільшим потенціалом для цифрової фабрики володіє параметрична колодка на основі перетинів і «гладких» поверхонь. Вона не містить обмежень, властивих фасетним об'єктам, і забезпечує більшу точність контурам деталей.

Для вирішення найбільш складних та оригінальних завдань Siemens PLM Software пропонує технологію 3D проектування NX. Робота в контексті управління життєвим циклом виробу Teamcenter необхідна для керування даними на наступних стадіях. Приклад був створений з використанням прототипу стандартного рішення для підприємств на основі PLM системи Teamcenter. Реалізована методологія дозволяє вирішувати складне завдання у кілька стадій: пошук технічного рішення, отримання **майстер-геометрії** деталей та похідних від **майстер-геометрії**. Для цього застосовуються спеціальні об'єкти в PLM системі.

Процес розробки починається з побудови параметричної колодки. Використання системи математичних залежностей між параметрами побудови дозволяє зробити колодку гнучкою і адаптується під обрані розміри стопи, каблука, повноти тощо. На наступній стадії розробляється стиль майбутньої моделі, куди входять підошва, каблук і деталі верху. Після перевірки розробки, деталі допрацьовуються і слугують основою для отримання розгортки, специфікацій, маркетингових матеріалів, розробки технологічного процесу, розрахунку вартості тощо.

Фотореалістичні зображення із застосуванням текстур і манекена, є важливою частиною роботи. Досконалість стилю визначає успіх продукції на ринку. Дані ілюстрації виконані безпосередньо в NX, де завдання проектування, дизайну та розробки оснастки реалізуються нерозривно. Студія дизайну NX підтримує технологію IRay. Текстура матеріалів виглядає рельєфною, є безліч готових сцен тощо.

Будучи гнучким і нерозривним, процес може застосовуватись повторно для нових проєктів або градування деталей. Створення шаблону з призначенням для користувача інтерфейсом в NX Product Template Studio для колодки або всього ланцюжка пов'язаних об'єктів дозволяє істотно спростити повторне застосування. Такий шаблон не вимагає знань програміста і може бути створений самостійно.

Цифровий двійник виробу, крім геометричної моделі виробу, може включати дані аналізу і симуляції поведінки конструкції при експлуатації. Застосування рішення Simcenter, тісно інтегрованого з середовищем розробки NX, дозволить підняти якість продукції на більш високий рівень. Можуть бути проаналізовані міцність, деформації, тепломасоперенос та інші важливі властивості.

Наявність моделі колодки і розгортки дозволяє виготовляти колодки на автоматизованому обладнанні з перероблених матеріалів, здійснювати розкрій без виготовлення шаблонів, підвищувати точність і знижувати обсяг невикористаних залишків матеріалу. У свою чергу, геометрична модель підосви дозволяє створити оснащення для лиття або друку в NX.

На сьогодні Siemens PLM Software активно розвиває напрям адитивних технологій. NX як комплексне рішення, містить модулі для побудов методом топологічної оптимізації та підготовки друку з підтримкою промислового обладнання. Функціонал дозволяє реалізувати інноваційні ідеї в конструкції взуття для відповідності продукції вимогам ринку. Такі рішення і методологія забезпечують реалізацію інновацій в конструкції взуття, бізнес моделі, технологіях продажів. Це відкриває нові можливості підприємствам взуттєвої промисловості для розширення присутності та зміцнення позицій на ринку. Для масового споживача – доступне, модне і зручне взуття, широкий асортимент і якісні матеріали.

Серійний 3D-друк. Найбільші виробники спортивного взуттякладають великі кошти і час в розробку методів застосування 3D-друку у взуттєвій галузі. Такі компанії, як «Reebok», «Under Armour», «Adidas», «Nike» і «New Balance» на ділі показують, що бачать в 3D-друку майбутнє взуттєвої промисловості.

Компанії 3D-друку «EOS North America Inc» і «Under Armour» об'єднали зусилля в розвитку комерційного виробництва 3D-взуття. Партнерство EOS North America і Under Armour допомагає останній масштабувати їх взуттєвий бізнес з використанням 3D-друку. Застосування технології лазерного спікання, як і використання досвіду EOS в промисловому 3D-виробництві, дозволяють розвивати взуттєвий бізнес Under Armour. Вони разом мають намір працювати над складом нових порошків і розвитком технології спікання. Under Armour планує використовувати технології EOS для 3D-друку деталей взуття з порошку.

Nike теж розробляє взуття із застосуванням 3D-друкованих технологій. 3D-друковані взуттєві деталі, устілки і підосви Prodways, виготовлені з термопластичного поліуретану (TPU), застосовуються для прискорення виготовлення кросівок і підвищують їх споживчі властивості. Хоча Nike ще не оголосила про серійне виробництво 3D-

друкованого взуття, керівники компанії високо оцінюють потенціал матеріалів і 3D-принтерів Prodways для поліпшення якості взуття і збільшення швидкості виробництва. Nike використовує 3D-друк в розробці прототипів, співпрацюючи з французькою компанією «Prodways». Nike вже створював 3D-друковану взуття, хоч це і були несерійні вироби для професійних спортсменів.

Фірма «New Balance» спільно з компанією 3D Systems випустила в 2016 році бігові кросівки з повністю 3D-друкованою підошвою Zante Generate. New Balance використовувала порошкоподібний термополіуретан DuraForm для 3D-друку деталей кросівок. Підошви друкувалися за технологією SLS.

Компанія «Reebok» в 2016 р. представила свою нову технологію Liquid Factory 3D. Перші кросівки Reebok створені із застосуванням 3D-друку називалися Liquid Speed. З командою Reebok Future, що відповідає за впровадження нових технологій в компанії Reebok, співпрацює хімічний гігант BASF, який розробив полімер для 3D-друку взуття.

У 2017 р. Adidas анонсувала співпрацю з компанією «Carbon», що базується в Кремнієвій долині. Разом вони створили 3D-друковану підошву, зроблену за технологією Digital Light Synthesis (DLS) та устілку для моделі взуття Futurecraft 4D.

На сьогодні, створюються експериментальні моделі взуття, які часто перевершують моделі виготовлені традиційними методами не тільки за споживчими властивостями, але й за технологічністю у виробництві. 3D-друк у взуттєвому виробництві приводить до зменшення ваги взуття, більше можливостей зміни пружності і жорсткості, за рахунок складної внутрішньої структури принта, плюс – найширше поле для конструювання і винайдення нових форм, яких традиційними методами створити було б неможливо. З огляду на здійснені розробки в цьому напрямі, можна сподіватися, що 3D-друковане взуття зовсім скоро стане загальнодоступним.

3.4. Інноваційні технології текстильної промисловості

Сьогодні на сучасному ринку випускається широкий асортимент інноваційних тканин для одягу, які покращують і полегшують наше життя. Застосування нових технологічних матеріалів дозволяє отримати матеріали різноманітних структур з поліпшеними і новими властивостями таких як «косметотекстиль» – це розумні тканини з яких створюють предмети одягу, що володіють косметичним ефектом, покращують зовнішній вигляд і якість шкіри, що сприяє виведенню зайвої рідини з організму. Такі матеріали в складі містять мікрокапсули, що складаються з особливих активних речовин, які при контакті з

шкірою рівномірно розподіляються по всій поверхні і широко застосовуються в косметичній і фармацевтичній промисловості. Тому застосування інноваційних технологій мікрокапсуляції активних речовин дозволяє виготовляти тканини, предмети одягу, які можна не просто носити, але які володіють косметичним ефектом.

Найбільш перспективним є виробництва інноваційних тканин. Вони можуть захищати людину від шкідливих природних факторів (складаються з бавовняного і поліефірного волокна з високим вмістом натуральної бавовни і володіють високими експлуатаційними властивостями). Завдяки високому вмісту натуральної бавовни тканина добре пропускає повітря, вбирає вологу, а високоміцні поліефірні волокна забезпечують міцність, малу усадку та легкість у догляді.

Крім того, сучасний одяг є промисловим товаром і результатом науково-технічного прогресу. Тому однією з особливостей сучасного етапу розвитку виробництва швейних виробів є значне посилення комплексу вимог до продукції, а саме споживчих, естетичних, експлуатаційних, промислових властивостей, що обумовлено підвищенням рівня якості життя в світі та підвищенням конкуренції при реалізації товарів на сучасному ринку. Згідно з цим, компанією «Sensatex» з Нью-Йорка, розроблені «розумні тканини». Технологія «Interconnection» дозволяє використовувати різні датчики, вбудовані у волокна тканини, які отримують і передають інформацію про біометричні параметри тіла на звичайний або кишеньковий комп'ютер. Основною особливістю такої технології є те, що такі технології використовуються в будь-яких видах тканини – бавовні, шовку, лайкрі тощо. Отже, такі тканини є одним з найбільш перспективних інноваційних рішень на сучасному ринку.

Більш того, сучасний одяг на сьогодні все більше стає об'єктом застосування наукових досягнень сучасних вчених. Отже, в результаті інноваційних наукових досягнень вчених в текстильній промисловості компанією «Intelligent Textiles» розроблена «електронна тканина» для солдатів, що складається з електропровідних ниток, які вводяться в матерію і переносять енергію в певне місце. Важливою перевагою, є збереження енергії тканини, і продовження її функціонування при пошкодженні. Процес автоматичного очищення електроматерії дозволяє, підтримувати стабільну температуру і високу міцність в процесі застосування. Велике значення на сучасному етапі розвитку має виробництво спецодеж, що має широку сферу використання. Моделі стали настільки продуманими і практичними, що впритул наблизилися до повсякденного одягу, зберігши при цьому свої захисні властивості.

Інноваційним рішенням сучасного спецодеж є: по-перше світлоповертаюча індикація, яка присутня практично на всіх моделях одягу, призначеного для експлуатації поза приміщеннями; по-друге, спецодеж,

призначений для експлуатації у вологих умовах, виготовляють зі спеціальної прогумованої тканини. Всі шви в такому одязі герметизуються спеціальною прогумованою стрічкою. Отже, при виробництві такого одягу використовується спеціальний вид ниток, стійких до впливу вологи.

Разом з тим, найважливішим елементом в одязі, що захищає людину від високих температур, теплового випромінювання, іскри, бризок, розплавлення металу, поверхонь нагрітих до 100 °С і вище, є використання нових підходів до створення матеріалів з вогнезахисними властивостями з використанням спеціальних синтетичних неоднорідних вогнестійких швейних ниток. Ця нитка під впливом полум'я і температури 350–400 °С на протязі однієї хвилини зберігає навантаження на розрив понад 75 %. При підвищенні температури до 420–460 °С розривне навантаження становить 45–60 % від вихідного. Запропонована структура неоднорідних швейних ниток виготовляється за два технологічних переходи крутіння і один перехід перемотування при використанні крутильного устаткування, що дозволяє отримати швейну нитку високої якості і за доступною ціною. Тому найбільш перспективним в області захисту від підвищених температур і теплового випромінювання на вітчизняному ринку є тканини на основі волокон і ниток Русар і Арселон, що складаються з комбінованих трощених і скручених ниток стренг з температурою розкладання 500 °С, які володіють необхідними захисними і експлуатаційними властивостями.

Так самим інноваційним рішенням для спецодягу нового покоління є антистатична тканина «Фантом». Зовнішній вигляд складається з клітинної структури тканини, яку не видно, а захист продовжує працювати протягом усього терміну використання виробу. Така тканина має антистатичне міцне металізоване волокно, що захищає від механічних пошкоджень, максимально стійке до розривів і стирання, і при накопиченні статичної електрики, повністю виключає утворення іскри, забезпечує комплексний захист від води, оливи і тощо.

Досить популярним і затребуваним на ринку є розробка вкладних устілок, що дозволяють в різні періоди часу надати взуттю зручність і комфортабельність, що сприяє раціональному вибору, як конструкції, так і виду пакету матеріалів устілки. Конструкція даного виду устілки відповідно підбирається з урахуванням індивідуальних особливостей окремих груп споживачів, тому проектування та вибір пакета матеріалу має велике значення. Особливістю вкладних устілок є те, що вони конструктивно не скріплені з верхом або низом взуття, що є позитивним фактором, яке дозволяє споживачу вибирати і змінювати устілки залежно від свого смаку, бажаного комфорту і існуючих медичних проблем. Тому на сучасному етапі інноваційним рішенням можна вважати виробництво вкладних устілок виготовлених з пакета тканин-

них (змішаних) полотен з антибактеріальним просоченням в складі Sanitized T99-19, що дозволяють тривалий час підтримувати комфортабельні та гігієнічні властивості внутрішньовоздухового простору. Просочення запобігає поглинанню мікробів з навколишнього середовища, що сприяє запобіганню розвитку бактерій і грибків, знижує ризик контактного інфікування, запобігає появі неприємного запаху, є безпечним для здоров'я, відсутністю алергічних реакцій, стійким до прання і стерилізації і досить економічним у використанні.

В текстильній промисловості значне місце серед екологічно чистих і ультрамодних товарів займають текстильні матеріали з льону, що містять природно-забарвлене лляне волокно, що володіє винятковими природними властивостями, високою міцністю, гігієнічністю, природною бактерицидністю, екологічністю і натуральністю. При цьому обробка лляних матеріалів ферментами дозволяє зберегти в лляному волокні лігнін і природні барвники, що відкривають широкі можливості для художньо-колористичного оформлення матеріалів, що дозволить найбільш повно використовувати лляну сировину і тим самим підвищити конкурентоспроможність і продуктивність лляних виробів на вітчизняному ринку. Більш того, найважливішим значенням в одязі з льону є вплив вологи на клейові сполуки, які надають деформацію матеріалам і здійснюють пластифікуючу дію. Найбільш істотно впливає волога на вироби з гідрофільних волокон, що впливає на властивості клейових з'єднань одягу. Зміна характеристик згину клейових з'єднань залежить від виду основи і переплетення тканини, а також особливостей структури і поверхневої густини основної тканини.

Контрольні питання

1. Що таке інноваційна діяльність?
2. Що таке інновація?
3. Які інновації з'явилися при створенні швейних виробів на сьогоднішньому етапі?
4. Які інновації з'явилися при розкроюванні матеріалів на сьогоднішньому етапі?
5. Які інновації з'явилися в технології з'єднань швейних виробів на сьогоднішньому етапі?
6. Які інновації з'явилися при формуванні та оздобленні швейних виробів на сьогоднішньому етапі?
7. Які існують інновації та тенденції у взуттєвій промисловості?
8. Що собою представляють цифрові двійники при створенні виробу від компанії Siemens?
9. Як здійснюється виробництво взуттєвих виробів за допомогою 3D-друку?

Лекція 4

Підвищення ефективності виконання операції вирубання деталей взуття в легкій промисловості

- Технологічні операції механічного різання матеріалів
- Технологічна операція вирубання деталей взуття
- Підвищення ефективності виконання технологічної операції вирубання деталей шляхом використання пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном (ЛЕМД) з підвищеними енергетичними характеристиками
- Порівняння техніко-економічних показників пресового обладнання для виконання операції вирубання деталей взуття

4.1. Технологічні операції механічного різання матеріалів

Механічне різання – технологічний процес обробки матеріалу шляхом розділення його на частини під тиском різального інструменту. Його розподіляють на ряд напрямів, фактором визначення яких є матеріал, що піддається процесу різання. У зв'язку з цим, виникли такі напрями: різання швейних та взуттєвих матеріалів; різання деревини; різання органічних, харчових і волокнистих матеріалів; різання металів тощо. Різноманіття матеріалів для різання призвело до проблем, зумовлених специфікою поведінки різних матеріалів в процесі різання і, відповідно, певними вимогами до різального інструменту та режимів різання [16].

Існують роботи, присвячені питанням теорії та практики механічного різання. До проблем різання матеріалів відносяться роботи Капустіна І.І., Майзеля М.М., Зибіна Ю.П., Гарбарука В.Н., Лебедева В.С., Базюка Г.П., Піскорського Г.А., Місяця В.П., Соколова В.М., Абрамова В.Ф., Литвина Є.В. та ін. Питанню проектування і розрахунку машин для різання матеріалів присвячено роботи Піскорського Г.А., Капустіна І.І., Комісарова А.І., Вальщикова М.М. та ін. Результати досліджень, проведених багатьма з них, узагальнено в фундаментальній монографії Капустіна І.І., де запропоновано модель занурення леза в шар пружно-в'язкого матеріалу та розрахунок сили, прикладеної до леза [7]. В роботі розглянуто операції та особливості технологічних машин для обробки різанням в шкіряному і хутровому виробництвах. Описано реологічні моделі пружно-в'язко-пластичних матеріалів, властивостями яких володіє шкіряний і хутровий напівфабрикат. Загальна характеристика взаємодії механічних ножів і матеріалу різними способами різання здійснено в роботі [6].

Здебільшого науковці в роботах описували процес обробки одного конкретного матеріалу. В них відсутнє поглиблене вивчення деформаційних властивостей різних типів матеріалів та особливостей

їх взаємодії з різальним інструментом (лезом). Загалом система «лезо–матеріал» при контакті розглядається як дві фігури, що не деформуються та з'єднуються між собою. Залежність між напруженням і деформацією найчастіше зводиться до закону Гука. В результаті цього вирішуються часткові задачі технологічного різання.

Механічне різання в інших галузях промисловості досліджується в роботах [1; 23], які присвячено основним положенням теорії різання, експериментальним дослідженням, проектуванню обладнання тощо. Різновиди процесу різання матеріалів розглядаються як диференціації технологічних факторів. Велика увага тут приділяється теорії та основам розрахунку різального устаткування.

Проведений аналіз розглянутих робіт з різання матеріалів легкої промисловості та обладнання, яке при цьому використовується, показав, що більшість із них присвячена вивченню процесів різання методом вирубування на пресовому устаткуванні. В основному ці роботи проводилися у таких напрямках: вивчення деформаційних властивостей матеріалів; знаходження технологічних зусиль різання та раціональних параметрів робочих інструментів. Запропоновані дослідниками рекомендації сприяли удосконаленню обладнання для різання матеріалів та геометрії різального інструменту [1, 23].

В основі розділення за видами різання лежать характерні особливості взаємодії між матеріалом і інструментом, що визначаються потрібним ефектом від процесу і зумовлюються його специфічними параметрами. Відповідно до цього термін різання можна розглядати як поняття, що об'єднує три різних способи різання: пуансоном, різцем і лезом. Проведений аналіз технічної літератури показав, що в легкій промисловості найчастіше використовується два способи: пуансоном і лезом, що показані на рис. 4.1.

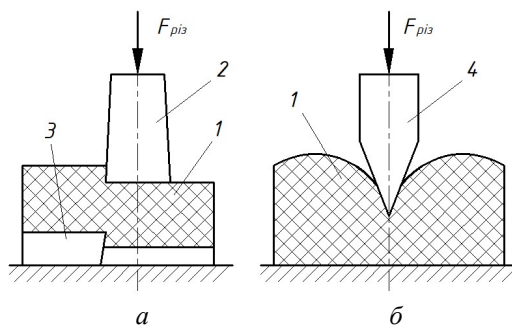


Рис. 4.1 – Види різання: а – пуансоном; б – лезом (1 – матеріал; 2 – пуансон; 3 – матриця; 4 – лезо)

Пуансон 2 (рис. 4.1, *a*) рухається під дією сили $F_{piз}$ перпендикулярно до своєї робочої зони. Внаслідок цього в матеріалі l на поверхні зрізу, що проходить через різальне ребро пуансона і протирізальне ребро матриці 3, виникають дотичні напруження, що призводять до зрізу матеріалу та в подальшому його руйнування.

Різання пуансоном має обмежене використання (рис. 4.1, *a*). Його застосовують при виконанні операції перфорування малих діаметрів отворів в деталях верху взуття. З цією метою в перфораційних матрицях використовуються суцільні циліндричні пробійники.

Різання матеріалів лезом є найбільш поширеним механічним способом розділення матеріалів. Цей вид в легкій промисловості застосовується при розкроюванні та вирубванні деталей, здійсненні перфорування, пробиванні отворів під металеву фурнітуру у швейних, взуттєвих, шкіряно-галантерейних виробах тощо. Перфоруванням та пробиванням формують внутрішній контур деталі, а вирубанням – зовнішній контур.

Особливістю різання лезом є наступне. Різальна кромка леза 4 (рис. 4.1, *б*) при зануренні в матеріал l під дією сили $F_{piз}$ здійснює руйнування матеріалу. При різанні лезом, в деяких випадках, може виникати випереджаюча тріщина. В результаті цього в зоні безпосереднього контакту різальної кромки з матеріалом утворюється нова поверхня під дією тиску робочого інструмента.

Для процесу різання основні закономірності, встановлені для одних матеріалів, можна використовувати для інших з врахуванням специфіки їх фізико-механічних властивостей. Врахування широкого діапазону властивостей різних швейних та взуттєвих матеріалів для різання лезом поповнить теорію різання та збільшить її прикладне значення. Разом з тим, узагальнення результатів теоретичних і експериментальних досліджень дозволить розвинути та зробити універсальним метод різання лезом.

Процес розділення матеріалу в операціях механічного різання обумовлений складною взаємодією різального інструменту обладнання з матеріалом, що обробляється в певному технологічному середовищі. З одного боку, технологія різання визначається типом різального інструменту, а з іншого – асортиментом і властивостями матеріалу, що обробляється. Таким чином, вид матеріалу та його властивості будуть впливати на вибір цього інструменту. Аналіз існуючих технологій виробництва взуття, показує, що можна виділити наступні різновиди механічного різального інструменту, що визначає особливості процесу взаємодії леза (різальних елементів) з об'єктом обробки – матеріалом: різакі – розкрійні ножі замкнутого контуру; плоскі стрижневі та дискові розкрійні ножі; стрічкові та чашоподібні ножі відповідно для роз-

кроювання, двоїння, вирівнювання по товщині, підрізання і спускання країв деталей; ножиці тощо.

Зазвичай, окремі типи інструментів, не асоціюються з процесом механічного різання, але, тим не менше, беруть участь в ньому і мають основні ознаки різальних інструментів: наявність леза з певним кутом загострення (заточування), величиною його притуплення тощо. До різальних інструментів можна віднести голки для різних типів швейного устаткування та інструменти для пробивання отворів – пробійники.

Аналіз технічної літератури, присвяченої механічному різанню в легкій промисловості, показує, що одними з найбільш поширених операцій у взуттєвому та шкіряно-галантерейному виробництвах є операції вирубування і перфорування деталей виробів [1, 2, 23]. Менш поширена – пробивання отворів у матеріалі. Найбільша увага у дослідженнях приділяється операції вирубування деталей. Недостатньо уваги – операціям перфорування та пробивання отворів. Такі операції часто суміщають з вирубуванням матеріалів різакми на пресах.

4.2. Технологічна операція вирубування деталей взуття

Вирубування деталей взуття та шкіряно-галантерейних виробів на пресах здійснюється за допомогою різаків на вирубних плитах або колодах. Різак для вирубування деталей на металевих плитах заточують так, щоб торцева площина на різальному лезі була притуплена на 0,2–0,3 мм, а для вирубування деталей на неметалевих плитах або колодах лезо повинно бути гострим або з притупленням на ширину не більше 0,05 мм. Оптимальний кут загострення різака 25–32°.

Конструкція різака та тип його заточування (геометричні параметри леза) визначаються різними факторами. До найбільш важливих можна віднести: фізико-механічні властивості матеріалу, що вирубується та матеріалу вирубною плити або колоди; товщина і кількість шарів настилу матеріалу, що вирубується; спосіб вилучення готової деталі із внутрішньої порожнини різака. Взаємодію різака з матеріалом, що розрізується, можна розглядати як взаємодію двох тіл, одне з яких, – різак, має твердість, що значно перевищує твердість іншого матеріалу. Завдяки цьому відбувається занурення леза в матеріал.

Операція вирубування деталей з натуральної шкіри, штучних шкір, картону, тканин та інших матеріалів у взуттєвому і швейному виробництвах легкої промисловості – найбільш поширена технологічна операція. Її схема та характер зміни технологічного зусилля в матеріалі при її виконанні представлено на рис. 4.2, а, б.

Аналіз технічної літератури показує, що здебільшого при проектуванні технологічного устаткування та розрахунку потрібного тех-

нологічного зусилля для виконання технологічної операції вирубання використовують емпіричну формулу Капустіна І. І. [1, 7, 23]:

$$F_{\text{вир.макс.}} = q_{\text{н.з.}} \cdot L_{\text{різ}} \cdot k_{\Delta} \cdot k_{\beta} \cdot k_{\nu}, \quad (4.1)$$

де $q_{\text{н.з.}}$ – погонне зусилля вирубання, Н/мм; $L_{\text{різ}}$ – периметр леза різача, мм; k_{Δ} – коефіцієнт, що враховує притуплення леза різача ($k_{\Delta} = 1,1 - 1,8$ при куті загострення різача $\alpha = 10 - 30^\circ$); k_{β} – коефіцієнт, що враховує кут загострення леза різача ($k_{\beta} = 1,0 - 3,5$ при величині притуплення різальної кромки різача $b_{\text{кр}} = 0,1 - 0,5$ мм); k_{ν} – коефіцієнт, що враховує швидкість процесу вирубання ($k_{\nu} = 1 - 1,4$).

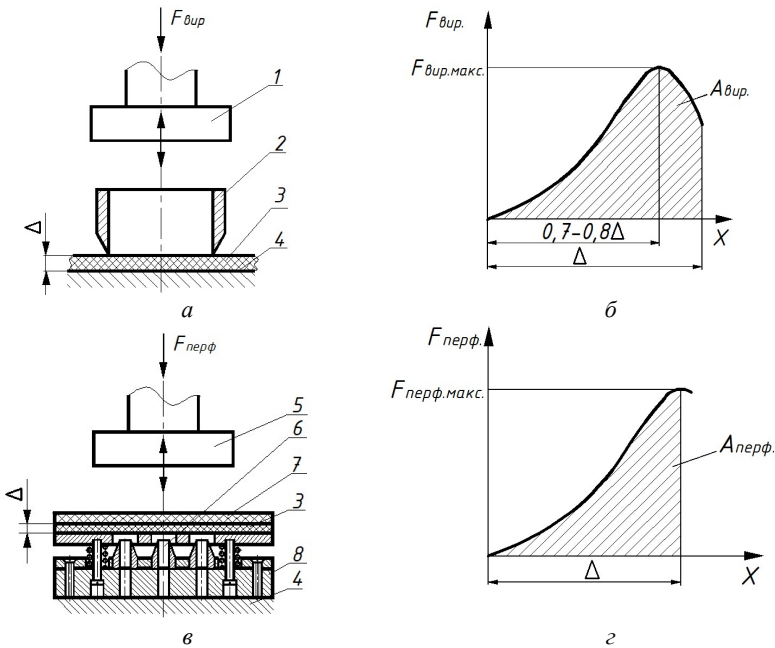


Рис. 4.2 – Схеми технологічних операцій вирубання та перфорування та характер зміни технологічних зусиль в матеріалі:

***a* – вирубання деталей взуття;**

***б* – характер зміни технологічного зусилля $F_{\text{вир}}$ в матеріалі;**

***в* – перфорування деталей верху взуття;**

***г* – характер зміни технологічного зусилля $F_{\text{перф.}}$ в матеріалі**

(1 – ударник; 2 – різач; 3 – матеріал, що вирубється або перфорується;

4 – вирубна плита; 5 – ударник; 6 – просікач; 7 – прокладка;

8 – перфораційна матриця; Δ – товщина матеріалу)

З метою зменшення енерговитрат обладнання та покращення якості виконання технологічної операції з використанням ударного ефекту проводиться більш глибоке вивчення процесу вирубання деталей. Для цього отримано більш складну аналітичну залежність технологічного зусилля вирубання від величини занурення різака в матеріал. Найбільша сила вирубання визначається формулою:

$$F_{\text{дод.и ддн}} = F_{\text{іі}} + \sigma_{\text{нб}} \cdot L_{\text{дз}} \cdot (\text{tg}\alpha_1 + \text{tg}\alpha_2 + 2 \cdot f) \times \left(\frac{[\sigma_p] \cdot \frac{\Delta}{\cos \alpha_1}}{\frac{[\sigma_p]}{\cos \alpha_1} - \sigma_{\text{нб}} \cdot [\text{tg}\alpha_1 \cdot (f_n + f) + f \cdot f_n + 1]} \right). \quad (4.2)$$

де $F_{\text{он}}$ – сила пружного опору матеріалу; $\sigma_{\text{см}}$ – розподілене навантаження на грані робочого інструмента; $L_{\text{піз}}$ – периметр деталі, що вирубється; f – коефіцієнт тертя між гранями робочого інструмента та матеріалом; α_1, α_2 – кути загострення лівої та правої граней леза робочого інструмента; $[\sigma_p]$ – граничне напруження розриву матеріалу; Δ – товщина матеріалу; f_n – коефіцієнт тертя матеріалу по вирубній плиті.

4.3. Підвищення ефективності виконання технологічної операції вирубання деталей шляхом використання пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном (ЛЕМД) з підвищеними енергетичними характеристиками

При виконанні операції вирубання чи перфорації на пресовому обладнанні з незначною швидкістю переміщення робочого органа спостерігається випереджаючий розрив матеріалу перед різакком. В результаті цього отримуємо шорстку поверхню розриву.

В роботі [16] доведено, що при швидкісному вирубванні отримується краща чистота торцевої поверхні деталі. Особливо актуально це для виконання операції перфорування деталей взуття.

Для покращення енергетичних та силових характеристик пресового обладнання з ЛЕМД, а також для кращої якості виконання технологічної операції, пропонується здійснити штучне утримування якоря двигуна на етапі зрушення за допомогою електромагнітного пристрою утримування якоря.

Один із шляхів покращення динамічної ефективності, наприклад швидкодії електромагнітних механізмів апаратів, є штучне утримування якоря на етапі зрушення з метою підвищення його струму.

Реалізація способу збільшення протидіючого зусилля до початку переміщення якоря в лінійних електромагнітних двигунах дозволяє покращити їх енергетичні характеристики.

Особливо корисним цей спосіб є для ЛЕМД, що використовуються в приводі машин ударної дії з навантаженням в кінці ходу робочого органа. В конструкціях таких машин не забезпечується досягнення значної швидкості та енергії удару через те, що рух якоря починається при мінімальному струмі в обмотці двигуна. Значення цього струму відповідає рівності тягового зусилля ЛЕМД протидіючій силі при початковому положенні якоря.

В однообмоткових лінійних електромагнітних двигунах, які використовуються в приводі пристроїв з навантаженням в кінці ходу, протидіюче зусилля створюється при робочому ході гвинтовою пружиною повернення циліндричного типу, яка працює на стискання.

На початку ходу максимальне зусилля протидіючої пружини $F_{пр}$, зазвичай, складає декілька відсотків від величини тягового зусилля $F_{ел.поч}$ ЛЕМД. Мале протидіюче зусилля зумовлює порівняно невеликий струм зрушення, і, відповідно, невелику енергію, яку споживає двигун від джерела живлення.

Пристрій утримування якоря повинен: забезпечувати значну силу опору руху на початку ходу при малому опорі руху на іншій частині ходу; допускати можливість регулювання сили опору руху на початку ходу; споживати для своєї роботи невелику потужність; не зношуватись і не підвищувати рівень шуму.

Дослідження динамічних та енергетичних параметрів пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним пристроєм утримання якоря. Для експериментального дослідження динамічних та енергетичних параметрів пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним пристроєм утримання якоря та процесу вирубівання і перфорування деталей на ньому виготовлена установка на основі розробленої конструкції пресового обладнання з ЛЕМД, а також конструкції електромагнітного утримувача.

Це пресове обладнання з ЛЕМД δ -типу із втяжним якорем та стопом, що має електромагнітний утримувач якоря, на етапі зрушення дає змогу виконувати операцію вирубівання та перфорування деталей взуття. Загальний вигляд та конструктивна схема пресового обладнання, призначеного для виконання операції вирубівання та перфорування деталей взуття, представлено в лабораторній роботі 4 (рис. 4.1, 4.2).

На цій установці проводяться експериментальні дослідження оптимального режиму роботи пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним пристроєм утримання якоря (ПУЯ). Для цього здійснюється планування експерименту. З метою вибору досліджуваних параметрів,

основних факторів та схеми планування експерименту, проводиться аналіз апріорної інформації, на основі якого обирається технологічне зусилля вирубування як досліджуваний параметр. Вибір цього параметра пояснюється тим, що від максимального зусилля вирубування залежить величина та інтенсивність зношення різальної кромки різака, що, в свою чергу, впливає на якість вирубування, а також на вибір основних конструктивних параметрів пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном. Як основні фактори обираються параметри, що використовуються в реальному процесі переміщення якоря електромагнітного двигуна: положення якоря двигуна відносно стопа; маса якоря; величина переміщення якоря.

За результатами експериментальних досліджень визначаються величини сили удару $F_{y\delta}$ залежно від зазора δ між якорем та стопом двигуна та побудовано графік (рис. 4.3), який показує залежність величини сили удару $F_{y\delta}$ електромагнітного двигуна від положення якоря відносно стопа δ .

Проаналізувавши криві на даному графіку можна зробити висновок, що оптимальний зазор δ становить 26 мм.

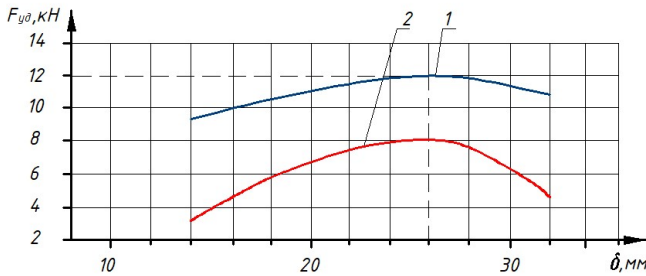


Рис. 4.3 – Графік залежності сили удару $F_{y\delta}$ від зазора δ між якорем двигуна і стопом: 1 – ЛЕМД з пристроєм утримування якоря; 2 – ЛЕМД без пристрою утримування якоря

Далі проводяться дослідження значення сили удару $F_{y\delta}$ залежно від маси якоря з прикріпленими до нього рухомими частинами (маса ударника) $m_{y\delta}$ та величини розгону якоря δ . За отриманими експериментальними даними будується графік (рис. 4.4), який показує залежність величини сили удару $F_{y\delta}$ електромагнітного двигуна від положення якоря двигуна відносно стопа δ при різних масах якоря $m_{y\delta}$.

Проаналізувавши результати графіків (рис. 4.4) можна зробити висновок, що оптимальна величина переміщення якоря δ знаходиться в межах 24–28 мм, а оптимальна маса ударника $m_{y\delta}$ становить 24 кг.

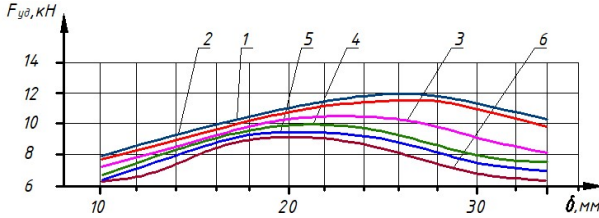


Рис. 4.4 – Графіки залежності сили удару $F_{уд}$ від переміщення якоря δ при різній масі рухомих частин: 1 – $m_{y\delta} = 23$ кг; 2 – $m_{y\delta} = 24$ кг; 3 – $m_{y\delta} = 25$ кг; 4 – $m_{y\delta} = 26$ кг; 5 – $m_{y\delta} = 27$ кг; 6 – $m_{y\delta} = 28$ кг

Динамічні характеристики ЛЕМД з пристроєм утримання якоря визначалися за методикою, викладеною в [3]. Експериментально знімаються дані, за якими будується залежність сили утримання від величини струму, що протікає в котушці утримувача $F_{ym} = f(I_{ym})$. Для цього при кожному фіксованому значенні постійного струму в обмотці утримуючого електромагніта його дисковий якір відривається від осердя обертанням натискного гвинта. Зусилля відриву дискового якоря вимірюється динамометром ДОСМ–0,5. Початкове положення і величина ходу δ якоря ЛЕМД змінюється шляхом викручування стакану 17, на який опирається ПУЯ (див. лабораторну роботу 4, рис. 4.3).

Осцилограми напруги, прикладеної до обмотки ЛЕМД, струму в його обмотці, ходу якоря знімається за методикою, описаній в [7], при варіюванні сили утримання F_{ym} , робочого зазора δ , напруги живлення $U_{ж}$ та часу t . Із отриманих осцилограм визначалися часові параметри циклу: час зрушування (утримання) t_{ym} , час руху t_{px} , час робочого ходу $t_{px} = t_{ym} + t_{pxx}$; середня $V_{уд.сеп.}$ і кінцева $V_{уд.к}$ швидкості якоря, енергія удару $A_{\dot{\alpha}\alpha} = (m_{\dot{\alpha}\alpha} V_{\dot{\alpha}\alpha, \epsilon}^2) / 2$; споживана із мережі енергія W_{en} ; струм утримання I_{ym} ; максимальний струм $I_{макс.}$; к.к.д. $\eta = A_{уд} / W_{en}$.

Результати показують, що утримання якоря на етапі зрушування спричиняє збільшення швидкості якоря $V_{уд}$, енергії удару $W_{уд}$, значень максимального струму $I_{макс}$ і струму утримання (зрушування) I_{ym} . В результаті збільшення часу утримання t_{ym} , час руху t_{px} знижується, а час робочого ходу $t_{p.x.}$ незначно зростає.

Графіки залежності максимального струму $I_{макс}$ та струму утримання I_{ym} від сили утримання якоря F_{ym} ЛЕМД на початку робочого циклу зображено на рис. 4.5, а. Зі збільшенням F_{ym} струми $I_{макс}$ і I_{ym} зростають, що приводить до підвищення енергії, що накопичується в магнітному полі ЛЕМД, зусилля на якорі, к.к.д. і механічної роботи ЛЕМД за цикл.

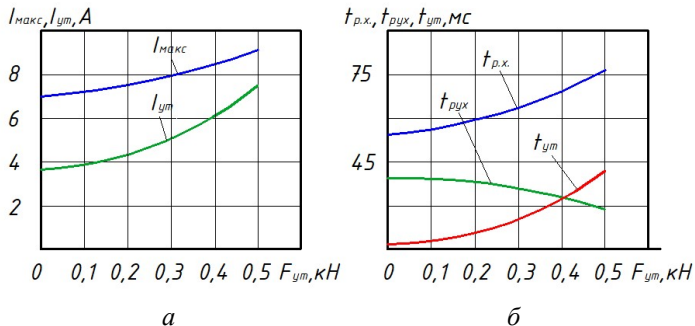


Рис. 4.5 – Графіки залежності сили утримання F_{ym} якоря двигуна від:
***a* – максимального струму I_{\max} та струму утримання I_{ym} ;**
***б* – часових характеристик**

Збільшення сили утримування F_{ym} призводить до зростання часу утримування t_{ym} (рис. 4.5, б), час руху t_{pyx} знижується, оскільки якір ЛЕМД рухається прискорено під дією більшої електромагнітної сили ЛЕМД, а час робочого ходу $t_{p.x.}$ також зростає. Середня $V_{уд.сер.}$ та кінцева $V_{уд.к.}$ швидкості якоря ЛЕМД зростають при збільшенні F_{ym} , причому ріст кінцевої швидкості збільшується, через збільшення робочого зазору δ ЛЕМД. Ефективність використання пристрою утримування якоря виявляється при дослідженні енергетичних характеристик, аналіз яких становить особливий інтерес.

Аналіз кривих (рис. 4.6, а) показує, що енергія удару $A_{уд}$ ЛЕМД зростає із збільшенням сили утримування F_{ym} , що створюється пристроєм утримування якоря на початку робочого ходу.

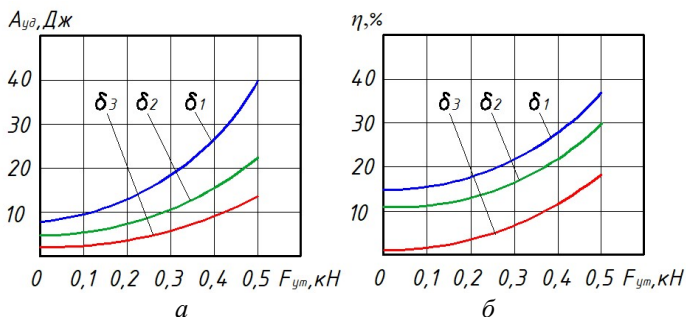


Рис. 4.6 – Графіки залежності енергетичних характеристик ЛЕМД від сили утримання якоря F_{ym} : *a* – енергії удару $A_{уд}$ від сили утримання якоря F_{ym} ; *б* – к.к.д. від сили утримання F_{ym} якоря

Криві побудовано для фіксованих значень початкового робочого зазора ЛЕМД $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$. При максимальному початковому зазорі δ_1 використання пристрою утримування якоря дозволяє більш ніж у два рази підвищити енергію удару ударника ЛЕМД.

На рис. 4.6, б показано криві к.к.д. досліджуваного ЛЕМД з пристроєм утримування якоря. При максимальному робочому зазорі δ_1 к.к.д. зростає зі збільшенням F_{ym} більш, ніж в півтора рази. Збільшення к.к.д. пояснюється наступним. Протягом часу утримування t_{ym} якір ЛЕМД з пристроєм утримування якоря – нерухомий. Електромагнітна сила двигуна F_{el} менша від сили утримування якоря, на цьому етапі відбувається накопичення енергії джерелом живлення в магнітному полі ЛЕМД. При нерухомому якорі описаний процес відбувається інтенсивніше, ніж при рухомому, оскільки проти ЕРС руху дорівнює нулю і не перешкоджає наростанню струму та магнітного потоку ЛЕМД.

На етапі руху, після відриву якоря, відбувається перетворення накопиченої енергії магнітного поля ЛЕМД в механічну, і поповнюється запас магнітної енергії. Оскільки рух якоря ЛЕМД відбувається з більшими швидкостями, ніж без пристрою утримування якоря, ЕРС руху і к.к.д. на цьому етапі зростають.

Дослідження показують, що застосування пристрою утримування якоря ЛЕМД дозволяють приблизно в два рази підвищити енергію удару при тій же частоті ходів. Середній рівень сумарних втрат в ЛЕМД та його тепловий режим залишається незмінними через підвищення к.к.д.у майже півтора рази.

Проведені дослідження показали, що використання пристрою утримання якоря в силових ЛЕМД різного призначення з навантаженням в кінці ходу дозволяє суттєво підвищити їх питомі енергетичні показники, к.к.д. і швидкість якоря. Результати експерименту засвідчать, що застосування пристрою утримання якоря в пресовому обладнанні з ЛЕМД дозволило збільшити швидкість переміщення ударника до 6 м/с.

На цій швидкості проводиться виконання операції вирубування деталі взуття з натуральної шкіри низу (ГОСТ 29277–92) на пресі ПВГ-8-2-О (швидкість переміщення ударника 0,5 м/с) та пресовому обладнанні з ЛЕМД (швидкість переміщення ударника 1–3 м/с), див. рис. 4.1. Зразки поверхонь деталей взуття з натуральної шкіри низу отриманні при виконанні операції вирубування на різному устаткуванні представлено на рис. 4.7.

Аналіз зразка (рис. 4.7, в) показав, що при такому швидкісному режимі роботи різак прорізає матеріал по всій його товщині. Це ще раз доводить гіпотезу про те, що при швидкісному вирубуванні не встигає розвиватися випереджаюча тріщина.

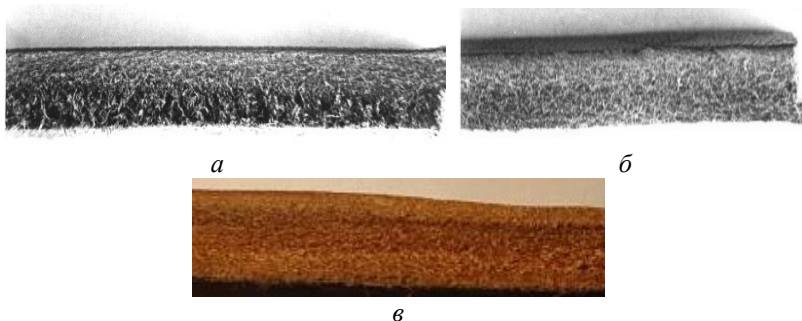


Рис. 4.7 – Зразки поверхонь торців деталі низу взуття з натуральної шкіри при вирубуванні: *a* – на пресі ПВГ-8-2-О; *б* – на пресовому обладнанні з ЛЕМД; *в* – на пресовому обладнанні з ЛЕМД з електромагнітним пристроєм утримання якоря

Торцева поверхня матеріалу отримується рівною і гладкою та ще кращої чистоти порівняно зі зразками отриманими на пресі ПВГ-8-2-О та пресовому обладнанні з ЛЕМД.

4.4. Порівняння техніко-економічних показників пресового обладнання для виконання операції вирубування деталей взуття

Для оцінювання досягнутого технічного рівня пресового обладнання з ЛЕД, а також порівняння його техніко-економічних показників з існуючим пресовим обладнанням для виконання операції вирубування деталей, використовується система загальновідомих об'єктивних критеріїв, приведених у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники пресового обладнання при виконанні операції вирубування деталей

Критерій порівняння пресового обладнання	Тип обладнання	
	ПВГ-8-2-О	ПО з ЛЕМД
Коефіцієнт відносної маси $k_{мз}$, кг/кН	13,75	2,05
Коефіцієнт відносної площі $k_{плз}$, м ² /кН	0,02	0,006
Коефіцієнт енерговитрат $k_{ев}$, Дж/мм	6,5	1,2

Для визначення ефективності застосування пресового обладнання з ЛЕМД (див. рис. 4.1) при виконанні операції вирубування проводиться порівняння його техніко-економічних показників з гідравлічним пресом ПВГ-8-2-О. Зіставлення показників здійснюється за методикою поданою в роботі [6]. Отримані результати розрахунків представлено в таблиці 4.1 та на рис. 4.8.

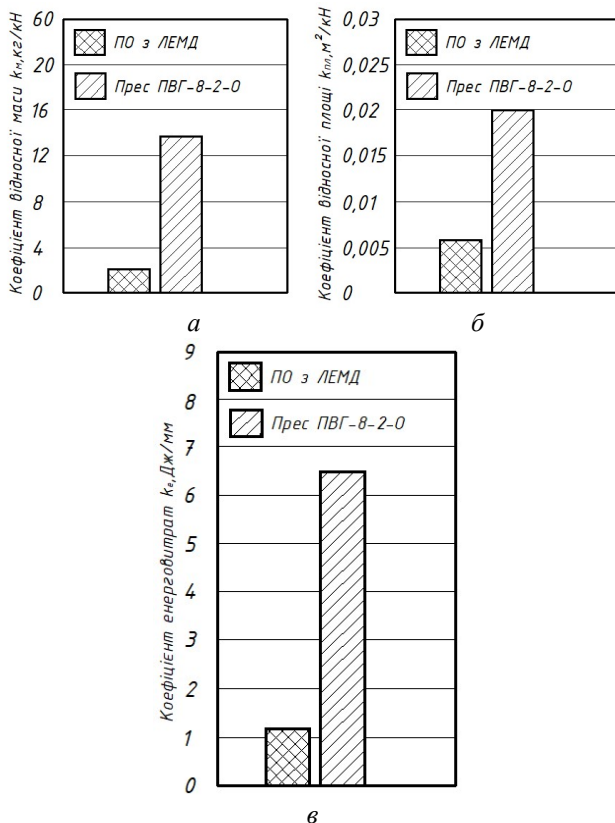


Рис. 4.8 – Діаграми порівняння пресового обладнання за:
a – коефіцієнтом відносної маси k_m ; ***б*** – коефіцієнтом відносної площі $k_{пл}$;
в – за коефіцієнтом енерговитрат k_e

Проведені експериментальні дослідження техніко-економічних показників пресового обладнання для виконання операції вирубування показують беззаперечні переваги пресового обладнання з лінійними електричними двигунами порівняно з іншими приводами, що використовуються для виконання вказаного технологічного процесу.

Запропонована конструкція електромагнітного пристрою утримування якоря (у вигляді електромагніта із зовнішнім дисковим якорем) в пресовому обладнанні з ЛЕД, призначеного для операцій легкої промисловості з максимальним навантаженням в кінці ходу робочого органа двигуна, дозволила приблизно в два рази підвищити енергію удару при тій же частоті ходів і коефіцієнт корисної дії двигуна в пів-

тори рази. Це дає змогу суттєво підвищити питомі енергетичні показники лінійного електричного двигуна.

Експериментальні дослідження доводять, що використання пристрою утримання якоря в пресовому обладнанні з ЛЕД дозволяє збільшити швидкість переміщення ударника до 6 м/с. Аналіз зразків вирубаних деталей при такому швидкісному режимі роботи показав, що різак прорізає матеріал по всій його товщині. Це ще раз підтвердило гіпотезу про те, що при швидкісному вирубуванні не встигає розвиватися випереджаюча тріщина, в результаті чого торцева поверхня матеріалу отримується рівною і гладкою. Таким чином, в подальшому відпадає технологічна операція фрезерування деталей по контуру.

Використання лінійних електромагнітних двигунів в якості привода в цілому дало змогу підвищити ефективність використання пресового обладнання та поліпшити його техніко-економічні показники. Застосування пресів з лінійними електричними двигунами призводить до підвищення продуктивності обладнання при виконанні операції вирубування деталей.

Контрольні питання

1. Що собою представляє механічне різання?
2. Які існують види механічного різання?
3. Що собою представляє технологічна операція вирубування деталей?
4. Як визначається максимальне зусилля вирубування?
5. Що собою представляє пресове обладнання з лінійним електромагнітним двигуном?
6. Що собою представляє пристрій утримання якоря пресового обладнання з ЛЕМД?
7. Як швидкість вирубування впливає на чистоту торцевої поверхні деталі?
8. Критерії порівняння пресового обладнання?

Лекція 5

Підвищення ефективності виконання операції встановлення металевої фурнітури у виробх легкої промисловості

- Технологічні операції встановлення металевої фурнітури у виробх легкої промисловості
- Методологія досліджень операції встановлення металевої фурнітури у виробх легкої промисловості
- Результати дослідження операції встановлення металевої фурнітури у виробх легкої промисловості

5.1. Технологічні операції встановлення металевої фурнітури у виробках легкої промисловості

При виготовленні багатьох видів швейних, взуттєвих та шкіряно-галантерейних виробів використовується металева фурнітура, яка виконує не тільки свою основну задачу, але може використовуватися як прикраса готового виробу. На сьогодні існує велика кількість металевої фурнітури для виробів легкої промисловості (люверси, взуттєві блочки та гачки, кнопки, хольнітени, джинсові гудзики тощо), яка встановлюється шляхом розклепування і розвальцьовування та потребує пресового пресової дії для встановлення у виробі легкої промисловості. Більш детальну інформацію про види металевої фурнітури представлено в лабораторній роботі 5. Кожний вид металевої фурнітури потребує обладнання пресової дії для встановлення у виробі легкої промисловості.

