

КІЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Панасюк Ігор Васильович



УДК 678.059

НАУКОВІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ ТА ФУРНІТУРИ
З ПЛАСТМАС І МЕТАЛІВ

05.19.06 – Технологія взуттєвих і шкіряних виробів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Київському національному університеті технологій та дизайну Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: заслужений працівник народної освіти України, доктор технічних наук, професор **Бурмистенков Олександр Петрович**, Київський національний університет технологій та дизайну, професор кафедри електромеханічних систем.

Офіційні опоненти:

заслужений працівник народної освіти України, доктор технічних наук, професор **Несторов Владислав Петрович**, Українська Технологічна Академія, президент Української Технологічної Академії;

доктор технічних наук, професор **Лупкін Борис Володимирович**, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського "Харківський авіаційний інститут", професор кафедри технології виробництва літальних апаратів;

доктор технічних наук, професор **Гавва Олександр Миколайович**, Національний університет харчових технологій, професор кафедри технічної механіки і пакувальної техніки.

Провідна установа: Хмельницький державний університет Міністерства освіти і науки України (м. Хмельницький).

Захист відбудеться "30" 09 2004 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченової ради Д26.102.03 в Київському національному університеті технологій та дизайну (КНУТД) за адресою: 01601, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці КНУТД за адресою: м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2.

Автореферат розісланий "28" 09 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченової ради
к.т.н., доцент

Первая Н.В.

ВСТУП

Актуальність теми. Створення сучасних високоефективних технологічних процесів є необхідною умовою прогресивного розвитку легкої промисловості України. Конкурентноздатність продукції значною мірою залежить від впровадження науково обґрунтованих технологій на всіх етапах виробництва, в тому числі для виконання фінішної обробки деталей після формоутворення.

У взуттєвих і фурнітурних виробництвах широко застосовуються невеликі типові деталі, які виготовляються методами формування у прес-форми з термопластичних полімерів (каблуки, набійки, задники) і цинкових сплавів (фурнітура, деталі замка "бліскавка"), а також різанням з термопротивних пластмас (фурнітура). Усі ці деталі після формоутворення потребують проведення дуже трудомісткої подальшої обробки, пов'язаної з видаленням ливників, облою, шліфуванням і поліруванням поверхні. Оздоблювально-зачищувальні операції іноді обумовлюють до 80 % трудомісткості виготовлення, найчастіше виконуються ручним способом або засобами малої механізації. Галтувальні барабани, які застосовуються для полірування фурнітури з термопротивних пластмас, мають низьку продуктивність. Вважається перспективним використання набагато більш продуктивного планетарно-відцентрового устаткування зі складним обертанням робочої ємкості.

Незважаючи на численні дослідження руху робочого середовища в планетарних барабанах і накопичений досвід обробки формованих деталей в умовах промислового виробництва, до теперішнього часу не створені загальні підходи та рекомендації щодо проектування технологічних процесів зачищувальної обробки таких деталей в планетарно-відцентрових установках, відсутні можливості прогнозувати технологічний результат на стадії проектування. Тому розробка науково обґрунтованих технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури в ємкостях зі складним рухом, визначення уніфікованих вимог для проектування таких процесів з прогнозованим технологічним результатом є актуальну проблемою для подальшого розвитку виробництва в багатьох галузях промисловості України. Вирішення цієї проблеми дозволить суттєво підвищити продуктивність праці на оздоблювальних операціях при виготовленні дрібних деталей низу взуття та фурнітури з пластмас і металів, скоротити кількість необхідних доводочних випробувань устаткування для одержання раціональних технологічних і конструктивних параметрів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно з науковими напрямками: "Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі", держбюджетна тема 6.19 ДБ №0100U003055, 2000–2002 рр. відповідно до плану НДР Міністерства освіти і науки України; "Обладнання, системи управління технологічними процесами та контролю якості виробів", держбюджетна тема № Н/н 2 1999-2002 рр. відповідно до плану НДДКР Київського національного університету технологій та дизайну.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка наукових основ і уніфікованих підходів до проектування технологічних процесів фінішної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів в планетарно-відцентрових установках, забезпечення можливостей прогнозування технологічного результату на стадії проектування на основі математичного моделювання динаміки руху і властивостей робочого середовища, спрямовані на підвищення продуктивності праці і економічної ефективності виробництва.

Відповідно до поставленої мети сформульовані завдання:

- узагальнити закономірності технологічних процесів оздоблюально-зачищувальної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури, вироблених з пластмас і металів методами формування та різання, визначити вихідні вимоги до їх обробки;
- вивчити фізико-механічні властивості матеріалів деталей взуття та фурнітури, необхідні для проектування технологічних процесів оздоблюально-зачищувальної обробки в планетарних барабанах;
- розробити математичні моделі динаміки руху робочого середовища в ємкостях, що здійснюють різні види планетарно-відцентрового руху, визначити швидкості відносного руху оброблюваних деталей, діючі на них сили і на цих засадах розробити рекомендації щодо технологічного використання різних варіантів руху барабанів;
- визначити вплив форми і розмірів оброблюваних деталей та наповнювача на кількість їх контактів, розробити математичну модель взаємодії оброблюваної деталі з частинками наповнювача та рекомендації щодо технологічного використання частинок різної форми;
- визначити експериментально частоту взаємодії частинок робочого середовища в ковзному шарі масиву робочого середовища, її залежність від параметрів установки і наповнювача;
- створити методи розрахунку об'єму матеріалу, що видаляється з поверхні деталі при однічному kontaktі з частинкою наповнювача;
- розробити методи розрахунку тривалості оздоблюально-зачищувальної обробки деталей в планетарних барабанах на основі встановлених взаємозв'язків між властивостями оброблюваних деталей, наповнювача, параметрами технологічних процесів та устаткування;
- провести експериментальну перевірку адекватності розроблених математичних моделей і методів розрахунку;
- розробити уніфіковані вимоги і підходи до проектування технологічних процесів та устаткування, які забезпечать ефективну обробку полімерних і металевих деталей взуття та фурнітури з прогнозованим технологічним результатом.

Об'єкт дослідження: технологічні процеси оздоблюально-зачищувальної обробки типових деталей легкої промисловості з пластмас і металів робочим середовищем в ємкостях, що здійснюють складний рух.

Предмет дослідження: наукові основи проектування технологічних процесів оздоблюально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів у планетарно-відцентрових установках із прогнозуванням кінцевого результату.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях технології взуттєвого та галантерейного виробництв, теорії математичного моделювання, теоретичної механіки, векторної алгебри, стереометрії, фізики і механіки полімерних матеріалів, адгезійно-деформаційної теорії тертя. Експериментальні дослідження обробки деталей з цинкового сплаву та полімерних матеріалів проведенні на спеціально розробленій експериментальній планетарно-відцентровій установці з використанням фото- та відеозйомки, методів математичного планування експерименту. Аналіз експериментальних даних здійснено за допомогою методів математичної статистики. Дослідження властивостей полімерних матеріалів виконані на створеній експериментальній установці з дотриманням вимог відповідних стандартів.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше створені науково обґрунтовані теоретичні основи проектування технологічних процесів оздоблюально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів на основі математичного моделювання динаміки руху і властивостей робочого середовища в планетарно-відцентрових установках, що забезпечило вирішення значної прикладної проблеми легкої промисловості, підвищення продуктивності праці на обробних операціях і скорочення кількості доводочних випробувань устаткування для отримання раціональних технологічних і конструктивних параметрів.

2. Вперше показано, що на основі розкриття механізмів контактної взаємодії наповнювача та оброблюваних деталей в планетарно-відцентрових установках шляхом цілеспрямованої зміни параметрів технологічного процесу та устаткування можна прогнозувати кінцевий результат фінішної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів.

3. Вперше, на основі аналітичних і експериментальних досліджень розроблено уніфіковані підходи до визначення параметрів технологічних процесів та устаткування для фінішної обробки в планетарно-відцентрових барабанах, що забезпечують єдину методологію проектування технологічних процесів обробки широкого асортименту формованих деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів.

4. Створені нові математичні моделі динаміки руху частинок робочого середовища і масиву середовища в цілому, що дозволяють враховувати при проектуванні взаємозв'язок між параметрами технологічних процесів оздоблюально-зачищувальної обробки та планетарно-відцентрових установок, фізико-механічними характеристиками оброблюваних деталей та наповнювача і технологічним результатом обробки.

5. Вперше розроблені математичні моделі взаємодії оброблюваних деталей з наповнювачем для різних форм поверхні деталі та наповнювача, що дозволяють

аналітично обґрунтувати вибір форми наповнювача для конкретних технологічних задач фінішної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів.

6. Вперше розроблені аналітичні методи розрахунку об'єму матеріалу, що видаляється з поверхні деталі при одиничному контакті з частинкою наповнювача, і визначення інтенсивності зносу поверхні полімерних деталей фурнітури при шліфуванні та поліруванні.

7. Вперше розроблено метод розрахунку тривалості технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів на стадії їх проектування на основі визначення кількості матеріалу, що видаляється з поверхні деталі під час обробки в планетарному барабані.

Практичне значення отриманих результатів.

1. На основі результатів математичного моделювання і експериментальних досліджень розроблені науково обґрунтовані алгоритми проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів у планетарно-відцентрових установках з можливістю прогнозування технологічного результату. Створено програму для ПЕОМ, яка дозволяє розрахувати параметри технологічних процесів.

2. Розроблено практичні рекомендації щодо вибору конструктивної схеми планетарно-відцентрової установки, визначення діапазону технологічних параметрів, які забезпечують певний режим руху робочого середовища в барабані, використання наповнювача з частинками певної форми і розмірів в залежності від технологічних завдань обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів.

3. На основі розробленого методу визначення інтенсивності зносу поверхні полімерних деталей фурнітури в процесі фінішної обробки і розрахунку об'єму матеріалу, що видаляється, створена програма для ПЕОМ.

4. З використанням розроблених технологічних режимів оздоблювально-зачищувальної обробки удосконалено технологічні процеси виготовлення набойок з термопластичного монолітного поліуретану і каблуків з поліетилену, обробки деталей замка "бліскавка" з цинкового сплаву. Розроблені технологічні режими обробки каблуків з поліаміду та гуми "стіроніг".

5. Розроблено технічні завдання для проектування конструкцій планетарно-відцентрових установок з раціональними параметрами для обробки набойок і каблуків з полімерних матеріалів, деталей з цинкових сплавів.

6. Впроваджено у виробництво технологічний процес обробки литих деталей замка "бліскавка" на Барішевському ДП "БАРС" КПКП "Бліскавка" з економічним ефектом 3096 грн. на одну установку на рік. З використанням методів розрахунку технологічних і конструктивних параметрів удосконалено технологічні процеси та устаткування для фінішної обробки литих деталей з пластмас на Коростишевському заводі "Електроприлад" з економічним ефектом 2350 грн. на одну установку на рік, в кооперативі "Пласт" з економічним ефектом 1560 грн. на одну установку на рік, на взуттєвому підприємстві КВТВП "Київ".

7. Результати дисертації прийняті до впровадження Асоціацією шкіряно-взуттєвих підприємств України.

8. Практична цінність отриманих результатів підтверджена 2 авторськими свідоцтвами.

9. Результати дисертації використовуються в навчальному процесі.