На основі проведеного аналізу інформаційних джерел в роботі [16] розроблено класифікацію способів встановлення металевої фурнітури, які використовують сьогодні на підприємствах легкої промисловості. Відповідно до класифікації, можна виділити наступні способи встановлення:

- встановлення фурнітури вручну або за допомогою спеціальних робочих органів обладнання в попередньо пробитий отвір у матеріалі, а потім закріплення у ньому за допомогою відповідних робочих органів та інструментів (пуансона та матриці) обладнання;
- пробивання отвору в матеріалі та закріплення в ньому фурнітури на обладнанні відбувається одночасно за допомогою відповідних робочих органів та інструментів обладнання;
- встановлення деяких видів металевої фурнітури в матеріал завдяки особливості їх будови здійснюється без окремої операції попереднього пробивання отворів, а закріплення їх в матеріалі відбувається за допомогою робочих органів та інструментів обладнання (наприклад, трикотажні кнопки, взуттєві блочки).

Аналіз інформаційних джерел показує, що найбільш поширеним на підприємствах легкої промисловості є перший спосіб. Встановлення деяких видів металевої фурнітури (люверсів, блочок) у виробках цим способом здійснюється у два етапи:

- етап 1 – пробивання у матеріалі виробу отворів необхідного діаметра за допомогою робочих органів, інструменту (пробійника) і технологічного оснащення (вирубної плити) обладнання або ручних інструментів (комплекту пробійника та матриці), рис. 5.1;

- етап 2 – встановлення металевих люверсів (блочок) у пробиті отвори вручну або за допомогою спеціальних робочих органів облад-

нання та їх закріплення вручну за допомогою ручних інструментів чи робочих органів обладнання (рис. 5.2).

Операцію пробивання використовують в шкіряно-галантерейній промисловості для утворення отворів в пасках, сумках, валізах тощо. Схема цієї технологічної операції та характер зміни технологічного зусилля в матеріалі при її виконанні представлена на рис. 5.1, *a*, *б*, *в*.

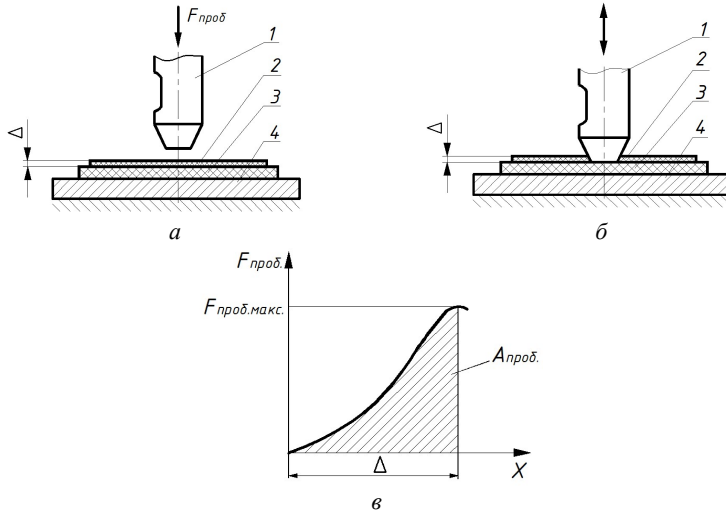


Рис. 5.1 – Схема технологічної операції пробивання отворів у матеріалах: *a* та *б* – початок і закінчення операції, *в* – характер зміни технологічного зусилля пробивання $F_{проб}$ від занурення пробійника в матеріал товщиною Δ (*1* – пробійник, *2* – матеріал, *3* – вирубна плита, *4* – основа)

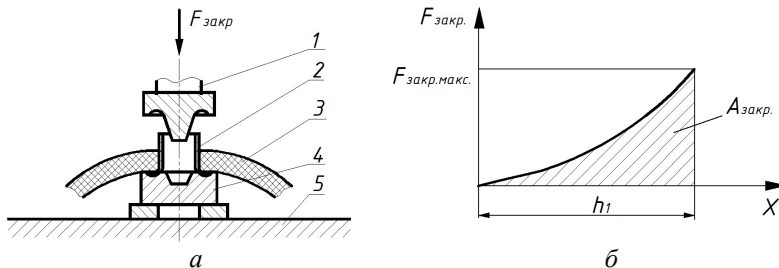


Рис. 5.2 – Схема закріплення металевої фурнітури (на прикладі блочка) у матеріалі (*a*) та характер зміни технологічного зусилля $F_{закр}$ в матеріалі при закріпленні металевої фурнітури від глибини h_1 занурення пуансона в фурнітуру та матеріал (*б*): *1* – пуансон, *2* – блочок, *3* – матеріал, *4* – матриця, *5* – основа

Така операція близька за своєю суттю до технологічних операцій вирубання та перфорування деталей у взуттєвому та швейному виробництвах легкої промисловості. Тому для визначення максимального технологічного зусилля пробивання отвору $F_{проб}$ можна також використати формулу Капустіна, яку використовують для знаходження максимального зусилля вирубання деталей взуття:

$$F_{проб.макс.} = q_{н.з.} \cdot L_{проб} \cdot k_{\Delta} \cdot k_{\beta} \cdot k_{\nu}. \quad (5.1)$$

Процес пробивання отворів в матеріалах на пресовому обладнанні досить складний та залежать від явних та прихованих факторів, особливо при динамічному навантаженні.

До технологічних операцій пластичного деформування матеріалів можна віднести операцію встановлення (закріплення) металевої фурнітури (див. рис. 5.2).

Для наближеного визначення максимального зусилля $F_{закр}$, необхідного для закріплення бочки циліндричним пуансоном, можна використати формулу:

$$F_{\dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma}} = \pi \cdot (D_{\dot{\sigma}} - d_{\dot{\sigma}}) \cdot t_{\dot{\sigma}} \cdot c_{\dot{\sigma}} \cdot \sigma_{\dot{\sigma}} \approx 1,5\pi \cdot (D_{\dot{\sigma}} - d_{\dot{\sigma}}) \cdot t_{\dot{\sigma}} \cdot \sigma_{\dot{\sigma}}, \quad (5.2)$$

де σ_m – границя текучості матеріалу бочки $\sigma_m = (1,5-2,0) \cdot \sigma_m$, МПа; σ_m – тимчасовий опір розриву (границя міцності при розтяганні) матеріалу бочки, МПа; D_{σ} – діаметр відігнутої частини втулки бочки люверса, мм; d_{σ} – внутрішній діаметр бочки, мм; t_{σ} – товщина стінки бочки, мм; c_{zm} – коефіцієнт, який враховує зміцнення металу і наявність тертя при відбортовці втулки бочки люверса, $c_{zm} = 1,5-2,0$.

Формула (5.2) для визначення максимального зусилля закріплення бочки в матеріалі є досить наближеною, оскільки не враховує різні фактори, які значно впливають на технологічний процес виконання операції.

Для більш точного розрахунку зусилля закріплення люверса в матеріалів є формула [16]:

$$F_{\dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma} \dot{\sigma}} = \frac{M}{r_t} + \frac{\sigma_{\theta} \cdot \left(R_0 + r_t \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{H_t}{r_t} \right) \right) - r_{\zeta} \right) \cdot t_{\dot{\sigma}} \cdot 6,28R}{r_{\zeta}} + N_t, \quad (5.3)$$

де M – величина пластичного моменту; r_t – радіус тороїдальної частини пуансона; σ_{θ} – окружне напруження; R_0 – радіус точки переходу конічної поверхні пуансона в тороїдальну; H_t – хід пуансона;

r_z – внутрішній радіус люверса; t_l – товщина люверса; N_t – зусилля деформування тороїдальної частини люверсу; R – радіус тороїдальної частини пуансона.

5.2. Методологія досліджень операції встановлення металевої фурнітури у виробх легкої промисловості

Як вже відмічалось при встановленні блочок та люверсів у виробках одягу, взуття та шкіряно-галантерейних виробів на підприємствах легкої промисловості здійснюється за традиційною технологією для пробивання отворів використовуються робочі інструменти – пробійник та вирубна підставка, для закріплення металевої фурнітури – пуансон та матриця (рис. 5.3).



Рис. 5.3 – Робочі інструменти:

1 – пробійник; 2 – вирубна підставка; 3 – пуансон; 4 – матриця

Процес встановлення люверсів традиційним способом відбувається наступним чином. На станині преса в матрицетримач встановлюють вирубну підставку. До ударника преса прикріплюють пробійник. Матеріал, в якому необхідно встановити люверс, кладуть на вирубну підставку. Ударник з пробійником опускається і пробиває отвір необхідного діаметра в матеріалі. В пробитий отвір встановлюють металеву фурнітуру. Пробійник знімають із ударника преса, а на його місце закріплюють пуансон. На станині преса в матрицетримач встановлюють матрицю. На матрицю вкладають люверс, що знаходиться в матеріалі. Ударник з пуансоном опускається і виконує операцію закріплення люверса в матеріалі.

Між двома операціями відбуваються невиправдані втрати часу, пов'язані із необхідністю заміни робочих інструментів. Вирішити цю проблему можна, якщо використати два преси: один з пробійником, другий з пуансоном. Час на встановлення буде меншим, але необхідно виконувати дві операції.

Одним із шляхів збільшення продуктивності праці є суміщення технологічних операцій. Пробивання отвору під металеву фурнітуру та

її закріплення в матеріалі повинно відбуватися без проміжної заміни робочих інструментів, тобто за одну операцію. Цього можна досягти, використовуючи металеву фурнітуру і спеціальну конструкцію пуансона на обладнанні пресової та ударної дії.

Такий спосіб встановлення можна застосувати для фурнітури, яка має циліндричну порожнисту форму і гостру різальну кромку. Такою фурнітурою є спеціальні блочки та люверси, що з'явилися порівняно недавно, але швидко завоювали міцні позиції у поліграфічній галузі для зміцнення отворів у різних видах матеріалів (картонів, пластику тощо) та зовнішньої реклами: банерах, розтяжках тощо. Такі люверси та блочки з гострою кромкою можна рекомендувати для застосування у виробках швейної, взуттєвої та шкіргалантерейної галузей, переважно для щільних матеріалів (різні види шкір, шкірзамінників та текстилю). Цей спосіб встановлення має обмеження для високоеластичних синтетичних матеріалів. Якщо кромка люверса при цьому недостатньо гостра, то матеріал при розвальцьовуванні буде витягуватися, потрапляти в зазор між люверсом та шайбою, зминатися, тому не можливо зробити якісне встановлення.

При експериментальних дослідженнях використовуються такі люверси, (блочки із закріплюючою шайбою), що є найбільш поширеними в легкій промисловості. Для виконання операції встановлення металевих люверсів запропоновано використати конструкцію пуансона фірми Micron Group Inc. Загальний вигляд робочих інструментів представлено на рис. 5.4.



Рис. 5.4 – Загальний вигляд робочих інструментів: *а* – пуансон; *б* – матриця; *в* – модель в програмному середовищі Solid Works (*1* – тримач)

Схему виконання технологічної операції встановлення люверсів запропонованим методом подано на рис. 5.5.

Процес встановлення люверса відбувається наступним чином. Пуансон 2 кріпиться до ударника преса 1. В матрицетримачі 7 закріплюють матрицю 6, на якій розміщують спочатку шайбу 5 для укріплення. Пуансон 2 в своїй конструкції має два підпружинених тримачі 1 (рис. 5.4). На тримачі 1 пуансона 2 розміщують металевий люверс 3. Матеріал 4 встановлюють на матриці 6.

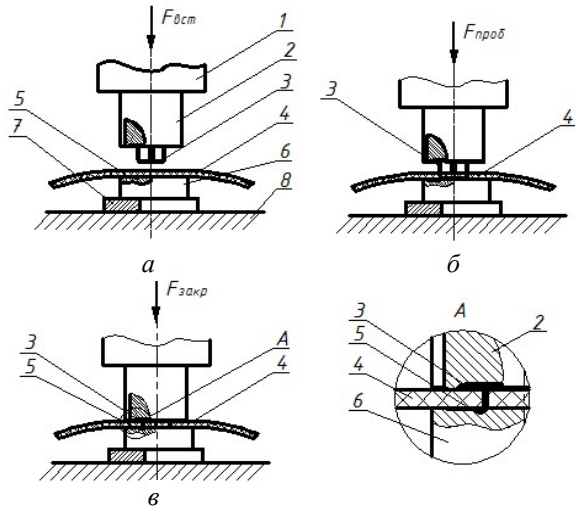


Рис. 5.5 – Схема виконання технологічної операції встановлення люверсів:
а – розміщення люверса; *б* – прорізання кромкою люверса отвору в матеріалі;
в – закріплення люверса в матеріалі (1 – ударник; 2 – пуансон; 3 – люверс;
 4 – матеріал; 5 – шайба; 6 – матриця; 7 – матрицетримач; 8 – основа)

Ударник із пуансоном і люверсом переміщається в бік матеріалу. При досягненні поверхні матеріалу, люверс своєю гострою кромкою починає прорізати матеріал, занурюючись у нього. Відбувається повне прорізання отвору гострою частиною фурнітури та її занурення в матеріал. Це відповідає першому етапу встановлення металевої фурнітури традиційним шляхом. Після прорізання матеріалу, при подальшому переміщенні, люверс починає контактувати із торцевою поверхнею матриці. За рахунок конічного виступу на матриці відбувається роздача циліндричної частини люверса. Після досягнення кромкою люверса кільцеподібної виймки відбувається подальша відбортовка розданої циліндричної частини люверса та її завертання у виймці у вигляді кільця. При завершенні виконання операції встановлення утворюється нероз’ємне з’єднання: люверс – матеріал – шайба.

Така конструкція пуансона дає можливість поєднати два етапи встановлення металевої фурнітури традиційним шляхом в один запропонований, що, в свою чергу, призводить до суттєвого скорочення часу виконання цієї технологічної операції та суттєвого збільшення продуктивності машини. Скорочення часу встановлення металевої фурнітури дасть можливість зменшити енерговитрати при використанні пресів з електричним приводом.

Одним із шляхів зменшення енерговитрат при використанні розглянутих способів встановлення металевої фурнітури може бути застосування швидкісних режимів виконання операції. В роботах [17] зазначено, що при швидкісному деформуванні металевих заготовок зусилля, необхідне для виконання технологічної операції для певних марок металів, зі збільшенням швидкості зменшується.

При виконанні технологічної операції встановлення металевої фурнітури у виробках легкої промисловості запропонованим методом будуть виникати два технологічних зусилля: пробивання люверса $F_{проб}$ та його закріплення в матеріалі $F_{закр}$. Під час налаштування преса для встановлення металевої фурнітури у виробничих умовах потрібно знати, яке максимальне зусилля необхідно обрати для розрахунків. З цією метою проводяться експериментальні дослідження для визначення залежності технологічного зусилля виконання операції встановлення металевої фурнітури від ходу пуансона для певного діаметра люверса. За отриманими діаграмами можна визначити максимальні значення зусиль і порівняти їх. Можна також порівняти отримані значення з результатами експериментальних досліджень зі встановлення металевої фурнітури традиційним способом, описаних в роботах. Авторами цих робіт визначено технологічні зусилля вирубування отворів під металеву фурнітуру та закріплення металевих люверсів у різних матеріалах.

5.3. Результати дослідження операції встановлення металевої фурнітури у виробках легкої промисловості

Для дослідження операції встановлення металевих люверсів у виробках легкої промисловості запропонованим способом (за одну операцію) у статичному режимі, було розроблено експериментальну установку, що більш детально описана в лабораторній роботі 4 (див. рис.4.1).

Як матеріал для встановлення люверсів було вибрано натуральну шкіру верху взуття (ДСТУ 2726–94) товщиною 1,6 мм.

Для проведення експериментальних досліджень використовуються металеві люверси трьох різних фірм «Люверси», «Alvi» та «Шіємо разом», що займаються їх реалізацією. Люверси відрізнялися маркою сталі, з якої вони були виготовлені, та геометричною формою шайби і мали наступні розміри: внутрішній діаметр блочки – 10 мм, висота ніжки блочки – 4,8 мм.

При проведенні експериментальних досліджень зі встановлення люверсів фірми «Люверси» в матеріал операція виконується неякісно. Утворюється рване кільце з відбортованого металу на половині отвору, відбувається недорізання шкіри під отвір (рис. 5.6, а), зминання зовнішньої сторони люверса (рис. 5.6, б). Не якісне виконання операції

можна пояснити м'якістю матеріалу, з якого було виготовлено люверс, та не достатньо гострою різальною кромкою. В результаті розвальцювання циліндрична частина ножки люверса витягувалася, потрапляла в зазор між люверсом та шайбою, зминалася.

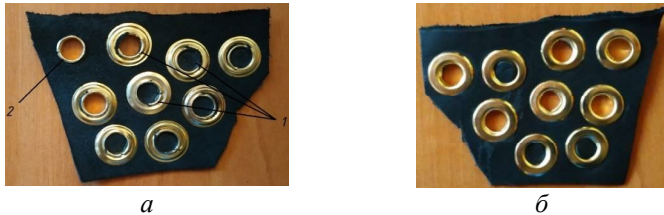


Рис. 5.6 – Встановлення люверса в матеріал запропонованим методом (за одну операцію): а – внутрішній бік; б – зовнішній бік; (1 – дефекти встановлення при використанні люверсів з м'якого матеріалу та притупленою різальною кромкою; 2 – дефект встановлення при використанні люверсів при неспівпаданні геометричної форми і розмірів)

При встановленні люверсів фірми «Alvi» не закріплюється шайба на матеріалі. Після вимірювань геометричних параметрів зовнішнього діаметра ножки блочки та внутрішнього діаметра шайби виявилось, що зазор між ними був дуже малий. Шайба розміщувалася на циліндричній ніжці фурнітури дуже щільно. Тобто, вони щільно прилягали один до одного. Також форма шайби не повторювала форму матриці. Відбувалося розплескування об'ємної форми шайби, а кільце із відбортovanого матеріалу утворювалося на самому матеріалі (рис. 5.6, б).

Встановлення фурнітури перших двох фірм традиційним методом відбувається якісно без розривів з утворенням рівномірного кільця з відбортovanого металу на шайбі. Це можна пояснити тим, що люверсу не потрібно було прорізати матеріал. Він встановлювався уже в підготовлений отвір.

Найкращі показники мають люверси фірми «Шиемо разом». Матеріал блочки більш жорсткий та має гостру різальну кромку. Шайба повністю повторює контури матриці, зазор між зовнішнім діаметром ножки блочки та внутрішнім діаметром шайби достатній.

При виконанні першого етапу операції, – пробивання отвору, відбувається повне, чітке та з чистою торцевою поверхнею прорізання отвору гострою кромкою фурнітури (рис. 5.7, а). Далі відбувається якісне закріплення люверса на матеріалі.

В результаті проведення експерименту взято дані для побудови графіка залежності технологічного зусилля встановлення $F_{вст.}$ від ходу пуансона h_n , за яким визначалися характер протікання операції, мак-

симальне зусилля пробивання отвору $F_{проб. макс}$ та максимальне зусилля встановлення $F_{вст. макс}$.

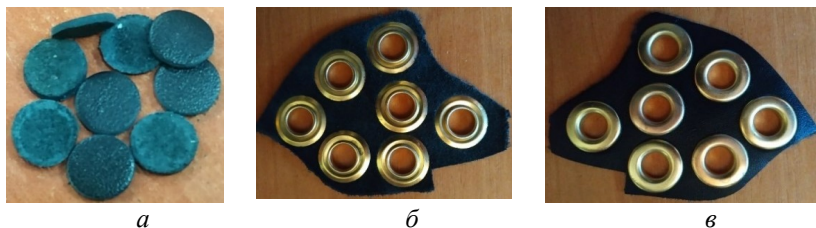


Рис. 5.7 – Результати встановлення люверсів запропонованим методом (за одну операцію): а – кружок вирубаного матеріалу під отвір люверса; б – закріплення люверса на матеріалі (внутрішня сторона); в – закріплення люверса на матеріалі (зовнішня сторона)

На рис. 5.8 представлено графік залежності технологічного зусилля $F_{вст.}$ встановлення люверса від ходу пуансона h_n . Аналіз цього графіка дав змогу виділити шість етапів, які відбуваються з люверсом в процесі його встановлення в матеріал.

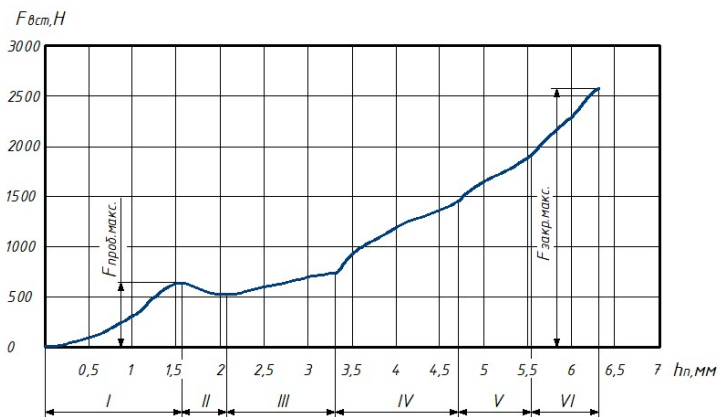


Рис. 5.8 – Графік залежності технологічного зусилля $F_{вст.}$ встановлення люверса від переміщення пуансона h_n : $F_{проб. макс}$ – максимальне зусилля пробивання; $F_{закр. макс}$ – максимальне зусилля закріплення

На першому етапі (I) відбувається прорізання матеріалу гострою частиною люверса. Максимальне технологічне зусилля пробивання $F_{проб. макс}$ виникає тоді, коли пробійник пройде всю товщину матеріалу. Воно зростає практично прямолінійно. На другому етапі (II) відбува-

ється раптове падіння зусилля в зв'язку з тим, що між матеріалом і кінцевою частиною матриці є зазор певної величини. При контакті з кінцевою частиною матриці технологічне зусилля знову починає зростати (етап III). Відбувається процес розвальцювання циліндричної частини люверса. Далі, за допомогою кільцеподібної виїмки на матриці здійснюється процес відбортовки розвальцьованої частини люверса (етап IV) з подальшим загинанням у вигляді кільця (етап V) на закріплюючій шайбі, яка знаходиться на матеріалі. На етапі VI відбувається подальше стикання матеріалу із закріпленням люверсом. За величиною стискання матеріалу можна оцінити якість встановлення люверса в матеріал.

Отже, для закріплення люверса в матеріалі необхідно прикласти набагато більше зусилля, ніж для пробивання отвору під фурнітуру. Тому зусилля встановлення люверса $F_{вст}$ дорівнює $F_{вст} = F_{закр}$. Таким чином, для розрахунку максимального технологічного зусилля для преса при встановленні люверса певного діаметра $F_{вст. макс}$ потрібно брати максимальне зусилля закріплення $F_{закр. макс}$.

В роботі [16] приведено дослідження при пробивання отворів пробійником під металеву фурнітуру із кутом загострення 25° та отримано значення максимальних зусиль пробивання. Порівняння отриманих максимальних технологічних зусиль пробивання отвору пробійником із кутом загострення 25° та люверса із різальною кромкою (див. рис. 5.8) показало, що використання люверса як різального інструмента призводить до суттєвого зменшення зусилля пробивання $F_{проб}$, зменшення роботи різання та енерговитрат преса.

Зменшення зусилля пробивання $F_{проб}$ можна пояснити тим, що в люверсах, які використовувалися в експерименті, кут загострення різальної кромки знаходиться приблизно в межах від 5° – 10° . Притуплення леза взагалі відсутнє. Відбувається одноразове прорізання матеріалу гострою кромкою люверса, що не впливає на процес її зношення. При меншому куті виникають менші сили тертя на різальній кромці.

Відповідно, зменшення кута різання та коефіцієнту тертя призводить до суттєвого зменшення зусилля різання, що і було підтверджено експериментальним шляхом.

Для підтвердження адекватності отриманої математичної моделі формула (5.3) залежності зусилля деформування люверса $F_{закр}$ від ходу пуансона H проводиться порівняння виконаних обчислень з експериментальними результатами (див. рис. 5.8) на етапі закріплення люверса в матеріалі. Результати порівняння представлено на рис. 5.9.

Для знаходження оптимального максимального технологічного зусилля, при якому якість встановлення буде задовільною, було проведено експеримент. Суть дослідження полягає в наступному. Поступово

збільшуючи зусилля встановлення $F_{вст}$, вимірювальним приладом визначається висота закріпленого люверса $B_{з.л.}$ та оцінюється його якість закріплення в матеріалі.

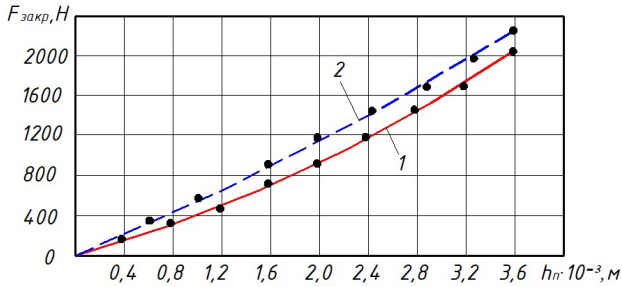


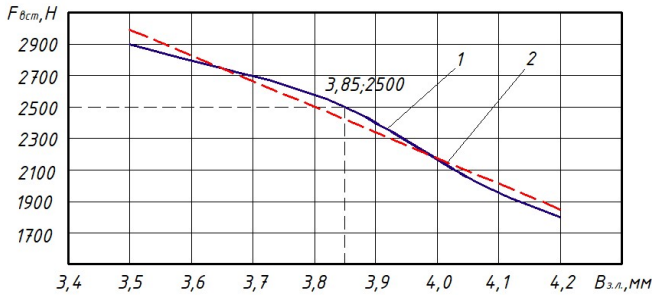
Рис. 5.9 – Результати визначення залежності зусилля деформування люверса від ходу пуансона: 1 – значення розрахункові; 2 – значення експериментальні

Проведений експеримент дає можливість виявити наступне. При більшій висоті люверса (дослід 1) утворюється необхідне кільце закріплення із відбортованої частини люверса, який міститься на матеріалі, але між матеріалом і шайбою виникає зазор, тому люверс прокручувався на матеріалі. Зі збільшенням зусилля товщина закріпленого люверса зменшується, а люверс щільніше прилягає до матеріалу. При збільшених навантаженнях його товщина зменшується до певної межі. Далі товщина люверса не змінювалася, а зусилля зростало. Це можна пояснити геометричними параметрами матриці і пуансона. При зіткненні їх торцевих поверхонь об'єм люверса утворювався тільки через форму пуансона. Подальше збільшення сили призводить виключно до деформації тензометричної балки в експериментальній установці. В реальних умовах, збільшення сили буде спричиняти деформацію корпусу обладнання для встановлення фурнітури та збільшення його енерговитрат. При більшому стисканні шкіри, в деяких випадках, відбувалося її прорізання фурнітурою. Ці фактори також необхідно враховувати.

На основі отриманих експериментальних даних побудовано графік залежності висоти закріпленого люверса $B_{з.л.}$ в матеріалі від максимального зусилля встановлення $F_{вст}$, що представлено на рис. 5.10.

Рациональним варіантом, який задовольняє якість закріплення, виявився варіант, при якому висота закріпленого люверса в матеріалі дорівнює $B_{з.л.} = 3,85$ мм, а максимальне зусилля встановлення $F_{вст} = 2500$ Н. При подальшому збільшенні сили $F_{вст} > 2500$ Н висота закріпленого люверса $B_{з.л.}$ ще зменшувалася, але підвищена сила спричиняла дефор-

мування торцевої поверхні блячка люверса та його врізання в матеріал. Це, в свою чергу, призводить до погіршення якості встановлення металевої фурнітури та зменшення її терміну експлуатації.



**Рис. 5.10 – Графік залежності максимальної сили встановлення $F_{вст}$ від висоти закріпленого люверса в матеріалі $B_{з.л.}$:
1 – експериментальна крива; 2 – апроксимована пряма**

За допомогою програмного продукту Microsoft Excel здійснено апроксимацію поданої на рис. 5.10 експериментальної кривої поліномом першого ступеня та отримано наступне рівняння:

$$F_{\text{вст}} = -162,79B_{з.л.} + 868,68. \quad (5.4)$$

Це рівняння можна використовувати для визначення зусилля встановлення $F_{вст}$ при необхідній висоті закріплення люверса $B_{з.л.}$ в матеріалі.

Для дослідження впливу швидкості на якість встановлення розроблено конструкцію пресів з пневматичним та електромагнітним приводами. Таке пресове обладнання наведено (див. рис. 5.6).

Виконання операції встановлення металевих люверсів проводиться на цьому пресовому обладнанні при різних швидкостях.

На рис. 5.11 показано зразок матеріалу (натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726–94) товщиною 1 мм) із встановленими люверсами на механічному пресі, пресі з пневматичним та електромагнітним приводами в динамічному режимі. Для трансформації пневматичного преса в механічний, необхідно від'єднати шток пневмоциліндра (див. лабораторну роботу 4, рис. 5.6, а).

Проведений аналіз якості встановлення люверсів в матеріал показує, що люверси щільно прилягають до матеріалу та міцно в ньому закріплені. Зовнішній бік люверса не має ніяких механічних дефектів. Із внутрішнього боку матеріалу утворювалось рівномірне кільце із металу, що піддавався відбортунню.



Рис. 5.11 – Зразок натуральної шкіри із встановленими люверсами запропонованим методом (за одну операцію) в динамічному режимі: а – зовнішня сторона; б – внутрішня сторона

Проведено експеримент щодо визначення продуктивності різних типів пресового обладнання для встановлення люверсів: механічного преса та пресів з пневматичним та електромагнітним приводом (див. рис. 5.6). Задля цього визначено перелік операцій, необхідних для встановлення люверса традиційним та запропонованим методами.

Перелік операцій при встановленні люверсів традиційним способом та час їх виконання представлено у таблиці 5.1, запропонованим способом (за одну операцію) та час їх виконання у таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Перелік операцій при встановленні люверсів традиційним способом та час їх виконання

Номер з/п	Вид операції	Час виконання, с
1	2	3
1	Вкручування пробійника в ударник (шток) преса	6
2	Встановлення в матрицетримач вирубної підставки	2
3	Розміщення матеріалу на плиті	1
4	Виконання операції пробивання отвору: – механічний прес; – прес з пневматичним приводом; – прес з електромагнітним приводом	9 1,5 0,5
5	Знімання матеріалу з пробитим отвором	1
6	Викручування пробійника із ударника	6
7	Вкручування пуансона в ударник преса	6
8	Знімання вирубної підставки з матрицетримача	2
9	Встановлення матриці в матрицетримач	2
10	Встановлення люверса в матеріал	2
11	Встановлення кільця для укріплення поверх матеріалу на люверс	1
12	Встановлення матеріалу з люверсом на матрицю	1
13	Виконання операції закріплення люверса в матеріалі: – ручний прес; – прес з пневматичним приводом; – прес з електромагнітним приводом	9 1,5 0,5

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
14	Знімання виробу	1
15	Викручування пуансона з ударника преса	6
16	Знімання матриці з матрицетримача	2
17	Загальний час на встановлення люверса:	
	– механічний прес	55
	– прес з пневматичним приводом	42
	– прес з електромагнітним приводом	40

Таблиця 5.2 – Перелік операцій при встановленні люверсів запропонованим способом та час їх виконання

Номер з/п	Вид операції	Час виконання, с
1	Вкручування пробійника в ударник (шток) преса	6
2	Встановлення матриці в матрицетримач	2
3	Встановлення кільця для укріплення на матрицю	1
4	Встановлення люверса на ударнику	2
5	Розміщення матеріалу на матриці	1
6	Виконання операції встановлення люверса:	
	– ручний прес;	9
	– прес з пневматичним приводом;	1,5
	– прес з електромагнітним приводом	0,5
7	Знімання виробу	1
8	Загальний час на встановлення люверса:	
	– механічний прес;	16
	– прес з пневматичним приводом;	8,5
	– прес з електромагнітним приводом	7,5

Аналіз приведених операцій показує, що для встановлення люверса традиційним способом необхідно виконати 15 операцій, а при використанні запропонованого способу їх кількість зменшується до семи.

Порівняльні діаграми встановлення люверса традиційним та запропонованим методами на пресах з механічним, пневмо- та електромагнітним приводами подано на рис. 5.12.

Проведені експериментальні дослідження дають змогу встановити наступне.

Експериментальні дослідження підтверджують можливість використання різальної кромки люверса як робочого інструменту пробійника, що, в свою чергу, дає змогу сумістити операцію пробивання отворів і закріплення фурнітури та зменшити кількість робочих інструментів.

Експериментальні дослідження показують, що не всі люверси можна використовувати для встановлення в матеріал запропонованим методом, а лише більш жорсткі з гострою різальною кромкою. Це необ-

хідно враховувати при виборі люверсів для встановлення запропонованим методом.

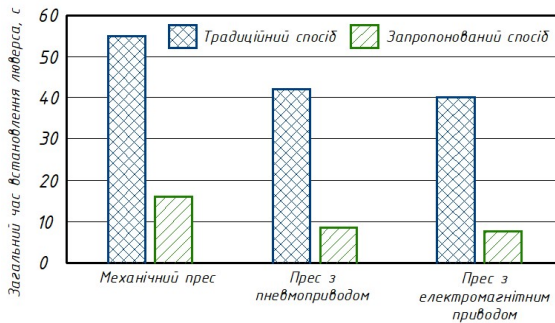


Рис. 5.12 – Порівняльні діаграми встановлення люверса традиційним та запропонованим (за одну операцію) способами на пресах з механічним, пневмо- та електромагнітним приводами

Малі кути загострення різального леза ($5-10^\circ$) призводять до суттєвого зменшення зусилля різання, а це, в свою чергу до зменшення роботи різання. Отримані результати показують, що при виконанні операції встановлення металевої фурнітури запропонованим методом, максимальне технологічне зусилля виникає в кінці ходу ударника. Тобто, при розрахунках теоретичного зусилля необхідно використовувати формулу для визначення максимального зусилля закріплення.

Існують раціональні режими встановлення металевої фурнітури, при яких спожита енергія витрачається на виконання корисної роботи встановлення. Збільшені зусилля можуть призвести до швидкого виходу пресового обладнання із ладу та дефектів матеріалу люверса і матеріалу, у який він встановлюється. Встановлення люверсів запропонованим методом при швидкісних режимах не призводить до погіршення якості його закріплення у матеріалі.

Використання запропонованого методу встановлення люверса в матеріал призводить до суттєвого підвищення продуктивності обладнання. Продуктивність виконання операції встановлення люверса на пресі з механічним приводом зростає в 3,4 рази, на пресі з пневмоприводом в 4,9 рази і на пресі з електромагнітним приводом в 5,3 рази.

Контрольні питання

1. Що собою представляє операція пробивання отворів в матеріалі?
2. Що собою представляє операція закріплення металевої фурнітури?
3. Як визначається максимальне зусилля пробивання отворів в матеріалі?

4. Як визначається максимальне зусилля закріплення металевої фурнітури в матеріалі?
5. Які робочі інструменти використовуються для пробивання отворів та закріплення металевої фурнітури в матеріалі?
6. Що собою представляють робочі інструменти із суміщенням технологічних операцій при встановленні металевих люверсів?
7. Як відбувається процес встановлення металевих люверсів в матеріал робочими органами із суміщенням операцій?
8. Проаналізуйте графік залежності технологічного зусилля $F_{вст}$ встановлення люверса від ходу пуансона h_n та охарактеризуйте етапи, що відбуваються з люверсом в процесі його встановлення в матеріал.
9. Яке із зусиль $F_{проб.макс.}$ чи $F_{закр.макс.}$ необхідно брати при розрахунку максимального технологічного зусилля для преса при встановленні люверса певного діаметра.
10. Як впливає швидкість на процес встановлення металевого люверса?
11. Чи підвищиться продуктивність пресового обладнання при застосуванні робочих інструментів із суміщенням технологічних операцій при встановленні металевих люверсів в матеріал порівняно з традиційним способом?

Лекція 6

Підвищення ефективності виконання операцій перфорування, маркування, клеймування та тиснення на деталях за рахунок використання ударних автоматизованих систем

- Технологічна операція перфорування деталей.
- Технологічні операції для нанесення інформації та відтиску на матеріал.
- Експериментальне дослідження операції перфорування деталей взуття в умовно статичному режимі
- Підвищення ефективності виконання технологічних операцій перфорування та нанесення інформації та відтиску на матеріал з використанням пристрою з двокоординатною системою руху.

6.1. Технологічна операція перфорування деталей

В умовах сучасного ринку виробник змушений покращувати якість, дизайн, гігієнічні властивості взуття. Для покращення вказаних показників усе частіше використовують перфорування. Ця операція є однією з найбільш поширених у виробництві взуття з натуральних та синтетичних шкір і використовується для перфорування деталей змінними матрицями з метою оздоблення та збільшення повітропроникності верху літнього взуття. Вона подібна до операції вирубання деталей. Перфорування можна розглядати як пробивання отворів малих діаметрів,

відстань між якими може бути співрозмірна з діаметром. Схема технологічної операції та характер зміни технологічного зусилля в матеріалі при її виконанні представлено на рис. 6.1, в, з [16].

В роботах [4, 30, 55] показано, що практично відсутні аналітичні залежності для визначення зусилля перфорування. Максимальне зусилля перфорування розраховують, використовуючи також емпіричну формулу (6.1), як зусилля занурення пробійника (просікача) помножене на їхню кількість:

$$F_{\text{перф.макс.}} = n_{\text{пр}} \cdot q_{\text{п.з.}} \cdot L_{\text{проб}} \cdot k_{\Delta} \cdot k_{\beta} \cdot k_{\nu}, \quad (6.1)$$

де $n_{\text{пр}}$ – кількість просікачів в перфораційній матриці, шт; $L_{\text{проб}}$ – периметр леза пробійника, мм.

Цей спосіб визначення максимального зусилля перфорування є досить неточним, оскільки не враховує фактори, які значно впливають на процес перфорування. Також не враховується відмінність між різакон з значним периметром та пробійником.

Покращення якості та зменшення енерговитрат обладнання може забезпечити застосування на ньому швидкісних режимів виконання такої операції. З цією метою необхідно, в подальшому, провести більш глибоке вивчення процесу перфорування деталей в зуття.

6.2. Технологічні операції для нанесення інформації та відтиску на матеріал

Сучасне виробництво неможливо уявити без використання операцій маркування, клеймування та тиснення деталей та виробів. Ці операції можна розділити в залежності від дії робочого інструменту на поверхневий шар матеріалу на дві групи: без деформування шару; з пластичним деформуванням шару [16].

Використання на готових виробах, окремих комплектуючих та частинах маркування дозволяє вести комп'ютерний облік продукції на виробництві, складі, при транспортуванні, реалізації товарів і виробів. Нанесення декоративних малюнків і надписів на виріб поліпшує його естетичний вигляд. Не є винятком і легка промисловість, в якій на певних стадіях також використовуються операції маркування, клеймування готових виробів або допоміжних аксесуарів та тиснення деталей.

Маркування – нанесення умовних знаків, літер, цифр, графічних знаків або написів на об'єкт з метою його подальшої ідентифікації (розпізнавання), відображення його властивостей та характеристик.

Клеймування – найпростіший спосіб маркування, зазвичай, здійснюється ударом металевого клейма або за допомогою спеціального клейма, встановленого в пресі.

Схеми технологічних операцій маркування та тиснення, характер зміни технологічних зусиль в матеріалі при їх виконанні представлено на рис. 6.1 [6].

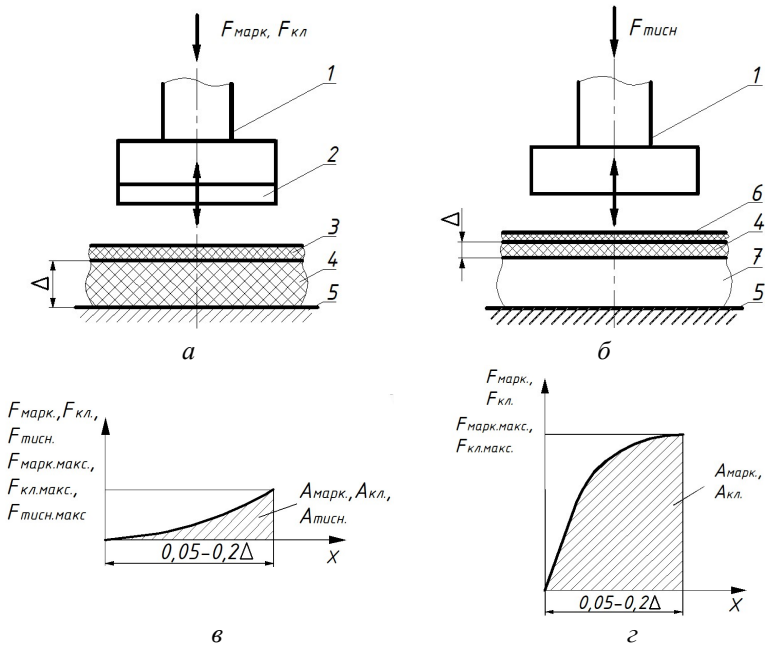


Рис. 6.1 – Схеми технологічних операцій: а – маркування, клеймування деталей верху взуття; б – гарячого тиснення декоративних малюнків на деталях взуття; в – характер зміни технологічних зусиль $F_{\text{марк.}}$, $F_{\text{кл.}}$, $F_{\text{тисн.}}$ у матеріалах легкої промисловості; з – характер зміни технологічних зусиль $F_{\text{марк.}}$, $F_{\text{кл.}}$ у металах (1 – ударник з нумератором; 2 – нумератор; 3 – фарбувальна стрічка; 4 – заготовка; 5 – плита; 6 – прокладка; 7 – узорна плита; Δ – товщина матеріалу)

У взуттєвій промисловості, зазвичай, операції маркування та клеймування використовуються: для нанесення на деталі верху взуття з різних матеріалів цифрових і літерних знаків; нанесення товарного знаку на вкладні устілки та напівустілки через фольгу; нанесення позначень на споживацьку тару або етикетки, які наклеюються на коробки для упакування, паперові та плівкові пакети, транспортну тару тощо [6]. В швейній промисловості операція маркування використовується для нанесення інформації на товарні ярлики або тканинні стрічки, а операція клеймування – для нанесення клейма фарбою, що не змивається, безпосередньо на виріб тощо.

Сьогодні в галузях промисловості використовують різні способи маркування: механічні, електрофізичні, хімічні, адгезійні тощо. Кожен вид має переваги і недоліки, зону використання з врахуванням дії на матеріал об'єкта, що маркується. Одним із найбільш поширених способів є механічний. За його допомогою в різних галузях промисловості клеймують і маркують широку номенклатуру деталей та виробів, виготовлених із різних матеріалів. В механічних методах маркування відбувається дія інструменту на об'єкт, що маркується, з отриманням відтиску на його поверхні. При цьому виникає пластична деформація матеріалу, локальне його ущільнення та деяке випучування навколо контуру знака. Здебільшого механічне маркування використовується для нанесення інформації на тверді не крихкі матеріали: метали, сплави, пластик, дерево тощо.

Одним із поширених видів механічного маркування є ударне, різновидом якого є ударно-точкове. Перевагами цього типу є простота технології, універсальність, швидкість виконання та висока якість отриманого кінцевого результату. Цю технологію можна використовувати як в одиничному, так і в серійному виробництві. Тип матеріалу, габарити і форма виробу є визначальними факторами при виборі конкретної моделі ударного пристрою. Суть ударно-точкового маркування полягає в тому, що високоміцна голка, виготовлена із твердих металевих сплавів з використанням кераміки, робить невеликі заглиблення в поверхні виробу. Множина створених голкою впадин утворює зображення – літерно-цифрові, штрих-коди, рисунки (торгові марки) тощо. Таке зображення легко сприймається людським оком і спеціальним обладнанням (сканерами) для ідентифікації виробу.

Для визначення необхідного навантаження при динамічному методі маркування використовуються характеристики пластичної деформації матеріалу та швидкість протікання самої операції. Враховуючи це, швидкісні залежності міцності та пластичності є не тільки характеристикою матеріалу, але і функцією реалізованої схеми навантаження [19].

Операції маркування та клеймування в залежності від дії робочого інструменту на поверхневий шар матеріалу можуть проходити без деформування та з пластичним деформуванням шару.

До факторів, що впливають на опір деформації при маркуванні, належать: властивості матеріалу; напружений стан; ступінь та швидкість деформації; температура. Виходячи із цього, можна виділити параметри, які характеризують цю операцію: сила дії на інструмент; напруження, що виникають під дією сили; кратність прикладеної сили; пружна та пластична деформація в місці деформування; площа контакту інструменту з поверхнею, що обробляється [19].

Тиснення – технологія створення рельєфної поверхні на деталях взуття, одягу та шкіряно-галантерейних виробів, при якій шляхом пресування рельєфне зображення переноситься на пластичну основу. За допомогою тиснення можна нанести текст або будь-яке графічне зображення на всю поверхню або її частину. Рельєфна поверхня може бути випуклою або ввігнутою і виконується з використанням нагрівання та тиску за допомогою металевої форми, що встановлюється зверху або знизу матеріалу. Тисненням змінюють фактуру поверхні матеріалу. Таким чином, тиснення супроводжується пластичним деформуванням поверхневого шару матеріалу.

Розрізняють такі види тиснення: рельєфне (конгрів), поглиблене або плоско-поглиблене (блінтове) і тиснення фольгою. На відміну від рельєфного тиснення, що потребує нагріву, блінтове може виконуватися плоским штампом чи без нього.

Операція гарячого тиснення у швейній, взуттєвій та шкіряно-галантерейній промисловості потребує часу для виконання та використовується для створення декоративних малюнків на деталях з натуральної шкіри та деяких видів штучних шкір як оздоблення виробу [16].

Максимальне зусилля маркування, клеймування та тиснення розраховують за формулою:

$$F_{i \text{ дд\textsubscript{e}.i \text{ д\textsubscript{e}n}} = S_{i \text{ дд\textsubscript{e}.} \cdot q_{\textit{int.}} \text{,} \quad (6.2)$$

де $S_{\text{марк.}}$ – площа поверхні робочого інструменту, мм^2 ; $q_{\text{int.}}$ – питомий тиск, $\text{Н}/\text{мм}^2$.

Кожна з розглянутих операцій має свої особливості та потребує розробки індивідуального пресового обладнання.

6.3. Експериментальне дослідження операції перфорування деталей взуття в умовно статичному режимі

Невідповідність режиму роботи пресового обладнання, потужності та інших характеристик параметрам технологічної операції, яка виконується на ньому, призводить до значних втрат енергії. Щоб зменшити енерговитрати та покращити якість виконання операції, необхідно досягти відповідності між зусиллям, яке розвиває пресове обладнання та технологічним зусиллям операції. Таке узгодження дає змогу збільшити термін експлуатації перфораційної матриці та преса, підвищити надійність і зменшити енергоспоживання устаткування.

При визначенні розрахункового максимального зусилля перфорування $F_{\text{перф}}$ (6.1) проводять розрахунок зусилля як для вирубування одним пробійником помноженим на їх кількість. Проте реальне

значення може не відповідати розрахунковому. Це зумовлено тим, що не приймаються до уваги фактори, які є незначними при виконанні операції вирубування, але відіграють значну роль при виконанні операції перфорування. Такими факторами є: геометричний фактор (діаметр пробійника, зміна розмірів висічки), вплив деформації висічки, кількість висічок в каналі пробійника тощо.

Для дослідження операції перфорування взуттєвих деталей в умовно статичному режимі використовується експериментальна установка, представлена на рис. 6.2.

До складу експериментальної установки входить: пристрій для виконання операції перфорування 1; блок вимірювальної апаратури 2; комп'ютер 4. Пристрій для виконання операції перфорування складається з рами 1, гвинтової пари для створення навантаження 2, пробійника (різака) 3, матеріалу 4 (рис. 6.3).



Рис. 6.2 – Експериментальна установка для дослідження операції перфорування взуттєвих матеріалів в умовно статичному режимі

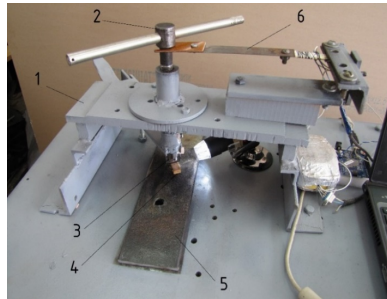


Рис. 6.3 – Пристрій для виконання операції вирубування в умовно статичному режимі

Блок вимірювальної апаратури складається з тензобалки для визначення зусилля перфорування 5, модуля узгодження сигналів, плати збору даних та комп'ютера.

Установка для дослідження операції перфорування деталей взуття, в умовно статичному режимі працює наступним чином. Деталь взуття визначених параметрів встановлюють на тензометричну балку 5, між матеріалом та гвинтом гвинтової пари 2 – пробійник певного діаметра. За допомогою гвинтової пари 2 створюється необхідне зусилля для пробивання матеріалу 4. Пробійник 3, занурюючись у матеріал 4, прорізає його. Аналогові сигнали, що виникають в тензометричній балці 5, потрапляють в модуль узгодження сигналів, перетворюються в цифрові за допомогою АЦП та надходять на комп'ютер. За допомогою розробленого програмного забезпечення, встановленого на комп'ю-

тері, отримуються значення величин технологічного зусилля пробивання. Отримана інформація, в подальшому, дозволить визначати максимальне зусилля пробивання матеріалу.

Подібно відбувається вирубування матеріалу та вимірювання максимального зусилля прямолінійним різаком. Для проведення експерименту було вибрано зразки взуттєвих матеріалів з різними фізико-механічними властивостями, які використовують для виготовлення деталей верху взуття: натуральну шкіру верху взуття (ДСТУ 2726–94), замшу (ГОСТ 3717–84) та штучну шкіру (ГОСТ 28143–89).

Пробійники та прямолінійні різаки мали одностороннє заточування. Кут заточування дорівнював 25° . Лезо було без притуплення. Діаметри пробійників складали 1–8 мм.

Для удосконалення методики розрахунку проведено ряд експериментальних досліджень процесу перфорування деталей верху взуття.

Досліджено силу перфорування натуральних та синтетичних шкір. За результатами експерименту побудовано графічні залежності, які подано на рис. 6.4.

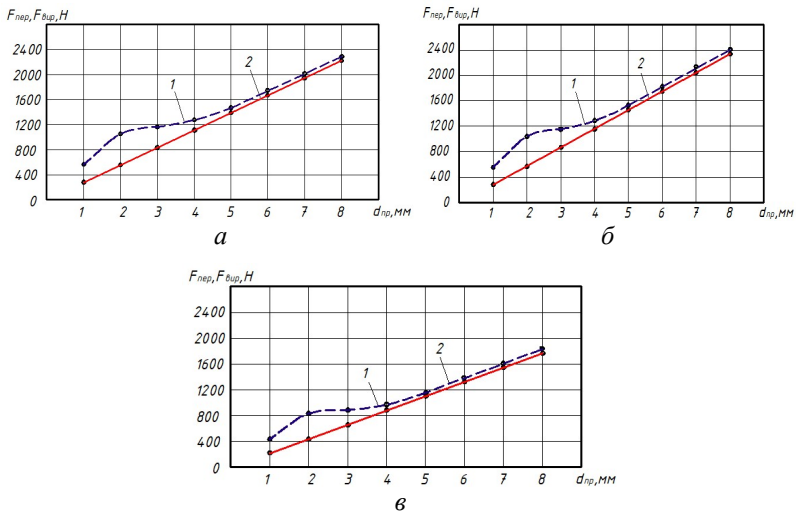


Рис. 6.4– Графік залежності сили перфорування $F_{перф}$ та вирубування $F_{вир}$ від діаметра пробійника $d_{пр}$: *а* – натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726–94); *б* – замша (ГОСТ 3717–84); *в* – штучна шкіра (ГОСТ 28143–89) (1 – сила перфорування $F_{перф}$, 2 – сила вирубування $F_{вир}$ прямолінійним різаком (довжина різак дорівнює периметру пробійника))

Аналізуючи залежність сили перфорування від діаметра пробійника (рис. 6.4), зроблено висновки, що спостерігається відхилення

реального зусилля перфорування від зусилля вирубування прямолінійним різакон, довжина якого дорівнює периметру пробійника. З цих графіків видно, що менший діаметр пробійника спричиняє більше відхилення та зростання зусилля перфорування.

На рис. 6.5, *a* представлено схему перфорування пробійником, діаметр якого більший 5 мм (процес відбувається за класичною схемою вирубування). Висічка недеформована по висоті та має рівні зрізи. На рис. 6.6, *a* представлено схему перфорування пробійником із діаметром меншим 5 мм.

Щоб зробити висновок щодо збільшення зусилля при діаметрі до 5 мм, висунуто гіпотезу про те, що висічка під дією сили тертя деформується, внаслідок цього збільшується її тиск на внутрішні грані пробійника. Це підтверджує фото висічки, що видалена з каналу пробійника (рис. 6.5, *б* та 6.6, *б*).

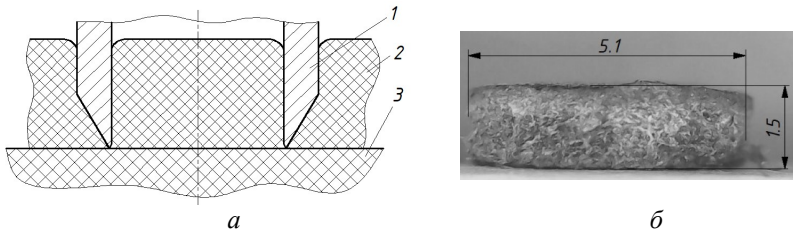


Рис. 6.5 – Процес взаємодії пробійника діаметром понад 5 мм з висічкою, що знаходиться в його каналі: *a* – схематичне зображення; *б* – фото висічки (1 – пробійник; 2 – натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726-94); 3 – вирубна плита)

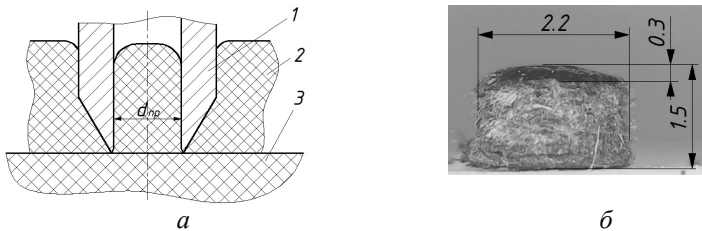


Рис. 6.6 – Процес взаємодії пробійника діаметром менше 5 мм з висічкою, що знаходиться у його каналі: *a* – схематичне зображення; *б* – фото висічки (1 – пробійник; 2 – натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726-94); 3 – вирубна плита)

Порівнюючи висічку, представлену на рисунках можна відзначити, що зразок діаметра 2 мм був суттєво стиснутий. Також спостерігається заокруглення його верхньої частини порівняно зі зразком

діаметра 5 мм, який не зазнав змін у розмірах та суттєвої деформації. Стискання висічки пояснює характер кривої 1 (див. рис 6.4, а, б, в). Тому було запропоновано ввести коефіцієнт збільшення зусилля перфорування $k_{зб}$, що залежить від діаметра пробійника $d_{пр}$. Цей коефіцієнт було знайдено через співвідношення двох кривих графічних залежностей (див. рис. 6.4, а, б, в).

На рис. 6.7 представлено залежність коефіцієнта збільшення зусилля $k_{зб}$ перфорування від діаметра пробійника $d_{пр}$. Як видно з графічної залежності, найбільше співвідношення отримано при найменшому значенні розміру діаметра пробійника. При розмірі пробійника 5 мм співвідношення наближається до одиниці та далі не змінюється.

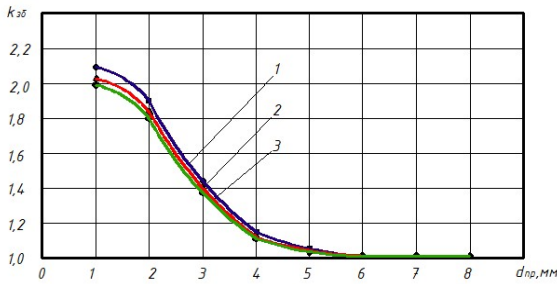


Рис. 6.7 – Залежність коефіцієнта збільшення зусилля $k_{зб}$ перфорування від діаметра пробійника $d_{пр}$: 1 – натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726–94); 2 – замша (ГОСТ 3717–84); 3 – штучна шкіра (ГОСТ 28143–89)

Коефіцієнт збільшення опору $k_{зб}$ перфорування різакми малого периметра визначається за формулою:

$$k_{за} = \frac{F_{i\ \dot{a}\dot{a}\dot{o}}}{F_{\dot{a}\dot{e}\dot{o}}}, \quad (6.3)$$

де $F_{перф}$ – зусилля перфорування; $F_{вир}$ – зусилля вирубування прямолінійним різакком.

Графічні залежності (рис. 6.7) засвідчують, що при перфоруванні пробійниками малого діаметра (до 5 мм) спостерігається збільшення опору.

Для всіх матеріалів коефіцієнт збільшення, на який впливає товщина матеріалу, його жорсткість, форма пробійника (коло, прямокутник, трикутник тощо), знаходиться в одних межах.

Іншим чинником, що зумовлює різницю між перфоруванням та вирубуванням, є інструмент. Для перфорування використовують пробійники, які мають певні відмінності від різаків. В процесі виконання

операції відбувається утримування висічки в каналі пробійника за допомогою сил стикування. Гіпотезу про збільшення тиску в каналі пробійника підтверджено результатами експерименту, які подано на рис. 6.8.

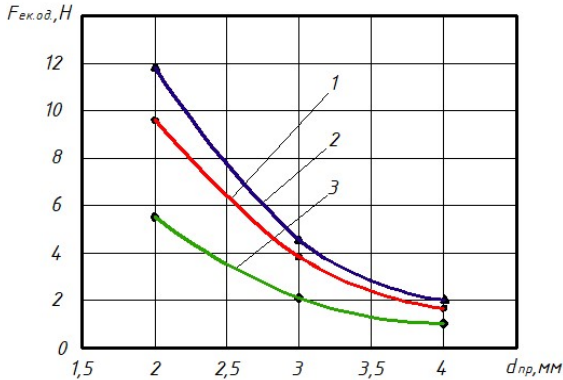


Рис. 6.8 – Залежність зусилля екстракції $F_{ек.од}$ висічки з каналу пробійника від його діаметра $d_{пр}$ (1 – натуральна шкіра верху взуття (ДСТУ 2726-94); 2 – замша (ГОСТ 3717-84); 3 – штучна шкіра (ГОСТ 28143-89))

На рис. 6.8 наведено графічні залежності зусилля екстракції висічки з каналу пробійника від діаметра пробійника для різних видів шкір. Показники зусилля для цих шкір відрізняються, оскільки використані матеріали мають різну товщину та механічні властивості.

Завдяки особливостям конструкції пробійника, висічка з каналу пробійника видаляється через дію на неї кожної наступної висічки через отвір для екстракції. В результаті чого відбувається збивання висічки в пакет (рис. 6.9).



Рис. 6.9 – Висічка спресована в пакет

Кожна наступна висічка ущільнюється краще за попередню, тому що окрім різака, на неї тиснуть попередні висічки.

Найбільше значення опору екстракції пакета досягається після проходження висічкою двох довжин каналу пробійника. Наявність висічки в каналі екстракції значно збільшує опір занурення пробійника в

матеріал, тому запропоновано ввести коефіцієнт екстракції висічки, що враховує її кількість в каналі $k_{ек}$ (рис. 6.10).

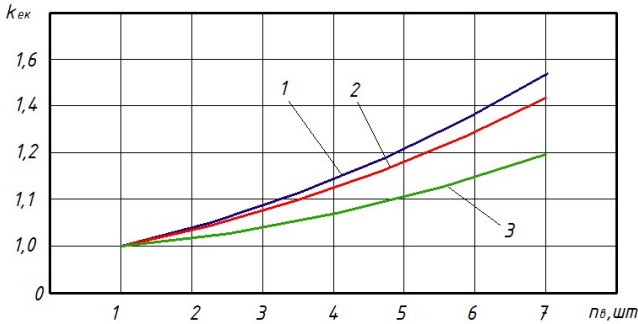


Рис. 6.10 – Залежність коефіцієнту екстракції $k_{ек}$ висічки з каналу пробійника від її кількості n_c при довжині каналу пробійників 10 мм (матеріал – натуральна шкіра (ДСТУ 2726-94)) (1 – діаметр пробійника 2 мм; 2 – діаметр пробійника 3 мм; 3 – діаметр пробійника 4 мм)

Коефіцієнт екстракції визначають із співвідношення зусилля екстракції однієї висічки до зусилля екстракції всіх висічок в каналі пробійника:

$$k_{\hat{a}\hat{e}} = \frac{F_{\hat{a}\hat{e}.\hat{e}.}}{F_{\hat{a}\hat{e}.\hat{i}.\hat{a}.}} \quad (6.4)$$

де $F_{ек.к.}$ – зусилля екстракції висічки заповненого каналу пробійника, Н; $F_{ек.од.}$ – зусилля екстракції висічки з каналу пробійника, Н.

Для розрахунку технологічного зусилля перфорування використано формулу, в основі якої лежить відомий спосіб розрахунку зусилля вирубування, але з урахуванням проведених досліджень [16]:

$$F_{перф} = (F_{вир} \cdot k_{з\delta} + F_{ек.к.}) \cdot n_c = (F_{вир} \cdot k_{з\delta} + k_{ек} \cdot F_{ек.од.}) \cdot n_c \quad (6.5)$$

Зусилля вирубування визначаємо за формулою [6]:

$$F_{\hat{a}\hat{e}\hat{\delta}} = k_v \cdot L_{\delta^3\zeta} \cdot \left[p \cdot k_{\zeta} + 2t_{\zeta} \cdot \sigma_{\hat{n}\hat{\delta}} \cdot (f_{\hat{\delta}} + \text{tg}\beta) \right], \quad (6.6)$$

де p – питоме значення сили пружного опору матеріалу, Н/м²; k_{ζ} – коефіцієнт, що враховує величину зношення леза різачка; t_{ζ} – товщина занурення різачка у матеріал до виникнення випереджаючого розриву, м; σ_{cm} – напруження стискання матеріалу, МПа; f_m – коефіцієнт тертя між пробійником та матеріалом; β – кут загострення пробійника.

6.4. Підвищення ефективності виконання технологічних операцій перфорування та нанесення інформації та відтиску на матеріал з використанням пристрою з двокоординатною системою руху.

Аналіз сучасного стану устаткування, що використовується на підприємствах легкої промисловості, як вже зазначалося, показав необхідність і можливість подальшого вдосконалення технологічних підготовчо-розкрійних ділянок виробництва легкої промисловості за рахунок використання швидкісних режимів виконання операції. Підвищення продуктивності та якості виробів можна досягти за рахунок підвищення ступеня автоматизації процесів виконання операції.

В роботі [16] обґрунтовано перспективність використання ударного способу маркування та клеймування деталей і виробів в машинобудуванні та легкій промисловості і використання як привода робочих інструментів (просікачів, пробійників, голок) лінійних електричних двигунів.

Зменшення енергетичних витрат при виконанні технологічних операцій перфорації та маркування деталей та виробів за рахунок використання енергозберігаючих приводів, а також шляхом підбору оптимальних технологічних режимів є актуальним завданням і становить інтерес для багатьох галузей промисловості.

При виконанні цих операцій особливо важливо враховувати наступні фактори: швидкість переміщення об'єкта обробки, швидкісний режим різального або маркувального механічного інструменту, товщину зрізу або занурення в матеріал з можливістю зміни напрямку переміщення робочого інструмента, універсальність робочого інструменту та всієї мехатронної установки при роботі з різними матеріалами.

Серійне виробництво, в якому випускається до 80 % загальної продукції, характеризується великими затратами робочого часу на виконання допоміжних операцій. Основним напрямом скорочення цих затрат є автоматизація виробничих процесів за рахунок використання обладнання з числовим програмним керуванням. На вказаному обладнанні досягається високий ступінь автоматизації обробки і можливість його швидкого переналагоджування на обробку будь-якої деталі в межах технічних характеристик. Ефективність застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) полягає в: підвищенні точності та однорідності розмірів і форми оброблюваних заготовок; підвищенні продуктивності обробки в кілька разів; зниженні собівартості обробки.

Тому з цією метою розроблено технічну документацію та виготовлено експериментальну установку, яка здійснює виконання розглянутих операцій з застосуванням сучасних способів керованого руйнування структури об'єктів обробки заданими координати і встанов-

леної конфігурації відповідно до технологічного процесу. Керування експериментальною установкою здійснюється за допомогою комп'ютера, який передає інформацію про необхідне переміщення на основні механізми за координатами X і Y , а застосування крокових двигунів дозволяє позиціонувати робочий орган або об'єкт обробки з високою точністю в межах 0,01–0,05 мм.

Мехатронна установка складається з двох основних блоків. Як механізм, що забезпечує механічне переміщення каретки з робочим інструментом, застосовується рама з двокоординатним переміщенням на основі ходових гвинтів. Другим основним елементом є комплекс автоматики для керування кроковими двигунами з числовим програмним керуванням. Така конструкція дозволяє розширити сферу застосування експериментальної установки і для виконання інших технологічних операцій, наприклад, лазерного різання.

На рис. 6.11 представлено фото отриманої деталі із перфорацією. Таким чином було підтверджено працездатність машини. Було виконано перфорацію 60 отворів в автоматичному режимі, що підтвердило працездатність створеної програми.



Рис. 6.11 – Фото отриманої деталі верху взуття із перфорацією

Розроблена мехатронна установка є новим інструментом, який дозволяє розширити можливості використання пристроїв з ЧПК в різних галузях промисловості, а також забезпечує переміщення виконавчого інструменту в двокоординатній системі за складним контуром.

Експериментальні дослідження, що проводились на розробленій установці, підтвердили правильність аналітичних досліджень із визначення сили F_{np} та роботи пробивання A_{np} отворів при виконанні операції перфорування деталей взуття.

Розроблене устаткування дає змогу на підприємствах автоматизувати процес виконання технологічних операцій, скоротити в 1,5 рази терміни їх виконання, підвищити якість готової продукції та в 3 рази зменшити енерговитрати. Використання пристроїв з числовим програмним керуванням є актуальним, наприклад для виконання операції перфорування деталей при виготовленні виробів невеликих партій та при індивідуальному замовленні.

Контрольні питання

1. Що таке технологічна операція перфорування деталей?
2. Як визначається максимальне зусилля перфорування деталей?
3. Що собою представляють технологічні операції для нанесення інформації та відтиску на матеріал?
4. Як визначається максимальне зусилля маркування, клеймування та тиснення?
5. Як залежить сила перфорування $F_{перф}$ та вирубування $F_{вир}$ від діаметра пробійника $d_{пр}$?
6. Як визначається коефіцієнт збільшення опору $k_{зб}$ перфорування різакми малого периметра?
7. Як залежить коефіцієнт збільшення зусилля $k_{зб}$ перфорування від діаметра пробійника $d_{пр}$?
8. З яких основних блоків складається мехатронна система?
9. Що собою представляє двокоординатна система для виконання технологічних операцій?
10. Які характеристики поліпшуються при використанні автоматизованих систем при виконанні розглянутих технологічних операцій?

Лекція 7

Прогресивне устаткування та технології механічного розволокнення відходів натуральних шкір

- Загальні положення
- Визначення технологічних параметрів пристроїв зворотно-поступальної дії, що реалізують ослаблення структури шкіряних відходів розтяганням
- Валкові пристрої прохідного типу, які реалізують ослаблення структури розтяганням і стиском
- Технологічний валковий пристрій, що реалізує ослаблення структури шкіри двоосьовим розтяганням
- Технологічний барабанний пристрій ослаблення структури щільних волокнистих матеріалів
- Голкофрезовий подрібнювач шкіри з попереднім ослабленням структури
- Валковий пристрій ослаблення структури шкіри методом розтягання та зсуву
- Молоткові подрібнювачі текстильних та волокнистих відходів
- Пристрій для подрібнення в'язкопластичних матеріалів

7.1. Загальні положення

Для створення прогресивного устаткування механічного розволокнення відходів натуральних шкір необхідно звести до мінімуму вплив факторів, які забезпечують вихідні міцнісні властивості шкіри, і

забезпечити зниження ступеня обривності волокон у процесі розволокнення. Необхідно також, щоб зусилля, які утримують волокна у дермі, стали меншими від власної міцності пучка [20].

Міцність надфібрилярної структури шкіри в основному пояснюється складним переплетенням волокон (тут і надалі під поняттям «волокно» маємо на увазі сплетення фібрилярних утворень, що представляє собою пучок волокон – елемент макроструктури шкіри, тобто поняття «пучок волокон» і «волокно» у цьому тексті рівнозначні). У результаті взаємного тиску, звивистості і петлистості вони виявляються затиснутими в об'ємі, подібно до того, як затиснуті окремі пасма в складному канаті. Вирвати пасмо з каната чи пучок волокон зі шкіри можна тільки при значному зменшенні довжини зразка. Матеріал розривається між розбіжними робочими площинами. Процес розриву на мікрорівні є поєднанням розриву пучків волокон (оскільки протилежні кінці пучка опиняються з різних боків лінії руйнування, жорстко затиснуті в структурі, і сили, що утримують пучок, перевищують його власну границю міцності), з одночасним їх розтяганням (безобривне розплітання і зісковзування волокон). Це відбувається із дуже короткими волокнами, а також з волокнами, які руйнуються на кінці, тому що протилежний кінець слабо затиснутий і «виходить» з матеріалу без руйнування.

Переважає у цьому процесі саме розрив волокон. Через це кінцевий продукт містить велику кількість дрібних волокон. Зменшення сил зв'язку між волокнами зумовлене в основному зменшенням розмірів зразків, тобто зближенням протилежних крайових ділянок, які відносно розтріпані і волокна в них звільнені. Ослаблення сил зв'язку при такому способі обробки, який би забезпечував безобривне розволокнення, можливе при розмірах зразка, що порівнюються з довжиною пучків волокон (тобто волокно проходить через зразок від одного краю до іншого і кінці його на краях звільнені).

Результати аналітичних досліджень, наведені в роботі [20], показують, що складним деформуванням (розтягуванням) з наступним стиском перпендикулярно до площини орієнтації волокон, або зсувом в площині перпендикулярній товщині шкіри – досягається істотне ослаблення структури шкіри. При цьому змінюється просторова структура шкіри і створюється стан, при якому зусилля, що утримують волокна в шкірі, є мінімальними, і міцність шкіри після обробки також зменшується.

Процес розволокнення відходів шкір варто вести послідовно в три етапи:

- 1) матеріал піддають розтягуванню до початку ослаблення надфібрилярної волокнистої структури шкіри за допомогою переорієнтації і випрямлення пучків волокон;

2) шляхом стиску або зсуву ослабляються поперечні зв'язки надфібрилярної волокнистої структури шкіри;

3) оброблена в такий спосіб шкіра піддається поділу на волокна.

Таким чином, основне технологічне завдання реалізації пристроїв для розволокнення – створення механічних пристроїв та визначення їх найбільш раціональних технологічних та конструктивних параметрів, які дозволяють реалізувати строго визначену послідовність технологічних навантажень, що призводять до розволокнення шкіри.

7.2. Визначення технологічних параметрів пристроїв зворотно-поступальної дії, що реалізують ослаблення структури шкіряних відходів розтяганням

Найбільш простим пристроєм, що дозволяє реалізувати запропонований спосіб, є обробка матеріалу між гребінчастими поверхнями (рис. 7.1) [20]. При обробці в такому пристрої матеріал спочатку розтягується за рахунок видавлювання між поверхнями суміжних зубців, а коли пуанسونи стуляються, відбувається роздавлювання зразка. При деформуванні шкіри між зубчастими поверхнями розтягування матеріалу і створення необхідної деформації відбувається лише в тому випадку, коли матеріал буде утримуватися на верхівках зубів, без ковзання і не буде вільно укладатися по конфігурації профілю.

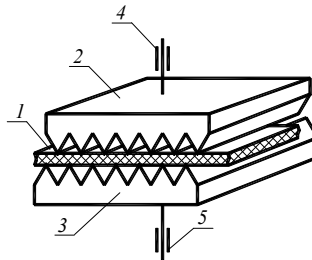


Рис. 7.1 – Схема робочих органів гребінчастого пристрою для ослаблення волокнистої структури шкіри розтяганням: 1 – шкіра; 2, 3 – верхня та нижня гребінчасті поверхні; 4, 5 – приводи гребінчастого пристрою

Таким чином, зусилля, які забезпечують защемлення матеріалу на вершинах гребенів, повинні завжди перевищувати розтяжні зусилля при деформуванні. Співвідношення цих сил залежить як від коефіцієнта тертя між шкірою і гребенями, так і від геометричних параметрів профілю гребенів: кроку виступів, кута профілю. Крок виступів, при якому забезпечуються вищеписані співвідношення сил. Розглядається про-

цес деформування крайових ділянок матеріалу, тому що, забезпечивши защемлення матеріалу на краях, тим самим забезпечується защемлення і витягування його в середній частині. Розрахункова схема деформування краю матеріалу між першою парою гребенів 1 і 2 представлена на рис. 7.2 [8, 9].

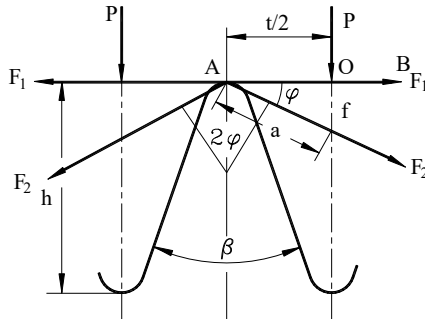


Рис. 7.2 – Схема деформування шкіряного матеріалу у гребінчастому пристрої ослаблення волокнистої структури

При довільному попаданні матеріалу між гребенями, як правило, крайова ділянка не буде піддаватись розтягуванню. Розглядається утворення першої напівхвилі, що йде слідом за вільною ділянкою.

Кут профілю виступів гребенів, при якому буде забезпечене створення в матеріалі необхідної відносної деформації при обробці матеріалу між двома гребінчастими поверхнями. У момент торкання виступів до поверхні шкіри (рис. 7.3, а) вона розташовується на вершинах виступів, крок яких дорівнює t . Після деформування шкіра розтягнеться й укладеться по конфігурації профілю виступів (рис. 7.3, б).

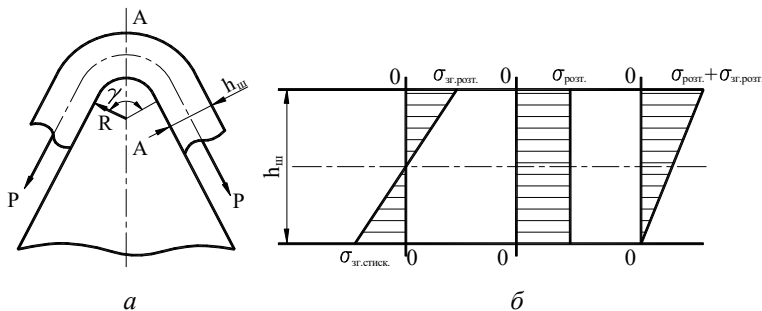


Рис. 7.3 – Схема згину шкіряного матеріалу на вершині виступу гребеня (а) і епюри внутрішніх напружень, які виникають в матеріалі (б)

На підставі аналізу пристроїв для ослаблення структури шкіри, що використовують зворотно-поступальний рух робочого органа, в роботі [20] отримані аналітичні залежності, які пов'язують основні технологічні параметри операції ослаблення структури з конструктивними параметрами технологічного обладнання і створюють заданий напружено-деформований стан у матеріалі, що розволокнюється.

Таким чином, розраховані конструктивно-технологічні параметри гребінчастого технологічного пристрою, який забезпечує ослаблення волокнистої структури шкіри розтяганням.

Отже, для забезпечення високих фізико-механічних властивостей розволокненого матеріалу необхідно надалі удосконалювати спосіб ослаблення структури шкіряного матеріалу методом складного деформування. Така обробка матеріалу зменшує обривність волокон та сили, що утримують волокна в дермі, і тим самим сприяє зниженню енерговитрат на подальші операції розволокнення. За допомогою пристрою, що реалізує спосіб складного деформування, можна викликати у шкіряному матеріалі необхідні зміни, які призводять до ослаблення шкіряної структури, що дозволяє надалі здійснювати ефективне розволокнення.

Таким чином, усе вищевикладене доводить необхідність введення безпосередньо перед розволокненням операції ослаблення структури шкіряної тканини і створення пристроїв, на яких такий вид обробки можна було б здійснювати.

7.3. Валкові пристрої прохідного типу, які реалізують ослаблення структури розтяганням і стиском

Ослаблення структури шкіри досягається тим, що вона піддається деформуванню послідовно в два етапи.

На першому етапі здійснюється ослаблення зусиль, що утримують волокна в шкірі (ослаблення структури), за допомогою деформування відповідним способом. Причому безобривне розволокнення забезпечується за рахунок ослаблення шкіряної тканини по всьому об'єму і не залежить від розмірів шкіряних відходів. На другому етапі здійснюється розпушення шкіряного матеріалу на пучки волокон.

Особливості деформування матеріалу полягають у впливі на нього комплексу навантажень розтягання і стиску. Матеріал піддають розтяганням до величини відносної деформації.

При розтяганні шкіряного матеріалу пучки волокон починають розпрямлятися й орієнтуватися за напрямом діючого навантаження. Оскільки при випрямленні зменшується звивистість і петлистість волокон, то, відповідно, зменшуються зусилля, які утримують волокна в дермі. Розтягання матеріалу до величини відносної деформації забез-

печує випрямлення й орієнтацію уздовж лінії навантаження більшості волокон структури і є найбільш оптимальним між недорозпрямленням волокон і їхньою перетяжкою. Усе це забезпечує при подальших операціях, пов'язаних із розволокненням шкіри, мінімум енерговитрат для досягнення необхідного ефекту, а саме: полегшення процесу розволокнення за рахунок зменшення зусиль, що утримують волокна в дермі. Для збереження попередньо ослабленої волокнистої структури шкіри матеріал потім піддають навантаженням стиску.

Деформування стиском дозволяє зафіксувати орієнтовану структуру завдяки компенсації напружень, що забезпечує релаксацію деформацій, а також сприяє розриву тих рідких спайок і склейок, що залишилися в шкірі. Деформування стиском ведеться до величини відносної деформації не менше, ніж (80–85) %, тому що за відомими даними при таких значеннях у шкірі досягається межа плинності.

У результаті обробки матеріалу комплексом навантажень розтягання і стиску шкіра з волокнисто-сітчастого матеріалу з високими фізико-механічними властивостями перетворюється в матеріал, структура якого являє собою пакет випрямлених і орієнтованих пучків волокон, майже не зв'язаних між собою. Міцність такого матеріалу значно нижча, ніж у вхідному стані.

Після ослаблення структури матеріал піддається безпосередньо розпуску на окремі пучки волокон. Оскільки міцність зв'язків набагато менша від міцності пучків волокон, процес протікає легше і швидше.

На рис. 7.4 показана схема пристрою для здійснення запропонованого способу ослаблення структури і конструкція подавальних валків.

Пристрій для розволокнення натуральних шкір має у своєму складі швидкообертотворний ротор 1, змонтований усередині нерухомого корпусу 2, що має завантажувальний патрубок 3 з живильними валками 4 і 5, виконаними за гребінчастим типом з кутом профілю β . У нижній частині пристрою встановлений розвантажувальний патрубок 6 з робочою сіткою 7 для видалення готового продукту. На внутрішній поверхні ротора 1 і барабана 2 закріплені планки 8 і 9 з голкоподібною гарнітурою.

Нижній валок 5 установлений на торсіонах 10 для запобігання заклинюванню при попаданні сторонніх тіл, має механізми 11 і 12 для регулювання зазора і зусилля притиснення валків. Валки 4 і 5 мають ланцюговий привід 13 від окремого електродвигуна. Для виведення розволокненого матеріалу з пристрою слугує вентилятор (вентилятор на рис. 7.4 не показаний).

Перший етап ослаблення шкіряної тканини за допомогою впливу на матеріал комплексу навантажень розтягання і стиску реалізований у пристрої у валках 4 і 5. Валки мають гребінчасту форму. Крок виступів t обраний таким, щоб при прокатці не допустити ковзання і втягування

матеріалу й укладання його по профілю. Крок обирається таким, щоб забезпечувати фіксацію матеріалу на гребнях і розтягання його між суміжними зубами.

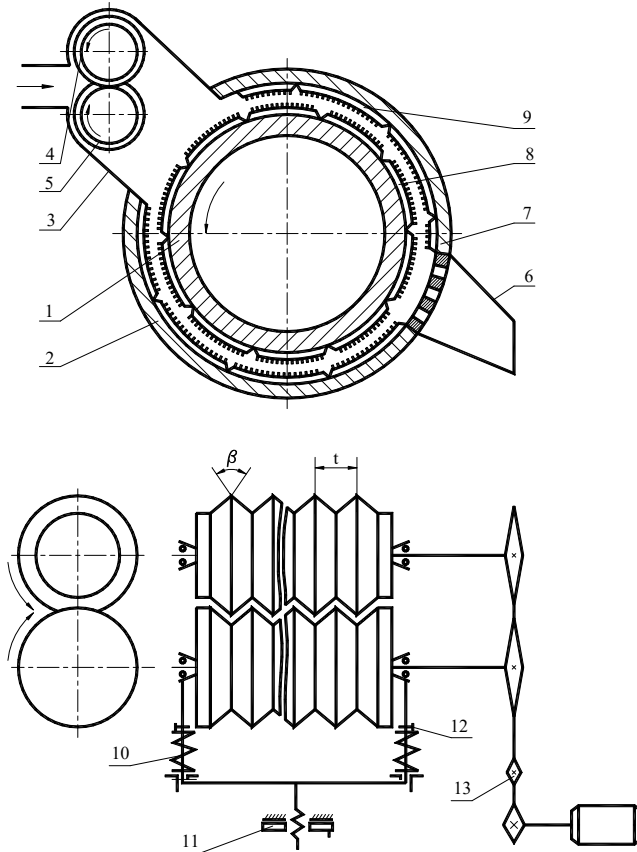


Рис. 7.4 – Схема технологічного валкового пристрою прохідного типу, що реалізує ослаблення структури натуральних шкір розтяганням і стиском: **1** – швидкообертвовий ротор; **2** – нерухомий корпус (барабан); **3** – завантажувальний патрубок; **4, 5** – живильні валки; **6** – розвантажувальний патрубок; **7** – робоча сітка; **8, 9** – планки з голкоподібною гарнітурою; **10** – торсіон; **11, 12** – механізми для регулювання зазора і зусилля притиснення валків; **13** – ланцюговий привід

Необхідна при цьому відносна деформація забезпечується за рахунок глибини западин профілю, що залежить від кута профілю β . Не-

обхідна деформація стиску забезпечується встановленням необхідного зазора між валками і зусилля притиснення нижнього валка.

Пристрій працює таким чином. Відходи шкір завантажуються через патрубок 3. Тут вони захоплюються живильними валками 4 і 5. При проходженні через валки матеріал піддається розтягуванню, а в площині осей валків, де зазор мінімальний, до навантажень розтягування додаються і навантаження стиску. При цьому волокниста структура матеріалу ослаблюється, порушується більшість поперечних зв'язків між пучками волокон і матеріал втрачає свої вихідні властивості міцності. У такому вигляді після валків шкіра потрапляє в зону взаємодії планок 8 і 9 ротора і барабана, де піддається остаточному поділу на пучки волокон. Розволокнена шкіряна маса, перемішуючись у напрямі руху ротора, потрапляє на сітку, через яку виводиться з пристрою за допомогою вентилятора (на схемі вентилятор не показаний).

На рис. 7.5 показана схема основних сил, що діють на волокнистий матеріал при ослабленні структури між валками методом розтягання і стиску.

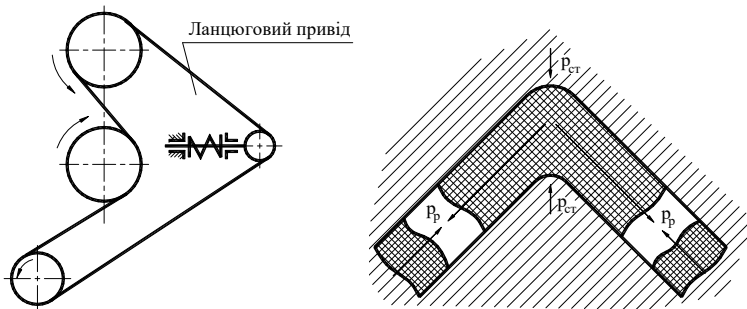


Рис. 7.5 – Схема привода валків (а) і схема основних сил (б), що діють на шкіряний матеріал при ослабленні структури між валками методом розтягання і стиску

Оскільки процес обробки матеріалу на валках здійснюється в короткочасному режимі (через малий шлях і швидкість деформування), то технологічні витрати енергії при цьому не великі. Це, у свою чергу, дає можливість заощадити наступні витрати енергії, пов'язані з процесом розмикування попередньо ослабленої структури шкіри, і звести весь процес розволокнення до пропуску матеріалу, що обробляється, через голкоподібні гарнітури, тобто зробити його ще й більш продуктивним.

Завдяки ослабленню зв'язків зі шкірою процес поділу протікає без руйнування волокон, зі збереженням їх первісної довжини, що дуже важливо для наступного їх використання.

Обробка матеріалу на гребінчастих валках має певні особливості порівняно з гладкими циліндричними валками. У такому пристрої матеріал піддається цілому комплексу дій, що впливають на матеріал і визначають обертовий момент.

У результаті впливу матеріал піддається розтягненню, згину і стиску. Оскільки стиск матеріалу здійснюється гранями гребенів, то виникають дотичні напруження через ковзання матеріалу. Між вершиною і западиною, що мають різні радіуси обертання, а отже, і різні лінійні швидкості, виникає різниця окружних швидкостей, що викликає ковзання матеріалу в зазорі між валками. Ковзання супроводжується виникненням сили тертя.

Таким чином, виходячи з умов деформування, можна зробити висновок про те, що при обробці матеріалу на валках із гребенями потужність, споживана електродвигуном, буде витрачатися на подолання сил, що виникають у результаті:

- згину і розтягненню матеріалу між суміжними вершинами P_{def} ;
- стиску матеріалу між валками P_{cm} ;
- радіусів обертання вершин і западин гребенів P_{mp} .

При проходженні матеріалу в зазорі валків відбувається послідовний процес розтягнення і стиску шкіряного матеріалу за товщиною. Розрахункова схема складного деформування шкіряного матеріалу в прохідних валках представлена на рис. 7.6.

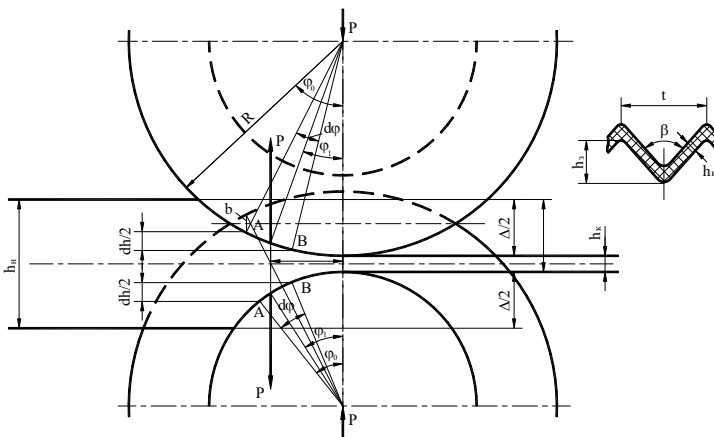


Рис. 7.6 – Розрахункова схема складного деформування шкіряного матеріалу в прохідних валках

Матеріал входить у зону впливу з початковою товщиною h_{II} при куті ϕ_0 , а виходить із зони з залишковою товщиною h_3 . Припустимо,

що процес прокатування матеріалу здійснюється при ступені відносної деформації, коли настає руйнування матеріалу. Припустимо також, що релаксація деформації не відбувається і зона взаємодії поширюється тільки до площини проходження матеріалу через осі валків.

Відповідно до схеми обробки матеріалу, його деформування в гребінчастих валках можна з деякими припущеннями розбити на дві стадії [32] **рис. 7.7).**

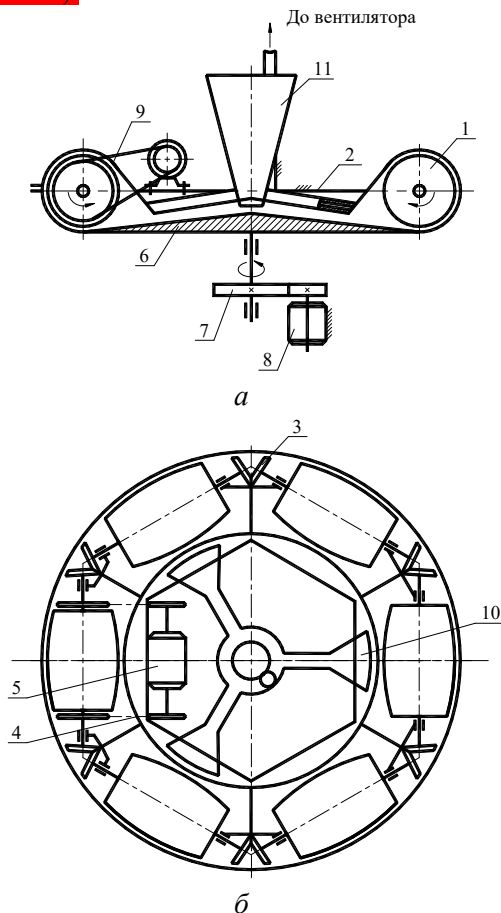


Рис. 7.7 – Технологічний валковий пристрій, що реалізує ослаблення структури шкіри двохосьовим розтягненням: 1 – валки; 2 – рама; 3 – конічна передача; 4 – ланцюгова передача; 5, 8 – електродвигун; 6 – піддон; 7 – циліндрична передача; 9 – кільцевий відбивний шиток; 10 – повітрязабірник; 11 – бункер

На першій стадії відбувається розтягнення матеріалу між двома виступами одного валка і гребенями іншого валка зі згином матеріалу на вершинах гребенів при обертанні валків від кута φ_0 до 0.

На другій стадії відбувається стиск шкіряного матеріалу між бічними поверхнями гребенів, на ділянці повороту від кута φ_1 до 0. Оскільки від кута φ_0 до кута φ_1 шкіра проходить зону деформації при розтягненні, волокна випрямляються, ущільнюються, і шкіра починає деформуватися в зоні ослаблення структури при початковій товщині.

У розглянутій конструкції пристрою швидкості обертання верхнього і нижнього валків обираються такими, що дорівнюють $\omega_1 = \omega_2$ і не викликають значних деформацій зсуву. Тому, при невеликій товщині оброблюваної шкіри $h = (1-2) \cdot 10^{-3}$ м, коефіцієнтах тертя шкіри по сталі $f_1 = 0,2-0,4$ ці деформації зсуву не будуть відігравати істотної ролі в процесі ослаблення шкіри і ними можна знехтувати для цієї конструкції пристрою.

Тертя виникає в момент торкання шкірою вершин гребенів валків. Щоб уникнути проковзування шкіри, вершини гребенів валків виконані з насічками, що захоплюють шкіру і втягують її в зазор між валками. При розтягненні шкіри між гребенями одного валка і заштовхуванні її у западини іншого валка виникає сила тертя на бічних поверхнях, що також буде відрізнятися за величиною від сил тертя при стиску шкіри.

7.4. Технологічний валковий пристрій, що реалізує ослаблення структури шкіри двоосьовим розтягненням

Пристрій для розволокнення натуральних шкір (рис. 7.7) містить два валки, установлені на рамі і з'єднані конічною передачею. Валки встановлені в піддоні, який може обертатися навколо своєї осі. На валках і піддоні розміщені протистоячі планки з голко- і пілкоподібними гарнітурами. На рис. 7.7 зображений поперечний переріз пристрою і вид зверху. Пристрій містить валки 1, розміщені на рамі 2 і з'єднані між собою конічною передачею 3. Валки одержують обертання від ведучого валка, що приводиться в рух за допомогою ланцюгової передачі 4 від електродвигуна 5, установленного на рамі 2. Валки встановлені з певним зазором у піддоні 6, що обертається за допомогою циліндричної передачі 7 від електродвигуна 8. На рамі 2 змонтований також кільцевий відбивний щиток 9, у нижній частині якого встановлені повітрязабірники 10 системи пневмотранспорту, призначені для виведення розпушеного волокна. Для завантаження матеріалу на рамі 2 змонтований бункер 11. На внутрішній поверхні піддона 6 і зовнішній поверхні валків 1 за допомогою гвинтів закріплені планки з голко- і пілкоподібними гарнітурами.

Пристрій для подрібнювання волокнистих матеріалів працює так: відходи у вигляді великих необроблених фракцій, які підлягають подрібненню, завантажуються в бункер 11. З бункера, при потраплянні у піддон, відходи шкіряного матеріалу захоплюються відцентровими силами від центру до периферії і потрапляють у зону взаємодії гарнітур планок валків 1 і піддона 6 (рис. 7.7, а). Завдяки тому, що валки і піддон обертаються в перпендикулярних площинах, матеріал подрібнюється значно швидше і з меншими енерговитратами.

На рис. 7.8 зображене кріплення планок до ротора і піддона (рис. 7.8, а) та схема сил, що діють на шкіряний матеріал, який розволокнюється, в робочій зоні. Матеріал в робочій зоні піддається двоосьовому розтягненню (рис. 7.8, б).

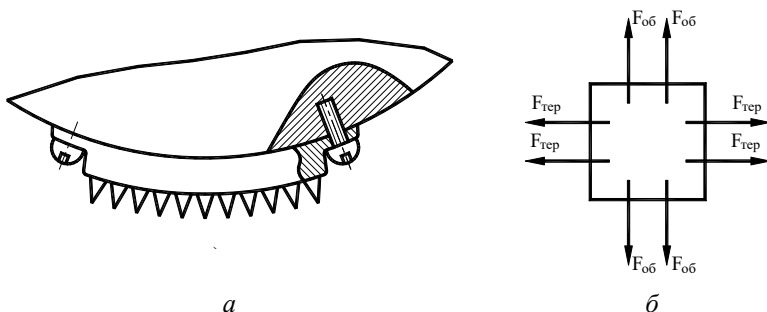


Рис. 7.8 – Кріплення планок з голкоподібними гарнітурами на валках та піддоні (а) і схема дії сил, що діють на шкіряний матеріал, який розволокнюється, у робочій зоні

При такому виді навантаження шкіряний матеріал руйнується значно швидше внаслідок втрати можливості пружно подовжуватися.

Пройшовши робочу зону, частково ослаблений матеріал вдається об відбивний щиток 9 і, потрапляючи знову на піддон 6, захоплюється на повторні цикли. Від'ємний тиск у системі пневмотранспорту встановлюється таким, щоб під час проходження повз забірник суміші відходів і розпушеного волокна, у пневмозабірник захоплювались тільки найлегші фракції з малою масою і великою «парусністю», тобто розпушене волокно. Великі частки, які залишилися, і необроблені шматки матеріалу, що розволокнюється, відцентровими силами відкидаються на повторні цикли розволокнення. Незалежність приводів валків і піддона дозволяє встановлювати різні режими розволокнення, варіюючи робочою швидкістю двигунів, тим самим дозволяє використовувати пристрій для подрібнення сировини, різної за щільністю і величиною частинок.

7.5. Технологічний барабанний пристрій ослаблення структури щільних волокнистих матеріалів

Пристрій (рис. 7.9) включає обертовий барабан 2, встановлений усередині нього ротор 1, що має можливість обертання відносно барабана. На робочих поверхнях ротора і барабана закріплені розволокнювальні елементи у вигляді планок із голко- і пилкоподібними гарнітурами, причому елементи, що розволокнюють, розташовані на барабані за гвинтовою лінією.

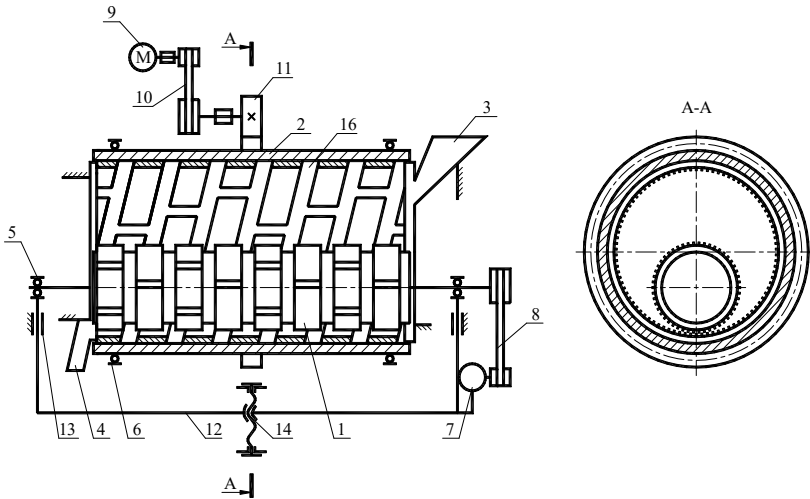


Рис. 7.9 – Технологічний барабанний пристрій для розволокнення структури щільних волокнистих матеріалів: 1 – ротор; 2 – барабан; 3 – бункер; 4 – розвантажувальний патрубок; 5, 6 – підшипники; 7, 9 – електродвигуни; 8, 10 – клиноременні передачі; 11 – зубчата пара; 12 – рухома рама; 13 – напрямні; 14 – регулювальний гвинт; 15 – закріплювальний гвинт; 16 – голкоподібна гарнітура; 17 – пилкоподібна гарнітура; 18 – гвинтовий паз

Пристрій може бути використаний в різних галузях легкої промисловості, зокрема, для переробки щільних волокнистих матеріалів і шкіряних відходів. Пристрій дозволяє одержувати волокнисті маси високого ступеня однорідності. На рис. 7.9 зображено запропонований барабанний пристрій для розволокнення шкіряних відходів методом розтягнення і зсуву.

Пристрій містить ротор 1, що швидко обертається, і змонтований усередині обертового барабана 2, обладнаного завантажувальним

бункером 3 і розвантажувальним патрубком 4. Ротор 1 і барабан 2 установлені, відповідно, в підшипниках 5 і 6 і обладнані приводами для їх обертання: ротор 1 від електродвигуна 7 через клиноремінну передачу 8, барабан 2 від електродвигуна 9 через клиноремінну передачу 10 і зубчату пару 11.

Ротор 1 разом із приводом установлений на рухомій рамі 12, що має можливість зворотно-поступального переміщення у напрямних 13 за допомогою регульовального гвинта 14. Це дає можливість встановлювати необхідний зазор між барабаном 2 і ротором 1.

На внутрішній поверхні барабана 2 і зовнішній поверхні ротора 1 за допомогою гвинтів 15 закріплені подрібнюючі елементи у вигляді планки з голко- 16 і пілкоподібними 17 гарнітурами.

При цьому планки розташовані на початку в співвідношенні 1:2, усередині 1:1, а на виході – одні тільки планки з голкоподібними гарнітурами. При цьому на барабані 2 вони розташовані по гвинтовій лінії й утворюють гвинтовий паз 18, а на роторі – по колу. Кількість голок на голкоподібних гарнітурах 16 зростає при наближенні до розвантажувального патрубка 4.

Пристрій для подрібнення волокнистих матеріалів працює так. Відходи, які підлягають подрібненню, у вигляді великих необроблених фракцій завантажуються в бункер 3. При опусканні на дно барабана 2, частинки захоплюються у клиноподібний зазор, переміщуються у напрямі обертання барабана та потрапляють у зону взаємодії гарнітур конфронтуючих планок ротора і барабана. Завдяки тому, що швидкість обертання ротора значно більша від швидкості обертання барабана, відбувається інтенсивне розчісування маси.

Пройшовши робочу зону, маса, що подрібнюється, захоплюється барабаном на повторні цикли. Завдяки наявності гвинтового паза 18 на барабані 2, утвореному планками, маса зісковзує по пазу і горизонтально переміщується уздовж барабана. Поступово проходячи уздовж барабана, маса подрібнюється гарнітурами і надходить у розвантажувальний патрубок 4. Через те, що кількість голок на гарнітурах зростає в міру наближення до розвантажувального патрубка, забезпечується усе тонше й однорідніше подрібнення маси. За допомогою регульовального гвинта 14 здійснюється зворотно-поступальне переміщення рами 12 у напрямних 13, внаслідок чого здійснюється зміна зазора між ротором 1 і барабаном 2. Це дає можливість одержувати необхідні фракції подрібненого продукту залежно від виду і розміру вихідної сировини. Запропонований пристрій дозволяє одержувати волокнисту масу високого ступеня однорідності і може бути використаний у легкій промисловості, зокрема, у взуттєвому і шкіргалантерейному виробництві.