Особистий внесок здобувача полягає у виборі теми дисертації, предмету і методів дослідження, постановці та вирішенні основних теоретичних і експериментальних завдань. Автором створено новий напрямок у теорії проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури в планетарно-відцентрових установках з можливістю прогнозування технологічного результату; розроблені принципи та методологія узагальненого підходу до проектування технологічних процесів та устаткування для фінішної обробки типових деталей взуття та фурнітури; розроблені математичні моделі динаміки руху та взаємодії частинок сипкого середовища в ємкості, що здійснює складний рух; розроблені аналітичні методи визначення інтенсивності зносу деталей і тривалості обробки в технологічному середовищі. Самостійно виконані розробка і виготовлення оригінальних лабораторних установок, експериментальні дослідження, статистична обробка даних, аналіз і узагальнення результатів роботи. Здобувачу належать основні ідеї опублікованих робіт, авторських свідоцтв. Автором особисто створені спеціальні програми для ПЕОМ, які дозволяють розраховувати параметри технологічного процесу.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались на ювілейній XLII науковій конференції професорсько-викладацького складу, присвяченій 60-річчю заснування Київського технологічного інституту легкої промисловості (м. Київ, 1990 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Вдосконалення обладнання легкої промисловості та складної побутової техніки" (м. Хмельницький, ХТІ, 1993 р.); наукових конференціях молодих вчених і студентів Державної академії легкої промисловості України (м. Київ, ДАЛПУ, 1993, 1994, 1998, 1999 р.р.); ювілейній науковій конференції професорсько-викладацького складу, присвяченій 65-річчю заснування ДАЛПУ (м. Київ, ДАЛПУ, 1995 р.); міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні інформаційні технології життєзабезпечення людини" (м. Кам'янець-Подільський, 1998 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Новітні технології в легкій промисловості та сервісі" (м. Хмельницький, 1999 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні технології та машини" (м. Хмельницький, 1999 р.); міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні технології підготовки фахівців з інженерних спеціальностей" (м. Київ, 2000 р.); III комплексі наукових заходів держав СНД "Вибroteхнологія – 2001" ім. Ф.Д. Овчаренко (м. Одеса, 2001 р.); міжнародній науково-практичній конференції "Автоматизація виробничих процесів" (м. Хмельницький, 2002 р.); XII міжнародній науковій школі "Вибroteхнологія – 2002" з механічної обробки дисперсних (сипучих) матеріалів і середовищ (м. Одеса, 2002 р.); XIII

міжнародній науковій школі “Вибротехнологія – 2003” з механічної обробки дисперсійних (сипучих) матеріалів і середовищ (м. Одеса, 2003 р.).

Дисертація доповідалась повністю і одержала позитивну оцінку на науковому семінарі кафедри електромеханічних систем КНУТД (м. Київ, 2003 р.); науковому семінарі кафедри конструювання та технології виробів із шкіри КНУТД (м. Київ, 2004 р.).

Публікації. Основний зміст і результати дисертації опубліковані в 32 роботах, в тому числі у монографії, 24 статтях у спеціальних виданнях, 2 авторських свідоцтвах.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, сеєм розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основна частина дисертації представлена на 277 сторінках машинописного тексту, містить 98 малюнків, 5 таблиць, список використаних джерел з 204 найменувань. Повний обсяг дисертації складає 401 сторінка, включаючи 9 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та основні завдання досліджень, показані наукова новизна і практичне значення роботи.

Перший розділ присвячено огляду та детальному аналізу методів, засобів та досліджень оздоблювально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури технологічним середовищем в обертових ємкостях. Показано, що дрібні деталі легкої промисловості, виготовлені методами формування у прес-форми або різанням з пластмас і металів, потребують проведення трудомістких оздоблювальних операцій: видалення ливників і облою, шліфування, полірування. Одним з найбільш продуктивних методів механізації цих операцій вважають обробку в обертових ємкостях, які здійснюють складний, планетарний рух. Під час руху в таких ємкостях деталі піддаються оздоблювально-зачищувальній обробці завдяки безперервній їх взаємодії в ковзному шарі з частинками наповнювача та між собою. Відомо три режими руху сипкого матеріалу в обертовому горизонтальному або планетарному барабані: каскадний, водоспадний і мішаний каскадно-водоспадний. Попередніми дослідженнями встановлено, що для зачищувальної обробки оптимальним є каскадний режим, можливе також застосування каскадно-водоспадного режиму руху.

Деякі теоретичні аспекти проектування технологічних процесів та обладнання для обробки деталей в обертових ємкостях розробляли Ходоров Е.І., Канторович З.Б., Андреєв С.В., Сланевський А.В. та ін. Рух сипкого середовища у планетарних барабанах досліджували Бушуев Л.П., Мінджаон К.А., Бабічев А.П., Зверовщіков В.З., Matsunaga M. та ін. Більшість з них раціональні значення параметрів процесу обробки визначали експериментально на наявному устаткуванні. Існуючі дані розрізняються, а іноді суперечливі, здебільшого враховувались кінематичні та динамічні характеристики. Час обробки визначали тільки експериментально для конкретних установок. Спроби аналітичного визначення часу обробки здійснені для окремих

випадків. Все це ускладнює проектування технологічних процесів і нового устаткування з прогнозованим часом обробки. Ці передумови визначили мету і завдання дослідження, спрямовані на подальшу розробку основ проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів, отриманих різними методами формування, а також на створення можливостей прогнозувати кінцеві результати обробки та їх відповідність вихідним вимогам з використанням новітніх, зокрема інформаційних, технологій.

Другий розділ присвячено визначенням вимог до деталей взуття та фурнітури, що обробляються в обертових ємкостях, і дослідженням деяких фізико-механічних властивостей полімерних матеріалів, з яких вироблені ці деталі. Визначено, що фурнітура повинна відповісти естетичним та ергономічним вимогам. Допоміжні та декоративні деталі взуття, що знаходяться на зовнішній поверхні виробів, мають бути привабливими на вигляд і задовільно міцними. Деталі низу повинні мати високі характеристики міцності та точність розмірів, задовільний зовнішній вигляд, відповісти ергономічним вимогам. На базі досвіду промисловості визначені припустимі в процесі оздоблювально-зачищувальної обробки дефекти поверхонь деталей. Таких дефектів встановлено більше двадцяти.

Сформульовано вимоги до технологічності конструкцій формованих з полімерів деталей взуття та фурнітури. Установлено взаємозв'язок між формою деталей, відлитих з пластмас і металів, розташуванням облою, випресовок і можливістю ефективної фінішної обробки таких деталей в обертових барабанах. Експериментально визначено, що конфігурація ливникової системи суттєво впливає на час зачищувальної обробки деталей технологічним середовищем. При наявності у виливків розгалуженої ливникової системи і малій масі деталей для підвищення ефективності зачищення рекомендується використовувати наповнювач масою $(5...15) \cdot 10^{-3}$ кг, об'єм наповнювача в барабані – 10...30 %.

Розроблена класифікація полімерних деталей взуття та фурнітури, оброблюваних у планетарно-відцентрових установках, за характеристиками міцності полімерів при ударі, за масою деталі, габаритами і формою, що дозволило уніфікувати технологічні процеси обробки різних деталей, які належать до одинакових груп класифікації.

Деталі з еластичних полімерів піддаються ефективній обробці технологічним середовищем тільки в охолодженному стані. Проведено експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей еластичних полімерних матеріалів у середовищі низьких температур, визначені необхідні вихідні умови розробки технологічних процесів і проектування устаткування для видалення облою, ливників і грату з літих деталей в обертових барабанах. Досліджено шість полімерів, які широко застосовуються для виробництва деталей взуття: гума “стіроніп” ОСТ 17-226-73; пористий поліуретан; монолітний поліуретан; термопластичний монолітний поліуретан; 50 % суміш первинного і вторинного поліетилену високого тиску ТУ 6-05-1853-78; поліамід вторинний ТУ 6-13-88. Встановлено, що температура крихкості досліджених матеріалів складає $-43...-113^{\circ}\text{C}$ і обумовлює оптимальний температурний ре-

жим обробки деталей, виготовлених з цих полімерних матеріалів. Енергія ударного впливу на облой, яка забезпечує його видалення, становить від $5 \cdot 10^{-3}$ до $39 \cdot 10^{-3}$ Дж, залежить від матеріалу і товщини ділянок, що видаляються (рис. 1).

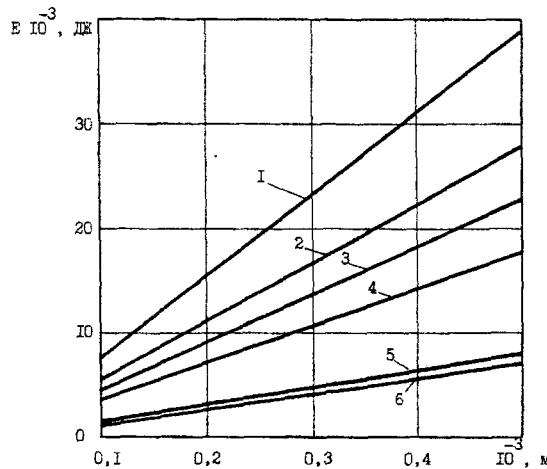


Рис. 1. Залежність енергії Е руйнування полімерних матеріалів від їхньої товщини:
1 - поліамід вторинний; 2 - термопластичний монолітний поліуретан; 3 - монолітний поліуретан; 4 - суміш первинного і вторинного поліетилену високого тиску; 5 - пористий поліуретан; 6 - гума "стіроніп".

Третій розділ присвячено аналітичному дослідженням динаміки руху робочого середовища в обертових ємкостях. Розроблені математичні моделі, які дозволяють встановити взаємозв'язок кінематичних і динамічних параметрів руху частинок з технологічними і конструктивними параметрами планетарно-відцентрових барабанів, а також визначити межі режимів руху робочого середовища.

Створено узагальнену математичну модель динаміки елементарної частинки робочого середовища в ємкості довільної форми, що здійснює складний рух. Розглянуто випадок відносного руху частинки M по внутрішній поверхні ємкості довільної форми з твірною A в системі координат $X_1O_1Y_1Z_1$. Ємкість обертається навколо осі OZ і здійснює складний рух відносно нерухомої системи координат $X_3'0_3Y_3'Z_3'$ (рис. 2). Прийнято припущення, що частинка середовища - матеріальна точка масою m .

Диференціальне рівняння абсолютноого руху частинки у векторній формі:

$$m\bar{W}_a = \bar{P} + \bar{N} + \bar{F}_{mp}, \quad (1)$$

де \bar{W}_a - абсолютне прискорення частинки в системі координат $X_3'0_3Y_3'Z_3'$;

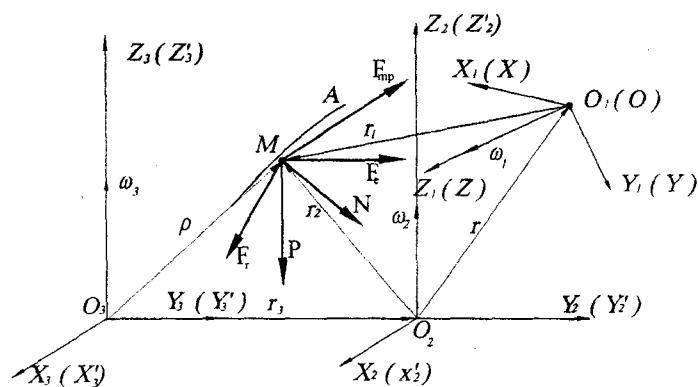


Рис. 2. Розрахункова схема для вивчення складного руху частинки M.

\bar{P} - сила ваги частинки M; \bar{N} - нормальні реакції поверхні ємкості;
 \bar{F}_{mp} - сила тертя, що перешкоджає руху частинки по поверхні ємкості.

З урахуванням того, що $\bar{W}_a = \bar{W}_r + \bar{W}_k + \bar{W}_e$, рівняння (1) перетворено у рівняння відносного руху частинки:

$$m\bar{W}_r = \bar{F}_e + \bar{F}_k + \bar{P} + \bar{F}_{mp} + \bar{N}, \quad (2)$$

де $\bar{F}_e = m\bar{W}_e$ - переносна сила інерції; $\bar{F}_k = m\bar{W}_k$ - коріолісова сила інерції;
 \bar{W}_r - відносне прискорення частинки M; \bar{W}_e - переносне прискорення;
 \bar{W}_k - коріолісове прискорення.

Загальне розв'язання рівняння (2) одержати аналітичним шляхом важко. Тому розглянуті окремі випадки руху частинки робочого середовища у внутрішньому об'ємі планетарного барабана: 1) барабан обертається навколо горизонтальних осей - власної та водила; 2) барабан обертається навколо вертикальних осей - власної та водила; 3) вісь обертання барабана горизонтальна, а водила - вертикальна. Розроблено математичні моделі відносного руху частинки середовища, які дозволяють розраховувати такі основні динамічні та кінематичні параметри, як кут відриву від стінки обертового барабана, відносна швидкість руху в ковзному шарі та сили, що діють на частинку.