7.6. Голкофрезний подрібнювач шкіри з попереднім ослабленням структури

Відомий пристрій для переробки текстильних відходів, що має голкофрезний робочий орган, механізм транспортування, канал транспортування, на кінці якого встановлена ґратка [8, 9]. Недоліком цього пристрою є те, що для отримання однорідної подрібненої маси необхідно використовувати попереднє ущільнення матеріалу. Попереднє ущільнення матеріалу відбувається за рахунок звуження каналу транспортування та ґратки. Для щільних матеріалів напірне зусилля для попереднього ущільнення дуже велике і не дозволяє ефективно переробляти відходи матеріалів.

Процес подрібнення матеріалу можна покращити за рахунок зміни конструкції пристрою. Це покращення досягається тим, що в запропонованому подрібнювачі (рис. 7.10) контактуючі поверхні валків зубчаті, відстань між транспортуючими валками та голкофрезою регулюється від 5 до 30 мм.

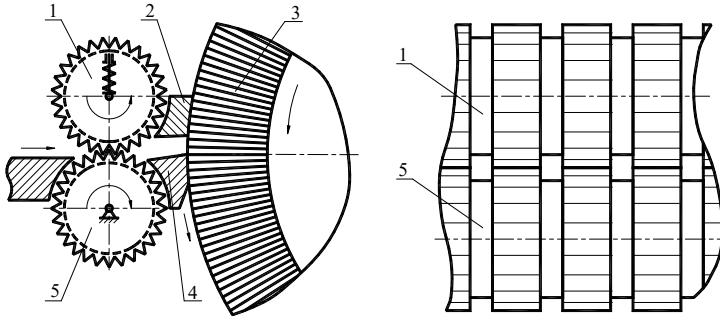


Рис. 7.10 – Технологічний голкофрезний подрібнювач шкіри з попереднім ослабленням структури: 1, 5 – механізм транспортування та ослаблення структури (валки); 2, 4 – канал транспортування; 3 – голкофрезний робочий орган

Така конструкція дозволяє проводити попереднє ослаблення структури шкіри зубчатими валками за рахунок того, що під дією зубців відбувається часткове руйнування зв'язків між волокнами шкіри. Це дозволяє значно знизити зусилля розволокнення в зоні подрібнення. Також мінімальна відстань транспортуючих валків від голкофрези дозволяє значно знизити витрати на створення зусилля подачі і зменшити можливість висмикування неподрібнених шматків матеріалу. Таким чином підвищується продуктивність подрібнення і стає можливим отримання більшої довжини волокна для волокнистих матеріалів.

Зображений на рис. 7.10 подрібнювач шкіри з попереднім ослабленням її структури, складається з механізму транспортування та ослаблення структури – валки 1, 5, з каналу транспортування – 2, 4, голкофрезного робочого органа 3. Валки 1, 5 мають канавки, а верхня та нижня плити каналу транспортування – виступи для покращення зняття з валків попередньо ослабленого матеріалу.

Подрібнювач працює наступним чином: матеріал подається в робочу зону, яка знаходиться в міжвалковому зазорі. Валки 1 і 5 захоплюють матеріал і затягують шматки в міжвалковий зазор. У ньому під дією зубців валків створюється складнонапружений стан, що веде до руйнування зв'язків у структурі матеріалу. Далі матеріал потрапляє в канал транспортування і переміщується в зону остаточного подрібнення голкофрезою.

7.7. Валковий пристрій ослаблення структури шкіри методом розтягнення та зсуву

Запропонований пристрій належить до пристроїв для ослаблення шкіри і може використовуватись в легкій промисловості при переробці відходів натуральних шкір та полімерних матеріалів.

Подрібнювач для полімерів [8, 9] має круглий вертикальний корпус, в який вмонтований вкладиш з внутрішньою конічною формою та зубцями і конічний ротор, який також має зубці і обертається всередині вкладиша. Гранули матеріалу потрапляють в зазор між вкладишем та ротором і там подрібнюються [8, 9]. Недоліком цього пристрою є досить великі габарити та недосконалість конструкції, що веде до забивання зубців і погіршення процесу подрібнення.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є валковий млин [9]. Він складається з трьох конічних валків, середній з яких обертається проти напрямку обертання двох інших і велика основа якого розташована біля малих основ інших. Недоліком цього пристрою є те, що матеріал подрібнюється тільки під дією стиску і незначного зсуву, що веде до великих енерговитрат.

В пристрої процес подрібнення матеріалу покращується за рахунок зміни конструкції пристрою. Це досягається тим, що в запропонованому подрібнювачі (рис. 7.11) два бокових валки розташовані горизонтально і мають спеціальну форму, яка огинає середній валик.

Середній валик має форму конуса і розташований вертикально між боковими валками. На поверхні валків зроблена насічка. Насічка може бути виконана як повздовж осей обертання валків, так і під кутом. Форма зубців насічки також може бути різноманітною – трикутна, дугоподібна тощо. Величина зазора між вертикальним валком та боко-

вими валками може регулюватись. Така конструкція забезпечує створення складнонапруженого стану матеріалу за рахунок одночасної дії на нього як стискаючих, так і зсувних деформацій. Запропонована конструкція дозволяє також змінювати співвідношення між стискаючими і зсувними деформаціями та швидкість ослаблення шкіри.

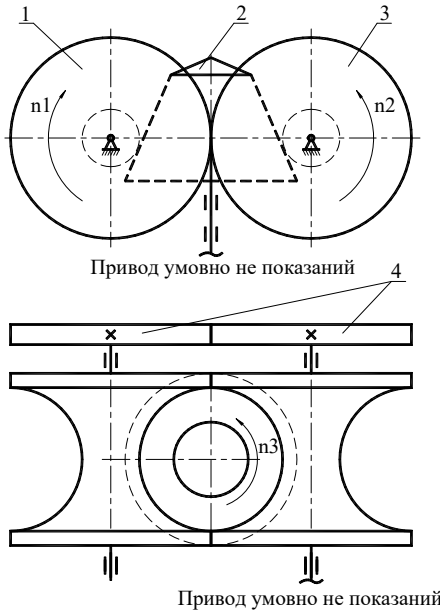


Рис. 7.11 – Технологічний валковий пристрій розслаблення волокнистої структури шкіри методом розтягнення та зсуву: 1–3 – валки; 4 – зубчаті колеса

На рис. 7.11 зображена схема валкового подрібнювача з попереднім ослабленням шкіри методом розтягнення та зсуву. Валковий подрібнювач складається з трьох робочих валків, валки 1 і 3 мають спеціальну форму, що огинає середній валик 2 у вигляді конуса з основою вниз. До осей бокових валків приєднані зубчаті колеса 4, що мають однаковий діаметр і змушують валки обертатися в різних напрямках. Валки 1–3 мають окремі приводи (приводи на рис. 7.11 не показані).

Валковий подрібнювач працює наступним чином: відходи матеріалу, який піддається розволокненню, подають в робочу зону, яка розташована в міжвалковому зазорі. Валки 1 і 3 починають обертатися в протилежному напрямку (напрямок вказано на рис. 7.11) та затягують шматки відходів у міжвалковий зазор. Валик 2 в цей час обертається навколо своєї осі. Матеріал під дією складнонапруженого стану руй-

нується. Складнонапружений стан виникає в матеріалі внаслідок зміни швидкості руху поверхні бокових валків та одночасним рухом середнього конуса, що спричиняє виникнення деформацій стиску та зсуву.

7.8. Молоткові подрібнювачі текстильних та волокнистих відходів

Для максимального використання текстильних та волокнистих відходів найбільш доцільно використовувати обладнання, яке після переробки дозволяє зберегти максимальну довжину волокна. З цієї групи найкращі показники мають молоткові подрібнювачі, зокрема, з вільними молотками (рис. 7.12), тому що вони дозволяють отримувати максимальну довжину волокна, мають просту конструкцію та досить високу продуктивність. Однак конструкції таких подрібнювачів є недосконалими, і в багатьох випадках їхні параметри визначались експериментальним шляхом.

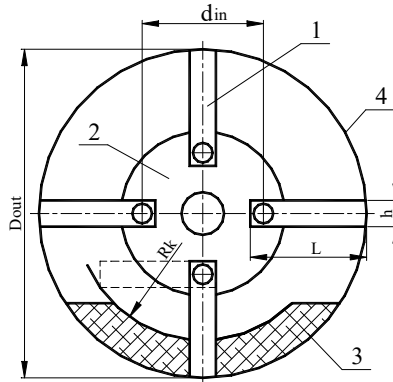


Рис. 7.12 – Схема молоткового подрібнювача:

1 – молоток; 2 – ротор; 3 – матеріал, що подрібнюється; 4 – корпус

Метою проведеного дослідження є визначення оптимальних параметрів конструкції молоткового подрібнювача з вільними молотками та розробка рекомендацій для проектування й використання обладнання.

Так, об'єм завантаження матеріалу в молотковий подрібнювач рекомендується визначати як чверть різниці об'ємів циліндрів, що утворюються при обертанні молотків, створюючи максимальний і мінімальний об'єми [4]. Максимальний об'єм створюється, коли молотки не взаємодіють з матеріалом, а вільно обертаються навколо осі вала. А мінімальний об'єм визначається, коли молотки під дією контактних навантажень з матеріалом максимально відхиляються в протилежну сторону обертання вала, на якому вони закріплені (рис. 7.12).

7.9. Пристрій для подрібнення в'язкопластичних матеріалів

Пристрій може бути використаний для подрібнення утильних гумотехнічних виробів і зношених автомобільних покришок.

Пристрій для подрібнення зношених автомобільних покришок містить камеру тиску, яка виконана у вигляді барабана з отворами для зрідження в радіальному напрямі та інструментом для продавлювання. Камера тиску виконана у вигляді рухомого барабана, що має форму двох усічених конусів, звернених меншими основами один до одного. Інструмент для продавлювання виконаний у вигляді усічених конусів, звернених один до одного більшими основами.

Недоліком вказаного пристрою є незручність встановлення автомобільних покришок для подрібнення, а також зняття залишків металокорду. Крім цього значна площа деформації матеріалу веде до підвищення енерговитрат при подрібненні.

В запропонованому подрібнювачі валки для продавлювання виконані у вигляді порожніх циліндрів з отворами для зрідження в радіальному напрямі. Деформація покришки відбувається без її розгортання, що значно спрощує процес завантаження і зменшує площу деформації матеріалу, тобто зменшується і зусилля необхідне для руйнування матеріалу. У запропонованому пристрої привод установки знаходиться на нижньому валку, а верхній валок для продавлювання одним кінцем закріплений в станині за допомогою підшипників, які розміщені в різних площинах, що дає можливість інструменту водночас обертатися і відхилятися у вертикальному положенні. Інший кінець інструмента розміщений на опорі, яка підіймається і опускається за допомогою гідроциліндра. На рис. 7.13 зображено схему подрібнювача автомобільних покришок.

Робочі органи пристрою для продавлювання виконані у вигляді порожніх циліндрів з отворами для зрідження в радіальному напрямі 1, 5. Валок 5 отримує обертовий момент від двигуна (не показаний). Валки 1, 5 мають порожнину, що закінчується радіальними отворами, для видавлювання гумової маси. Пристрій містить також гідроциліндр 2, що за допомогою важелів притискає валок 1 до валка 5. Також в пристрої є опорні валки 3 для фіксації автомобільної покришки.

Пристрій працює таким чином: на припіднятому барабані 1 у крайнє верхнє положення вкладається покришка 4, яка фіксується опорними валками 3. Після цього привід приводить в рух вал 5 і вмикається гідроциліндр 2, який за допомогою важелів починає рухати валок 1 до валка 5, створюючи необхідний тиск, потрібний для продавлювання гуми через отвори валків.

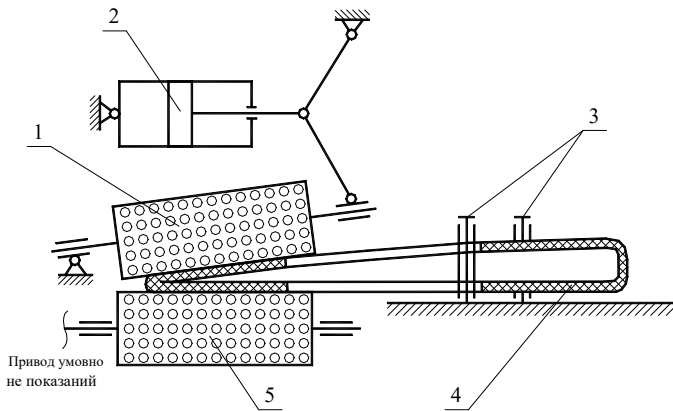


Рис. 7.13 – Технологічний пристрій для подрібнення в’язкопластичних матеріалів: 1, 5 – барабани (валки) для продавлювання; 2 – гідроциліндр; 3 – опорні валки; 4 – автомобільна покришка

Процес триває доти, поки через отвори валків не видавиться вся гума, а металокорд залишиться на інструменті. Привод зупиняється, гідроциліндр 2 відводить важелі і барабан 1 та повертається у крайнє верхнє положення. Після цього з барабана 5 знімається металокорд. Далі цикл повторюється.

Контрольні питання

1. З яких етапів складається процес розволокнення відходів шкіри?
2. Як відбувається ослаблення структури шкіряних відходів розтягненням в пристрої з гребінчастими поверхнями?
3. З яких етапів здійснюється ослаблення структури шкіряних відходів валкових пристроїв прохідного типу?
4. Розкрийте принцип роботи валкового пристрою прохідного типу для ослаблення структури шкіряних відходів.
5. На що буде витрачатися потужність, споживана електродвигуном при обробці матеріалу на валках з гребенями пристроїв прохідного типу?
6. Розкрийте принцип роботи валкового пристрою, що реалізує ослаблення структури шкіри двохосьовим розтягненням.
7. Розкрийте принцип роботи пристрою для подрібнювання волокнистих матеріалів.
8. Розкрийте принцип роботи технологічного барабанного пристрою ослаблення структури щільних волокнистих матеріалів.
9. Розкрийте принцип роботи голкофрезового подрібнювача шкіри з попереднім ослабленням структури.

10. Розкрийте принцип роботи валкового пристрою ослаблення структури шкіри методом розтягненням та зсуву.

11. Розкрийте принцип роботи молоткового подрібнювача текстильних та волокнистих відходів.

12. Розкрийте принцип роботи пристрою для подрібнення в'язко-пластичних матеріалів.

Лекція 8

Високоєфективні технологічні процеси переробки відходів полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації

- **Актуальність створення сучасних високоєфективних технологічних процесів переробки відходів полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації**
- **Сучасний стан розвитку технологій переробки відходів полімерів у легкій промисловості**
- **Аналіз способів подрібнення полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації**
- **Експериментальні дослідження залежності механічних властивостей полімерних матеріалів від технологічних параметрів процесів подрібнення**
- **Експериментальні дослідження процесів подрібнення відходів полімерів**
- **Визначення раціональних конструктивних параметрів високоєфективного обладнання і технологічних режимів процесу подрібнення**

8.1. Актуальність створення сучасних високоєфективних технологічних процесів переробки відходів полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації

У виробництвах, які пов'язані з переробкою полімерних матеріалів існують дві проблеми – де брати якісну і дешеву сировину, і як раціонально використовувати відходи, що утворюються при виготовленні виробів? В легкій промисловості це в першу чергу відходи взуттєвого виробництва: відходи гум, шкірволону, браковані підошви, каблуки, утилізовані взуттєві колодки на основі поліетилену і відходи, що утворюються при литті під тиском (облой, ливники і інші).

Переробка відходів полімерів, що утворюються при виробництві, має економічне і екологічне значення. Окрім цього, залучення у виробництво товарів легкої промисловості полімерних матеріалів, отриманих з відходів інших галузей, дасть можливість здешевлення сировини і навіть може стати поштовхом для отримання полімерних композицій з більш якісними споживчими властивостями.

Створення сучасних високоефективних технологічних процесів переробки відходів полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації є необхідною умовою прогресивного розвитку промисловості України. Вирішення цих проблем переходять в розряд найважливіших техніко-економічних і екологічних завдань.

Існує ряд підходів їх рішення, але практично всі вони припускають процес подрібнення полімерних відходів до певної фракції за допомогою механічного обладнання.

Існуючі промислові способи подрібнення не завжди ефективні, характеризуються високими енерговитратами і часто не забезпечують високого ступеня дисперсності і необхідної якості кінцевого продукту.

Розробка високоефективного обладнання для подрібнення відходів полімерних матеріалів легкої промисловості стримується відсутністю глибоких теоретичних досліджень в цій області. В той самий час, перші роботи в області подрібнення відносяться до середини XIX ст., і розвивались в роботах Рітінгера, Кіка, Кирпічева та ін. [22].

Проектування подрібнювачів, які реалізують той або інший спосіб подрібнення переважно зводиться до розгляду силових взаємодій матеріалу з робочими органами пристроїв і пов'язане з багатоступінчастим вдосконаленням обладнання на основі експериментальних досліджень. Організація найбільш раціональних технологічних процесів на подібних подрібнювачах також пов'язана з великим обсягом експериментів. Відсутність науково обґрунтованих методів розрахунку обладнання для подрібнення призвела до безлічі структурних схем, які створюються найчастіше на основі інженерної інтуїції, а не на детальному вивченні процесів, що відбуваються при цьому. У багатьох подрібнювачах не реалізуються ті переваги, заради яких вони створювались, оскільки немає відповідності реальних процесів тим передумовам, які були закладені при їх розробці.

Існуюче обладнання для подрібнення різних матеріалів характеризується низьким коефіцієнтом корисної дії, що обумовлено, перш за все, багаторазовим деформуванням частинок матеріалу і їх сукупності, яке супроводжується зовнішнім тертям частинок між собою і в робочі органи, пластичними деформаціями, і лише в малому ступені – власне їх руйнуванням.

Якщо врахувати той факт, що полімерні матеріали мають широкий спектр фізико-механічних властивостей і їх подрібнення супроводжується рядом супутніх процесів, таких як деполімерізація, взаємодія з киснем, деструкція тощо, то стає очевидним низька ефективність експериментально-статистичних методів вдосконалення обладнання для їх подрібнення, а в свою чергу і організація технологічних процесів.

Для успішного подрібнення полімерних матеріалів з різними фізико-механічними властивостями необхідне всебічне вивчення залежності дисперсності, продуктивності і енерговитрат від конструктивних і технологічних параметрів обладнання.

У зв'язку з цим дослідження процесів подрібнення полімерних матеріалів і розвиток наукових основ проектування обладнання, що забезпечує необхідну дисперсність, і низькі питомі енерговитрати є актуальною задачею.

8.2. Сучасний стан розвитку технологій переробки відходів полімерів у легкій промисловості

Розвиток промисловості висуває нові вимоги до рівня технологічних процесів виробництва, переробки і вторинного використання полімерних матеріалів. Про збільшення обсягів переробки вторинних полімерів свідчить теперішня статистика утворення і переробки відходів.

Більш широке використання відходів переробки полімерних матеріалів в виробі стримується: з одного боку відсутністю надійного обладнання, що забезпечує подрібнення вторинної сировини до заданої дисперсності з подальшим поверненням її в основний технологічний процес, а з іншого боку відсутністю розвинених областей використання вторинної сировини.

В легкій і хімічній промисловості, широко використовується вторинна сировина, отримана при виробництві виробів з полімерних матеріалів: гуми, поліолефінів, полівінілхлориду, поліуретанів тощо. Вторинна сировина, отримана тим чи іншим способом, використовується або в основних технологічних процесах, наприклад при виробництві взуття (підшови, каблуки, набійки тощо), або у виробництві супутніх виробів (покриттів для підлоги, тари тощо).

Асортимент виробів, отриманих з відходів полімерних матеріалів, з кожним роком розширюється все більше і більше. В останні роки розвиваються технології, що використовують подрібнені полімерні матеріали в чистому вигляді, в сумішах і в якості наповнювачів.

З вищевикладеного виходить, що, незалежно від способу подальшого використання термопластичних матеріалів, відходів гуми і деяких інших полімерів, обов'язковою проміжною стадією їх переробки є подрібнення. У взуттєвому виробництві ступінь використання і способи переробки відходів різноманітні. Потрібно зазначити, що підвищення ефективності взуттєвого виробництва можливе як при умові максимального використання власних відходів, так і при залученні до технологічних процесів відходів полімерних матеріалів, що утворюються в інших галузях, і навіть у побуті.

Відходи гуми, еластопластів, штучних шкіроподібних матеріалів, поліуретанів і термопластів відносять до відходів, що можуть бути використані для низу взуття.

Технологічні задачі, які виникають при переробці відходів полімерних матеріалів у взуттєвому виробництві, залежать від виду матеріалу, області його подальшого використання і критеріїв якості до отримуваної з них сировини (рис. 8.1).



Рис. 8.1 – Технологічні задачі переробки відходів полімерів взуттєвого виробництва

Використання відходів гум. Відходи гуми утворюються на всіх стадіях виробництва гумових виробів і в процесі їх споживання. Тому, саме ці види відходів свого часу стали першим об'єктом досліджень на предмет створення технологій і обладнання для їх переробки в умовах взуттєвих підприємств. Певні успіхи було досягнуто на деяких взуттєвих фабриках. На жаль, збір інших видів амортизованих гумових виробів до теперішнього часу практично не організований, не дивлячись на те, що є значна кількість виробів з високим вмістом гуми, на виробництво яких витрачаються дефіцитні каучуки спеціального призначення.

Тривалий час практично єдиним способом переробки відходів гуми вважалася регенерація. Подальше розширення виробництва регенерату може бути виправдане тільки освоєнням найбільш перспективних методів подрібнення, і підвищенням їх якості.

Останнім часом з'являється значне число робіт, що стосуються іншого можливого шляху застосування гумових відходів. Йдеться про використання гумових порошоків і гумової крихти як інгредієнтів гумових сумішей. Гуми на основі бутілкаучуку і каучуків загального призначення, що містять до 30 % подрібненого вулканізату з розміром частинок менше 0,25 мм, дещо відрізняються від еталонних по опору роздирання, міцності і стиранню, і значно перевищують їх по втомній витривалості при багатократному розтягуванні і опору розростанню тріщин.

Необхідною умовою для реалізації цього напряму переробки і використання відходів є розробка раціональних способів отримання з них дисперсних матеріалів різного ступеня дисперсності, які можна здійснити, використовуючи методи механічного подрібнення.

Відходи поліолефінів. Поліолефіни (ПО) – найбільш поширені термопласти, виробництво яких продовжує зростати. Найбільш перспективним способом утилізації відходів ПО, так само як і інших термопластів, є їх повторна переробка.

У взуттєвому виробництві значний інтерес представляє переробка взуттєвих колодок, що відслужили свій термін, виготовлених з поліетилену, а також відходів поліетилену, що утворюються при литті під тиском деталей взуття (каблуки модельного взуття, вкладиші тощо).

Вибір технологічних параметрів переробки відходів ПО і областей використання отримуваних з них виробів обумовлений їх фізико-хімічними, механічними і технологічними властивостями, які в значній мірі відрізняються від тих же характеристик первинного полімеру.

Відходи на основі полівінілхлориду (ПВХ). Відходи, які утворюються при виробництві деталей низу взуття з еластопластичних матеріалів на основі полівінілхлориду є термопластичними і добре регенеруються. Їх переробляють на гранули, які при виробництві деталей у певній кількості додаються до первинного матеріалу. Додатково відходи полівінілхлориду можна переробити в вироби для різних цілей (наприклад, з них можна формувати пластини, які застосовують як вирубні колоди при вирубці деталей на пресах).

Складність переробки ПВХ і його відходів в тому, що це один з найменш стабільних карбонцюгових промислових полімерів. Реакція деструкції ПВХ починається вже при температурах вище 100 °С, а при 170 °С реакція протікає дуже швидко. В результаті термоокислення ПВХ відбуваються агрегативні і дезагрегативні процеси – зшивання і деструкція. В роботі [6] показано вплив багатократної переробки трьох

різних ПВХ композицій на їх властивості. Відходи ПВХ індивідуально або в суміші з первинним полімером використовують для виробництва низу взуття, електротехнічних і сантехнічних труб тощо.

8.3. Аналіз способів подрібнення полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації

З відомих методів переробки відходів гум і термопластичних полімерів найбільш прийнятним є спосіб механічного подрібнення. Механічне подрібнення можна здійснювати при понижених і звичайних температурах [22].

На даний час розроблено багато способів подрібнення полімерів, що розрізняються характером навантаження, умовами і стабільністю процесу руйнування. Тип обладнання для подрібнення вибирається залежно від величини шматків початкового матеріалу, його фізико-механічних і хімічних властивостей, а також від вимог до дисперсності кінцевого продукту і необхідної продуктивності.

Залежно від ступеня подрібнення матеріалів подрібнювачі поділяються на дробарки і млини. Умовно прийнято, що дробарки забезпечують крупне (розмір частинок після подрібнення від 80 до 200 мм), середнє (від 20 до 80 мм) і дрібне (від 2 до 20 мм) подрібнення, а млини – грубий помел (розмір частинок від 0,2 до 2 мм), тонкий (від 0,01 до 0,2 мм) і надтонкий (менше 0,01 мм).

У всіх подрібнювачах використовують ті або інші фізичні ефекти – роздавлювання, стирання, удар, різання, розколювання, ультразвукові, температурні, кавітаційні.

При виборі обладнання для подрібнення полімерних матеріалів необхідно враховувати дисперсність отриманого продукту, розміри і механічні властивості початкового матеріалу, його температурні характеристики, реакційну здатність, її зміну при подрібненні, можливий ступінь забруднення матеріалу продуктами зносу робочих органів, допустимий ступінь його окислення при взаємодії з киснем повітря, вибухонебезпечність і цілий ряд інших показників. Така різноманітність вимог призвела до створення різноманітних машин для подрібнення. Найзагальніше ділення існуючих подрібнювальних машин запропоновано за способом руйнування в них матеріалів [22].

Класифікація способів подрібнення полімерів за вищенаведеними ознаками представлена на рис. 8.2.

Класифікація подрібнювачів за конструктивними ознаками розпочинається, перш за все, з розділення усього обладнання за типом подрібнювального (робочого) органа. Це пов'язано з тим, що саме цей орган є головним елементом конструкції, від якого залежить вид мате-

ріалу, що буде подрібнюватись, його дисперсність, якість і продуктивність процесу переробки.

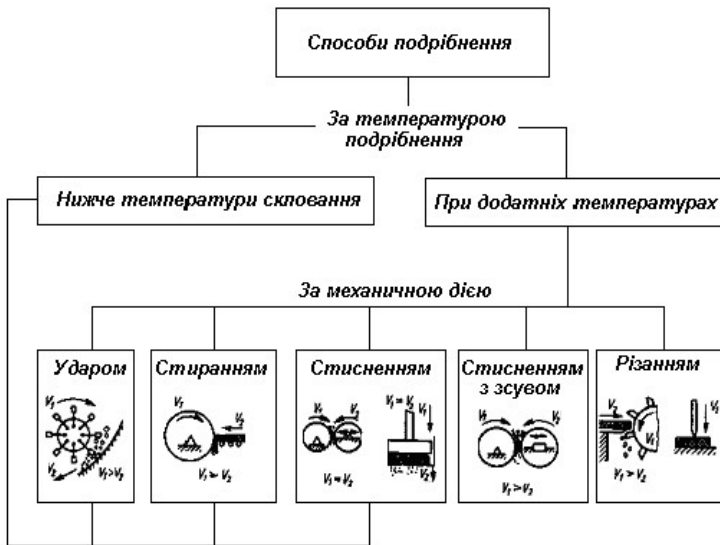


Рис. 8.2 – Класифікація способів подрібнення полімерів за характером процесу руйнування матеріалу

Усі існуючі пристрої для подрібнення, поділяються на дві групи: подрібнювачі без подрібнювальних тіл і з подрібнювальними тілами (рис. 8.3). Подрібнювачі без подрібнювальних тіл мають характерну конструкцію, яка не має явно вираженого подрібнювального тіла. Як робочий орган може виступати потік рідини, повітря та інші види енергії, тобто робочим органом в такому обладнанні може бути будь-яка речовина, що здатна передавати енергію. Група подрібнювачів з подрібнювальними тілами характеризується явно вираженими робочими органами. В такому обладнанні робочі органи можуть бути різноманітні як за конфігурацією, так і за призначенням.

Ця група подрібнювачів, в свою чергу, включає в себе дві підгрупи, які розрізняються за характером закріплення робочих тіл: подрібнювачі з вільними та закріпленими подрібнювальними тілами.

В легкій і хімічній промисловості широко застосовується подрібнення матеріалів за рахунок удару в дезінтеграторах і дисембраторах. Дезінтегратори і дисембратори дозволяють подрібнювати різні за властивостями матеріали: полімери, гуми, відходи текстилю, натуральної шкіри і хутра, як окремо так і спільно.

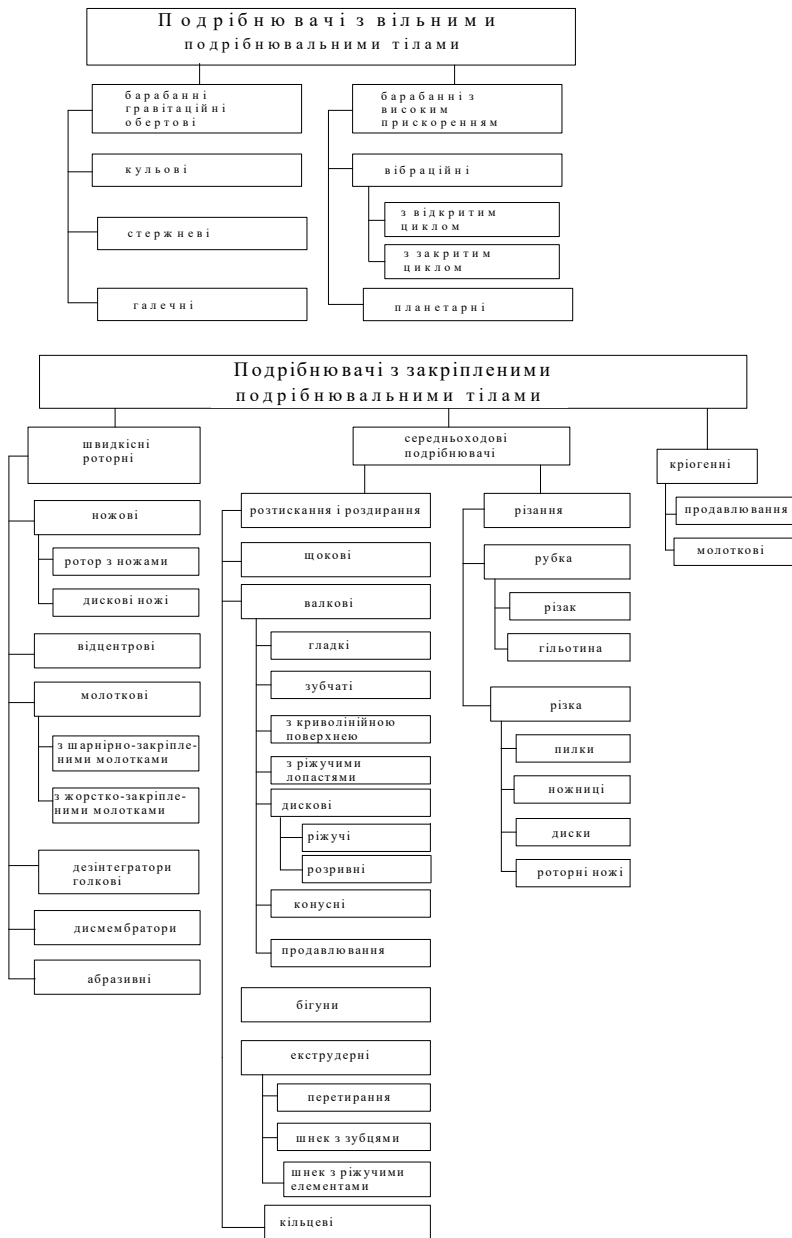


Рис. 8.3 – Класифікація подрібнювачів

Одним з найбільш розповсюджених методів подрібнення є різання. При механічному руйнуванні полімерів більша частина енергії витрачається на пружне деформування. Таким чином, з точки зору економії енергії, подрібнення слід проводити в умовах, при яких відбуватиметься мінімальне деформування матеріалу. Так при руйнуванні відходів легкої промисловості різанням частина матеріалу, що знаходиться в складно напруженому стані, порівняно невелика та зосереджена поблизу різальної кромки ножа. Внаслідок чого робота руйнування при різанні значно менша. Ступінь дисперсності, якої можливо досягнути при даному способі подрібнення 0,5–10 мм.

До подрібнювачів різального типу, що працюють в області низької швидкості механічної дії, слід віднести різальні гранулятори, різальні преси, гільйотинні ножиці, дискові подрібнювачі з набором різальних елементів тощо. Залежно від умов навантаження матеріалу розрізняють різання з контрножем і без нього. Різання без контрножа застосовують для розділу на частини великогабаритних шматків матеріалу. Пристрій може бути виконаний у вигляді багатолезового ножа, що обертається, або ножа закріпленого нерухомо, з обертанням самого матеріалу.

Зосереджене різання матеріалів реалізується в роторних ножових дробарках, в яких ножі розташовані на роторі і статорі. Подрібнювачі цього типу широко використовуються для переробки відходів полімерів на підприємствах легкої промисловості, зокрема для попереднього подрібнення відходів лиття взуттєвого виробництва. На сьогодні створена велика кількість конструкцій комбінованих подрібнювачів, які використовують для подрібнення відходів легкої промисловості.

Такі пристрої складаються з ротора, ножів ротора, корпусу, решітки і ножів корпусу. Процес подрібнення матеріалу починається з його завантаження в бункер, звідки він потрапляє на ротор і на його ножі. Матеріал подрібнюється при взаємодії з ножами ротора і нерухомо закріпленими ножами. Після цього матеріал просіюється через решітку і потрапляє до бункера готового продукту. Цей тип подрібнювача широко застосовується в хімічній промисловості, целюлозно-паперовій, харчовій, будівній і легкій промисловості.

Сучасні роторні ножові дробарки мають наступні технологічні недоліки: в процесі роботи відбувається зношування робочих органів під дією сил тертя і удару; конструкції не дозволяють активно впливати на ступінь подрібнення матеріалу; при подрібненні пластичних і в'язких матеріалів в результаті підвищення температури в робочій зоні, відбувається процес налипання матеріалу на робочі органи, а також його агломерація, що різко знижує ефективність процесу подрібнення. Частки кінцевого продукту мають досить великий розкид за розмірами і формою навіть при застосуванні колосникових решіток.

Загалом цей тип обладнання є досить розповсюдженим. На сьогодні виробники обладнання пропонують широкий вибір такого типу дробарок. Завдяки невеликим витратам енергії це обладнання є економічно вигідним. Таке обладнання вже використовується у вищезгаданих галузях промисловості. Результати опробування досить непогані. Подрібнювачі даного типу добре зарекомендували себе при переробці відходів легкої промисловості.

Для попереднього подрібнення відходів листових полімерних матеріалів і паперу широке застосування отримали валкові подрібнювачі з набором дисків, які мають різальні кромки різних конфігурацій.

Екструдерні подрібнювачі. Застосування на практиці отримав спосіб подрібнення гумових відходів, що заснований на руйнуванні їх при дії на матеріал високого тиску і зсуву. Розвиток цього способу було започатковано академіком Н.С.Єніколоповим в 1980 роках. Процес подрібнення реалізовується в спеціальних модифікованих екструдерах. Його можна охарактеризувати як пружно-деформаційний, суть якого полягає у використанні поля механічних сил, при якому матеріал піддається стисканню з зсувом.

Реалізація механічної дії на матеріал здійснюється спеціальною головкою, що встановлюється на черв'яку екструдера. Екструдерний подрібнювач складається з матеріального циліндра, в якому розміщений черв'як, що може мати на кінці спеціальну головку.

Цей спосіб дозволяє сумістити процес подрібнення з введенням добавок і хімічної модифікації подрібненого матеріалу. Такі подрібнювачі знайшли застосування для тонкого подрібнення відходів гуми. Подрібнений матеріал використовується як наповнювач у різних композитах для виготовлення виробів з гуми.

Дослідження процесу екструзійного подрібнення проводились в двох напрямках – вдосконалення технологічних параметрів процесу і пошук методів проектування обладнання. Першому напрямку присвячено роботи Н.С. Єніколопова з співробітниками, в яких представлено результати технологічних досліджень і показано перспективність цього способу подрібнення.

Для визначення оптимальних геометричних і технологічних параметрів черв'ячних пристроїв для подрібнення гум використані аналітичні, чисельні і експериментальні методи. При аналітичному дослідженні процесу подрібнення гум був використаний термодинамічний підхід до опису механічних характеристик полімерних матеріалів і отримана математична модель процесу подрібнення гум в кінцічному каналі роторної головки екструдера.

Представляє інтерес порівняння основних показників роботи одно- і двочерв'ячних екструдерів. На підставі узагальнення вітчизня-

них і зарубіжних даних наголошується, що продуктивність двочерв'ячних екструдерів складає 0,2–0,54 від максимально теоретично можливої, а для одночерв'ячних цей показник складає 0,73–0,79. Крім того, при виборі типу екструдера велике значення має рівень його конструктивної складності, а відповідно і вартість. У зв'язку з цим досвід використання екструдерів для подрібнення показав про переважне використання одночерв'ячних пристроїв.

Для подрібнення відходів легкої промисловості застосовуються також валкові подрібнювачі. Подрібнення в таких пристроях здійснюється за рахунок стискаючих і зсувних деформацій при проходженні шматків матеріалу між валками, що обертаються з різними швидкостями.

Проведений аналіз енергетичної ефективності можливих структурних схем подрібнювачів за розробленою системою класифікації показав, що найбільш економічними є подрібнювачі в яких матеріал після акту руйнування негайно видаляється з їх робочої зони. Зниження енерговитрат на подрібнення полімерів можливе за рахунок зменшення межі міцності і величини деформації матеріалу до початку руйнування шляхом цілеспрямованого впливу на його фізико-механічні властивості.

8.4. Експериментальні дослідження залежності механічних властивостей полімерних матеріалів від технологічних параметрів процесів подрібнення

Експериментальне дослідження міцності відходів полімерних матеріалів при змінних температурах і швидкості деформування. Метою експериментальних досліджень є встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів процесу руйнування полімерів на величину руйнуючого напруження і критичної деформації до руйнування а також визначення залежності коефіцієнта тертя взуттєвих полімерних матеріалів від технологічних чинників при їх подрібненні.

Як об'єкти експериментальних досліджень вибираються наступні полімерні матеріали, що використовують у взуттєвому виробництві: 50 % суміш первинного і вторинного поліетилену високого тиску ТУ 6-05-1853-78 (взуттєві колодки); гума на основі бутілкаучуку ОСТ 17-44 82; ПВХ пластикат підошовний ТУ 6-05-2074-84.

Такий вибір обумовлений найбільшою поширеністю цих матеріалів і відповідно їх відходів.

З метою визначення чисельних значень характеристик міцності полімерних матеріалів, проводиться випробування цих матеріалів в умовах зрізу при різних температурах і швидкостях деформування.

Випробуванню підлягають зразки матеріалів з прямокутним перетином шириною основи 10 мм і висотою 5–15 мм.

Всі зразки виготовляли механічною обробкою заготовок. Вони повинні мати гладку рівну поверхню без здуття, сколів, тріщин, раковин та інших видимих дефектів. Кількість зразків, взятих для випробувань від однієї партії матеріалів вибиралось не менше п'яти.

Дослідження проводяться за допомогою виготовленого пристрою для випробувань матеріалів на зріз (рис. 8.4), що встановлювався на розривній машині для випробування полімерних матеріалів ИР 5057-50.

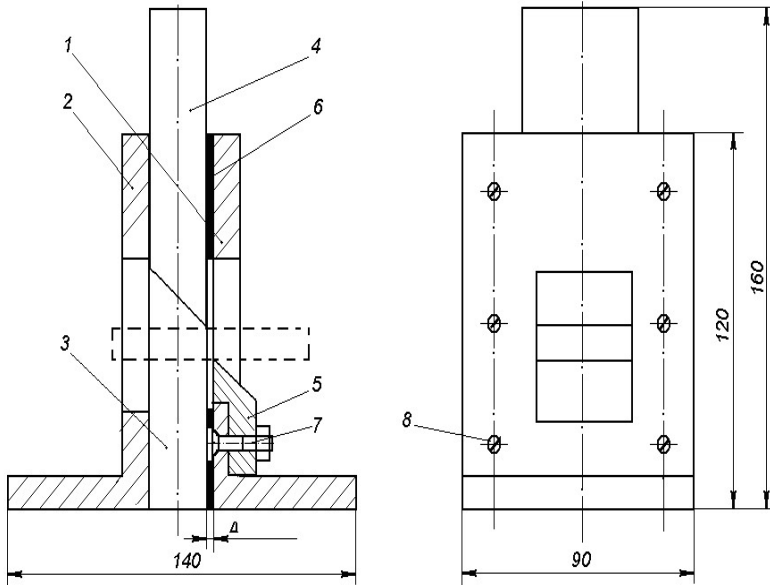


Рис. 8.4 – Ескіз пристрою для випробування полімерних матеріалів на зріз двома ножами: 1, 2 – стойки; 3 – вставки; 4 – рухомий ніж; 5 – нерухомий ніж; 6 – прокладка латунна; 7, 8 – гвинти

В процесі зрізу заміряються навантаження до моменту досягнення межі міцності або текучості.

Вимірювання технологічних зусиль, що виникали при різанні, вимірюються за допомогою тензOMETричного датчика і системи перетворення сигналу за допомогою аналого-цифрового перетворювача і персонального комп'ютера (рис. 8.5).

На рис. 8.6 представлена структурна схема вимірювальної системи лабораторної установки для дослідження полімерних матеріалів. В неї входить розривна машина ИР 5057-50, датчики для вимірювання зусилля та температури зразків матеріалів, аналого-цифровий перетворювач, електронно-обчислювальна машина.

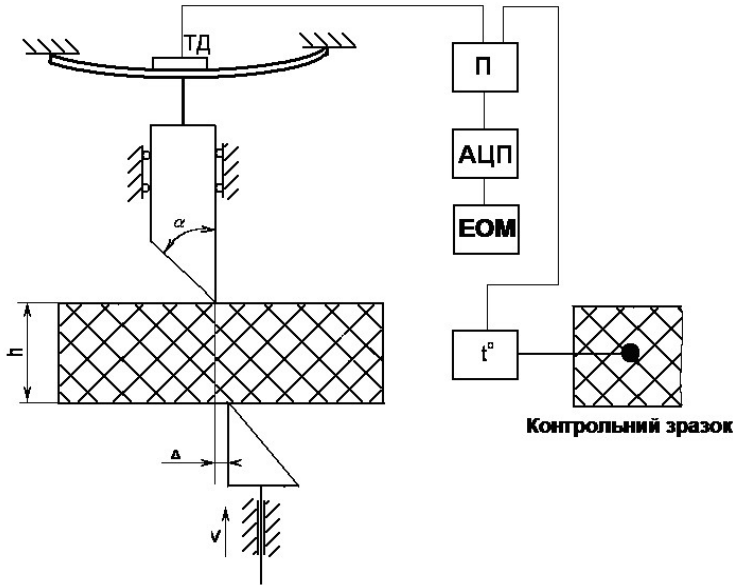


Рис. 8.5 – Схема експериментальної установки для дослідження процесу зрізу полімерних матеріалів: П – підсилювач; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; ЕОМ – електронно-обчислювальна машина

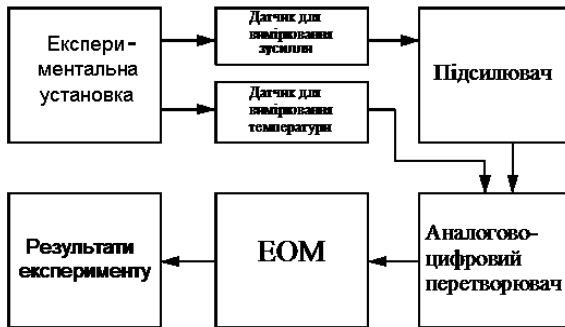


Рис. 8.6 – Структурна схема системи вимірювань експериментальної установки для дослідження полімерних матеріалів на зріз

Машина ІР 5057-50 (рис. 8.7), що використовується при дослідженнях, призначена для випробування пластмас на розтягування, стиснення, вигин, гістерезис, малоциклову втому за переміщенням траверси і за навантаженням.

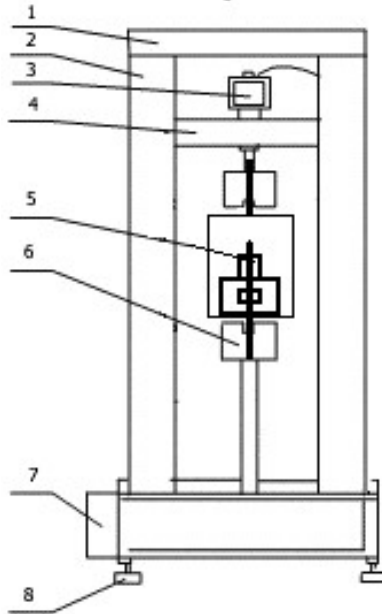


Рис. 8.7 – Загальний вигляд установки для випробувань на зріз на базі машини ИР 5057-50: 1 – траверса нерухома; 2 – стійки; 3 – датчик зусилля; 4 – траверса рухома; 5 – пристрій для зрізу; 6 – захват; 7 – кожух; 8 – опори

В результаті експериментального і аналітичного дослідження впливу технологічних (температура, швидкість) параметрів процесу руйнування і конструктивних параметрів робочих органів на енерговитрати при руйнуванні полімерних матеріалів в роботі [22] отримано залежності, що дозволяють визначати енерговитрати на руйнування, силову взаємодію робочих органів з матеріалом, і прогнозувати результат цієї взаємодії у вигляді утворення поверхонь руйнування. Невизначеним фактором, що істотно впливає на процес руйнування полімерів, є сила тертя при ковзання по поверхні робочих органів подрібнювачів і її залежність від технологічних умов процесу.

Дослідження процесу тертя полімерів. Аналітичне відображення залежності сил тертя полімерів від технологічних параметрів адекватними математичними моделями можливо виключно на основі експериментальних статистичних даних, отриманих шляхом досліджень процесу тертя полімерів при різних технологічних умовах.

Метою досліджень є отримання залежностей коефіцієнта тертя взуттєвих полімерів від температури і тиску.

Для проведення досліджень виготовлена експериментальна установка, схема і загальний вигляд якої приведено в лабораторній роботі 8 (див. рис. 8.1).

В результаті експериментального дослідження процесу тертя гуми, поліетилену і полівінілхлоридного пластикату отримано регресійні рівняння залежності коефіцієнту тертя цих полімерів по сталі від температури і нормального тиску на поверхню ковзання. Встановлено, що коефіцієнт тертя цих полімерів монотонно зменшується зі збільшенням тиску. Підтверджено теоретичні положення про екстремальний характер залежності сил тертя полімерів від температури і визначено температури, при яких коефіцієнт тертя гуми і ПВХ максимальний. З отриманих результатів видно, що для поліетилену цей температурний максимум повинен знаходитись в області від'ємних температур за шкалою Цельсія.

При подрібненні гум на обладнанні в якому механічне зусилля передається матеріалу від робочих органів за рахунок сил тертя повинен існувати температурний режим роботи, при якому технологічний ефект руйнування буде максимальним.

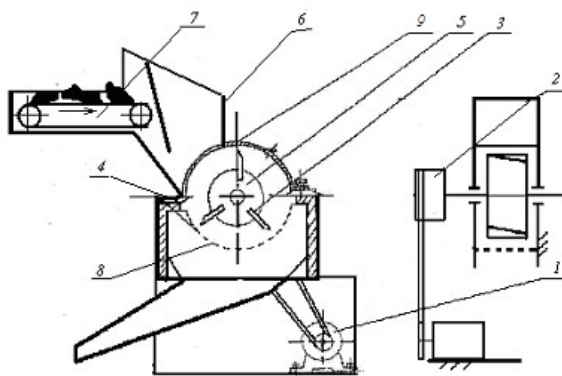
Визначення питомої енергії, що витрачається на механічне руйнування полімерних матеріалів. В роботі [22] встановлено закономірності руйнування гуми, ПВХ пластикату і поліетилену колодкового в умовах змінних температури і швидкості деформування. Отримано рівняння, які можуть бути використані для обчислення руйнуючих напружень, деформацій матеріалів до початку руйнування і питомої роботи, що витрачається на деформування цих матеріалів до початку руйнування. Показано, що питома енергія деформації до руйнування гуми монотонно зменшується з ростом температури (від 273 °К до 393 °К) в усіх діапазонах швидкості. При збільшенні швидкості деформування гуми в інтервалі температур від 273 °К до 325–335 °К відбувається зменшення питомої енергії руйнування, а вище 335 °К – збільшення. Мінімум енергетичних витрат на руйнування гум різанням може бути досягнутий при підвищених температурах 380–400 °К і низьких швидкостях деформування. При руйнуванні ПВХ пластикату питома енергія руйнування досягає максимальних значень при $T = 330\text{--}350$ °К, яка зміщується в сторону більших температур зі збільшенням швидкості руйнування. Встановлено наявність області мінімальних значень питомої енергії деформації поліетилену при температурах 280–290 °К. Рационально проводити цілеспрямоване руйнування поліетилену при цих температурах і високих швидкостях робочих органів. Мінімальні енерговитрати будуть в області температур близьких до температури плавлення і низьких швидкостях механічної дії.

8.5. Експериментальні дослідження процесів подрібнення відходів полімерів

Експериментальне дослідження процесу подрібнення матеріалів в роторних дробарках. Для проведення досліджень розроблена та виготовлена експериментальна установка, схема і загальний вид якої представлені на рис. 8.8 [22].



a



б

Рис. 8.8 – Експериментальна роторна дробарка: *a* – загальний вигляд; *б* – кінематична схема (1 – електродвигун; 2 – шків-маховик; 3 – рухомі ножі; 4 – рухомі ножі; 5 – ротор; 6 – бункер; 7 – конвеєр; 8 – змінна решітка; 9 – корпус)

Механічна частина експериментальної установки складається з корпусу 9, бункера завантаження 6, ротора 6 з закріпленими ножами 3, нерухомих ножів 4, що закріплені на корпусі, змінної колосникової решітки 8, розмір отворів якої визначає дисперсність продукту подрібнення. Для регулювання подачі матеріалу бункер дробарка оснащений стрічковим конвеєром 7 з приводом від електродвигуна постійного струму з можливістю змінення швидкості обертання. Електрична частина установки складається з асинхронного електродвигуна 1, апаратів управління і захисту, електродвигуна постійного струму з послідовним збудженням, регульованого блока живлення постійного струму. Вимірювальна частина установки складається з трансформатору струму, що ввімкнений в розрив однієї фази живлення асинхронного електродвигуна і пишучого ватметра. Для визначення дисперсного складу продуктів подрібнення використовували ситовий аналіз, який здійснювали за допомогою набору лабораторних сит і ваги.

Установка працює наступним чином: порція матеріалу завантажується в приймальний бункер і живильником видається жолобом в роторну дробарку. Подрібнений в дробарці матеріал збирається в приймачі.

Як подрібнюваний матеріал використовують відходи полімерів взуттєвого виробництва (ПВХ пластикат підошовний) і гуму на основі бутілкаучуку (утилізовані діафрагми шинного виробництва). Відходи попередньо розрізають на дискових ножицях на шматки квадратної форми і сортували за товщиною. Для проведення досліджень використані ситовий класифікатор, технічні ваги, секундомір, пишучий ватметр.

Ситовий класифікатор використовували для розділення подрібненого продукту на фракції. Він представляє собою колонку з набором сит.

В роботі [22] представлено аналітичні моделі, що відображують кінетику і динаміку процесів подрібнення відходів полімерних матеріалів в роторних дробарках і екструдерах в залежності від їх конструктивних і технологічних параметрів з урахуванням фізико-механічних властивостей полімерів. Модель процесу подрібнення в роторних дробарках дозволяє визначати їх продуктивність і енергетичні показники процесу в залежності від швидкості обертання ротора, маси завантаження, радіуса ротора, площі пропускної поверхні колосникової решітки і діаметра її отворів, від об'єму бункера, кількості ножів ротора і корпусу, а також від густини матеріалу, що подрібнюється.

Аналітично встановлено найбільш ефективні режими роботи роторних дробарок з точки зору ступеня заповнення камери, доцільність обмеження радіуса ротора до 0,3 м, на вид розподілу часток за розмірами найбільший вплив має нерівномірність завантаження робочої камери подрібнювача. Питомі енерговитрати на подрібнення для полімерів з переважно пластичними властивостями і для високоелас-

тичних матеріалів мають екстремальний характер і для цих матеріалів існує оптимальне співвідношення кількості ножів ротора і корпусу. А матеріали з крихкими властивостями доцільно подрібнювати на обладнанні, що має велику кількість руйнуючих елементів або робочі органи великої площі. Енерговитрати на подрібнення крихких матеріалів зменшуються за лінійним законом зі збільшенням температури матеріалу. А залежність від температури матеріалів з високоеластичними і пружно-пластичними властивостями має екстремальний характер з максимальним значенням в межах 273–293 °К. Зі збільшенням швидкості обертання ротора питомі енерговитрати для високоеластичних і пружно-пластичних матеріалів зменшуються за нелінійним законом, питомі енерговитрати для крихких матеріалів не залежать від швидкості руху робочих органів.

Експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів на процес подрібнення відходів гуми в екструдері. Дослідження проведено з метою підтвердження адекватності аналітичної моделі, що відображає залежність параметрів процесу подрібнення гуми від технологічних і конструктивних чинників реальному процесу.

З метою проведення експериментальних досліджень розроблено і виготовлено експериментальну установку, що складалася з черв'ячної машини і системи вимірювання технологічних параметрів. На рис. 8.9 представлено схему експериментальної установки, а на рис. 8.10 її зовнішній вигляд.

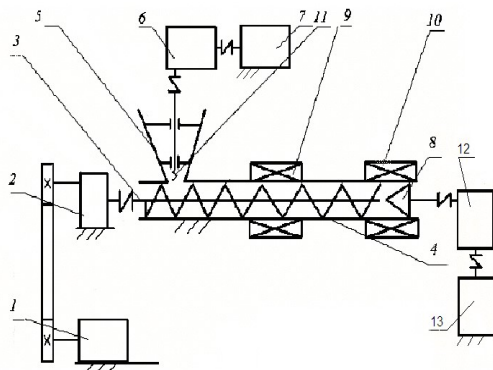


Рис. 8.9 – Кінематична схема експериментальної установки:
1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – черв'як; 4 – матеріальний циліндр;
5 – бункер; 6 – черв'ячний редуктор; 7 – електродвигун постійного струму;
8 – головка подрібнення; 9 – електричний нагрівач; 10 – система охолодження;
11 – шнек завантаження матеріалу; 12 – черв'ячний редуктор;
13 – електродвигун постійного струму

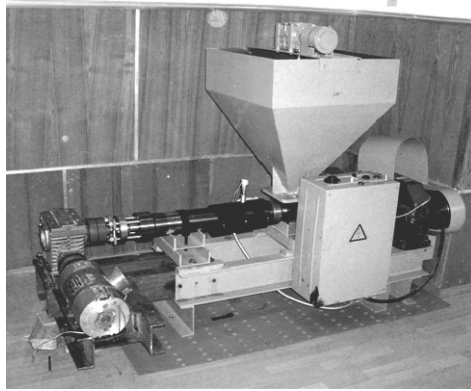


Рис. 8.10 – Зовнішній вигляд експериментальної установки для дослідження процесу подрібнення гуми

З метою вимірювання напірного тиску, що діє на вході в канал головки подрібнення, експериментальна установка оснащена окремим приводом головки подрібнення. Кінематична схема вузла привода головки і його зовнішній вигляд показана на рис. 8.11.

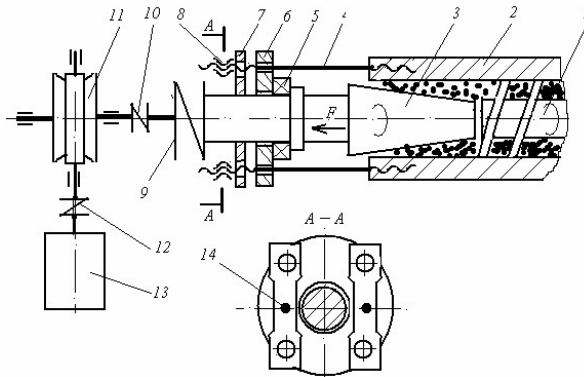


Рис. 8.11 – Кінематична схема вузла для вимірювання напірного тиску на ротор головки подрібнення екструдера: 1 – черв'як; 2 – матеріальний циліндр; 3 – конусна головка; 4 – направляючі шпильки; 5 – упорний підшипник; 6 – опорний диск; 7 – вимірювальні балки; 8 – регулюючі гайки; 9 – шліцева муфта; 10, 12 – втулково-пальцеві муфти; 11 – черв'ячний редуктор; 13 – електродвигун постійного струму; 14 – тензодатчики

Окремий привод головки подрібнення дає можливість визначати напірний тиск за рахунок вимірювання осьового зусилля, що діє

на головку. Зусилля вимірювалось за допомогою тензодатчика 14, що встановлений на одній з опорних балок 7.

В роботі [22] встановлено існування режимів подрібнення гуми в екструдері, при яких буде досягнуто мінімальних витрат енергії.

В результаті експериментальних досліджень отримано підтвердження адекватності аналітичних моделей процесів подрібнення відходів полімерів в роторних дробарках і екструдерах. Відхилення результатів розрахунків значень потужності за математичною моделлю від даних експерименту при подрібненні одиничних шматків матеріалу в роторній дробарці не перевищує 8 %, а при завантаженні кількох однакових шматків матеріалу збільшується до 12–20 %. Відхилення значень питомої енерговитрати на подрібнення гуми в екструдері, що розраховані за математичною моделлю від експериментальних не перевищує 15 %. Встановлено, що при подрібненні відходів гум і термопластичних матеріалів в роторних дробарках доцільно застосовувати для отримання часток матеріалу не менше 2 мм, а отримання більш дрібних фракцій ефективно на обладнанні, що реалізує об'ємне деформування матеріалу при подрібненні.

8.6. Визначення раціональних конструктивних параметрів високоефективного обладнання і технологічних режимів процесу подрібнення

Проведені аналітичні та експериментальні дослідження процесів подрібнення полімерних матеріалів показали, що ефективність їх реалізації визначається наступними показниками: якістю кінцевого продукту; енерговитратами на подрібнення; комплексною економічною ефективністю, яка враховує вищезазвані показники і окрім того, ефект від використання відходів, вартість обладнання, витрати на його утримання (зношення робочих органів), кваліфікацію обслуговуючого персоналу і екологічні аспекти (виділення шкідливих речовин) [22].

Показник якості кінцевого продукту визначає технологічний процес подрібнення з точки зору отримання частинок полімерного матеріалу з показниками, що найкраще відповідають технологічним вимогам при його подальшому використанні.

Основною з них є вимога до розміру частинок кінцевого продукту, значення якого залежить від області подальшого застосування подрібнених відходів. При використанні подрібнених відходів термопластичних матеріалів, як домішку до первинного продукту, краще, щоб розміри частинок були співрозмірні з розмірами гранул основного матеріалу. При цьому важливо, щоб розкид розмірів від основного був якнайменшим. Ці вимоги обумовлені тим, що час плавлення суміші

гранул і частинок вторинного матеріалу в матеріальному циліндрі вузла впорскування повинен бути співрозмірним. Особливо цей фактор має велике значення при переробці термопластичних матеріалів на основі полівінілхлориду.

Забезпечення цієї вимоги суттєво впливає на кількість вторинного матеріалу, що може бути додана до первинного, інакше це буде відображатись на експлуатаційні властивості (міцність, стійкість до багаторазового згинання і стирання) і зовнішній вигляд (підпалини, нерівномірний колір тощо).

В роботі [22] встановлено теоретично і підтверджено експериментально, що регулювання розмірів часток кінцевого продукту при подрібненні відходів в роторних дробарках можливе як за рахунок встановлення колосникових решіток з різними розмірами, так і шляхом часткового перекриття площі їх «живого перетину», що технологічно можна здійснювати з меншими матеріальними витратами і без розбирання дробарок.

Ширина розподілу часток за розмірами найбільше залежить від нерівномірності завантаження матеріалу (пульсацій) в дробарку. Встановлено, що в залежності від характеристик дробарок існує ступінь заповнення робочої камери матеріалом, при якому ширина розподілу часток за розмірами мінімальна. При чому, такий режим роботи характеризується мінімальними енерговитратами.

При використанні подрібнених відходів в якості наповнювача в суміші з іншими полімерними матеріалами (переважно це відходи гуми) важливе значення має ступінь розвиненості поверхні часток кінцевого продукту, оскільки сили взаємодії наповнювача з основним матеріалом в таких випадках обумовлені міжмолекулярною взаємодією і кінематичним зчепленням матеріалів після затвердження. В роботі [22] показано, що гумові порошки з високорозвиненою поверхнею можливо отримувати при їх руйнуванні в об'ємно напруженому стані, який технічно реалізується в черв'ячних пристроях.

Ступінь подрібнення і розвиненості поверхні при подрібненні еластомірів в черв'ячних пристроях залежить від ступеня його деформування в головці подрібнення і технологічних чинників (температури матеріального циліндра і головки подрібнення, продуктивності зони завантаження і швидкості обертання черв'яка). Тобто керування технологічним процесом подрібнення може здійснюватись регулюванням значень цих чинників.

Показано теоретично і підтверджено експериментально наявність таких конструктивних співвідношень роторних дробарок і технологічних режимів, при яких енерговитрати на подрібнення при однаковій якості кінцевого продукту будуть мінімальними.

З використанням математичної моделі процесу подрібнення визначені раціональні конструктивні параметри роторних дробарок і технологічні режими процесів подрібнення відходів термопластичних полімерів і гуми. При подрібненні матеріалів гуми і ПВХ пластикату мінімальні енерговитрати досягаються при добутку кількості ножів ротора і корпусу 5–6, тобто для них раціонально використовувати дробарки з конструктивною схемою в яких три ножі на роторі і два на корпусі.

При подрібненні поліетилену мінімум енерговитрат буде при використанні дробарок з конструктивною схемою 2×2. Якщо подрібненню підлягають відходи матеріалів з крихким механізмом руйнування (термореактивні матеріали, органічне скло і т.п.), то слід використовувати дробарки з більшою кількістю ножів.

В результаті аналітичних і експериментальних досліджень встановлено, що подрібнення високоеластичних матеріалів (гум, ПВХ пластикату) і поліетилену при температурі від 0 до 20 °С є енергетично не вигідним. Тому рекомендовано попередній нагрів відходів цих матеріалів до 50–80 °С перед подрібненням, якщо питання енерговитрат домінує над ускладненням технологічного процесу.

Підвищення швидкості руху робочих органів при подрібненні високоеластичних і пластичних матеріалів призводить до зниження енерговитрат але збільшення зусиль руйнування. При збільшенні швидкості обертання існує певна межа вище якої градієнт зниження питомих енерговитрат несуттєвий. Встановлено, що лінійна швидкість ножів роторних дробарок повинна становити: для гум 12–15 м/с; для ПВХ пластикату 17–20 м/с; для поліетилену 23–26 м/с. Високі швидкості обертання ротора призводять до підвищення динамічних навантажень, інтенсивного зносу ножів і підшипникових вузлів, що нівелює зниження енерговитрат, порівняно з витратами на ремонт.

При подрібненні гум в екструдерах на енерговитрати суттєво впливає температура матеріалу під час його транспортування в напірній зоні і при руйнуванні в головці подрібнення. Через неможливість технічно безпосередньо впливати на процес регулювання температури матеріалу в роботі отримано залежності його температури від температури матеріального циліндра по всій зоні транспортування.

Визначено теоретично і підтверджено експериментально, що мінімальні енерговитрати мають місце при певних співвідношеннях ступеня обтискання матеріалу в головці подрібнення (відношення початкової висоти каналу до кінцевої). Так, наприклад, при подрібненні гуми на основі бутілкаучуку мінімум енерговитрат буде при наступних параметрах: $\lambda = 12$, $T_{II} = 300$ К; $\lambda = 10$, $T_{II} = 330$ К; $\lambda = 8$, $T_{II} = 350$ К; $\lambda = 6$, $T_{II} = 390$ К.

Контрольні питання

1. Обґрунтуйте актуальність переробки полімерних матеріалів на сучасному етапі.
2. Які матеріали можна віднести до відходів, що можуть бути використані для виготовлення низу взуття?
3. Охарактеризуйте технологічні задачі переробки відходів полімерів взуттєвого виробництва.
4. Назвіть основні способи подрібнення полімерів за характером процесу руйнування матеріалу.
5. Як класифікуються подрібнювачі?
6. Як здійснюється експериментальне дослідження міцності відходів полімерних матеріалів при змінних температурі і швидкості деформування?
7. Як відбувається дослідження процесу тертя полімерів?
8. Як здійснюється експериментальне дослідження процесу подрібнення матеріалів в роторних дробарках?
9. Як проводяться експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів на процес подрібнення відходів гуми в екструдері?
10. Як відбувається визначення раціональних конструктивних параметрів високоефективного обладнання і технологічних режимів процесу подрібнення?

Лекція 9

Високоефективний технологічний процес переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням адитивних технологій і обладнання для його реалізації

- Актуальність переробки полімерних матеріалів з використанням адитивних технологій
- Розробка обладнання для переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням адитивних технологій
- Результати експериментальних досліджень

9.1. Актуальність переробки полімерних матеріалів з використанням адитивних технологій

Адитивні технології – є одними з головних світових трендів, що згадуються в контексті нової промислової революції. Ринок товарів, виготовлених за допомогою таких технологій, практично ще не сформований, не має чітких меж, варіюється в межах 20–30 % та має тенденцію до швидкого зростання.

Як відомо, існує декілька методів 3D-друку, проте всі вони є похідними адитивної технології виробництва виробів. Незалежно від

того, який 3D-принтер використовується, виготовлення виробу здійснюється шляхом пошарового накладання тонкої цівки розплавленого матеріалу, видавленої із екструдера, на робочу платформу. Задача принтера переміщувати екструдер в точній відповідності з цифровою моделлю. Тому надрукований фізичний об'єкт повністю відповідає своєму віртуальному прообразу, створеному за допомогою графічних редакторів об'ємного комп'ютерного проектування. На виході отримуються деталі складної геометричної форми, які виготовляються за короткі терміни.

Сучасні вироби відрізняються складністю конструкції, наявністю великої кількості деталей та складових елементів. Наприклад взуття, особливо спортивного типу, має складну геометричну форму, може включати активні елементи у вигляді трубок, стержнів, пластин, пружин та інших деталей, що підвищують його експлуатаційні показники. Подібні деталі призначені для поглинання ударних навантажень, що виникають під час виконання різних фізичних вправ, бігу, стрибків, а також сприяють відштовхуванню, що дозволяє поліпшувати показники спортсменів у різних видах спорту. Вказані елементи конструктивно можуть бути виконані як єдине ціле з підошвою або ж у вигляді різного роду вставок – полімерних чи металевих.

Крім проблем, пов'язаних з проектуванням полімерних виробів складної геометричної форми, виникають й проблеми, пов'язані з їх виробництвом. Для виготовлення складних форм деталей виробів потрібно створити нові методи для їх виготовлення. Тому одним із сучасних способів вирішення цього питання є тривимірний друк. Проаналізувавши застосування 3D-принтерів в різних галузях промисловості можна зробити висновок, що найбільший потенціал 3D-обладнання має у виробництві промислових виробів. Не виключенням є і легка промисловість, зокрема швейна та взуттєва. Деякі існуючі витратні матеріали для 3D-друку цілком придатні для виготовлення одягу, взуття та їх елементів. Крім того їх асортимент постійно поповнюється. З'являються матеріали з необхідними технічними параметрами. Все це сприяє впровадженню тривимірного друку в легкій промисловості.

Сьогодні використання 3D-принтерів у масовому виробництві обмежується порівняно високою вартістю обладнання та тривалістю процесу виготовлення самого виробу. Технологія тривимірного друку може бути успішно використана у виготовленні дрібносерійних виробів та виробів індивідуального замовлення, оскільки виготовлення високо-вартісної оснастки в такому випадку стає недоцільною.

В багатьох роботах здійснюються аналіз та систематизація сучасних технологій 3D-друку і 3D-принтерів. Розробляються узагальнені класифікації 3D-принтерів, що дає повне уявлення і характеристику про кожен тип, призначення тощо. Також до цієї класифікації вперше вне-

сено новий вид 3D-друку, а саме 3D-друк полімерними гранулами, який у промисловості, що стрімко розвивається, стане конкурентоспроможним на ряду з іншими видами 3D-друку і видами витратних матеріалів. Цей вид принтерів знаходиться на стадії розробки.

Однією із головних переваг такого виду принтера є можливість повторного друку деталей гранулами із відходів, які були отримані при попередньому друку. Тому можна здешевити філамент за рахунок використання вторинної сировини. Так, із вторинної сировини малореально отримати рівний за діаметром пруток з тієї простої причини, що властивості розплаву будуть неоднорідними за масою, звідси нерівномірний тиск в промисловому екструдері, нерівномірна пластичність розплаву і його усадка. Відповідно, і під час друку такої прутки буде вести себе абсолютно непередбачувано. В ході першої стадії переробки вихідного полімеру і першого терміну використання полімерного ланцюга відбуваються незворотні зміни, викликані хімічними впливами, термічної, тепло- і фотоокислювальної деструкції, що призводить до появи активних груп. Ці групи при наступних переробках здатні запускати реакції окислення. Відповідно чим менша кількість переробок тим кращий матеріал і в результаті це вплине на якість майбутньої деталі чи виробу. Але також у випадках вторинної переробки полімерів є можливість створення нового матеріалу із новими властивостями завдяки додаванню до їх складу різних домішок, фарбників, пластифікаторів з метою покращення еластичності, пластичної деформації, морозостійкості, ударної міцності і зниження в'язкості для покращення їх подальшої переробки і експлуатації.

Основною сировиною для живлення екструдерів 3D-принтера є прутки полімерного матеріалу певного діаметра. Як сировину, для виготовлення прутка, використовують гранули полімеру. Сам процес його отримання довготривалий, що є неприпустимим у теперішньому конкурентному середовищі.

Одним із основних недоліків 3D-друку прутком є те що на стадії виготовлення полімер вже піддається температурному нагріву, що призводить до втрати його фізико-механічних властивостей. Тому, актуальним є тривимірний друк з використанням гранул матеріалу. Друк з використанням гранульованого матеріалу ідеально підходить в тих випадках, коли можна поєднати адитивний і субтрактивний (швидке прототипування) методи виробництва деталей. Це дасть змогу швидко роздрукувати деталь на 3D-принтері.

Зростання виробництва виробів із полімерних матеріалів неухильно веде і до зростання їх частки у відходах і питання переробки стає невід'ємним від проблеми утилізації інших відходів життєдіяльності людства. Сучасні полімерні матеріали на основі різних пластмас, во-

локон і еластомерів, використовують в різних галузях. Легка промисловість не є винятком [10]. Тому питання переробки полімерів і з подальшим їх застосуванням в легкій промисловості є актуальною задачею.

9.2. Розробка обладнання для переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням адитивних технологій

Для переробки полімерів із різними властивостями необхідне таке обладнання, яке б відповідало необхідним вимогам, тобто мало оптимальні геометричні параметри та теплові режими.

З метою проведення експериментальних досліджень було розроблено пристрій (рис. 9.1), що дозволяє друкувати 3D-деталі гранульованими чи подрібненими полімерними матеріалами, отриманими із відходів швейного та взуттєвого виробництва.

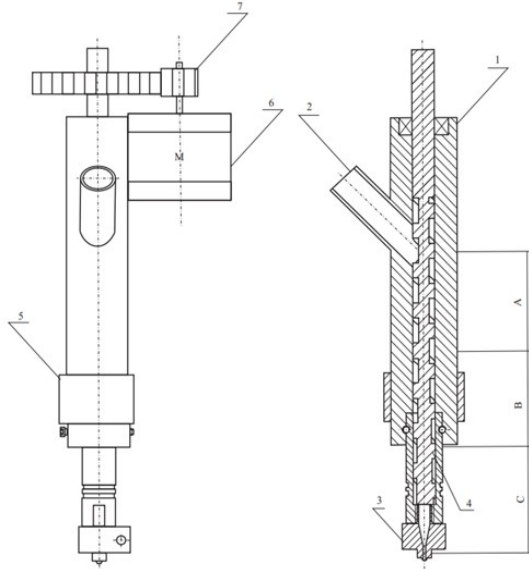


Рис. 9.1 – Загальний вигляд експериментального пристрою для переробки полімерних мас: 1 – корпус; 2 – завантажувальний отвір; 3 – розвантажувальний отвір; 4 – шнек; 5 – нагрівальний елемент; 6 – кроковий двигун; 7 – зубчаста передача; А – зона завантаження; В – зона плавлення, С – зона гомогенізації

Принцип роботи такого устаткування полягає в наступному. Подрібнені гранули полімеру засипаються у бункер 2 або зону завантаження. Після цього матеріал-сировина подається обертовим шнеком 4

у нагрівальну зону для розплаву та подальшої екструзії. Полімер розплавляється і у вигляді тонкої цівки видавлюється на робочу платформу. В подальшому, за допомогою пошарового накладання розплавленого полімерного матеріалу, формується фізичний об'єкт, тобто змодельована раніше деталь.

Для забезпечення необхідного переміщення матеріалу велике значення мають умови просування твердого матеріалу із зони завантаження до інших зон екструдера і заповнення міжвиткового простору у шнекові. Вперше повний аналіз переміщення твердих часток в традиційному одношнековому екструдері був виконаний в роботі [18].

З метою визначення умов просування полімерного матеріалу із зони завантаження в зону видавлювання проведено експериментальні дослідження, що дають змогу зрозуміти як відбувається заповнення міжвиткового простору у шнекові полімерним матеріалом (рис. 9.2).

Це дає змогу встановити етапи перетворення полімерних частинок, що знаходились у твердому кристалічному стані у в'язкотекучий стан готового матеріалу для нанесення шарів методом 3D-друку для отримання фізичного об'єкта (рис. 9.3).

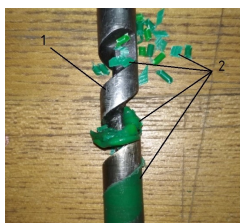


Рис. 9.2 – Фото заповнення міжвиткового простору у шнекові полімерним матеріалом

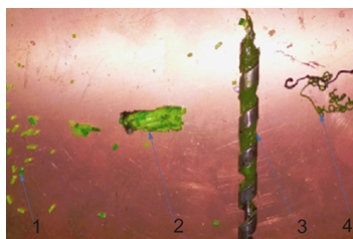


Рис. 9.3 – Етапи перетворення полімерних частинок: 1 – полімерні частинки; 2 – початок етапу злипання і розплавлення полімерних частинок в суцільне тіло; 3 – заповнення міжвиткового простору робочого шнека під час роботи, етап гомогенізації полімерних частинок в одне ціле; 4 – вихідний матеріал після видавлювання

Проведений аналіз отриманих зразків дозволяє встановити, що при нормальному температурному режимі спочатку утворюється довга пробка із полімеру, яка проштовхується каналом шнека. Довжина пробки повинна бути достатньо великою для того, щоб проштовхуюча сила, яка виникає внаслідок повздовжнього руху, забезпечувала переміщення полімеру в зону плавлення.

Транспортування різних за формою та розмірами полімерних матеріалів (подрібнені відходи) або порошків з поганою сипучістю та

низькою насипною вагою в зоні живлення становить досить складну задачу. Тому, при проектуванні устаткування для тривимірного друку полімерними гранулами необхідно враховувати всі сили, які впливають на процес друку деталей. Це, в свою чергу, дасть змогу розрахувати оптимальні параметри пристрою для переробки полімерних мас (див. рис. 9.1) та забезпечити безперерйну роботу 3D-принтера.

Визначальними параметрами при екструзії полімерів є тиск та продуктивність на виході з екструдера, а також якість підготовки розплаву. Дані параметри значно залежить від конструкції і геометрії шнека. Було проведено розрахунок продуктивності процесу Q та тиску розплаву P від діаметра шнека D , довжини робочої зони шнека L від продуктивності процесу Q , тиску розплаву P від довжини робочої зони шнека L , тиску розплаву P від щільності (швидкості зсуву) матеріалу, продуктивності шнека Q_w від параметрів щільності (швидкості зсуву) полімеру [10]. За отриманими даними побудовано відповідні залежності певних величин. Для прикладу на рис. 9.4 наведено графіки залежності продуктивності процесу Q та тиску розплаву P від діаметра шнека D .

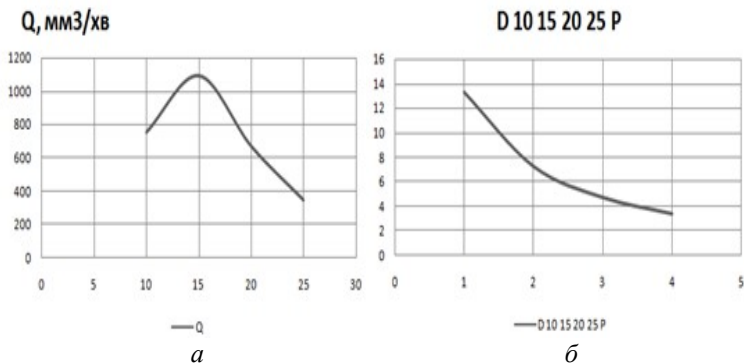


Рис. 9.4 – Графіки залежності: а – продуктивності процесу Q від діаметра шнека D ; б – тиску розплаву в екструдері P від діаметра D

Проведені розрахунки дають змогу визначити оптимальні геометричні параметри пристрою для переробки полімерних мас на основі яких було проведено його виготовлення.

Важливим етапом при впровадженні енергоекономного (енергоощадного) обладнання для переробки філаментів методом екструзії є моделювання процесу розігріву, що давало б змогу керувати режимами розігріву екструдера по його робочих ділянках. У зв'язку з цим виникає необхідність математичного моделювання режимів розігріву самого

екструдера перед етапом безпосереднього процесу виготовлення продукції та дослідження температурного розподілу в установці залежно від потужності нагрівачів у різних зонах.

З цією метою проведено математичне моделювання процесу нагріву полімерного матеріалу у екструдері, отримано систему рівнянь та теплову діаграму (рис. 9.5) розподілу температур по всій довжині екструдера. Такий підхід дозволяє прогнозувати розподіл температури на різних ділянках реального пристрою та підібрати оптимальні температурні режими при виконанні технологічного процесу.

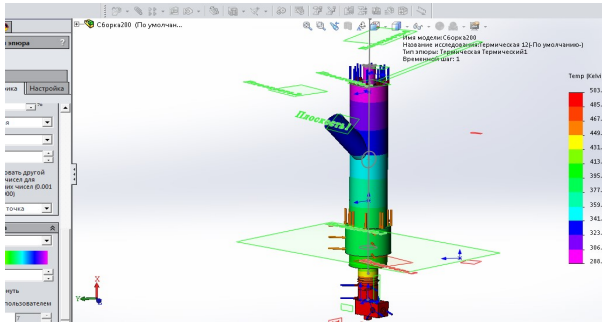


Рис. 9.5 – Розподіл температур по довжині установки

Виходячи із теплової діаграми можна зробити висновок, що фізичний об'єкт, тобто деталь, що буде друкуватися, буде мати достатній та рівномірний обігрів при заданих температурах. А отже буде забезпечено необхідну пластифікацію і гомогенізацію полімерних матеріалів в різних зонах екструдера.

Установку для проведення експериментальних досліджень було розроблено на базі струменевого 3D-принтера з FMD-технологією друку (див. рис. 9.2).

У цій установці демонтовано головку для друку полімерним прутком і встановлено розроблений пристрій для переробки полімерних мас, що поступають в екструдер у вигляді гранул.

9.3. Результати експериментальних досліджень

На розробленій та виготовленій установці проведено експериментальні дослідження з нанесення полімерного матеріалу методом екструзії на матеріали, що застосовуються в швейній промисловості. Підібрано зразки різних швейних матеріалів, зокрема джинсову тканину, кашемір та синтетичні тканини [21]. Для отримання 3D-покриття, як

вихідної сировини живлення екструдера, використано відходи з ABS пластику. Технічні характеристики матеріалів приведені в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Види швейних матеріалів тканин, використаних в експерименті

Тип матеріалу	Матеріал нанесення	Товщина матеріалу	
		до нанесення полімерного шару, мм	після нанесення полімерного шару, мм
Кашемірова тканина	ABS	2,17	2.27
Синтетична тканина (дубльована флізеліном)	ABS	1,2	1,69
Джинсова тканина	ABS	1,69	1,93

На рис. 9.6 приведено отримані зразки швейних матеріалів.

Проведено дослідження отриманих зразків матеріалів з нанесеним полімерним покриттям на стійкість до руйнування клиновидним лезом. З цією метою розроблено експериментальну установку, що представлена на рис. 9.7. Принцип роботи установки полягає в наступному.

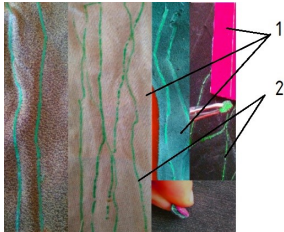


Рис. 9.6 – Зразки швейних матеріалів із нанесеним полімерним шаром:
1 – матеріал;
2 – полімерне покриття

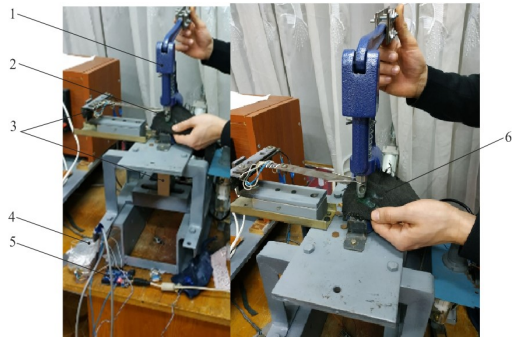


Рис. 9.7 – Експериментальна установка для дослідження стійкості матеріалів при руйнуванні клиновидним лезом: 1 – прес для виконання операції прорізання; 2 – робочі органи (пробійник і підставка); 3 – тензометрична балка; 4 – підсилювач; 5 – аналогово-цифровий перетворювач; 6 – зразок матеріалу

Попередньо в шток 1 преса було вкручено пробійник 2, а в нижній частині преса розміщено підставку, що знаходиться на тензометричній балці. Дана тензометрична балка дозволяє вимірювати силу прорізання матеріалу. Інша тензометрична балка, що з'єднана з пуан-

соном, дозволяє визначати величину занурення пробійника у матеріал. Матеріал, в свою чергу, розміщується на підставці. За допомогою рукоятки преса створюється зусилля необхідне для прорізання матеріалу. Аналогові сигнали, що при цьому виникають в тензометричних балках, підсилюються, поступають на аналогово-цифровий перетворювач, перетворюються в цифровий сигнал та надходять на комп'ютер. За допомогою встановленого програмного забезпечення сигнали обробляються та будуються графіки залежностей технологічних зусиль прорізання $F_{прор}$ матеріалу від глибини занурення пробійника Δ .

Отримані результати досліджень на стійкість швейних матеріалів до руйнування клиновидним лезом приведені на рис. 9.8.

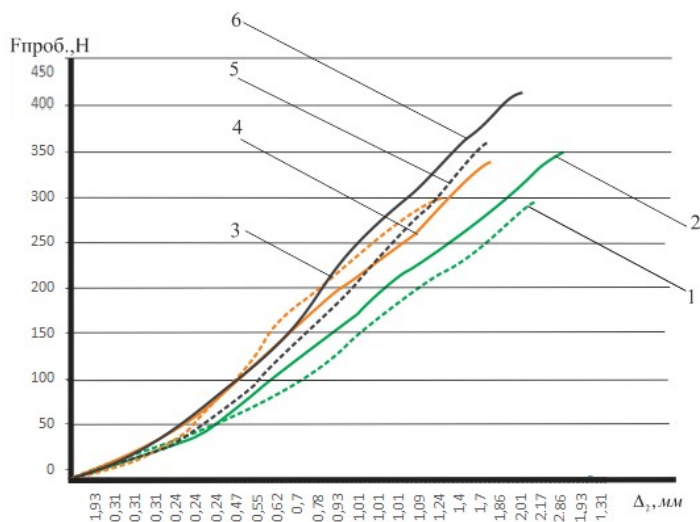


Рис. 9.8 – Графіки залежностей технологічного зусилля прорізання $F_{прор}$ для різних матеріалів від глибини занурення пробійника в матеріал Δ : 1 – матеріал кашемір без шару полімеру; 2 – матеріал кашемір з шаром полімеру; 3 – синтетичний матеріал без шару полімеру; 4 – синтетичний матеріал з шаром полімеру; 5 – джинсовий матеріал без шару полімеру; 6 – джинсовий матеріал з шаром полімеру

Графіки показують залежність технологічних зусиль прорізання $F_{прор}$ для різних матеріалів, що досліджувалися без та з нанесеними покриттями, від глибини занурення пробійника у матеріал Δ .

З отриманих діаграм видно, що технологічне зусилля при прорізанні матеріалу пробійником досягає свого максимального значення при повному зануренні пробійника у матеріал на товщину Δ .

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що після нанесення полімерного шару на матеріал, його стійкість до руйнування збільшується, що і демонструють отримані результати приведені в таблиці 9.2. В свою чергу, підвищується їх міцність та зносостійкість.

Таблиця 9.2 – Значення максимальних зусиль руйнування матеріалу

Матеріал для нанесення покриття	Швейний матеріал	Зусилля руйнування	
		до нанесення покриття $F_{\text{прор}}, \text{H}$	після нанесення покриття, $F_{\text{прор}}, \text{H}$
ABS	Кашемір	294,79	342,48
	Синтетичний матеріал	301,1	326,57
	Джинсовий матеріал	366,35	414,13

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено 3D-принтер з FMD-технологією друку полімерними гранулами в якості вихідної сировини, що дає змогу використовувати подрібнені полімерні відходи, що утворюються при виробництві одягу і взуття.

Контрольні питання

1. Що собою представляють адитивні технології?
2. Розкрийте принцип роботи 3D-принтера.
3. Які полімерні матеріали використовуються для 3D-друку?
4. Як працює 3D-принтер, що використовує гранули полімерів чи їх відходи для живлення екструдера?
5. Які параметри впливають на якісне розплавлення полімеру в екструдері?
6. Чи залежить форма черв'яка від матеріалу, що плавиться в екструдері?
7. Як залежить продуктивність процесу від діаметра шнека?
8. Як залежить тиск розплаву в екструдері від діаметра шнека?
9. Як розподіляється температура по довжині екструдера?
10. Який принцип роботи експериментальної установки для дослідження стійкості матеріалів при руйнуванні клиновидним лезом?

2. ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторна робота 1 Дослідження роботи і розрахунок ефективності сонячної батареї

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування сонячних батарей, як одного з пристроїв відновлювальної енергетики; набути практичних навичок, щодо оцінювання технічних характеристик і розрахунку ефективності сонячних батарей.

Обладнання та матеріали: лабораторна установка для дослідження сонячних батарей, сонячні батареї, сонячні елементи виготовлені з полікристалічного і монокристалічного кремнію, амперметр, цифровий вольтметр, декадний магазин опорів, зеднувальні провідники, люксметр, лабораторний автотрансформатор.

Основні теоретичні відомості

У світі все більше звертають увагу на використання відновлювальних джерел енергії – тепла Землі, енергії вітру, припливів і відливів, біогазу, сонячного випромінювання тощо. Практично всі ці джерела енергії повністю зумовлені прямою дією сонця. Серед зазначених джерел одним з найбільш перспективних є пряме перетворення сонячного випромінювання в електрику у напівпровідникових сонячних елементах [11].

Випромінювання з поверхні сонця характеризується широким енергетичним спектром, що приблизно відповідає енергетичному спектру випромінювання «чорного тіла» при температурі 5800 °К. Максимум інтенсивності лежить у видимій області спектра (0,35–0,75 мкм), в якій зосереджена майже половина всієї енергії. Решта сонячного випромінювання розподіляється між ультрафіолетовою частиною спектра з довжиною хвиль меншою за 0,3 мкм (менша частина) і інфрачервоною з довжиною хвиль більшою 0,75 мкм (більша частина). Інтенсивність сонячного випромінювання біля атмосфери Землі дорівнює 1360 Вт/м² – величина відома як сонячна стала АМ0. Під час проходження крізь атмосферу Землі інтенсивність сонячного випромінювання зменшується за рахунок його поглинання, розсіювання та відбивання під час взаємодії з частками пилу, з киснем, озоном, вуглекислим газом, парами води. Під час взаємодії з озоном та киснем поглинання сонячного випромінювання відбувається переважно в інфрачервоній частині. Тому сонячне випромінювання, яке досягає земної кори, має меншу енергію, його спектр змінюється.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Основою напівпровідникового сонячного елемента є пластина напівпровідника з $p-n$ переходом. Його робота заснована на явищі фотоелектричного ефекту, відкритому ще в позаминулому столітті Г. Герцем та дослідженому О.Г. Столетовим. Теорію фотоелектричного ефекту розробив А. Ейнштейн у 1905 році, за що був відзначений Нобелівською премією. Суть ефекту полягає в тому, що кванти сонячного світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються у напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: електрони в зоні провідності та дірки у валентній зоні. Для просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно-дірковому $p-n$ переході, в контактні метал-напівпровідник, в контактні двох різних напівпровідників (гетеропереході).

На рис. 1.1 схематично зображено сонячний елемент з $p-n$ переходом та напрям руху фотогенерованих носіїв заряду. Фотогенеровані в p -області електрони витягуються електричним полем в n -область, і, навпаки фотогенеровані в n -області дірки витягуються електричним полем в p -область. На омичних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається напругою холостого ходу $U_{x,x}$. Якщо замкнути контакти, то через сонячний елемент почне протікати струм короткого замикання $I_{к.з}$. Для того щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів під'єднують навантаження, яке має електричний опір R_n .

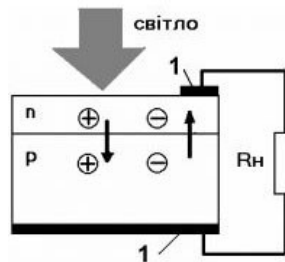


Рис. 1.1 – Принцип дії сонячного елемента

Тобто сонячний елемент виконує роль помпи, яка перекачує електрони в напрямі n -область – зовнішнє навантаження – p -область.

Узагальнена конструкція сонячного елемента зображена на рис. 1.2. (скляна чи пластикова кришка елемента і фільтр між кришкою і елементом не показані).

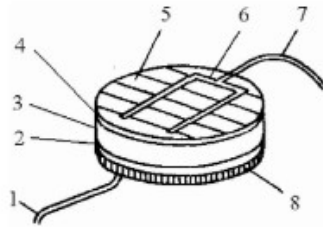


Рис. 1.2 – Узагальнена конструкція сонячного елемента:

- 1 – електричний контакт до лицьової сторони попереднього елемента;
- 2 – додатковий потенціальний бар'єр $p - 0,2$ мкм;
- 3 – шар $p - 250-400$ мкм;
- 4 – шар $n - 0,2-1,0$ мкм;
- 5 – противідбивне покриття;
- 6 – лицьовий контакт;
- 7 – електричний контакт до зворотної сторони наступного елемента;
- 8 – металевий контакт зворотної сторони

Слід відзначити, що на відміну від хімічних джерел світла напівпровідникові сонячні елементи не псуються під час електричного замикання контактів. Залежно від вибору величини опору навантаження, енергія, що виробляється сонячним елементом, може складати 80 % добутку $U_{x,x} I_{к.з.}$. Основними *технічними показниками сонячного елемента* є значення U_m і I_m – значення струму та напруги, для яких реалізується максимальна вихідна потужність:

$$P_i = U_i \cdot I_i . \quad (1.1)$$

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) сонячного елемента визначається як відношення максимальної вихідної потужності P_m до потужності падаючого сонячного світла PO :

$$\hat{E} \hat{e} \hat{a} = \frac{P_i}{PO} . \quad (1.2)$$

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається фотоелектричним елементом, тим більшим буде у ньому струм $I_{к.з.}$.

Це може бути досягнуто шляхом використання напівпровідників з меншою шириною забороненої зони (тоді підвищується доля фотонів у сонячному випромінюванні, які мають енергію вищу ширини забороненої зони напівпровідника). З іншого боку, напруга $U_{x,x}$, визначається висотою потенціального бар'єра в $p-n$ переході і буде тим більшою, чим ширина забороненої зони напівпровідника. Оскільки для от-

римання максимальної вихідної потужності сонячного елемента треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини $U_{x,x}$, чи $I_{k,z}$ окремо, а добуток $P_m = U_m \cdot I_m$ враховуючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів.

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90 % світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі. Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі, його хімічна стабільність і відсутність будь-якого впливу на людей і навколишнє середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки. Ефективність промислових сонячних елементів на полі- і монокристалічному кремнії вже досягла 14 %–18 %. Енергетичний баланс для сонячного елемента зображений на рис. 1.3.

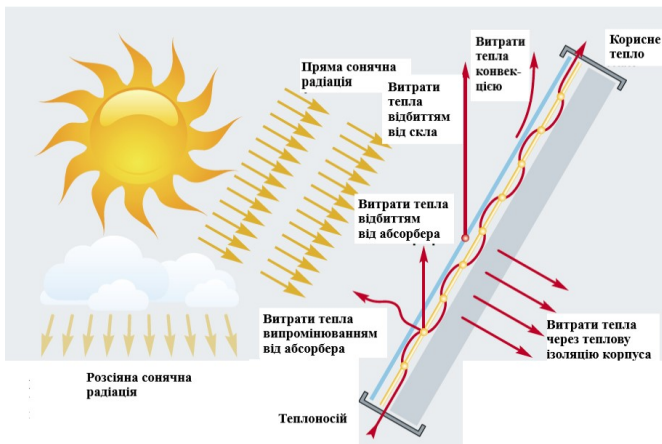


Рис. 1.3 – Енергетичний баланс для сонячного елемента

На сонячних енергетичних установках використовуються різні типи сонячних елементів, проте всі вони повинні відповідати таким вимогам: висока надійність при тривалому (десятьки років) ресурсі роботи; доступність сировини і можливість організації масового виробництва; мінімальні затрати на створення системи перетворення енергії; мінімальні витрати енергії, що пов'язані з керуванням системою перетворення та передачі енергії; зручність технічного обслуговування.

Для підвищення ефективності з сонячних елементів збирають сонячні модулі, а з модулів сонячні батареї (рис. 1.4).

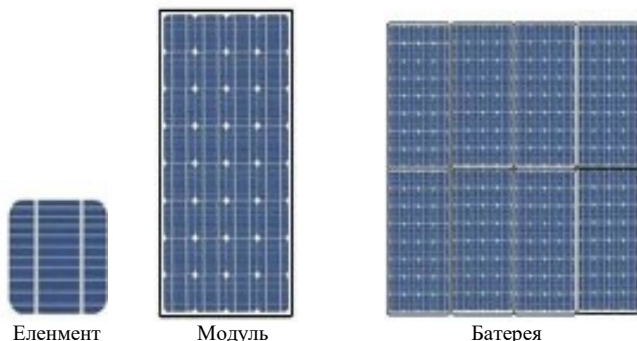


Рис. 1.4 – Сонячний елемент, модуль і батарея

Сучасні сонячні елементи виготовляються як з монокристалічного так і полікристалічного кремнію. Вартість елементів, виготовлених з полікристалічного кремнію нижча, проте нижче і значення к.к.д. для цих елементів. Кругла і псевдоквадратна форма сонячних елементів, які виготовлені з кремнію монокристалічного типу (рис.1.5, *а*), визначається тим, що вихідні пластини для виробництва сонячних елементів ріжуться зі зливка монокристалічного кремнію циліндричної форми. Сонячні елементи виготовлені з полікристалічного кремнію (рис. 1.5, *б*) зазвичай мають квадратну форму, оскільки виготовляється зі злиwkів, отриманих шляхом лиття в прямокутні форми. Ззовні поверхня полікристалічного сонячного елементу виглядає зернистою.



Рис. 1.5 – Сонячні елементи виготовлені з монокристалічного (*а*) і полікристалічного (*б*) кремнію

Кількість сонячної енергії, яку сприйматиме сонячний елемент залежить від кута падіння (оптимальний кут падіння 90°) променів. Якщо сонячне світло буде падати на сонячний елемент під кутом менше ніж 30° , то велика його кількість буде відбиватись (рис. 1.6).

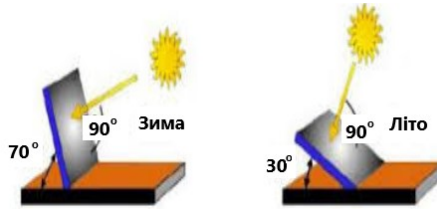


Рис. 1.6 – Ефективність роботи сонячного елемента залежно від кута нахилу відносно Землі

Сонце небесною сферою протягом будь-якого дня рухається рівномірно в площині, паралельній небесному екватору. Сама площина кожного дня змінює своє положення відповідно до кута сходження Θ між площиною небесного екватора та напрямом на сонце в найвищій точці підйому по небесній сфері протягом конкретного дня. Взимку, Сонце опускається в zenіті у порівнянні з літньою порою. Кут падіння сонячних променів загострюється. Ось чому важливо поєднувати сонячні батареї з системами слідування за положенням Сонця, які дозволяють орієнтувати сонячні батареї на максимально оптимальний кут. Автоматична система, яка слідує за положенням Сонця над горизонтом і відповідно змінює положення сонячної батареї в двох площинах називається *системою слідування сонячної установки*.

1.1. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для дослідження роботи сонячних елементів і батарей зображена на рис. 1.7.

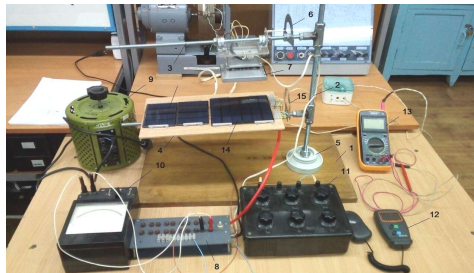


Рис.1.7 – Стенд для дослідження сонячних батарей: 1 – основа; 2 – стійка; 3 – стрижень для кріплення джерела світла; 4 – основа із закріпленими сонячними батареями; 5 – тримач стійки; 6 – кутомір джерела світла; 7 – джерело світла (освітлювач); 8 – комутючий пристрій; 9 – лабораторний автотрансформатор; 10 – міліамперметр; 11 – набір опорів; 12 – люксметр; 13 – мультиметр; 14 – сонячна батарея; 15 – кутомір сонячної батареї

Кутомір сонячної батареї поданий на рис. 1.8.



Рис. 1.8 – Кутомір сонячної батареї

Установка складається з основи 1 зі стійкою 2; стрижнів для закріплення джерела світла 3; основи із закріпленими сонячними батареями 4; тримача стійки 5; кутоміра джерела світла 6; освітлювача 7; комутуючого пристрою 8; лабораторного автотрансформатора 9; міліамперметра 10; магазину опорів 11; люксметра 12; мультиметра 13; сонячної батареї 14; кутоміра сонячної батареї 15.

Для дослідження основних робочих параметрів сонячних елементів і батарей використовується електрична схема зображена на рис. 1.9.



Рис. 1.9 – Конструкція і точки під'єднання панелі сонячної батареї та сонячних елементів

Електрична схема складається з FL1-сонячної батареї; FL2–FL5-сонячних елементів; PV1-вольтметра; PA1-амперметра; R1-декад-

ного магазину опорів; X1–X4–з'єднувальних елементів. Залежно від задачі досліджень в електричну схему вмикається сонячна батарея FL1 чи сонячні елементи FL2–FL5 за допомогою з'єднувальних елементів X1–X4. Сонячні елементи FL2–FL3 виконані з полікристалічного кремнію, а сонячний елемент FL5 – з монокристалічного. Конструкція панелі сонячних елементів дозволяє реалізувати послідовне, паралельне та послідовно-паралельне включення сонячних елементів. Конструкцію і точки під'єднання панелі сонячної батареї показано на рис. 1.9. На рис. 1.10 показано електричну схему для дослідження роботи сонячних елементів і батарей.