Прийняті такі припущення: ємкість заповнена робочим середовищем на 50 % внутрішнього об'єму; напрям обертання барабана та водила - зустрічний; сила тертя відповідає закону Кулона.

Кут відриву γ або ϕ (рис. 3) є необхідним параметром для подальшого визначення швидкості руху частинок середовища та діючих сил. Розглянуто частинку M у момент її відриву від стінки барабана і переходу в ковзний шар (реакція стінки дорівнює нулю).

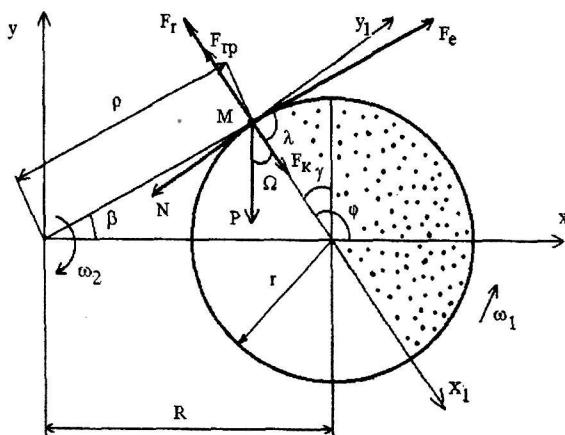


Рис. 3. Розрахункова схема для визначення кута відриву частинки робочого середовища від стінки барабана, що здійснює планетарно-відцентровий рух.

На частинку діють сили інерції – переносна F_e , відносна F_r , коріолісова F_k , а також сили ваги P і тертя F_{tp} . Формули для розрахунку кутів відриву одержано, виходячи з того, що сума проекцій сил на вісь $0X_1$ дорівнює нулю.

Для наведених вище варіантів обертання барабана вирази подібні, що дозволяє запропонувати узагальнене рівняння:

$$mg(\cos\Omega + f \sin\Omega)A + m\omega_2^2\rho(\sin(\gamma - \beta) - f \cos(\gamma - \beta)) - m\omega_1^2r + 2m\omega_1\omega_2rB = 0, \quad (3)$$

де f – коефіцієнт внутрішнього тертя робочого середовища; ω_1 , ω_2 – кутові швидкості барабана та водила; r , R – радіуси барабана та водила; ρ – відстань від центра обертання водила до точки M ; γ – кут відриву частинки.

Для випадку 1 - $\Omega = 0\dots 2\pi$; $A=1$; $B=1$; $\rho = \frac{R-r \sin\gamma}{\cos\beta}$; $\beta = \arctg \frac{r \cos\gamma}{R-r \sin\gamma}$;

для випадку 2 - $A=0$; $B=1$; $\rho = \frac{R-r \sin\gamma}{\cos\beta}$; $\beta = \arctg \frac{r \cos\gamma}{R-r \sin\gamma}$;

для випадку 3 - $\Omega = \gamma$; $A=1$; $B=0$; $\rho = R-r \sin\gamma$; $\beta = 0$.

Відносна швидкість частинок робочого середовища в ковзному шарі обумовлена дією прикладених до них сил (рис. 4).

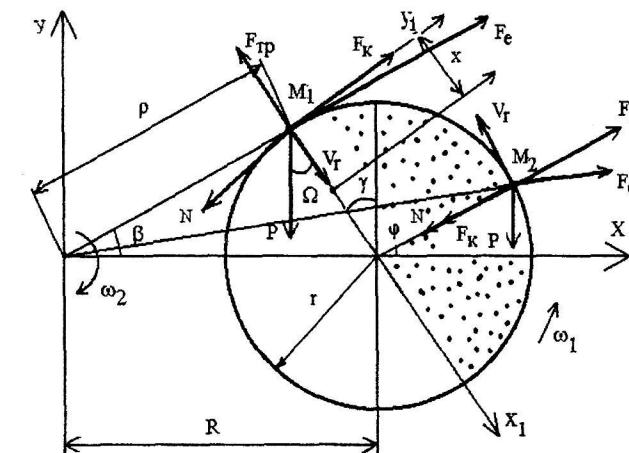


Рис. 4. Розрахункова схема для визначення швидкості руху частинки робочого середовища і сил, що діють на неї в барабані планетарно-відцентрової установки.

В результаті розв'язання диференціальних рівнянь руху частинки M_1 в ковзному шарі одержано формули для визначення відносної швидкості її руху для різних варіантів обертання барабана:

1) якщо барабан обертається навколо горизонтальних осей, власної та водила,

$$v_r = \sqrt{2xg(\cos\gamma + f \sin\gamma) + 2x\omega_2^2 \cdot \frac{R - (r - x)\sin\gamma}{\cos\beta} (\cos\lambda - f \sin\lambda) + 4f^2x^2\omega_2^2 - 2fx\omega_2}; \quad (4)$$

2) якщо барабан обертається навколо вертикальних осей, власної та водила,

$$v_r = \sqrt{2x\omega_2^2 \cdot \frac{R - (r - x)\sin\gamma}{\cos\beta} (\cos\lambda - f \sin\lambda) + 4x^2f^2\omega_2^2 - 2xf\omega_2}; \quad (5)$$

3) якщо вісь обертання барабана горизонтальна, а водила – вертикальна,

$$v_r = \sqrt{2xg(\cos\gamma + f \sin\gamma) + 2x\omega_2^2(\sin\gamma - f \cos\gamma) \cdot (R - (r - x)\sin\gamma) + 4x^2\omega_2^2\sin^2\gamma}. \quad (6)$$

Формули (4), (5), (6) описують функціональний зв'язок швидкості руху частинок з технологічними (кутovими швидкостями барабана та водила) та конструк-

тивними (радіусами барабана та водила) параметрами планетарно-відцентрових установок. Аналіз формул показує, що при однакових параметрах установок і властивостях робочого середовища, найбільші швидкості відносного руху частинок спостерігаються, якщо вісь обертання барабана горизонтальна, а водила - вертикальна (рис. 5). В цьому випадку при передаточному відношенні $\omega_1/\omega_2 = 1,8$ швидкість досягає 7 м/с. При обертанні барабана навколо горизонтальних осей швидкості руху частинок дещо менші, близько 3 м/с. В установках з вертикальними осями обертання швидкість найменша, не перевищує 2,5 м/с.

Ефективність і характер обробки деталей взуття та фурнітури в планетарних барабанах визначається не тільки швидкістю відносного руху елементів робочого середовища, але й їх силовою взаємодією. Сили інерції, що діють на масив рухомого середовища, ущільнюють або розпушують його. Розглянуто дві частинки (рис. 4): M_1 рухається в ковзному шарі, M_2 знаходиться на внутрішній поверхні барабана. Для них записані суми проекцій сил на вісі O_1X_1 і O_1Y_1 . Для зачищувальної обробки визначальними є сили, що діють по осі O_1Y_1 і ущільнюють робоче середовище в ковзному шарі. З використанням одержаних формул для проекцій сил побудовано графічні залежності (рис. 6). Найбільші значення сил, що ущільнюють робоче середовище в ковзному шарі, досягаються в установках з горизонтальними осями обертання, дещо менші значення - в установках з вертикальними осями, найменша сила візаємодія - при перпендикулярних осях обертання.

Таким чином, для видалення облою, ливників з деталей високої міцності та з невисокими вимогами до зовнішнього вигляду рекомендується застосовувати установки з горизонтальними осями обертання. Для обробки деталей невисокої міцності та з підвищеними вимогами до зовнішнього вигляду доцільно використовувати установки з вертикальними осями обертання. Для шліфування та полірування раціонально застосовувати установки з взаємно перпендикулярними осями обертання.

З метою виявлення аналогії між рухом робочого середовища в звичайному горизонтальному обертовому та в планетарному барабанах, а також визначення меж технологічних режимів руху розроблено математичну модель руху масиву робочого середовища в цілому та частинок середовища в зоні підйому з використанням рівнянь механіки суцільного середовища. Застосовані рівняння динаміки суцільного середовища в напругах з урахуванням того, що стискаючі напруги позитивні. Рівняння перетворено для випадків, що розглядаються. Введені безрозмірні величини для горизонтального барабана $x = r \cdot \bar{x}$, $y = r \cdot \bar{y}$, $\sigma_x = \rho_m \omega_1^2 r^2 \bar{\sigma}_x$, $\sigma_y = \rho_m \omega_1^2 r^2 \bar{\sigma}_y$, $\tau_{xy} = \rho_m \omega_1^2 r^2 \bar{\tau}_{xy}$; для планетарного барабана $x = r \cdot \bar{x}$, $y = r \cdot \bar{y}$, $\sigma_x = \rho_m (\omega_1 + \omega_2)^2 r^2 \bar{\sigma}_x$, $\sigma_y = \rho_m (\omega_1 + \omega_2)^2 r^2 \bar{\sigma}_y$, $\tau_{xy} = \rho_m (\omega_1 + \omega_2)^2 r^2 \bar{\tau}_{xy}$, де ρ_m - щільність робочого середовища, σ_x , σ_y - нормальні компоненти напруги, τ_{xy} - дотичні компоненти напруги, $(\omega_1 + \omega_2)$ - абсолютна кутова швидкість обертання планетарного барабана.

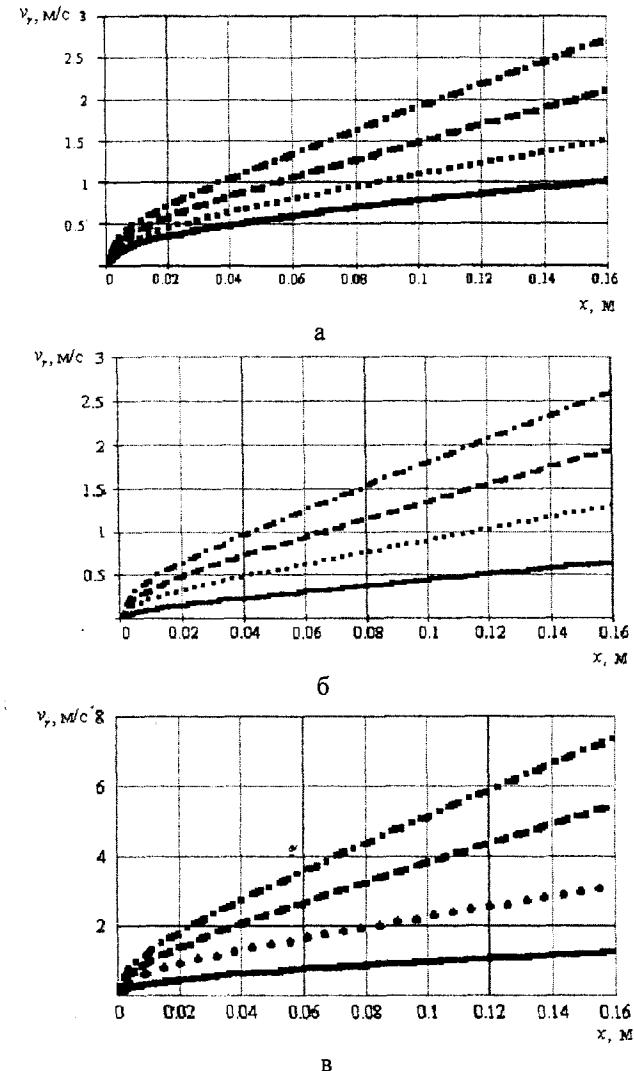


Рис. 5. Залежність швидкості руху частинки робочого середовища v_r від довжини ковзного шару x при $R = 0,3$ м; $r = 0,08$ м; $f = 0,8$; $\omega_1/\omega_2 = 1,8$;

- $\omega_2 = 4$ рад/с;
- $\omega_2 = 8$ рад/с;
- $\omega_2 = 12$ рад/с;
- - $\omega_2 = 16$ рад/с.