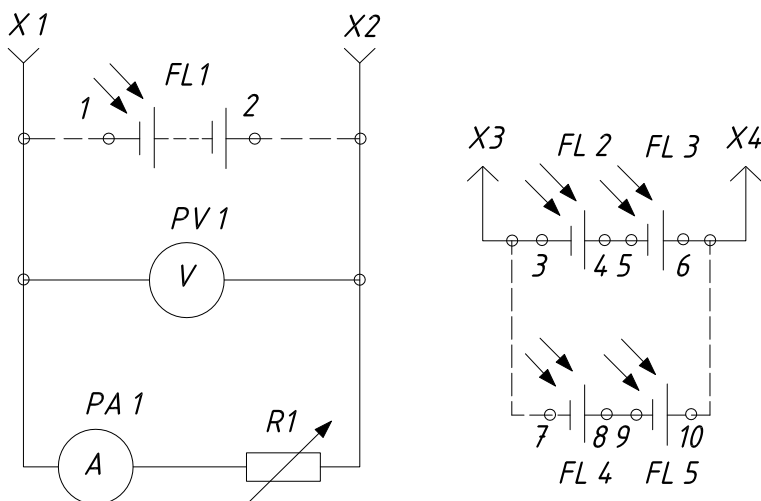


Рис. 1.10 – Електрична схема для дослідження роботи сонячних елементів і батарей

1.2. Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з конструкцією лабораторної установки для дослідження роботи сонячних елементів і батарей та засобами вимірної техніки, які використовуються в роботі.

2. Під керівництвом викладача скласти електричну схему (див. рис. 1.9) для дослідження роботи сонячної батареї FL1.

3. Декадний магазин опорів R1, який використовується як навантаження, перевести у значення мінімального опору.

4. За допомогою кутоміра б встановити освітлювач під кутом 90°.

5. За допомогою кутоміра $I5$ встановити основу сонячної батареї під кутом 90° .

6. Увімкнути освітлювач 6 .

7. Змінюючи опір навантаження $R1$ від мінімального до максимального значень, занести значення напруги, струму, опору навантаження і розрахованого за залежністю $P = U \cdot I$ значення в таблиці 1.1. Опір навантаження необхідно змінювати так, щоб зміна напруги на сонячній батареї була в межах $0,2 \pm 0,01$ В.

Таблиця 1.1 – Залежність вихідної потужності сонячної батареї від навантаження

Номер досліджу	Навантаження R_H , Ом	Напруга U , В	Струм I , мА	Потужність P , мВт
1				
2				
...				
n				

8. На основі отриманих значень побудувати вольт-амперну (залежність $I = f(U)$) і навантажувальну (залежність $P = f(U)$) характеристики для сонячної батареї.

9. За графіками вольт-амперної та навантажувальної характеристик визначити струм I_M і напругу U_M , що відповідають максимальному значенню потужності P_M , яка віддається фотоелектричною батареєю на навантаження.

Вимірювання проводяться відповідно до стандартних умов дослідження сонячного елемента, модуля батареї – густина потоку сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 і температура сонячних елементів $25 \pm 2^\circ \text{C}$.

10. На основі значень таблиці 1.1 визначити оптимальний опір навантаження R_M , який відповідає максимальній потужності P_M .

11. Змінити опір навантаження $R1$ до мінімального значення і визначити струм короткого замикання $I_{к.з}$.

12. Від'єднати декадний магазин опорів $R1$ до мінімального значення і визначити напругу холостого ходу $U_{х.х}$.

13. Провести порівняння значення $U_{х.х} \cdot I_{к.з}$ з $P_H = U_H \cdot I_H$.

14. Встановити на декадному магазині опорів визначене значення R_M , приєднати декадний магазин опорів $R1$.

15. За кутміром 5 , змінюючи нахил панелі сонячної батареї від 90° до 15° з кроком, який задає викладач (рис. 1.11), записати значення напруги, струму і розрахованого значення потужності в таблицю 1.2.

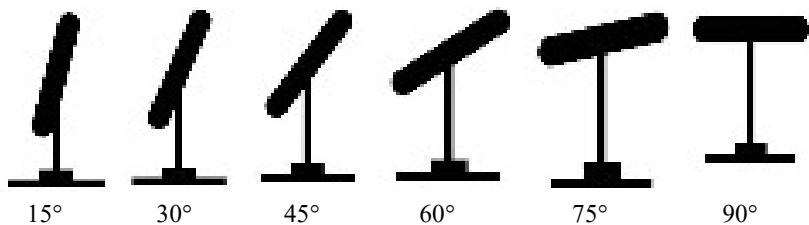


Рис. 1.11 – Нахил панелі з фотоелектричною батареєю

Таблиця 1.2 – Залежність вихідної потужності сонячної батареї від кута нахилу

Номер досліджу	Кут нахилу φ°	Напруга U , В	Струм I , мА	Потужність P , мВт
1	90°			
2				
...				
n	15°			

16. На основі отриманих значень побудувати навантажувальну (залежність $P = f(U)$) характеристику для сонячної батареї.

17. Встановити кут нахилу панелі з фотоелектричною батареєю рівним 90°.

18. Увімкнути освітлювач 6 через лабораторний автотрансформатор, встановити робочу напругу таким чином, щоб забезпечити мінімальне освітлення. Встановити вимірювальний перетворювач люкметра поряд із штативом лабораторної установки.

19. Змінюючи освітленість за допомогою лабораторного автотрансформатора від мінімального до максимального значення (крок зміни задає викладач) занести значення напруги, струму і розрахункового значення потужності в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Залежність вихідної потужності сонячної батареї від освітленості

Номер досліджу	Освітленість E , лк	Напруга U , В	Струм I , мА	Потужність P , мВт
1	90°			
2				
...				
n	15°			

Деякі значення освітленості E поверхні (поблизу Землі):

– сонячним промінням: опівдні (на середніх широтах) – 100000 лк на відкритому місці в похмурий день – 1000 лк; у світлій кімнаті (поблизу вікна) – 100 лк;

– на вулиці при штучному освітленні – до 4 лк;

- від повного Місяця – 0,2 лк;
 - від зоряного неба в безмісячну ніч – 0,0003 лк.
20. На основі отриманих значень побудувати навантажувальну (залежність $P = f(E)$) характеристики для сонячної батареї.
21. За допомогою кріплення відвести вбік від освітлювача панель сонячної батареї.
22. Приєднати замість сонячної батареї FL1 сонячний елемент FL2 виготовлений з полікристалічного кремнію. Провести дослідження за п. 3–13 і п. 18–20.
23. Приєднати замість сонячного елемента FL2 сонячний елемент FL2, виготовлений із монокристалічного кремнію. Провести дослідження за п. 3–13 і п. 18–20.
24. Провести порівняння технічних характеристик сонячних елементів, виготовлених з полікристалічного і монокристалічного кремнію.
25. З'єднати послідовно сонячні елементи FL2-FL4 в батарею і провести дослідження за п. 3–13 і п. 18–20.
26. З'єднати паралельно сонячні елементи FL2-FL4 в батарею і провести дослідження за п. 3–13 і п. 18–20.
27. Виконати паралельно-послідовне з'єднання сонячних елементів FL2-FL5 згідно з електричною схемою (див. рис. 1.9). Провести дослідження за п. 3–13 і п. 18–20.

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи, таблиці з експериментальними та розрахунковими даними, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Який принцип роботи сонячного елемента?
2. Від чого залежить ефективність сонячних елементів (батареї)?
3. Які умови задовольняють сонячні елементи, що використовуються в енергетичних установках?
4. Які технічні характеристики визначають роботу і ефективність сонячного елемента (батареї)?
5. У чому полягає методика отримання основних робочих параметрів сонячного елемента?
6. Як залежить вихідна потужність сонячного елемента (батареї) від опору навантаження, кута падіння сонячних променів і освітленості?
7. Як залежить вихідна потужність сонячної батареї від схеми електричного включення сонячних елементів?

Лабораторна робота 2

Аналіз роботи всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора, а також основних елементів, що входять в неї: вакуумного колектора, бака-акумулятора, теплообмінників, циркуляційних насосів, системи управління, вимірювальних датчиків.

Обладнання та матеріали: сонячна геліосистема гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора, комп'ютер.

Основні теоретичні відомості

Загальна енергія сонячного випромінювання, яке падає на нашу планету, становить приблизно 81000106 МВт·год. Третину від цієї енергії (27000106 МВт·год) отримують континенти – решту світовий океан. Оскільки сукупне споживання всіх видів енергії людством становить приблизно 10106 МВт·год, то, теоретично, кількості сонячної енергії, що падає тільки на континенти, достатньо для того щоб забезпечити енергією кілька тисяч людських цивілізацій [26].

Вважається, що технічно людство може використовувати близько 15 % від загальної кількості сонячної енергії, що становить близько 12106 МВт·год. Цієї енергії достатньо для того що повністю відмовитись від використання вуглеводневих видів палива і, таким чином, вирішити проблему забруднення навколишнього середовища вуглекислим газом. Тому застосування пристроїв, що використовують сонячну енергію є перспективним та актуальним напрямком.

За статистичними даними NASA сонячна інсоляція (інсоляція – опромінення поверхні сонячним світлом) на території України становить 1000–1400 кВт·год/м² за рік (рис. 2.1, табл. 2.1). З точки зору використання сонячної енергії найбільш привабливі Запоріжжя, Дніпропетровська і Луганська області, а також курортні Одеса, Херсон і Сімферополь [26].

Високим рівнем активності є показники в 5 кВт·год/м²/день, а на перерахованих територіях в літній період коефіцієнт часто перевищує позначку в 6 кВт·год/м²/день (Миколаїв і Херсон з показниками 6,03 і 6,04 кВт·год/м²/день, відповідно). Ступінь опромінення за рік коливається від 3,34 кВт·год/м²/день в Луганську до 3,58 кВт·год/м²/день в Сімферополі. Таким чином, використання сонячної енергії є перспективним та актуальним напрямом для України.

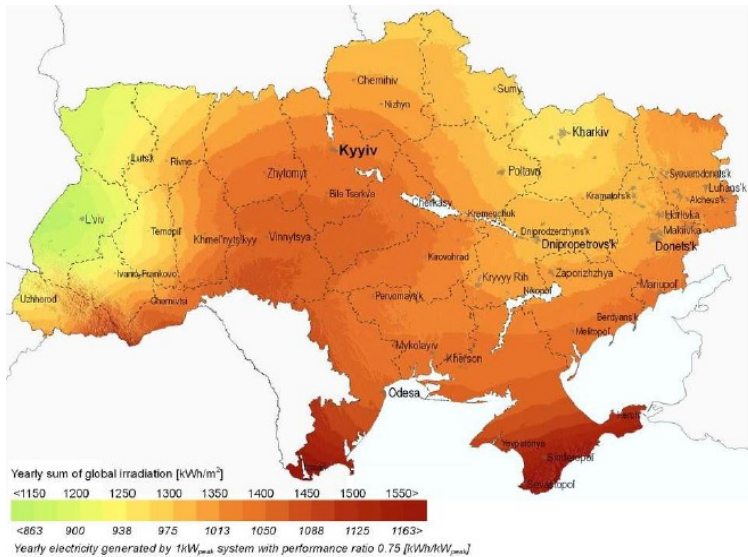


Рис. 2.1 – Карта сонячної інсоляції України

Таблиця 2.1 – Середній рівень сонячної радіації кВт·год/м²/день

Регион	Місяць												Сер.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сімферополь	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,30	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,90	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	3,14
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,00
Кропивницький	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,10	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

На сьогодні існують два найбільш поширених способи використання сонячної енергії: перетворення її на електричну енергію за допомогою фотоелементів (сонячних батарей) та перетворення її на теплову енергію за допомогою сонячних колекторів. Ця робота призначена для визначення методів і засобів використання сонячної енергії у системах гарячого водопостачання та тепlopостачання.

Сонячні колектори. Сонячний колектор – конструкція або пристрій, що перетворює енергію Сонця в тепло. Формально, сонячним колектором є бочка, пофарбована в чорний колір, що влітку нагріває воду для літнього душу. Навіть просте відро води, що гріють на Сонці, може вважатися сонячним колектором.

Відкритий сонячний колектор є найпростішим і найдешевшим типом колектора. Активна його поверхня утворена листами пластику або гуми чорного кольору, що мають стійкість до ультрафіолетового випромінювання. У товщі активної поверхні розташовані трубки, або канали якими протікає вода. Додаткові захисні елементи (захисне скло) або теплоізолятори у колекторах цього типу, як правило, відсутні.

Відкриті сонячні колектори найчастіше використовують для нагрівання води у літніх басейнах та застосовують у країнах з теплим кліматом і великою кількістю ясних сонячних днів (рис. 2.2).



Рис. 2.2 – Гумовий відкритий сонячний колектор для басейну

Перевагами колекторів даного типу є простота та низька вартість. До недоліків слід віднести низький коефіцієнт корисної дії та малий термін експлуатації. Відсутність теплоізолятора робить їх непридатними для використання при температурі повітря менше 20 °С, а відсутність захисних елементів призводить до суттєвого обмеження терміну експлуатації. Більшість відкритих сонячних колекторів мають термін експлуатації не більше ніж 1–2 сезона.

Плоский сонячний колектор (рис. 2.3) має активну частину (абсорбер), аналогічну активній частині відкритого сонячного колектора та додаткові захисні елементи: теплоізоляцію для запобігання втрат

тепла та прозорий шар для захисту від механічного пошкодження та ультрафіолетового випромінювання.

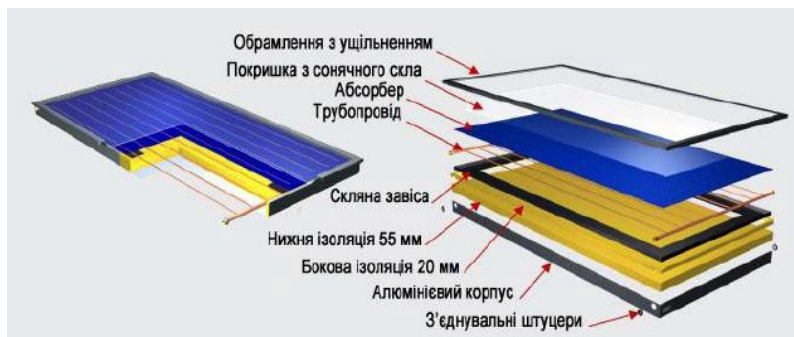


Рис. 2.3 – Плоский сонячний колектор

Абсорбер складається з листа міді або алюмінію і системи мідних або алюмінієвих труб. Найбільш поширеними є абсорбери наступних типів: мідна основа, мідні труби; алюмінієва основа, мідні труби; алюмінієва основа, алюмінієві труби.

Активна поверхня абсорбера покрита спеціальним поглинаючим шаром на основі чорного хрому або оксидів кремнію і титану, що має високий коефіцієнт поглинання сонячної енергії (близько 90–95 %).

Система труб, які отримують тепло від абсорбера виконується у вигляді ряду паралельно з'єднаних трубок або зміювика (рис. 2.4).

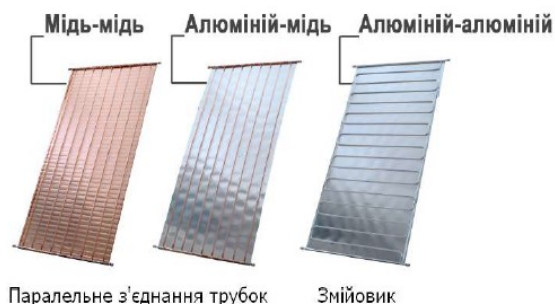


Рис. 2.4 – Способи з'єднання трубок абсорбера

Паралельне з'єднання трубок має більшу ефективність прийому тепла та менший опір потоку води. З'єднання у вигляді зміювика технологічніше та має високу надійність, оскільки у цьому випадку зменшується кількість з'єднань трубок при виготовленні колектора.

Для мідних трубок, як правило, використовують паралельне з'єднання, а для алюмінієвих – у вигляді зміювика, оскільки з'єднання алюмінієвих трубок більш складне.

Корпус захищає колектор від впливу зовнішніх атмосферних умов і втрати тепла. Від жорсткості та герметичності корпусу залежить як міцність колектора, так і його ефективність. Наприклад, порушення герметичності корпусу призводить до попадання вологи всередину та зменшення ефективності термоізоляції, що негативно визначається на роботі колектора.

Корпуси сонячних колекторів, як правило, виготовляють із алюмінієвих профілів з можливістю покриття захисним лаком.

Скляна кришка (захисне скло) забезпечує захист колектора від втрати тепла і впливу умов зовнішнього середовища. Скло, що використовується в сонячних колекторах спеціально пристосоване до механічних навантажень (сніг, вітер), а також ударів (град). Крім того, скло повинне забезпечувати максимально високу проникність сонячної енергії в сонячний колектор, тому, має більш низький вміст оксидів заліза.

При відсутності відбору тепла (коли вода у системі не циркулює) плоскі колектори здатні нагрівати воду до 190–200 °С. Чим більше енергії випромінювання передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна, застосовуючи спеціальне оптичне покриття, зі зменшеним рівнем випромінювання в інфрачервоному спектрі.

Приклад використання плоского сонячного колектора на даху будинку булінку приведено на рис. 2.5.



Рис. 2.5 – Плоский сонячний колектор на даху будинку

Вакуумний сонячний колектор складається із вакуумних скляних трубок та має коаксіальну конструкцію (рис. 2.6). Зовнішня скляна трубка захищає абсорбер від втрат тепла, а внутрішня трубка покрита селективним шаром і слугує абсорбером сонячної енергії.



Рис. 2.6 – Принцип роботи вакуумного сонячного колектора

Отримана теплота, залежно від конструкції, може відводитися трьома способами: природною конвекцією води, теплової трубою і *U*-подібної трубою (рис. 2.7). Висока ефективність абсорбуючого покриття (до 93 %) і низькі теплові втрати через вакуумну оболонку (<8 %) призводять до того, що вакуумні сонячні колектори мають найкращі характеристики.

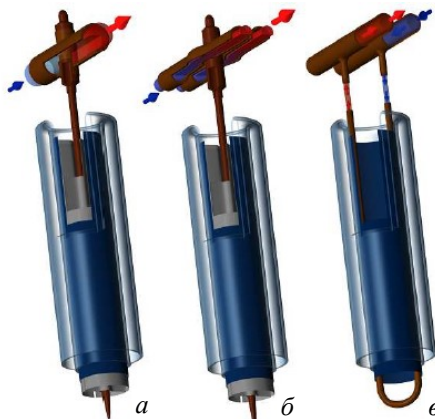


Рис. 2.7 – Варіанти побудови вакуумних колекторів: *a* – з однією трубою для відбору тепла; *б* – із двома трубами; *в* – з використанням *U*-трубок

Сучасні абсорбуючі покриття основані на наномолекулярних розробках, виконаних за технологією тонкоплівкових покриттів, що збільшує поглинальну здатність на 20 %. Висока ефективність перетворення енергії Сонця дозволяє навіть в хмарний і дощовий день отримати теплову енергію. При відсутності відбору тепла можливе підвищення температури теплоносія до температури 250–300 °С. Вакуумні трубки з боросилікатного скла витримують вплив граду 25 мм.

Приклад використання вакуумного сонячного колектора на даху будинку приведено на рис. 2.8.



Рис. 2.8 – Вакуумний колектор на даху будинку

Сучасні матеріали мають дуже високі значеннями коефіцієнта поглинання сонячного випромінювання, значно підвищуючи тим самим к.к.д. сонячних колекторів. Сонячні колектори можуть ефективно працювати в холодний період року внаслідок набагато меншої залежності к.к.д. від різниці температур. На рис. 2.9 показана залежність коефіцієнта корисної дії різних типів колекторів при потужності сонячного випромінювання в 600 Вт/м.

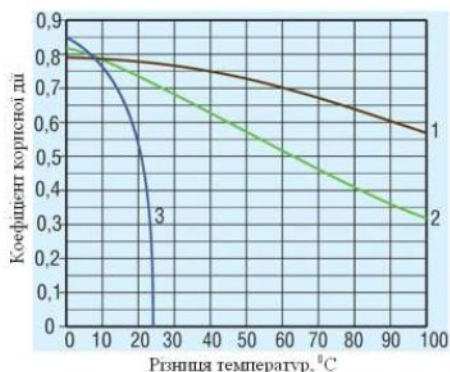


Рис. 2.9 – Залежність к.к.д. сонячних колекторів від різниці температур між теплоносієм і повітрям: 1 – вакуумний; 2 – плоский; 3 – відкритий

Як видно із рис. 2.9, на сьогодні, найбільш перспективними в умовах України є використання плоских та вакуумних сонячних колекторів. Дані типи колекторів внаслідок всесезонності, простоти і надій-

ності конструкції при невисокій ціні можуть суттєво зменшити витрати палива на підігрів води і можуть використовуватися як в системах опалення, так і в системах гарячого водопостачання. Однак необхідно пам'ятати, що ці системи можуть забезпечити необхідні функціональні завдання тільки в комбінації з традиційним обладнанням (працюючим на електроенергії, газі, рідкому або твердому паливі).

2.1. Опис лабораторної установки

Лабораторний стенд для дослідження всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора зібраний за схемою двоконтурної системи сонячного гарячого водопостачання з примусовою циркуляцією.

Лабораторний стенд сонячної геліоустановки для аналізу ефективності роботи характеристик вакуумних сонячних колекторів (рис. 2.10) складається з двох частин з'єднаних трубками для руху теплоносія.



Рис. 2.10 – Загальний вигляд стенду всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора: а – сонячний вакуумний колектор; б – бак-акумулятор

Перша частина лабораторного стенду у вигляді бака-акумулятора з водою, що нагрівається, розташована безпосередньо в приміщенні

лабораторії, а друга частина – на даху будівлі кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем ХНУ.

Перша частина лабораторного стенду містить: ємність з теплоносієм (бак-теплоакумулятор), циркуляційні насоси, запірну апаратуру, теплообмінники, манометри тиску, датчики для вимірювання температури, розширювальні бачки, систему управління (контролер).

Друга частина стенду складається з сонячного вакуумного колектора, що вміщує 10 вакуумних трубок. Сонячний колектор закріплений на спеціальній опорі під кутом до горизонталі (близько 35 °С).

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із принципами побудови сонячних геліосистем гарячого водопостачання з використанням вакуумних колекторів відповідно до лекції 2. При виконанні цього пункту також доцільно використовувати додаткові джерела інформації (технічну літературу, статті у журналах, рекламні матеріали, тощо). При вивченні матеріалів особливу увагу слід приділити сферам та межах застосування різних схем підключення геліосистем для гарячого водопостачання та опалення.

2. Провести експериментальні дослідження роботи сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора. З цією метою необхідно:

2.1. Запустити сонячну систему гарячого водопостачання в роботу.

2.2 Для п'яти положень значення густини потоку випромінювання I_T , Вт/м² зняти з датчиків наступні показники:

- витрати теплоносія – G , л/с;
- температура холодної води – $T_{хв}$, °С;
- температура гарячої води – $T_{гв}$, °С;
- температура води в баці-акумуляторі – $T_{б}$, °С;
- температура рідини в колекторі – $T_{к}$, °С;
- температура навколишнього середовища – $T_{н.с.}$, °С [36].

Виміряні величини занести в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані

Номер досліджу	G , л/с	$T_{х.в.}$, °С	$T_{г.в.}$, °С	$T_{б}$, °С	$T_{к}$, °С	$T_{н.с.}$, °С	I_T , Вт/м ²
1							
...							
m							

3. Розрахувати наступні величини [36].

Корисна енергія колектора, Вт:

$$Q_U = A \cdot G \cdot C_p \cdot (T_{\dot{a}.\dot{a}.} - T_{\dot{o}.\dot{a}.}), \quad (2.1)$$

де A – площа колектора, м²; C_p – теплоємність рідини; у цій роботі як теплоносії використовують пропіленгліколь: $C_p = 3860$ Дж/(кг·К).
К.к.д. геліоустановки:

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta - \frac{i \cdot U \cdot \left[0,5 \cdot \left((\dot{O}_{\dot{a}. \dot{a}.} + \dot{O}_{\dot{o}. \dot{a}.}) - \dot{O}_{i. \dot{n}.} \right) \right]}{\sum j q_{i \dot{a} \dot{a}}} \right), \quad (2.2)$$

де 0,8 – знижувальний коефіцієнт, що ураховує вплив запилення та затінення; θ – оптична характеристика сонячного колектора, для одинарного скла $\theta = 0,73$; i – кількість днів у місяці; U – зведений коефіцієнт теплопередачі СВН, Вт/м²·°C; $\sum j q_{i \dot{a} \dot{a}}$ – густина потоку падаючої сонячної радіації, Вт/м².

Кількість виробленої системою теплоти $Q_{кор}$, Вт:

$$Q_{\dot{e}i \dot{o}} = \eta \cdot A \cdot \sum j q_{i \dot{a} \dot{a}}. \quad (2.3)$$

Розраховані величини для кожного значення густини потоку випромінювання I_T , Вт/м² занести до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові дані

Номер досліджу	I_T , Вт/м ²	Q_U , Вт	η , %	$Q_{кор}$, Вт
1				
...				
m				

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи, таблиці з експериментальними та розрахунковими даними, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Для чого призначений сонячний колектор?
2. Чим відрізняється сонячний колектор від сонячної батареї?

3. На скільки процентів сонячні колектори забезпечують потреби у гарячій воді: у зимовий період; у весняно-осінній період; у літній період?
4. Чи можуть сонячні колектори на 100 % опалювати будинок в зимовий період?
5. Які є види сонячних колекторів?
6. Які основні відмінності у плоских та вакуумних колекторах?
7. Як часто потрібно здійснювати нагляд за геліосистемою?
8. Із яких компонентів складається система нагріву води за допомогою сонячних колекторів?

Лабораторна робота 3

Дослідження роботи пристрою з прогресивною лазерною технологією різання швейних та взуттєвих матеріалів

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування пристрою для лазерного різання матеріалів, а також основних елементів, що входять в нього: лазерної головки, крокових двигунів, схеми керування.

Для проведення роботи необхідні: зразки швейних та взуттєвих матеріалів, пристрій для лазерного різання матеріалів, комп'ютер, електронний штангенциркуль ЦІ 0-150 з ціною поділки 0,01 мм, набір щупів ГОСТ 882–75, поверхневий вологомір, електронні ваги.

Основні теоретичні відомості

Розкрій матеріалів – один із початкових етапів створення одягу, який вміщує текстильні деталі. Він є одним з відповідальних етапів виробництва одягу, правильність проведення якого в значній мірі визначає якість готового виробу.

Існує біля десяти різних способів розкроювання матеріалів. Відомі на сьогодні способи розкроювання за типом різального інструменту, що застосовується можна, систематизувати за схемою, яка приведена на рис. 3.1 [12, 25].

Способи розкроювання швейних матеріалів поділяються на дві основні групи: механічні (контактні); фізичні (безконтактні).

В свою чергу, **механічні способи** поділяються на наступні: катків; ротаційний; вирубування; різання рухомим ножом.

Принцип роботи механічних способів заснований на зануренні клина у матеріал. Вони використовуються для розсікання настилу на частини і точного розкроювання деталей в пачки [7, 13].

Принцип роботи безконтактних способів викроювання оснований на використанні фізичних ефектів і організації розкроювання

поточним методом в одне полотно або декілька полотен одним або декількома робочими інструментами, що автоматично переміщуються по запрограмованому контуру відносно самого матеріалу.

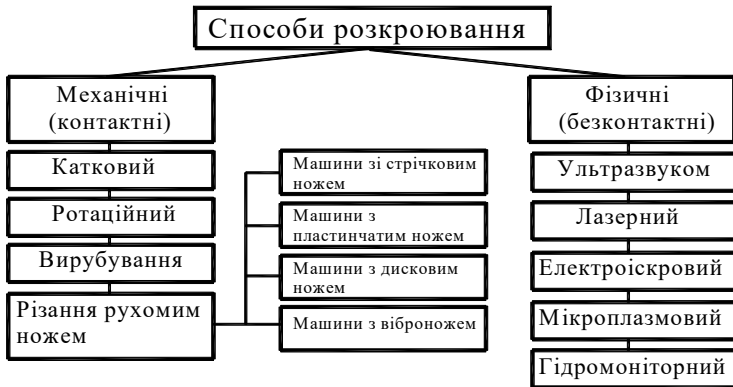


Рис. 3.1 – Класифікація способів розкroювання матеріалів

Безконтактні способи розкroювання поділяються на наступні види: ультразвуковий; лазерний; мікроплазмовий; гідромоніторний; електроіскровий та ін.

Катковий спосіб розкroювання матеріалів. Катковий спосіб розкroювання пропонує як робочий інструмент застосування різаків (рис. 3.2). Вирізання деталей відбувається при прокатуванні катка 2 по різках 1, що встановлені на матеріал 3, який знаходиться на плиті 4.

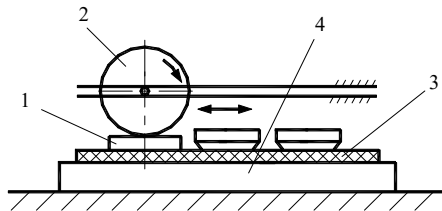


Рис. 3.2 – Схема пристрою для каткового способу розкroювання матеріалів

Переваги каткового способу розкroювання матеріалів: безперервність процесу; підвищення продуктивності праці; можливість подачі матеріалу прямо з рулону.

Недоліки каткового способу розкroювання матеріалів: великі відходи матеріалу; неточність крою; неможливість впливати на брак матеріалу в самому рулоні.

Ротаційний спосіб розкроювання матеріалів. При цьому способі текстильний матеріал, що розкроюється, з рулону пропускається між двома валами, що обертаються: ножовим та притискним (рис. 3.3). На ножовому валу закріплюються різакі з профільованої сталі.

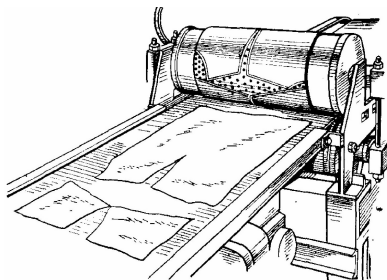


Рис. 3.3 – Схема установки для ротаційного способу розкроювання матеріалів

Переваги ротаційного способу розкроювання матеріалів: механізація подачі тканини; безперервність процесу; можливість автоматизації процесу.

Недоліки ротаційного способу розкроювання матеріалів: висока вартість різального інструменту; складність виготовлення різального інструменту; втрати матеріалу.

Розкрій матеріалів ультразвуком. В США було винайдено апарат для різання одного шару синтетичних тканин ультразвуком.

Цей апарат (рис. 3.4) працює в діапазоні звукових чи ультразвукових частот (до 20 кГц) та представляє собою віброуючий інструмент 1, який взаємодіє з опорою 3 для розрізання або відрізання тканини, розміщеної між ними. Рухома полоса 2 просуває саму тканину, що розрізається і поміщає її в зазор між інструментом та опорою, що діє як кромка ножа.

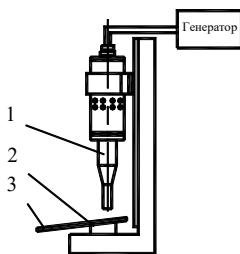


Рис. 3.4 – Схема пристрою для ультразвукового способу розкроювання матеріалів

Тканина розрізається за рахунок імпульсів, які повторюються. При умові, що частота вібрації достатньо висока, звукова енергія, що прикладається до тканини в період процесу розрізання, зварює або оплаває вільні кінці волокон. Це в свою чергу захищає саму тканину від осипання.

Переваги ультразвукового способу розкроювання матеріалів: точність самого вирізання; зменшення втрат тканини.

Недоліки ультразвукового способу розкроювання матеріалів: швидкий знос різальної кромки.

Лазерний спосіб розкроювання матеріалів. Лазерний спосіб розкроювання оснований на здатності практично всіх високополімерних матеріалів поглинати теплову енергію при дії променю лазера. Під дією даної енергії проходить термічне руйнування матеріалу тепловим потоком із зони різання. Для різання синтетичних матеріалів найбільш придатний лазер потужністю 600–800 Вт з фокусуванням променю в пучок діаметром до 0,6 мм (рис. 3.5). Швидкість розкроювання може досягати 0,4 м/с.

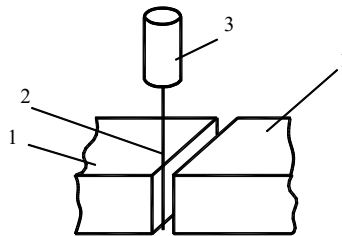


Рис. 3.5 – Схема установки для лазерного способу розкроювання матеріалів:
1 – матеріал; **2** – лазерний промінь; **3** – квантовий генератор

Переваги лазерного способу розкроювання матеріалів: автоматизація процесу; точність викроювання порівняно із механічними способами; зменшення втрат тканини.

Недоліки лазерного способу розкроювання матеріалів: можливість спікання шарів полотен; неякісний зріз викроєної деталі; неможливість різання грубого шару настилу.

Електроіскровий спосіб розкроювання матеріалів. При розкроюванні електроіскровим способом неелектропровідних текстильних матеріалів створюється спеціальний електрод **4** у вигляді графітної доріжки **3**, який повторює контури деталей, що потрібно вирізати (рис. 3.6). Другий електрод **1** розміщується на мінімальній відстані від матеріалу. При подачі на електроди струму високої напруги ($I = 150$ мА, $U = 35$ кВ) виникають імпульси електричних розрядів і проходить руйнування ма-

теріалу (пробій). В тканинах із синтетичних волокон при розкроюванні таким методом спостерігається оплавлення країв самого зрізу.

Середня швидкість різання матеріалів таким способом складає 1–3,0 см/с при товщині тканини не більше 0,5 мм.

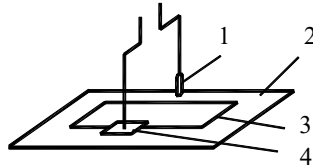


Рис. 3.6 – Схема пристрою для електроіскрового способу розкроювання матеріалів: 1 – електрод; 2 – верхнє полотно; 3 – графітна лінія; 4 – електрод

Переваги електроіскрового способу розкроювання матеріалів: зменшення втрат матеріалів.

Недоліки електроіскрового способу розкроювання матеріалів: низька якість та точність різку; забруднення самого крою.

Мікроплазмовий спосіб розкроювання матеріалів. Це газ іонізований під дією електричного поля при відносно невеликих струмах і температурі. Плазмовий спосіб розкроювання заснований на використанні мікроплазмового струменю під тиском 0,3 МПа (сформованого розрядною дугою) для нагрівання і руйнування дільниці матеріалу (рис. 3.7).

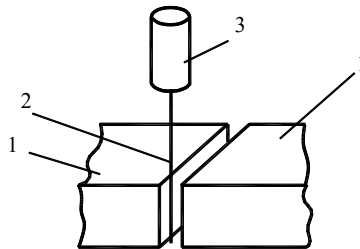


Рис. 3.7 – Схема пристрою для мікроплазмового способу розкроювання матеріалів: 1 – матеріал; 2 – мікроплазмовий струмінь; 3 – плазмотрон

Як робочий газ використовують аргон або азотно-аргонову суміш. Практичне використання способу можливе лише для одношарового різання зі швидкістю до 0,3 м/с, так як різання синтетичних матеріалів супроводжується оплавленням і спіканням зрізу.

Переваги мікроплазмового способу розкроювання матеріалів: висока якість лінії різку; зменшення втрат тканини; можливість автоматизації процесу.

Недоліки мікроплазмового способу розкроювання матеріалу: неможливість різання грубого шару настилу; можливість оплавлення краю зрізу тканин з синтетичними волокнами.

Гідромоніторний спосіб розкроювання матеріалів. Цей спосіб розкроювання матеріалів заснований на різальних властивостях тонкого струменя води, який виходить із спеціального сопла під великим тиском (рис. 3.8). Різання струменем води здійснюється, як правило, по контуру. Струмінь (суміш води з полімером) під тиском 70–350 МПа подається через сопло $\varnothing 0,075\text{--}0,3$ мм з швидкістю більше як 350 м/с.

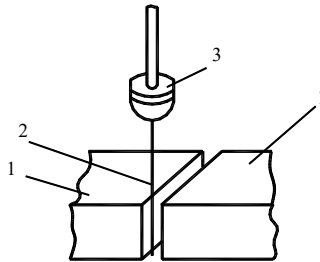


Рис. 3.8 – Схема пристрою для гідромоніторного способу розкроювання матеріалів: 1 – матеріал; 2 – струмінь води; 3 – сопло

Переваги гідромоніторного способу: відсутність оплавлення країв і зварювання матеріалу; висока якість зрізу; можливість автоматизації процесу розкроювання.

Недоліки гідромоніторного способу: порівняно мала продуктивність при значній вартості; складність обладнання; необхідність створення спеціальних засобів, які забезпечують безпеку роботи.

Більшість розглянутих способів не знайшли промислового використання. Дані установки виготовлені тільки в одиничних екземплярах з метою подальших експериментальних досліджень. Найбільше розповсюдження на теперішній час отримали наступні способи: гідромоніторний; лазерний способи.

Гідромоніторний спосіб не знайшов поки, що широкого використання в промисловості, але у Німеччині широко проводяться роботи з створення розкрійних комплексів. На базі лазерного способу на сьогодні випускають лазерні автоматизовані розкрійні комплекси.

3.1. Опис лабораторної установки

Розроблений пристрій для лазерного різання полімерних матеріалів приведено на рис. 3.9. Цей пристрій складається із рами, що ви-

готовлена із алюмінієвого профілю спеціальної форми, механізму привода лазерної головки по X і Y координаті, лазерної головки.

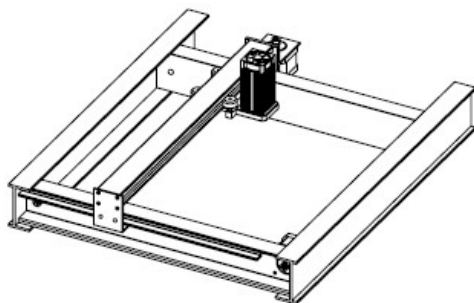


Рис. 3.9 – Загальний вигляд пристрою для лазерної різки матеріалів

На рис. 3.10 приведено фото розробленого пристрою для лазерного різання полімерних матеріалів із вмонтованою системою керування.

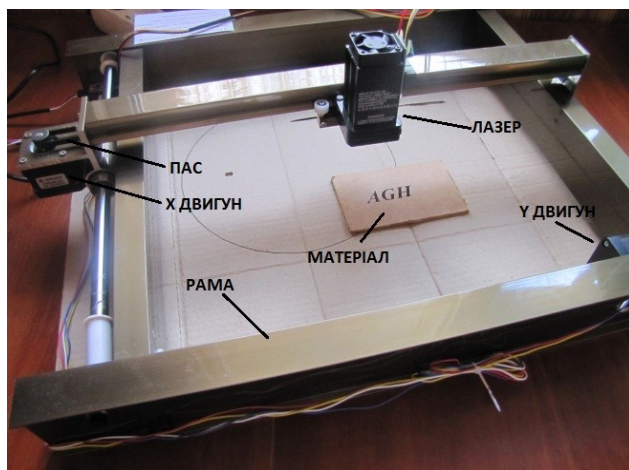


Рис. 3.10 – Фото пристрою для лазерного різання полімерних матеріалів

Технічні характеристики пристрою для лазерного різання полімерного матеріалу: діапазон обробки 300×230 мм; габаритні розміри 460×380×110 мм; вага 4 кг; блок живлення 220V/12V; потужність лазера 5 Вт.

Для керування операцією лазерного різання полімерних матеріалів використовується програмне середовище GCODE CUT. Лицьова панель програми приведена на рис. 3.11.

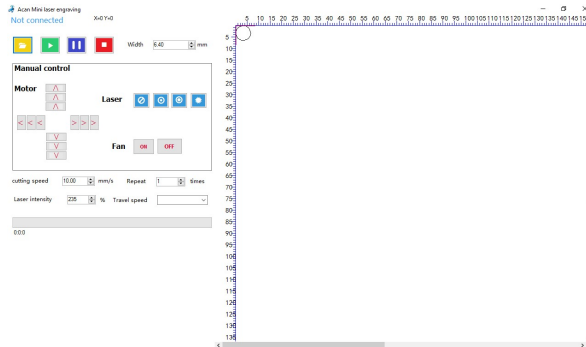


Рис. 3.11 – Лицьова панель програми GCODE CUT

Програма GCODE CUT дозволяє: змінювати інтенсивність лазера; швидкість переміщення лазера; змінювати діаметр лазерної плями на матеріалі; керувати в ручному режимі кроковими двигунами двох координатної системи переміщення лазера.

Експериментальна установка включає в себе лазерний пристрій, комп'ютер з програмним забезпеченням (рис. 3.12).

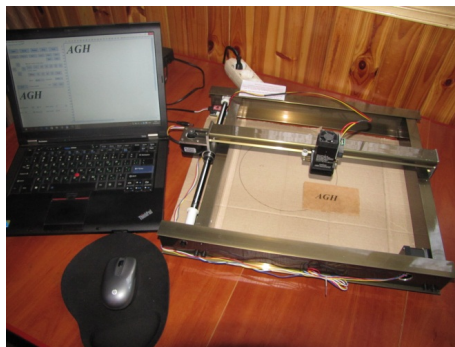


Рис. 3.12 – Загальний вигляд пристрою для лазерного різання

Принцип роботи пристрою для лазерної різки матеріалів заключається в наступному. В програмному середовищі SolidWorks створюється деталь, що буде вирізатися. Далі файл з розширенням dxf завантажується в програму DXF2GCODE. Отримується файл GCODE. Далі цей файл завантажується в програмне середовище GCODE CUT. У цій програмі виставляється необхідна швидкість різання і інтенсивність лазера. На робоче поле встановлюється вибраний матеріал. Після запуску пристрою здійснюється процес вирізання деталі із матеріалу.

Принцип роботи пристрою для лазерної різки матеріалів заключається в наступному. В програмному середовищі SolidWorks створюється деталь, що буде вирізатися. Далі файл з розширенням dxf завантажується в програму DXF2GCODE. Отримується файл GCODE, який завантажується в програмне середовище GCODE CUT. У цій програмі виставляється необхідна швидкість різання і інтенсивність лазера. На робоче поле встановлюється вибраний матеріал. Після запуску пристрою здійснюється процес вирізання деталі із матеріалу.

Порядок виконання роботи

1. В програмному середовищі SolidWorks розробити деталь одягу чи взуття невеликого периметра, яку необхідно вирізати. Вибрати 5 різних матеріалів для вирізання розробленої деталі. За допомогою штангенциркуля виміряти їх товщину. Змінюючи інтенсивність лазера, швидкість переміщення лазерної головки та задаючи кількість проходів експериментальним шляхом підібрати оптимальні режими для вирізання деталі із вибраних матеріалів.

2. Із натуральної шкіри низу взуття вирізати дослідні зразки розміром $110 \times 10 \times 5$ мм в кількості 12 шт. Зразки не повинні мати вад, мати однакову товщину та щільність, а також вологість 3–5 %. Вологість зразків визначити за допомогою контактного вологоміра. Заготовки натуральної шкіри укласти на робочий стіл пристрою лицьовою стороною до фокальної площини f (рис. 3.13).



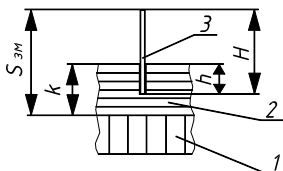
Рис. 3.13 – Положення на фокальній площині:

1 – стіл лазерного пристрою; 2 – зразки натуральної шкіри

Провести по 20 разів з різними швидкісно-потужнісними режимами на кожному зразку. В ході експерименту швидкість переміщення лазерної головки необхідно поступово змінювати від мінімальної до максимальної. Потужність лазерного джерела потрібно поступово змінювати в межах від 50 % до 100 % від максимальної потужності, що складає 5 Вт. Кожному з п'яти значень потужності лазерного джерела повинно відповідати п'ять значень швидкості.

Вимірювання глибини різку зразків здійснити за допомогою щупа і штангенциркуля. В отриманий різ, глибиною h , помістити щуп високою H як показано на рис. 3.14 і за допомогою штангенциркуля ви-

міряти відстань S_{zm} від верхньої поверхні зразків натуральної шкіри до верхньої поверхні щупа, а також висоту самих зразків. Зробити висновок про залежність глибини різку H від швидкості переміщення лазерного променя.



**Рис. 3.14 – Схема вимірювання глибини різку:
1 – стіг лазерного пристрою; 2 – матеріал; 3 – щуп**

Обчислення глибини різку зразків здійснити за наступною формулою:

$$h = (k + H) - S_{ci} . \quad (3.1)$$

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис експериментальної установки, порядок виконання роботи, висновки, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що таке розкрій матеріалів?
2. Які існують способи розкроювання матеріалів?
3. Що собою представляє механічний спосіб розкроювання матеріалів?
4. Що собою представляє фізичний (безконтактний) спосіб розкроювання матеріалів?
5. Розкрийте сутність прогресивного лазерного способу розкроювання матеріалів?
6. Які переваги і недоліки лазерного способу розкроювання матеріалів?
7. Яке програмне забезпечення використовується для лазерного різання матеріалів?
8. З яких елементів складається пристрій для лазерного різання матеріалів?
9. Розкрийте принцип роботи пристрою для лазерного різання матеріалів?
10. Що собою представляє лазерна головка пристрою?
11. Від яких параметрів залежить глибина різку матеріалу?

Лабораторна робота 4

Дослідження ресурсозберігаючої технології вирубування деталей взуття з використанням пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном.

Обладнання та матеріали: зразки взуттєвої шкіри низу, електронний штангенциркуль, набір щупів, пресове обладнання з лінійним електромагнітним двигуном, прес ПВГ-8-2-О, мікроскоп.

Основні теоретичні відомості

Технологічна операція вирубування деталей взуття відіграє значну роль у процесі виготовлення виробів, а також суттєво впливає на їх якість та собівартість (лекція 4).

В основному, вирубування здійснюється на електрогідравлічних пресах, рідше – на електромеханічних (ексцентрикових). Вирубні преси із пневматичним приводом зустрічаються дуже рідко, в основному для вирубування деталей малого периметра [6].

Кожний тип має свій конструктивний ряд: прості преса з ручним керуванням і ручною подачею матеріалів, що вирубуються та прес-автомати з програмним керуванням і автоматичною подачею матеріалів.

За призначенням вирубні преси поділяються на три групи: для вирубування деталей низу із жорстких шкір; для вирубування деталей верху із м'яких шкір; для вирубування різних взуттєвих деталей із рулонних і листових матеріалів [2, 7].

Преси траверсного типу мають переваги порівняно з іншими конструкціями, так як забезпечують можливість вирубування одночасно по всьому прольоту преса і всій ширині матеріалу багатодетальними і груповими різакми, що задовольняє умові автоматизації процесу вирубування і сприяє підвищенню продуктивності праці.

На початковому етапі виробництва пресового обладнання в світі виготовлялися преси траверсного типу з електромеханічним приводом. Прикладом можуть бути преси типу «Революцион», що випускалися у колишньому Радянському Союзі. Ці преси при експлуатації мали значну динамічність, що виникала через швидкий розгін і гальмуванням великої маси ударника. Це впливало на стабільність роботи преса в цілому.

Також промисловістю випускалися преси з електромеханічним приводом кареткового типу НПЕ-30, ПВ-38, які були вже менш дина-

мічними за рахунок зменшення маси ударника. Впровадження гідравлічного привода стало можливим повернутися до конструкцій пресів траверсного типу (преси ПВГ-18-О, ПВГ-18-1-О) через основні їх переваги – можливість вирубування по всьому прольоту преса. В подальшому, на базі пресів ПВГ-18-О були створені преси з висувною траверсою-ударником ПОТГ-20-О і ПОТГ-40-О, які забезпечують безпечну роботу і широко використовуються для вирубування рулонних матеріалів. Преси консольного типу ПВГ-8-2-О, ПКП-10-О, ПТГ-12-О, створені на базі преса ПВГ-8-О, використовуються для вирубування м'яких шкір верху, багатшарових текстильних рулонних матеріалів.

Основні технічні дані, що характеризують конструкцію вирубних пресів: сила удару (зусилля вирубування); проліт преса (або виліт ударника для пресів консольного типу) і вид привода (електромеханічний, гідравлічний). На сьогодні, ще однією важливою характеристикою пресового обладнання повинно бути енергоспоживання.

Одним з виробників вирубного обладнання раніше був «ОАО завод ім. Медведєва» (РФ). Підприємство випускає вирубні преси різних модифікацій із зусиллям вирубування від 10 до 16 тс (моделі ПКП-10, ПКП-16). Вирубні преси закордонних виробників мають типізацію подібну до пресів, що випускалися машинобудівними підприємствами колишнього Радянського Союзу та підприємствами, що займаються випуском цієї продукції в теперішній час.

Із закордонних фірм на сьогоднішній день основними постачальниками пресового обладнання для підприємств легкої промисловості України є фірми: «Schoen» (Німеччина), «Atom» (Італія), «Omas» (Італія), «Compart» (Німеччина), «Chiesa» (Італія), «Chenfeng» (Тайвань) тощо.

Аналіз технічних характеристик показав, що в пресовому обладнанні закордонного виробництва використовується електромеханічний, гідравлічний, в деяких випадках комбінований пневмо-гідравлічний приводи (прес 5900, виробництва фірми «Schoen»). Для пресів з невеликим зусиллям вирубування зрідка, але зустрічається пневматичний привод («В.С.К», Німеччина). Домінуючим є гідравлічний привод. Наприклад, для зменшення енерговитрат в пресі серії КKD «Schoen», використовуються інтегровані економічні гідравлічні системи. Фірма «Chiesa» (Італія) випустила вирубний прес SANSON F1 EDI з електричною технологією (без гідравліки). Привод цього преса споживає електричну енергію тільки під час процесу вирубування.

Одним із перспективних підходів з удосконалення приводів машин легкої промисловості є використання силових дискретних систем, що створюються на основі лінійних електричних двигунів. Вони відрізняються відносно малим енергоспоживанням, порівняно високими питомими показниками та забезпечують безпосереднє перетворення

електричної енергії в механічну роботу переміщення робочого органа за лінійною траєкторією.

Керуючи енергією, яка сприяє зміні швидкості переміщення та сили удару робочих органів, що здійснюють зворотно-поступальний рух, здійснюються деформування та руйнування матеріалів відповідно до вимог технологічного процесу. Найбільш ефективно керування досягається на електромеханічному пресовому обладнанні з лінійними електромагнітними двигунами як приводами.

4.1. Опис лабораторної установки

Для експериментального дослідження динамічних та енергетичних параметрів, пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним пристроєм утримання якоря та процесу вирубання деталей на ньому, було виготовлено установку на основі розробленої конструкції пресового обладнання з ЛЕМД, а також конструкції електромагнітного утримувача [16].

Розроблене пресове обладнання з ЛЕМД δ -типу із втяжним якорем та стопом, що має електромагнітний утримувач якоря, на етапі зрушення дає змогу виконувати операцію вирубання деталей взуття. Загальний вигляд пресового обладнання, призначеного для виконання операції вирубання та перфорування деталей взуття, представлено на рис. 4.1.