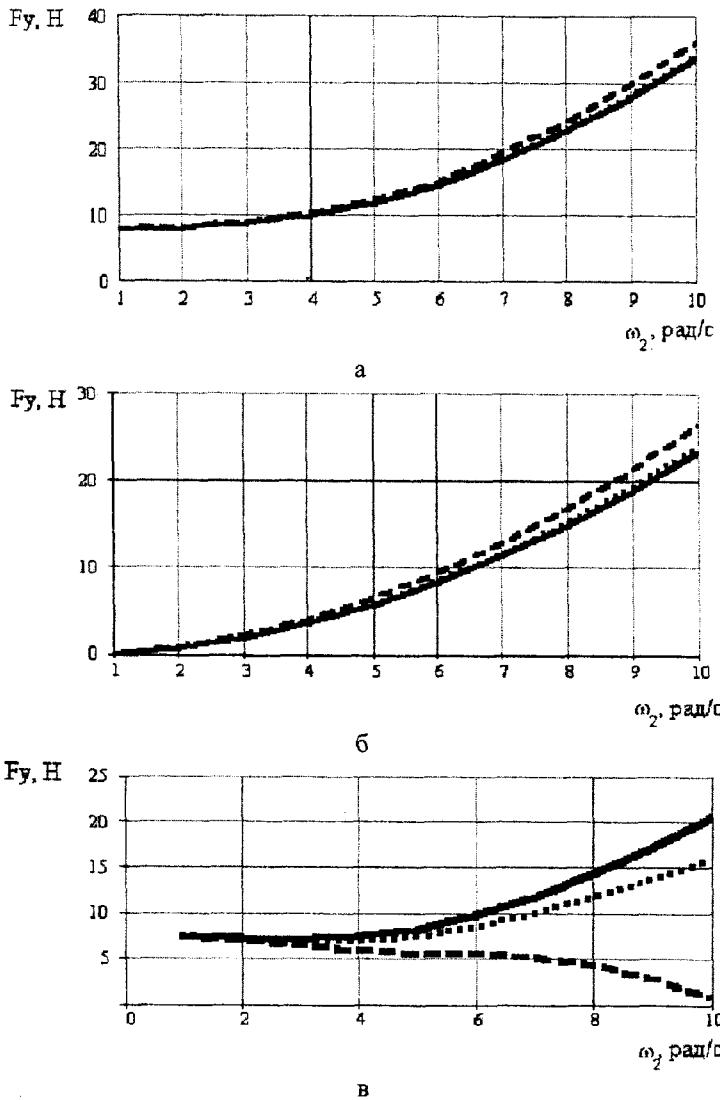


Рис. 6. Залежність сили F_y , що ущільнює частинки в ковзному шарі, від кутової швидкості водила ω_2 , при $R = 0,3$ м; $r = 0,08$ м; $f = 0,8$;
а - горизонтальні осі барабана та водила; б - вертикальні осі барабана та водила;
в - перпендикулярні осі барабана та водила;

- $\omega_1/\omega_2 = 1,0$
- $\omega_1/\omega_2 = 1,33$
- - - $\omega_1/\omega_2 = 1,8$.

В результаті одержано безрозмірний вид рівнянь стану основного масиву сипкого матеріалу в обертовому горизонтальному барабані та в планетарному барабані:

$$\begin{cases} \frac{\partial \bar{\sigma}_x}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial \bar{y}} = \bar{x} \\ \frac{\partial \bar{\tau}_{xy}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{\sigma}_y}{\partial \bar{y}} = \bar{Y} + \frac{1}{Fr} \\ (\bar{\sigma}_x + \bar{\sigma}_y)^2 \sin^2 \psi = (\bar{\sigma}_x - \bar{\sigma}_y)^2 + 4\bar{\tau}_{xy}^2, \end{cases} \quad (7)$$

де Fr - число Фруда (фактор поділу), для горизонтального барабана $Fr = \omega_1^2 r / g$;
для планетарного барабана $Fr_n = \frac{(\omega_1 + \omega_2)^2 r}{\omega_2^2 R} = \frac{r}{R} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right)^2$; ψ - кут природного укосу робочого середовища.

З повної аналогії рівняння (7) для розглянутих випадків випливає, що при рівності ступенів заповнення та коефіцієнтів тертя частинок о поверхню барабанів напружений стан і границя основного масиву будь-якого сипкого матеріалу в горизонтальному барабані визначається числом Fr , а в планетарному барабані - числом Fr_n . Якщо ці числа збігаються, рух основного масиву сипкого матеріалу в горизонтальних і планетарних барабанах буде аналогічним і, за інших рівних умов, співпадуть режими руху робочого середовища.

На основі аналітичних та експериментальних досліджень руху робочого середовища в горизонтальних і планетарних барабанах установлено, що при ступенях заповнення $\Theta = 0,25 - 0,75$ межі режимів руху не залежать від виду наповнювача і визначаються в діапазоні:

для каскадного режиму $0 \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,45/\sqrt{r/R}$;

для каскадно-водоспадного режиму $-1 - 0,45/\sqrt{r/R} \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,74/\sqrt{r/R}$;

для водоспадного режиму $-1 - 0,74/\sqrt{r/R} \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 1/\sqrt{r/R}$.

Видалення ливників, грату, облою з каблуків і набойок, відлитих з поліетилену, поліаміду, полістиролу та поліуретану, необхідно виконувати в каскадно-водоспадному режимі. Для видалення ливників з цинкових деталей замка "бліскавка" доцільно використовувати каскадно-водоспадний режим, а шліфування та полірування поверхні цих деталей та фурнітури, виробленої з термореактивних пластмас, слід проводити в каскадному режимі.

Четвертий розділ присвячено аналітичному досліженню впливу форми частинок робочого середовища на кількість їх контактів з поверхнею оброблюваної деталі під час руху в обертовому барабані.

Оброблювані деталі, що рухаються в робочому середовищі, оточені частинками наповнювача, співударяються з ними. Для прогнозування процесу об'ємної обробки визначено максимальну кількість частинок наповнювача, які можуть одночасно контактувати з поверхнею деталі. Виходячи з того, що частинки наповнювача вкривають всю її поверхню, максимальна кількість контактів буде визначатись питомим показником - щільністю розташування частинок наповнювача на поверхні деталі $\gamma_{y_{\text{кл}}}$:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{N_u}{S_o}, \quad (8)$$

де N_u - максимальна кількість частинок, що одночасно контактиують з деталлю; S_o - площа поверхні деталі.

Кількість контактів залежить від форми та розмірів частинок наповнювача, а також від форми обробленої поверхні. Розглянуто елементарні випадки: частинки сферичні та у вигляді тетраедрів, оброблювана поверхня - сферична, циліндрична, плоска. Частинки контактиують з поверхнею деталі тільки певним боком.

Щільність розташування сферичних частинок радіусом r_u на сферичній поверхні деталі радіусом R_o складає:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = 1 / \left[R_o^2 \left(2\pi \left(1 - \frac{\sqrt{R_o^2 + 2R_o r_u}}{R_o + r_u} \right) + 3 \arccos \left(\frac{R_o^2 + 2R_o r_u - r_u^2}{2R_o(R_o + 2r_u)} \right) - 6 \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{r_u}{R_o + r_u} \right)^2} \right) \arcsin \left(1 / \sqrt{2} \sqrt{1 - \left(\frac{r_u}{R_o + r_u} \right)^2} \right) - \pi \right] . \quad (9)$$

Щільність розташування сферичних частинок на плоскій поверхні становить:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{2}{(2\sqrt{3} + \pi)r_u^2}. \quad (10)$$

Якщо сферичні частинки контактиують з циліндричною поверхнею радіусом R_o ,

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{1}{2R_o \sqrt{3r_u^2 - (R_o + r_u - \sqrt{R_o^2 + 2R_o r_u})^2} \cdot \arcsin \frac{r_u}{R_o + r_u}}. \quad (11)$$

У випадку, коли тетраедральні частинки стикаються зі сферичною поверхнею деталі точкою перетину медіан грані, щільність їх розташування визначається за формулою:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{1}{R_o^2 \left[3 \arccos \left(\frac{6R_o^2 - b^2}{12R_o^2 + b^2} \right) - \pi \right]}, \quad (12)$$

де b - довжина ребра тетраедра.

Щільність розташування тетраедральних частинок на площині складає:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot b^2} = \frac{1}{S_{sp,T}}, \quad (13)$$

де $S_{sp,T}$ - площа грані тетраедра з ребром b .

Для визначення кількості контактів тетраедральних частинок з циліндричною поверхнею деталі отримано вираз:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{1}{\sqrt{3}R_o b \cdot \operatorname{arctg} \frac{b}{2R_o}}. \quad (14)$$

В загальному випадку кількість зіткнень залежить від щільності розташування частинок, а також від того, яким боком частинка контактує з деталлю. Зроблено припущення, що відносна частота контактів частинки з деталлю дорівнює відношенню площи поверхні, якою частинка контактує з деталлю, до повної площи поверхні частинки. З урахуванням цього припущення визначено щільність розташування частинок для загального випадку:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot \gamma_{y_{\text{кл},i}}, \quad (15)$$

де S_i - площа поверхні, якою частинка контактує з деталлю; S - повна площа поверхні частинки; $\gamma_{y_{\text{кл},i}}$ - щільність розташування частинок при їх контакті з деталлю i -ю поверхнею.

Формулу (15) перетворено для окремих випадків. Для циліндричних частинок діаметром d і довжиною l , а також для конічних частинок з довжиною твірної l і діаметром основи d одержано вираз:

$$\gamma_{y_{\text{кл}}} = \frac{1}{1+2X} \gamma_{y_{\text{кл},T}} + \frac{2X}{1+2X} \gamma_{y_{\text{кл},G}}, \quad (16)$$

де $X=l/d$; $\gamma_{yct,T}$ - щільність розташування торцями (основою); $\gamma_{yct,b}$ - щільність розташування боковою поверхнею.

Якщо частинки мають форму правильної тригранної призми, формулу можна записати:

$$\gamma_{yct} = \frac{\gamma_{yct,T}}{1+2\sqrt{3}X} + \frac{2\sqrt{3}X}{1+2\sqrt{3}X}\gamma_{yct,b}, \quad (17)$$

де X - співвідношення між висотою призми H і стороною основи b .

Для прямокутних частинок з квадратними торцями формула має вид:

$$\gamma_{yct} = \frac{1}{1+2X}\gamma_{yct,T} + \frac{2X}{1+2X}\gamma_{yct,b}, \quad (18)$$

де X - співвідношення висоти частинки і сторони торця.

Для сферичних частинок $\gamma_{yct,T} = \gamma_{yct,b}$, тому для загального випадку можна використати формули (9) і (10).

Підставлення виразів (9) - (14) дозволило перетворити рівняння (15) - (18) з урахуванням того, що частинки контактирують з поверхнями різної форми. Формули для визначення щільності розташування частинок одержані для загальних випадків контакту з плоскою, циліндричною та сферичною поверхнями. При цьому розглянуто сферичні, циліндричні, конічні, кубічні, прямокутні, тетраедральні та призматичні частинки.

Проведено співставлення частоти взаємодії з поверхнею деталі частинок різної форми, які мали однакову масу. Базовою обрано частинку сферичної форми з діаметром, що дорівнює одиниці, та визначено геометричні розміри частинок різної форми (циліндр, конус, куб, тетраедр, тригранна призма) за умови однаковості їх об'ємів. Щільність розташування розраховано для кожної форми частинок за формулами (15) - (18) і віднесено до сферичної частинки. В результаті одержано такі відносні значення щільності розташування: сфера - 1; циліндр - 1,160 при $d = H$ і 1,105 при $d = 0,5 H$; конус - 0,904 при $d = H$ і 0,860 при $d = 0,5 H$; куб - 1,273; тетраедр - 0,706; тригранна призма - 0,942 при $b = H$ і 0,841 при $b = 0,5 H$. Відносні значення щільності розташування залишаються постійними при будь-яких взаємних змінах розмірів частинок.

Таким чином, наповнювач з частинками кубічної форми забезпечує найбільшу кількість контактів і рекомендується для обробки деталей без отворів (каблуків, набойок). Наповнювач у вигляді конусів, розміри яких не перевищують розмірів отворів у деталях, доцільно використовувати для обробки фурнітури. За необхідності видалення ливників і забезпечення мінімального впливу на необроблювані поверхні слід застосовувати сферичні частинки.