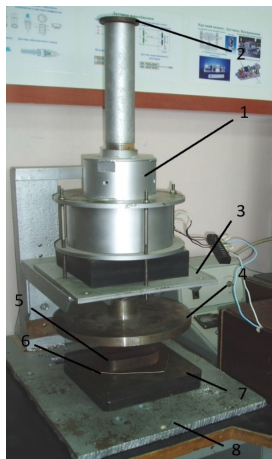


Рис. 4.1 – Загальний вигляд пресового обладнання з ЛЕМД з поліпшеними характеристиками: 1 – лінійний електромагнітний двигун; 2 – пристрій утримання якоря; 3 – консоль; 4 – ударник; 5 – різак; 6 – матеріал; 7 – вирубна плита; 8 – станина

Конструктивну схему пресового обладнання подано на рис. 4.2. Прес змонтовано на станині 1, яку виготовлено зварюванням, та він складається з основи і підсиленого кутовими елементами консоллю.

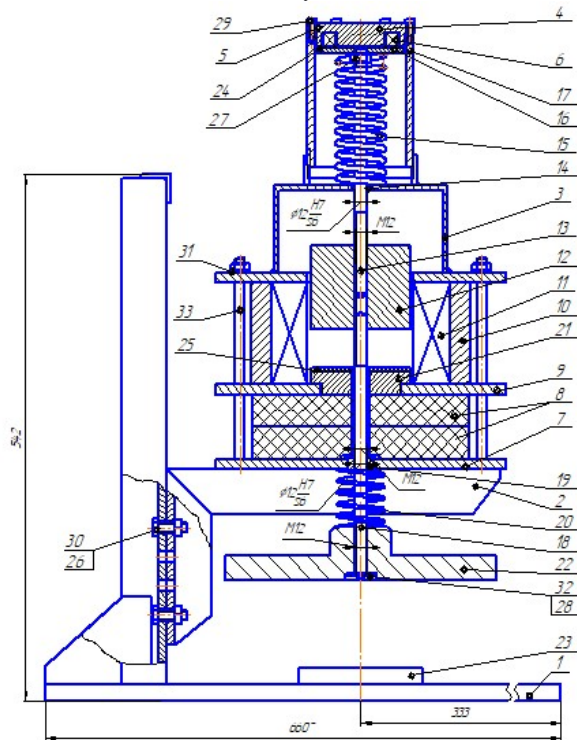


Рис. 4.2 – Конструктивна схема пресового обладнання з ЛЕМД із електромагнітним утримувачем: 1 – станина; 2 – консоль; 3 – верхня кришка; 4 – електромагнітний утримувач; 5 – магнітопровід; 6 – котушка; 7 – пластина; 8 – плита; 9 – проміжна пластина; 10 – магнітопровід; 11 – котушка; 12 – ярк; 13 – шток; 14 – втулка; 15 – зворотна пружина; 16 – дисковий ярк; 17 – стакан; 18 – шток ударника; 19 – втулка штока; 20 – пружина; 21 – стоп; 22 – ударник; 23 – вирубна плита; 24, 25 – прокладка; 26, 27 – гайка; 28, 29 – гвинт; 30 – болт; 31, 32 – шайба; 33 – шпилька

За допомогою болтів і гайок 26 і 30 до основи прикріплено два швелери 2, до них чотирма шпильками 33 інші елементи конструкції: пластина 7, проміжні плити 8, магнітопровід 10 із вмонтованою у ньому котушкою 11, кришка верхня 3, яку приварено до верхньої плити. В отворі, який формують елементи деталей, знаходиться ярк 12. З допомо-

гою штока 13, який рухається у втулці 14, якір повертається у вихідне положення вкінці робочого циклу. Повернення якіря здійснює пружина 15, яка діє на диск 16, що кріпиться на штокові 13 гайкою 27 і одночасно слугує осердям утримуючого магнітопроводу 5, який змонтовано на стакані 17. Поступальний рух якіря 12 передається штоком 18 ударнику 22. Ударник вдаряє по різаку, який прорубує матеріал, покладений на вирубну плиту 23.

Прес для вирубування працює наступним чином: матеріал, з якого вирубують деталі взуття, кладуть на вирубну плиту 23. Від матеріалу плити залежить якість процесу: якщо плита із м'якого матеріалу, то різак врізається у неї на 1–2 мм, що забезпечує надійне вирубування деталі; на металевій плиті не можливо проводити занурення різак, оскільки він швидко затупиться, тому можливе неповне вирубування.

Зверху на матеріал встановлюють різак, контур різальної частини якого збігається за формою з майбутньою деталлю виробу.

Для приведення преса у дію на робочу обмотку 11, яку закріплено у магнітопроводі, подають напругу живлення. Струм, що протікає в котушці, спричиняє появу електромагнітної сили, яка намагається зрушити якір 12. Одночасно із увімкненням основної котушки подається напруга на утримуючий електромагніт 5. Виникає сила притягання, яка через дисковий якір 16 утримує осердя 12 та шток 13 від опускання. Пружина 15 також створює опір опусканню якіря.

Коли струм в котушці основного електромагніта перевищує певне значення, автоматика вимикає живлення утримуючого електромагніта, і осердя 12 рухається униз. При цьому стискається зворотна пружина 15, розтискається гальмівна пружина 20, а шток 18 разом із ударником 22 рухаються униз. Ударник 22, ударяючи по різаку, надає йому потрібну для різання кінетичну енергію, рухаючись разом із ним деякий час, що залежить від налагодження зворотної пружини і накопиченої енергії удару. Після того, як різак торкнувся металевої вирубної плити або врізався у полімерну, починається зворотній рух системи під дією пружини 15. Щоб уникнути ударів, гальмівна пружина 20 поглинає частину енергії зворотного руху. Ударник повертається у вихідне положення і цикл повторюється знову.

Пресове обладнання з ЛЕМД із електромагнітним утримувачем має наступні вихідні дані: тип електромагнітного двигуна – втяжний; вид струму – постійний; спосіб здійснення робочого ходу – однією обмоткою; спосіб здійснення холостого ходу – за рахунок енергії пружини; регулювання основних параметрів – за рахунок зміни параметрів джерела живлення; охолодження – природне повітряне; режим роботи – одиничний; величина робочого ходу – до 30 мм; частота ударів за хв – до 30.

ЛЕМД має наступні основні параметри: максимальну електромагнітну силу $F_{ел} = 15300$ Н; хід якоря $\delta_{як} = 30$ мм; діаметр якоря $d_{як} = 70$ мм; висоту двигуна $L_{ов} = 175$ мм; діаметр проводу $d_{пр} = 2,5$ мм; число витків котушки $w = 695$; опір котушки $R = 0,4$ Ом.

Деталі магнітопроводу (статор, якір, стоп, фланці) виготовлено зі сталі Ст.10; циліндричний статор – не шихтований з декількома радіальними пазами для зняття вихрових струмів; напрямні стрижні – із немагнітної нержавіючої сталі 1Х18Н9Т; каркас котушки – із полімерного матеріалу. Обмотка ЛЕМД – найбільш відповідальний його елемент. Її намотано мідним проводом марки ПЕВ-2,5 з високоміцною емалевою ізоляцією. Конструкцію електромагнітного утримувача подано на рис. 4.3.

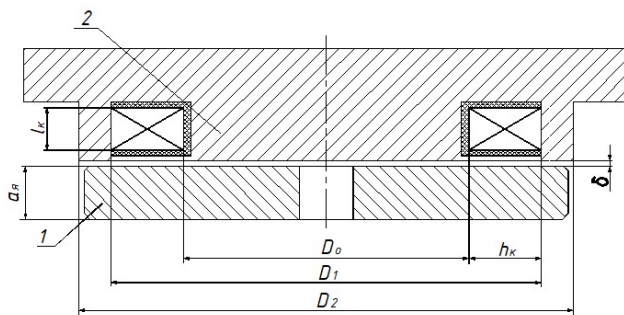


Рис. 4.3 – Циліндричний електромагнітний утримувач з дисковим якорем, що притягується: 1 – якір; 2 – осердя; D_2 – зовнішній діаметр електромагніта; D_1 – внутрішній діаметр статора; D_c – внутрішній діаметр обмотки; l_k – ширина обмотки; h_k – висота обмотки; $a_{я}$ – товщина якоря; δ – робочий зазор

З метою якісного забезпечення проведення наукових досліджень створено багаторівневу структуру використання апаратно-програмних засобів компанії «National Instruments». Розроблено вимірвальну установку для дослідження машин і технологічних операцій легкої промисловості. Структурну схему цієї установки зображено на рис. 4.4. Можливості такої установки дозволяють проводити вимірювання механічних, технологічних, електричних та інших параметрів різних технічних систем та технологічних операцій. Структурну схему вимірвальної системи установки показано на рис. 4.5.

У блок вимірвальної апаратури входять: аналоговий датчик; модуль узгодження сигналів; плата збору даних; комп'ютер для запису осцилограм сили удару ударника пресового обладнання, технологічного зусилля вирубування, що змінюються в часі; лабораторний автоматичний трансформатор (рис. 4.4, 4.5).

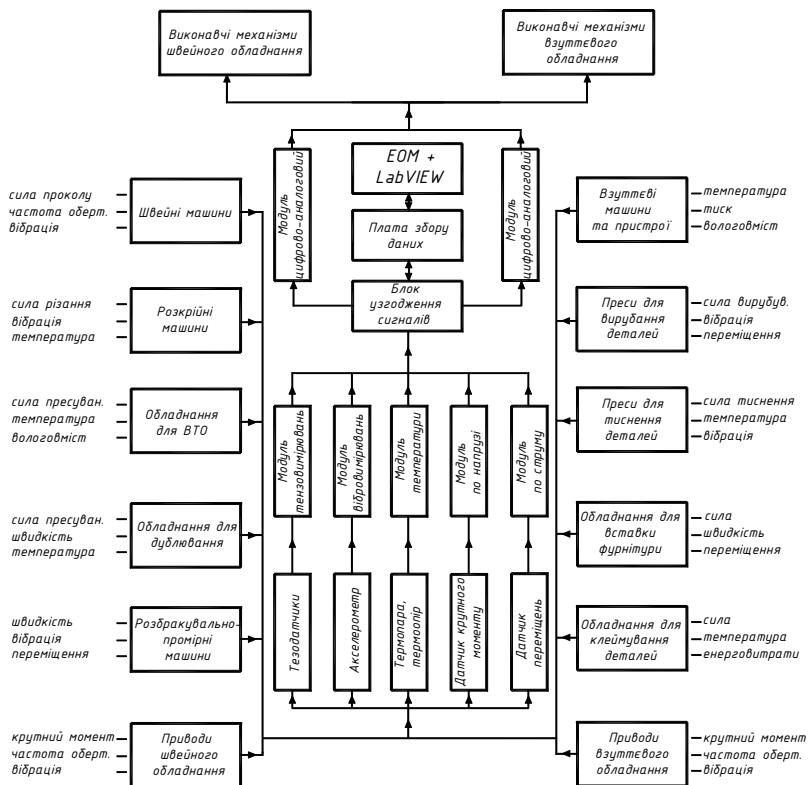


Рис. 4.4 – Структурна схема експериментальної установки для дослідження машин та технологічних операцій легкої промисловості

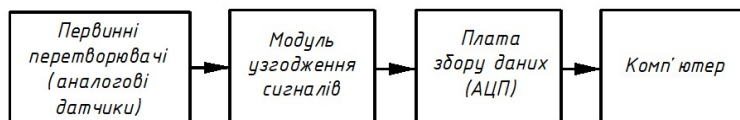


Рис. 4.5 – Структурна схема вимірювальної системи установки

Порядок виконання роботи

1. Підібрати зразки деталей взуття з натуральної шкіри низу заданого периметра, визначивши за допомогою штангенциркуля їхню товщину.

2. Виставити оптимальні режими роботи лінійного електромагнітного двигуна (оптимальна величина переміщення якоря δ) та пристроєм утримання якоря з метою отримання максимальної енергії удару.

3. Підібрати параметри ємнісного блока живлення, а саме ємність конденсаторної батареї та напругу їх зарядки з метою забезпечення швидкості переміщення ударника в межах 1–3 м/с та енергії удару, необхідної для вирубання деталі взуття.

4. Провести вирубання деталі взуття при заданих режимах роботи та органоліптично оцінити ступінь виконання цієї операції.

5. При недовирубуванні деталі змінити параметри блока живлення, а саме ємність конденсаторної батареї та напругу її живлення та повторно виконати операцію вирубання зразка.

6. Провести вирубання зразка деталі взуття такого ж самого периметра на електрогідравлічному пресі ПВГ-8-2-О.

7. За допомогою мікроскопа оцінити торцеву поверхню вирубаної деталі на пресовому обладнанні з ЛЕМД та пресі ПВГ-8-2-О. Зробити висновки про чистоту торцевої поверхні та ступінь прорізання матеріалу різаком при швидкісному режимі роботи обладнання з ЛЕМД (швидкість переміщення ударника 1–3 м/с) в порівнянні з пресом ПВГ-8-2-О (швидкість переміщення ударника 0,5 м/с).

8. Для визначення ефективності застосування пресового обладнання з ЛЕМД (рис. 4.1) при виконанні операції вирубання провести порівняння його техніко-економічних показників з гідравлічним пресом ПВГ-8-2-О. Отримані результати занести в таблиці 4.1. За отриманими даними побудувати діаграми порівняння пресового обладнання за: коефіцієнтом відносної маси k_m ; коефіцієнтом відносної площі k_{nz} ; коефіцієнтом енерговитрат k_e .

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники пресового обладнання при виконанні операції вирубання деталей

Критерій порівняння пресового обладнання	Тип обладнання	
	ПВГ-8-2-О	ПО з ЛЕМД
Коефіцієнт відносної маси k_m , кг/кН		
Коефіцієнт відносної площі k_{nz} , м ² /кН		
Коефіцієнт енерговитрат k_e , Дж/мм		

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис експериментальної установки, порядок виконання роботи, таблицю, діаграми, висновки, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що собою представляє технологічна операція вирубання деталей взуття?
2. Яке устаткування використовується для виконання операції вирубання деталей взуття?
3. Що таке пресове обладнання з ЛЕМД із електромагнітним пристроєм утримання якоря?
4. Що таке електромагнітний пристрій утримання якоря?
5. Розкрийте принцип роботи пресового обладнання з ЛЕМД.
6. Що собою представляє структурна схема вимірювальної системи машин легкої промисловості?
7. Що входить в структурну схему вимірювальної системи установки?
8. З чого складається блок вимірювальної апаратури?
9. Як оцінюється чистота торцевої поверхні вирубаної деталі на пресовому обладнанні?
10. За якими показниками можна оцінити ефективність пресового обладнання?

Лабораторна робота 5

Дослідження операції встановлення металевої фурнітури з використанням інноваційної ресурсозберігаючої технології та енергозберігаючого пресового обладнання

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування устаткування для встановлення металевої фурнітури, а також основних елементів, що входять в нього.

Обладнання та матеріали: зразки швейних та взуттєвих матеріалів, металеві люверси різних виробників, устаткування для встановлення металевої фурнітури, комп'ютер, електронний штангенциркуль ЦІ 0-150 з ціною поділки 0,01 мм.

Основні теоретичні відомості

Є багато видів швейної та взуттєвої фурнітури, які встановлюються у виробі шляхом розклепування та розвальцювання. Це люверси, холнітени, взуттєві блочки, іменні прикраси, взуттєві гачки, галантерейна фурнітура та ін. Для їх встановлення використовують обладнання із зворотньо-поступальним рухом робочих органів.

Люверси являють собою металеві кільця, які закріплюються на матеріалі. Люверси складаються з двох частин – кільця і частини із втулкою, які з'єднуються між собою за допомогою пристрою для розвальцювання.

На рис. 5.1 показано люверси різного діаметра, що використовуються у швейній та взуттєвій промисловості

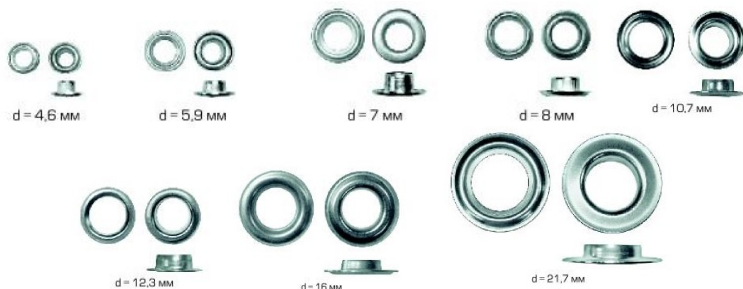


Рис. 5.1 – Види люверсів

Їх основні геометричні розміри приведені на рис. 5.2.

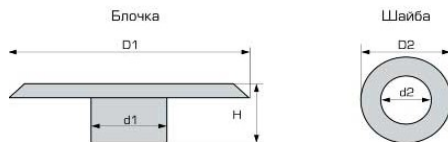


Рис. 5.2 – Геометричні розміри люверса

На рис. 5.3 показані круглі блочки різного діаметра, що використовують у взуттєвій промисловості.



Рис. 5.3 – Види круглих взуттєвих блочок та шайб до них

На рис. 5.4 показано геометричні розміри взуттєвих блочок та шайб до них.

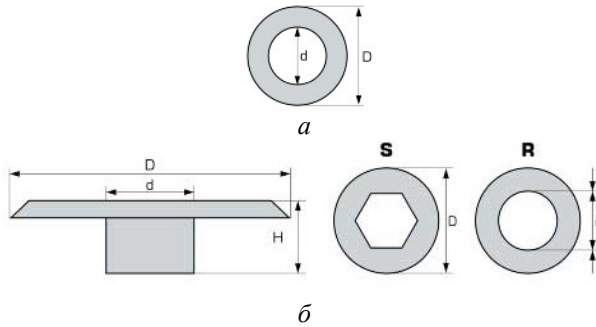


Рис. 5.4 – Геометричні розміри шайб (а) та взуттєвих блочок (б)

Залежно від рівня технічного оснащення та, відповідно, виробничої потужності конкретного підприємства, яке займається випуском швейних, шкіргалантерейних, текстильно-галантерейних виробів та взуття в теперішній час встановлення металевої фурнітури у цих виробках здійснюють за допомогою найрізноманітнішого устаткування. На сьогоднішній день на цих підприємствах використовують широкий асортимент обладнання для встановлення металевої фурнітури, починаючи від ручних інструментів та пресів і закінчуючи повністю автоматизованим устаткуванням різних виробників. Також на них до теперішнього часу використовується технологічне обладнання виробництва колишніх країн: Чехословаччини, Німецької Демократичної Республіки (НДР), Радянського Союзу та ін.

В роботі [16] приводиться класифікація типів обладнання для встановлення металевої фурнітури у виробках легкої промисловості. Найбільше розповсюдження у ньому отримали механічні, електромеханічні, пневматичні приводи та приводи з використанням лінійних електричних двигунів. Тому огляд існуючого обладнання для виконання цієї операції проводився за типом привода. Для порівняння бралися обладнання різних фірм виробників, яке реалізує ударний режим навантаження. Порівнювалось окремо устаткування для виготовлення швейних та взуттєвих виробів.

Проведений аналіз існуючого устаткування показав, що Україна не має власного виробництва обладнання для встановлення металевої фурнітури, а його постачальниками для підприємств вітчизняної легкої промисловості є у більшості випадків виробники різних країн Азії, менше Європи. Найвідомішими виробниками такого обладнання є: «Mikron», «Presmak» (Туреччина), «Protex», «Typical», «Sunsir», «Sewq»

(Китай), «Прогрес» (Росія), а також інші підприємства Китаю, Тайваню, Росії, Греції та ін.

Таке обладнання призначене для виконання операції встановлення різних типів металевої фурнітури, зокрема кнопок, блочків, люверсів, хольнітенів тощо на предметах одягу, сорочок, нижньої білизни, жакетів, валіз та інших. Для пробивання отворів під металеву фурнітуру у ньому використовують пробійники, а для закріплення фурнітури – робочі інструменти (пуансони та матриці) залежно від її типу.

До основних технічних характеристик цього обладнання можна віднести: діапазон створюваних зусиль; хід ударника; споживану потужність; продуктивність тощо. За продуктивністю праці механічні преси також значно поступаються пресам з іншими типами приводів. Найбільшу продуктивність праці забезпечує обладнання з лінійними електричними двигунами в якості привода за рахунок високої швидкості робочого органа. Відмінністю між різними типами механічних пресів є наявність ударного механізму. Обладнання з таким механізмом дозволяє полегшити працю робітника та створити додаткове зусилля, необхідне для виконання технологічної операції. Наявність в ньому пружини дозволяє регулювати силу удару.

В електромеханічних пресах для виконання технологічної операції використовують кінетичну енергію ударника. Наявність кривошипно-шатунного механізму привода ударника, великого махового колеса, обгінної муфти робить дане обладнання громіздким, складним у виготовленні та експлуатації. Але основним його недоліком є робота електричного двигуна і під час виконання технологічної операції, і під час холостого ходу, що веде до підвищеного споживання електричної енергії.

Пневматичні преси для встановлення металевої фурнітури в основному використовують на підприємствах, які випускають велику кількість продукції. Але основною умовою роботи цього обладнання є наявність компресора, що може дещо ускладнити роботу підприємства через додатковий шум, який виникає при його роботі.

Але найбільш перспективним є обладнання з приводом на базі лінійних електричних двигунів. Це обладнання не потребує наявності додаткового ударного механізму або компресора. Відмінністю деяких марок пресів з пневматичним та приводом з використанням лінійних електричних двигунів (наприклад, J-93-A фірми «Auroga» (Китай), SGY4-806D фірми «Sewq» (Китай) тощо) від механічних та електромеханічних є те, що із метою збільшення продуктивності праці вони виготовляються багатопозиційними. Здебільшого це три головки. На них можна розмістити робочі інструменти для встановлення металевої фурнітури залежно від операцій, що виконуються (одна головка пробиває отвір, інша встановлює, наприклад, металевий люверс і т.п.).

Розглянемо пресове обладнання для встановлення фурнітури у взуттєвій промисловості [13]. У взуттєвій промисловості використовуються машини для встановлення блочок, гачків, петель тощо. Для встановлення блочок використовують машини ВБ-1, ВБ-2 (СРСР), 01058/Р1, 01198/2, 01337/Р2 (Чехія), М116-Р фірми «Sicom», 13820.61 фірми «Compart» (Німеччина), 6900Е і 96.10 фірми «SPS». Для встановлення гачків використовують машини ВК, ЛАЕ-2, 1590Е10 фірми «SPS». Для встановлення петель – машини 97.VIS.E10 і 120Е10 фірми «SPS». Існує обладнання інших фірм-виробників.

Проаналізувавши технічні характеристики розглянутих машин можна зробити висновок, що всі вони працюють в динамічному режимі роботи. В основному в даному обладнанні використовується електро-механічний привод. В машинах з електромеханічним приводом енергія удару створюється за рахунок розкручування маховика електричним двигуном. Пневматичний привод зустрічається рідше. Прикладом такого використання є моделі машин для встановлення петель 120Е10 фірми «SPS» та блочок М116-Р фірми «Sicom». Використання гідравлічного привода та привода з використанням лінійних електричних двигунів не зафіксовано.

Аналіз металевої фурнітури (люверсів та блочок), технологічної операції її встановлення та пресового обладнання для їх реалізації дає змогу зробити наступний висновок та визначити шляхи удосконалення даного технологічного процесу і обладнання.

Виробництво одягу, взуття, шкіряно-галантерейних виробів в основному здійснюється за традиційною технологією, і вже ряд десятиліть механізми, що реалізують робочий процес, є стабільними та не піддаються будь-яким помітним змінам у своїй конструкції. Досягти ефективності в цьому напрямку, на нашу думку, можна лише за рахунок впровадження новітньої та ресурсозберігаючої технології, що полягає в суміщенні технологічних операцій (одночасне пробивання отвору в матеріалі і її закріплення). Це, в свою чергу, приведе до збільшення продуктивності праці та зменшення енерговитрат. А використання електро-механічного устаткування на базі лінійних електричних двигунів, приведе до суттєвого скорочення електричної енергії.

5.1. Опис лабораторної установки

Для дослідження операції встановлення металевих люверсів у виробках легкої промисловості запропонованим способом (за одну операцію) у статичному режимі, було розроблено експериментальну установку, до складу якої входить: пристрій для виконання операції встановлення металевих люверсів у виробках легкої промисловості; блок ви-

мірювальної апаратури; комп'ютер. Пристрій для виконання операції встановлення люверсів (рис. 5.5) складається з: рами 1, гвинтової пари для створення навантаження 2, пуансона 3, матеріалу з люверсом.



Рис. 5.5 – Пристрій для виконання операції встановлення металевої фурнітури: 1 – станина; 2 – гвинтова пара для навантаження; 3 – матеріал з люверсом; 4 – робочі інструменти (пуансон і матриця); 5 – тензобалка для визначення зусилля встановлення; 6 – тензобалка для визначення величини переміщення пуансона

Блок вимірювальної апаратури складається з: тензобалки для визначення зусилля встановлення 5, тензобалки для визначення величини переміщення ударника 6, модуля узгодження сигналів, плати збору даних та комп'ютера.

Установка для дослідження операції встановлення металевих люверсів в статичному режимі працює наступним чином. Кільце для укріплення люверса та матеріал кладуть на матрицю, закріплену в матрице-тримачі (рис. 5.5), який, в свою чергу, розміщено на тензобалці.

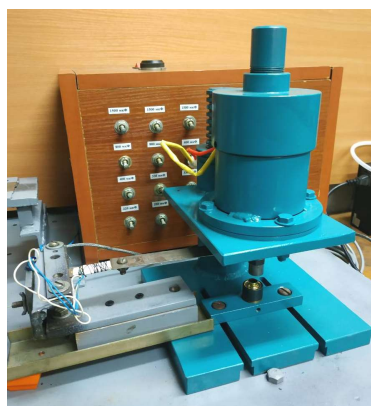
На пуансоні розміщено люверс. За допомогою гвинтової пари 2 створюється необхідне зусилля для встановлення металевої фурнітури в матеріалі 3. Гостра кромка люверса, занурюючись у матеріал 3, прорізає його. При подальшому зануренні відбувається розвальцювання циліндричної частини люверса за рахунок конічної частини матриці. При потраплянні розвальцюваної частини люверса в канавку на матриці відбувається її відбортовка та загинання у вигляді кільця та закріплення на шайбі. Таким чином утворюється нероз'ємне з'єднання: люверс – матеріал – шайба.

Аналогові сигнали, що виникають в тензобалках 5 і 6, надходять в модуль узгодження сигналів, перетворюються в цифрові за допомогою АЦП та надходять на комп'ютер. За допомогою розробленого програмного забезпечення, встановленого на комп'ютері, отримуємо залежність технологічного зусилля встановлення $F_{вст}$ від величини переміщення пуансона h_n . За отриманими залежностями далі можна визначати параметри процесу встановлення металеві фурнітури в матеріал.

Для дослідження впливу швидкості на якість встановлення було розроблено конструкцію пресів з пневматичним та електромагнітним приводами. Таке пресове обладнання представлено на рис. 5.6.



a



б

Рис. 5.6 – Обладнання для встановлення люверсів в динамічному режимі: *a* – прес з пневматичним приводом; *б* – прес з лінійним електричним двигуном

Порядок виконання роботи

1. Як матеріал, для встановлення люверсів необхідно вибрати натуральну шкіру верху взуття (ДСТУ 2726–94) товщиною 1,6 мм.

Для проведення експериментальних досліджень використати металеві люверси трьох різних фірм «Люверси», «Alvi» та «Шіємо разом», що займаються їх реалізацією. Люверси відрізняються маркою сталі, з якої вони були виготовлені, та геометричною формою шайби і мають наступні розміри: внутрішній діаметр блочки 10 мм, висота ніжки блочки 4,8 мм.

Провести експериментальні дослідження зі встановлення запропонованим методом вибраних люверсів різних виробників. Провести

аналіз встановлених люверсів у матеріал та зробити висновки про якість встановлення. У випадку неякісного встановлення люверса пояснити причини.

Визначити люверси, які якісно встановлюються в матеріал. Провести встановлення повторно. Використовуючи вимірювальне устаткування записати у пам'ять комп'ютера експериментальні дані залежності технологічного зусилля встановлення $F_{вст}$ та залежності ходу пуансона h_n від часу. Застосовуючи програмний продукт Microsoft Excel побудувати графік залежності технологічного зусилля встановлення $F_{вст}$ від ходу пуансона h_n , за яким, в подальшому, визначити характер протікання операції, максимальне зусилля пробивання отвору $F_{проб.макс.}$ та максимальне зусилля встановлення $F_{встан.макс.}$ (лекція 5).

2. Провести дослідження впливу швидкості на якість встановлення металевих люверсів у матеріал. Виконання операції встановлення металевих люверсів здійснити за допомогою пресового обладнання, що представлено (див. рис. 5.6, б) при різних швидкостях. Зробити висновки про те як впливає швидкість на якість встановлення.

3. Провести експеримент щодо визначення продуктивності різних типів пресового обладнання для встановлення люверсів: механічного преса та пресів з пневматичним та електромагнітним приводом (див. рис. 5.6). Задля цього визначити перелік операцій, необхідних для встановлення люверса традиційним та запропонованим методами.

Перелік операцій при встановленні люверсів традиційним способом та час їх виконання представити у вигляді таблиці (лекція 5, табл. 5.1), запропонованим способом (за одну операцію) та час їх виконання – (лекція 5, табл. 5.2). Провести аналіз приведених операцій та визначити їх кількість. Побудувати порівняльні діаграми встановлення люверса традиційним та запропонованим методами на пресах з механічним, пневмо- та електромагнітним приводами.

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис експериментальної установки, порядок виконання роботи, графіки залежності, порівняльні діаграми, висновки, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Які види металевої фурнітури ви знаєте?
2. Що собою представляють металеві люверси?

3. Яке існує устаткування для встановлення металевих люверсів?
4. Які типи приводів застосовуються в обладнанні для встановлення металевих люверсів?
5. У чому полягає суть запропонованої технології встановлення металеві фурнітури?
6. Розкрийте принцип роботи установки для встановлення люверсів в статичному режимі.
7. Розкрийте принцип роботи пресового обладнання з пневматичним приводом для встановлення металеві фурнітури.
8. Розкрийте принцип роботи пресового обладнання на базі лінійних електромагнітних двигунів.
9. Яке вимірювальне устаткування використовується під час проведення експерименту?
10. Чи впливає швидкість на якість встановлення металевого люверса в матеріал?
11. Чи впливає матеріал з якого виготовлено металевий люверс на якість встановлення запропонованим методом?

Лабораторна робота 6

Дослідження операцій перфорації і маркування деталей та виробів з використанням інноваційної ресурсозберігаючої технології та енергозберігаючого обладнання з електромагнітним приводом

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування машини з двокоординатною системою переміщення для перфорації та маркування деталей і виробів, а також основних елементів, що входять у неї.

Обладнання та матеріали: зразки натуральної шіки верху, металева пластина, робочі інструменти пробійник і маркувальна голка, машина з двокоординатною системою переміщення для перфорації та маркування деталей і виробів, комп'ютер, електронний штангенциркуль ЦІ 0-150 з ціною поділки 0,01 мм, набір шупів.

Основні теоретичні відомості

Перфорація на взуття – декорация у вигляді отворів виконаних у формі малюнка або візерунка. Вона може бути різних розмірів і форм.

Перфорацію здійснюють на гідравлічних пресах ПГТП-45 (моделі ПГТП-45-О, ПГТП-45-1-О, ПГТП-45-2-О), ПГТП-100 (Росія), а також пресах 22ES фірми «Schoen» (Німеччина), 06045/P1 і 06099/P1 фірми «Svit» (Чехія), BT4/4 фірми «Fustellificio Vico S.r.l.», PP-10 фірми «Leibrock» (Німеччина), PLT2001 фірми «Atom» (Італія) тощо.

Крім пресового обладнання, для перфорації деталей верху взуття невеликими отворами одного розміру, що розміщені паралельно краю деталі або за наміченим рисунком, використовують швейні машини з електромеханічним приводом, у яких голку замінюють просічкою. Прикладом може бути машина для перфорації моделей MB-10, MB-S, MB-10K фірми Sagitta (Італія).

Щоб скоротити кількість кінематичних ланок в машині для виконання операції перфорації деталей верху взуття, необхідно розробити пристрій з двокоординатною системою переміщення з лінійним електричним двигуном як приводом робочого органа.

Аналіз технічних характеристик показав, що в пресовому обладнанні для перфорації, в основному, використовують гідравлічний привод, а електромеханічний привод – лише в деяких моделях обладнання, зокрема 06045/P1, 06099/P1 фірми «Svit» (Чехія). Використання пневматичного привода та привода на базі лінійних електричних двигунів в цьому обладнанні не зафіксовано.

Основні технічні характеристики обладнання для перфорації: зусилля перфорації; робочий хід штока; режим роботи; споживана потужність.

Пробивання отворів у швейній, взуттєвій та шкіряно-галантерейній промисловості, в більшості випадків, здійснюється під деякі види металевої фурнітури, в деталях устілкового вузла, пасках тощо. Пробивання отворів під металеву фурнітуру здійснюється на тому самому обладнанні, що і її встановлення.

Для пробивання отворів в деталях устілкового вузла, наприклад, використовують обладнання з електромеханічним приводом фірми «BANF» (Італія). Для пробивання отворів у пасках в основному використовується обладнання з електрогідравлічним приводом (пресове обладнання моделей 750N, 750TA, 750/700 фірми «Omas» (Італія), моделей 961B, 968B фірми «Ares» (Італія)). Відоме застосування і пневматичного привода у цьому обладнанні. Прикладом може бути обладнання моделі Zen4.2 фірми «Ares» (Італія). Ця машина одночасно обробує кінець паска та пробиває отвори.

Потреби підприємств в нанесенні маркувальних знаків випереджають існуючі можливості для забезпечення виконання операції маркування. В більшості випадків, на підприємствах загального машинобудування, легкої промисловості для виконання цієї операції використовується обладнання, яке було випущено десятки років назад. Проводилась його модернізація, з'являлись прогресивні пристрої, які дозволяють якісно виконувати маркувальні роботи різної складності.

Більш широко, обладнання для виконання операції маркування ударом застосовують в загальному машинобудуванні. За допомогою

нього наносять маркування на деталі із сталі, чавуну, бронзи, алюмінію, міді, скла, пластику та інших матеріалів при виробництві, наприклад, машин та пристроїв для потреб легкої промисловості.

Найвідомішими виробниками цього обладнання є фірми: «Automator International» (Італія), «Edward Pryor» (Англія), «SIC Marking» (Італія), «Technomark» (Франція), «Perfect Laser Co. Ltd» (Китай), «Mark First» (Швейцарія), «Wuxi» (Китай), «Houston Alliance» (Швейцарія) та інші. Для маркування і клеймування деталей одягу та взуття із різних матеріалів використовують машини КДВ-1-О, 06049/РЗ (Чехія), ТЗФ фірми «Сіґма» (Італія), № 5 фірми «Бусмк» (Англія), 341BF фірми «Sicomex» тощо [24].

Основними характеристиками даного обладнання є: вид привода; зусилля маркування; хід ударника; потужність, що споживається тощо. Дане обладнання має механічний, електромеханічний та пневматичний приводи. Найбільш розповсюджений механічний та пневматичний приводи. Обладнання з електромеханічним приводом зустрічається в зразках застарілого обладнання. Прикладом може бути машина КДВ-1-О.

Також одним із найбільш розповсюджених способів маркування є ударно-точкове. Технічні характеристики цього обладнання такі ж самі, як і в обладнанні для виконання ударного маркування. Їх аналіз показав, що на теперішній час використовується два методи приведення в дію голок – за допомогою пневматичних пристроїв, що подають стиснене повітря до модулів обладнання для маркування та за допомогою електричних магнітів.

Застосування привода з використанням лінійних електричних двигунів (електричних магнітів) веде до збільшення швидкодії та продуктивності обладнання в цілому та зменшення енерговитрат.

У більшості випадків, операцію тиснення деталей одягу, взуття та шкіргалантерейних виробів виконують на тому самому обладнанні, що і операцію перфорування. Зокрема це преси ПГТП-45, 22ES фірми «Schoen» (Німеччина), 523 фірми «Omas» (Італія), PP-10 фірми «Leibrock» (Німеччина), PLT2001 фірми «Atom» (Італія) тощо. Існує пресове обладнання, яке безпосередньо виконує цю технологічну операцію. Прикладом може бути гідравлічний прес 730/300S фірми «Omas» (Італія), обладнання фірми «PMF» тощо [13].

Як показав проведений огляд, в основному, для виконання операції тиснення деталей використовується гідравлічний привод, але зустрічається пресове обладнання із електромеханічним приводом STM10 фірми «Omas» (Італія)). Фірма «PMF» випускає обладнання для виконання даної операції тільки із пневматичним приводом (марки 130, 132, 204, 205, 213, 236, 334, 355). Виключенням є прес марки 590, який має гідравлічний привод. Застосування привода з використанням

лінійних електричних двигунів в обладнанні для виконання даної операції не знайдено.

Огляд технічних характеристик показав, що дане пресове обладнання працює в квазістатичному та динамічному режимах роботи.

6.1. Опис лабораторної установки

Структурна схема машини з двокоординатною системою переміщення для перфорації та маркування деталей і виробів представлена на рис. 6.1.

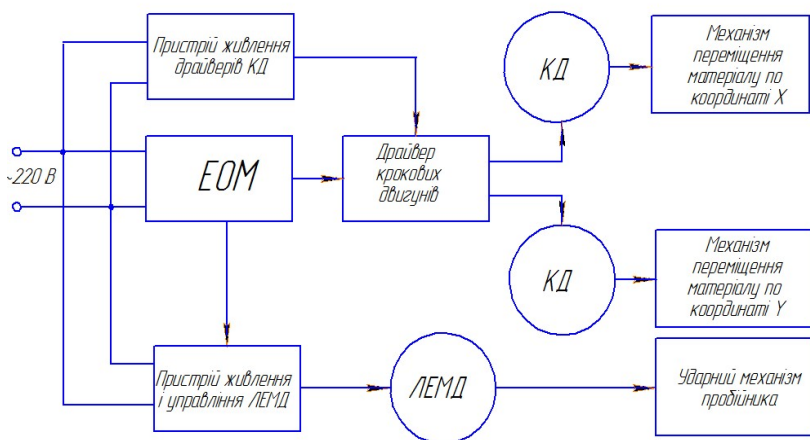


Рис. 6.1 – Структурна схема машини з двокоординатним переміщенням для перфорації деталей верху взуття

До складу структурної схеми машини входить: система переміщення деталей, що складається із двох механізмів переміщення по координаті X і Y; два крокових двигуни; драйвер крокових двигунів (КД); пристрій живлення і управління ЛЕМД; лінійний електричний двигун (ЛЕД); ударний механізм; пристрій живлення і керування ЛЕМД; електронно-обчислювальна машина.

На основі ЛЕМД було розроблено пристрій з двокоординатною системою переміщення для виконання операцій легкої промисловості (патент на корисну модель № 9927). Залежно від операції можна змінювати тип ЛЕМД для привода робочого органа (патенти на корисну модель № 44618, № 63035, № 55732, № 10262).

Для привода пробійника при перфорації та голки при маркуванні деталей та виробів, використовуючи зазначений метод проекту-

вання, було розроблено та виготовлено лінійний електромагнітний двигун, зображений на рис. 6.2. ЛЕМД встановлюється на раму машини, що розробляється та закріплюється на ній.

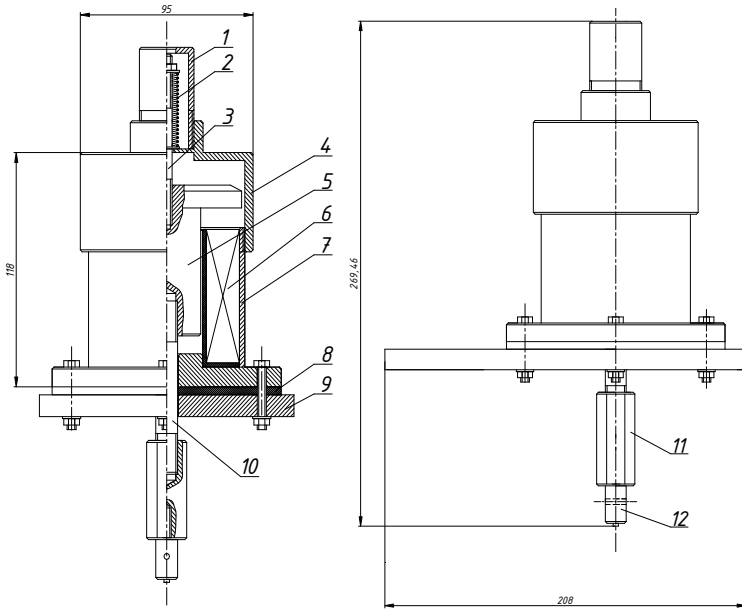


Рис. 6.2 – Лінійний електромагнітний двигун: 1 – кришка пружини; 2 – пружина; 3 – стрижень верхній; 4 – кришка; 5 – якір; 6 – котушка; 7 – корпус; 8-прокладка; 9 – плита верхня; 10 – стрижень нижній; 11 – перехідник; 12 – робочий інструмент

Працює електромагнітний двигун наступним чином. При подачі імпульсу напруги із пристрою живлення та керування, в котушці 6 виникає електромагнітне поле та електромагнітна сила, яка втягує якір 5 із прикріпленим робочим інструментом 12 всередину та стискає пружину 2. Після виконання технологічної операції рухома частина електромагнітного двигуна під дією стиснутої пружини повертається в початкове положення.

Для живлення та керування установкою було розроблено пристрій, електричну схему якого подано на рис. 6.3.

Блок живлення складається з чотирьох частин: випрамляча, зарядного та розрядного контурів; мікроконтролера. Мікроконтролер введено в схему для більш точного дозування енергії заряду, що контролюється електричним табло у відсотках від максимальної потужності,

а також для плавного регулювання напруги зарядки конденсатора до встановленої робочої [30]. Мікроконтролер використовують для регулювання рівня заряду емнісного накопичувача енергії.

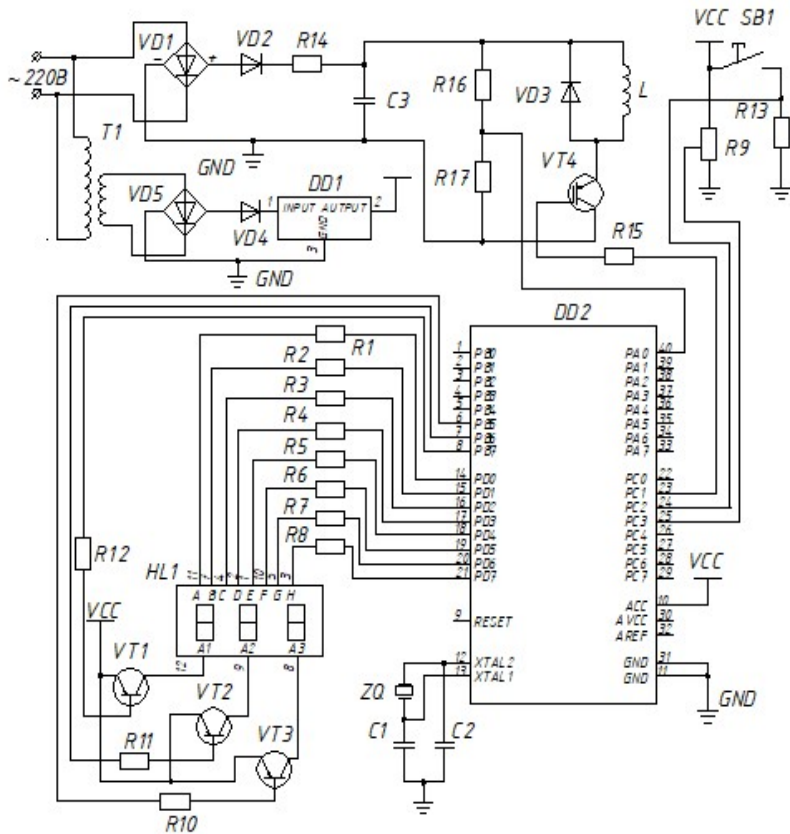


Рис. 6.3 – Електрична схема блока живлення ЛЕД з мікроконтролерним керуванням

Під конкретний технологічний процес створюється машинний код (GCode) для керування роботою пристрою з двокоординатною системою переміщення. За допомогою програми GRbl Controller 3.6.1 відбувається відправлення створеної програми в машинному коді на пристрій з числовим програмним керуванням. Вікно програми GRbl Controller 3.6.1 представлено на рис. 6.4.

Загальний вигляд машини з двокоординатною системою переміщення для перфорації деталей вершу взуття зображено на рис. 6.5.

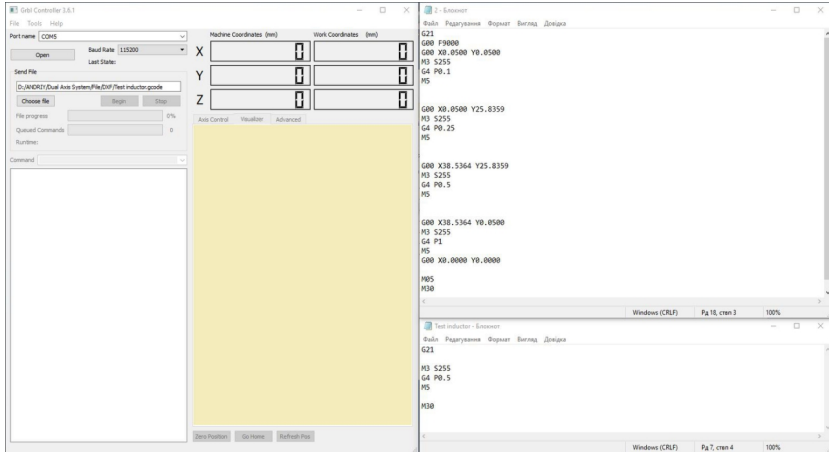


Рис. 6.4 – Вікно програми GRbl Controller3.6.1

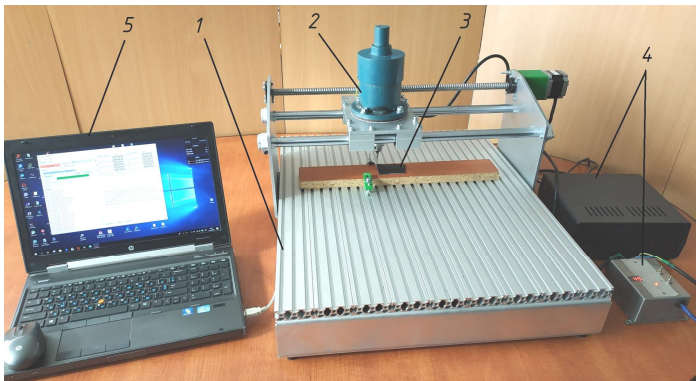


Рис. 6.5 – Загальний вигляд машини для перфорації деталей верху взуття: 1 – двокоординатна система переміщення; 2 – лінійний електричний двигун; 3 – деталь; 4 – пристрій живлення та керування ЛЕД; 5 – комп'ютер

Основними елементами є: пристрій для виконання двокоординатного переміщення деталі взуття із закріпленням лінійним електричним двигуном, призначеним для перфорації деталей взуття; система керування кроковими двигунами; пристрій живлення драйверів крокових двигунів, пристрій живлення та керування лінійним електричним двигуном.

Принцип роботи розробленої машини полягає у наступному. Деталь верху взуття поміщають на робочий стіл. Перед цим, за допомогою розробленого програмного забезпечення, створюється необхід-

ний рисунок для виконання операції перфорації. Машина запускається в дію і за розробленою програмою за допомогою пробійника лінійного електричного двигуна відбувається перфорація деталі.

Замінивши пробійник на голку та створивши відповідну програму можна виконувати операцію маркування деталей чи виробів.

Порядок виконання роботи

1. Як матеріал для виконання операції перфорації необхідно вибрати натуральну шкіру верху взуття (ДСТУ 2726–94) товщиною 1,6 мм.

2. За допомогою програмного забезпечення SolidWorks створити необхідний рисунок для виконання операції перфорації деталі верху взуття «союзка».

3. Під цей технологічний процес створити машинний код (GCode) для керування роботою пристрою з двокоординатною системою переміщення.

4. За допомогою програми GRbl Controller 3.6.1 відправити створену програму в машинному коді на пристрій з числовим програмним керуванням.

5. Підібрати необхідний рівень заряду ємнісного накопичувача енергії та визначити його у відсотках від максимальної потужності [5]. З цією метою, виставити мінімальне значення потужності та в подальшому збільшуючи його на 5 % за допомогою шуців визначити кожен раз глибину занурення пробійника в матеріал. Експеримент проводити до тих пір, поки не відбудеться повне прорізання матеріалу лезом пробійника. Отримані експериментальні дані внести до таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати експерименту

№ з/п	Потужність у відносних одиницях	Глибина занурення, мм
1		
...		
<i>n</i>		

6. Виставити за допомогою регулятора на табло отримане максимальне значення потужності у відносних одиницях, запустити машину та провести виконання технологічного процесу перфорації деталі верху взуття.

7. Після завершення технологічної операції зняти деталь та оцінити якість виконання перфорації. Зробити відповідні висновки.

8. Замінити робочий інструмент пробійник на маркувальну голку, створити відповідну програму, підібрати силу удару та провести процес маркування металевої деталі, оцінити якість нанесення та зробити відповідні висновки.

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис експериментальної установки, порядок виконання роботи, таблицю з експериментальними даними, висновки, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що собою представляє операція перфорації деталей взуття?
2. Як визначається максимальне технологічне зусилля перфорації?
3. Що собою представляє операція маркування деталей?
4. Яке обладнання використовується для перфорації деталей взуття?
5. Які типи приводів використовуються в обладнанні для перфорації деталей взуття?
6. Що входить у структурну схему машини з двокоординатним переміщенням для перфорації деталей верху взуття?
7. Розкрийте принцип роботи лінійного електромагнітного двигуна.
8. З яких частин складається блок живлення ЛЕМД з мікроконтролерним керуванням?
9. Як створюється машинний код (GCode) для керування роботою пристрою з двокоординатною системою переміщення?
10. З яких основних елементів складається машина для перфорації деталей верху взуття?
11. Розкрийте принцип роботи машини для перфорації деталей верху взуття.

Лабораторна робота 7

Експериментальні дослідження технологічних параметрів механічного розволокнення відходів натуральних шкір з використанням валкового пристрою

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування валкових пристроїв для експериментальних досліджень процесу розволокнення відходів натуральних шкір; набути практичних навичок проведення процесу розволокнення та експериментальних досліджень.