П'ятий розділ присвячений створенню математичних моделей для визначення об'єму матеріалу, що видаляється з поверхні оброблюваної деталі при однійчному kontaktі з частинкою наповнювача. На основі двох побудованих моделей розроблені аналітичні методи розрахунку, які доцільно використовувати при проектуванні технологічних процесів шліфування та полірування фурнітури.

Перша модель розглядає видалення матеріалу на макрорівні за рахунок занурення в поверхню деталі частинки певної геометрії. Зроблені припущення, що поверхня деталі пружно-пластична, по ній ударяє частинка наповнювача масою m , що рухається зі швидкістю v_0 під кутом α до вертикаль. При зануренні у поверхню деталі на частинку в проекціях на вертикальну вісь OY, перпендикулярну поверхні деталі, діють сила пружності і сила опору, зумовлені порушенням структури матеріалу. Під час виходу з матеріалу під дією сили пружності, сила опору по осі OY вже не діє. У проекціях на горизонтальну вісь OX, розташовану паралельно поверхні деталі, на частинку діє сила опору, зумовлені порушенням структури матеріалу, а пружні сили незначні і ними нехтуюмо.

Записано диференціальні рівняння руху частинки під час її занурення в деталь і виходу на поверхню, в результаті їх розв'язання одержано вирази, що описують рух частинки наповнювача при її kontaktі з поверхнею оброблюваної деталі:

$$x = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha \cdot m}{k_2} \cdot (1 - e^{-\frac{k_2 \cdot t}{m}});$$

$$y = e^{-\frac{k_2 \cdot t}{m}} \cdot \frac{v_0}{\beta} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot t, \quad \text{при } 0 < t < t_{ex};$$

$$y = y_{max} \cdot \cos \beta_1 \cdot (t_k - t), \quad \text{при } t_{ex} < t < t_{exit}. \quad (19)$$

де $\beta = \frac{\sqrt{-k_2^2 + 4k_1m}}{2m}$; $\beta_1 = \sqrt{k_1/m}$; $t_{ex} = \frac{1}{\beta} \cdot \arctg \frac{2m\beta}{k_2}$ - час занурення частинки;

$$t_{exit} = \frac{\pi}{2 \cdot \beta}, \quad \text{час виходу частинки}; \quad t_k = t_{ex} + t_{exit} = \frac{1}{\beta} \cdot \arctg \frac{2m\beta}{k_2} + \frac{\pi}{2 \cdot \beta_1} \quad \text{загальний час контакту частинки з деталлю}.$$

Максимальна глибина занурення частинки складає:

$$y_{max} = \exp \left(-\frac{k_2}{2m\beta} \arctg \frac{2m\beta}{k_2} \right) \frac{v_0}{\beta} \cos \alpha \frac{2m\beta}{\sqrt{k_2^2 + 4m^2\beta^2}}. \quad (20)$$

Максимальний шлях x_{max} , що проходить частинка у kontaktі з деталлю, визначається за формулою (19) при $t=t_k$.

Об'єм матеріалу, що видаляється частинкою залежить від форми частинки. У випадку занурення в матеріал частинки конічної або тетраедральної форми вершиною на глибину y , об'єм, який вона видаляє при проходженні відстані x , становить:

$$V = \operatorname{tg} \frac{\zeta}{2} \left[\frac{Mm}{4} \left(\frac{1 - e^4}{k_2} - \frac{k_2 - e^4(m\beta \sin 2t_{ax}\beta - k_2 \cos 2t_{ax}\beta)}{m^2\beta^2 + k_2^2} \right) + \right. \\ \left. + \frac{B}{2} \left(\frac{me^4(2\beta_1 m \sin 2\beta_1(t_k + t_{ax}) + k_2 t_1 \cos 2\beta_1(t_k - t_{ax}))}{4\beta_1^2 m^2 + k_2^2 t_{ax}^2} - \frac{me^{-m} k_2 t_k}{4\beta_1^2 m^2 + k_2^2 t_k^2} \right) \right], \quad (21)$$

де ζ - кут конусності вершини частинки; $M = \frac{v_0^3}{\beta^2} \cos^2 \alpha \sin \alpha$; $N = y_{\max}^2 v_0 \sin \alpha$;

$$A = \frac{-2k_2 t_{ax}}{m}.$$

Визначено об'єм матеріалу, що видаляється при зануренні частинки прямокутної форми. В даному випадку об'єм розраховується за формулою:

$$V = 2bm^2 v_0^2 \sin 2\alpha \left(\frac{1 - e^D \left(\cos t_{ax}\beta + \frac{3k_2}{2\beta^2 m} \sin t_{ax}\beta \right)}{4\beta^2 m^2 + 9k_2^2} \right) - \\ - b \frac{my_{\max} v_0 \sin \alpha}{m^2 \beta_1^2 + k_2^2} \left(k_2 e^{-m} + m\beta_1 e^D \sin \beta_1(t_k - t_{ax}) - k_2 e^D \cos \beta_1(t_k - t_{ax}) \right), \quad (22)$$

де b - ширина частинки, що занурюється; $D = k_2 t_{ax}/m$.

Друга модель взаємодії частинки з деталлю розглядає видалення матеріалу як фрикційний знос за рахунок взаємодії мікронерівностей. Після співставлення існуючих теорій тертя з точки зору можливості їх застосування до полімерних матеріалів, для поточних розрахунків обрана адгезійно-деформаційна теорія. Розглянуто випадок взаємодії абсолютно твердої шорсткої поверхні частинки з деформованим рівним тілом, знос якого визначався. Вважали, що знос спричинений втомую матеріалу, швидкість ковзання змінює температуру, яка в свою чергу впливає на фізико-механічні показники матеріалу. Процеси окислення та деструкції не враховували.

Згідно з обраною теорією доцільно розрахувати безрозмірний параметр – інтенсивність зносу. Розглянуто основні види зносу, що відповідають різним видам порушення фрикційного зв'язку - при пружному, пластичному контакті та мікрорізанні. Інтенсивність зносу при пружному kontaktі значною мірою залежить від модуля пружності, коефіцієнта Пуасона, межі міцності, радіуса мікронерівності; при пластичному kontaktі - визначається твердістю матеріалу за Бринелем; при мікрорізанні -

залежить від гостроти мікронерівностей поверхні. В залежності від фізико-механічних властивостей матеріалів пари тертя та зовнішніх умов має місце певний вид зносу. Визначені відповідні формули для розрахунку інтенсивності зносу.

Об'єм матеріалу, видалого при однічному kontaktі деталі з частинкою, в даному випадку розраховували за формулою:

$$V = I_n L A_a, \quad (23)$$

де I_n – лінійна інтенсивність зносу поверхні деталі при kontaktі з частинкою; L – довжина зони kontaktу; A_a – фактична площа kontaktу частинки з деталлю.

Для розрахунку інтенсивності зносу поверхні полімерних деталей та об'єму видаленого матеріалу на основі визначення виду kontaktу абразивної частинки з деталлю розроблено математичну програму в середовищі MathCad. Зіставлення отриманих результатів з даними експериментальних досліджень та інших авторів продемонструвало її адекватність та ефективність. Результати розрахунків свідчать, що при використанні абразивного наповнювача сферичної форми найкращий ефект шліфування фурнітури з полімерних матеріалів досягається, якщо діаметр частинок наповнювача - 4...6 мм. Шорсткість поверхні частинки робочого середовища істотно впливає на інтенсивність зносу поверхні деталі, тому при високих класах чистоти поверхні частинки відбувається пружний kontakt, що забезпечує високу якість, але й більшу тривалість обробки. При збільшенні шорсткості поверхні частинки реалізується пластичний kontakt або мікрорізання, що створює умови, достатні для чорнової обробки.

Шостий розділ присвячений аналітичному та експериментальному дослідженням параметрів інтенсивності руху робочого середовища в обертових барабанах, розробці аналітичних методів визначення тривалості оздоблювально-зачищувальних операцій.

Необхідною умовою ефективності рівномірної обробки всіх поверхонь полімерних деталей взуття та фурнітури в планетарних барабанах є інтенсивне перемішування робочого середовища. За результатами аналітичних досліджень встановлено, що перемішуюча здатність планетарного барабана залежить від ступеня заповнення робочим середовищем, співвідношення кутових швидкостей обертання барабана та водила і не залежить від радіуса барабана. При підвищенні кутової швидкості обертання барабана перемішуюча здатність зростає, зі збільшенням завантаження барабана цей параметр зменшується. Якщо завантаження барабана перевищує 50 % його об'єму, обробка стає неефективною, тому що зменшуються перемішуюча здатність і довжина ковзного шару робочого середовища, що істотно обмежує зону активної обробки деталей.

Проведені експериментальні дослідження частоти появи однієї і тієї ж частинки в ковзному шарі на поверхні масиву робочого середовища. Встановлено, що зі збільшенням ступеня заповнення барабана частота появи частинки в ковзному шарі зме-

ншується, а частота проходження частинкою всієї довжини шару незначно зростає (рис. 7).

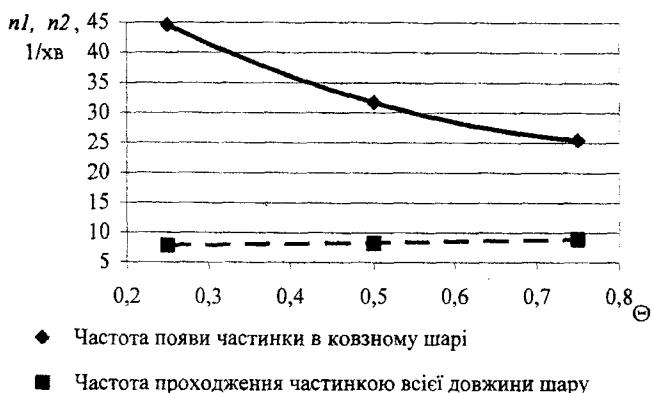


Рис. 7 Залежність частоти появі частинки в ковзному шарі від ступеня заповнення барабана робочим середовищем Θ при $\omega_1 = 2,82$ рад/с.

На основі статистичної обробки й апроксимації результатів експериментів показано, що функціональна залежність частоти появі частинки в ковзному шарі n_2 від ступеня заповнення барабана Θ є поліноміальною:

$$n_2 = 52,1 \Theta^2 - 90,4 \Theta + 63,9. \quad (24)$$

Залежність частоти проходження частинкою всієї довжини ковзного шару n_1 від ступеня заповнення барабана Θ має лінійний характер:

$$n_1 = 2,0 \Theta + 7,3. \quad (25)$$

Визначено, що існує пряма лінійна залежність між збільшенням кутової швидкості обертання барабана ω_1 і частоти появі частинки в ковзному шарі n_2 . При 50 % заповненні барабана робочим середовищем цю залежність можна описати виразом:

$$n_2 = 13,10 \omega_1 - 5,95. \quad (26)$$

Одержані експериментальні результати підтвердили висновки аналітичного дослідження переміщуючої здатності і дозволили перейти до аналітичного визначення тривалості обробки деталей в обертовому барабані.

Технологічні процеси фінішної обробки полімерних деталей взуття та фурнітури можна розділити на дві групи: 1) видалення ливників і облою неабразивним технологічним середовищем; 2) обробка із застосуванням абразивного наповнювача. В першому випадку відбувається обламування ливників за рахунок багаторазо-

вих вигинів та ударів, в другому випадку – видалення поверхневого шару матеріалу деталі під дією мікронерівностей абразивних частинок наповнювача.

В першому випадку розглянуто випадковий процес, який відповідає експоненціальному закону розподілення випадкової величини. Рівняння функції розподілення перетворено відносно часу. При цьому, виходячи з експериментальних досліджень, зроблено припущення, що при кожному повному проходженні деталлю ковзного шару облою (ливнику) спричиняється одна повна дія, в інших випадках появи деталі у ковзному шарі – часткова дія, яка дорівнює 25 % від повної дії. З урахуванням цього одержано формулу для визначення тривалості обробки деталей при видаленні облою та ливників:

$$T = -\frac{60 \cdot n \cdot z}{n_1 + \frac{n_2 - n_1}{4}} \cdot \ln p, \quad (27)$$

де n – кількість циклів навантаження, необхідних для руйнування облою від втомленості; z – кількість місць кріплення ливникової системи до деталей або кількість граней з облою; n_1 – кількість проходжень деталлю всієї довжини ковзного шару, за 60 с; n_2 – загальна кількість появ деталі в ковзному шарі за 60 с.

У другому випадку, при застосуванні абразивного наповнювача, для визначення тривалості обробки використано залежність (23). Прийнято такі припущення: за один прохід по ковзному шару обробляється одна сторона деталі, тому кількість проходів дорівнює кількості сторін деталі n_{stop} ; з деталлю контактує декілька частинок наповнювача і кількість контактів дорівнює щільноті розташування частинок наповнювача на поверхні деталі γ_{ukl} . Об'єм матеріалу, що видаляється, представлено, як добуток площин поверхні деталі S_{det} і товщини шару видаляємого матеріалу h . Після перетворень одержано формулу для розрахунку тривалості обробки T :

$$T = S_{det} h / (I_n (l_{cn} - 2l_{det}) n_1 A_a \gamma_{ukl} z_{zae} n_{stop}), \quad (28)$$

де l_{cn} – довжина ковзного шару; l_{det} – довжина деталі; n_1 – кількість проходжень деталлю всього ковзного шару за одиницю часу; z_{zae} – коефіцієнт, що визначає відношення об'єму наповнювача до загального об'єму завантаження.

Для експериментального визначення тривалості обробки деталей фурнітури у барабані планетарно-відцентрової установки здійснено багатофакторний експеримент. Варіювали кутову швидкість водила ω_2 , відношення кутових швидкостей барабана і водила ω_1/ω_2 , відношення радіусів водила і барабана R/r . Одержано рівняння регресії, що встановлює залежність тривалості обробки деталей від технологічних і конструктивних параметрів планетарно-відцентрової установки:

$$T = 276,95 - 43,02 \omega_2 - 141,49 \omega_1/\omega_2 - 0,48 R/r + 1,75 \omega_2^2 + 10,49 \omega_1 + 25,55 (\omega_1/\omega_2)^2 - 5,16 (\omega_1/\omega_2) (R/r) + (R/r)^2. \quad (29)$$

Визначено, що результати розрахунків за формулою (27) узгоджуються з експериментальними даними, розбіжність не перевищує 19 %. Тривалість обробки каблуків з поліаміду та поліетилену в експериментальній установці складала до 300 с, аналітично отримане значення - 261 с. Тривалість обробки кришки замка "бліскавка" з цинкового сплаву не перевищувала 420 с, за аналітичними даними - 503 с.

Проведені експериментальні дослідження кута відриву частинки робочого середовища від стінки барабана. Встановлено, що зі збільшенням кутової швидкості барабана, кут повороту масиву середовища збільшується. Збільшення кутової швидкості водила незначно збільшує кут повороту масиву, а в установці з вертикальними осями практично не впливає на нього. Збільшення радіуса водила зменшує діапазон змін кута повороту масиву середовища. Збільшення радіуса барабана чи зменшення конструктивного співвідношення R/r сприяє збільшенню кута повороту масиву середовища. Якщо вісь обертання барабана горизонтальна, а водила - вертикальна, рух частинок робочого середовища в ковзному шарі відбувається не тільки в радіальному напрямку, але й уздовж барабана.

Експериментальні дослідження відносної швидкості руху частинок середовища в ковзному шарі (рис. 8) показали, що в міру просування частинок швидкість зростає, але інтенсивність зростання швидкості поступово зменшується.

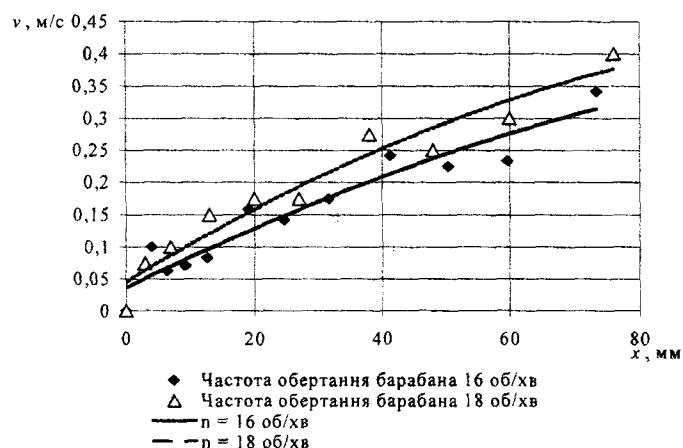


Рис. 8. Залежність швидкості руху частинки силового середовища від довжини шляху x , пройденого частинкою в ковзному шарі.

Зіставлення експериментальних даних з розрахованими за формулами (3)-(6) значеннями кутів відриву і швидкостей відносного руху частинок робочого середовища підтвердило адекватність розроблених аналітичних моделей, розбіжність не перевищує 15%.

Сьомий розділ присвячений практичному використанню результатів виконаних досліджень.

Розроблені алгоритми проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки типових деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів у планетарно-відцентрових установках. Якщо проектування технологічного процесу та відповідної установки виконується одночасно, рекомендовано алгоритм, блок-схема якого наведена на рис. 9. Для проектування технологічного процесу фінішної обробки на існуючій планетарно-відцентровій установці доцільно використовувати другий алгоритм:

1. Визначити режим руху робочого середовища в барабані, враховуючи відомі відношення кутових швидкостей та радіусів барабана і водила. Якщо цей режим не рекомендується для даного виду обробки, вищукати технічну можливість скорегувати параметри установки.
2. Обчислити за формулами (3) - (6) кут відриву частинок від стінки барабана, швидкість їх руху в ковзному шарі, кінетичні енергії та сили, що діють на частинки, з урахуванням відомих кутових швидкостей та радіусів барабана і водила. Порівняти отримані значення з рекомендованими для обробки деталей. Якщо виявлено значна невідповідність, вищукати технічну можливість змінити параметри установки та технологічного процесу.
3. Розрахувати за формулами (9) – (18) щільність розташування частинок робочого середовища, виходячи з їх розмірів, форми, співвідношення кількості деталей і наповнювача в робочому середовищі.
4. Розрахувати за формулами (21) - (23) об'єм матеріалу, що видаляється з поверхні деталі при однійчному контакті частинки наповнювача з деталлю.
5. Визначити орієнтовну тривалість технологічного процесу обробки деталей за формулами (27), (28). Для розрахунку необхідно задати товщину шару матеріалу, що видаляється з поверхні деталі, геометрію облою і кількість ливників каналів у виливки.

На основі розроблених алгоритмів створено програму для ПЕОМ, яка дозволяє розрахувати параметри технологічних процесів в залежності від властивостей оброблюваних деталей.

З використанням створених алгоритмів і програми для ПЕОМ, результатів виконаних аналітичних та експериментальних досліджень розроблені технічні завдання для проектування конструкцій планетарно-відцентрових установок з раціональними параметрами. Для видалення ливників, облою з набойок і каблуків, виготовлених з полімерних матеріалів, рекомендується обробка в установках з вертикальними осями обертання барабана і водила. Розрахункові параметри установки: $r = 0,3$ м; $R = 0,75$ м; $\omega_1/\omega_2 = 1,3$. Для видалення ливників і шліфування поверхні деталей замка "бліскавка", відлитих з цинкового сплаву, розроблено конструкцію планетарно-відцентрової установки з горизонтальною віссю обертання барабана і вертикальною віссю водила, з параметрами: $r = 0,2$ м; $R = 0,7$ м; $\omega_1/\omega_2 = 1,7$.

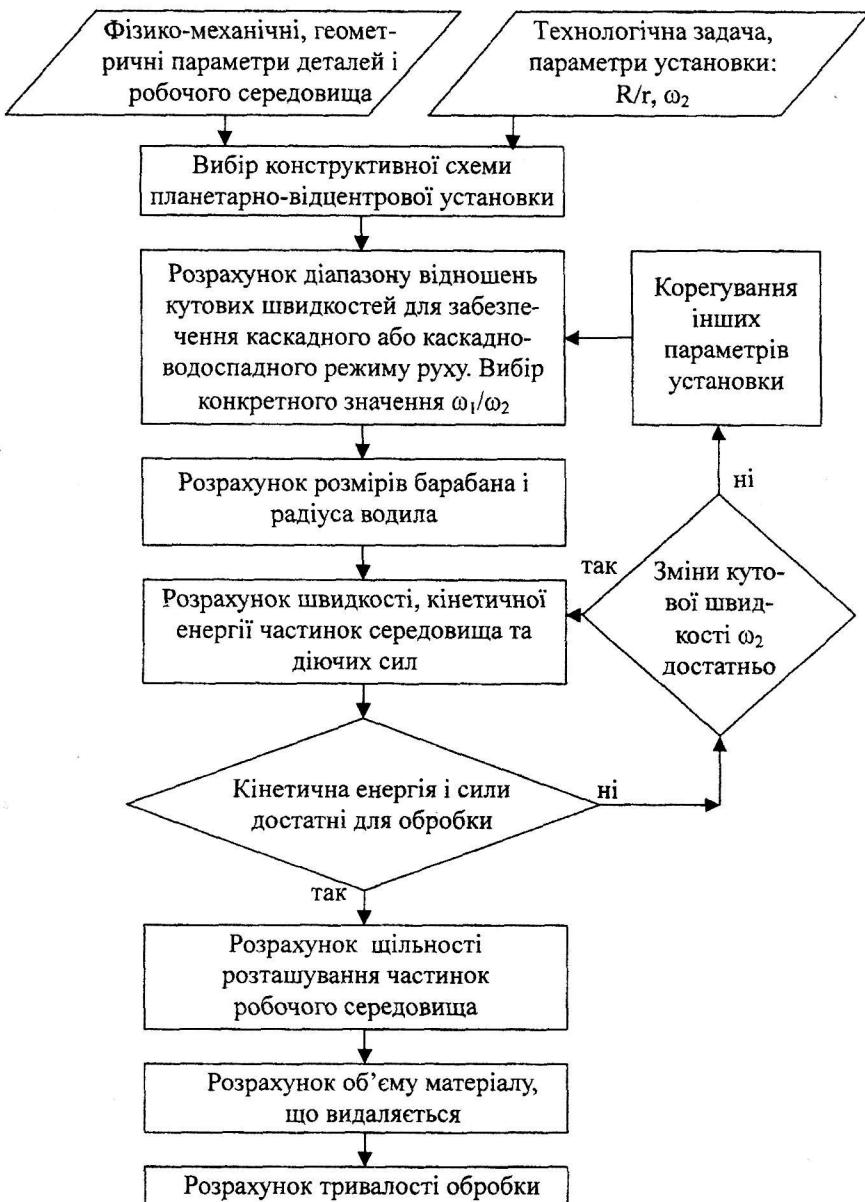


Рис. 9. Блок-схема алгоритму проектування технологічного процесу і планетарно-відцентрової установки для фінішної обробки деталей взуття та фурнітури.

Розроблено технологічні режими обробки в планетарно-відцентрових установках літих деталей взуття з полімерних матеріалів. Регламентовані такі технологічні параметри: кутові швидкості водила і барабана, температура і тривалість охолодження парами рідкого азоту, витрата рідкого азоту на 1 кг завантаження, тривалість обробки. Значення цих параметрів, необхідні для обробки досліджених деталей, наведені в таблиці.

Таблиця
Параметри технологічних режимів обробки літих деталей взуття

Параметр \ Деталі	ω_2 , рад/с	ω_1 , рад/с	т охолодження, °C	Тривалість охолодження, с	Витрата рідкого азоту, кг/кг	Тривалість обробки T , с
Набійки з термо-пластичного монолітного поліуретану	7,4	9,6	-105	120	0,6	125
Каблуки з поліетилену	5,9	7,7	-113	120	0,8	240
Каблуки з поліаміду	8,1	10,5	-43,3	120	0,4	260
Каблуки з гуми "стіроніп"	2,2	2,9	-110	120	0,8	350

Для видалення ливників і шліфування поверхні деталей замка "бліскавка", відлитих з цинкового сплаву, рекомендовано технологічний режим з параметрами: $\omega_2 = 4,9$ рад/с; $\omega_1 = 8,3$ рад/с. Тривалість обробки залежить від виду деталей і складає для коробочки замка – 180 с, для корпуса замка – 300 с, для кришки замка – 420 с, для рукоятки замка – 1800 с.