Обладнання та матеріали: зразки відходів натуральної шкіри; валковий пристрій для процесу розволокнення, розривна машина, вимірювальне устаткування, комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням.

Основні теоретичні відомості

Програма експериментальних досліджень технологічних параметрів розволокнення має на меті виявити їх залежність від параметрів структурної будови шкіри, характеристик і типу напружено-деформованого стану, збуджуваного технологічним обладнанням у матеріалі, що розволокнюється. На першому етапі визначаються ефективні структурні та фізико-механічні властивості вихідних зразків шкіри.

На другому етапі, на підставі отриманих у розділах 2 та 3 наукової роботи [20] залежностей, для технологічних пристроїв, описаних в лекції 7, визначають найбільш раціональні конструктивні і технологічні параметри обладнання, яке забезпечує формування у матеріалі, що розволокнюється, заданого напружено-деформованого стану.

На третьому етапі зразки натуральних шкір піддаються безпосередній обробці на експериментальному технологічному обладнанні, після чого визначається ступінь ослаблення структури шкіряної сировини залежно від параметрів технологічного процесу (деформацій розтягненням, стиску, зсуву, швидкості протягування, подачі, кількості циклів обробки та ін.). Як показник ступеня ослаблення структури шкіри використовуються такі загальноприйняті показники [як значення динамічного модуля пружності і границя міцності].

На четвертому етапі попередньо ослаблений матеріал піддається розволокненню на експериментальному технологічному обладнанні [20]. При цьому оцінюється структурно-статистичний розподіл розволокнених матеріалів за довжинами і поперечними розмірами волокон.

Оцінка застосовності основних положень теорії ефективних технологічних параметрів механічного ослаблення волокнистої структури шкіри буде проведена на прикладі найбільш розповсюдженого валкового обладнання, яке широко використовується у технологічних процесах переробки шкіри і є найпродуктивнішим, найдешевшим і найпростішим в експлуатації на малих і великих підприємствах.

7.1. Опис лабораторної установки

На підставі залежностей [20] спроектовано та визначено найбільш раціональні конструктивні та технологічні параметри валкового пристрою для проведення експериментальних досліджень технологічного процесу розволокнення відходів натуральних шкір.

В основу роботи пристрою покладена можливість фізичного моделювання процесів, що протікають при ослабленні шкір на валках, а також можливість варіювання деяких технологічних і конструктивних параметрів.

На рис. 7.1 представлений загальний вигляд установки. Вона містить електродвигун 1 (потужність $N = 1,5$ кВт, номінальна частота обертання вала $n = 3000$ об/хв), пасову передачу 2 з парою шківів для передачі крутильного моменту, черв'ячний редуктор 3 з передаточним числом $i_p = 34$, ланцюгову передачу 4 (ланцюг приводний роликів типу ПР-12,7-1800-1 з кроком 12,7 мм і руйнівним навантаженням 18000 Н), натяжну зірочку 9, валкові пристрої 5 і 6 для ослаблення структури шкіри (рис. 7.2).

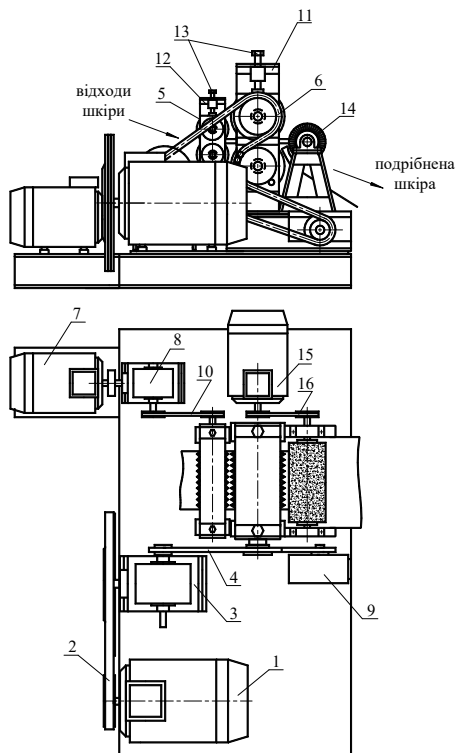


Рис. 7.1 – Схема технологічного валкового пристрою для розволокнення натуральних шкір: 1, 7, 15 – електродвигуни; 2 – пасова передача; 3, 8 – черв'ячний редуктор; 4, 10, 16 – ланцюгова передача; 5, 6 – валкові пристрої; 11, 12 – стійки; 13 – упорні болти; 14 – голкофреза

Для попереднього ослаблення структури шкіри використовується валковий пристрій 5, що отримує крутильний момент від двигуна 7 через черв'ячний редуктор 8 і ланцюгову передачу 10.

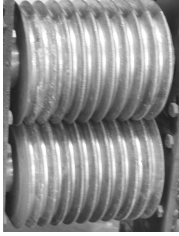


Рис. 7.2 – Валкові пристрої для ослаблення структури шкіри



Рис. 7.3 – Голкофреза для остаточного розволокнення структури шкіри

Пристрої 5 і 6 мають по дві стійки 11 і 12, на яких закріплені дві підшипникові опори нижніх та верхніх валків. Верхні валки можуть підніматися й опускатися за допомогою упорних болтів 13 для установки необхідного зазора між канавками верхніх валків і гребенями нижніх валків. На кожному валку виконано по 10 канавок і гребенів, які можуть входити один в одного, змінюючи ступінь обтиснення шкіри до 100 %.

Після встановлення необхідного зазора між канавками і гребенями кожна підшипникова опора закріплюється болтами. При необхідності валки можуть бути замінені на інші.

Ланцюги ланцюгових передач 10, 4 огинають зірочки валків з різних сторін, тому нижній і верхній обертаються назустріч один одному, що і потрібно для затягування шкіри у валки.

Для забезпечення синхронного обертання валків без **фрикції** зірочки ланцюгової передачі 4 виконані однаковими, хоча можуть бути замінені на різні, якщо необхідно забезпечити **фрикцію** одного валка відносно іншого.

Клиновий пас забезпечує передачу потужності $N = 1,33\text{--}2,20$ кВт. Після процесу ослаблення шкіра потрапляє під дію голкофрези 14 (рис. 7.3), де вона остаточо розволокнюється. Голкофреза отримує крутільний момент від двигуна 15 через ланцюгову передачу 16.

Порядок виконання роботи

1. Провести дослідження технологічних параметрів ослаблення волокнистої структури шкір у валковому пристрої (див. рис. 7.1, 7.2).

2. З цією метою вирізати вздовж лінії хребта зразки шкір: хромового дублення для верху взуття, хромтанідного дублення для низу взуття і комбінованого дублення для верху взуття у вигляді смуг шириною $b = 140$ мм і довжиною $l = 150$ мм.

3. Отримані зразки з натуральних шкір пропустити через валковий пристрій (див. рис. 7.1). Оскільки вже після третього проходу

матеріал буде практично зруйнований, то на першій стадії досліджень смуги шкіри повинні пройти однократну обробку при коловій швидкості валків, яка дорівнює $v = 0,025$ м/с. Кожен тип шкіри при цих дослідженнях повинен бути представлений 6 партіями по 10 зразків у кожній.

4. Після обробки у валковому пристрої з різних ділянок смуг необхідно вирізати по 10 зразків шириною $b_0 = 0,01$ м і з довжиною робочої частини $l_0 = 0,1$ м.

5. Піддати зразки розтягненні до розриву на розривній машині та за допомогою вимірювальної системи зафіксувати напруження руйнування. При цьому слід зазначити, що час між обробкою шкіри у валках і випробуваннями на розтягнення необхідно вибрати $t > 162 \cdot 10^3$ с (45 діб).

До проведення лабораторної роботи весь цей час зразки всіх шкір повинні зберігатися в одному ексикаторі з селікогелем при температурі $T = 0,23 \pm 3^\circ\text{C}$, що дозволить знизити до мінімуму вплив вологості шкір на результати випробувань. Крім того, такий досить тривалий проміжок часу дозволить зразкам цілком відрелаксувати, тим самим знизити до мінімуму вплив релаксаційної складової на значення дійсної міцності ослабленого зразка.

6. Усереднені результати випробування на розтягнення зразків, вирізаних вздовж лінії хребта зі смуг різних натуральних шкір, що пройшли одноразову обробку у валковому пристрої ослаблення структури, для різних рівнів ефективної технологічної деформації розтягнення та стиску ($\langle \varepsilon_1 \rangle = \langle \varepsilon_2 \rangle$) при коловій швидкості валків $v = 0,025$ м/с занести у таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Результати випробування

Номер партії	Значення технологічної деформації шкіри у валковому пристрої, $\langle \varepsilon_1 \rangle / \varepsilon_e$									
	Міцність при розтягненні σ , МПа									
1										
2										
3										
4										
5										
6										
Середнє значення										

У таблиці відображені результати випробування на розтягнення зразків, вирізаних вздовж лінії хребта різноманітних зразків, що пройшли одноразову обробку у валковому пристрої ослаблення структури, від

рівня ефективної технологічної деформації розтягнення та стиску $\langle \varepsilon_1 \rangle = \langle \varepsilon_2 \rangle = \langle \varepsilon_1 \rangle / \varepsilon_0$, при коловій швидкості валків $v = 0,025$ м/с.

7. За отриманими експериментальними даними побудувати залежності зміни міцності при розтягненні вирізаних вздовж лінії хребта зразків шкір, що пройшли одноразову обробку у валковому пристрої ослаблення структури, від рівня ефективної технологічної деформації розтягнення та стиску ($\langle \varepsilon_1 \rangle = \langle \varepsilon_2 \rangle$) при коловій швидкості $v = 0,025$ м/с.

8. Провести розволокнення попередньо ослабленого матеріалу. Розволокнення шкіряного матеріалу здійснити за допомогою циліндричної голкофрези 14 (див. рис. 7.1, 7.3), що обертається з постійною частотою $\omega_0 = 262$ с⁻¹, ($n_0 = 2500$ об/хв), діаметром $D = 0,11$ м.

9. Оцінити вплив основних технологічних показників, таких, як число проходів шкіряного матеріалу через валковий пристрій і величину подачі шкіри в зону розволокнення на операцію розволокнення матеріалу та зробити висновки.

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що собою представляє програма експериментальних досліджень технологічних параметрів розволокнення відходів натуральних шкір?
2. Які властивості вихідних зразків шкіри визначаються на першому етапі?
3. Що визначається на другому етапі розволокнення зразків відходів натуральної шкіри?
4. Що відбувається із зразками відходів натуральної шкіри на третьому етапі?
5. Що відбувається із зразками відходів натуральної шкіри на четвертому етапі?
6. Розкрийте принцип роботи пристрою для проведення експериментальних досліджень технологічного процесу розволокнення відходів натуральних шкір.
7. Що собою представляють валкові пристрої для ослаблення структури шкіри?
8. Що собою представляє голкофреза для остаточного розволокнення структури шкіри?

Лабораторна робота 8

Експериментальне дослідження процесу подрібнення полімерів в умовах високого тиску і зсуву

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування установки для експериментального дослідження процесу подрібнення полімерів; набути практичних навичок проведення процесу подрібнення та експериментальних досліджень.

Обладнання та матеріали: різні марки полімерних матеріалів; установка для подрібнення полімерів, вимірювальне устаткування, комп'ютер із встановленим програмним забезпеченням, динамометр, набір вантажів, секундомір.

Основні теоретичні відомості

Подрібнення застосовується в багатьох галузях: побуті, хімічній промисловості, гірничодобувній, легкій.

Подрібнення матеріалів – процес, що пов'язаний з розділенням одного або багатьох кусків матеріалу на більш дрібні, механічним або хімічним шляхом.

Хімічні методи передбачають розчинення речовини рідинами з подальшим осадженням у вигляді порошку (електроліз металів з виділенням їх на катоді у вигляді порошку).

Механічні методи найбільш розповсюджені. Для їх реалізації використовують різне обладнання. Тип обладнання вибирається залежно від фізико-механічних властивостей матеріалу, від початкових розмірів, від хімічних властивостей і від вимог до дисперсності кінцевого продукту. З врахуванням вимог обладнання повинне бути надійним, продуктивним, з малими питомими витратами на продукцію.

У всіх подрібнювачів використовують певні фізичні ефекти: роздавлювання; стирання; різання; розколювання; ультразвукові ефекти; температурні; кавітаційні.

Роздавлювання – вид дії, коли тіло під дією навантаження деформується по всьому об'єму і коли внутрішні напруження перевершують межу міцності то утворюються мілкі частини різної форми і розмірів.

Розколювання – вид дії коли тіло руйнується на частини в місцях концентрації найбільших навантажень, які передаються робочими елементами подрібнювача. Утворюються частки більш однорідні за розмірами і формою. При цьому можна регулювати розміри часток.

Розлущування – вид дії, коли тіло руйнується під дією згинаючих сил. При цьому отримуються приблизно частки такі ж як і при розколюванні.

Різання – вид дії, коли тіло ділиться на частинки заданих розмірів і форми. Процес повністю керований.

Стирання – вид дії, коли тіло руйнується під дією стискових, розтяжних і зрізувальних сил.

Удар – вид дії, коли тіло руйнується на частини під дією динамічного навантаження.

При зосередженому навантаженні відбувається ефект подібний розколу, при розподіленому навантаженні подібний роздавлюванню. Розрізняють руйнування вільним і стисненим ударом. При стисненому ударі тіло руйнується між двома тілами подрібнювачів. При вільному ударі руйнування відбувається завдяки зіткненню з робочими органами. Ефект залежить від швидкості руху часток або робочих органів.

Види подрібнювачів можуть бути різними: шоккові та конусні дробарки, бігуни, молоткові, валкові, пальцеві (дезінтегратори, дисмембратори), барабанні млини, вібраційні, екструдерні тощо.

В легкій промисловості також широко застосовуються процеси, що пов'язані з механічною обробкою полімерів. Це перемішування, транспортування, подрібнення та інші.

Важливим моментом при виборі технологічних режимів, виборі і розрахунках обладнання є визначення технологічних зусиль, що виникають при взаємодії робочих органів з полімерним матеріалом і прогнозування фізико-хімічних змін в матеріалі в результаті обробки. Особливо інтенсивне деформування матеріалів відбувається при їх подрібненні в механічних пристроях. Відображення цих процесів ускладнюється тим, що деформуванню підлягає не монолітний матеріал, а полідисперсна суміш його часток. При цьому реологічні властивості таких сумішей залежать від дисперсного складу полімеру, температури, швидкості і способу прикладення навантаження [22]. Аналітичне відображення цих властивостей адекватними математичними моделями можливе виключно на основі експериментально статистичних даних отриманих шляхом досліджень процесу деформування матеріалу.

8.1. Опис лабораторної установки

З метою проведення досліджень перерахованих раніше виготовлено експериментальну установку, схема якої показана на рис. 8.1.

Суть експериментальних досліджень, які можливо проводити за допомогою установки полягає в отриманні залежностей технологічних зусиль і зміни гранулометричного складу при деформуванні полімерних матеріалів від початкової дисперсності і способу прикладення навантажень.

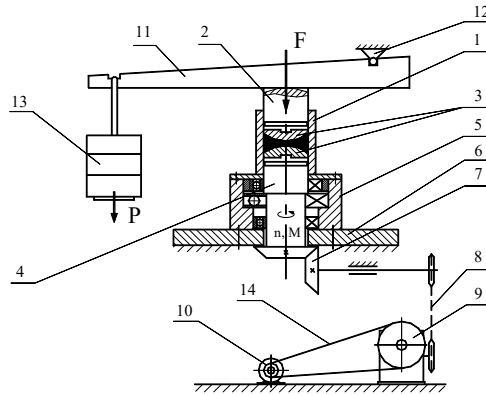


Рис. 8.1 – Схема експериментальної установки

Установка складається з вузла для деформування і подрібнення матеріалу, привода, механізму навантаження і системи вимірювання параметрів (на схемі не показана). Вузол деформування і подрібнення матеріалу складається з стакана 1, штока 2, вала 4 і змінних деформуючих елементів 3, які встановлюються на штокові і валу за допомогою шліців. Вал 4 встановлено в корпусі 5 за допомогою двох радіальних і одного упорного підшипника. Корпус підшипників закріплено на опорній плиті 6. Обертання вала 4 здійснюється за допомогою привода, який складається з електродвигуна 10, клинопасової передачі 14, черв'ячного редуктора 9, ланцюгової передачі 8 і відкритої конічної зубчатої передачі 7. Механізм навантаження складається з важеля 11, упора 12 і набору вантажів 13.

Технічна характеристика експериментальної установки: потужність електродвигуна 0,6 кВт; частота обертання вала 0,2 об/с; максимальне зусилля на штокові 120 кН; діаметр штока 30 мм; габаритні розміри 1200×800×1500; маса без вантажів 165 кг.

Установка працює наступним чином. Доза полімерного матеріалу відомого дисперсного складу завантажується в стакан 1, потім вставляється шток 2 з деформуючим елементом певного профілю. Встановлюється важіль 11 і навантажується вантажами 13. Вмикається електродвигун і за рахунок обертання вала 4 здійснюється деформування матеріалу в умовах високого тиску і зсуву протягом фіксованого проміжку часу. При цьому вимірюється обертовий момент на валу 4 за допомогою тензодатчика, який встановлено на пластині, що жорстко з'єднана з натяжним роликом ланцюгової передачі 8 (на схемі не показано). Сигнал від тензодатчика підсилюється і записується за допомогою комп'ютера після аналого-цифрового перетворення.

Гранулометричний склад порошоків полімерів може бути визначений за допомогою ступеневого просіювання.

Таким чином установка дозволяє моделювати процес інтенсивного деформування і подрібнення полімерів. При цьому можливо змінювати тиск в камері, профіль деформуючих елементів. Крім того змінними можуть бути вид і початковий дисперсний склад матеріалу.

Результати вищеназваних досліджень можна використати при оптимізації конструкції пристрою для подрібнення.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою динамометра провести тарування тензодатчика та визначити коефіцієнт тарування тензодатчика.

2. За допомогою ваги зважити певну порцію полімеру та засипати його в стакан.

3. Навантаживши шток певним навантаженням провести подрібнення полімеру на протязі певного періоду часу.

4. Записати в пам'ять комп'ютера експериментальні дані для побудови залежностей крутного моменту від часу.

5. Провести подрібнення полімеру при інших навантаженнях на шток.

6. За допомогою програми для обробки знятих експериментальних даних отримати залежності крутного моменту від часу при навантаженнях на важіль 50 Н, 100 Н, 150 Н.

7. Навантаження на шток визначити з врахуванням ваги самого важеля. Розміри важеля зняти з експериментальної установки.

8. За даних графіках визначити максимальний і мінімальний крутний момент.

9. Дані занести в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1 – Результати експериментальних досліджень

№ з/п	Навантаження на шток, Н	Час витримки, хв	Крутний момент на валу, Н·м	
			максимум	мінімум

10. Привести в звіті розшифрований графік залежності крутного моменту від часу (з вказуванням максимального і мінімального значення крутного моменту).

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи,

графіки експериментальної залежності крутного моменту від часу, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що таке подрібнення?
2. Які фізичні ефекти застосовуються в різних типах подрібнювачів?
3. Які типи подрібнювачів ви знаєте?
4. Від яких параметрів залежить процес подрібнення?
5. Як працює експериментальна установка для подрібнення полімерів в умовах високого тиску та зсуву?

Лабораторна робота 9

Дослідження ресурсозберігаючої адитивної технології переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням обладнання для 3D-друку

Мета: ознайомитися з призначенням, будовою і принципом функціонування пристроїв 3D-друку; набути практичних навичок виготовлення деталей методом FDM-друку з подрібненого полімеру.

Обладнання та матеріали: 3D-принтер; подрібнений полімер ABS та PLA, комп'ютер з встановленими програмами Solid Works та Cura, ваги, розривна машина.

Основні теоретичні відомості

Пластмаси – матеріали на основі органічних синтетичних або природних полімерів, з яких можна після нагріву і прикладання тиску формувати вироби складної конфігурації. Полімери – високомолекулярні сполуки, що складаються з довгих молекул з великою кількістю однакових угруповань атомів, з'єднаних хімічними зв'язками. Крім полімеру в пластмасі можуть бути деякі добавки. Послуги з переробки пластмас – сукупність технологічних процесів, що забезпечують отримання виробів – деталей із заданими конфігурацією, точністю і експлуатаційними властивостями. Висока якість виробу буде досягнута, якщо обрані матеріали і технологічний процес будуть задовольняти заданим експлуатаційним вимогам виробу: електричним, механічній міцності, хімічній стійкості, щільності, прозорості тощо [14].

Застосування нових технологій – головний тренд останніх років в будь-якій сфері промислового виробництва. Кожне підприємство в Україні і світі прагне створювати більш дешеву, надійну і якісну

продукцію, використовуючи найдосконаліші методи і матеріали. Використання адитивних технологій – один з найяскравіших прикладів того, як нові розробки і обладнання можуть істотно поліпшувати традиційне виробництво. Інтенсивність розвитку адитивних технологій не має аналогів. Ці технології принципово змінили процеси проектування і конструювання виробів, перетворивши їх в процеси безперервного створення виробів.

Адитивні технології виробництва дозволяють виготовляти будь-який виріб пошарово на основі комп'ютерної 3D-моделі. Такий процес створення об'єкта також називають «виращуванням» через поступовість виготовлення. Якщо при традиційному виробництві на початку ми маємо заготовку, від якої відсікаємо все зайве, або деформуємо її, то у випадку з адитивними технологіями з нічого (а точніше, з аморфного витратного матеріалу) вибудовується новий виріб. Залежно від технології, об'єкт може будуватися знизу-вгору або навпаки та отримувати різні властивості [14].

Загальну схему адитивного виробництва можна описати наступною послідовністю: підготовка CAD-моделі; створення STL-файлу; розділення на шари; 3D-друк; фінішна обробка; готовий виріб.

Технології 3D-друку. Виробники 3D-принтерів використовують різні технології друку. Від технології друку залежать такі важливі параметри, як мінімальна і максимальна товщина шару, швидкість побудови виробу, а також вартість, як самого 3D-пристрою, так і витратних матеріалів [27]. Залежно від принципу створення заготовок, виділяють наступні види 3D-друку: SLA-стереолітографія, SLS (EBM, SLM) – селективне лазерне спікання, FDM-метод послідовного наплавлення, DLP-технологія цифрового проектування, MJM – багатоструменеві укладання полімеру. FDM – моделювання методом осадження розплавленої нитки. FDM 3D-друк – найбільш поширена і доступна технологія – пошарове нанесення розплаву полімеру [14].

FDM (Fused Deposition Modelling) – технологія тривимірного друку, при якій побудова об'єкта йде за рахунок розплавлення нитки пластика, яка через екструдер подається на робочу поверхню. Технологія була винайдена в кінці 1980 років Скотом Крампом, який пізніше запатентував її і заснував компанію «Stratasys».

Відповідно до класифікації американської асоціації з розробки технічних стандартів (ASTM), ця технологія відноситься до однієї великої групи – Material extrusion, що перекладається як «видавлювання матеріалу», а сама аббревіатура FDM означає «осадження розплавленого матеріалу». Суть процесу полягає в наступному.

Щоб здійснити FDM-друк необхідно мати 3D-модель потрібного виробу в форматі STL. Це спеціальний формат, як вже відміча-

лось раніше, в якому модель порізана на найтонші шари, кожна точка яких має відомі координати. Для друку всієї моделі на принтер спочатку передаються дані про форму першого шару, після чого пристрій починає видавлювати в строго заданих місцях розплавлений пластик. На сьогодні FDM-технологія може забезпечити товщину шару в 0,02–0,05 мм. Після нанесення пластика екструдер віддаляє від моделі цю товщину і весь процес повторюється.

Технологія FDM-друку полягає в наступному: екструзійна головка з контрольованою температурою розігріває до напіврідкого стану полімерні гранули, і з високою точністю подає отриманий термопластичний моделюючий матеріал тонкими шарами на робочу поверхню 3D-принтера. Шари наносяться один на одного, з'єднуються між собою і тверднуть, поступово формуючи готовий виріб.

Основним конструктивним елементом FDM 3D-принтера базової моделі є друкуюча головка, яка складається зі шнека і нагрівача.

Нагрівач – це така частина головки, в якій полімерний матеріал розплавляється і видавлюється через крихітне сопло діаметром 0,15–0,50 мм. Нагрівач з соплом часто називають hot-end (гарячий кінець).

Найважливіший аспект – розмір сопла екструдера. Саме від нього залежить, у великій мірі, якість друку. Виробники 3D-принтерів зазвичай оснащують свої екструдери соплами з отвором діаметром 0,4–0,5 мм – цей розмір є оптимальним. У свою чергу, використання сопла меншого діаметра (0,2–0,3 мм) може забезпечити кращу деталізацію, чіткість граней і чистоту поверхні об'єкта, так як видавлюються більш тонкі нитки розплаву пластику.

Виріб при FDM-друку створюється пошарово. Для виготовлення чергового шару термопластичний матеріал нагрівається в друкуючій головці до напіврідкого стану і видавлюється у вигляді нитки через сопло з отвором малого діаметра, осідаючи на поверхні робочого столу (для першого шару) або на попередньому шарі, з'єднуючись з ним. Головка переміщається в горизонтальній площині і поступово «малює» потрібний шар – контури і заповнення між ними, після чого відбувається вертикальне переміщення (найчастіше опусканням стола, але є моделі, в яких піднімається головка) на товщину шару і процес повторюється до тих пір, поки модель не буде побудована повністю.

Шари наносяться один на одного, з'єднуються між собою і тверднуть, поступово формуючи готовий виріб. Вихідними даними при цьому є просторово-математичні моделі, створені із застосуванням сучасних засобів САПР в певних форматах. Можлива їх трансляція з форматів IGS, SAT, STEP, SLDPRT і деяких інших. На рис. 9.1 показаний принцип FDM друку.

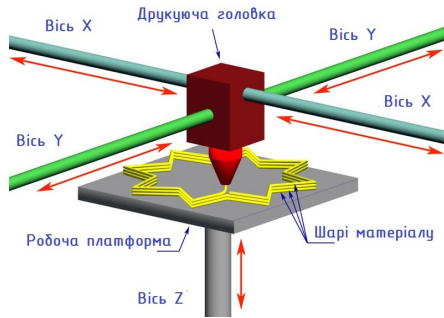


Рис. 9.1 – Принцип роботи 3D-принтера

Конструктивні особливості 3D-принтерів. Принцип роботи 3D-принтера заснований на законах кінематики. Виділяють кілька схем 3D-друку, виходячи з переміщень платформи і головки, які можуть рухатися відносно один одного в різних площинах.

Існує чотири основні схеми друку: дельта; екструдер переміщається по осях X і Y ; екструдер змінює положення в просторі по осях X і Z ; екструдер рухається по осях X , Y і Z .

Основні види пластиків, що використовуються при 3D-друку.

Пластик ABS. ABS-пластик (акрилонітрилбутадієнстирол, АБС) – удароміцний термопластик, який широко використовується в промисловості і 3D-друку.

Відмінні міцнісні характеристики ABS-пластика дають можливість широкого використання в автомобільній, медичній галузі, у виробництві спортивної побутової техніки, меблів, іграшок і іншого.

Невисока вартість ABS-пластика і нескладність використання його, як витратний матеріал, привели до високої популярності ABS в середовищі 3D-друку. ABS-пластик є одним з найбільш популярних матеріалів для друку. В Україні з'явилося багато вітчизняних виробників цього типу пластику. Також використовується ABS і закордонних виробників.

До його основних переваг слід віднести його невисоку вартість. Є можливість виправляти недоліки поверхні або проводити спаювання деталей за допомогою ацетону.

Удароміцність і деяка еластичність роблять пластик ідеальним при виготовленні певних типів деталей.

У ABS-пластика є декілька недоліків: для якісного друку і відсутності деламінації (відривання деталі від робочого столу) потрібний стіл, що підігрівається; через нерівномірне охолодження виробу можливе розтріскування деталі, що, в свою чергу, приводить до браку. Щоб цього уникнути, рекомендується друк на принтері із закритим

корпусом і столом з підігрівом; протяги при друку практично завжди приводять до браку поверхні друку; випаровування шкідливих речовин із матеріалу під час друку; можливе зниження якості друку через заміщення сопла екструдера.

При друку деталей із ABS-пластика виникає усадка матеріалу. Тому деталь при проектуванні потрібно робити із певним допуском. Також зменшити усадку при друку можна за рахунок використання столу, що підігрівається та наявності закритого корпусу принтера.

Режими друку ABS-пластиком: робоча температура 210–240 °C (залежно від виробника); швидкість друку можлива на максимальній швидкості принтера (залежить від принтера і якості пластика).

Пластик PLA. Він більш твердий і крихкий порівняно із ABS. З плюсів PLA є те, що не потрібно нагрівати стіл принтера. З мінусів – через велику твердість, складніше обробляється. Деякі типи PLA світяться в ультрафіолеті, що відкриває простір для творчості в різних видах біжутерії, прикрас тощо.

Перевагою пластика PLA є те, що при друку краще сплавляються шари, тобто деталь отримується міцнішою в плані розшарування. Відповідно з нього можна надрукувати деталі з більшою точністю з першого заходу. Він володіє також високою пружністю.

Пластик PLA нормальної якості не поступається за міцністю ABS. Відсутність усадки і на порядок менша ймовірність деламінації, зменшують кількість бракованих деталей в рази.

Режими друку пластиком PLA: робоча температура 180–210 °C (залежно від виробника); швидкість друку можлива на максимальній швидкості принтера (залежить від принтера і якості пластика).

Пластик FLEX – еластичний пластик. Використовується, в основному, з декоративною метою (чохли для телефонів, браслети тощо). Матеріал є специфічним. Має свою нішу використання та потребує певної тонкості у роботі.

Механічна обробка деталей виготовлених із нього утруднена. Піддається тільки обрізанню гострим ножом. За властивостями подібний до гуми. Не потребує нагрівального столу. Усадка матеріалу відсутня.

Режими друку пластиком FLEX: робоча температура 220–240 °C (залежно від виробника); швидкість друку 20–30 мм/с.

На сьогодні на ринку представлено багато інших типів пластиків для 3D-друку. Це зокрема пластики RUBBER, NYLON, HIPS, PVA тощо. Всі вони мають свої як переваги так і недоліки та можуть використовуватися для друку певних деталей.

Типи файлів, що використовуються при 3D-друку. Основним типом файлів в яких зберігається і розповсюджуються файли для 3D-друку є формат файлів з розширенням *.stl*. Такий тип файлів вико-

ристовується також і при підготовці моделей для верстатів з ЧПК. Другий тип файлів, які розуміє більшість програм-слайсерів – *.obj*. Він і сьогодні зустрічається, набагато рідше ніж *.stl*.

Після обробки програмою-слайсером отримується файл, який необхідний для друку. Це набір команд за якими 3D-принтер буде модель майбутньої деталі. Самий розповсюджений формат – *.gcode*. Він призначений для більшості принтерів. Є ще один формат, який використовують принтери на основі розробок MakerBot – *.x3g*.

Програмне забезпечення. На сьогодні існує багато різних програм для роботи з 3D-принтерами, що переводять 3D-моделі в зрозумілий для 3D-принтера формат. Такі програми називаються *слайсерами*.

Слайсер – програма, яка «нарізає» модель та яка переводить 3D-модель у зрозумілу для виконання принтерами мову команд – *.gcode*.

На сьогоднішні існують програми від виробників обладнання, які працюють тільки зі своїм устаткуванням: MakerBot Desktop (MakerBot Replicator різних моделей і його клони), вже застарілий RepliatorG. Є універсальні програми – Cura від Ultimaker, RepitierHost від leapFrog. Є незалежні розробки – Slic3R, KISSlicer, Sceineforge. Найбільш розповсюджений, універсальний і простий до засвоєння слайсер Cura. Програма розроблена для принтерів Ultimaker, але фактично підходить для багатьох інших принтерів.

Переваги програми: обробляє без проблем деякі помилки моделей; працює довільно швидко; проста у засвоєнні.

Виробники 3D-принтерів. Технологія 3D-друку з одного боку ще знаходиться на етапі свого зародження і становлення, з іншого боку базується на вельми опрацьованих технологічних рішеннях з ряду інших областей (зокрема, екструзії полімерів). Дані обставини в сукупності з розвитком Інтернету, значно прискорили і спростили обмін інформацією в світових масштабах, привели до того, що тими чи іншими успіхами в області розробки, конструювання та виробництва обладнання для 3D-друку можуть похвалитись дуже багато компаній у всьому світі.

Переважає більшість таких компаній (на сьогоднішній день) займається складанням обладнання з готових конструкційних елементів за конструкторськими схемами, що знаходяться у вільному доступі з мінімальними змінами і новаціями.

Однак на ринку вже є і свої лідери, відносно великі компанії, що порівняно (з огляду на вік самого ринку 3D-друку) давно працюють у цій області. До них можна віднести: 3D Systems (США); EnvisionTEC (Німеччина); Stratasys (США); MX3D (Нідерланди); Rapid Shape (Німеччина); DWS s.r.l. (Італія); Wuhan Binhu Mechanical & Electrical (Китай); MakerBot Industries (США); RepRapPro (Великобританія); Ultimaker (Нідерланди) тощо.

9.1. Опис лабораторної установки

Установку для проведення експериментальних досліджень було розроблено на базі струменевого 3D-принтера з FMD-технологією друку (рис. 9.2).

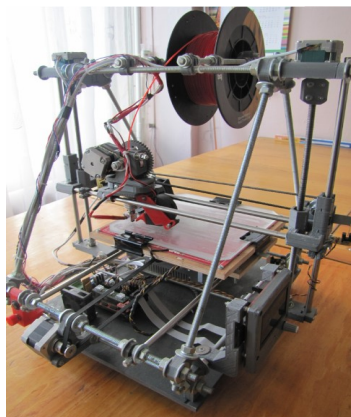


Рис. 9.2 –Базова модель 3D-принтера з FMD-технологією друку

В даній установці було демонтовано головку для друку полімерним прутком і встановлено розроблений пристрій для переробки полімерних мас, що поступають в екструдер у вигляді гранул (рис. 9.3).

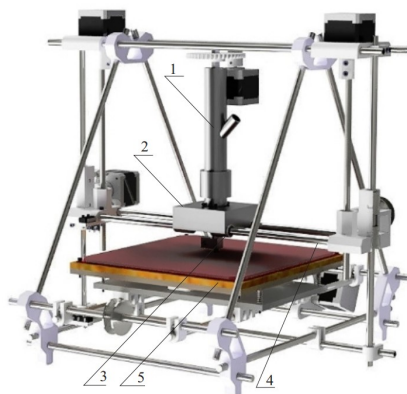


Рис. 9.3 – Загальний вигляд установки із пристроєм для переробки полімерних мас: 1 – екструдер; 2 – кріплення установки екструдера; 3 – підшипник прямолінійного руху; 4 – вал переміщення пристрою; 5 – робоча поверхня для охолодження вихідного матеріалу

3D-принтер складається з: каркаса, який грає роль скелета для монтажу конструкційних елементів; напрямних, які здійснюють порівняно вільне переміщення друкуючої головки в заданому просторі 2; екструдера (друкуючої головки), який виконує подачу, нагрів і витіснення (екструзію) витратного матеріалу через сопло на робочу поверхню 5; крокових двигунів – елементів конструкції 3D-принтера, що відповідають за рівномірні переміщення друкуючої головки в заданому просторі; робочого стола – платформи 3D-принтера, на якій і здійснюється безпосереднє створення тривимірного об'єкта 5; блока електроніки – набору елементів, який відповідає за управління та координацію дій принтера в процесі друку 6.

Технічні характеристики 3D-принтера: технологія 3D-друку – FMD; кількість екструдерів – один; поле друку – 150×150×100 мм; підтримувані сопла для друку – 0,4 мм (базовий), 0,3 мм, 0,2 мм, 0,5 мм; висота шару: 0,05 мм та більше; тип привода по осі Z: гвинтова пара (трапеція); типи пластику, що використовуються: ABS, PLA; платформа – з підігрівом і скляною поверхнею; матеріал каркаса – металеві стрижні; програмне забезпечення: Cura, Repetier-Host, KISSlicer та ін.; прошивка – українська.

Принцип роботи 3D-принтера полягає в наступному. Подрібнений філамент надходить в екструдер (друкуючу головку) 1, після чого здійснюється розігрів полімеру до його рідкого стану. Далі отримана маса видавлюється через сопло екструдера 1. При цьому крокові двигуни за допомогою гвинтових пар надають рух екструдеру 1, який переміщається по напрямних в заданому напрямі і наносить пластик на платформу 5 шар за шаром згідно заданої моделі. По закінченню друку отримується готова деталь.

Порядок виконання роботи

1. За допомогою програмного середовища SolidWorks, встановленого на комп'ютері, створити 3D-модель зразка для випробовувань ISO R527 ГОСТ 11262–80 (тип 2) товщиною 4 мм, приведеній на рис. 9.4.

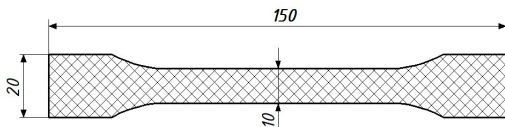


Рис. 9.4 – Зразок для досліджень

2. Підготувати за допомогою слайсера Cura до друку, створену в програмному середовищі SolidWorks геометричну фігуру.

3. Записати підготовлену модель на SD-карту та перенести в пам'ять 3D-принтера.

4. Засипати подрібнений ABS-пластик в екструдер.
5. Виставити необхідну температуру нагріву нагрівального елемента екструдера та його швидкість переміщення.
6. Здійснити процес друку дослідного зразка з горизонтальним та вертикальним (з підтримкою) їх розташування на робочому столі 3D-принтера.
7. Здійснити процес друку дослідного зразка з 25 % і 100 % заповненням полімером.
8. Провести дослідження надрукованих зразків, використовуючи розривну машину та зняти експериментальні дані залежності сили розриву від видовження зразка. Отримані дані занести у таблицю 9.1.

Таблиця 9.1 – Результати експерименту

№ з/п	Тип полімеру	Степінь заповнення зразка, %	Розташування на робочому столі	Вага зразка m , г	Площа перерізу S , мм ²	Сила розриву F_p , Н	Границя міцності P_p , МПа

9. Зробити відповідні висновки
10. Засипати в екструдер пластик PLA та виконати п. 5–9.

Зміст звіту

Зміст звіту повинен включати мету роботи, короткі теоретичні відомості, опис лабораторної установки, порядок виконання роботи, таблицю, висновки, відповіді на контрольні питання.

Контрольні питання

1. Що таке полімер?
2. Що собою представляє адитивна технологія?
3. Які існують технології 3D-друку?
4. Що собою представляє технологія FDM-друку?
5. Які існують схеми 3D-друку?
6. Які види пластиків використовуються для 3D-друку?
7. Які типи файлів використовуються при 3D-друку?
8. Яке програмне забезпечення використовується при 3D-друку?
9. Розкрийте принцип роботи експериментальної установки.
10. З яких основних вузлів та деталей складається експериментальний 3D-принтер?

3. СИСТЕМА КРИТЕРІЇВ ОЦІНЮВАННЯ

При виконанні лабораторної роботи та захисту звіту до неї, використовують наступну систему критеріїв оцінювання.

Оцінку **«відмінно»** (шкала ECTS – A) здобувач вищої освіти отримує за глибоке і повне опанування теоретичного матеріалу; легко в ньому орієнтується і вміло використовує понятійний апарат; уміння пов'язувати теорію з практикою, вирішувати практичні завдання, впевнено висловлювати і обґрунтовувати свої судження. Відмінна оцінка передбачає грамотний, логічний виклад відповіді (як в усній, так і у письмовій формі), якісне зовнішнє оформлення звіту. Здобувач не вагається при видозміні запитання, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки. При відповіді допустив дві–три несуттєві похибки.

Оцінку **«добре»** (шкала ECTS – B) здобувач вищої освіти отримує за повне засвоєння теоретичного матеріалу, володіння понятійним апаратом, орієнтування у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті та формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь здобувача має будуватись на основі самостійного мислення, але з наявністю нечітких формулювань.

Оцінку **«добре»** (шкала ECTS – C) здобувач вищої освіти отримує за повне засвоєння теоретичного матеріалу, володіння понятійним апаратом, орієнтування у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті і формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь здобувача має будуватись на основі самостійного мислення. Здобувач у відповіді допустив дві–три суттєві помилки.

Оцінку **«задовільно»** (шкала ECTS – D) здобувач вищої освіти отримує за достатні знання основного програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та практичної діяльності за професією, справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь здобувача вищої освіти будується на рівні репродуктивного мислення, він має слабкі знання структури дисципліни, допускає неточності і суттєві помилки у відповіді, вагається при відповіді на видозмінене запитання. Разом з тим набув навичок, необхідних для виконання нескладних практичних завдань, які відповідають мінімальним критеріям оцінювання і володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.

Оцінку **«задовільно»** (шкала ECTS – E) здобувач вищої освіти отримує за неповне опанування теоретичного матеріалу, однак отримані

знання відповідають мінімальним критеріям оцінювання; розрахунки, графіки, блок-схеми та висновки виконані з певними неточностями; звіт захищений після закінчення встановленого терміну.

Оцінку *«незадовільно»* (шкала ECTS – FX) здобувач вищої освіти отримує за розрізнені, безсистемні знання, не вміє виділяти головне і другорядне, допускається помилок у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань.

Оцінку *«незадовільно»* (шкала ECTS – F) здобувач вищої освіти отримує за повне незнання і нерозуміння теоретичного матеріалу та невиконання роботи.

При оцінюванні використовують різні засоби контролю, зокрема: засвоєння теоретичного матеріалу перевіряється контрольними запитаннями; якість виконання, набуття теоретичних знань і практичних навичок перевіряється шляхом захисту кожної роботи.

Оцінка, яка виставляється за лабораторне заняття, складається з таких елементів: усне опитування здобувачів вищої освіти перед допуском до виконання роботи; знання теоретичного матеріалу з теми; вільне володіння здобувачем вищої освіти спеціальною термінологією і уміння професійно обґрунтувати прийняті конструктивні рішення; своєчасний захист лабораторної роботи.

Термін захисту роботи вважається своєчасним, якщо здобувач вищої освіти захистив її на наступному після виконання роботи занятті. Пропущену лабораторну роботу здобувач вищої освіти зобов'язаний відпрацювати в лабораторіях кафедри у встановлений викладачем термін з реєстрацією у відповідному журналі кафедри, але не пізніше, ніж за два тижні до кінця теоретичних занять у семестрі.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Абрамов В. Ф. Процессы, инструмент и устройства резания в производстве одежды, обуви, кожи и меха : учеб. пособ. / В. Ф. Абрамов, В. Н. Соколов. – М. : МГУДТ, 2002. – 256 с.
2. Орловський Б. В. Технологічне обладнання галузі (швейне виробництво) : навч. посіб. / Б. В. Орловський, Н. С. Абрінова. – Київ : КНУТД, 2013. – 285 с.
3. Дрофа Е. А. Инновации в легкой промышленности : учеб. пособ. / Е. А. Дрофа. – Ставрополь : ООО ИД «ТЭСЭРА», 2013. – 50 с.
4. Переработка отходов производства и потребления. Справочное издание / под ред. Б. Б. Бобовича. – М. : «Интернет Инжиниринг», 2000. – 496 с.
5. Смирнова В. Ф. Машины и аппараты швейного производства / В. Ф. Смирнова, Т. В. Буевич. – Витебск : ВГТУ, 2002. – 68 с.
6. Поліщук О. С. Електромеханічне пресове обладнання на підприємствах легкої промисловості / О. С. Поліщук. – Хмельницький : Вид-во «PolyLux», 2018. – 285 с.
7. Коновала В. П. Універсальний довідник взуттєвика : навч. посіб. / В. П. Коновала, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістунової. – Київ : Лібра, 2005. – 718 с.
8. Скиба М. Є. Технологічні процеси і обладнання для розволокнення шкіряних та волокнистих матеріалів / М. Є. Скиба. – Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2003. – 136 с.
9. Скиба М. Є. Обладнання для переробки відходів / М. Є. Скиба. – Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2004. – 124 с.
10. Спорягін Е. О. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів / Е. О. Спорягін, Е. О. Варлан. – Донецьк : Вид-во ДНУ, 2012. – 188 с.
11. Яворський А. В. Відновна енергетика : лаборатор. практикум / А. В. Яворський, І. Р. Ващишак. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 87 с.
12. Франц В. Я. Оборудование швейного производства : учебник / В. Я. Франц. – М. : Академия, 2010. – 448 с.
13. Сторожев В. В. Машины и аппараты легкой промышленности : учебник / В. В. Сторожев. – М. : Академия, 2010. – 400 с.
14. Ляпков А. А. Полимерные аддитивные технологии : учеб. пособ. / А. А. Ляпков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2016. – 114 с.

Допоміжна

15. Горшков А. С. Разработка научных и методологических принципов повышения эффективности использования энергетических ресурсов на предприятиях текстильной и легкой промышленности и снижения энергоемкости выпускаемой продукции : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.22 / А. С. Горшков. – Санкт-Петербург, 2019. – 524 с.

16. Поліщук О.С. Наукові основи проектування електромеханічного пресового обладнання легкої промисловості : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.10 / Поліщук Олег Степанович. – Київ, 2019. – 442 с.
17. Глущенко В. А. Технология и оборудование специальных видов листовой штамповки / В. А. Глущенко. – Самара : СГАУ, 2013. – 174 с.
18. Литвин Е. В. Исследование операции механического резания в производстве обуви и кожгалантерейных изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.06 / Литвин Евгений Викторович. – М., 2005. – 241 с.
19. Егоров А. А. Импульсный линейный электромагнитный привод для операций маркирования и клеймения деталей и изделий : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Егоров Андрей Александрович. – Саратов, 2007. – 180 с.
20. Скиба М.Є. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій переробки відходів натуральних шкір у матеріали та виробу взуттєвого виробництва : дис. ... д-ра техн. наук : 05.19.06 / Скиба Микола Єгорович. – Хмельницький, 2004. – 417 с.
21. Патлашенко О. А. Матеріалознавство швейного виробництва / О. А. Патлашенко. – Київ : Арістей, 2007. – 288 с.
22. Місяць В. П. Розвиток наукових основ проектування обладнання для подрібнення відходів термопластичних і гумових матеріалів легкої промисловості : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.10 / Місяць Володимир Петрович. – Київ, 2007. – 403 с.
23. Абрамов В. Ф. Технология и моделирование процессов резания в швейном и обувном производстве : монографія / В. Ф. Абрамов, В. Н. Соколов, И. Р. Татарчук, Е. В. Литвин. – М. : МГУДТ, 2003. – 384 с.
24. Соколов В. Н. Научно-технические основы технологического резания в легкой промышленности : дис ... д-ра техн. наук : 05.02.13 / Соколов Владимир Николаевич. – Москва, 2006. – 351 с.
25. Капустенський П. Г. Механічна технологія та устаткування швейних виробництв : лаборатор. практикум / П. Г. Капустенський, Е. А. Манзюк, О. С. Поліщук, С. П. Лісевич. – Хмельницький : ХНУ, 2008. – 155 с.
26. Лабораторно-практична робота № 1, 2. Дослідження альтернативних пристроїв гарячого водопостачання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://shurusu.narod.ru/EZT/Labs/LPR_1_2_ukr.pdf.
27. Горьков А. 3D-печать с нуля. Подробное руководство по обучению работы на 3D-принтере / А. Горьков.. – М. : БХВ, 2015. – 400 с.
28. Гончаренко І. М. Забезпечення енергоефективності функціонування підприємств легкої промисловості / І. М. Гончаренко // Вісник КНУТД. Матеріалознавство, легка та текстильна промисловість, 2011. – № 3. – С. 78–83.
29. Принципиальные схемы системы солнечного горячего водоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://optonimpex.com/a153473-printsipialnye-shemy-sistemy.html>.
30. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR. Схемы, алгоритмы, программы / В. Н. Баранов. – М. : Додэка-XXI, 2004. – 288 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Лекційний матеріал	6
<i>Лекція 1</i> Енергоефективність та енергозбереження в легкій промисловості.....	6
<i>Лекція 2</i> Використання відновлювальних джерел енергії та вторинних енергетичних ресурсів на підприємствах легкої промисловості	12
<i>Лекція 3</i> Інновації в легкій та текстильній промисловості.....	23
<i>Лекція 4</i> Підвищення ефективності виконання операції вирубування деталей взуття в легкій промисловості	39
<i>Лекція 5</i> Підвищення ефективності виконання операції встановлення металевої фурнітури у виробів легкої промисловості	52
<i>Лекція 6</i> Підвищення ефективності виконання операцій перфорування, маркування, клеймування та тиснення на деталях за рахунок використання ударних автоматизованих систем	68
<i>Лекція 7</i> Прогресивне устаткування та технології механічного розволокнення відходів натуральних шкір.....	81
<i>Лекція 8</i> Високоєфективні технологічні процеси переробки відходів полімерних матеріалів і обладнання для їх реалізації.....	101
<i>Лекція 9</i> Високоєфективний технологічний процес переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням адитивних технологій і обладнання для його реалізації.....	123
2. Лабораторний практикум	133
<i>Лабораторна робота 1</i> Дослідження роботи і розрахунок ефективності сонячної батареї.....	133

Лабораторна робота 2	
Аналіз роботи всесезонної сонячної геліосистеми гарячого водопостачання з використанням вакуумного колектора.....	144
Лабораторна робота 3	
Дослідження роботи пристрою з прогресивною лазерною технологією різання швейних та взуттєвих матеріалів	154
Лабораторна робота 4	
Дослідження ресурсозберігаючої технології вирубування деталей взуття з використанням пресового обладнання з лінійним електромагнітним двигуном	164
Лабораторна робота 5	
Дослідження операції встановлення металевої фурнітури з використанням інноваційної ресурсозберігаючої технології та енергозберігаючого пресового обладнання	172
Лабораторна робота 6	
Дослідження операцій перфорації і маркування деталей та виробів з використанням інноваційної ресурсозберігаючої технології та енергозберігаючого обладнання з електромагнітним приводом	180
Лабораторна робота 7	
Експериментальні дослідження технологічних параметрів механічного розволокнення відходів натуральних шкір з використанням валкового пристрою	188
Лабораторна робота 8	
Експериментальне дослідження процесу подрібнення полімерів в умовах високого тиску і зсуву.....	194
Лабораторна робота 9	
Дослідження ресурсозберігаючої адитивної технології переробки полімерних матеріалів та їх відходів з використанням обладнання для 3D-друку	198
3. Система критеріїв оцінювання	207
Література	209

Знаки 386957

Формули 32

Рис. 4830 см²