З використанням розроблених технологічних режимів вдосконалено технологічні процеси виготовлення та обробки досліджених деталей взуття і замка "бліскавка".

ВИСНОВКИ

1. Розроблено нове вирішення важливої науково-технічної проблеми легкої промисловості – створені науково обґрунтовані основи і уніфіковані підходи до проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів з прогнозованим кінцевим технологічним результатом на основі математичного моделювання динаміки руху і властивостей робочого середовища в планетарно-відцентрових установках, що забезпечило підвищення продуктивності праці на обробних операціях.

2. Теоретично та експериментально підтверджена висунута гіпотеза про те, що керуючими силами, які діють у фізичному полі взаємодії наповнювача і оброблюваних деталей, є шляхом цілеспрямованої зміни параметрів технологічного процесу та устаткування можна прогнозувати кінцевий результат обробки.

3. На основі аналізу інформації про об'єкт обробки визначені вимоги до зовнішнього вигляду формованих полімерних і металевих деталей взуття та фурнітури, припустимі в процесі оздоблювально-зачищувальної обробки дефекти їх поверхні, взаємозв'язок між формою деталі, розташуванням облою та ефективністю обробки деталей в обертових барабанах.

4. Розроблено математичні моделі динаміки руху частинок робочого середовища в барабанах з різними видами планетарного руху, що дозволяють встановити функціональні зв'язки технологічних і конструктивних параметрів устаткування з параметрами руху робочого середовища. Доведено, що найбільші швидкості руху частинок робочого середовища забезпечуються в установках з перпендикулярними, а найменші – з вертикальними осями обертання; найбільші сили, що ущільнюють частинки середовища в ковзному шарі, діють в установках з горизонтальними, найменші – з перпендикулярними осями. Для обробки деталей з високою міцністю рекомендовано схеми з горизонтальними; з невисокою міцністю і підвищеними вимогами до зовнішнього вигляду – вертикальними; для шліфування і полірування – перпендикулярними осями обертання. Експериментальні дослідження кутів відриву і швидкостей руху частинок робочого середовища підтвердили адекватність математичних моделей, розбіжність значень до 15 %.

5. На основі аналітичних та експериментальних досліджень руху робочого середовища установлено, що при ступенях заповнення барабана 0,25 - 0,75 межі режимів руху не залежать від виду наповнювача і визначаються для каскадного режиму в діапазоні $0 \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,45/\sqrt{r/R}$, для каскадно-водоспадного режиму $-1 - 0,45/\sqrt{r/R} \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,74/\sqrt{r/R}$. Видalenня ливників, облою з каблуків і набойок, вироблених з термопластичних полімерних матеріалів, деталей замка "бліскавка" з цinkових сплавів доцільно виконувати в каскадно-водоспадному режимі, шліфування та полірування фурнітури - в каскадному режимі.

6. Розроблено математичну модель взаємодії оброблюваної деталі з частинками наповнювача різної форми, що дозволяє встановити взаємозв'язок форм наповнювача та оброблюваних деталей з можливим числом їх контактів. Доведено, що найбільшу кількість контактів забезпечує наповнювач з частинками кубічної форми, який рекомендовано для обробки каблуків і набойок; для обробки фурнітури доцільно використання наповнювача у виді конусів, розміри яких не перевищують розмірів отворів у деталях; для видalenня ливників і забезпечення мінімального впливу на поверхню деталі рекомендовано застосування сферичних частинок.

7. Розроблено аналітичні методи розрахунку і отримано формули для визначення об'єму матеріалу, що видаляється з поверхні деталі при однійчному контакті з частинками прямокутної, конічної, тетраедральної і сферичної форм. Складено

програму для ПЕОМ, яка дозволяє розрахувати інтенсивність зносу поверхні полімерної деталі й об'єм матеріалу, що видаляється.

8. Для процесів видalenня ливників, шліфування і полірування розроблено аналітичні методи розрахунку тривалості обробки деталей взуття та фурнітури в планетарних барабанах, що враховують властивості оброблюваних деталей, наповнювача і технологічні параметри. Експериментальні дослідження тривалості обробки каблуків з поліетилену та поліаміду, деталей замка «бліскавка» з цinkових сплавів підтвердили адекватність аналітичних методів розрахунку, розбіжність між ними до 19 %.

9. Експериментально визначено, що зі збільшенням кутової швидкості обертання барабана частота появи частинки робочого середовища в ковзному шарі зростає, зі збільшенням ступеня заповнення барабана - зменшується, а частота проходження частинкою всієї довжини шару незначно збільшується. Виявлені функціональні залежності використано для аналітичного визначення тривалості обробки деталей в обертовому барабані.

10. На основі експериментальних досліджень властивостей полімерних матеріалів і деталей з них в середовищі низьких температур встановлено, що для гуми "стіроніп", пористого і монолітного поліуретанів, поліетилену високого тиску, вторинного поліаміду температура охолодження, яка забезпечує видalenня облою та ливників в обертових барабанах, складає $-43\dots-113^{\circ}\text{C}$; енергія ударного впливу $-5\cdot10^{-3}\dots39\cdot10^{-3}$ Дж і залежить від матеріалу і товщини ділянок, що видаляються; тривалість охолодження деталей рідким азотом $-90\dots120$ с; максимальний час обробки деталей у середовищі парів рідкого азоту - не більше 900 с.

11. На основі результатів аналітичних і експериментальних досліджень розроблені алгоритми проектування технологічних процесів оздоблювально-зачищувальної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів у планетарно-відцентрових установках з прогнозуванням технологічним результатом. Створено програму розрахунку параметрів технологічних процесів для ПЕОМ.

12. З використанням створених алгоритмів і програми для ПЕОМ розроблені технічні завдання для проектування конструкцій планетарно-відцентрових установок. Для набойок і каблуків з полімерних матеріалів рекомендована обробка в установках з вертикальними осями обертання і параметрами $r = 0,3$ м, $R = 0,75$ м, $\omega_1/\omega_2 = 1,3$; для деталей замка "бліскавка" з цinkового сплаву – в установках з горизонтальною віссю обертання барабана і вертикальною віссю водила, параметрами $r = 0,2$ м, $R = 0,7$ м, $\omega_1/\omega_2 = 1,7$.

13. Розроблено технологічні режими обробки в планетарно-відцентрових установках литих деталей взуття з полімерних матеріалів. Для набойок з термопластичного монолітного поліуретану визначені кутові швидкості водила $7,4$ рад/с і барабана $9,6$ рад/с, температура охолодження -105°C , тривалість обробки - 125 с; для каблуків з поліетилену – відповідно $5,9$ рад/с і $7,7$ рад/с, -113°C , 240 с; для каблуків з поліаміду – $8,1$ рад/с і $10,5$ рад/с, -43°C , 260 с; для каблуків з гуми "стіроніп" – $2,2$ рад/с і $2,9$ рад/с, -105°C , 350 с. Для деталей замка "бліскавка" з цinkового сплаву

рекомендовано технологічний режим з кутовими швидкостями водила 4,9 рад/с і барабана 8,3 рад/с, тривалістю обробки коробочки замка 180 с, корпуса замка – 300 с, кришки замка – 420 с, рукоятки замка – 1800 с.

14. Результати дисертації впроваджені на Баришевському КПКП “Бліскавка”, Коростишевському заводі “Електроприлад”, в кооперативі “Пласт”, на взуттєвому підприємстві “Київ” з загальним річним економічним ефектом 7006 грн. на одну установку і прийняті до впровадження Асоціацією шкіряно-взуттєвих підприємств України.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. *Бурмистенков О.П., Панасюк І.В.* Основи теорії та практична реалізація пристроїв для зачищувальної обробки формових деталей із полімерних матеріалів. – К.: НМК ВО, 1993. – 64 с.

2. *Бурмистенков А.П., Панасюк І.В.* К вопросу об определении конструктивных и технологических параметров планетарно-центробежной установки // Изв. вузов. Технол. легк. пром-ти. – 1991. – № 3. – С. 139-141.

3. *Панасюк І.В., Бурмистенков А.П.* Определение некоторых физико-механических свойств полимерных материалов в среде низких температур, необходимых для расчета галтовочного оборудования // Изв. вузов. Технол. легк. пром-ти. – 1991. – № 4. – С. 121-124.

4. *Бурмистенков О.П., Панасюк І.В.* Планетарно-відцентрова установка для фінішної обробки дрібних деталей // Легка промисловість. – 1993. – № 2. – С. 30-32.

5. *Панасюк І.В.* Вплив характеристик літих деталей на процес їх оздоблювано-очисної обробки // Легка промисловість. – 1996. – № 1. – С. 55.

6. *Панасюк І.В.* К вопросу о динамике частицы в емкости со сложным движением // Проблеми сучасного машинобудування. – Хмельницький: ТУП. – 1996. – С. 53 - 55.

7. *Панасюк І.В.* Експериментальне дослідження динамічних навантажень в барабані планетарно відцентрової установки // Вісник Технологічного університету Поділля. Серія 1, технічна. – 1997. – № 1. – С. 150-151.

8. *Панасюк І.В.* Отделочно-зачистная обработка полимерных деталей и предъявляемые к ним требования // Праці III-ї міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні інформаційні технології життезабезпечення людини”. – Випуск №3. – Кам’янець-Подільський, Київ. – 1998. – С. 21-24.

9. *Панасюк І.В.* Про взаємодію оброблюваних деталей і частинок наповнювача в емкості планетарно відцентрової установки // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1998 – Ч.2, № 4 – С. 56-58.

10. *Панасюк І.В.* Определение сил действующих на рабочую среду внутри емкости планетарно-центробежной установки // Легка промисловість. Київ, ДАЛПУ. – Ч.3. – 1998. – С. 59-83

11. *Бурмистенков О.П., Панасюк І.В.* Експериментальне дослідження процесу видалення ливників облою з полімерних деталей у планетарно-відцентровій установці // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1999. – Ч.2, № 4. – С. 69-70.

12. *Панасюк І.В.* Визначення об’єму матеріалу, що видаляється у планетарно-відцентровій галтувальній установці // Проблемы легкой и текстильной промышленности. – 1999. – № 2. – С. 235-238.

13. *Панасюк І.В.* Визначення кута відриву частинок середовища в емкостях з планетарним рухом // Вісник державної академії легкої промисловості України. – 1999. – № 2. – С. 120-123.

14. *Панасюк І.В.* Траекторія частинки сипкого середовища в емкості, що обертається відносно трьох осей // Вісник київського державного університету технологій та дизайну. – 2000. – № 2. – С. 120-123.

15. *Панасюк І.В.* Влияние параметров наполнителя на процесс удаления литников с полимерных деталей в планетарно-центробежной установке // Обработка дисперсных материалов и сред. – 2002 – №12. – С. 104-107.

16. *Бурмистенков О.П., Панасюк І.В.* Аналітичне визначення зносу поверхні полімерних деталей, що обробляються в обертових емкостях // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – Ч. 1, Т. 1, №6. – С. 141-145.

17. *Бурмистенков О.П., Панасюк І.В.* Визначення інтенсивності перемішування робочого середовища в планетарно-відцентрових установках // Вісник КНУТД. – 2003. – №2. – С. 62 - 66.

18. *Панасюк І.В.* Рівняння стану основного масиву сипкого матеріалу в обертових горизонтальних і планетарних барабанах // Вісник КНУТД. – 2003. – №3. – С. 232-236.

19. *Панасюк І.В.* Розподіл навантаження в основному масиві сипкого матеріалу в горизонтальних і планетарних барабанах // Вісник КНУТД. – 2003. – №4. – С. 164-168.

20. *Панасюк І.В.* Аналітичне визначення часу обробки деталей технологічним середовищем в обертових емкостях // Вісник КНУТД. – 2004. – №1. – С. 114-118.

21. *Бурмистенков О.П., І.В.Панасюк* Дослідження руху частинок сипкого середовища у ковзаному шарі в обертовому барабані // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч. 1, Т. 1, №1. – С. 141-145.

22. *Панасюк І.В.* Експериментальне дослідження швидкості частинок сипкого середовища в обертовому барабані // Вісник КНУТД. – 2004. – №2. – С. 72-76.

23. *Панасюк І.В.* Експериментальне дослідження кута відриву частинок сипкого середовища від стінки в обертовому планетарному барабані // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч. 1, Т. 3, №2. – С. 9-13.

24. *Панасюк І.В.* Алгоритм розрахунку кількості матеріалу, що видаляється з полімерних деталей при фрикційному контакті з абразивними частинками // Вимірювальна і обчислювальна техніка. – 2003. – №12. – С. 210-213.

25. Панасюк І.В., Запека М.В. Дослідження швидкості руху частинок робочого середовища в планетарному барабані з горизонтальними осями обертання // Вісник КНУТД. – 2004. – №3. – С. 52-55.

26. Планетарный центробежный станок для обработки деталей свободным абразивом: А.с. 1551334 ССР, МКИ В24 В31/02 / А.П. Бурмистенков, И.В. Панасюк (ССР). – № 4371253/08; Заявл. 29.11.88; Опубл. 23.03.90, Бюл. №11. – 4 с.

27. Планетарный центробежный станок для обработки деталей свободным абразивом: А.с. 1703411 ССР, МКИ В24 В31/104 / А.П. Бурмистенков, И.В. Панасюк, В.А. Ломака, В.В. Пономаренко.(ССР). – № 4668400; Заявл. 28.03.89; Опубл. 07.01.92, Бюл. № 1. – 6 с.

28. Панасюк І.В. Определение параметров относительного движения частиц сыпучей среды в емкостях планетарно-центробежных установок // Тезисы докладов ХІІ научной и X научно-методической юбилейных конференций профессорско-преподавательского состава посвященных 60-летию основания института. - Киев: КТИЛП. - 1990. - С.252

29. Бурмистенков О.П., Панасюк І.В. Математична модель динаміки частинки сипкого середовища в ємкості зі складним рухом // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції "Вдосконалення обладнання легкої промисловості та складної побутової техніки". – Хмельницький: ХТІ, 1993. – С.34.

30. Бурмистенков О.П., Панасюк І.В. Особливості динаміки сипкого середовища в ємкостях зі складним рухом // Наукові праці. Ювілейна наукова конференція професорсько-викладацького складу, присвячена 65-річчю заснування академії. – К.: ДАЛПУ, 1995. – Ч. II. – С. 3.

31. Бурмистенков А.П., Панасюк І.В. Галтовочная установка с трехмерным движением емкости // Тези доповідей науково-практичної конференції "Технологічний Університет в системі реформування освітньої та наукової діяльності Подільського регіону". – Хмельницький: ТУП, 1995. – С. 345.

32. Бурмистенков А.П., Панасюк І.В., Скринник В.В. Аналитическое определение износа обрабатываемых деталей в галтовочных установках // Сборник научных трудов XII международной научной школы «Вибромеханика – 2002». Выпуск №12. – Одесса: НПО «ВОТУМ». – 2002. – С. 32-34.

АННОТАЦІЯ

Панасюк І.В. Наукові основи проектування технологічних процесів обробки деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.19.06 – технологія взуттєвих і шкіряних виробів, Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2004.

Дисертація присвячена створенню науково обґрунтованих основ і уніфікованих підходів до проектування технологічних процесів оздоблюально-зачистувальної обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів в

планетарно-відцентрових барабанах. Вирішення цієї важливої науково-технічної проблеми забезпечило підвищення продуктивності праці, можливості прогнозування технологічного результату на стадії проектування. На основі математичного моделювання динаміки руху і властивостей робочого середовища в барабанах з різними видами планетарного руху встановлені функціональні взаємозв'язки параметрів робочого середовища з технологічними і конструктивними параметрами устаткування. Розроблена математична модель взаємодії оброблюваної деталі з частинками наповнювача різної форми та рекомендації щодо їх технологічного використання. Створені аналітичні методи розрахунку об'єму матеріалу, що видаляється; тривалості обробки при видаленні ливників, шліфуванні і поліруванні. Розроблені алгоритми проектування технологічних процесів обробки дрібних деталей взуття та фурнітури з пластмас і металів у планетарно-відцентрових установках, відповідні програми для ПЕОМ. З використанням алгоритмів створено технологічні режими обробки та технічні завдання для проектування планетарно-відцентрових установок. Результати роботи впроваджені в промисловості.

Ключові слова: технологічний процес оздоблюально-зачистувальної обробки, деталі взуття, фурнітура, планетарно-відцентрова установка, робоче середовище, частинка середовища.

АННОТАЦИЯ

Панасюк І.В. Научные основы проектирования технологических процессов обработки деталей обуви и фурнитуры из пластмасс и металлов. – Рукопись.

Диссертация на соискание степени доктора технических наук по специальности 05.19.06 – технология обувных и кожевенных изделий, Киевский национальный университет технологий и дизайна, Киев, 2004.

Диссертация посвящена созданию научных основ и унифицированных подходов к проектированию технологических процессов финишной обработки мелких деталей обуви и фурнитуры из пластмасс и металлов в планетарно-центробежных установках. Решение этой научно-технической проблемы на основе математического моделирования динамики движения и свойств рабочей среды обеспечило повышение производительности труда на отделочно-зачистных операциях. Теоретически и экспериментально подтверждена выдвинутая гипотеза о том, что, управляя силами, действующими в физическом поле взаимодействия наполнителя и обрабатываемых деталей, путем целенаправленного изменения параметров технологического процесса и оборудования можно прогнозировать конечный результат обработки на стадии проектирования. На основе анализа информации об объекте обработки определены требования к внешнему виду формованных полимерных и металлических деталей обуви и фурнитуры, допустимые в процессе отделочно-зачистной обработки дефекты их поверхности, взаимосвязь между формой детали, расположением облоя и эффективностью обработки деталей во вращающихся барабанах. Разработаны математические модели динамики движения частиц рабо-

чей среды в барабанах с разными видами планетарного движения, позволяющие установить функциональные связи технологических и конструктивных параметров оборудования с параметрами движения рабочей среды. Доказано, что наибольшие скорости движения частиц рабочей среды обеспечиваются в установках с перпендикулярными, а наименьшие – с вертикальными осями вращения. Наибольшие силы, уплотняющие частицы среды в скользящем слое, действуют в установках с горизонтальными, наименьшие – с перпендикулярными осями. Для обработки деталей высокой прочности рекомендованы схемы с горизонтальными, с невысокой прочностью и повышенными требованиями к внешнему виду – вертикальными, для шлифования и полирования – перпендикулярными осями вращения. Экспериментальные исследования углов отрыва и скоростей движения частиц рабочей среды подтвердили корректность математических моделей, расхождение данных до 15 %. На основе аналитических и экспериментальных исследований движения рабочей среды установлено, что при степенях заполнения барабана 0,25-0,75 границы режимов движения не зависят от вида наполнителя и определяются для каскадного режима выражением $0 \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,45/\sqrt{r/R}$, для каскадно-водопадного режима $-1 - 0,45/\sqrt{r/R} \geq \omega_1/\omega_2 \geq -1 - 0,74/\sqrt{r/R}$. Удаление литников и облоя с каблуков и набоек, изготовленных из термопластических полимерных материалов, с деталей замка "молния" из цинковых сплавов целесообразно производить в каскадно-водопадном режиме, шлифование и полирование фурнитуры - в каскадном режиме. Разработана математическая модель взаимодействия обрабатываемой детали с частицами наполнителя разной формы, которая позволяет установить взаимосвязь форм наполнителя и обрабатываемых деталей с возможным числом их контактов. Доказано, что наибольшее количество контактов обеспечивает наполнитель с частицами кубической формы, который рекомендован для обработки каблуков и набоек. Для обработки фурнитуры целесообразно использование наполнителя в виде конусов, размеры которых не превышают размеров отверстий в деталях. Для удаления литников и обеспечения минимального воздействия на поверхность детали рекомендовано применения сферических частиц. Разработаны аналитические методы расчета и получены формулы для определения объема материала, удаляемого с поверхности детали при единичном контакте с частицами прямоугольной, конической, тетраэдральной и сферической формы. Составлена программа для ПЭВМ, позволяющая рассчитать интенсивность износа поверхности полимерной детали и объем удаляемого материала. Экспериментально установлено, что с увеличением угловой скорости вращения барабана частота появления частицы рабочей среды в скользящем слое возрастает, с увеличением степени заполнения барабана – уменьшается, а частота прохождения частицей всей длины слоя незначительно увеличивается. Выявленные функциональные зависимости использованы для аналитического определения продолжительности обработки деталей. Для процессов удаления литников, шлифования и полирования разработаны аналитические методы расчета продолжительности обработки деталей обуви и фурнитуры в планетарных барабанах, учитывающие свойства

нах, учитывающие свойства обрабатываемых деталей, наполнителя и технологические параметры. Экспериментальные исследования продолжительности обработки каблуков из полиэтилена и полиамида, деталей замка «молния» из цинковых сплавов подтвердили адекватность аналитических методов расчета, расхождение между ними до 19 %. На основании экспериментальных исследований свойств полимерных материалов и деталей из них в среде низких температур установлено, что для резины «стиронип», пористого и монолитного полиуретанов, полиэтилена высокого давления, вторичного полиамида температура охлаждения, обеспечивающая удаление облоя и литников во вращающихся барабанах, составляет $-43\ldots-113^{\circ}\text{C}$; энергия ударного воздействия $5\cdot10^{-3}\ldots39\cdot10^{-3}$ Дж и зависит от материала и толщины участков, которые удаляются; продолжительность охлаждения деталей жидким азотом - 90...120 с; максимальное время обработки деталей в среде паров жидкого азота - не более 900 с. На основании результатов аналитических и экспериментальных исследований разработаны алгоритмы проектирования технологических процессов отделочно-зачистной обработки мелких деталей обуви и фурнитуры из пластмасс и металлов в планетарно-центробежных установках. Создана программа расчета параметров технологических процессов для ПЭВМ. С использованием алгоритмов и программы разработаны технические задания для проектирования конструкций планетарно-центробежных установок, технологические режимы обработки набоек из термопластического монолитного полиуретана, каблуков из полиэтилена, полиамида и резины «стиронип», деталей замка «молния» из цинкового сплава. Результаты работы внедрены в промышленности и учебном процессе.

Ключевые слова: технологический процесс отделочно-зачистной обработки, детали обуви, фурнитура, планетарно-центробежная установка, рабочая среда, частица среды.

ABSTRACT

Panasjuk I.V. Scientific bases of designing of technological processes of processing of footwear details and accessories from polymeric materials and metals. - Manuscript.

The dissertation is submitted for scientific degree of the doctor of technical sciences in speciality 05.19.06 - technology of shoe and leather products, Kiev National University of Technologies and Design, Kiev, 2004.

The thesis is devoted to the creation of scientific bases and general ways of designing of technological processes for finishing processing of small footwear details and accessories in planetary drums. The solution of this scientific and technical problem is essential for the purpose of increase of labor productivity on these operations and forecasting of technological result at the design stage. The mathematical models of movement dynamics of working medium particles in various kinds of planetary drums are developed. On the basis of models formulas for definition of speed of particles movement in a drum and working forces are received. Interactions of a processable detail with particles of various forms in a working medium are determined. Recommendations for application

of special working medium in technological processes are stated. The quantity of a material, which leaves from a detail at finishing processing in a planetary drum, is defined. Analytical methods for calculation of finishing processing duration are received for removal pouring gate from polymeric details and for grinding and polishing in centrifugal installations. Algorithms for designing of technological processes and equipment, computer program for calculation of technological parameters are developed and used for finishing processing of footwear details and accessories in planetary drums.

Key words: technological process of finishing processing, footwear details, accessories, centrifugal installation, working medium, particle of medium.

Підп. до друку 29.06.04. Формат 60x84 1/16. Папір офісний.

Друк цифровий. Умовн. др. арк. 2,32. Умовн. фарбо-відб.2,43.

Облік.-вид.арк. 1,82. Тираж 120. Зам. 124.

Дільниця оперативної поліграфії при КНУТД.

01601,ДСП, Київ-11, вул.Немировича-Данченка,2.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 993 від 24.07.02 р.